

Diana FIJAŁKOWSKA¹
Leszek STYSZKO²

WPŁYW SEZONOWANIA WIERZBY POZYSKA- NEJ RÓŻNYMI TECHNOLOGIAMI NA WARTOŚĆ OPAŁOWĄ BIOMASY³

Celem pracy była ocena sezonowanej biomasy wierzbowej na otwartej przestrzeni przez 4-6 miesięcy w aspekcie jej wilgotności, ciepła spalania i wartości opałowej, pozyskanej z doświadczenia polowego z uprawą dziewięciu klonów wierzby wiciowej, gdzie stosowano zróżnicowane nawożenie kompostem z osadów komunalnych i nawożenie mineralne w latach 2008-2010. Zastosowano nawożenie: (a) obiekty bez nawożenia, (b) nawożone kompostem z osadów komunalnych ($10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ s. m.}$), (c) nawożone kompostem z osadów komunalnych ($10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ s. m.}$) i azotem w ilości $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ oraz (d) nawożone kompostem z osadów komunalnych ($10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ s. m.}$) i azotem w ilości $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. Podblokami I rzędu były cztery kombinacje nawozowe, a II rzędu – dziewięć klonów wierzby wiciowej uprawianych przy wysadzeniu 32100 zrzców na hektarze. W doświadczeniu uczestniczyły klony wierzby: 1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1056, 1018 i 1033. Poletko do zbioru miało powierzchnię $11,5 \text{ m}^2$, zastosowano trzy powtórzenia. Biomasa zbierana w terminie późnowiosennym miała przeciętną wilgotność 29,0% z wahaniami w latach 13,4%–50,3%, a w terminie letnim 26,5% z wahaniami w latach 22,2%–33,5%. Największy wpływ na wilgotność i wartość opałową sezonowanej biomasy miały zmiany pogody w latach sezonowania wierzby i współdziałanie lat z terminami poboru prób, a przy ciepłe spalania – lata odrastania pędów, klony i interakcje klonów z kombinacjami nawożenia oraz klonów z kombinacjami nawożenia i latami. Wpływ kombinacji nawożenia na zawartość wody w sezonowanej biomacie, jej ciepło spalania i wartość opałową był istotny, ale wyjaśniał tylko małą część zmienności. Wartość opałowa biomasy pobrana do analiz w terminie późnowiosennym wyniosła przeciętnie $12300 \text{ kJ} \cdot \text{kg s.m.}$ z wahaniami w latach $7867\text{--}15521 \text{ kJ} \cdot \text{kg s.m.}$, a w terminie letnim – $12801 \text{ kJ} \cdot \text{kg s.m.}$ z wahaniami w latach $11311\text{--}13728 \text{ kJ} \cdot \text{kg s.m.}$

Słowa kluczowe: wierzba, klony, nawożenie, biomasa, sezonowanie, zawartość wilgoci, ciepło spalania, wartość opałowa

¹ Autor do korespondencji: Diana Fijałkowska, Politechnika Koszalińska, 75-453 Koszalin, 94 3486714, fijałkowska@wilsig.tu.koszalin.pl

² Leszek Styszko, Politechnika Koszalińska, 75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2, 94 3478-557, lstyszko@wbiis.tu.koszalin.pl

³ Praca była finansowana przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2010-2013

1. Wstęp

W latach 2005-2011 zużycie biomasy w Polsce w elektroenergetyce wzrosło z 9641 ton do 65470 ton [6]. W 2012 roku udział biomasy stałej jako nośnika energii odnawialnej w łącznym pozyskaniu energii OZE wyniósł 82,16% [8]. Największymi odbiorcami energii z biomasy w Polsce w 2010 roku były gospodarstwa domowe (45,9%), elektrownie i elektrociepłownie zawodowe (22,3%) oraz rolnictwo i leśnictwo (8,6%) [7]. Uprawa wierzby w Polsce zajmuje jeszcze małe powierzchnie. Do jej uprawy można z powodzeniem stosować nawożenie osadami ściekowymi i kompostami z osadów komunalnych [11]. Niedogodnością biomasy wierzby zużytkowanej jako paliwo stałe jest jej duża wilgotność, niska gęstość energetyczna oraz mała jednorodność [9].

