

PORÓWNANIE PLONOWANIA, CIEPŁA SPALANIA I WARTOŚCI OPAŁOWEJ ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO (*SIDA HERMAPHRODITA* L.) Z MISKANTEM OLBRZYMIEM (*MISCANTHUS X GIGANTEUS*) UPRAWIANYCH NA TERENIE WOJEWÓDZTWA PODLASKIEGO

JANUSZ LISOWSKI¹, ANDRZEJ BORUSIEWICZ, HENRYK PORWISIAK

Katedra Agronomii, Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, ul. Studencka 19, 18-400 Łomża

Synopsis. Doświadczenie zostało założone w 2007 roku, na poletkach należących do Wyższej Szkoły Agrobiznesu w Łomży (53°10' N, 22°05' E), które miało na celu porównanie plonowania, ciepła spalania, wartości opałowej, wartości energetycznej plonu oraz zawartości siarki i popiołu w biomase dwóch roślin energetycznych – ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* L.) z miskantem olbrzymim (*Miscanthus x giganteus*) uprawianych na terenie województwa podlaskiego w pięciu kolejnych latach (2011–2015). W każdym roku doświadczenia stosowano wiosną taką samą dawkę nawożenia mineralnego NPK (80-50-70 kg·ha⁻¹) pod każdą roślinę. Zbiór roślin przeprowadzano w końcu listopada lub na początku grudnia. Plon suchej masy ślázowca pensylwańskiego był istotnie wyższy oraz bardziej stabilny od plonu miskanta olbrzymiego. Przeciętny plon suchej masy tego gatunku wynosił 17,9 t·ha⁻¹, a miskanta olbrzymiego – 11,7 t·ha⁻¹. Badane gatunki różniły się zawartością wody w roślinach w fazie zbioru. Najwyższy plon suchej masy ślázowca pensylwańskiego uzyskano w roku 2014 – 18,9 t·ha⁻¹, natomiast miskanta olbrzymiego w roku 2013 – 12,3 t·ha⁻¹. Miskant olbrzymi charakteryzował się niższym o 11% uwodnieniem tkanek. Obydwa gatunki najniżej plonowały w 2015 r., co było skutkiem niesprzyjających warunków wilgotnościowych, pogłębiającej się suszy wiosennej i ograniczonych opadów w okresie największych przyrostów masy roślin. Ciepło spalania ślázowca pensylwańskiego wyniosło 17,7 MJ·kg⁻¹, natomiast miskanta olbrzymiego było większe o 12,4 MJ·kg⁻¹. Wartość energetyczna ślázowca pensylwańskiego była większa o 144 MJ·kg⁻¹ od wartości energetycznej plonu miskanta olbrzymiego. Zawartość popiołu w biomase ślázowca pensylwańskiego i miskanta olbrzymiego wynosiła odpowiednio 2,4 i 1,2%, a zawartość siarki 0,03 i 0,01%

Słowa kluczowe: ślázowiec pensylwański, miskant olbrzymi, plon biomasy, ciepło spalania, wartość opałowa

WSTĘP

Wykorzystanie energii stanowi jedną z podstawowych przesłanek rozwoju gospodarczego, społecznego i poprawy jakości życia, stąd też zapotrzebowanie na energię nieustannie rośnie i potrzeby te są pokrywane głównie dzięki paliwom kopalnym. Konieczność rozwijania technologii energetycznych bazujących na odnawialnych źródłach energii wynika przede wszystkim z negatywnych zmian stanu środowiska, które osiągnęły już taki poziom w skali światowej, że wymagane są szybkie działania ograniczające te zmiany. W ostatnich latach prowadzone są intensywne badania nad pozyskaniem jak największej biomasy z przeznaczeniem do produkcji brykietu, pelletu a w następnym etapie do bezpośredniego spalania w gospodarstwach

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* janusz.lisowski@poczta.fm

domowych lub współspalania w dużych jednostkach energetycznych [Chołuj i in. 2008, Kowalczyk-Juško 2010, Szyszlak-Bargłowicz i Piekarski 2006, Podleśny 2005].

