

PRODUKCYJNOŚĆ I WŁAŚCIWOŚCI BIOMASY ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO JAKO PALIWA W ZALEŻNOŚCI OD MATERIAŁU SIEWNEGO I OBSADY ROŚLIN*

JÓZEF TWORKOWSKI¹, STEFAN SZCZUKOWSKI, MARIUSZ J. STOLARSKI, JACEK KWIATKOWSKI,
ŁUKASZ GRABAN

*Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,
Pl. Łódzki 3, 10-724 Olsztyn*

Synopsis. W latach 2009–2012 w SDB w Białdach prowadzono doświadczenie polowe uwzględniające trzy rodzaje materiału siewnego oraz dwie gęstości siewu/sadzenia: nasiona (o zdolności kiełkowania 73%) wysiew 1,5 i 4,5 kg·ha⁻¹ oraz sadzonki korzeniowe i rozsada po 20 i 60 tys. sztuk·ha⁻¹. Znaczące ubytki roślin rosnących w dużej obsadzie wystąpiły w pierwszym i w drugim roku wegetacji. Stabilizacja obsady w większości obiektów nastąpiła w trzecim i czwartym roku wegetacji. Do końca czwartego roku wegetacji przetrwało ponad 96% roślin z wegetatywnego materiału siewnego i rozsady przy obsadzie 20 tys.·ha⁻¹ i 55–82% przy wyjściowej obsadzie 60 tys.·ha⁻¹. Roślin wyrosłych z nasion pozostało niespełna 20–36%. Plon suchej masy w pierwszym roku badań był niski (1,3 t·ha⁻¹), w drugim roku wynosił średnio 8,9, a w trzecim i czwartym roku około 12,4 t·ha⁻¹. Średnio z czterech lat najwyższy plon (ok. 9,9 t·ha⁻¹) zebrano z obiektów z wysadzonymi sadzonkami korzeniowymi i rozsadą w obsadzie 60 tys.·ha⁻¹. Z wysiewu 4,5 kg·ha⁻¹ nasion uzyskano wyższy o około 1 t·ha⁻¹ plon suchej masy niż z wysiewu 1,5 kg·ha⁻¹. Wilgotność zbieranej biomasy zależała od warunków atmosferycznych i wynosiła od 20,9 do 26,2%. Biomasa zawierała około 2,5% popiołu, nieco więcej w masie roślin wyrosłych z nasion niż z rozmnożeń wegetatywnych. Ciepło spalania biomasy ślązowca pensylwańskiego wynosiło średnio 19,0 MJ·kg⁻¹ s.m., a wartość opałowa około 14,00 MJ·kg⁻¹. Oznaczona w biomacie zawartość węgla wynosiła średnio 47,3%, wodoru 6,26%, a siarki 0,037%.

Słowa kluczowe: ślązowiec pensylwański, materiał siewny, plon biomasy, cechy biomasy jako paliwa

WSTĘP

Jednym z powodów ograniczających uprawę ślązowca pensylwańskiego są trudności z zakładaniem plantacji [Kuś i Matyka 2009, 2010]. Plantacje tego gatunku można zakładać z bezpośredniego wysiewu nasion w polu lub do palet rozsadowych w celu uzyskania rozsady i jej wysadzenia, czy też z sadzonek korzeniowych lub sadzonek pochodzących z mikrorozmnażania w warunkach *in vitro*.

Siew nasion w polu jest najmniej pracochłonny. Jednak z powodu problemów z kiełkowaniem nasion ślązowca oraz znacznych rozbieżności między zdolnością kiełkowania, a wschodami w polu trudno jest uzyskać planowaną obsadę roślin. Niska zdolność kiełkowania wynika między innymi z występowania w materiale siewnym „nasion twardych”. Charakteryzują się

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* jtwor@uwm.edu.pl

* Praca została wykonana w ramach realizacji projektu kluczowego „Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii”, nr POIG.01.01.02-00-016/08, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2010. Projekt ten jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

one występowaniem nieprzepuszczalnej okrywy nasiennej dla wody i gazów. Nasiona twarde występują również w innych gatunkach nie tylko z rodziny *Malvacea*, co świadczy o braku uszlachetnienia gatunku w procesie hodowlanym. Jednakże badania Borkowskiej i Styka [1994], Grzesika i Romanowskiej-Dudy [2009] wskazują na możliwość znacznej poprawy zdolności kiełkowania nasion ślazuwca za pomocą procesu skaryfikacji, w szczególności chemicznej lub przez ich kondycjonowanie.

