Marek **Bury** · Teodor **Kitczak** · Ewa **Możdżer** · Hanna **Siwek** · Małgorzata **Włodarczyk**

Uprawa ślazowca pensylwańskiego [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby]

Wyniki produkcyjne, agrotechnika i wykorzystanie

Redakcja naukowa **Marek Bury i Teodor Kitczak**

Szczecin 2019

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Marek Bury, Teodor Kitczak, Ewa Możdżer, Hanna Siwek, Małgorzata Włodarczyk

Uprawa ślazowca pensylwańskiego [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby]. Wyniki produkcyjne, agrotechnika i wykorzystanie

Redakcja naukowa
Marek Bury, Teodor Kitczak

Szczecin 2019

Recenzenci
prof. dr hab. Marcin Kozak
prof. dr hab. Kazimierz Jankowski

Redakcja naukowa
Marek Bury, Teodor Kitczak

ISBN: 978-83-7663-229-2

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

SidaTim

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa

Monografia wykonana w ramach międzynarodowego projektu pt. „Novel Pathways of Biomass Production: Assessing the Potential of Sida hermaphrodita and Valuable Timber Trees", akronim SidaTim, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) w Warszawie w programie ERA-NET Co-FUND FACCE SURPLUS (HORIZON 2020), umowa FACCE SURPLUS/I/SidaTim/03/2016

Wydawnictwo Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie,
al. Piastów 48, 71-899 Szczecin, tel. 91 449 47 60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl
Druk: ZAPOL Sobczyk Sp. j., al. Piastów 42, 71-062 Szczecin

Pamięci kolegi, prof. dr. hab. Henryka Czyża,
członka naszego zespołu, który odszedł
w trakcie trwania projektu badawczego
(† 4.04.2018 r.)

| WSTĘP

W Polsce, według założeń przyjętej przez Sejm „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej", udział energii odnawialnej powinien osiągnąć 7,5% w 2010 r. i 14% w 2020. Realizacja założonego celu będzie wymagała, obok drewna opałowego i rolniczych produktów ubocznych, uprawy roślin przydatnych na cele energetyczne.

Gatunkami przydatnymi do pozyskiwania energii odnawialnej w naszych warunkach siedliskowych są: wierzba krzewiasta (*Salix sp.*), topola (*Populus sp.*), miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.), spartina preriowa (*Spartina pectinata*), mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea* L.), topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) czy ślazowiec pensylwański [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby].

Z wymienionych gatunków roślin w polskich warunkach siedliskowych i na najsłabszych kompleksach gleb tzw. marginalnych (nieuszczuplających powierzchni roślin rolniczych) ślazowiec pensylwański [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby]może być pożyteczną rośliną przydatną do produkcji biogazu, jak i biomasy energetycznej.

Przedstawione opracowanie jest wynikiem trzyletnich badań prowadzonych w ramach projektu SidaTim, pt. „Novel Pathways of Biomass Production: Assessing the Potential of Sida hermaphrodita and Valuable Timber Trees (Nowatorskie ścieżki produkcji biomasy: ocena potencjału Sida hermaphrodita i roślin drzewiastych)", finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie w ramach programu HORIZON 2020, ERA-NET Co-FUND FACCE SURPLUS (Sustainable and Resilient Agriculture for Food and Non-food systems), umowa FACCE SURPLUS/I/SidaTim/03/2016, w którym autorzy przedstawiają możliwość wykorzystania ślazowca pensylwańskiego [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby] jako surowca do produkcji biogazu i biomasy do spalania, uprawianego w warunkach gleby lekkiej.

dr hab. Marek Bury
dr hab., prof. ZUT Teodor Kitczak

SPIS TREŚCI

I. Pochodzenie, historia uprawy, rozmieszczenie geograficzne, biologia, wymagania siedliskowe i agrotechnika *Sida* 7

II. Warunki badań 13

III. Metodyka badań 16

IV. Morfologia i wzrost *Sida* (obsada roślin, wysokość i grubość roślin) 22

V. Wskaźniki fizjologiczne roślin *Sida* (LAI i SPAD) 31

VI. Plon fitomasy *Sida* na biogaz i biomasę 36

VII. Inwazyjność uprawy *Sida* 46

VIII. Wartość energetyczna plonu *Sida* 49

IX. Skład chemiczny fitomasy *Sida* (biogaz i biomasa) 52

X. Skład chemiczny gleby 72

XI. Opłacalność ekonomiczna uprawy *Sida* 75

XII. Podsumowanie 86

XIII. Piśmiennictwo 88

XIV. Spotkania robocze Grupy SidaTim 95

Streszczenie 102

Summary 105

Spis tabel 108

Spis rycin 109

Spis fotografii 110

I. POCHODZENIE, HISTORIA UPRAWY, ROZMIESZCZENIE GEOGRAFICZNE, BIOLOGIA, WYMAGANIA SIEDLISKOWE I AGROTECHNIKA *SIDA*

Rośliny były i są podstawowym surowcem do produkcji żywności, paszy, leków i produktów przemysłowych (np. oleju, włókna, cukru czy spirytusu) oraz od wieków były wykorzystywane do pozyskiwania energii, np. drewno na opał. Natomiast w latach 80. ubiegłego wieku pojawiło się określenie surowce odnawialne (ang. renewable resource, niem. nachwachsende Rohstoffe lub NaWaRo) oraz tzw. rośliny energetyczne.

Rośliny energetyczne są to gatunki roślin celowo uprawiane i wykorzystywane na typowe cele energetyczne, by częściowo zastąpić lub być dodatkiem do paliw pochodzenia kopalnego (oleju napędowego, benzyny, gazu ziemnego), jako źródło biomasy i biopaliw do produkcji energii cieplnej i/lub elektrycznej.

Spośród roślin energetycznych największym zainteresowaniem w Polsce cieszyły się wg wielu autorów (Borkowska, Styk 1997; Gajewski 2016; Gradziuk 2003; Jeżewski 2003, Kościk i Kalita 1999; Szczukowski i in. 2006, 2010) następujące gatunki:

- wierzba wiciowa (*Salix viminalis*),
- topola (*Populus sp.*),
- miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*),
- ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby).

Gatunki te cechują się wysoką wydajnością biomasy, o plonie suchej masy dochodzącym nawet do 30 Mg z 1 ha, a sprzyjające warunki klimatyczne w Polsce, zwłaszcza opady w zakresie od 500 do 700 mm w okresie wegetacji służą hodowli tych roślin (Budzyński i in. 2009; Gutowska 2007).

W Polsce wieloletnie uprawy energetyczne w 2010 r. zajmowały niewielką powierzchnię (ok. 10200 ha), co w odniesieniu do ogólnej powierzchni użytków rolnych naszego kraju stanowiło ok. 0,05% (GUS 2011). Ta powierzchnia zwiększyła się tylko nieznacznie w następnych latach, do ok. 13 630 ha w 2014 r. (Gajewski 2016), a obecnie brak jest miarodajnych danych odnośnie powierzchni zajmowanej przez wieloletnie rośliny energetyczne.

Ślazowiec pensylwański [*Sida* (*Napaea*) *hermaphrodita* (L.) Rusby], nazywany *Sidą* (od nazwy łacińskiej), malwą wirginijską (malwą wirgińską) lub malwą pensylwańską (ze względu na występowanie i pochodzenie) jest gatunkiem roślin zielnych wieloletnich (bylin) z rodziny ślazowate (*Malvaceae*). W pracy są stosowane te nazwy zamiennie: ślazowiec i *Sida*. Jego systematykę podano za USDA (2017) w tabeli 1. Ślazowiec pochodzi z Ameryki Północnej, Kanady (Stan Ontario) i północno-wschodnich terenów Stanów Zjednoczonych (USA), głównie Wirginii, Wirginii Zachodniej, Kentucky, Tennessee, Maryland, Pensylwanii, Connecticut, Massachusetts, Ohio, Indiana, Michigan, aż po Wielkie Jeziora (https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SIHE3), gdzie rośnie kępowo w miejscach otwartych, nasłonecznionych i wilgotnych, w pradolinach rzek i w pobliżu zbiorników wodnych (Spooner i in. 1985). W warunkach

naturalnych jest gatunkiem zagrożonym i narażonym na wyginięcie z powodu m.in. powodzi, sukcesji innych gatunków i niskiej zdolności kiełkowania (Thomas 1979).

Tabela 1. Systematyka ślazowca pensylwańskiego

Systematyka	Nazwa łacińska – nazwa polska
Domena	*Eukaryota* – Jądrowe
Królestwo	*Plantae* – Rośliny
Podkrólestwo	*Tracheobionta* – Rośliny naczyniowe
Nadgromada	*Spermatophyta* – Rośliny nasienne
Gromada	*Magnoliophyta* – Rośliny okrytonasienne
Podgromada	*Magnoliophytina (=Angiospermae)* – Rośliny okrytozalążkowe
Klasa	*Magnoliopsida (Rosopsida)* – Dwuliścienne
Podklasa	*Dilleniidae* – Ukęślowe
Rząd	*Malvales* – Ślazowce
Rodzina	*Malvaceae* – Ślazowate
Rodzaj	*Sida* L. – Ślazowiec
Gatunek	*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby – Ślazowiec pensylwański

Borkowska i Styk (2006) oraz Spooner i in. (1985) informują, że ślazowiec pensylwański do Europy został sprowadzony w 1930 r. z USA do ówczesnego Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich (ZSRR, obecnie Federacja Rosyjska) jako potencjalna roślina włóknista, która miała zastąpić jutę długoowockową (*Corchorus olitorius* L.). Następnie testowano jej przydatność jako rośliny paszowej i surowca dla przemysłu celulozowo-papierniczego. W Czechosłowacji (obecnie Czechy i Słowacja) i w Polsce ślazowiec pojawił się w latach 50. XX w. (Ust'ak 2008). Przydatność tego gatunku do celów paszowych w Polsce badał prof. Bolesław Styk z Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin Akademii Rolniczej (obecnie Uniwersytetu Przyrodniczego) w Lublinie. Szeroko zakrojone badania nad tym gatunkiem w aspekcie jego przydatności do różnych celów, w tym energetycznych, kontynuowała z prof. Stykiem prof. Halina Borkowska. Wyniki ich badań dotyczące tego gatunku zostały opublikowane w licznych artykułach naukowych (ok. 70).

Oprócz Polski, również na Ukrainie i w dawnej Czechosłowacji (obecnie Czechy i Słowacja) badania nad ślazowcem prowadzono najpierw w kierunku paszowego wykorzystania (Borkowska i Styk 2006, Ust'ak 2008), a później jako ciekawy gatunek roślin do wielokierunkowego zastosowania, m.in. jako roślinę włóknistą, miododajną, leczniczą i chroniącą przed erozją, do rekultywacji terenów zdegradowanych i zanieczyszczonych, do utylizacji osadów pościekowych, a od 1994 r. – jako gatunek roślin energetycznych (Styk i Styk 1994). Z różnych powodów uprawa *Sida*, mimo ciekawych wyników badań, nie spowodowała większego zainteresowania w praktyce.

Obecnie ślazowca uprawia się w Europie Środkowej, głównie w doświadczeniach eksperymentalnych w ośrodkach badawczych i na uniwersytetach, a niewielkie powierzchnie do celów produkcyjnych znajdują się w Austrii, Rumunii, na Litwie i Węgrzech oraz w Polsce (ca. 300 ha) i w Niemczech – ca. 100–150 ha (Nahm i Morhart 2018). W Polsce od 2004 r. zarejestrowana jest jedyna odmiana malwy pensylwańskiej „Petemi" (Numer P6 w Księdze Ochrony Wyłącznego Prawa), która podlega ochronie prawnej do 14.12.2029 r. (Diariusz 2011), ale brak jest informacji na temat powierzchni jej uprawy. Oprócz krajów Unii Europejskiej, odmianę *Sida* „Virginskaja-21" zarejestrowano na Ukrainie (Ust'ak 2008) oraz w Mołdawii – odmianę „Energo" (Titei 2015), ale i w tych krajach powierzchnia jej uprawy nie jest znana.

Ślazowiec pensylwański jest gatunkiem wieloletnim, może być uprawiany przez 15–20 lat w tym samym miejscu, ponieważ corocznie odrasta, tworząc w pierwszym roku zazwyczaj jedną łodygę, a w następnych latach wiele pędów (5–30) wyrastających z pączków wzrostowych na korzeniach, przyjmując pokrój krzaczasty (Borkowska-Królik i in. 1986; Borkowska i Styk 2006; Bury i Czyż 2007; Ust'ak 2008).

Sida posiada silnie rozwinięty i głęboko sięgający w głąb gleby (2,5–5,3 m) system korzeniowy palowy w przypadku rozwoju generatywnego z nasion (Borkowska i Styk 2006; Ust'ak 2008) i przybyszowy, rozmieszczony w górnej warstwie gleby, rosnący prawie poziomo pod powierzchnią gleby – w przypadku rozmnażania wegetatywnego (Borkowska i Styk 2006). System korzeniowy umożliwia roślinie przetrwanie okresów suszy, jednak przy zbyt małej ilości opadów, plony biomasy nadziemnej są zdecydowanie mniejsze (Bury i Czyż 2007). Na części korzeni bocznych, szczególnie w części przyłodygowej, tworzą się pączki wzrostowe, z których wiosną wyrastają nowe pędy.

Łodygi są długie, owalne w przekroju poprzecznym o średnicy ok. 5–40 mm, często puste w środku, barwy jasnozielonej lub z zabarwieniem antocyjanowym. Wysokość pędów pod koniec okresu wegetacji zależy w dużej mierze od siedliska (gleby) i warunków meteorologicznych, zwłaszcza opadów, i w pierwszym roku może wynosić już ok. 1–3 m, a przekraczać nawet 4,5 m w kolejnych latach uprawy (Bury i Czyż 2007).

