

PLONOWANIE ORAZ WARTOŚĆ ENERGETYCZNA
ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO
W ZALEŻNOŚCI OD POZIOMU NAWOŻENIA AZOTEM

Halina Borkowska¹, Roman Molas², Dominika Skiba¹, Halina Machaj¹

¹Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin
e-mail: marborko@wp.pl

²Usida R&D, ul. Czardasza 12/2, 02-169 Warszawa

Streszczenie. Eksperyment założono w układzie bloków losowanych w Gospodarstwie Doświadczalnym Felin Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. W latach 2005-2007 (trzeci-piąty rok uprawy) prowadzono badania wpływu dwóch poziomów nawożenia azotem (100 i 200 kg N·ha⁻¹) na elementy struktury i wysokość plonów biomasy. Oznaczono też ciepło spalania i na tej podstawie wyliczono wydajność energetyczną plonu biomasy. Wyższa dawka azotu wpływała na zwiększenie wysokości, grubości u podstawy i masy pędów ślázowca. Zwiększyła się też obsada pędów i plon biomasy (13,55 t·ha⁻¹). Przy ciepłe spalania 18 MJ·kg⁻¹ s.m. największą wydajność energetyczną (299 GJ·ha⁻¹) plonu uzyskano w piątym roku użytkowania, przy wyższym poziomie nawożenia azotem.

Słowa kluczowe: ślázowiec pensylwański, nawożenie mineralne, plon biomasy, ciepło spalania, wartość energetyczna plonu

WSTĘP

Intensywny rozwój przemysłu, urbanizacji, wzrost liczby ludności to czynniki powodujące stałe zwiększanie się zapotrzebowania na energię. Pozyskiwanie energii ze źródeł kopalnych przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Rosnąca emisja gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla, wpływa na niekorzystne zmiany klimatu Ziemi. Ograniczenie tych emisji przy produkcji energii można osiągnąć na drodze postępującej substytucji źródeł kopalnych – wyczerpywalnych odnawialnymi źródłami energii (Demibras 2005, Rowntree i Nowak 1991, Verga i Rocca 2010). Pozwoli to na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego i rozwój społeczeństw, z jednoczesną ochroną środowiska w skali globalnej (Butterman i Castaldi 2009, Rowntree i Nowak 1991). Wśród odnawialnych źródeł energii w świecie,

w tym w Polsce, znaczące miejsce zajmuje biomasa roślinna pozyskiwana z odpadów, produktów ubocznych lub z plonów głównych plantacji celowych. W plantacjach celowych uprawiane są gatunki jednoroczne np. kukurydza i wieloletnie takie jak wierzba, miskanty czy ślázowiec pensylwański. Ten ostatni gatunek, mimo iż badania nad nim jako źródłem biomasy energetycznej rozpoczęto w Polsce, jest u nas wciąż niedoceniany (Styk i Styk 1994). Znajduje natomiast coraz większe uznanie w innych krajach (Barbosa i in. 2014, Franzaring i in. 2014, Gubisova i in. 2013, Laine 2014, Laurent i in. 2015, Nobel i in. 2014, Szabo i in. 2010).

Wartość ślázowca jako źródła energii odnawialnej wynika z możliwości uzyskiwania wysokich plonów biomasy – 9-20 t·ha⁻¹ s.m. (Borkowska i Molas 2012, Kuś i Matyka 2009), niskiej wilgotności w czasie zbioru – 22-25% (Borkowska 2005, Stolarski i in. 2005, Tworkowski i in. 2014), wysokiego ciepła spalania – 18,7-19,0 MJ·kg⁻¹ s.m. (Borkowska i Styk 2006, Tworkowski i in. 2014) oraz przydatności do uprawy na glebach lekkich (Borkowska i in. 2009, Kuś i Matyka 2009) i wymagających rekultywacji (Antonkiewicz i Jasiewicz 2002, Klimont i Bulińska-Radomska 2013, Wardzińska 2000b.). Wart podkreślenia jest fakt niskiej emisji gazów, takich jak CO₂, SO₂, NO_x, oraz pyłów, podczas uprawy ślázowca pensylwańskiego (Hryniewicz i Grzybek 2013).