Obsada roślin ślazuwca pensylwańskiego powinna wynosić 20–40 tys. roślin·ha⁻¹ gdy jest uprawiany na dobrych glebach z przeznaczeniem na suche łądygi. W stanowiskach gorszych oraz w uprawie na zieloną masę (na biogaz) zalecana obsada powinna być zwiększona nawet do 60 tys. roślin·ha⁻¹. Do uzyskania takiej obsady w korzystnych warunkach do kiełkowania nasion wystarczy wysiew około 1,5–2 kg uszlachetnionych nasion. W gorszych warunkach, na glebach słabszych należy zwiększyć wysiew nasion nawet do 5–6 kg·ha⁻¹. Nie zawsze zapewni to zakładaną obsadę roślin ale ogranicza ryzyko pustych placów na plantacji [Piskier 2008]. Borkowska i Wardzińska [1999] oraz Szyszlak i in. [2006] stwierdzają, że większa ilość wysiewu nasion ślazuwca pozwala na uzyskanie wyższego plonu i lepszą jego jakość.

Z nasion ślazuwca wysianych w szklarni w odpowiednio przygotowane podłoże najwygodniej w multiplaty, można uzyskać rozsadę, którą następnie wysadza się w polu. Takie zakładanie plantacji jest bardzo pracochłonne, ale pozwala na uzyskanie pożądanego zagęszczenia roślin. Wyszadzona rozsada w korzystnych warunkach meteorologicznych szybko rośnie, tworzy zwarty łąn i zmniejsza ryzyko silnego zachwaszczenia plantacji [Borkowska i Molas 2008, 2010]

Możliwe jest również zakładanie plantacji z 8–10 cm fragmentów korzeni ślazuwca z pączkami wzrostowymi. Korzenie powinno się wykopywać bezpośrednio przed ich wysadzeniem aby ochronić je przed przesuszeniem. Sadzenie powinno być wykonane wczesną wiosną przed ruszeniem wegetacji roślin. Prawidłowo wysadzone sadzonki wykazują szybkie tempo wzrostu, tworzą masywne pędy i silny system korzeniowy [Borkowska i Wardzińska 1999, Borkowska i Styk 2006].

Produkcyjność upraw ślazuwca pensylwańskiego i jakość pozyskanej biomasy przeznaczonej do spalania jest w ostatnich latach intensywnie badana [Chołuj i in. 2008, Kuś i Matyka 2009, Szyszlak i in. 2006, Szyszlak-Bargłowicz i in. 2009]. Plon suchej masy łądyg na glebie mineralnej kompleksu pszennego zawarty był w przedziale od 13,8 do 17,8 t·ha⁻¹ [Borkowska i Styk 2006]. W innych badaniach Borkowska i Molas [2012] prowadzonych w latach 2006–2008 plon suchej biomasy ślazuwca wyniósł średnio 22,6 t·ha⁻¹. W badaniach Kusia i Fabera [2007] plony ślazuwca uprawianego w zagęszczeniu 20 tys. roślin·ha⁻¹ na glebie lekkiej i ciężkiej wyniosły odpowiednio, średnio 13,0 i 18,0 t s.m.·ha⁻¹.

Wobec ciągle jeszcze słabego rozpoznania sposobu zakładania plantacji, optymalnej obsady roślin, istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań w tym kierunku i opracowania technologii produkcji z uwzględnieniem oceny plonowania i wartości energetycznej otrzymanego surowca.

Celem pracy była ocena wpływu trzech rodzajów materiału siewnego i gęstości siewu/sadzenia ślazuwca pensylwańskiego na obsadę i wzrost roślin w kolejnych latach użytkowania oraz ilość i jakość energetyczną plonu biomasy.

MATERIAŁ I METODY

Podstawą badań było ściśle doświadczenie polowe założone w 2009 roku i realizowane przez cztery kolejne lata w Stacji Dydaktyczno-Badawczej Bałdy (53°35' N, 20°36' E), należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

W doświadczeniu uwzględniono trzy rodzaje materiału siewnego oraz dwie gęstości siewu lub sadzenia; nasiona – wysiew 1,5 oraz 4,5 kg·ha⁻¹, sadzonki korzeniowe – sadzenie w obsadzie 20 i 60 tys. szt·ha⁻¹, rozsada – sadzenie w obsadzie 20 i 60 tys. szt·ha⁻¹.