Celem pracy była ocena wilgotności biomasy wierzbowej, jej ciepła spalania i wartości opałowej dziewięciu klonów wierzby wiciowej, pozyskanej z doświadczenia polowego, gdzie stosowano zróżnicowane nawożenie organiczne i mineralne w latach 2008-2010, a pozyskana biomasa poddano długotrwałemu sezonowaniu na otwartej przestrzeni.

2. Materiał i metody

Zawartość wilgoci w biomacie, jej ciepło spalania i wartość opałową określono na próbach pobranych z doświadczenia polowego założonego w Kościerznicy pod Koszalinem metodą losowanych podbloków w układzie zależnym, w trzech powtórzeniach. Gleba pod doświadczeniem oznaczona została jako biellicowa właściwa - pseudobiellicowa o składzie piasku gliniastego lekkiego do głębokości 50-100 cm, a głębiej - gliny lekkiej, należy do RIVa klasy bonitacyjnej zaliczonej do kompleksu żyniego dobrego. Referowane doświadczenie składało się z okresu przygotowawczego (2005 rok) oraz okresu odrastania pędów (2006-2009). Na dużych poletkach (podbloki I rzędu) rozlosowano dziewięć klonów wierzby (1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1033 i 1018). Zrzesy wysadzono w zagęszczeniu 32100 karp na hektarze. Podblokami I rzędu były kombinacje nawożenia: (a) obiekty bez nawożenia, (b) nawożone kompostem z osadów komunalnych ($10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ s. m.}$), (c) nawożone kompostem z osadów komunalnych ($10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ s. m.}$) i azotem w ilości $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ oraz (d) nawożone kompostem z osadów komunalnych ($10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ s. m.}$) i azotem w ilości $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$. W kwietniu 2006 roku wysiano na kombinacjach doświadczenia „b” „c” i „d” kompost z osadów komunalnych oraz nawóz Hydrofoska 16 na kombinacjach „c” i „d”. Nawóz azotowy na kombinacjach „c” i „d” zastosowano także w latach 2007-2009. Poletko do zbioru miało $11,5 \text{ m}^2$. Przyrosty pędów koszono w trzech terminach: po II roku (8.02.2008 r.), po III roku (25.02.2009 r.) i po IV roku przyrastania (26.11.2009 r.). Próbki biomasy do badań pobrano w czterech terminach (I - w dniu koszenia, tj. zimowy, oraz po sezonowaniu na polu: II - wczesnowiosenny, III - późnowiosenny i IV - letni.

Próby biomasy pobrano w dniach w terminach: wczesnowiosennym - 11.04.2008 roku, 20.04.2009 roku i 24.03.2010 roku, późnowiosennym - po upływie ok. 2 miesięcy od II terminu (5.06.2008, 15.06.2009 i 19.05.2010) i letni - po upływie ok. 2 miesięcy od III terminu (20.08.2008, 20.08.2009 i 31.07.2010). Wilgotność biomasy oznaczono w laboratorium analiz biomasy Wydziału Analiz Chemicznych Południowego Koncernu Energetycznego S.A. przy Elektrowni Siersza w Trzebini, zgodnie z procedurą Q/ZK/05/A:2010, a analizy ciepła spalania i wartości opałowej - według procedury Q/ZK/P/15/12/A:2005 [1]. Dla badanych cech wykonano analizę wariancji oraz określono znaczenie komponentów wariancyjnych, a istotność efektów oceniono testem F.