Przy niewielkim zróżnicowaniu ciepła spalania biomasy ślázowca wydajność energetyczna z jednego hektara uwarunkowana jest głównie wielkością uzyskanego plonu. Na wysokość plonu biomasy znaczący wpływ wywiera nawożenie mineralne. Głównym czynnikiem plonotwórczym, podobnie jak w przypadku innych roślin uprawnych, jest azot. Z badań różnych autorów wynika korzystny wpływ nawożenia azotem na zwiększenie plonów masy ślázowca pensylwańskiego (Borkowska 1996, Kalembasa i Wiśniewska 2006). Wyniki badań wskazują na pozytywny wpływ nawożenia w ilości 100 kg N·ha⁻¹ na wzrost efektywności wykorzystania podstawowych składników pokarmowych (N, P, K) przez ślázowiec. A zwiększenie nawożenia z 50 do 150 kg N·ha⁻¹ powoduje istotny wzrost plonów (Kalembasa i Wiśniewska 2006). Otwartym pozostaje pytanie, czy nawożenie azotem na poziomie wyższym niż 150 kg·ha⁻¹ wpłynie na zwiększenie plonu biomasy ślázowca pensylwańskiego.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań nad wpływem dwóch poziomów nawożenia azotem (100 i 200 kg N·ha⁻¹) na plonowanie i wydajność energetyczną ślázowca pensylwańskiego.

MATERIAŁ I METODY

Eksperyment w układzie bloków losowanych założono w 2003 r. w Gospodarstwie Doświadczalnym Felin Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (51°14'N, 22°38'E). Czynnikiem doświadczenia były dwa poziomy nawożenia

azotem (100 i 200 kg N·ha⁻¹), a każdą kombinację powtórzono czterokrotnie. Powierzchnia poletek do zbioru wynosiła 12,6 m². Zastosowano 75 cm rozstawę rzędów. Nasiona wysiano jednorzędowym siewnikiem ogrodniczym, uzyskując średnią obsadę na poziomie 30 tys. roślin na 1 hektarze.

Przedstawione badania prowadzono w latach 2005-2007 (trzeci-piąty rok uprawy). W latach badań, wiosną, przed ruszeniem wegetacji roślin stosowano nawożenie fosforem (40 kg P·ha⁻¹, w superfosfacie potrójnym) i potasem (80 kg K·ha⁻¹, w soli potasowej) na całe doświadczenie, zaś w odpowiednich kombinacjach połowę przyjętych dawek nawozów azotowych (saletra amonowa). Następnie zruszano międzyrzędzia opielaczem w celu spulchnienia gleby i wymieszania z nią nawozów. Na początku maja, przed zakryciem międzyrzędzi przez rośliny ślázowca, stosowano pozostałą część dawki nawozu azotowego.

Po zakończeniu wegetacji, w listopadzie, pobierano losowo po 40 pędów z każdej kombinacji w celu przeprowadzenia pomiarów biometrycznych. Następnie zbierano biomase, oznaczano plon świeżej masy z każdego poletka. Pobierano próby do oznaczenia wilgotności (suszenie rozdrobnionego materiału roślinnego w 105°C do uzyskania stałej masy) i na tej podstawie wyliczano plon suchej masy.

Po zbiorach liczono pędy na 1 m² każdego poletka. W próbach pobranych pędów przeprowadzono następujące oznaczenia: masy pędów (g), długości (cm), grubości u podstawy i w środku długości (mm).

Wyniki opracowano stosując analizę wariancji, a dla określenia istotnych różnic korzystano z testu Tukey'a.

W średniej próbie biomasy w Instytucie Technologii Drewna w Poznaniu oznaczono ciepło spalania (wg PN-81/G-04513), zawartość popiołu (wyprażanie w temperaturze 550°C), węgla, wodoru i siarki (procedura Thermo Electron Corporation).