Wysiew nasion ślazuowca (o zdolności kiełkowania 73%) wprost do gruntu wykonano siewnikiem poletkowym dnia 20.04.2009 r. Sadzenie wykopanych dzień wcześniej 8–10 cm fragmentów korzeni z pączkami wzrostowymi (sadzonek korzeniowych) przeprowadzono ręcznie pod znacznik na głębokość około 10 cm dnia 17.04.2009 r. Rozsadę przygotowaną w szklarni w paletkach rozsadowych tzw. multiplatach (wysiew nasion 14.03.2009 r.) wysadzono ręcznie w polu 25.05.2009 r. Rozstawa rzędów we wszystkich obiektach wynosiła 0,75 m.

Doświadczenie założono jako jednoczynnikowe w 4 powtórzeniach w układzie losowanych bloków. Kolejne lata badań traktowano jako drugi czynnik doświadczenia. Wielkość poletka wynosiła 15 m². Przed zbiorem w każdym roku wykonano na 10 roślinach z każdego poletka pomiary cech morfologicznych, uwzględniając: liczbę pędów na 1 roślinie, wysokość oraz średnicę pędów na wysokości 50 cm od powierzchni ziemi.

Zbiór przeprowadzono 15.02.2010, 17.02.2011, 19.01.2012, 16.01.2013 za pomocą ręcznej kosiarki spalinowej. W trakcie zbioru pobrano próbki roślin do analiz laboratoryjnych. Plon świeżej masy po uwzględnieniu jego wilgotności przeliczono na plon suchej masy. Wartość energetyczną plonu biomasy ślazuowca pensylwańskiego wyliczono z iloczynu plonu świeżej biomasy i jej wartości opałowej.

Wilgotność biomasy ślazuowca oznaczono metodą suszarkowo-wagową w temperaturze 105°C. Rozdrobnione pędy suszono do uzyskania stałej masy.

Zawartość popiołu oznaczono przy użyciu analizatora termogravimetrycznego ELTRA TGA THERMOSTEP. Powyższe urządzenie pracuje zgodnie z PN-G-04560:1998, PN-ISO 562.

Ciepło spalania biomasy określono zgodnie z PN-81/G-04513 w kalorymetrze IKA C2000 w oparciu o metodę dynamiczną. Na podstawie ciepła spalania biomasy i jej wilgotności określono wartość opałową zgodnie z PN-91/G-04510.

Analizę elementarną (zawartość węgla, wodoru i siarki) w biomacie wykonano automatycznym analizatorem Eltra CHS 500 przeznaczonym do jednoczesnego oznaczania tych pierwiastków. Powyższe urządzenie pracuje zgodnie z normami PN-G-04584 i PN-G-04517.

Wyniki badań dotyczące plonu i jego struktury opracowano statystycznie w oparciu o pakiet komputerowy STATISTICA 9,0 PL.

Doświadczenie prowadzono na glebie mułowo-murszowej, wytworzonej z gytii wapiennej na podłożu ilastym, klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu przydatności rolniczej – użytki zielone średnie. Odczyn gleby obojętny, pH – 7.2 (w KCl). Zawartość węgla ogólnego w glebie wynosiła 92 g·kg⁻¹. Stosunek C:N wynosił 14,1. W każdym roku wiosną stosowano nawożenie mineralne w ilościach: N – 50 kg·ha⁻¹, P₂O₅ – 20 kg·ha⁻¹, K₂O – 50 kg·ha⁻¹.

W roku 2009 średnie miesięczne temperatury powietrza w okresie wegetacji były wyższe od analogicznych z wielolecia. W kwietniu spadło tylko 4,2 mm deszczu. Poprawa warunków wilgotnościowych nastąpiła w maju co poprawiło warunki do wschodów roślin z wysianych nasion i sadzonek korzeniowych oraz sprzyjało dobremu przyjęciu wysadzonej rozsady. Wysokie, prawie 135 mm opady w czerwcu sprzyjały początkowemu wzrostowi roślin ślazuowca pensylwańskiego. W sierpniu i wrześniu wystąpiły niedobory opadów. Korzystne warunki hydrotermiczne panowały w 2010, kolejnym roku wegetacji ślazuowca. W 2011 roku, opady w lipcu wyniosły około 185 mm, w pozostałych miesiącach wegetacji ślazuowca od około 31 do 68 mm. W 2012 roku suma opadów w kwietniu i czerwcu wynosiła ok. 100 mm, natomiast w sierpniu i wrześniu poniżej średniej wieloletniej.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wschody roślin ślázowca z wysianych nasion były bardzo liczne. Największe zagęszczenie roślin stwierdzono w czerwcu. Z wysiewu 1,5 kg nasion·ha⁻¹ wzeszło około 106 tys. roślin, a z wysiewu 4,5 kg około 228 tys. roślin·ha⁻¹. Do czasu pierwszego zbioru nastąpiły znaczne ubytki roślin i w obiektach z wysiewu 1,5 kg nasion·ha⁻¹ pozostało 79,6 tys., a z wysiewu 4,5 kg·ha⁻¹ – 188,1 tys. roślin (tab. 1). W obu przypadkach była to obsada zróżnicowana w objętości poszczególnych powtórzeń doświadczenia.