Pędy *Sida* są dobrze ulistnione. Ust'ak (2008) podaje, że średnio na roślinie znajduje się w okresie kwitnienia i dojrzewania od 22 do 35 liści, a nawet może być ich 40–60. Liście na długich (8–20 cm) i sztywnych (φ 1–3 mm) ogonkach liściowych są osadzone skrętolegle na łodydze, mają kształt dłoniasto-klapowy i przypominają z wyglądu liście klonu. Wielkość blaszki liściowej może być znaczna i dochodzić nawet do 35 cm szerokości i 30 cm długości (Borkowska-Królik i in. 1986; Borkowska i Styk 2006). Natomiast Ust'ak (2008) stwierdza, że szerokość blaszki liściowej wynosi 8–25 cm, a jej długość 7,5–19 cm w zależności od położenia na roślinie. U dołu łodygi liście są szersze niż dłuższe, podczas gdy w górnej części długość liści jest taka sama jak szerokość lub nawet większa. Brzegi blaszki liściowej są powcinane, przy czym charakteryzują się dużą zmiennością głębokości wcięć. Ich powierzchnia może być gładka lub omszona. Liście ślazowca mają różną barwę, od intensywnie ciemnozielonej, przez jasnozieloną, po seledynowożółtą. Zwłaszcza po ruszeniu wegetacji wiosną spotyka się dużą liczbę roślin o liściach bladozielonych i żółtych, które z czasem zmieniają kolor na zielony.

Roślina kwitnie długo i obficie przez ok. 6–10 tygodni w okresie od trzeciej dekady czerwca do połowy września, a pojedyncze kwiaty kwitną aż do przymrozków. Pełnia kwitnienia przypada z reguły na drugą dekadę lipca. Kwiaty są drobne, obupłciowe, koloru białego, zebrane w podbaldachy, wyrastające na wierzchołku pędów i z kątów górnych liści. Kwitnące rośliny ślazowca są chętnie oblatywane przez pszczoły, trzmiele i inne owady zapylające, ze względu na obfite ich nektarowanie i dużą ilość pyłku. Według Borkowskiej i Styka (2006) w pojedynczym kwiecie znajdują się średnio 43 pręciki. Wydajność miodowa wynosi 280 kg·ha^{-1} (Jabłoński i Kołtowski 2005) i jest dwa razy większa niż wydajność miodowa rzepaku ozimego (140 kg wg Kołtowskiego 2002), natomiast wydajność pyłkowa wynosi 121 kg·ha^{-1} (Kolasa i Wróblewska 1987).

Owocem *Sida* są rozłupnie, które zawierają od 5 do 9 nasion barwy brązowej: od jasnobrązowej, poprzez szarobrązową, do ciemnobrązowej, a nawet czarnej. Nasiona są drobne, okrągłe, owalne do nerkokształtnych o długości 2,2–3,0 mm, szerokości od 2,0 do -2,5 mm i grubości 1,1–1,8 mm (Ust'ak 2008).

Masa tysiąca nasion wg Ust'ak (2008) wynosi od 3,50 do 3,82 g (średnio 3,59 g), a wg Borkowskiej i Styka (2006) od 3,0 do 4,2 g. Nasiona nie osypują się i trudno wymłacają (Borkowska i Styk 2006), więc istnieje małe ryzyko samoistnego rozprzestrzeniania się tego gatunku w środowisku. Wskutek długiego okresu kwitnienia i dojrzewania na jednej roślinie występują zarówno rozłupnie z nasionami dojrzałymi w pełni wykształconymi, jak i rozłupnie z nasionami niedojrzałymi oraz kwitnące kwiaty. Poza tym występują tzw. nasiona twarde, które nie kiełkują mimo optymalnych warunków siedliskowych. Nasiona ślazowca bezpośrednio po zbiorze słabo kiełkują i maksymalną zdolność kiełkowania uzyskują dopiero po ok. 6–12 miesiącach od zbioru. Zbyt długie przechowywanie prowadzi do stopniowego, ale dość szybkiego spadku zdolności kiełkowania. Na ogół materiał siewny cechuje się niską zdolnością kiełkowania i dlatego należy sprawdzić ich zdolność przed wysiewem.

Okres wegetacji *Sida* w latach pełnego użytkowania trwa od ruszenia wegetacji wiosną (w pierwszej lub drugiej dekadzie kwietnia) do połowy/końca października w zależności od warunków klimatycznych. Ten okres wynosi w Czechach 145–160 dni (Ust'ak 2008). Suma temperatur efektywnych do pełnej dojrzałości nasion wynosi 2500–2800°C (Ust'ak 2008). Dla ślazowca opracowano skalę wzrostu i rozwoju do identyfikacji faz fitofenologicznych w systemie dziesiętnym (Jablonowski i in. 2017), podobnie jak do innych roślin uprawnych.

Ślazowiec jako roślina wieloletnia jest uprawiana poza zmianowaniem na polu wypadającym, nadaje się do uprawy we wszystkich rejonach kraju i wykazuje sporą odporność na skrajne temperatury, zarówno niskie (poniżej -25°C), jak i wysokie. Rośnie na wszystkich rodzajach gleb, nawet na piaszczystych zaliczanych do V klasy bonitacyjnej, z tym, jak podaje Borkowska i Styk (2004, 2006), muszą być one dostatecznie uwilgotnione. Może być również uprawiany na glebach zdegradowanych, zerodowanych, zanieczyszczonych chemicznie wskutek działalności człowieka. Ale im słabsza i mniej urodzajna jest gleba, tym mniejszą wytwarza biomasę i mniejsze są plony (Ust'ak 2008). Ważny jest też odczyn gleby, który nie powinien być kwaśny i dlatego w przypadku, gdy wartość pH jest mniejsza od 5,5 należy zastosować wapnowanie (Ust'ak 2008).

Główne zalecenia dotyczące agrotechniki ślazowca związane są z jego wymaganiami siedliskowymi, pokarmowymi oraz posiadanym parkiem maszynowym. Gleba powinna być odpowiednio przygotowana, zapewniając dobre warunki do wzrostu ślazowca. Młodym roślinom do prawidłowego rozwoju niezbędne jest światło, ponieważ ślazowiec długo kiełkuje, a wschody obserwuje się wiosną po 17–25 dniach (Ust'ak 2008), słabo też konkuruje z innymi roślinami. Należy ograniczyć zachwaszczenie poprzez dobre przygotowanie pola do siewu lub sadzenia, a także niszczyć pojawiające się chwasty, które zacieniają młode rośliny zwłaszcza w początkowym okresie wzrostu. Odchwaszczanie ma największe znaczenie tylko w pierwszym roku prowadzenia plantacji, ponieważ później duży przyrost masy zielonej oraz długi okres zacienienia wręcz uniemożliwia rozwój chwastów.

Ślazowiec pensylwański rozmnaża się generatywnie poprzez nasiona i wegetatywnie przez sadzonki korzeniowe – fragmenty korzeni lub sadzonki zielne (fragmenty pędów naziemnych). Można też wykorzystać sadzonki roślin wysianych uprzednio w doniczkach. Sposoby zakładania plantacji związane są z dostępnym na rynku materiałem siewnym/rozmnożeniowym *Sida* i jego ceną.

W przypadku siewu bezpośrednio do gruntu stosuje się nasiona o dostatecznej zdolności kiełkowania lub częściej nasiona skaryfikowane (o uszkodzonej okrywie nasiennej) albo stratyfikowane (moczone), ponieważ twardość nasion ślazowca może powodować niski procent wschodów. Odcinki korzeni, fragmenty pędów i ukorzenione sadzonki w doniczkach torfowych wysadza się ręcznie lub maszynowo (sadzarkami). Rośliny rozmnożone wegetatywnie charakteryzują się szybszym rozwojem niż te wysiane bezpośrednio do gruntu i w pierwszych latach dają większe plony. Po około trzech latach tempo wzrostu ulega wyrównaniu (Borkowska i Styk 2006). Rozstawa rzędów w przypadku ślazowca, uprawianego na cele energetyczne i nasienne, wg Borkowskiej i Styka (2006) powinna wynosić 60–70 cm, co ułatwia późniejsze zabiegi pielęgnacyjne, natomiast Ust'ak (2008) proponuje również szerszą rozstawę, ale w zakresie od 36 do 72 cm.

Zalecana ilość wysiewu zależy od jakości nasion, zdolności kiełkowania i w optymalnych warunkach agroekologicznych powinna wynosić wg Borkowskiej i Styka (1994, 2004, 2006) ok. 2 kg·ha^{-1} nasion (1,2–2,4 kg·ha^{-1}), ale ze względu na niedostatek wilgoci w glebie, zaskorupienie, niskie temperatury autorzy zalecają zwiększyć ilość wysiewu do 5–6 kg·ha^{-1}. Podobną ilość wysiewu zaleca Ust'ak (2008) w Czechach. Autorzy twierdzą, że nawet w ten sposób uzyskane duże początkowe zagęszczenie siewek osiągnie optimum przed zakończeniem wegetacji w wyniku przepadania słabszych roślin. Minimalna obsada roślin powinna wynosić 30 000 szt. na 1 ha (Borkowska i Styk 2004).

Do siewu wykorzystany może być siewnik rzędowy zbożowy lub pneumatyczny buraczany. Stosując siewnik zbożowy najlepiej jest wymieszać nasiona ślazowca z trocinami lub kaszą manną, aby siew był równomierny. Nasiona powinny być wysiane na głębokość 1–1,5 cm (Borkowska i Styk 1994, 2004, 2006), a Ust'ak (2008) precyzuje, że na glebach średnich i cięższych głębokość siewu powinna wynosić 0,5–1,0 cm, natomiast na glebach lekkich 2–3 cm.

W przypadku rozmnażania wegetatywnego stosuje się najczęściej sadzenie ręczne lub półautomatyczne (np. przy użyciu sadzarki do kapusty, ziemniaków, do drzew). Sa-

dzonki korzeniowe (8–10 cm odcinki korzeni) wysadza się na głębokość 6–8 cm w rozstawie jak dla ziemniaka, tj. w rzędy, co 75 cm i w rzędzie, co 25–35 cm (Bury i Czyż 2007) lub co 24–48 cm przy 70 cm rozstawie rzędów albo co 28–56 cm, jeśli międzyrzędzia zmniejszy się do 60 cm (Borkowska i Styk 2004, 2006). Natomiast Wardzińska (2000) uzyskała największe plony wysadzając 100 000 sadzonek korzeniowych na 1 ha.

Możliwe jest również wg Borkowskiej i Styka (2006) rozmnażanie ślazowca przez sadzonki (sztobry) zielne, długości 15–20 cm, otrzymywane z zielonych łodyg w okresie od maja do lipca i ukorzeniane w kontrolowanych warunkach, które wysadza się następnie na polu jesienią, po zakończeniu wegetacji, lub wczesną wiosną.

Plantacje warto założyć przez wysadzenie rozsady uzyskanej z nasion lub w wyniku mikrorozmnażania (kultury in vitro), bowiem gwarantuje to prawie 100% powodzenie uprawy.

Termin siewu i sadzenia sadzonek korzeniowych przypada wg Borkowskiej i Styka (2006) w trzeciej dekadzie kwietnia, gdy temperatura gleby wynosi 8–10°C, lub w maju, natomiast rozsada uzyskana z nasion powinna zostać wysadzona po późnych przymrozkach, w drugiej połowie maja. Podobny termin siewu (druga–trzecia dekada kwietnia) zaleca Ust'ak (2008) dodając, że możliwy jest również siew jesienią, w trzeciej dekadzie października i w pierwszej dekadzie listopada, bowiem nasiona przejdą naturalną stratyfikację w okresie zimy.

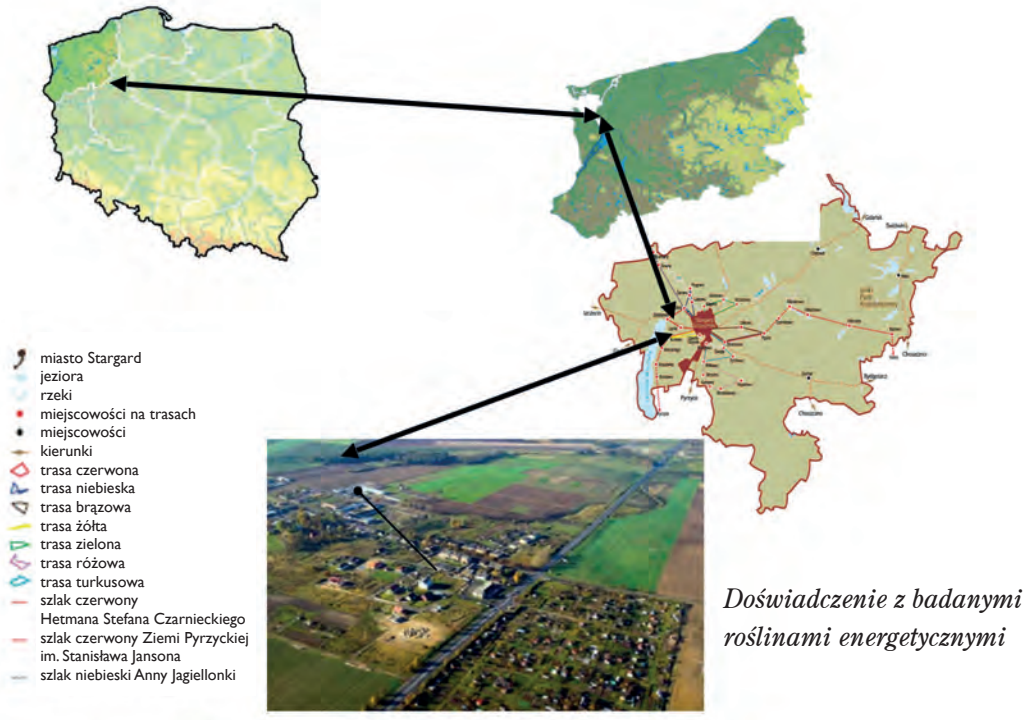
Pielęgnacja ślazowca polega głównie na ograniczeniu zachwaszczenia w okresie od siewu do zakrycia międzyrzędzi. Przeprowadza się ją z reguły mechanicznie, wykorzystując szerokie międzyrzędzia. Chemiczna pielęgnacja w Polsce na razie jest niemożliwa ze względu na brak herbicydów zalecanych do stosowania na plantacjach oraz niewskazana ze względu na dużą wrażliwość siewek ślazowca na herbicydy zwalczające chwasty dwuliścienne. Przeciwko chwastom jednoliściennym w innych krajach można stosować ogólnie dostępne graminicydy, np. fluazyfop-P-butylowy (Fusilade forte 150EC), chizalofop-P-etylowy (np. Targa super 05EC) czy Haloksyfop-P (Gallant super 104EC), gdy chwasty mają wysokość ok. 5–15 cm (Ust'ak 2008).