3. Wyniki i dyskusja

Dane o rozkładzie opadów i temperatur w latach 2008-2010, zaczerpnięto z pracy Styszki i in. [16] i na tej podstawie wyliczono wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa (K) dla okresów sezonowania biomasy pomiędzy II a III terminem poboru prób (tab. 1) oraz pomiędzy III a IV terminem poboru prób (tab. 2). Dane charakteryzujące warunki pogodowe podczas sezonowania biomasy na otwartej przestrzeni w okresie pomiędzy I (zimowy) a II (wczesnowiosenny) terminem poboru prób zamieszczono w innej pracy autorów [3]. Warunki pogodowe w okresie sezonowania biomasy wierzby pomiędzy II terminem poboru prób (wczesnowiosenny) a III (późnowiosenny) były różne w latach badań (tab. 1 i 2). Najniższą wilgotnością (13,4%) charakteryzowała się biomasa zebrana w dniu 5 czerwca 2008 roku (III termin), kiedy w okresie jej sezonowania spadły najmniejsze ilości opadów, a największą wilgotność miała biomasa zebrana w dniu 19 maja 2010 roku (50,3%) (tab. 1, 2 i 5). Okres pomiędzy zbiorem wczesnowiosennym (24 marca) w 2010 roku a późnowiosennym (19 maja), mimo że charakteryzował się małą ilością opadów (tab. 1), to wilgotność powietrza była bardzo wysoka przy jednocześnie niskiej temperaturze powietrza. W ciągu 5 dni przed poborem prób w III terminie 2010 roku codziennie padał deszcz. Przedłużając sezonowanie biomasy w 2008 roku z 5 czerwca do 20 sierpnia (IV termin poboru prób) uzyskano biomasę o wyższej wilgotności, a w przypadku 2010 roku – o niższej wilgotności (tab. 2 i 5). W 2009 roku biomasa sezonowana do 19 maja (III termin) oraz do 20 sierpnia (IV termin) miały zbliżoną wilgotność (tab. 1, 2 i 5).

Tabela 1. Warunki pogodowe w Boninie k. Koszalina w okresie pomiędzy II a III terminem poboru prób biomasy w latach 2008-2010 według IHAR

Table 1. Meteorological conditions in Bonin near Koszalin during period between II and III date of biomass sampling in the years 2008-2010 according to IHAR

Parametr	Charakterystyka pogody w okresie pomiędzy II a III terminem poboru prób biomasy		
	2008	2009	2010
Liczba dni	56	57	56
Średni opad dobowy [mm]	0,8	3,7	1,4
Temperatura dobową [°C]	11,7	12,2	7,8
Współczynnik Sielianiowa	0,68	3,03	1,82
Wilgotność powietrza [%]	75,5	77,5	83,1
Średni opad dobowy z 14 dni przed poborem prób [mm]	0,1	10,1	3,1
Wilgotność biomasy [%]	13,4	23,3	50,3

Tabela 2. Warunki pogodowe w Boninie k. Koszalina w okresie pomiędzy III a IV terminem poboru prób biomasy w latach 2008-2010 według IHAR

Table 2. Meteorological conditions in Bonin near Koszalin during period between III and IV date of biomass sampling in the years 2008-2010 according to IHAR

Parametr	Charakterystyka pogody w okresie pomiędzy III a IV terminem poboru prób biomasy		
	2008	2009	2010
Liczba dni	76	66	73
Średni opad dobowy [mm]	3,4	2,4	2,3
Temperatura dobową [°C]	17,2	17,8	16,7
Współczynnik Sielianiowa	1,95	1,35	1,38
Wilgotność powietrza [%]	78,2	82,7	80,8
Średni opad dobowy z 14 dni przed poborem prób [mm]	6,8	1,7	5,2
Wilgotność biomasy [%]	23,7	22,2	33,5

W analizach statystycznych wykazano, że na zawartość wilgoci w biomacie sezonowanej i wartość opałową największy wpływ miały lata przyrastania pędów oraz współdziałanie lat odrastania (wieku pędów) z terminami poboru prób. Natomiast przy analizach ciepła spalania największy efekt wykazano dla lat przyrastania pędów, klonów, współdziałań odmian z dawkami azotu i odmian z dawkami azotu oraz latami odrastania pędów (tab. 3). Wyniki tych analiz są zgodne z innymi badaniami autorów [1, 2, 3, 17].