Do głównych zagrożeń środowiska należy groźba zmiany klimatu powodowana antropogennym podgrzewaniem atmosfery w wyniku wzrastającej koncentracji gazów szklarniowych. Wzrastające w atmosferze stężenie takich gazów jak: dwutlenek węgla (CO_2), metanu (CH_4) i podtlenku azotu (N_2O) oraz syntetycznie otrzymywane chlorowcowane węglowodory w sposób istotny mogą wpływać na podwyższenie średniej temperatury Ziemi i w rezultacie zmiany klimatu naszej planety. Zwiększenie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze przyczynia się w 55% do nasilenia efektu cieplarnianego [Gajer 2002].

Energia odnawialna w dzisiejszych czasach jest jednym z kluczowych elementów dalszego istnienia całej populacji ludzkiej. W przypadku braku dobrych źródeł energii odnawialnej, ludzie mogą niebawem zostać całkowicie pozbawieni prądu i innych wygod wynikających z korzystania różnych rodzajów energii [Grecka 2002].

Polska zobowiązana jest międzynarodowymi i unijnymi rozwiązaniami prawnymi o pozyskiwaniu energii z odnawialnych źródeł energii. Zobowiązano Polskę do zwiększenia udziału pozyskania energii z OZE do 12,5%, w roku 2015 i 15% w roku 2020. Pożądany 15 procentowy udział OZE w 2020 roku w bilansie energetycznym Polski będzie możliwy dzięki dużym inwestycjom w biogazownie, farmy wiatrowe, fotowoltaikę oraz współspalanie biomasy.

Według danych Ministerstwa Gospodarki i GUS w Polsce na dzień 31 grudnia 2016 roku łączna zainstalowana moc wynosiła 8415,5 MW wobec 6970,0 MW rok wcześniej. W roku 2005 zainstalowana moc z OZE wynosiła zaledwie 1157,5 MW. Przez 10 lat zainstalowana moc Odnawialnych Źródeł Energetycznych wzrosła o 727 procent. Najbardziej wzrosła zainstalowana moc z OZE w latach 2005–2015 w instalacjach elektrowni wiatrowych, biogazowych i słonecznych. Najmniejszą zainstalowaną moc w tym samym okresie wykazano w energetyce wodnej (tab. 1).

Tabela 1. Zainstalowana moc OZE w Polsce w latach 2005–2016 (GUS)

Table 1. Installed RES power in Poland in 2005–2016 (GUS)

Rodzaje źródła OZE Types of source of RES	Moc zainstalowana (MW) wg stanu na dzień 31 grudnia w poszczególnych latach Installed power (MW) as of 31 December in particular years					Udział mocy OZE Share of RES power (%)
	2005	2013	2014	2015	2016	
Elektrownie na biogaz Biogas power plants	32,9	162,2	188,5	212,4	233,9	2,8
Elektrownie na biomasę Biomass power stations	189,7	986,8	1008,2	1122,6	1281,1	15,2
Elektrownie z energii słonecznej Solar power plants	–	1,9	21,0	71,0	99,1	1,2
Elektrownie wiatrowe Wind power plants	83,2	3389,5	3833,8	4582,0	5807,4	69,0
Elektrownie wodne Hydroelectric power plants	852,4	970,1	977,0	981,7	994,0	11,8
Łączna moc OZE (MW) Total RES power (MW)	1157,5	5510,6	6028,6	6970,0	8415,5	100,0