Brak jest doniesień dotyczących szkodników ślazowca zarówno w Polsce, jak i w innych krajach, natomiast z chorób grzybowych na uwagę zasługuje zgnilizna twardzikowa (*Sclerotinia sclerotiorum – anamorph*). Skutkiem choroby jest przedwczesne zamieranie całych roślin. Objawy mogą pojawiać się na wszystkich częściach rośliny. Grzyb *S. sclerotiorum* jest patogenem polifagicznym o dużym zróżnicowaniu genetycznym, co znacznie utrudnia opracowanie właściwych metod ograniczania zgnilizny twardzikowej. Źródłem choroby mogą być sklerocja oraz zarodniki workowe (Remlein-Starosta 2007). Nie stwierdzono jednak negatywnego wpływu tej choroby na plonowanie ślazowca i na masowe występowanie tej choroby.

II. WARUNKI BADAŃ

Lokalizacja badań

Badania prowadzono w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w miejscowości Lipnik (N 53°20'35.8", E 14°98'10.8") na terenie gminy Stargard (ryc. 1, fot. 1) – oddalonej w odległości 35 km na południowy wschód od Szczecina, w sąsiedztwie drogi krajowej numer 10.



Doświadczenie z badanymi roślinami energetycznymi

Ryc. 1. Rolnicza Stacja Doświadczalna w Lipniku (http://www.stargard.pl)

Fot. 1. Rolnicza Stacja Doświadczalna w Lipniku – zdjęcie lotnicze (http://www.gmina.stargard.pl)

Teren Rolniczej Stacji Doświadczalnej położony jest na Równinie Pyrzycko-Stargardzkiej, na wysokości 25 m n.p.m., na pograniczu zlewni rzek Płoni i Iny. Pod względem geologicznym skałą macierzystą gleb są utwory moreny dennej ostatniego bałtyckiego zlodowacenia (Niedźwiecki i Koźmiński 1994).

Warunki glebowe

Doświadczenie polowe założono na glebie brunatno-rdzawej kwaśnej, wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego, średnio głęboko zalegającego na glinie lekkiej (5 Bw pgl:gl). Według Kitczaka (2008) odznaczała się ona w poziomie Ap małą zawartością próchnicy (1,36–1,41%) i części spławianych (11–13%), a poziom wody gruntowej znajduje się poniżej 3 m. Glebę zaliczono do klasy bonitacyjnej – IVa, kompleksu żytniego dobrego (5) i kategorii agronomicznej – gleba lekka, która wg Zawadzkiego (2002) jest wrażliwa na suszę.

Warunki pogodowe

Przebieg warunków meteorologicznych w latach badań był zróżnicowany. Lata, w których zostały przeprowadzone badania były o dość specyficznym przebiegu pogody w porównaniu do średnich z wielolecia. Należy zwrócić szczególną uwagę na sumę opadów atmosferycznych, mającą zapewne duży wpływ na plon i jego jakość. Suma opadów w roku założenia doświadczenia (2016) wyniosła 473,7 mm, a w trzecim roku badań (2018) była mniejsza – 441,6 mm. Były to ilości dość niskie w porównaniu do średniorocznej sumy zmierzonej w wieloleciu – 536 mm w ciągu roku. Natomiast suma opadów atmosferycznych w drugim roku badań była duża i wynosiła ponad 832 mm. Był to rok z dużą ilością opadów, zwłaszcza w okresie od maja do września, kiedy spadło 465 mm, czyli tyle ile spadło w 2016 i w 2018 r.

W okresie wegetacyjnym (kwiecień–październik) suma opadów atmosferycznych wynosi dla wielolecia 359 mm, natomiast w sezonie 2018 r. (trzeci sezon) była najmniejsza (253 mm) i bardzo nierównomiernie rozłożona. Natomiast w drugim roku badań (2017) ilość opadów była bardzo wysoka i przekraczała sumę z wielolecia o 273,2 mm. Największą ilość opadów atmosferycznych w trakcie tego sezonu wegetacyjnego odnotowano w lipcu 2017 r. (180,3 mm) oraz najmniejszą we wrześniu tego samego roku (23,8 mm). Natomiast w sezonie wegetacyjnym 2016 r. suma opadów była większa o ok. 50 mm w porównaniu do sezonu 2018, ale mniejsza o ponad 50% w porównaniu z sezonem 2017 r. (tab. 2).

Tabela 2. Suma opadów na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w latach 2016–2019 na tle wielolecia (1981–2010)

Miesiąc	Suma opadów w latach [mm]				Średnia suma z wielolecia
	2016	2017	2018	2019	
Styczeń	32,6	25,4	66,5	36,4	35
Luty	34,5	38,1	6,7	32,1	26
Marzec	25,7	39,6	39,1	37,5	34
Kwiecień	25,7	38,8	29,1	35,5	38
Maj	43,7	91,8	38,5	68,5	52
Czerwiec	70,6	116,7	24,8	35,0	62
Lipiec	68,7	180,3	117,2	22,0	67
Sierpień	41,2	76,2	12,9	-	54
Wrzesień	9,7	23,8	14,7	-	47
Październik	45,1	87,0	16,2	-	39
Listopad	50,5	67,8	5,9	-	41
Grudzień	25,7	46,9	70,0	-	41
Suma roczna	**473,7**	**832,4**	**441,6**	**-**	**536**
Suma w okresie wegetacji (IV–X)	**304,7**	**614,6**	**253,4**	**-**	**359**

Z analizy przebiegu temperatury powietrza w okresie badań wynika, że we wszystkich latach badań stwierdzono wyraźnie wyższe temperatury powietrza niż w wieloleciu 1981–2010 (tab. 3). Wszystkie lata były wyraźnie cieplejsze od wielolecia. Średnia roczna temperatura powietrza w 2016 i 2017 r. była wyższa o 1,9°C, a w 2018 r. aż o 3,1°C w porównaniu z wieloleciem 1981–2010. Średnia temperatura powietrza dla okresu wegetacji (IV–X) była również wyraźnie wyższa w porównaniu ze średnią temperaturą z wielolecia. W sezonie 2017 r. (drugi rok badań) średnia temperatura powietrza była wyższa o 1,7°C, w 2016 r. – o 2,2°C i w sezonie 2018 r. średnia temperatura była wyższa aż o 3,5°C (tab. 3). Szczególnie sezon wegetacji 2018 r. był znacznie cieplejszy (o 1,8°C) w porównaniu z sezonem IV–X 2017 r. Należy przy tym podkreślić, że suma opadów w tym roku (2018) była dużo mniejsza niż w 2017 r. i bardzo nierównomiernie rozłożona, co miało wpływ na wzrost i rozwój ślazowca pensylwańskiego.

Tabela 3. Przebieg średniej temperatury powietrza na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w latach 2016–2019 na tle wielolecia (1981–2010)

Miesiąc	Temperatura powietrza w latach [°C]				Średnia z wielolecia
	2016	2017	2018	2019	
Styczeń	-1,2	-0,1	2,5	-1,3	-1,3
Luty	3,2	1,2	0,4	3,5	-0,7
Marzec	4,2	6,2	2,6	6,4	2,7
Kwiecień	8,9	8,0	13,0	11,5	7,2
Maj	16,9	14,7	16,7	12,0	12,5
Czerwiec	19,2	18,5	18,6	21,5	16,6
Lipiec	19,4	18,5	20,1	19,0	17,6
Sierpień	18,2	19,4	20,5	-	17,4
Wrzesień	17,1	14,2	15,4	-	13,2
Październik	8,8	11,4	13,4	-	8,6
Listopad	3,9	6,2	8,4	-	3,8
Grudzień	2,7	3,4	3,7	-	0,4
Średnia roczna	**10,1**	**10,1**	**11,3**	-	**8,2**
Średnia w okresie wegetacji (IV–X)	**15,5**	**15,0**	**16,8**	-	**13,3**

| III. METODYKA BADAŃ

Badania polowe realizowano w oparciu o dwa doświadczenie przeprowadzone w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku, koło Stargardu, w latach 2016–2018, Doświadczenia założono w maju/czerwcu 2016 r., w układzie podbloków losowanych split-plot, w czterech replikacjach, o powierzchni jednego poletka – 16 a do zbioru 12,6 m^2.

Badania obejmowały dwa doświadczenia. **Doświadczenie 1** dotyczyło produkcji biomasy z przeznaczeniem do produkcji biogazu, **doświadczenie 2** – produkcji biomasy stałej do spalania w kotłach. Zmiennymi badań był sposób zakładania plantacji:

- siew nasion,
- sadzenie ukorzenionych sadzonek roślin.

Rośliny w **doświadczeniu 1** zbierano raz w roku założenia doświadczenia (2016) w końcowym okersie wegetacji roślin, natomiast w latach pełnego użytkowania (2017 i 2018) dwukrotnie, w terminach:

- pierwszy – w fazie wytwarzania pąków kwiatowych (koniec czerwca) w fazie 55 w skali BBCH za Jablonowski i in. (2017),
- drugi – w fazie wytwarzania pąków kwiatowych na przełomie września i października w fazie 55 w skali BBCH za Jablonowski i in. (2017).

Rośliny w **doświadczeniu 2**, które zaplanowano do produkcji biomasy przeznaczonej na cele energetyczne, zbierano na początku marca (tj. 2017, 2018 i 2019) w fazie 98 w skali BBCH za Jablonowski i in. (2017).

Przedplonem pod uprawę roślin *Sida* był jęczmień jary zbierany na ziarno. Po zbiorze przedplonu zastosowano tradycyjny sposób uprawy mechanicznej gleby (podorywka, zespół uprawek pożniwnych i orka przedzimowa). Wiosną 2016 r. zastosowano agregat uprawowy doprawiający glebę przed siewem i sadzeniem roślin. Nawożenie przedsiewne wynosiło: N-100, P-35 (80-P_2O_5) i K-110 (120-K_2O) kg·ha^{-1}. Nasiona malwy (fot. 2) po przeliczeniu na 100% zdolności kiełkowania wysiano w ilości – 3 kg, ha^{-1}, w rozstawie rzędów, co 45 cm, na głębokość ok. 1 cm, siewnikiem rzędowym (fot. 3–5). Sadzenie roślin przeprowadzono w obsadzie 44 000 szt. na 1 ha (fot. 6–8). Na wszystkich obiektach badań przed zwarciem rzędów zostało zastosowane odchwaszczenie mechaniczne opielaczem międzyrzędowym (fot. 9 i 10), w rzędach – ręcznie haczką. W kolejnych latach badań odchwaszczanie nie było potrzebne.

Podczas wegetacji rejestrowane były warunki meteorologiczne (temperatura powietrza i suma opadów atmosferycznych) oraz fazy rozwojowe testowanych gatunku roślin. W czasie zbiorów określano plon surowej (świeżej) i suchej masy roślin oraz pobierano reprezentatywne próby do określenia w nich oznaczeń chemicznych (które zostaną podane i omówione w dalszej części pracy).

Fot. 2. Nasiona *Sida*

Fot. 3. Siew roślin *Sida* siewnikiem poletkowym rzędowym typu Řyord

Fot. 4. Początek wschodów roślin *Sida* uprawianych z nasion

Fot. 5. Wschody roślin *Sida* uprawianych z nasion

Fot. 6. Sadzonka *Sida*

Fot. 8. Rozsada i rośliny *Sida* po wysadzeniu

Fot. 8. Rośliny *Sida* w pierwszych dniach po wysadzeniu

Fot. 9. Poletko przed odchwaszczeniem

Fot. 10. Poletko po odchwaszczeniu

W materiale roślinnym w każdym roku badań oznaczono:
- obsadę roślin na 1 m^2,
- liczbę pędów na jednej roślinie (średnia wartość z 10 losowo wytypowanych roślin z poletka),
- wysokość roślin (pędów na 10 roślinach z poletka),
- średnicę łodyg/pędów (na 10 roślinach z poletka),
- indeksy powierzchni asymilacyjnej (LAI) i zieloności liści (SPAD),
- plon świeżej (surowej) i strukturę plonu,
- plon suchej masy określono na podstawie zawartości suchej masy w zielonce i plonu świeżej masy (po wysuszeniu 2 kg próbek zielonki pobranej z każdego powtórzenia w temperaturze 105°C do uzyskania stałej masy).

Niezależnie od przeznaczenia energetycznego roślin, oznaczono w nich wilgotność analityczną, zawartość popiołu po spaleniu oraz C, N, S, P, Mg, Ca, K. Do badań przygotowano próbki rozdrobnionego materiału roślinnego o frakcji poniżej 0,2 mm. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach. Poszczególne wartości składu chemicznego wykonano posługując się następującym metodami:
- suchą masę metodą suszarkową w temperaturze 105°C, wg: PN 88/R04013,
- zawartość C, S, N wykonano na analizatorze elementarnym CNS firmy Coestech,
- wartość opałową – wg PN 81/G-04513, oznaczono w kalorymetrze IKA C 2000 w oparciu o metodę dynamiczną,
- zawartość fosforu ogólnego metodą kolorymetryczną żółtą molibdenowo-wanadową wg Gołachowskiej, po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasu azotowego (V) HNO_3 i kwasu chlorowego (VII) $HClO_4$ w stosunku 3:1, pomiar absorpcji wykonano przy długości fali 390 nm,
- potas i wapń ogólny – metodą fotometrii płomieniowej po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie (3:1) kwasów azotowego (V) HNO_3 i chlorowego (VII) $HClO_4$,
- wilgotność analityczną wg PN-80/G-04511 metoda suszarkową,
- zawartość popiołu – wg PN-80/G-04512 w piecu muflowym ogrzanym do temperatury 815°C,
- zawartość Mg, Ca i K metodą Absorpcyjnej Spektrometrii Atomowej, po mineralizacji próbek roślinnych w mieszaninie kwasów HNO_3 i $HClO_4$,
- białko surowe wg PN-EN ISO 20483:2014-02,
- tłuszcz surowy wg PN-EN-ISO-11085:2010-U,
- włókno surowe wg PN-EN ISO 6865:2002,
- zawartość związków bezazotowych wyciągowych (BAW).

Analizy chemiczne gleby przed założeniem i po zakończeniu doświadczenia obejmowały:
- suchą masę – metodą suszarkową wg: PN-75-04616/01,
- pH w 1 M KCl – potencjometrycznie wg: PN-ISO 10390,

- N, C i S oznaczono na analizatorze elementarnym CNS firmy Coestech,
- fosfor ogólny – metodą kolorymetryczną Bartona po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasów azotowego (V) HNO_3 i nadchlorowego (VII) $HClO_4$ w stosunku 1:1,
- potas i wapń ogólny – metodą spektrofotometrii płomieniowej, po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie (1:1) kwasów azotowego (V) HNO_3 i nadchlorowego (VII) $HClO_4$,
- magnez ogólny – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie kwasu azotowego (V) HNO_3 i nadchlorowego (VII) $HClO_4$ w stosunku 1:1,
- fosfor i potas przyswajalny wg: PN-R-04022/Az1,
- magnez przyswajalny wg: PN-R-04020/Az1.

Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie wykorzystując klasyczną analizę wariancji (ANOVA) za pomocą programu Analwar 4,1® (opracowanego przez prof. Franciszka Rudnickiego). Analizy statystyczne składu chemicznego *Sida* opracowano przy użyciu programu Statistica 10.0 dla Windows, za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Istotność zróżnicowania wyników określono testem Tukey'a na poziomie $p \leq 0{,}05$.

IV. MORFOLOGIA I WZROST *SIDA* (OBSADA ROŚLIN, WYSOKOŚĆ I GRUBOŚĆ ROŚLIN)

Wstęp

Plantację gatunku *Sida* można zakładać z bezpośredniego wysiewu nasion do gruntu lub z rozsady ukorzenionych roślin. Materiał siewny można też pozyskiwać z sadzonek korzeniowych (fot. 11 i 12) lub sadzonek pochodzących z mikrorozmnażania w warunkach in vitro.

Fot. 11. Sadzonki wegetatywne z odcinków korzenia *Sida*

Fot. 12. „Karpa" – system korzeniowy *Sida*

Zakładanie plantacji poprzez wysiew nasion jest najmniej pracochłonnym zabiegiem, ale z powodu problemów z kiełkowaniem nasion ślazowca oraz znacznych rozbieżności między zdolnością kiełkowania a wschodami, trudno jest uzyskać planowa-

ną obsadę roślin. Niska zdolność kiełkowania wynika między innymi z występowania w materiale siewnym „nasion twardych". Charakteryzują się one występowaniem nieprzepuszczalnej okrywy nasiennej dla wody i gazów. Nasiona twarde występują również w innych gatunkach roślin, co świadczy o braku uszlachetnienia nasion w procesie hodowlanym (Borkowska i Styka 1994, Grzesik i Romanowska-Duda 2009).

Z nasion ślazowca wysianych w szklarni w odpowiednio przygotowane podłoże można uzyskać rozsadę, którą następnie wysadza się w polu. Takie zakładanie plantacji jest bardzo pracochłonne, ale pozwala na uzyskanie pożądanego zagęszczenia roślin. Wysadzona rozsada w korzystnych warunkach meteorologicznych szybko rośnie, tworzy zwarty łan i zmniejsza ryzyko silnego zachwaszczenia plantacji (Borkowska i Molas 2008, 2012).

Można również zakładać plantację z 8–10-centymetrowych fragmentów korzeni ślazowca z pączkami wzrostowymi lub z podziału karpy rośliny. Prawidłowo wysadzone sadzonki charakteryzują się szybkim tempem wzrostu, tworzą masywne pędy i silny system korzeniowy, na co zwracają w swich pracach Borkowska i Wardzińska (1999), Borkowska i Styk (2006) oraz Bury i Czyż (2007).

Wyniki badań

Obsada roślin *Sida* uprawianej z siewu nasion była średnio ponad trzykrotnie wyższa niż roślin wysadzonych z rozsady (tab. 4). Oceniając obsadę roślin wysiewanych siewnikiem do gruntu należy stwierdzić, iż była ona największa w pierwszym roku badań i wynosiła ponad 220 000 szt. na 1 ha. Duże zagęszczenie roślin było wynikiem dobrego materiału siewnego o dużej zdolności kiełkowania (ok. 65%), dobrego przygotowania pola do siewu i płytkiego umieszczenia nasion w glebie (ok. 1,5 cm) oraz korzystnego układu warunków meteorologicznych (głównie wysoka temperatura gleby i dobrze rozłożone opady atmosferyczne, średnia temperatura powietrza w maju 2016 r. była o 4,4°C wyższa niż w wieloleciu – tab. 3). W drugim roku badań obsada roślin zmniejszyła się znacznie (o 40,9%), co związane było głównie z samoregulacją łanu (konkurencja o światło, wodę i składniki pokarmowe) i uszkodzeniami podczas zbioru mechanicznego. Niewielkie straty spowodowała też zgnilizna twardzikowa, która wystąpiła w niewielkim nasileniu (ok. 1%). W trzecim roku badań nastąpiła dalsza redukcja z obsady roślin. W porównaniu do drugiego roku była ona niższa o 7,3%, natomiast w porównaniu do obsady z pierwszego roku, zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni zmniejszyło się o 34,2%. Obsada wynosiła 146 000 roślin na 1 ha i była kilkakrotnie większa (prawie pięciokrotnie) niż zalecana m.in. przez Borkowską i Styka (2004) – 30 000 roślin. Często przyczyną niskiej obsady roślin przy zakładaniu plantacji metodą siewu, zdaniem Borkowskiej i Styka (1994) oraz Grzesik i Romanowskiej-Dudy (2009), jest niska zdolność kiełkowania nasion w roku siewu, która wynika między innymi z występowania w materiale siewnym „nasion twardych" charakteryzujących się występowaniem nieprzepuszczalnej okrywy nasiennej dla wody i gazów.

Obsada roślin wysadzanych bezpośrednio do gruntu była stabilna w pierwszym i drugim roku badań, natomiast w trzecim roku obsada uległa niewielkiemu zmniej-

szeniu o 2,7%. Podobne wyniki wypadnięcia znacznej ilości roślin wysiewanych do gruntu, niż wysadzanych, stwierdzili w swoich badaniach Tworkowski i in. (2014). Obsada roślin ślazowca pensylwańskiego powinna wynosić 20 000–60 000 roślin na 1 ha, gdy jest uprawiany na dobrych glebach z przeznaczeniem na biomasę. Borkowska i Wardzińska (1999) oraz Szyszlak i in. (2006) stwierdzają, że większa ilość wysiewu nasion ślazowca pozwala na uzyskanie wyższego plonu i lepszą jego jakość.

Tabela 4. Obsada roślin *Sida* (szt. m^{-2}) w zależności od sposobu założenia plantacji w latach badań

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	22,20	4,40	13,30
2017	15,75	4,40	10,08
2018	14,60	4,28	9,44
Średnia z lat 2016–2018	**17,52**	**4,36**	**10,94**

Analizując liczbę pędów wytworzonych przez jedną roślinę *Sida* (tab. 5) można stwierdzić, że była ona bardzo zróżnicowana w kolejnych latach badań w zależności od sposobu zakładania plantacji (siew, sadzenie) oraz przeznaczenia (biogaz i biomasa).

Tabela 5. Liczba pędów (szt.) na jednej roślinie *Sida* w zależności od sposobu założenia plantacji w latach badań

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
Rośliny zbierane na biogaz			
2016	1,25	1,50	1,38
2017	6,83	6,98	6,90
2018	8,70	10,38	9,54
Średnia z lat 2016–2018	**5,59**	**6,28**	**5,94**
Rośliny zbierane na biomasę			
2016	1,25	1,50	1,38
2017	4,73	5,18	4,95
2018	7,60	8,05	7,83
Średnia z lat 2016–2018	4,53	4,91	4,72

W pierwszym roku badań niezależnie od tego czy rośliny ślazowca były wykorzystywane do produkcji biogazu, czy do bezpośredniego spalania, to wytwarzały podobną ilość pędów (średnio 1,38 szt.), co jest związane z biologią tego gatunku. Ślazowiec wykształca w pierwszym roku jedną, a czasem dwie łodygi. Natomiast sposób zakładania plantacji wpłynął na zróżnicowanie liczby pędów już w roku założenia plantacji. Wysadzenie ukorzenionej rozsady spowodowało, że liczba pędów na jednej roślinie była większa o 20% od liczby pędów, które wytworzyły rośliny pochodzące z siewu nasion (1,25 szt.). W kolejnych latach badań (drugim i trzecim) rośliny wielokrotnie zwiększyły ilość wykształconych pędów, przy czym ich liczba była większa u roślin, które zostały posadzone w porównaniu do tych pochodzących z wysiewu nasion (tab. 5).

Różnie kształtowała się też liczba wytwarzanych pędów w zależności od przeznaczenia biomasy do produkcji biogazu lub do spalania. Rośliny sadzone z rozsady wytwarzały, średnio z lat badań, o 12,4% więcej pędów na roślinie od tych z siewu, przy ich użytkowaniu do produkcji biogazu. Również podobną tendencję stwierdzono przy ich użytkowaniu na biomasę – liczba pędów na jednej roślinie była większa o 8,5%. Uzyskane wyniki są zgodne z tymi, które uzyskali Tworkowski i in. (2014) – liczba łodyg na roślinie wyrosłych z sadzonek korzeniowych i rozsady była większa od tych wyrosłych z wysiewu nasion.

Produkcyjność upraw ślazowca pensylwańskiego oraz jakość pozyskanej biomasy przeznaczonej do spalania była badana przez Chołuj i in. (2008), Kuś i Matykę (2009), Szyszlak i in. (2006), Szyszlak-Bargłowicz i Piekarskiego (2009), którzy twierdzą, że zależy ona od wielu czynników. Jedną z cech budowy morfologicznej rośliny wpływającej na produktywność pozyskiwanej biomasy jest wysokość i średnica pędów.

Tabela 6. Wysokość pędów *Sida* (m) zbieranych na biogaz

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji		Średnia
		siew	sadzenie	
2016	I	0,76	1,02	0,89
2017	I	1,46	1,44	1,45
	II	1,22	1,33	1,28
Średnia		1,34	1,38	1,36
2018	I	1,34	1,51	1,42
	II	1,15	1,22	1,18
Średnia		1,24	1,36	1,30
Średnia z lat 2016–2018		1,11	1,25	1,18

Oceniana wysokość roślin *Sida* uprawianych na biogaz w pierwszym roku badań wykazała, że rośliny wysadzane z rozsady były o ok. 34% wyższe od tych wysiewanych z nasion (tab. 6). W drugim roku badań, kiedy rośliny na biogaz zbierano dwukrotnie, w pierwszym terminie wytworzyły one pędy podobnej wysokości, były o ok. 63% wyż-

sze od pędów wytworzonych przez rośliny w pierwszym roku badań niezależnie od sposoby założenia plantacji. W tym samym roku badań, ale w drugim terminie zbioru, sposób założenia plantacji różnicował wysokość pędów. Podobnie jak w pierwszym roku badań, rośliny uzyskane z sadzonek były wyższe od tych wysiewanych średnio o 9,0%. W porównaniu do pędów roślin z pierwszego roku wegetacji, ich pędy były wyższe średnio o ok. 44% niezależnie od sposobu założenia plantacji. W trzecim roku badań wysokość pędów roślin *Sida* była zbliżona do tych stwierdzonych w drugim roku badań, przy czym zaznaczył się większy wpływ sposobu zakładania plantacji na wysokość pędów badanych roślin. Pędy roślin wysiewanych były średnio o ok. 9% niższe od tych wysadzanych z rozsady.

Fot. 13. Rośliny *Sida* przed zbiorem na biogaz w pierwszym roku badań

Ocena średnicy łodygi *Sida* uprawianych na biogaz w pierwszym roku badań wykazała, że rośliny wysadzane z rozsady były o 9,8% grubsze od tych wysiewanych z nasion (tab. 7). W drugim i trzecim roku badań, w którym rośliny na biogaz zbierano dwukrotnie, w pierwszym terminie rośliny wysadzane wytworzyły grubsze pędy średnio o 6,0% od pędów wytworzonych przez rośliny wysiewane. Natomiast w drugim odroście rośliny, w zarówno w drugim jak i trzecim roku badań, grubość pędów była mniejsza od tych stwierdzonych w pierwszym terminie zbioru o 34,4%. Natomiast grubość rośliny wysadzanej z rozsady od tych wysiewanych była większa średnio o 14,5%. Porównując grubość pędów roślin w latach badań, niezależnie od sposobu założenia plantacji, należy stwierdzić, że pędy roślin *Sida* były nieznacznie grubsze o 6,7% o tych które wytworzyły zostały w pierwszym roku badań, natomiast pędy roślin zbieranych w drugim terminie (zarówno w drugim, jak i trzecim roku badań) były zdecydowanie cieńsze średnio o 34,4%, a nawet o 30,0% od pędów z pierwszego roku badań.

Tabela 7. Średnica pędów *Sida* (mm) zbieranych na biogaz

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji		Średnia
		siew	sadzenie	
2016	I	9,65	10,60	10,13
2017	I	10,48	11,15	10,81
	II	6,47	7,70	7,08
Średnia		8,47	9,42	8,95
2018	I	10,51	11,10	10,80
	II	6,50	7,70	7,10
Średnia		8,50	9,40	8,95
Średnia z lat 2016–2018		8,87	9,81	9,34

Z analizy wysokości roślin *Sida* uprawianych „na biomasę" wykorzystywanej do spalania wynika, iż zarówno sposób zakładania plantacji, jak i lata badań wpływały na tę cechę (tab. 8).

Tabela 8. Wysokość pędów *Sida* (m) zbieranych na biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	0,76	1,06	0,91
2017	2,24	2,12	2,18
2018	2,19	2,36	2,28
Średnia z lat 2017–2018	2,21	2,24	2,23

W pierwszym roku badań (2016) rośliny wysiewane do gruntu były o 34,2% niższe od tych wysadzanych z rozsady, a ich średnia wysokość dochodziła do wysokości ok. 1 m. W drugim i trzecim roku badań rośliny *Sida* były ponad dwukrotnie wyższe od tych z pierwszego roku badań, ale sposób założenia plantacji nie wpływał istotnie na ich wysokość. W drugim roku badań rośliny z siewu były o 12 cm wyższe od tych wysadzanych, natomiast w trzecim roku było odwrotnie, te z rozsady były wyższe o 17 cm od tych z siewu. *Sida* może wyrosnąć na wysokość ponad 4 m w ciągu jednego okresu wegetacji i jest w stanie wytworzyć ponad 40 pędów na jednym metrze kwadratowym powierzchni (Borkowska i Molas, 2012).

Analiza średnicy pędów roślin *Sida* zbieranej na biomasę wykazała, że sposób założenia plantacji wpłynął istotnie na ich grubość (tab. 9). W latach badań pędy roślin wysadzonych z rozsady w porównaniu do pędów roślin wysiewanych były grubsze, a różnica wynosiła 10,5% w pierwszym roku badań, 15,5% w drugim oraz 5,4% w trzecim

roku wegetacji. Średnica pędów związana była głównie z zagęszczeniem roślin w łanie (tab. 4), ponieważ w przypadku założenia plantacji metodą siewu było kilkakrotnie więcej roślin i pędów ślazowca na jednostce powierzchni w porównaniu do liczby roślin i pędów uzyskanych metodą sadzenia.