Przeciętnie po długim okresie sezonowania biomasy (tab. 4) uzyskano prawie 2-krotnie niższą zawartość wilgoci w biomacie wierzby niż miało to miejsce przy poborze prób w dniu zbioru lub też po 2 miesięcznym okresie sezonowania [3].

Tabela 3. Wpływ badanych czynników na zawartość wilgoci, ciepło spalania i wartość opałową biomasy
 Table 3. Effect of studied factors on the water content, gross calorific value and net calorific value of biomass

Komponent wariancyjny	Poziomy czynnik	Struktura procentowa komponentów wariancyjnych		
		Zawartość wilgoci	Ciepło spalania	Wartość opałowa
Termin poboru prób [A]	2	1,2***	0,7***	1,5***
Liczba lat przyrastania pędów [B]	3	59,1***	56,6***	79,1***
Kombinacje nawozowe [C]	4	0,1*	1,2***	0,1**
Klony wierzby [D]		0,2**	12,9***	0,1
Suma współdziałań		39,4	28,6	19,2
AxB		35,2***	0,0	13,7***
AxC		0,1	0,3*	0,1
AxD		1,0***	0,0	1,3***
BxC		0,2*	1,8***	0,2*
BxD		0,7***	3,2***	0,9***
CxD		0,0	8,9***	0,0
CxBxA		0,4**	0,4	0,6**
DxCxB		0,0	10,7***	0,0
AxBxCxD		1,5	3,2	2,0
Pozostałe współdziałania		0,3	0,1	0,4
Suma		100,0	100,0	100,0

Istotność różnic przy: * $\alpha=0,05$; ** $\alpha=0,01$; *** $\alpha=0,001$;

Najniższą zawartością wilgoci charakteryzowała się biomasa z obiektów: IV termin poboru prób, po 2 roku przyrastania pędów, na obiektach z nawożeniem kompostem z osadów komunalnych („b”) oraz przy klonach 1047 i 1018 (tab. 4). Najwyższe wartości dla ciepła spalania, uzyskano przeciętnie dla poziomu czynników: III termin poboru prób, dla 3 roku przyrastania pędów na obiektach bez nawożenia („a”) i klonu 1033 (tab. 4).

Przeciętnie najwyższe wartości opałowej nie otrzymano dla tych samych czynników, co przy ciepłe spalania. Najwyższymi wartościami opałowymi charakteryzowała się biomasy z obiektów: IV termin poboru prób, dla 2 roku przyrastania pędów na obiektach z nawożeniem kompostem z osadów komunalnych („b”) i przy klonie 1018 (tab. 4).

W stosunku do badań biomasy pobranej w dniu zbioru w okresie zimowym i w terminie wczesnowiosennym po 2-miesięcznym okresie sezonowania [3], to przy sezonowaniu dłuższym (4 i 6 miesięcznym), jak to miało miejsce w referowanych badaniach, uzyskano przeciętnie duże zmniejszenie wilgotności biomasy z 51,1% do 27,7% oraz zwiększenie wartości opałowej tej biomasy z 7680 kJ·kg⁻¹ do 12550 kJ·kg⁻¹, tj. o 63,4%, a tylko nieznaczne zwiększenie

ciepła spalania biomasy przeciętnie z $18528 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$ do $18556 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$, tj. o 0,2% (tab. 4).