Ślázowiec uprawiano na glebie gliniasto-piaszczystej, skłonnej do zaskorupiania po deszczu, o następującym składzie granulometrycznym 25 cm warstwy: 1,0-0,1 mm – 22-23%, 0,1-0,02 – 40%, < 0,02 – 37-38%. Gleba zawierała następujące ilości przyswajalnych form (mg·100 g): P₂O₅ – 14,9-15,2; K₂O – 18,3-19,0; Mg – 4,1-4,3, zaś pH w 1 mol KCl·dcm⁻³ wynosiło 4,64-4,72.

Warunki pogodowe w okresie wegetacji roślin w latach 2005-2007 były bardzo zróżnicowane. Świadczą o tym wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianiowa (K) (tab. 1). Wyliczono je na podstawie danych z Obserwatorium Agrometeorologicznego w Felinie. Współczynnik K liczono, dzieląc dziesięciokrotność sumy opadów przez sumę średnich dobowych temperatur poszczególnych miesięcy (Skowera i Puła 2004). Okres wegetacji (kwiecień-październik) w latach 2005 i 2007, podobnie jak średnio w wieloleciu, charakteryzował się optymalnym stosunkiem opadów do temperatur. Jednak w przeciwieństwie do pięćdziesięciolecia występowały w tych latach miesiące z niedoborami opadów (okresy bardzo suche). Były to: kwiecień, wrzesień i październik w 2005 r. (K – 0,32-0,55) oraz kwiecień

i sierpień w 2007 r. ($K = 0,64-0,66$). W roku 2006 obok skrajnie wilgotnego miesiąca sierpnia ($K = 3,57$) wystąpiły skrajnie suche – lipiec i wrzesień ($K = 0,10-0,23$). Średnio okres wegetacyjny 2006 r. był dość suchy ($K = 1,12$).

Tabela 1. Wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa (K) dla okresów wegetacji w latach 2005-2007 oraz wielolecia (1951-2000)

Table 1. Values of Sielianinov hydrothermal index (K) for vegetation periods in the years 2005-2007 and for a multi-year period (1951-2000)

Miesiące/Months	2005	2006	2007	1951-2000
Kwiecień/April	0,55	1,16	0,66	1,80
Maj/May	2,44	1,36	1,73	1,45
Czerwiec/June	1,16	0,75	1,61	1,33
Lipiec/July	1,79	0,10	1,47	1,41
Sierpień/August	2,07	3,57	0,64	1,30
Wrzesień/September	0,40	0,23	3,35	1,35
Październik/October	0,32	0,44	0,77	1,65
Kwiecień-październik April-October	1,39	1,12	1,50	1,42

$K \leq 0,4$ – okres skrajnie suchy, $0,4-0,7$ – bardzo suchy, $0,7-1,0$ – suchy, $1,0-1,3$ – dość suchy, $1,3-1,6$ – optymalny, $1,6-2,0$ – dość wilgotny, $2,0-2,5$ – bardzo wilgotny, $3,0$ – skrajnie wilgotny (Skowera i Puła 2004)

$K \leq 0,4$ – extremely dry period, $0,4-0,7$ – very dry, $0,7-1,0$ – dry, $1,0-1,3$ – fairly dry, $1,3-1,6$ – optimum, $1,6-2,0$ – fairly wet, $2,0-2,5$ – very wet, $3,0$ – extremely wet (Skowera and Puła 2004)