Tabela 1. Obsada roślin ślázowca pensylwańskiego przed zbiorem (tys. szt.·ha⁻¹)
Table 1. Density of Virginia fanpetals before harvest (thousand plants per ha)

Lata – Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzunki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	79,6	188,1	18,1	56,3	19,8	59,6	70,2
2010	29,5	49,5	18,0	33,8	19,6	56,3	34,5
2011	28,8	41,1	17,4	31,0	19,3	50,6	31,4
2012	28,6	37,5	17,4	31,0	19,3	48,9	30,5
Średnio–Average	41,6	79,1	17,7	38,0	19,5	53,8	–
(2012/2009) 100%	35,9	19,9	96,1	55,0	97,5	82,0	–
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} : A – 3,9; B – 3,2; A x B – 7,9							

Po wysadzeniu sadzonek korzeniowych wschody następowały dość długo, z niektórych sadzonek ukazywały się nawet w lipcu. Przed zbiorem obsada roślin na tych obiektach wynosiła ponad 90% zakładanej (18,1 i 56,3 tys. szt·ha⁻¹). Rozsada przyjęła się bardzo dobrze i obsada w okresie zbioru była w 99% zgodna z zamierzoną.

W drugim roku wegetacji przy gęstej obsadzie roślin wyrosłych z nasion na skutek konkurencji nastąpiły dalsze znaczne ubytki roślin. Do zbioru przetrwało 29,5 oraz 49,5 tys. roślin·ha⁻¹, odpowiednio z wysiewu 1,5 i 4,5 kg nasion·ha⁻¹. Stwierdzono też redukcję obsady roślin z sadzonek korzeniowych, znaczącą bo prawie o 40% przy większej obsadzie. Natomiast w obiektach z wysadzoną rozsądą obsada roślin nie uległa wyraźnym zmianom.

W kolejnym, czyli trzecim roku uprawy ubytki roślin były już znacznie mniejsze, około 10% w stosunku do roku poprzedniego. W czwartym roku wegetacji niewielkie ubytki wystąpiły tylko w obiektach bardziej zagęszczonych. Największa obsada roślin była na poletkach obsadzonych 60 tys. szt. rozsady, gdzie przetrwało 82% wysadzonych roślin oraz na poletkach z siewem 4,5 kg nasion. W tym ostatnim przypadku pozostało tylko około 16% wzeszłych i niespełna 20% roślin z końca wegetacji w pierwszym roku uprawy. Podkreślić należy, że na poletkach obsadzonych sadzonkami korzeniowymi i rozsądą w liczbie 20 tys. szt·ha⁻¹ po czterech latach pozostało odpowiednio około 96 i 98% roślin. W przypadku zbyt gęstych wschodów

szybko nastąpiła samoregulacja obsady przez wypadanie części roślin na co wskazują również inni autorzy Borkowska i Wardzińska [1999].

W pierwszym roku wegetacji rośliny wyrosłe z nasion i rozsady wytwarzały po jednym pędzie, natomiast niektóre rośliny wyrosłe z sadzonek korzeniowych nieco więcej, bo średnio po 1,3–1,4 pędów (tab. 2).