Oceniając średnicę pędów roślin *Sida* uprawianej na biomasę można stwierdzić, że zwiększyła się ona o 33,0% w drugim i o 33,7% w trzecim roku badań, w porównaniu do średnicy pędów wytworzonych w pierwszym roku badań.

Tabela 9. Średnica pędów *Sida* (mm) zbieranych na biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	9,61	10,62	10,11
2017	12,48	14,42	13,45
2018	13,17	13,88	13,52
Średnia z lat 2016–2018	11,75	12,97	12,36

Fot. 14. Wysokość roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w pierwszym roku badań

Fot. 15. Wysokość roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w drugim roku badań

Fot. 16. Wysokość pędów roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w trzecim roku

badań

Fot. 17. Średnica pędów roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w trzecim roku badań

Wnioski

1. Sposób założenia plantacji roślin *Sida* przez wysadzanie z rozsady wpłynął na stabilizację obsady roślin na jednostce powierzchni w latach użytkowania, natomiast wysiew nasion do gruntu powodował duże zagęszczenie roślin w pierwszym roku, a następnie dużą redukcję obsady w kolejnych dwóch latach użytkowania.
2. Rośliny użytkowane na biogaz i wysadzane z rozsady wytwarzały większą liczbę pędów na jednej roślinie w porównaniu do roślin uprawianych z siewu nasion oraz wykorzystywanych na biomasę.
3. Rośliny wysadzane z rozsady były wyższe i wykształciły większą średnicę pędów od tych wysiewanych z nasion.

V. WSKAŹNIKI FIZJOLOGICZNE ROŚLIN *SIDA* (LAI I SPAD)

Wstęp

Stosunek powierzchni liści do powierzchni gruntu, czyli wskaźnik pokrycia liściowego (Leaf Area Index – LAI) jest ważnym parametrem opisującym łan roślin uprawnych (Nieróbca i Faber 1996, Pietkiewicz 1985, Russel i Wilson 1994). Wskaźnik ten charakteryzuje wielkość powierzchni organów asymilacyjnych roślin zdolnych do absorbowania światła, od którego zależy fotosynteza (Nalborczyk in. 1995), a więc pośrednio także przyrosty nadziemnej masy oraz plon roślin (Bendi 1994, Russell i Wilson 1994). Określa on właściwości strukturalne i biochemiczne roślin i jest jednym z parametrów, który wpływa na produktywność roślin (Glenn i in. 2008; Zheng i Moskal 2009; Uździcka i in. 2012). Według danych z piśmiennictwa między wielkością plonu a wartością wskaźnika LAI istnieje ważna zależność: im wyższy wskaźnik LAI, tym większa powinna być produkcja biomasy (Woźniak i in. 2005; Jaśkiewicz 2007). Z kolei zbyt duże wartości LAI mogą pogarszać warunki świetlne, przez co zwiększają podatność roślin na porażenie patogenami. Wskaźnik LAI może przyjmować wartości od 0 na terenach pozbawionych roślinności, do 6 w wielopiętrowym, gęstym lesie. Optymalny LAI dla roślin uprawnych, np. zbożowych powinien wynosić ok. 4 (Czerednik i Nalborczyk 2000). Wartość LAI zależy od warunków siedliskowych, agrotechnicznych i genetycznych (Biskupski i in. 2004; Biskupski i in. 2007; Oleksy i in. 2009).

Olszewska i in. (2008) podkreślają, iż niedobór składników pokarmowych odbija się niekorzystnie na ilości i jakości biomasy, dlatego też konieczne są badania i ciągła kontrola stanu zasobności gleby. Podobnie Fotyma i Gosek (2000) oraz Kopiński (2005) wskazują na potrzebę kontroli żyzności gleby i bilansowania składników pokarmowych. Możliwości prostego diagnozowania stanu odżywiania roślin azotem wskazują Fotyma i Bezduszniak (2000) oraz Machul (2001). Do tego celu zalecają oni ocenę zawartości chlorofilu za pomocą przenośnego miernika, tzw. chlorofilometru SPAD. Test SPAD (ang. Soil Plant Analysis System) lub inaczej zwany pomiar indeksu zieloności liścia, zyskał w ostatnich latach dużą popularność ze względu na możliwość dokonywania pomiarów w sposób niedestrukcyjny. Wartości odczytów SPAD określające intensywność zieloności liści są ściśle skorelowane ze stopniem odżywienia roślin azotem. Za pomocą wykorzystania chlorofilometru SPAD można określić z dość dużą dokładnością stopień realizacji potrzeb pokarmowych roślin. Test SPAD można wykorzystać również do celów prognozowania wielkości oraz jakości plonu (Fotyma i Bezduszniak 2000; Machul 2001).

Wyniki badań

Wyniki pomiarów wartości LAI i SPAD dla roślin *Sida* z przeznaczeniem na biogaz i biomasę nie różniły się istotnie, stąd w omówieniu ich posłużyliśmy się wartościami średnimi, uwzględniając sposób założenia plantacji i lata badań (tab. 10 i 11).

W prowadzonych badaniach, zarówno sposób założenia plantacji, jak i rok użytkowania wpływał na powierzchnię asymilacyjną roślin wyrażoną indeksem liściowym

LAI, ale ten wpływ nie był jednokierunkowy w latach badań (tab. 10). Rośliny wysiewane w pierwszym roku badań charakteryzowały się o 10,4% niższym indeksem liściowym LAI od tych wysadzanych z rozsady. W drugim roku użytkowania u rośliny z siewu nasion wskaźnik był wyższy o 12,0%. Natomiast w trzecim roku użytkowania różnica pomiędzy ocenianymi obiektami była wyraźnie niższa – 3,3%, a wyższe wartości otrzymano na obiektach, gdzie rośliny były wysadzane. Najwyższymi wartościami współczynnika LAI charakteryzowały się rośliny *Sida* w pierwszym roku założenia plantacji, a jego wartości w odniesieniu do lat pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok użytkowania) były średnio o 33,6% wyższe.

Tabela 10. Wskaźnik LAI roślin *Sida* zbieranych na biogaz i biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	3,37	3,72	3,54
2017	2,71	2,42	2,57
2018	2,70	2,79	2,74
Średnia z lat 2017–2018	2,71	2,60	2,65

Wartości indeksu zieloności liści roślin *Sida* zbieranej na biogaz i biomasę były zbliżone, natomiast wystąpiło zróżnicowanie w zależności od sposobu założenia plantacji i lat użytkowania (tab. 11). W roku założenia plantacji (2016) indeks zieloności liści roślin uzyskanych z nasion (siew) był niższy o 3,3% od indeksu zieloności liści roślin uzyskanych z rozsady. W drugim roku użytkowania nieco wyższym indeksem zieloności charakteryzowały się rośliny z siewu (o 1,6%), natomiast w trzecim roku różnica między wartościami wskaźnika zieloności liści była jeszcze niższa. Ocena indeksu zieloności w latach użytkowania wykazała, że rośliny w pierwszym roku wegetacji cechowały się najwyższą jego wartością (ok. 43 SPAD), a w kolejnych latach wartość ta była mniejsza. Podobne wartości SPAD sugerują, że rośliny były w jednakowej kondycji oraz w podobnym stopniu odżywione azotem niezależnie od lat badań i sposobu założenia plantacji.

Tabela 11. Wartość wskaźnika zieloności liści [SPAD] roślin *Sida* zbieranych na biogaz i biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	42,25	43,65	42,95
2017	24,27	23,88	24,08
2018	38,90	38,80	38,85
Średnia z lat 2017–2018	31,59	31,34	31,46

Wnioski

1. Wartość indeksu liściowego (LAI) roślin *Sida* wahał się w przedziale od 3,54 w pierwszym roku do 2,74 w trzecim roku badań, a jego wartości w latach pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok użytkowania) były średnio o 33,6% niższe od uzyskanych w roku założenia plantacji.
2. Wartość indeksu zieloności liści (SPAD) roślin *Sida* wahała się w przedziale od 42,95 w pierwszym roku do 24,08 w drugim roku badań, a jego wartości w latach pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok użytkowania) były średnio o ok. 43 i 10% niższe od tych uzyskanych w roku założenia plantacji.

Fot. 18. Rośliny *Sida* w pierwszym roku użytkowania

Fot. 19. Pomiar wartości LAI w drugim roku użytkowania

Fot. 20. Sida w pierwszym roku użytkowania po zbiorze na biogaz (po lewej) i przeznaczona na biomasę do spalania (po prawej)

Fot. 21. Wiosenne odrosty roślin w latach pełnego użytkowania

Fot. 22. Wiosenne odrosty roślin *Sida* w latach pełnego użytkowania

Fot. 23. Jesienny wygląd roślin *Sida* przed zbiorem na biogaz i biomasę (na drugim planie)

| VI. PLON FITOMASY *SIDA* NA BIOGAZ I BIOMASĘ

Wstęp

Poznanie wpływu różnych czynników na plonowanie wieloletnich roślin uprawianych na biomasę wykorzystywaną w celach energetycznych jest ważnym elementem ich agrotechniki w poszczególnych latach użytkowania. Na plonowanie roślin wpływ mają nie tylko czynniki agrotechniczne (np. nawożenie, uprawa roli, pielęgnowanie), ale również przebieg pogody w kolejnych latach użytkowania plantacji (Borkowska i Molas 2012, 2013; Styk 1984). Przebieg warunków meteorologicznych wpływa na kondycję roślin, mogą one warunkować ich wydajność w latach następnych. Za pomocą wyników dotychczasowych badań potwierdzono niskie plony w pierwszym roku i znacznie wyższe w drugim i dalszych latach użytkowania. Pełnię plonowania gatunki wieloletnie osiągają zazwyczaj w trzecim–czwartym roku od ich zasiewu czy sadzenia (Borkowska i Molas 2012; Clifton-Brown i in. 2001; Stolarski i in. 2002, Stolarski i in. 2006; Sulima i in. 2006).

W przypadku gatunków od niedawna uprawianych w Polsce, np. takich jak ślazowiec pensylwański, brakuje jednoznacznej oceny plonowania tego gatunku pod wpływem zastosowanej agrotechniki, zwłaszcza w dłuższym okresie uprawy w warunkach naszego kraju. Ślazowiec pensylwański, podobnie jak większość roślin, reaguje pozytywnie wysokością plonu na nawożenie mineralne, szczególnie azotowe. W bardziej znanych badaniach prowadzonych pod kątem wykorzystania biomasy ślazowca na cele paszowe stwierdzono intensywny przyrost masy pod wpływem wzrastających dawek azotu, nawet ponad 200 kg·ha^{-1} (Borkowska 1996). Korzystną reakcję na ten składnik pokarmowy przedstawiają również w swoich opracowaniach Kalembasa i Wiśniewska (2006, 2010). Nie zawsze jednak pierwiastek ten wpływał na zwiększenie plonu biomasy. W warunkach gleby lekkiej, przepuszczalnej, słabo utrzymującej wodę, zwiększenie dawki azotu ze 100 do 200 kg·ha^{-1} nie przyniosło oczekiwanych plonów. Niewielki przyrost plonu pod wpływem większej dawki tego pierwiastka mieścił się w granicach błędu. Natomiast w badaniach tych stwierdzono istotny przyrost plonu biomasy pod wpływem wyższego nawożenia fosforem (Borkowska i in. 2009). Poza przytoczonymi wynikami badań nad agrotechniką tego gatunku istotne jest jak zastosowana agrotechnika wpłynie na plon z różnym jego przeznaczeniem, tj. jako surowca do produkcji biogazu czy masy opałowej.

Wyniki badań

Uzyskany plon świeżej i suchej masy w pierwszym roku badań nie był wysoki i wynosił w przeliczeniu na 1 ha ok. 6 Mg (ton) świeżej i 1 Mg suchej biomasy (tab. 12, 13), co jest związane z biologią tego gatunku, bowiem ślazowiec pensylwański w pierwszym roku wegetacji (w roku założenia plantacji) powoli się rozwija i wykształca przeważnie tylko 1 łodygę, co w pełni potwierdzają wyniki badań Tworkowskiego i in. (2014).

Sposób założenia plantacji (siew, sadzenie) również odgrywał dużą rolę, ponieważ rośliny wysadzone do gruntu z ukorzenionych sadzonek (sadzenie) wykształciły większy plon niż rośliny pochodzące z poletek wysianych siewnikiem z nasion (siew), a średni wzrost plonów suchej masy z lat badań wynosił 29,1%. Istotne różnice w wielkości plonu świeżej biomasy stwierdzono tylko w trzecim roku badań, a w drugim roku pełnego użytkowania (2018) plon surowej masy roślin uzyskanych metodą sadzenia (24,66 Mg·ha^{-1}) był istotnie większy niż plon roślin uzyskanych przez wysiew nasion (19,72 Mg·ha^{-1}). W przypadku plonu suchej masy istotne różnice stwierdzono w drugim i trzecim roku badań (tab. 13). Wyraźnie większy plon uzyskano z obiektów ze ślazowcem pochodzącym z rozsady w porównaniu do plonu roślin pochodzących z nasion.

Tabela 12. Plon świeżej masy (Mg·ha^{-1}) roślin *Sida* zbieranych na biogaz

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji		Średnia	NIR $_{0,05}$
		siew	sadzenie		
2016	I	5,93	6,91	6,42	n.i.
2017	I	21,98	29,52	25,75	
	II	5,74	6,29	6,01	
Suma		27,71	35,80	31,76	n.i.
2018	I	13,27	16,86	15,07	
	II	6,45	7,80	7,12	
Suma		19,72	24,66	22,19	1,66
Średnia z lat 2017–2018		23,71	30,23	26,97	n.i.

Plon roślin uzyskany w latach pełnego użytkowania zależał od terminu zbioru i liczby odrostów (I lub II odrost). Plon biomasy roślin zbieranych w pierwszym terminie był zdecydowanie większy niż plon roślin zebranych w drugim terminie, tj. II odrost (tab. 12 i 13). Plon świeżej masy ślazowca pensylwańskiego w I odroście był pięciokrotnie większy niż plon drugiego odrostu w 2017 r. i dwukrotnie większy w 2018 r. (tab. 12). W plonie suchej masy różnica ta była również duża: w 2017 r. plon I odrostu był prawie sześciokrotnie większy, a w 2018 – dwukrotnie większy niż plon suchej masy drugiego odrostu (tab. 13).