WYNIKI I DYSKUSJA

Na plonowanie wieloletnich gatunków uprawy polowej wpływa więcej czynników niż w przypadku roślin jednorocznych. Poza zabiegami agrotechnicznymi i przebiegiem pogody w okresie wegetacji, ujawnienie potencjału plonowania zależy także od okresu użytkowania. Przedstawione w tabeli 2 wyniki, dotyczące wartości plonów suchej masy od trzeciego do piątego roku uprawy, wskazują na negatywny wpływ niedoboru opadów, jaki miał miejsce w 2006 r. (czwartym roku uprawy). Plony biomasy w tym roku były istotnie niższe niż w dwóch pozostałych latach. Współczynnik hydrotermiczny (tab. 1) dla okresów wegetacyjnych lat 2005 (trzeci rok uprawy) i 2007 (piąty rok uprawy) wskazuje na optymalną relację między opadami i temperaturami, jednak plony w trzecim roku uprawy były istotnie niższe niż w piątym. Prawdopodobnie w trzecim roku uprawy ślazowiec pensylwański nie osiągnął jeszcze pełni plonowania. Zastosowane nawożenie azotem w ilości 100 i 200 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wprawdzie różnicowało istotnie wysokość plonów, jednak dwukrotnie wyższa dawka azotu zwiększyła plon biomasy tylko o 1,76 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W badaniach Kalembasy i Wiśniewskiej (2006) zwiększenie dawki azotu ze 100 do

150 kg N·ha⁻¹ przyniosło istotny wzrost plonów. W eksperymencie przeprowadzonym na glebie lekkiej zwiększone nawożenie azotem nie dało oczekiwanych efektów (Borkowska i in. 2009).

Tabela 2. Plony biomasy (t·ha⁻¹ s.m.) oraz obsada pędów (szt·m⁻²) ślązowca pensylwańskiego w zależności od poziomu nawożenia azotem i roku uprawy

Table 2. Yields of biomass (t ha⁻¹ d.m.) and shoot density (pcs m⁻²) of Virginia fanpetals in relation to nitrogen fertilization level and year of cultivation

Poziom nawożenia azotem Nitrogen fertilization level kg·ha ⁻¹ N	Plony / Yields Rok uprawy / Year of cultivation				Obsada / Shoot density Rok uprawy / Year of cultivation			
	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	średnio average	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	średnio average
100	11,97	9,59	13,82	11,79	22,6	23,8	27,7	24,7
200	13,58	10,55	16,53	13,55	24,1	25,6	28,8	26,1
Średnio Mean	12,77	10,06	15,17	12,67	23,3	24,7	28,2	25,4

NIR/LSD_(0,05) dla/for: poziomu nawożenia azotem/nitrogen fertilization level (a) – 1,005-1,19; roku uprawy/year for cultivation (b) – 1,519-1,80; współdziałania/interaction a x b – r.n./i.d.- r.n./i.d.

Nie stwierdzono współdziałania nawożenia azotem z rokiem uprawy i obsady pędów z rokiem uprawy. W trzecim i czwartym roku uprawy średnia obsada pędów (tab. 2) była podobna (23,3 i 24,7 szt·m²), istotny wzrost liczby pędów wystąpił w piątym roku uprawy (28,2 szt·m²). Zwiększone nawożenie azotem przyczyniło się do niewielkiego, ale potwierdzonego statystycznie zagęszczenia łąnu (o 1,4 szt·m²).

Tabela 3. Grubość pędów (mm) ślązowca pensylwańskiego u podstawy i w środku długości w zależności od poziomu nawożenia azotem i roku uprawy

Table 3. Shoot thickness (mm) of Virginia fanpetals at shoot base and in mid-length in relation to nitrogen fertilization level and year of cultivation

Poziom nawożenia azotem Nitrogen fer- tilization level kg·ha ⁻¹ N	Grubość u podstawy Thickness at shoot base Rok uprawy / Year of cultivation				Grubość w środku Thickness at mid-length Rok uprawy / Year of cultivation			
	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	średnio average	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	średnio average
100	19,2	16,5	16,6	17,4	10,3	8,6	10,4	9,8
200	19,8	17,2	18,5	18,5	10,3	9,4	12,2	10,6
Średnio / Mean	19,5	16,8	17,6	18,0	10,3	9,0	11,3	10,2

NIR/LSD_(0,05) dla/for: poziomu nawożenia azotem/nitrogen fertilization level (a) – 0,89-r.n./i.d.; roku uprawy/year of cultivation (b) – 1,37-1,69; współdziałania/interaction a x b – r.n./i.d.- r.n./i.d.