Tabela 4. Wpływ badanych czynników na zawartość wilgoci w biomacie, ciepło spalania i wartość opałową biomasy

Table 4. Effect of studied factors on water content in biomass, gross and net calorific value of biomass

Czynniki	Poziomy czynnik	Zawartość wilgoci w biomacie	Ciepło spalania [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s. m.}$]	Wartość opałowa [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Termin poboru prób [A]	III	29,0	18584	12300
	IV	26,5	18548	12801
	NIR _{0,05}	0,6***	14***	117***
Liczba lat przyrastania pędów [B]	2	18,5	18351	14442
	3	22,8	18793	13620
	4	41,9	18553	9589
	NIR _{0,05}	0,7***	18***	142***
Kombinacje nawozowe [C]	„a”	27,7	18596	12572
	„b”	27,1	18594	12706
	„c”	28,3	18539	12408
	„d”	27,8	18536	12515
	NIR _{0,05}	0,8*	20***	164**
Klony wierzby [D]	1047	26,9	18458	12687
	1054	27,1	18503	12642
	1023	27,4	18512	12609
	1013	28,0	18599	12486
	1052	28,2	18537	12432
	1047D	27,8	18553	12480
	1056	27,9	18575	12504
	1018	26,9	18532	12723
	1033	29,4	18828	12389
	NIR _{0,05}	1,2**	30***	245 n.i.

Istotność różnic przy: * $\alpha=0,05$; ** $\alpha=0,01$; *** $\alpha=0,001$; n.i. – brak istotności

Wykazano istotność współdziałania terminów poboru prób wierzby z liczbą lat przyrastania pędów w odniesieniu do wilgotności biomasy i jej wartości opałowej (tab. 5). Wilgotność biomasy po czwartym roku przyrastania pędów zebrana w III terminie (późnowiosenny) była taka sama jak zebrana w terminie wczesnowiosennym (II), a w inne lata – przy dłuższym sezonowaniu była niższa niż przy zbiorze zimowym i wczesnowiosennym [3].

Wilgotność biomasy miała wpływ na jej wartość opałową (tab. 5). Wydłużając sezonowanie biomasy skoszonej zimą na okres 4 miesięcy (do III terminu poboru prób) uzyskano wyższą wartość opałową o 157% przy zbiorze po drugim roku, o 115% przy zbiorze po trzecim roku i o 5% przy zbiorze po czwartym roku. W stosunku do sezonowania 2-miesięcznego (wczesno wiosenny poboru prób – II), również były znaczne przyrosty wartości opałowej tej bioma-

sy i wyniosły one odpowiednio: po drugim roku – 101%, po trzecim roku – 25% i po czwartym roku 2%. Wydłużając sezonowanie pędów wierzby z 4 miesięcy (późnowiosenny termin poboru – III) do 6 miesięcy (letni termin poboru prób – IV) nastąpiło zmniejszenie jej wartości opałowej o 14% po drugim roku, a zwiększenie – po trzecim roku o 2% i po 4 roku – o 44%.

Tabela 5. Wpływ interakcji terminów poboru prób z liczbą lat przyrastania pędów na wilgotność i wartość opałową biomasy [kJ·kg⁻¹]

Table 5. Effect of interaction between dates of biomass sampling and number of years of willow shoots growth on water content in shoots and net calorific value of biomass [kJ·kg⁻¹]

Liczba lat przyrastania pędów [B]	Wilgotność biomasy w terminach poboru prób ¹		Wartość opałowa biomasy w terminach poboru prób [kJ·kg ⁻¹] ¹	
	III	IV	III	IV
2	13,4	23,7	15521	13363
3	23,3	22,2	13511	13728
4	50,3	33,5	7867	11311
NIR _{0,05}	1,0***		200***	

¹ Termin poboru prób: III - późno wiosenny, IV - letni; ***Istotność różnic przy $\alpha=0,001$;

Tabela 6. Wpływ interakcji terminów poboru prób z klonami wierzby na wilgotność i wartość opałową biomasy [kJ·kg⁻¹]

Table 6. Effect of interaction between dates of biomass sampling and willow clones on water content in shoots and net calorific value of biomass [kJ·kg⁻¹]