Tabela 2. Liczba pędów na roślinie
Table 2. Number of shoots per plant

Lata – Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	1,0	1,0	1,4	1,3	1,0	1,0	1,1
2010	6,8	6,9	8,0	7,1	9,5	7,1	7,6
2011	7,9	7,1	10,9	9,6	12,4	8,3	9,5
2012	8,5	8,4	10,5	8,8	11,2	7,1	9,1
Średnio–Average	6,1	5,9	7,7	6,7	8,5	5,9	–
NIR _{0,05} – LSD _{0,05} : A – 0,4; B – 0,3; A x B – 0,8							

W drugim roku użytkowania doświadczenia rośliny wytworzyły średnio po 7,6 pędów. Więcej pędów stwierdzono u roślin wyrosłych z sadzonek korzeniowych i rozsady niż wyrosłych z bezpośredniego wysiewu nasion. Cecha ta powtórzyła się w kolejnym roku, przy czym wszystkie rośliny wytworzyły średnio prawie o 2 pędy więcej niż rok wcześniej. Najwięcej pędów wyrastało u rzadziej rosnących roślin rozmnażanych z rozsady (12,4) oraz z sadzonek korzeniowych (10,9). W czwartym roku rośliny wytworzyły średnio 9,1 pędów.

Rośliny z sadzonek korzeniowych w pierwszym i drugim roku wegetacji były znacznie wyższe i miały grubsze łodygi niż wyrosłe z nasion. W trzecim i czwartym roku użytkowania wartości tych cech wyrównały się. Najwyższe rośliny były w drugim roku wegetacji, natomiast średnica ich pędów wzrastała istotnie z każdym kolejnym rokiem użytkowania (tab. 3 i 4).

Wilgotność biomasy zbieranych roślin zależała głównie od warunków meteorologicznych w okresie poprzedzającym zbiór w danym roku badań. Wyższa była w pierwszym i trzecim roku, średnio około 26 i 25%, niższa zaś w drugim i czwartym roku badań i wynosiła niespełna 22 i 21% (tab. 5). Relatywnie niska wilgotność zbieranych roślin jest jedną z zalet ślazuwca.

W pierwszym roku wegetacji zebrano średnio zaledwie 1,8 tony biomasy, w kolejnych latach 11,4 do 16,5 t·ha⁻¹ (tab. 6). Plon suchej masy z pierwszego zbioru zgodnie z cyklem rozwoju roślin wieloletnich był niski (tab. 7). Najniższy był w obiektach z siewem 1,5 kg nasion, a przy rozmnażaniu wegetatywnym 2 do ponad 4-krotnie wyższy. W drugim roku plony były już bardziej wyrównane i zawierały się w przedziale od 7,6 do 10,3 t suchej masy·ha⁻¹. W trzecim i czwartym roku badań najwyższe plony suchej masy zebrano z poletek obsadzonych 60 tys.·ha⁻¹ rozsady oraz sadzonek korzeniowych.

Tabela 3. Wysokość roślin przed zbiorem (cm)

Table 3. Plant height before harvest (cm)

Lata – Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	101	117	161	178	143	151	142
2010	313	308	314	333	304	306	313
2011	309	305	306	311	308	304	307
2012	301	308	309	295	299	309	303
Średnio–Average	226	259	272	279	263	267	–
NIR _{0,05} –LSD _{0,05} : A – 6; B – 5; A x B – 13							

Tabela 4. Średnica pędów ślazuca pensylwańskiego (mm)

Table 4. Diameter of Virginia fanpetals shoots (mm)

Lata – Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	7,6	7,2	12,7	11,4	9,5	8,5	9,5
2010	12,6	12,4	14,2	14,5	13,9	12,4	13,3
2011	13,3	13,9	13,4	14,2	13,5	13,6	13,7
2012	15,1	14,9	15,2	15,5	14,7	14,4	15,0
Średnio–Average	12,2	12,1	13,9	13,9	12,9	12,2	–
NIR _{0,05} –LSD _{0,05} : A – 0,5; B – 0,4; A x B – 1,1							

Tabela 5. Wilgotność pędów w okresie zbioru (%)
 Table 5. Moisture content in shoots during the harvest period (%)

Lata – Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	28,0	26,3	25,7	25,9	25,8	25,7	26,2
2010	22,1	21,8	22,0	22,5	21,8	21,5	22,0
2011	24,7	26,4	24,7	25,0	25,0	24,6	25,1
2012	21,1	18,7	20,3	21,0	22,4	22,0	20,9
Średnio–Average	24,0	23,3	23,2	23,6	23,8	23,5	–
NIR _{0,05} –LSD _{0,05} : A – 0,5; B – 0,4; A x B – 1,0							

Tabela 6. Plon świeżej masy ślazuwca pensylwańskiego (t·ha⁻¹)
 Table 6. Fresh mass yield of Virginia fanpetals (t·ha⁻¹)

Lata Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	0,72	1,20	1,52	2,93	1,80	2,49	1,80
2010	9,75	11,17	10,21	13,29	11,42	12,79	11,44
2011	14,96	16,33	14,79	18,00	15,71	19,17	16,49
2012	14,00	15,83	14,58	17,46	15,13	16,79	15,63
Średnio–Average	9,86	11,14	10,28	11,92	11,03	12,81	–
NIR _{0,05} –LSD _{0,05} : A – 1,17; B – 0,95; A x B – r.n.							