Tabela 13. Plon suchej masy (Mg·ha^{-1}) roślin zbieranych na biogaz

Lata	Liczba odrostów	Sposób założenia plantacji		Średnia	NIR $_{0,05}$
		siew	sadzenie		
2016	I	3,73	4,35	4,04	n.i.
2017	I	9,78	12,85	11,31	
	II	1,69	2,10	1,89	
Suma		11,47	14,94	13,21	1,12
2018	I	3,80	5,08	4,44	
	II	2,24	2,56	2,40	
Suma		6,04	7,64	6,84	0,61
Średnia z lat 2017–2018		8,75	11,29	10,02	n.i.

Fot. 24. Rośliny *Sida* zbierane na biogaz w I terminie

Fot. 24 i 25. Rozdrobiona biomasa rośliny *Sida* zbierane na biogaz w I terminie

Fot. 26. Wygląd roślin jesienią w drugim roku użytkowania

Analizując masę jednej rośliny zbieranej na biogaz w pierwszym roku badań stwierdzono, że masa roślin wysadzanych z rozsady było o ok. 143% większa od roślin uprawianych z siewu nasion (tab. 14). Masa pojedynczych roślin w czasie zbioru w kolejnych latach użytkowania cechowała się podobnym trendem, ale różnice były niższe – i tak w drugim roku użytkowania wynosiła ona średnio dla obu terminów zbioru 24,6%, a w trzecim – 17,7%. Masa roślin między pierwszym i drugim terminem zbioru była zdecydowanie wyższa na korzyść roślin zbieranych w pierwszym terminie zbioru i wynosiła w drugim roku użytkowania ok. 209%, a w trzecim – 71%.

Tabela 14. Masa 1 rośliny *Sida* (g) zbieranej na biogaz

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji		Średnia
		siew	sadzenie	
2016	I	75,0	182,5	128,75
2017	I	470,0	565,0	517,50
	II	140,0	195,0	167,50
Średnia		305,0	380,0	342,50
2018	I	305,0	355,0	330,00
	II	175,0	210,0	192,50
Średnia		240,0	282,5	261,25
Średnia z lat 2016–2018		206,67	281,67	244,17

Na podstawie uzyskanych wyników z lat badań stwierdzono, że sposób założenia plantacji (siew, sadzenie) wpływał istotnie na wysokość plonów świeżej i suchej masy roślin zbieranych na biomasę (tab. 15 i 16). Rośliny wysadzone do gruntu z ukorzenionych sadzonek wykształciły istotnie większy plon niż plon rośliny pochodzących z poletek uprawianych z nasion, a średni wzrost plonów świeżej masy z lat badań wynosił 18,1, a suchej masy – 16,9%.

Tabela 15. Plon świeżej masy roślin (Mg·ha^{-1}) zbieranych na biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia	NIR$_{0,05}$
	siew	sadzenie		
2016	0,62	1,46	1,04	0,37
2017	10,20	11,75	10,97	1,14
2018	11,05	13,35	12,20	n.i.
Średnia z lat 2017–2018	10,63	12,55	11,59	0,92

Plon świeżej masy roślin był istotnie wyższy na obiektach, gdzie rośliny wysadzano z rozsady, niż na tych wysiewanych z nasion we wszystkich latach badań, a różnica ta wynosiła w pierwszym ok. 125, w drugim – ok. 15 oraz w roku użytkowania – ok. 21%. Plony świeżej masy z pierwszego roku badań były ponad dziesięciokrotnie niższe od tych w kolejnych latach badań. Natomiast w latach pełnego użytkowania (2017 i 2018) plon świeżej masy istotnie wzrastał o 11,2% niezależnie od sposobu zakładania plantacji, przy zdecydowanie niższej (w 2018 r.) sumie opadów atmosferycznych zarówno rocznych, jak i w okresie wegetacji przy wyższych temperaturach powietrza.

Ocena uzyskanych plonów suchej masy wykazała, że był on istotnie zależny od sposobu zakładania uprawy oraz lat użytkowania (tab. 16).

W pierwszym roku użytkowania plon suchej masy był niski, ale istotnie wyższy na obiektach roślin wysadzanych z rozsady o 135,7%. W latach pełnego użytkowania plony suchej masy w porównaniu do roku zakładania plantacji były ok. dziewięciokrotnie wyższe, ale również istotnie wyższe na obiektach zakładanych z rozsady. W 2017 r. różnica ta wynosiła 11,3, a w 2018 r. – 21,5%. Utrzymała się również tendencja wyższych plonów w trzecim roku użytkowania – 3,5%, mimo że suma opadów atmosferycznych była w tym roku (w porównaniu do 2017) prawie o połowę niższa przy wyższych średnich temperaturach powietrza.

Tabela 16. Plon suchej masy roślin (Mg·ha^{-1}) zbieranych na biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia	NIR $_{0,05}$
	siew	sadzenie		
2016	0,56	1,32	0,94	0,35
2017	8,74	9,73	9,23	0,96
2018	8,59	10,52	9,55	1,82
Średnia z lat 2017–2018	8,66	10,12	9,39	0,73

Masa przypadająca na jedną roślinę zbieraną na biomasę zależała od badanego czynnika i roku użytkowania (tab. 17). Masa roślin niezależnie od sposobu ich uprawy we wszystkich latach badań zwiększała się, przy czym większa była u roślin wysadzonych z rozsady. W pierwszym roku badań różnica między obiektami wynosiła 80,4%, w drugim – 15,2% oraz 18,6% w trzecim. W latach pełnego użytkowania różnice w masie przypadającej na pojedynczą roślinę były mniej zróżnicowane niż pomiędzy roślinami z pierwszego roku badań, ale w trzecim roku badań ich masa była wyższa, w porównaniu do drugiego roku badań średnio o 16,8%.

Tabela 17. Masa 1 rośliny *Sida* (g) zbieranej na biomasę

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	6,98	12,59	9,78
2017	221,75	255,50	238,63
2018	255,00	302,50	278,75
Średnia z lat 2016–2018	483,73	570,59	527,16

Fot. 27. Rośliny *Sida* przed zbiorem na biomasę w pierwszym roku użytkowania

Fot. 28. Rośliny dwuletnie przed zbiorem na biomasę

Fot. 29. Rośliny dwuletnie przed zbiorem na biomasę

Fot. 30. Rośliny *Sida* przed zbiorem na biomasa w trzecim roku użytkowania

Fot. 31. Zebrana biomasa rośliny *Sida* w trzecim roku użytkowania

Fot. 32. Roślinne przed rozdrobnieniem z przeznaczeniem do analiz chemicznych

Fot. 33. Próbki roślinne przed rozdrobnieniem do analiz chemicznych

Fot. 34. Próbki roślinne po rozdrobnieniu do analiz chemicznych

Wnioski

1. Plon *Sida* zbieranej na biogaz wyniósł w roku założenia plantacji (2016) ok. 6,4 Mg świeżej masy oraz ok. 4 Mg z 1 ha suchej masy, a w kolejnych latach użytkowania (2017, 2018) odpowiednio od 31,7 do 22,2 Mg świeżej masy oraz od 13,2 do 6,8 Mg suchej masy. Natomiast plon suchej masy roślin zbieranych na biomasę w pierwszym roku uprawy wynosił ok. 1 Mg, a w latach kolejnych powyżej 9,0 Mg z 1 ha rocznie, niezależnie od sposobu zakładania plantacji czy przebiegu warunków atmosferycznych.
2. Uprawiając rośliny *Sida*, zarówno na biogaz, jak i biomasę, wyższe plony uzyskano z obiektów, gdzie rośliny wysadzano z rozsady w porównaniu do roślin pochodzących z nasion.
3. Badane rośliny *Sida* uprawiane w zróżnicowanych warunkach pogodowych (rok wilgotny – 2017, rok suchy – 2018) charakteryzowały się dużą przydatnością do uprawy na biogaz i biomasę w warunkach gleby lekkiej.

| VII. INWAZYJNOŚĆ UPRAWY *SIDA*

Ocena potencjału inwazyjnego *Sida* skupiała się na tendencji jej rozprzestrzeniania w otoczeniu istniejących w bezpośrednim sąsiedztwie upraw polowych oraz ustalenia jej konkurencyjności w stosunku do innych gatunków roślin występujących w danych warunkach agroekologicznych. Badania z tego zakresu prowadzono w każdym roku badań (tj. w latach 2016–2018).

Wykonane obserwacje i pomiary dotyczące tego aspektu przedstawiono w tabelach 18a i 18b. Od drugiego roku badań obserwowano pojedyncze rośliny ślazowca pensylwańskiego w odległości ok. 0,5 m od brzegu poletek. Natomiast w 2018 r. stwierdzono obecność pojedynczych roślin *Sida* w odległości do 0,85 m od brzegu poletek. Natomiast w doświadczeniu ze ślazowcem, założonym w 2010 r., nie stwierdzono w pierwszych latach występowania roślin *Sida* poza poletkami doświadczalnymi (tab. 18b), dopiero po 7 latach stwierdzono obecność roślin w odległości ok. 1,5 m od poletek, a w 2018 r. zaobserwowano pojedyncze rośliny na skoszonych poletkach z perzem wydłużonym i na poletku z rosnącą spartiną preriową.

Tabela 18a. Odległość od plantacji (m) i liczba zaobserwowanych roślin *Sida* (szt.)

Lata	Odległość (m)	Liczba roślin (szt.)
2016	0	0
2017	0,55	3
2018	0,85	5
Średnia	0,65	4

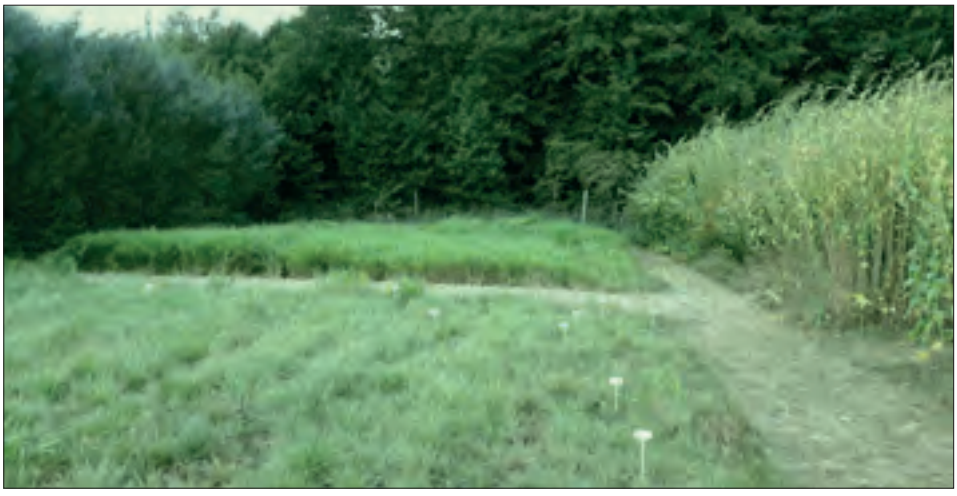
Tabela 18b. Odległość od plantacji (m) i liczba zaobserwowanych roślin *Sida* (szt.) w doświadczeniu założonym w 2010 r.

Lata	Odległość (m)	Liczba roślin (szt.)
2010	0	0
2017	1,40	4
2018	8,50	10
Średnia	4,45	7

Nasiona ślazowca pensylwańskiego nie osypują się (pozostają w rozłupniach – *Sida* owocostanach) i trudno się wymłacają (Borkowska i Styk 2006), więc tylko z tego powodu istnieje małe ryzyko samoistnego rozprzestrzeniania się tego gatunku w środowisku. Ale rozłupnie z nasionami mogą opadać na glebę wskutek np. gradobicia, silnych wiatrów czy dużych opadów oraz przy zbiorze mechanicznymi silosokombaj-

nami (sieczkarniami polowymi) i mogą przyczynić się do jednostkowego pojawienia się roślin, jak to miało miejsce w RSD Lipnik. Poza tym dużą część nasion stanowią nasiona niedojrzałe, słabo wykształcone, i tzw. nasiona twarde, które nie kiełkują mimo optymalnych warunków siedliskowych. Jak donoszą Borkowska i Styk (2006) nasiona ślazowca bezpośrednio po zbiorze słabo kiełkują, a maksymalną zdolność kiełkowania uzyskują dopiero po ok. 6–12 miesiącach od zbioru, co również ogranicza inwazyjność tego gatunku w środowisku naturalnym. Użytkowanie pól sąsiadujących z plantacjami *Sida* sprawia, że nawet jeśli pojawią się pojedyncze rośliny ślazowca, to są niszczone poprzez stosowane zabiegi mechaniczne (uprawa gleby, np. talerzowanie, orka), chemiczne (stosowanie herbicydów) oraz zbiór kombajnem (z powszechnie stosowanymi zabiegami desykacji plantacji przed zbiorem).

Fot. 35a. Rośliny *Sida* w innych uprawach



Fot. 35b. Rośliny *Sida* w sąsiadującej uprawie perzu wydłużonego

Fot. 36. Pojedyncza roślina *Sida* w sąsiadującej uprawie spartiny preriowej

| VIII. WARTOŚĆ ENERGETYCZNA PLONU *SIDA*

Wstęp

Głównym źródłem energii odnawialnej w Polsce i Unii Europejskiej jest obecnie biomasa. Pozyskiwana jest z organicznych odpadów komunalnych, odpadów rolniczych, zieleni miejskiej i leśnych oraz z przemysłu drzewnego. Wspomaganiem podaży biomasy na cele energetyczne będą polowe uprawy roślin wieloletnich dające biomasę z drewna (*Salix spp., Populus sp.*), półzdrewniałą [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby, *Silphium perfoliatum* L.] i słomiastą (*Miscanthus sacchariflorus, Miscanthus x giganteus*). Paliwa produkowane z biomasy znajdują zastosowanie w produkcji ciepła, energii elektrycznej czy produkcji paliw transportowych. W Unii Europejskiej 92% biomasy przeznaczone jest do produkcji ciepła, 7% – energii elektrycznej, a 1% do produkcji paliw transportowych (Janowicz 2006). Zmniejszanie zasobów nieodnawialnych surowców energetycznych, wzrost kosztów ich pozyskiwania i przetwarzania oraz zagrożenie zmian energetycznych przyczyniają się do pozyskiwania nowych źródeł energii. Zwrócono uwagę na rośliny energetyczne, których biomasa może być przetwarzana na energię oraz paliwa płynne. Pakiet Klimatyczny UE z 17.12.2008 r. zakłada, że kraje członkowskie do 2020 r. powinny osiągnąć 20% udział energii ze źródeł odnawialnych oraz 10% udział biopaliw płynnych. Jednocześnie o 20% powinno być zredukowane zapotrzebowanie na energię i o 20% ograniczona emisja gazów cieplarnianych (Wach, 2007). Polska w Unii Europejskiej postrzegana jest jako kraj o dużych możliwościach produkcji biomasy na cele energetyczne oraz biopaliwa. Wynika to z areału użytków rolnych przypadających na jednego mieszkańca – 0,41 ha, podczas gdy w starych krajach Unii Europejskiej wynosi 0,19 ha. Z analiz szacunkowych wynika, że w Polsce pod uprawę roślin przeznaczonych na cele energetyczne i biopaliwa możne przeznaczyć od 1,0 do 4,3 mln ha użytków rolnych.