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem na biomasę, wzrosło zainteresowanie tzw. plantacjami energetycznymi, zakładanymi na terenach rolniczych. Mogą być one obsadzone gatunkami jednorocznymi i wieloletnimi. Aby przekonać rolników do inwestycji i alokacji ziemi w uprawę wieloletnich roślin energetycznych bardzo ważna jest długoterminowa polityka państwa nastawiona na rozwój tego sektora upraw i stworzenie warunków do stabilnego rozwoju rynku biomasy. Największe zapotrzebowanie na pozyskiwanie biomasy przypisuje się uprawom roślin z gatunków jednorocznych i wieloletnich z grupy C4, do których zaliczane są: wierzba krzewiasta, miskant, ślazuca pensylwański, perz wydłużony kępowy, spartina preriowa czy w ostatnim czasie oxytree. [Borkowska i Styk 2006, Faber i in. 2009, Grzybek 2008, Kotecki 2010, Lisowski i in. 2014, Szczukowski 2011].

Założono, że uprawa ślazuca pensylwańskiego i miskanta olbrzymiego pozwoli określić różnice w plonowaniu tych roślin na terenie województwa podlaskiego.

Celem pracy było porównanie plonowania w kolejnych pięciu latach uprawy (2011–2015), dwóch roślin energetycznych: miskanta olbrzymiego i ślazuca pensylwańskiego oraz porównanie wartości opałowej, ciepła spalania i wartości energetycznej plonu pomiędzy tymi roślinami, jak również zawartość siarki i popiołu w biomacie w wyniku ich spalania.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie z uprawą miskanta olbrzymiego i ślazuca pensylwańskiego zostało założone w 2007 roku na poletkach należących do Wyższej Szkoły Agrobiznesu w Łomży (53°10'N, 22°05'E). Wyniki prezentowane dotyczą jednoczynnikowego doświadczenia założonego metodą losowanych bloków w trzech powtórzeniach o powierzchni jednego poletka 12 m², prowadzonego przez pięć kolejnych lat. Gleba na której założono doświadczenie zaliczana jest do gleby płowej właściwej, wytworzonej z piasków zwałowych, zaliczanej do kompleksu żyniego dobrego, klasy bonitacyjnej IVa. Właściwości fizykochemiczne gleby przed założeniem doświadczenia przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne gleby przed założeniem doświadczenia
Table 2. Physico-chemical properties of soil before established of the experiment

N ogółem – N total		g·kg ⁻¹	1,08
C organiczny – Organic C			13,3
Przyswajalny Available	P	mg·kg ⁻¹	144
	K		140
	Mg		33
pH w KCl – pH in KCl			4,1

Wysadzenie sadzonek ślazuca pensylwańskiego i miskanta olbrzymiego dokonano w trzeciej dekadzie maja 2007 r. stosując obsadę 10.000 szt·ha⁻¹ w rozstawie 1m x 1m. Sadzonki ślazuca pensylwańskiego i miskanta pochodziły z podziału karp z gospodarstwa agroenergetycznego BIOMAX w Bagienicach, gmina Krasnosielc. W każdym roku po ruszeniu wegetacji wiosną stosowano nawożenie mineralne w dawce 80-50-70 kg NPK·ha⁻¹. W okresie wegetacji

wykonano mechaniczne zabiegi pielęgnacyjne w celu zniszczenia chwastów. Zbiór i ważenie wiązek poszczególnych roślin zależności od roku wykonywano na przełomie listopada i grudnia. Do ważenia poszczególnych wiązek źdźbeł z kęp lub pędów z karp posłużono się elektroniczną wagą hakową Silverline, a wilgotność mierzono mini termopsychrometrem. Wilgotność ślazu pensylwańskiego wahała się w granicach 27–39%, a miskanta 18–26%. Do wyliczeń suchej masy przyjęto średnią matematyczną wilgotność ślazu pensylwańskiego na poziomie 33%, a miskanta na poziomie 22%.