Klony wierzby	Wilgotność biomasy w terminach poboru prób ¹		Wartość opałowa biomasy w terminach poboru prób [kJ·kg ⁻¹] ¹	
	III	IV	III	IV
1047	27,8	25,9	12517	12858
1054	27,4	26,9	12608	12677
1023	29,1	25,7	12273	12944
1013	30,6	25,5	11955	13016
1052	27,4	29,1	12618	12247
1047D	28,1	27,5	12422	12537
1056	30,5	25,3	11977	13031
1018	28,5	25,2	12407	13040
1033	31,7	27,1	11923	12856
NIR _{0,05}	1,7***		347***	

¹ Termin poboru prób: III - późno wiosenny, IV - letni; ***Istotność różnic przy $\alpha=0,001$;

W III terminie poboru prób (późnowiosenny) najniższą zawartością wilgoci charakteryzowała się biomasa z klonów 1054 i 1952, a najwyższą – z klonu 1033 (tab. 6).

W IV terminie poboru prób (letni) najniższą wilgotność miały pędy klonu 1018, a najwyższą – klonu 1052. Wartość opałowa biomasy tych klonów była w odwrotnej zależności do zawartości wilgoci w niej (tab. 6).

Tabela 7. Wpływ interakcji klonów wierzby z nawożeniem na ciepło spalania biomasy [kJ·kg⁻¹ s.m.]

Table 7. Effect of interaction between clones and fertilization on gross calorific value of biomass [kJ·kg⁻¹ s.m.]

Klony wierzby	Kombinacje nawozowe ¹			
	„a”	„b”	„c”	„d”
1047	15519	18385	18398	18532
1054	18544	18476	18558	18432
1023	18429	18615	18484	18522
1013	18523	18748	18640	18484
1052	18499	18648	18501	18501
1047D	18704	18477	18521	18511
1056	18565	18672	18503	18558
1018	18635	18403	18527	18565
1033	18947	18919	18722	18723
NIR _{0,05}	60***			

¹ Termin poboru prób: III - późno wiosenny, IV - letni; ***Istotność różnic przy $\alpha=0,001$;

W analizach miała miejsce istotna interakcja klonów wierzby z nawożeniem w odniesieniu do ciepła spalania biomasy (tab.7). We wszystkich kombinacjach nawozowych najwyższe ciepło spalania uzyskano przy klonie 1033, a najniższe przy klonach: 1023 na obiektach bez nawożenia („a”), 1047 na obiektach nawożonych samym kompostem oraz z uzupełniającym nawożeniem azotem w dawce 90 kg·ha⁻¹ N (kombinacje nawozowe „b” i „c”) i u klonu 1054 na obiektach nawożonych kompostem i azotem w dawce 180 kg·ha⁻¹ N („d”).

W literaturze mało jest danych o wpływie sezonowania na otwartej przestrzeni na wilgotność biomasy wierzby i jej wartość opałową. Najczęściej spotyka się analizy wilgotności biomasy zebranej w okresie zimy [14, 15, 18, 19].

Wilgotność biomasy wierzby zbieranej w okresie zimowym (listopad 2005, marzec 2006) zawierała się w przedziale 54,1% do 49,8% [12]. W badaniach własnych biomasa z zimowego zbioru miała wilgotność od 54,3% do 58,2%, a z wczesnowiosennego od 43,3% do 49,6% [3].

Doniesienia o obniżeniu wilgotności biomasy wierzby po sezonowaniu spotkano w pracach Giglera i in. [5], Frączka i Mudryka [4] oraz Stolarskiego i in. [15]. Cytowane badania wskazują, że biomasa pędów wierzby poddana sezonowaniu w stercie przy wilgotności początkowej 50%, w okresie od marca do czerwca zmniejszając wilgotność przeważnie o połowę. W badaniach Frączka i Mudryka [14] obniżenie wilgotności sezonowanych pędów miało miejsce głównie w okresie wiosennym i to niezależnie od tego czy były sezonowane pod dachem czy na wolnym powietrzu.