Ważnym elementem struktury plonu jest grubość tworzonych przez rośliny pędów. Wartości tej cechy mierzone u podstawy łodyg wzrastały pod wpływem zwiększonego nawożenia, ale już w środku długości pędów różnic nie stwierdzono (tab. 3). Między latami badań można zaobserwować tendencję do tworzenia najcieńszych pędów w 2006 r. (czwarty rok uprawy), w którym czerwiec i wrzesień były miesiącami bardzo suchymi oraz skrajnie suchy lipiec. Z analizy statystycznej wynika, że najgrubsze pędy u podstawy stwierdzono w 2005 r., zaś w środku długości cieńsze były pędy w 2006 r. niż w roku następnym.

Tabela 4. Wysokość (cm) oraz masa (g·szt s.m.) pędów ślazuwca pensylwańskiego w zależności od poziomu nawożenia azotem i roku uprawy

Table 4. Height (cm) and mass (g pc d.m.) of shoots of Virginia fanpetals in relation to nitrogen fertilization level and year of cultivation

Poziom nawożenia azotem Nitrogen fertilization level kg·ha ⁻¹ N	Wysokość / Shoot height Rok uprawy / Year of cultivation				Masa / Shoot mass Rok uprawy / Year of cultivation			
	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	średnio average	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	średnio average
100	294	252	301	282	58,10	41,10	57,93	52,38
200	305	272	316	298	64,29	43,60	70,58	59,49
Średnio Mean	300	262	308	290	61,19	42,35	64,25	55,93

NIR/LSD_(0,05) dla/for: poziomu nawożenia azotem/nitrogen fertilization level (a) – 5,2-5,085; roku uprawy/year of cultivation (b) – 7,9-7,812; współdziałania/interaction a x b – r.n./i.d.- r.n./i.d.

Nawożenie azotem na poziomie 200 kg·ha⁻¹, w porównaniu z dawką 100 kg·ha⁻¹, wpływało na tworzenie przez rośliny ślazuwca nie tylko grubszych u podstawy, ale także wyższych pędów (odpowiednio 298 i 282 cm). Niedobór opadów w 2006 r. nie pozostał bez wpływu na wzrost roślin (tab. 4). W tym roku (czwarty rok uprawy) pędy osiągnęły istotnie najmniejszą wysokość w porównaniu z wartościami tej cechy w latach 2005 i 2007 (trzeci i piąty rok uprawy). W tych dwóch latach, o optymalnym wskaźniku hydrotermicznym dla okresu wegetacji (K = 1,39 i 1,50), łodygi osiągnęły średnio 300 i 308 cm wysokości. Podobne wartości można znaleźć w badaniach innych autorów (Tworkowski i in. 2014, Wardzińska 2000a).

Takie cechy jak wysokość i grubość pędów mają bezpośredni wpływ na ich masę. Masa pędów oraz ich liczba na jednostce powierzchni warunkują wielkość plonu biomasy. Pod wpływem zwiększonego nawożenia azotem (ze 100 do 200 kg N·ha⁻¹) rośliny ślazuwca tworzyły pędy o masie średnio o 7,11 g większej

(tab. 4). Niezależnie od poziomu nawożenia średnia masa jednego pędu wynosiła 55,93 g, znacznie wyższe wartości można znaleźć w literaturze przedmiotu. Wyniki badań Wardzińskiej (2000a) wskazują na średnią masę przekraczającą 80 g szt., były to jednak pędy z roślin rozmnażanych wegetatywnie, poprzez sadzonki korzeniowe. Wśród trzech lat badań najmniejszą masę pędów stwierdzono w 2006 r., w którym lipiec był miesiącem skrajnie suchym.