Tabela 7. Plon suchej masy ślazuwca pensylwańskiego ($t \cdot ha^{-1}$)Table 7. Dry mass yield of Virginia fanpetals ($t \cdot ha^{-1}$)

Lata – Years (B)	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia (A) Type of propagules and sowing/planting density (A)						średnio average
	nasiona seeds		sadzunki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings		
	$kg \cdot ha^{-1}$		tys. szt.–thous. ha^{-1}				
	1,5	4,5	20	60	20	60	
2009	0,52	0,91	1,13	2,17	1,39	1,85	1,33
2010	7,60	8,72	7,96	10,30	8,93	10,02	8,92
2011	11,28	12,03	11,14	11,53	11,78	14,46	12,37
2012	11,04	12,86	11,60	13,79	11,73	13,10	12,35
Średnio–Average	7,61	8,63	7,96	9,94	8,46	9,86	–
NIR _{0,05} –LSD _{0,05} : A – 0,90; B – 0,73; A x B – r.n.							

r.n. – różnica nieistotna – non significant differences

Wyniki własne uzyskane w pierwszych latach użytkowania ślazuwca potwierdzają częściowo dane Borkowskiej i Styka [2003], że o około 10% wyższe plony uzyskać można z rozmnożeń wegetatywnych niż z nasion. Zmniejszające się z każdym kolejnym rokiem wegetacji ślazuwca różnice w plonach w zależności od materiału siewnego, przy jego kilkunastoletnim użytkowaniu mogą być zupełnie zniwelowane. Brakuje danych dotyczących dynamiki plonowania ze wzrostem wieku plantacji. Powszechny pogląd o użytkowaniu plantacji nawet przez 20 lat wymaga jednak potwierdzenia w badaniach.

W badaniach prowadzonych przez innych autorów plon biomasy zależał od obsady roślin i warunków glebowych. Na glebie ciężkiej i średniej (kompleksy 8 i 4) przy obsadzie 10 tys. szt. ha^{-1} roślin, średni plon wynosił około 9 $t \cdot ha^{-1}$, natomiast na glebie lekkiej (kompleks 5) gdzie obsada roślin wynosiła 20 tys. szt. ha^{-1} plony suchej masy wynosiły średnio 15,4 $t \cdot ha^{-1}$. Kuś i Matyka [2009] oraz Borkowska i Styk [2003] podają, że na glebie mineralnej kompleksu pszenno dobrego plony wahały się od 13,8 do 17,0 t suchej masy ha^{-1} .

Biomasa ślazuwca pensylwańskiego zawierała średnio około 2,5% popiołu. Nieco większą zawartość popiołu oznaczono w pędach roślin wyrosłych z nasion niż w roślinach z pozostałych obiektów (tab. 8). Howaniec i Smoliński [2011] oznaczyli w biomacie ślazuwca pensylwańskiego 2,63% popiołu. W innych badaniach własnych [Tworkowski i in. 2010] zawartość popiołu w biomacie ślazuwca wynosiła średnio 3,36% i była istotnie wyższa niż u wierzby 2,29% i miskanta 2,39%.

Ciepło spalania wynosiło średnio 19,0 $MJ \cdot kg^{-1}$ suchej masy, a wartość opałowa 14,0 $MJ \cdot kg^{-1}$. Wartość energetyczna plonu biomasy (iloczyn plonu świeżej masy i wartości opałowej) w doświadczeniu zawarta była w przedziale, średnio od 173 do 225 $GJ \cdot ha^{-1}$. Dla porównania, wartość energetyczna plonu wierzby w badaniach Stolarskiego [2009] wahała się w przedziale od około 100 do 400 $GJ \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Oznaczona w biomacie ślazuwca zawartość węgla i wodoru, decydująca o wartości energetycznej wyniosła odpowiednio 47,3 oraz 6,25%, natomiast zawartość niepożądanego siarki wynosiła zaledwie 0,03%.