Wyniki badań i dyskusja

W trakcie prowadzenia doświadczenia (2016–2018) w celu oznaczenia wartości opałowej raz w roku w okresie zimowym (czyli w latach 2017–2019) zbierano *Sida* z dwóch sposobów uprawy z sadzenia i siewu.

Analizując dane zawarte w tabeli 19, wartość opałowa *Sida*, zbieranej w okresie zimowym, z przeznaczeniem na biomasę do spalania, wahała się w przedziale od 16,04 do 17,53 MJ·kg^{-1}. Nie stwierdzono znaczącego wpływu sposobu założenia plantacji (sadzenie, siew) na wartość opałową. Jednak odnotowano istotny wzrost wartości opałowej *Sida* pomiędzy latami. Największą wartość opałową uzyskano w trzecim roku prowadzenia plantacji *Sida* z siewu – 17,53 MJ·kg^{-1}. Była to wartość większa o 9,3% w stosunku do pierwszego roku (2016). Średnia wartość opałowa ślazowca z trzech lat była większa w przypadku założenia plantacji z siewu w porównaniu do sadzenia o 4,4%. W przeprowadzonych badaniach wartość opałowa biomasy *Sida* z siewu i sadzenia wynosiła średnio z trzech lat 16,68 MJ·kg^{-1} i jest potwierdzeniem badań Artyszaka (2016), Gajewskiego (2016) i Kacprzak i in. (2012), których badania wskazują na wartość opałową mieszczącą się między 13,0 a 17,0 MJ·kg^{-1}.

Tabela 19. Wartość opałowa fitomasy *Sida* (MJ·kg^{-1}) przeznaczonej do spalania (biomasa) w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji		Średnia
	siew	sadzenie	
2016	16,04	16,38	16,21
2017	16,53	16,19	16,36
2018	17,53	17,46	17,49
Średnia	16,7	16,0	16,68
$NIR_{0,05}$	0,23	0,70	0,37

Wartość opałowa biomasy *Sida* zbieranej na biogaz

W materiale roślinnym *Sida* zbieranym jednorazowo w 2016 r. oraz dwukrotnie w latach 2017 i 2018. z przeznaczeniem na biogaz oznaczono również wartość opałową. Wartość opałowa *Sida hermaphrodita* zbieranej na biogaz w okresie prowadzenia doświadczenia (2016–2018) wahała się w przedziale od 15,5 do 17,5 MJ·kg^{-1} (tab. 20). Podobne rezultaty badań uzyskał Stolarski i in. (2008), Tworkowski i in. (2010) oraz Kowalska (2017). Najmniejszą wartość opałową stwierdzono w I terminie zbioru w 2016 r. Kolejne lata – 2017 i 2018 wskazują na tendencję wzrostową wartości opałowej w *Sida*, co znajduje potwierdzenie w piśmiennictwie. Największy średni wzrost wartości opałowej *Sida* uzyskano w trzecim roku uprawy (2018) i była to wartość większa o 9,90% w porównaniu do pierwszego roku (2016). Odnotowano wzrost wartości opałowej *Sida* między rokiem 2016 a 2018 w obu systemach uprawy z siewu i sadzenia odpowiednio o 10,6% i 9,12%. Średnia wartość opałowa z lat jest nieznacznie większa w przypadku uprawy *Sida* z sadzenia. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że wartość opałowa biomasy *Sida* zbieranej na biogaz była większa w terminie II, czyli jesiennym, w stosunku do I terminu (wiosennego).

Tabela 20. Wartość opałowa *Sida* (MJ·kg^{-1}) zbieranej na biogaz w latach 2016–2018

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji		Średnia
		siew	sadzenie	
2016	I	15,5	15,9	15,7
2017	I	16,0	16,3	16,1
	II	16,9	16,6	16,8
średnia		16,4	16,5	16,5
2018	I	17,0	17,2	17,1
	II	17,3	17,5	17,4
średnia		17,2	17,4	17,3
Średnia z 3 lat		16,5	16,7	16,6
$NIR_{0,05}$		0,69	0,40	0,46

Termin zbioru *Sida* należy dostosować do sposobu jej wykorzystania, co znalazło potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach własnych. Jeśli zielona masa ma być wykorzystana do produkcji biogazu należy ją zbierać jesienią, co pozwala na uzyskanie wysokiej wydajności metanu, nawet do 6000 $m^3 \cdot ha^{-1}$, natomiast jeśli na cele energetyczne, to w okresie zimy lub po pierwszych przymrozkach. *Sida* jest rośliną wieloletnią, dlatego wymaga niewielkiej ilości nawozów oraz środków ochrony roślin w porównaniu do roślin jednorocznych (Cosentino i in. 2018; Lewandowski i in. 2016). Ponadto można ją uprawiać na słabych glebach. Cechy użytkowe, które posiada Sida wskazują, że może być popularnym surowcem wykorzystywanym w różnych gałęziach przemysłu. Jest miododajna, włóknodajna i można z niej produkować paszę. Uzasadnione jest to wzrostem ligniny oraz spadkiem zawartości wilgoci, które spowodowane jest opóźnionym zbiorem (Iqbal i Lewadnowski 2014; Kiesel i Lewandowski 2017). Artyszak (2016) podaje, że zaletą ślazowca jest niska wilgotność biomasy podczas zbioru (16–28%), a do samego zbioru nie jest wymagany specjalistyczny sprzęt, ani specjalne maszyny rolnicze.

Obszar upraw roślin energetycznych w Europie jest mniejszy w porównaniu do innych upraw rolnych (Lewandowski i in. 2016). Jednym z ważniejszych powodów to wysoki koszt założenia plantacji i brak rynku zbytu biomasy (Bocqueho i Jacquet 2010; Witzel i Finger 2016). Przykładowo Xue i in. (2015) obliczyli koszt założenia plantacji metodą z bezpośredniego siewu nasion, która wyniosła 1509 Euro·ha-1 i z sadzenia o szacunkowej wartości od 1900 do 3380 Euro. Wadą uprawy *Sida* oraz innych roślin energetycznych w pierwszym roku jest uzyskanie zbyt niskiego plonu biomasy, co wpływa na niski efekt ekonomicznej opłacalności (Anderson i in. 2011, Zub i Brancourt-Hulmel2 2010).

Wnioski

1. Wyniki badań wykazały, że sposób założenia plantacji z siewu lub z sadzenia nie miał wpływu na wartość opałową *Sida*.
2. Najmniejszą wartość opałową biomasy *Sida* uzyskano w pierwszym roku założenia plantacji, a największą w trzecim roku.
3. Największą średnią wartość opałową biomasy *Sida* zbieranej na biogaz uzyskano w trzecim roku uprawy (2018) i była to wartość większa o 9,90% w porównaniu do pierwszego roku (2016).
4. Wartość opałowa biomasy *Sida* zbieranej na biogaz była istotnie większa w terminie II w porównaniu do I terminu (wiosennego).

IX. SKŁAD CHEMICZNY FITOMASY *SIDA* (BIOGAZ I BIOMASA)

Wstęp

Bogaty asortyment gatunków roślin występujących w stanie naturalnym może być wykorzystywany na cele energetyczne, co umożliwi zastąpienie zasobów biomasy pochodzącej z leśnictwa i przemysłu drzewnego. Szczególna uwaga skierowana jest w kierunku upraw roślin o dużym potencjale plonowania. Do gatunków roślin wydajnych energetycznie należą m.in. wieloletnie trawy, byliny, krzewy i drzewa o krótkim cyklu produkcyjnym, wynoszącym od kilku do kilkunastu lat (Kowalczyk-Juśko 2009; Sapek, Sapek 2012; Borkowska i in. 2016).

W ostatnich latach coraz większym zainteresowaniem cieszy się produkcja energii z biomasy. Jak dotąd najbardziej rozpowszechnione jest jej spalanie (Jagustyn i in. 2011; Mółka i Łapczyńska-Kordon 2011; Biernat 2012; Borkowska i in. 2016), lecz szybko rozwija się alternatywny sposób pozyskiwania energii w oparciu o biogaz uzyskany z odpadów rolniczych. Na całym świecie budowane są biogazownie rolnicze oparte na procesie fermentacji metanowej, jako instalacje do biologicznej utylizacji odpadów organicznych i biomasy pochodzącej z celowych plantacji roślin energetycznych (Weiland 2010; Gołaszewski. 2014; Mao i in. 2015; Kowalska 2017).

Ze względu na duże zróżnicowanie surowców roślinnych, istotne znaczenie w produkcji energii ma znajomość ich właściwości fizyko-chemicznych. Poza wielkością plonu i wartością energetyczną istotne znaczenia ma: zawartość wilgoci, popiołu czy zawartość niektórych pierwiastków, np.: C, N, P, S, Na, K. Na ich ilość w roślinach przeznaczonych na biomasę i biogaz mają wpływ cechy roślin uwarunkowane genetycznie, które modyfikowane są przez warunki środowiskowe, tj.: właściwości gleby (zasobność, pH), warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin (opady), a także zabiegi agrotechniczne wykonywane w trakcje wegetacji (Kalembasa i Wiśniewska 2006; Borkowska i Lipiński 2008; Borkowska i in. 2016).

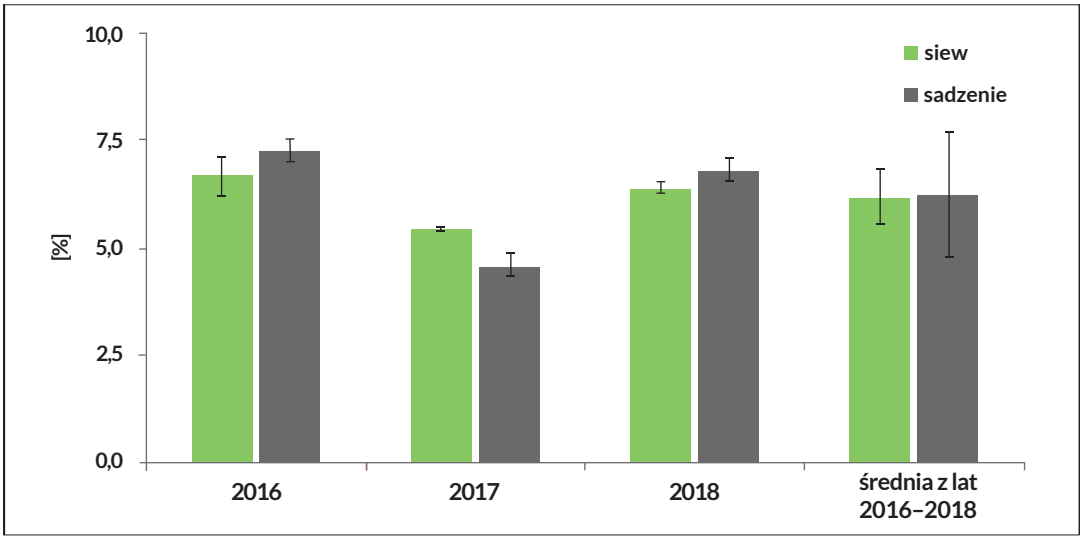
Wyniki badań i dyskusja

Skład chemiczny biomasy przeznaczonej do spalania (BIOMASA)

Wilgotność (W_a) materiału spalanego ma znaczący wpływ na właściwości energetyczne biomasy. Analiza uzyskanych wyników dla roślin *Sida* wskazuje, że charakteryzuje się ona niską zawartością wilgotności analitycznej (ryc. 2).

Niezależnie od sposobu założenia plantacji, zawartość W_a w roślinach Sida waha się w zakresie od 4,6 do 7,3%. Stwierdzono, że głównym czynnikiem decydującym o uzyskanych wartościach wilgotności analitycznej są wiek plantacji oraz warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin. Najniższą zawartością wilgotności charakteryzowały się rośliny w 2017 r. (drugi rok doświadczenia), w pozostałych latach (2016, 2018) wartości tego wskaźnika utrzymywały się na zbliżonym poziomie. Nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na wilgotność analityczną

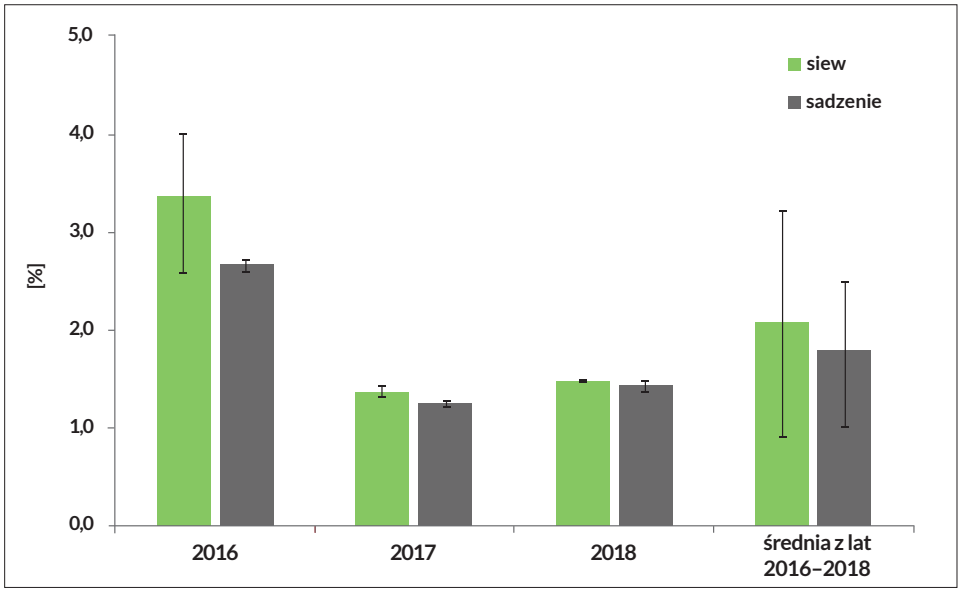
roślin *Sida* pobranych na biomasę. Jej średnia wartość wyliczona na podstawie trzyletniego doświadczenia wynosi 6,2%.