Badania będące przedmiotem opracowania wykonano w latach 2011–2015. Uzyskane plony suchej masy badanych gatunków roślin opracowano metodą analizy wariancji typową dla układu doświadczalnego. Badania na ciepło spalania, wartość opałową, zawartość popiołu i siarki wykonano w Energa Elektrownie Ostrołęka S.A. Laboratorium Badań Chemicznych, Pracownia Badań Paliw. Badania były wykonane według następujących norm: ciepło spalania (PN-EN 14918:2010), wartość opałową (PN-EN 14918:2010), zawartość popiołu (PN-EN ISO 18122:2015.01) zawartość siarki (PN-EN ISO 16994:2015.06). Wartość energetyczną plonu obliczono z iloczynu wartości opałowej i jej plonu z powierzchni 1 ha. Dane meteorologiczne dotyczące temperatury powietrza i opadów atmosferycznych uzyskano z Zakładu Doświadczalnego COBORU w Marianowie (53°12'N, 22°06'E).

WYNIKI I DYSKUSJA

W okresie pięciu lat prowadzenia badań (2011–2015) warunki meteorologiczne były zróżnicowane zarówno pod względem temperatury jak i opadów atmosferycznych (tab. 3). Średnia roczna temperatura wahała się od 7,4° C w roku 2012 do 9,6° C w roku 2015 przy średniej z wielolecia (1983–2015) wynoszącej 7,7° C. Trudne dla roślin warunki termiczne wystąpiły wiosną 2013 r z uwagi na mroźną i bardzo opóźnioną wiosnę. Spadek plonu miskanta olbrzymiego i ślazu pensylwańskiego w roku 2013 należy tłumaczyć opóźnieniem wegetacji i jednoczesnym jej skróceniem o kilkanaście dni na skutek zalegania pokrywy śnieżnej.

Suma opadów również ulegała zmianom; najwyższa była w roku 2011 i wynosiła 682,6 mm. Z każdym rokiem suma opadów malała osiągając wartość najniższą 427 mm w ostatnim roku badań i była ona niższa od średniej z wielolecia o 114,5 mm. Szczególnie niekorzystny układ warunków pogodowych wystąpił w ostatnim roku badań. Stopniowy wzrost temperatur powietrza i drastyczne obniżenie opadów w roku poprzedzającym powiększyło niedobory wody wiosną i w okresie intensywnego przyrostu masy roślin.

Według Radziejewicz [2009] miskant ma małe zapotrzebowanie na wodę, od 2 do 3 tys. m³ rocznie na 1 ha uprawy, co ma szczególne znaczenie przy ograniczonych zasobach wodnych naszego kraju. Również Faber i in. [2009] oraz Kuś i Mantyka [2010] stwierdzili w swoich badaniach, że do prawidłowego wzrostu rozwoju ślazu pensylwańskiego wymaga rocznej sumy opadów w granicach 600 mm. W ostatnich latach badań znaczne obniżenie opadów w porównaniu do potrzeb przy jednocześnie wzrastającej temperaturze powietrza powiększyło niedobory wody w glebie i roślinach, skutkiem czego było obniżenie wytworzonej biomasy obu gatunków roślin.

Wysokość zebranego plonu jest najważniejszą cechą decydującą o rentowności produkcji roślinnej. W przypadku miskanta olbrzymiego i ślazu pensylwańskiego uzależniona jest głównie od terminu zbioru, jego wilgotności i waha się wg Fabera i in. [2009] w granicach od 1 do 6 t·ha⁻¹ w pierwszym roku do 20–25 t·ha⁻¹ w trzecim i dalszych latach. Uzyskane w doświadczeniach plony zielonej masy ślazu pensylwańskiego były na poziomie podobnym i wyższym (tab. 4). Po przeliczeniu na suchą masę przyjmując 33% zawartość wody w roślinie

Tabela 3. Średnia temperatura oraz suma i rozkład opadów w latach 2011–2015
 Table 3. Average temperature and total and distribution of precipitation in 2011–2015