W stosunku do ciepła spalania w literaturze podaje się wyniki dotyczące spalania biomasy niesezonowanej [10, 13]. Badania własne wykazały, że ciepło spalania w biomacie sezonowanej nieznacznie wzrasta w stosunku do niesezo-

nowanej (o 0,2%), a natomiast radykalnie wzrasta wartość opałowia takiej biomasy (o 63,4%). W badaniach własnych stwierdzono także, że sezonowanie biomasy wierzby na wolnym powietrzu na Pomorzu Środkowym nie zawsze skutkuje zmniejszeniem jej wilgotności, co było spowodowane jest to dużą ilością opadów w tym okresie [16].

4. Wnioski

1. Biomasa wierzby wiciowej zbierana w terminie późnowiosennym miała przeciętną wilgotność 29,0% z wahaniami w latach 13,4%–50,3%, a w terminie letnim 26,5% z wahaniami w latach 22,2%–33,5%.
2. Największy wpływ na wilgotność i wartość opałowia sezonowanej biomasy wierzby miał przebieg pogody w latach i okresach sezonowania wierzby oraz współdziałanie lat z terminami poboru prób, a przy ciepłe spalania – lata odrastania pędów, klony i interakcje klonów z kombinacjami nawożenia oraz klonów z kombinacjami nawożenia i latami.
3. Wartość opałowia biomasy pobrana do analiz w terminie późnowiosennym wyniosła przeciętnie 12300 kJ·kg s. m. z wahaniami w latach 7867–15521 kJ·kg s. m., a w terminie letnim – 12801 kJ·kg s. m. z wahaniami w latach 11311–13728 kJ·kg s. m.
4. Wpływ kombinacji nawożenia na zawartość wilgoci w sezonowanej biomacie wierzby, jej ciepło spalania i wartość opałowia był istotny, ale wyjaśniał tylko małą część zmienności.

Literatura

- [1] Fijałkowska D.: Zmienność parametrów energetycznych wierzby krzewiastej w zależności od jej uprawy. Politechnika Koszalińska. Maszynopis rozprawy doktorskiej, Koszalin 2013.
- [2] Fijałkowska D., Styszko L.: Ciepło spalania i wartość opałowia biomasy wierzby z różnej liczby lat odrastania pędów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 564, 2011, s. 65-72.
- [3] Fijałkowska D., Styszko L., Boguski A.: Wpływ lat uprawy, kombinacji nawożenia i klonów na ciepło spalania i wartość opałowia biomasy wierzby pozyskanej w okresie zimowym i po krótkotrwałym jej sezonowaniu. Fragmenta Agronomica, nr 31(3), 2014, w druku.
- [4] Frączek J., Mudryk K.: Zmiany wilgotności pędów wierzby *Salix viminalis* L. w okresie sezonowania. Inżynieria Rolnicza 10(108), 2008, s. 55-61.
- [5] Gigler J.K., Loon W.K.P. van, Vissers M.M., Bot G.P.A.: Forced convective drying of willow chips. Biomass and Bioenergy. 19(4), 2000, s. 259-270.