Elementy meteorologiczne i nawożenie azotem wpływając na wzrost i rozwój ślázowca, warunkowały wysokość plonu jego biomasy. Energetyczna wartość i jakość tego plonu zależy od wielu cech, między innymi od ciepła spalania i zawartości korzystnych i niekorzystnych składników biomasy.

Tabela 5. Wybrane cechy jakościowe biomasy ślázowca pensylwańskiego jako biopaliwa (średnie z lat 2005-2007)

Table 5. Selected quality features of Virginia fanpetals biomass as a biofuel (mean values for the years)

Cecha / Feature	Jednostka / Unit	Wartość cechy / Value
Ciepło spalania / Heat of combustion	MJ·kg ⁻¹ s.m.	18,09
Zawartość popiołu / Ash content	%	2,82
Zawartość węgla / Carbon content	%	50,31
Zawartość wodoru / Hydrogen content	%	6,44

Z danych tabeli 5 wynika, iż ciepło spalania biomasy ślázowca nieznacznie przekracza 18 MJ·kg⁻¹ s.m., jednak w literaturze przedmiotu można znaleźć wyższe wartości. Według Tworkowskiego i innych (2014) wartość ta wynosi 19 MJ·kg⁻¹ s.m., zaś Szyszlak i inni (2006) w zależności od grubości pędów ślázowca określają ciepło spalania na 17,8-19,2 MJ·kg⁻¹ s.m. Korzystną cechą biomasy energetycznej jest niska zawartość popiołu. W przedstawionych badaniach udział popiołu był dość wysoki, wynosił 2,82%. Z oceny biomasy ślázowca pensylwańskiego przeprowadzonej przez Tworkowskiego i innych (2014) wynika korzystniejsza zawartość popiołu – od 2,35 do 2,65%. Decydująca o wartości energetycznej zawartość węgla i wodoru była wysoka (odpowiednio: 50,31 i 6,44%). Negatywnie działająca na środowisko naturalne siarka jest pierwiastkiem niepożądanym w surowcach energetycznych. Instytut Technologii Drewna w Poznaniu, stosując przyjęte procedury, nie wykrył tego pierwiastka w biomacie ślázowca. Na niską zawartość siarki (0,03-0,05%) w ślázowcu wskazują badania innych autorów (Borkowska i Lipiński 2007, Tworkowski i in. 2014).

Wartość energetyczna plonu ślázowca wyliczona w oparciu o oznaczone ciepło spalania zależała od wielkości uzyskanego plonu. Więcej energii uzyskano po zastosowaniu 200 kg N·ha⁻¹ w porównaniu z dawką 100 kg (odpowiednio: 245 i 213 GJ·ha⁻¹). Niski plon biomasy w 2006 roku przełożył się na najmniejszą ilość energii (182 GJ·ha⁻¹) wśród trzech lat badań (tab. 6). Można jednocześnie wskazać na ogólną tendencję wzrostu wydajności energetycznej w piątym roku użytkowania,

szczególnie przy wyższym nawożeniu azotem – $299 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 6). Na podobną wydajność energetyczną plonu ślázowca ($173\text{-}225 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) wskazują wyniki badań innych autorów (Stolarski i in. 2005, Tworkowski i in. 2014). Wysokie plony uzyskane z rozmnożeń wegetatywnych pozwoliły osiągnąć wydajność energetyczną od 286 do $424 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Borkowska i Molas 2012).

Tabela 6. Wartość energetyczna ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) plonu biomasy ślázowca pensylwańskiego w zależności od poziomu nawożenia azotem i roku uprawy

Table 6. Energy value (GJ ha^{-1}) of biomass yield of Virginia fanpetals in relation to nitrogen fertilization level and year of cultivation

Poziom nawożenia azotem Nitrogen fertilization level $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$	Rok uprawy / Year of cultivation			
	trzeci third (2005)	czwarty fourth (2006)	piąty fifth (2007)	Średnio Mean
100	216,5	173,5	250,0	213,3
200	245,7	190,8	299,0	245,1
Średnio / Mean	231,1	182,1	274,5	229,2

WNIOSKI

1. Skrajnie suche i bardzo suche okresy w czasie intensywnego rozwoju ślázowca negatywnie wpływają na wzrost, rozwój i plonowanie roślin.