Tabela 8. Charakterystyka biomasy ślazuwca pensylwańskiego jako biopaliwa (średnie z lat 2010–2011)
 Table 8. Characteristics of Virginia fanpetals biomass as fuel (average data from 2010–2011)

Wyszczególnienie Specification	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Zawartość popiołu (%) Ash content (%)	2,65	2,65	2,47	2,30	2,53	2,35
Ciepło spalania (MJ·kg ⁻¹ s.m.) Higher heating value (MJ·kg ⁻¹ DM)	19,0	19,1	19,0	19,1	19,0	19,0
Wartość opałowa (MJ·kg ⁻¹) Lower heating value (MJ·kg ⁻¹)	14,0	13,9	14,0	14,0	14,0	14,1
Wartość energetyczna plonu (GJ·kg ⁻¹) Calorific value of the yield (GJ·kg ⁻¹)	173	191	175	214	190	225
Zawartość węgla (% s.m.) Carbon content (% DM)	47,17	47,02	47,65	47,45	47,21	47,32
Zawartość wodoru (% s.m.) Hydrogen content (% DM)	6,26	6,27	6,30	6,28	6,24	6,25
Zawartość siarki (% s.m.) Sulphur content (% DM)	0,041	0,040	0,036	0,034	0,039	0,033

Źródło: badania własne – Source: own research

WNIOSKI

1. Liczba roślin z siewu nasion do gruntu w końcu czwartego roku uprawy stanowiła 20–36% obsady z końca pierwszego roku. Do końca czwartego roku wegetacji przetrwało ponad 96% roślin z sadzonek korzeniowych i rozsady przy obsadzie 20 tys.·ha⁻¹ i 55–82% przy wyjściowej obsadzie 60 tys.·ha⁻¹.
2. Liczba pędów na roślinie zwiększała się do trzeciego roku wegetacji roślin oraz wraz ze spadkiem obsady roślin. Najwyższe rośliny stwierdzono w drugim roku uprawy, a średnica pędów wzrastała z każdym kolejnym rokiem wegetacji.
3. Plony biomasy ślazuwca pensylwańskiego w pierwszym roku uprawy były niskie, wyraźnie wzrosły w drugim, a zwłaszcza w trzecim i czwartym roku wegetacji. Wyższy plon biomasy uzyskano w obiektach z wysadzaniem 60 tys. szt.·ha⁻¹ sadzonek korzeniowych w porównaniu do pozostałych obiektów.
4. Biomasa ślazuwca pensylwańskiego zawierała średnio 23,5% wody, wysoką zawartość węgla (47,3% s.m.) i wodoru (6,27% s.m.) a relatywnie niską zawartość siarki. Ciepło spalania wynosiło 19 MJ·kg⁻¹ s.m.

PIŚMIENNICTWO

- Borkowska H., Molas R. 2008 Zachwaszczenie oraz obsada roślin ślazuwca pensylwańskiego w zależności od herbicydów. *Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura* 63: 10–16.
- Borkowska H., Molas R. 2012. Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass Bioenerg.* 36: 234–240.
- Borkowska H., Styk B. 1994. Stymulacja procesu kiełkowania nasion gatunku *Sida hermaphrodita* Rusby działaniem kwasu i statycznymi obciążeniami mechanicznymi. *Mat. konf. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”*. PAN/ART Olsztyn, 9–10 czerwca 1994: 259–263.
- Borkowska H., Styk B. 2003. Ślazuwiec pensylwański – cenny gatunek energetyczny. *Czysta Energia* 9: 12–13.
- Borkowska H., Styk B. 2006. Ślazuwiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). *Uprawa i wykorzystanie*. Wyd. AR Lublin: ss. 66.
- Borkowska H., Wardzińska K. 1999. Wpływ ilości wysiewu i terminów zbioru na zróżnicowanie plonów biomasy ślazuwca pensylwańskiego. *Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura* 54(4): 31–35.
- 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. Studia i Raporty IUNG-PIB* 11: 81–89.
- Grzesik M., Romanowska-Duda B. 2009. Technologia hydrokondycjonowania nasion ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*) w aspekcie zmian klimatycznych. W: *Produkcja biomasy – Wybrane problemy*. Skrobacki A. (red.). Wyd. SGGW, Warszawa: 63–69.
- Howaniec N., Smoliński A. 2011. Steam gasification of energy crops of high cultivation potential in Poland to hydrogen-rich gas. *Int. J. Hydrogen Energ.* 36: 2038–2043.
- Kuś J., Faber A. 2007. Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. W: *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych. Studia i Raporty IUNG-PIB* 7: 139–149.
- Kuś J., Matyka M. 2009. Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych warunkach siedliskowych. W: *Produkcja biomasy – Wybrane problemy*. Skrobacki A. (red.). Wyd. SGGW, Warszawa: 101–120.
- 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.
- Piskier T. 2008. Ocena nakładów energetycznych wybranych technologii zakładania plantacji ślazuwca pensylwańskiego. *Inż. Rol.* 10: 193–200.
- Stolarski M. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. *Rozpr. Monogr., UWM Olsztyn* 148: ss. 145.
- Szyszlak J., Piekarski W., Krzaczek P., Borkowska H. 2006. Ocena wartości energetycznych ślazuwca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny. *Inż. Rol.* 10(6): 311–318.
- Szyszlak-Bargłowicz J., Piekarski W. 2006. Wartość opałowa biomasy łodyg ślazuwca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny. *Inż. Rol.* 10(8): 223–230.
- Tworkowski J., Stolarski M., Wróblewska H., Szczukowski S. 2010. Skład chemiczny i wartość energetyczna biomasy wierzby krzewiastej, ślazuwca pensylwańskiego i miskanta olbrzymiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 547: 401–408.