- [6] Grudziński Z.: Koszty środowiskowe wynikające z użytkowania węgla kamiennego w energetyce zawodowej. *Rocz. Ochr. Środ./Annual Set Environm.*, 15, 2013, s. 2249-2266.
- [7] GUS: Energia ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2010 r. GUS Warszawa 2011.
- [8] GUS: Energia ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2012 r. GUS Warszawa 2013.
- [9] Kordylewski W.: Biomasa. [W:] Spalanie i paliwa. Pod redakcją Włodzimierza Kordylewskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008, s. 446-458.
- [10] Labrecque M., Teodorescu T.I., Daigle S.: Biomass productivity and Wood energy of *Salix* species after 2 years growth in SRC fertilized with wastewater sludge. *Biomass and Bioenergy*, 12(6), 1997, s. 409-417.
- [11] Ociepa-Kubicka A., Pachura P.: Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i ślazuca. *Rocz. Ochr. Środ./Annual Set Environm.*, 15, 2013, s. 2267-2278.
- [12] Stolarski M., Tworkowski J., Szczukowski S.: Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka*, 1, 2008, s. 77-80.
- [13] Stolarski M., Tworkowski J., Szczukowski S.: Produktywność i charakterystyka biomasy wierzby jako paliwa. *Energetyka*, 9, 2006, s. 53-56.
- [14] Stolarski M., Krzyżaniak M.: Wartość opałowa i skład elementarny biomasy wierzby produkowanej systemem Eko - *Salix*. *Fragm. Agron.*, 28(4), 2011, s. 86-95.
- [15] Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M.: Cost of heat energy generation from willow biomass. *Renable Energy* 59, 2013a, s. 100-104.
- [16] Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma M., Ignatowicz M.: Wpływ warunków uprawy na pozyskanie biomasy wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu. *Rocz. Ochr. Środ./Annual Set Environm.*, 12, 2010, s. 575-586.
- [17] Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma-Horwat M.: Influence of fertilization with compost from municipal sludges on the content of dry matter and the yield of the energy willow planted on light soil. *Environm. Protection Engineering*, 37(3), 2011, s. 37-45.
- [18] Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M.: Produktywność roślin wierzby (*Salix* spp.) i charakterystyka pozyskanej biomasy jako paliwa. *Zesz. Post. Nauk Roln.* 507, 2005, s. 495-503.
- [19] Tharakan P.J., Volk, T.A., Abrahamson, L.P., White, E.H.: Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age. *Biomass and Bioenergy*, 25(6) 2003, s. 571-580.

INFLUENCE OF SEASONING OF WILLOW OBTAINED BY VARIOUS TECHNOLOGIES ON BIOMASS GROSS CALORIFIC VALUE

Summary

The aim of the study was assessment of willow biomass seasoned in the open air for 4-6 months in terms of its water content, net and gross calorific value. Biomass was obtained from field experiment with cultivation of nine clones of willow and various fertilization with compost from municipal sewage sludge and mineral fertilization in the years 2008-2010. Following fertilization combinations were used: (a) objects without fertilization, (b) fertilized with compost from municipal sewage sludge ($10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of dm), (c) fertilized with compost from municipal sewage sludge ($10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of dm) and nitrogen $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of N, and (d) fertilized with compost from municipal sewage sludge ($10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of dm) and nitrogen $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of N. Sub-blocks of I level were four fertilizer combinations and level II – nine clones of willow cultivated at planting of 32,100 cuttings per hectare. In the experiment following willow clones were used: 1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1056, 1018 and 1033. Harvesting plot had an area of 11.5 m^2 , three repetitions were applied. Biomass harvested in the late spring term had an average water content of 29.0% changing from 13.4% to 50.3 % within the years and in the summer term 26.5%, changing from 22.2% to 33.5% within years. The biggest influence on water content and gross calorific value of the seasoned biomass had weather course during years of willow seasoning and interaction of years with dates of sampling, and for the gross calorific value – the years of shoots regrowth, clones and interaction of clones with combinations of fertilization and clones with combinations of fertilization and years. The influence of fertilization combination on water content in seasoned biomass, its gross and net calorific value was significant, but explained only a small part of the variation. Net calorific value of biomass collected for analysis within late spring term was on average $12,300 \text{ kJ}\cdot\text{kg}$ of dm changing from 7,867 to $15,521 \text{ kJ}\cdot\text{kg}$ of dm within years, and in the summer term $12,801 \text{ kJ}\cdot\text{kg}$ of dm changing from 11,311 to $13,728 \text{ kJ}\cdot\text{kg}$ of dm.

Keywords: willow, clones, fertilization, biomass, seasoning, water content, gross calorific value, net calorific value

DOI:10.7862/rb.2014.82

Przesłano do redakcji: 07.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 22.12.2014 r.