2. Nawożenie azotem na poziomie 200 kg w porównaniu z dawką $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ spowodowało niewielkie ($1,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), jednak istotne, zwiększenie plonu biomasy.

3. Wartości analizowanych elementów struktury plonu (poza grubością w środku długości pędu) wzrastały pod wpływem zwiększonego nawożenia azotem.

4. Najwyższą wydajność energii ($299 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) uzyskano w piątym roku uprawy ślázowca po zastosowaniu dawki $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

PIŚMIENNICTWO

- Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz., 2002. Ocena przydatności różnych gatunków roślin do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Acta Scient. Pol., 1-2, 119-130.
- Barbosa D.B.P., Nobel M., Jablonowski N.D., 2014. Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. Energy Procedia, 59, 120-126.
- Borkowska H., 1996. Wpływ nawożenia azotowego i potasowego na wysokość i jakość plonów zielonki ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ann. UMCS, s. E, 51, 63-70.
- Borkowska H., 2005. Zmiany zawartości suchej masy w plonie biomasy wierzby krzewiastej (wikliny) i ślázowca pensylwańskiego w zależności od terminu zbioru. Ann. UMCS, s. E, 60, 155-161.
- Borkowska H., Styk B., 2006. Ślázowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby), uprawa i wykorzystanie. Wyd. II. WAR Lublin, ss. 69.

- Borkowska H., Lipiński W., 2007. Zawartość wybranych pierwiastków w biomacie kilku gatunków roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 10(2), 287-292.
- Borkowska H., Molas R., Kupczyk A., 2009. Virginia fan petals (*Sida hermaphrodita* Rusby) cultivated on light soil; height of yield and biomass productivity. *Polish J. of Environ. Stud.*, 18(4), 563-568.
- Borkowska H., Molas R., 2012. Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass Bioenerg.*, 36, 234-240, doi:10.1016/j.biombioe.2011.10.025.
- Butterman H.C., Castaldi M.J., 2009. Syngas production via CO₂ enhanced gasification of biomass fuels. *Environ. Eng. Sci.*, 324, 1055-1057.
- Demibras A., 2005. Bioethanol from cellulosic materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*, 21, 327-337.
- Franzaring J., Schmid I., Bauerle L., Gensheimer G., Fangmeier A., 2014. Investigations on plant functional traits, epidermal structures, and ecophysiology of the novel bioenergy species *Sida hermaphrodita* Rusby and *Sylphium perfoliatum* L. *J. Appl. Bot. Food Qual.*, 87, 36-45.
- Gubisova M., Zofajova A., Bojnanska K., Gubis J., 2013. *Sida* obojopohlavna – sposoby zakladania porastu. Zbornik zo 7. madzinarodnej vedeckej konferencie: Hodnotenie genetických zdrojov rastlin pre vyzivu a pol'nohospodarstvo. CVRV Piest'any, 63-66.
- Hryniewicz M., Grzybek A., 2013. Emisja gazów powstałych podczas uprawy ślázowca pensylwańskiego. *Probl. Inż. Rol.*, (X-XII), 4(82), 119-127.
- Kalembasa S., Wiśniewska B., 2006. Wpływ dawek azotu na plon biomasy ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) oraz zawartość w niej makroelementów. *Acta Agrophysica*, 8(1), 127-138.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., 2013. Możliwość wykorzystania ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji siarki. *Probl. Inż. Rol.*, (I-III), 1(79), 125-132.
- Kuś J., Matyka M., 2009. Wydajność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w zależności od jakości gleby. *Fragm. Agron.*, 26, 103-110.
- Laine A., 2014. Elucidation of the potential of high yielding energy crops. *Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow*. Research report no 2.1.6., Helsinki, 12, 18, pp. 20.
- Laurent A., Pelzer E., Loyce C., Makowski D., 2015. Ranking yields of energy crops: A meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 46, 41-50.
- Nobel M., Barbosa D.B.P., Horsch D., Jablonowski N.D., 2014. Energy crop (*Sida hermaphrodita*) fertilization using digestate under marginal soil conditions: A dose-response experiment. *Energy Procedia*, 59, 127-133.
- Rowntree R.A., Nowak D.J., 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. *J. Arboric.*, 17(10), 269-275.
- Skowera B., Puła J., 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. *Acta Agrophysica*, 3(1), 171-177.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Kwiatkowski J., Grzelczyk M., 2005. Charakterystyka zrębków oraz peletów (granulatów) z biomasy wierzby i ślázowca jako paliwa. *Probl. Inż. Rol.*, 1, 13-22.
- Styk B., Styk W., 1994. Ślázowiec pensylwański – surowiec energetyczny. *Ann. UMCS*, s. E, 49, 85-87.
- Szabo B., Szabo M., Papp R., Karpat Z., Vagvolgyi S., 2010. A petemi (*Sida hermaphrodita* (L.) RUSBY) erzekenysegenek vizsgalata kulonbozo herbicid hatonyagokkal szemben. *Agrartudomanui Kozlemenyek*, 39, 89-92.
- Szyszlak J., Piekarski W., Krzaczek P., Borkowska H., 2006. Ocena wartości energetycznych ślázowca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny. *Inżynieria Rolnicza*, 6, 311-318.