Miesiąc Month	Temperatura – Temperature (°C)					Opady – Rainfall in (mm)				
	Lata – Years									
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
I	-1,8	-1,8	-4,9	-4,1	-0,1	28,6	49,7	33,4	39,7	46,0
II	-5,8	-7,9	-1,0	0,8	-0,1	28,6	22,9	26,8	25,2	9,4
III	1,3	3,2	-3,3	4,4	4,8	14,8	19,5	18,5	35,0	30,1
IV	9,6	8,5	6,5	9,2	8,5	38,7	44,6	45,8	37,2	35,5
V	13,4	14,1	15,2	12,6	12,7	58,0	61,0	82,0	42,1	45,1
VI	17,7	15,6	18,1	16,8	16,9	58,3	105,5	82,9	74,1	25,4
VII	18,5	19,7	18,4	20,3	19,4	273,9	101,1	20,1	55,7	40,0
VIII	17,8	17,3	17,9	18,2	22,2	95,7	67,8	67,6	63,3	9,5
IX	13,9	13,5	11,1	14,3	15,6	23,5	15,4	149,6	16,3	40,3
X	6,8	7,1	8,0	8,9	7,4	21,8	41,7	12,3	7,0	31,7
XI	2,7	4,9	4,4	3,3	4,2	12,2	41,6	33,7	24,8	56,5
XII	2,1	-4,4	2,1	-0,6	3,6	28,5	30,6	20,3	39,9	57,7
Średnia/Suma Mean/Sum	8,0	7,4	7,7	8,6	9,6	682,6	601,4	593,0	460,3	427,2
1983–2015	7,6	7,7	7,8	7,8	7,8	533,7	542,5	542,4	545,9	543,7

nach, plon wahał się w granicach od 15,9 do 19,0 t·ha⁻¹. W pierwszym roku był na poziomie przeciętnym, w następnym istotnie wzrósł i nie ulegając wyraźnym zmianom utrzymywał się na wysokim poziomie przez kolejne trzy lata. W ostatnim roku badań stwierdzono najniższe plony tego gatunku, jednak zawsze istotnie wyższe w porównaniu z miskantem olbrzymim.

Tworkowski i in. [2014] uzyskali w swoich doświadczeniach w latach 2009–2012 plon suchej masy ślazuca pensylwańskiego na podobnym poziomie jak przedstawione plony w tabeli 4. Wyniki dziesięcioletnich doświadczeń prowadzonych przez Borkowską i in. [2015] potwierdzają bardzo zbliżone plonowanie ślazuca pensylwańskiego, jak również duży wpływ warunków pogodowych na plony w poszczególnych latach.

Najwyższy plon suchej masy miskanta olbrzymiego uzyskano w roku 2014, a najniższy w roku 2015 (odpowiednio 12,5 i 11,1 t·ha⁻¹). Plonowanie miskanta olbrzymiego w kilkuletnim doświadczeniu było podobne jak w doświadczeniach Fabera i in. [2009]. Niższe plony miskanta olbrzymiego w stosunku do ślazuca pensylwańskiego można tłumaczyć opadaniem liści po pierwszych przymrozkach. Również Lewandowski [2006] wskazuje, że plony miskanta olbrzymiego zbieranego zimą mogą być niższe o 30% w stosunku do plonu zbieranego jesienią

Tabela 4. Plon świeżej i suchej masy ślazuwca pensylwańskiego i miskanta olbrzymiego ($t \cdot ha^{-1}$)
 Table 4. Fresh and dry mass of Virginia mallow and Miscanthus giganteus ($t \cdot ha^{-1}$)

Lata Years	Ślazuwec pensylwański Virginia mallow		Miskant olbrzymi Miscanthus giganteus	
	Plon świeżej masy Fresh mass yield	Plon suchej masy Dry matter yield	Plon świeżej masy Fresh mass yield	Plon suchej masy Dry matter yield
2011	26,4	17,7	14,7	11,5
2012	27,6	18,5	15,8	12,3
2013	27,3	18,3	11,9	9,3
2014	28,2	18,9	15,9	11,9
2015	24,3	16,3	14,2	11,1
Średnio Average	26,8	17,9	14,5	11,2