J. TWORKOWSKI, S. SZCZUKOWSKI, M.J. STOLARSKI, J. KWIATKOWSKI, Ł. GRABAN

**PRODUCTIVITY AND PROPERTIES OF VIRGINIA FANPETALS BIOMASS AS FUEL
DEPENDING ON THE PROPAGULE AND PLANT DENSITY**

Summary

The aim of the study was to evaluate the effect of the type of propagule on the plant density, yield and quality of Virginia fanpetals biomass used as feedstock in energy generation. A field experiment was conducted in the years 2009–2012 at the Research and Teaching Station in Bałdy, taking into account three types of propagules and two seeding/planting densities: seeds (previously scarified, with a germination capacity of 73%), sowing at 1.5 and 4.5 kg·ha⁻¹, rooted cuttings and seedlings at 20 and 60 thousand per 1 ha. The seedlings emergence was very high. Although large plant loss occurred before the harvest in the first year of vegetation, the plant density exceeded the recommended value. Over 90% of the rooted cuttings and 99% of the seedlings took root. The loss of plants in a large density population also occurred in the second year of vegetation and the population density was stabilised in the third and fourth year. Over 96% of plants from vegetative propagules survived until the end of year four from an initial density of 20 thousand per ha and 55–82% of the initial density of 60 thousand per ha. On the other hand, from 20–36% of the seedlings from seeds survived relative to those yielding in the first year of vegetation. The average dry mass yield in the first year of the experiment was low (1.3 t·ha⁻¹); in the second year it was 8.9, and in the third and the fourth it was 12.4 t·ha⁻¹. The highest average yield of the four years (about 9.9 t·ha⁻¹) was harvested from the plots with planted rooted cuttings and seedlings planted at 60 thousand per ha. The dry mass yield obtained from the plot where the sowing density was 4.5 kg·ha⁻¹ was higher by about 1 t·ha⁻¹ than from that in which the sowing density was 1.5 kg·ha⁻¹. The moisture content in the biomass depended on the weather conditions and ranged from 20.9 to 26.2%. The biomass ash content was 2.5%, slightly more in the plants grown from seeds than those from vegetative reproduction. The average higher heating value of dry biomass of Virginia fanpetals was 19.03 MJ·kg⁻¹, while its lower heating value was 13.98 MJ·kg⁻¹. The average carbon content was 47.3%, hydrogen content was 6.26% and sulphur content was 0.037%. Despite a slightly higher yield on the plots where rooted cuttings and seedlings – i.e. the most expensive propagules – were planted at 60 thousand per ha, the optimum method of setting up a Virginia fanpetals plantation should be decided by economic calculations.

Key words: Virginia fanpetals, propagules, yield of biomass, features of biomass as fuels

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.02.2014

Do cytowania – *For citation*:

Tworowski J., Szczukowski S., Stolarski M.J., Kwiatkowski J., Graban Ł. 2014. Produkcyjność i właściwości biomasy ślazuwca pensylwańskiego jako paliwa w zależności od materiału siewnego i obsady roślin. *Fragm. Agron.* 31(2): 115–125.