- Tworowski J., Szczukowski S., Stolarski M., Kwiatkowski J., Graban Ł., 2014. Produktywność i właściwości biomasy ślazuwca pensylwańskiego jako paliwa w zależności od materiału siewnego i obsady roślin. *Fragm. Agron.*, 31(2), 115-125.
- Verga F., Rocca V., 2010. Green methodologies to test hydrocarbon reservoirs. *Am. J. Environ. Sci.*, 6(1), 1-10.
- Wardzińska K., 2000a. Wpływ rodzaju podłoża (gleba mineralna, osad pościekowy) na wzrost i rozwój ślazuwca pensylwańskiego. *Ann. UMCS, s. E*, 55, 63-74.
- Wardzińska K., 2000b. Plonowanie i pobieranie metali ciężkich przez ślazuwiec pensylwański w warunkach uprawy na glebie mineralnej i osadzie pościekowym. *Ann. UMCS, s. E*, 55, 75-87.

YIELDING AND ENERGY VALUE OF VIRGINIA FANPETALS IN RELATION TO THE LEVEL OF NITROGEN FERTILIZATION

Halina Borkowska¹, Roman Molas², Dominika Skiba¹, Halina Machaj¹

¹Faculty of Plant Production Technology and Commodity Science, University of Life Sciences
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin
e-mail: marborko@wp.pl

²Usida R&D, ul. Czardasza 12/2, 02-169 Warszawa

Abstract. A random blocks experiment was set up at the Experimental Farm Felin of the University of Life Sciences in Lublin. In the years 2005-2007 (third-fifth year of cultivation of Virginia fanpetals) a study was conducted on the effect of two levels of nitrogen fertilization (100 and 200 kg N ha⁻¹) on the structure elements and level of biomass yields. The heat of combustion was also determined, and on that basis the energy value of the biomass yield was calculated. The higher dose of nitrogen caused an increase in shoot height, thickness at the base, and shoot mass of Virginia fanpetals. There was also an increase in the number of shoots per meter square and in the yield of biomass (13.55 t ha⁻¹). At the heat of combustion of 18 MJ kg⁻¹ d.m. the highest energy value (299 GJ ha⁻¹) of the yield was obtained in the fifth year of use of the plantation, at the higher level of nitrogen fertilization.

Keywords: Virginia fanpetals, mineral fertilization, yield of biomass, heat of combustion, energy value of yield