NIR_{0,05}/LSD_{0,05}: lata/years = 0,47; gatunek/species = 0,30; interakcja lata x gatunek/interaction years x species = 0,63

Charakterystykę biomasy miskanta olbrzymiego i ślazuwca pensylwańskiego uzyskane w Energa Elektrownie w Ostrołęce SA Laboratorium Badań Chemicznych, Pracowni Badań Paliw przedstawiono w tabeli 5.

Miskant olbrzymi uzyskał większą wartość ciepła spalania o $1,2 MJ \cdot kg^{-1}$ od wartości ciepła spalania ślazuwca pensylwańskiego. Ciepło spalania ślazuwca pensylwańskiego wynosiło $17,7 MJ \cdot kg^{-1}$ było podobne do wartości uzyskanych w badaniach Kowalczyk-Juško [2010] oraz Tworowski i in. [2014]. Wartość opałowa to jeden z najważniejszych parametrów termofizycznych biopaliw stałych. Wartość opałowa miskanta olbrzymiego wyniosła $16,7 MJ \cdot kg^{-1}$ i była wyższa o $2,3 MJ \cdot kg^{-1}$ od wartości opałowej ślazuwca pensylwańskiego.

Wartość energetyczna plonu uzależniona jest od dwóch czynników. Pierwszym czynnikiem jest plon świeżej masy a drugim czynnikiem jest wartość opałowa. Z pięciu lat badań średni plon świeżej masy ślazuwca pensylwańskiego wyniósł $26,8 t \cdot ha^{-1}$ i był wyższy od plonu miskanta olbrzymiego o $12,3 t \cdot ha^{-1}$, dlatego też wartość energetyczna ślazuwca pensylwańskiego jest większa o $144 MJ \cdot kg^{-1}$ od wartości energetycznej plonu miskanta olbrzymiego. Zawartość siarki i popiołu w biomase miskanta olbrzymiego i ślazuwca pensylwańskiego była bardzo zbliżona lub taka sama jaką przedstawiają w swoich badaniach Kowalczyk-Juško [2010] oraz Tworowski i in. [2014].

Zwiększenie wykorzystania biomasy pochodzącej z upraw energetycznych wymaga utworzenia całego systemu obejmującego produkcję, dystrybucję i wykorzystanie biomasy. Tak więc działania powinny być ukierunkowane nie tylko na zakładanie plantacji, ale również na zorganizowanie systemu magazynowania i dystrybucji paliwa oraz zapewnienie efektywnego wykorzystania biomasy.

Zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2009/28/WE w Polsce do końca 2020 roku, aż 15% wyprodukowanej energii będzie musiało pochodzić z OZE. Wynika to z konieczności ograniczenia emisji do atmosfery gazów cieplarnianych takich jak dwutlenek węgla, tlenek węgla, tlenki azotu i siarki. W październiku 2014 r. przed-

Tabela 5. Charakterystyka biomasy miskanta olbrzymiego i ślazuca pensylwańskiego jako biopaliwa
 Table 5. Characteristics of the *Miscanthus giganteus* and Virginia mallow as biofuel

Wyszczególnienie Specification	Miskant olbrzymi <i>Miscanthus giganteus</i>	Ślazuca pensylwański Virginia mallow
Ciepło spalania (MJ·kg ⁻¹ s.m.) Higher heating value (MJ·kg ⁻¹ DM)	18,9	17,7
Wartość opałowa (MJ·kg ⁻¹) Lower heating value (MJ·kg ⁻¹)	16,7	14,4
Wartość energetyczna plonu (GJ·kg ⁻¹) Calorific value of the yield (GJ·kg ⁻¹)	242	386
Zawartość popiołu (%) Ash content (%)	1,2	2,4
Zawartość siarki (% s.m.) Sulphur content (% DM)	0,01	0,03

stawiciele 28 państw UE uzgodnili nowe ramy polityki klimatyczno-energetycznej UE na lata 2020–2030. W dokumencie tym przyjęto zobowiązanie do redukcji dwutlenku węgla do 40%.

WNIOSKI

1. Plonowanie roślin ślazuca pensylwańskiego było bardziej stabilne i na istotnie wyższym poziomie aniżeli miskanta olbrzymiego.
2. Pędy ślazuca pensylwańskiego w czasie zbioru zawierały o 11% więcej wody. Najwyższy plon suchej masy ślazuca pensylwańskiego uzyskano w roku 2014 – 18,9 t·ha⁻¹, natomiast miskanta olbrzymiego w roku 2013 – 12,3 t·ha⁻¹.
3. Obydwa gatunki najniżej plonowały w niesprzyjających warunkach wilgotnościowych, pogłębiającej się suszy wiosennej i ograniczonych opadach w okresie największych przyrostów masy roślin.
4. Zarówno ciepło spalania jak i wartość opałowa miskanta olbrzymiego było wyższe, odpowiednio o 1,2 MJ·kg⁻¹ i 2,3 MJ·kg⁻¹ w stosunku do ślazuca pensylwańskiego.
5. Wartość energetyczna plonu ślazuca pensylwańskiego była wyższa o 59% w stosunku do miskanta olbrzymiego. Głównym czynnikiem takiej różnicy był wysoki plon świeżej masy ślazuca pensylwańskiego, który był większy o 8,9% od plonu świeżej masy miskanta olbrzymiego.
6. Biomasa miskanta olbrzymiego posiadała niższe parametry zawartości popiołu (1,2%) i siarki (0,01%) od biomasy ślazuca pensylwańskiego.

PIŚMIENNICTWO

Borkowska H., Molas R., Skiba D. 2015. Plonowanie ślazuca pensylwańskiego w wieloletnim użytkowaniu. *Acta Agrophys.* 22(1): 5–15.

- Borkowska H., Styk B. 2006. Ślázowiec pensylwański. Uprawa i wykorzystanie. Wyd. WAR, Warszawa: 7–62.
- Chołuj D., Podlaski S., Wiśniewski G., Szmalec J. 2008. Kompleksowa ocena 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne. W: Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Wyd. IUNG-PIB Studia i Raporty 11: 81–89.
- Faber A., Kuś J., Matyka M. 2009. Uprawa roślin na cele energetyczne. Poradnik. Polska Konfederacja Pracodawców Prywatnych „Lewiatan” Warszawa: 1–32.
- Gajer M. 2002. Ocieplanie klimatu, przemysłowa emisja dwutlenku węgla i wulkany. Gospodarka Paliwami i Energią 8: 11–14.
- Grecka K. 2002. Odnawialne źródła energii w planach energetycznych gmin. Czysta Energia 1: 6–7.
- Grzybek A. 2008. Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania. Wyd. IUNG-PIB, Studia i Raporty IUNG-PIB 11: 8–23.
- GUS 2015 r. Produkcja energii z OZE za lata 2005–2014 r.
- Kotecki A. (red.) 2010. Uprawa miskanta olbrzymiego. Energetyczne i pozaenergetyczne możliwości wykorzystania słomy. Wyd. UP Wrocław, ss. 186.
- Kowalczyk-Juśko A. 2010. Plon i parametry energetyczne miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus* Maxim.) w kolejnych latach użytkowania. Zesz. Nauk. UP. Wrocław 578, Rol. 97: 97–102.
- Kuś J., Matyka M. 2010. Wybrane elementy agrotechniki roślin uprawianych na cele energetyczne W: Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.). Wyd. IE Warszawa: 101–120.
- Lewandowski I. 2006. *Miscanthus* – a multifunctional biomass crop for the future. In: Alternative plants for sustainable agriculture. Jeżowski S., Wojciechowicz M.K., Zenkteler E. (eds.). Wyd. IGR PAN Poznań, 83–90.
- Lisowski J., Porwisiak H., Orłowska A. 2014. Porównanie plonowania, cech biometrycznych oraz ciepła spalania i wartości energetycznej ślázowca pensylwańskiego i miskantusa. Zesz. Nauk. WSA Łomża 54: 5–12.
- Podleśny J. 2005. Trawa *Miscanthus x giganteus* – jej charakterystyka oraz możliwości wykorzystania. Post. Nauk Rol. 2: 41–52.
- Radziejewicz J. 2009. Rośliny energetyczne, 31.
- Szczukowski S. 2011. Wieloletnie rośliny energetyczne. Oficyna Wydawnicza Multico: 6–14
- Szyszlak-Bargłowicz J., Piekarski W. 2006. Wartość opałowa biomasy łodyg ślázowca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny. Inż. Rol. 10(8): 223–230.
- Tworowski J., Szczukowski S., Stolarski M., Kwiatkowski J., Graban Ł. 2014. Produkcyjność i właściwości biomasy ślázowca pensylwańskiego jako paliwa w zależności od materiału siewnego i obsady roślin. Fragm. Agron. 31(2): 115–125.

J. LISOWSKI, A. BORUSIEWICZ, H. PORWISIAK

COMPARISON OF YIELD, COMBUSTION HEAT AND CALORIFIC VALUE OF VIRGINIA MALLOW (*SIDA HERMAPHRODITA* L.) AND MISCANTHUS GIGANTEUS (*MISCANTHUS X GIGANTEUS*) GROWTH IN THE PODLASKIE VOIVODESHIP

Summary

The experiment was established in 2007 on plots belonging to the Higher School of Agribusiness in Łomża (53°10' N, 22°05' E), which aimed to compare the yield, heat of combustion and calorific value, energy value of the crop and the content of net and ash in the biomass of two energetic plants of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* L.) with giant Miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) grown in Podlaskie Voivodeship in five consecutive years (2011–2015). In each spring, the same dose of mineral fertilization NPK (80-50-70 kg·ha⁻¹) was used for each plant in spring. Harvesting was carried out at the

end of November or early December. The dry matter yield of Virginia mallow was significantly higher and more stable than the *M. x giganteus* yield. The average dry matter yield of this species was 17.9 t·ha⁻¹, and the *M. x giganteus* – 11.7 t·ha⁻¹. The species tested differed in the water content of plants in the harvesting phase. The highest dry matter yield of Virginia mallow was obtained in 2014 – 18.9 t·ha⁻¹, while *M. x giganteus* in 2013 – 12.3 t·ha⁻¹. *M. x giganteus* was characterized by a 11% lower hydration of tissues. Both species yielded the lowest in 2015, which was a result of unfavorable humidity conditions, deepening spring drought and limited rainfall in the period of the largest increases in plant mass. The combustion heat of Virginia mallow amounted to 17.7 MJ·kg⁻¹, while the *M. x giganteus* was higher by 12.4 MJ·kg⁻¹. The energy value of Virginia mallow was higher by 144 MJ·kg⁻¹ than the energy value of *M. x giganteus*. The ash content in biomass of *Sida hermaphrodita* L. and *M. x giganteus* was 2.4 and 1.2%, respectively, and the sulfur content was 0.03% and 0.01%.

Key words: Virginia mallow, *miscanthus giganteus*, biomass yield, heat of combustion,

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 20.01.2018

Do cytowania – *For citation*

Lisowski J., Borusiewicz A., Porwisiak H. 2018. Porównanie plonowania, ciepła spalania i wartości opałowej ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* L.) z miskantem olbrzymim (*Miscanthus x giganteus*) uprawianych na terenie województwa podlaskiego. *Fragm. Agron.* 35(1): 53–61.