Ryc. 2. Zawartość wilgotności analitycznej (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biomasę

Przeprowadzona analiza wybranych właściwości *Sida* przeznaczonej na biomasę wykazała, że roślina ta posiada bardzo niską zawartość popiołu (ryc. 3).

Zawartość popiołu w suchej masie Sida przeznaczonej na biomasę wahała się od 1,22 do 3,32% i zależała w największym stopniu od przebiegu pogody w latach badań. Zdecydowanie najmniejszą zawartość popiołu notowano w roślinach zebranych w 2017 i 2018 r., z plantacji dwu- i trzyletniej, zaś największą z rocznej (2016). Na zawartość popiołu nie wpłynął natomiast w sposób wyraźny i ukierunkowany sposób założenia plantacji. Wyliczona z lat 2016–2018 średnia zawartość popiołu w roślinach *Sida* z siewu i z sadzenia nie przekracza 2% (ryc. 3).



Ryc. 3. Zawartość popiołu (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biomasę

Oznaczona zawartość węgla w roślinach *Sida* pobranych po pierwszych przymrozkach na biomasę wahała się w zakresie od 341,50 do 406,10 g·kg^{-1} s.m. Największą ilość węgla oznaczono w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia (2016) na poziomie od 389,05 do 406,1 g·kg^{-1} s.m. (tab. 21).

Tabela 21. Zawartość węgla (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	389,05^{A,a}	±0,78	406,10^{A,a}	±5,80	39,8
2017	360,00^{A,a}	±21,21	357,50^{A,a}	±7,78	35,9
2018	341,50^{A,a}	±19,09	335,00^{A,b}	±19,80	33,8
Średnia z lat 2016–2018	363,52	±23,97	366,20	±36,34	36,6

*wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg testu Tukey'a przy poziomie istotności p ≤0,05; duża litera – sposób założenia plantacji, mała litera – rok pobrania prób

W kolejnych latach (2017 i 2018) odnotowano nieznaczną tendencję spadkową omawianego pierwiastka. W przypadku roślin *Sida* z siewu spadek ten wyniósł od 7,5 do 12,2% i był statystycznie nieistotny, natomiast dla roślin Sida z sadzenia wyniósł od 12,0 do 17,5% i był statystycznie istotny tylko w 2018 r.

Równocześnie nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na zawartość węgla w roślinach *Sida*. W poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia ilość węgla oznaczona w roślinach *Sida* z siewu i sadzenia nie różniła się istotnie.

Azot oznaczony w próbach *Sida* pobranej na biomasę wahał się w zakresie od 12,59 do 23,30 g·kg^{-1} s.m. Największą jego zawartością charakteryzowały się rośliny testowe pobrane w pierwszym roku trwania doświadczenia (2016). Niezależnie od sposobu założenia plantacji ilość ta wahała się w zakresie od 22,55 do 23,30 g·kg^{-1} s.m. (tab. 22). W kolejnych latach prowadzenia doświadczenia odnotowano tendencję spadkową omawianego pierwiastka. W próbkach roślin otrzymanych z siewu i sadzenia, ilość oznaczanego azotu utrzymywała się na średnim poziomie 15,88 g·kg^{-1} s.m. w drugim roku i 12,86 g·kg^{-1} s.m. w trzecim roku prowadzenia doświadczenia, co stanowiło odpowiednio 68,6 i 55,2% ilości uzyskanych w 2016 r.

Tabela 22. Zawartość azotu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	23,30^{A,a}	±0,71	22,55^{A,a}	±0,78	2,28
2017	15,99^{A,b}	±1,32	15,77^{A,b}	±0,39	1,59
2018	12,86^{A,a}	±0,19	12,59^{A,b}	±0,07	1,27
Średnia z lat 2016–2018	17,38	±5,37	6,97	±5,09	1,72

*oznaczenia jak w tabeli 21

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała nieistotny wpływ sposobu założenia plantacji na zawartość azotu w roślinach *Sida*. Dla roślin otrzymanych zarówno z siewu, jak i sadzenia istotne różnice stwierdzono tylko pomiędzy pierwszym a drugim i trzecim rokiem trwania doświadczenia.

Podobnie jak przy wcześniej omawianych pierwiastkach również największą zawartością siarki charakteryzowała się Sida pobrana na biomasę, zarówno z siewu, jak i z sadzenia w pierwszym roku uprawy (1,50–1,61 g·kg^{-1} s.m.). W kolejnych latach (2017, 2018) odnotowano istotny (ok. 50%) spadek zawartości omawianego pierwiastka w roślinach testowych (tab. 23). W latach tych zawartość siarki w roślinach *Sida* kształtowała się na zbliżonym poziomie ok. 0,80 g·kg^{-1} s.m. dla roślin z otrzymanych z siewu oraz ok. 0,70 g·kg^{-1} s.m. dla roślin otrzymanych z sadzenia. Dodatkowo stwierdzono, iż sposób założenia plantacji nie miał istotnego znaczenia na zawartość siarki w roślinach *Sida*.

Tabela 23. Zawartość siarki (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	1,61^{A,a}	±0,05	1,50^{A,a}	±0,02	0,16
2017	0,81^{A,b}	±0,01	0,70^{A,b}	±0,01	0,08
2018	0,80^{A,b}	±0,01	0,73^{A,b}	±0,03	0,08
Średnia z lat 2016–2018	1,07	±0,46	0,98	±0,45	0,10

* oznaczenia jak w tabeli 21

Na podstawie przeprowadzonych analiz nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na zawartość fosforu ogólnego (P_{og}) dla roślin *Sida* przeznaczonych na biomasę (tab. 24). Średnie zawartości Pog w poszczególnych latach uzyskane dla badanej rośliny energetycznej z siewu i sadzenia były na zbliżonym poziomie. Niezależnie od sposobu założenia plantacji największe stężenie fosforu ogólnego oznaczono w 2016 r. na poziomie od 0,97 do 0,87 g·kg^{-1} s.m. Kolejne lata zbioru biomasy (2017 i 2018) charakteryzowały się mniejszą zawartością analizowanego składnika w roślinie. W porównaniu do 2016 r. ilość oznaczonego fosforu ogólnego w 2017 r. była niższa o 71,3 i 68,5%, natomiast w 2018 – o 66,3 i 64,9%.

Tabela 24. Zawartość fosforu ogólnego (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	0,97^{A,a}	±0,05	0,87^{A,a}	±0,05	0,09
2017	0,28^{A,b}	±0,03	0,27^{A,b}	±0,01	0,03
2018	0,33^{A,b}	±0,06	0,30^{A,b}	±0,03	0,03
Średnia z lat 2016–2018	0,53	±0,39	0,48	±0,33	0,05

* oznaczenia jak w tabeli 21

Analiza pozostałych makroskładników Ca, K i Mg oznaczonych w całych roślinach Sida, wskazuje na ich duże zróżnicowanie.

Zawartość wapnia w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonej na biomasę wynosiła od 8,32 do 16,52 g·kg^{-1} s.m. i zależała przede wszystkim od roku zbioru oraz związanych z tym warunków pogodowych panujących w trakcie wegetacji roślin (tab. 25). Największe ilości Ca oznaczono w pierwszym i trzecim roku trwania doświadczenia. Natomiast w drugim roku odnotowano spadek zawartości tego pierwiastka w roślinach

z siewu o 45%, a z sadzenia – o 24%. Niezależnie od roku doświadczenia nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na zawartość analizowanego makroskładnika w suchej masie rośliny energetycznej, co potwierdziła analiza statystyczna oparta na teście Tukey'a przy $p \leq 0{,}05$, a jego średnia zawartość z lat 2016–2018 w roślinach *Sida* z siewu i sadzenia jest na zbliżonym poziomie ok. 13,3 g·kg^{-1} s.m.

Tabela 25. Zawartość wapnia (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	15,11^{A,a}	±0,81	13,56^{A,a}	±0,63	1,43
2017	8,32^{A,b}	±0,06	10,42^{A,a}	±0,94	0,94
2018	16,52^{A,a}	±0,23	15,89^{A,a}	±0,47	1,62
Średnia z lat 2016–2018	13,32	±4,38	13,29	±2,75	1,33

* oznaczenia jak w tabeli 21

Zawartość potasu w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonej na biomasę oscylowało w zakresie od 0,99 do 2,11 g·kg^{-1} s.m. i głównie zależało od roku zbioru (tab. 26). Podobnie jak w przypadku Ca, największą ilość K oznaczono w pierwszym roku doświadczenia w ilości 2,11 g·kg^{-1} s.m. dla roślin otrzymanych z siewu i 1,51 g·kg^{-1} s.m. dla roślin otrzymanych z sadzenia. Za wyjątkiem pierwszego roku doświadczenia nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia doświadczenia na zawartość potasu w analizowanej roślinie energetycznej.

W kolejnych latach doświadczenia odnotowano spadek zawartości analizowanego pierwiastka w suchej masie roślin *Sida*. W 2017 r. spadek ten wyniósł od 34,6 do 42,2% i był statystycznie istotny dla dwóch sposobów założenia doświadczenia, natomiast w 2018 r. od 20,2 do 37,3% i był statystycznie istotny tylko dla roślin *Sida* uzyskanych z siewu.

Tabela 26. Zawartość potasu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	2,11^{A,a}	±0,06	1,51^{B,a}	±0,09	0,18
2017	1,22^{Ab}	±0,16	0,99^{A,b}	±0,13	0,11
2018	1,33^{Ab}	±0,01	1,21^{A,a}	±0,07	0,13
Średnia z lat 2016–2018	1,55	±0,49	1,23	±0,26	0,14

* oznaczenia jak w tabeli 21

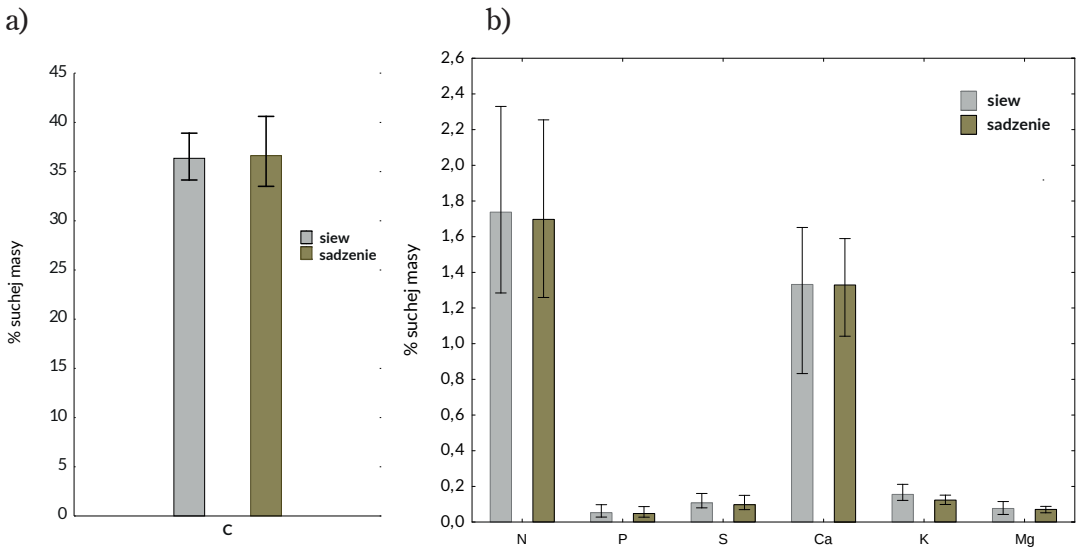
Zawartość magnezu kształtowała się od 0,43 do 1,15 g·kg^{-1} s.m. i podobnie jak wcześniej analizowane pierwiastki zależała głównie od wieku doświadczenia (tab. 27). Największe ilości tego makroskładnika oznaczono w pierwszym roku doświadczenia w ilości 1,15 g·kg^{-1} s.m. dla roślin uzyskanych z siewu i 0,88 g·kg^{-1} s.m. dla roślin uzyskanych z sadzenia. W kolejnych latach doświadczenia odnotowano tendencję spadkową analizowanego składnika. W porównaniu do pierwszego roku (2016) zawartość Mg w roślinach *Sida* z siewu zmalała od 38,7 (2018) do 62,7% (2017), natomiast w roślinach z sadzenia od 16,5 (2018) do 41,1% (2017). Rozpatrywany w badaniach wpływ sposobu założenia plantacji nie wpłynął również w sposób wyraźny i ukierunkowany na zawartość magnezu.

Tabela 27. Zawartość magnezu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Lata	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
	siew		sadzenie		
2016	1,15^{A,a}	±0,26	0,88^{A,a}	±0,09	1,02
2017	0,43^{A,b}	±0,01	0,52^{A,b}	±0,01	0,47
2018	0,71^{A,a}	±0,03	0,73^{A,a}	±0,01	0,72
Średnia z lat 2016–2018	0,76	±0,36	0,71	±0,18	0,74

* oznaczenia jak w tabeli 21

Z analizy wybranych składników chemicznych *Sida* przeznaczonej na biomasę wynika, iż największy udział procentowy w suchej masie rośliny ma węgiel (ryc. 4a). Wyliczony na podstawie trzyletniego doświadczenia polowego jego średni udział w suchej masie roślin *Sida* stanowił ok. 36%. Analiza danych dotyczących pozostałych oznaczonych makroskładników wskazuje, że jeszcze tylko w przypadku azotu i wapnia ich średni udział w suchej masie rośliny był powyżej 1% (ryc. 4b). Udział procentowy w suchej masie pozostałych analizowanych składników nie przekroczył 1% i można je uszeregować w kolejności: K (0,14%), Mg (0,07%), S (0,10%), P (0,05%). Rozpatrywany w badaniach wpływ sposobu założenia plantacji nie wpłynął również w sposób wyraźny i ukierunkowany na średni udział procentowy w suchej masie roślin *Sida* analizowanych składników chemicznych. Z przedstawionych na wykresie wartości maksymalnych i minimalnych wynika, że głównym czynnikiem determinującym ich udział jest wiek plantacji oraz czynniki pogodowe. Najmniej wrażliwym składnikiem chemicznym na brak nawożenia był węgiel, jego udział procentowy w suchej masie w ciągu trzyletniego doświadczenia był na zbliżonym poziomie 36,6% ±3,6%.

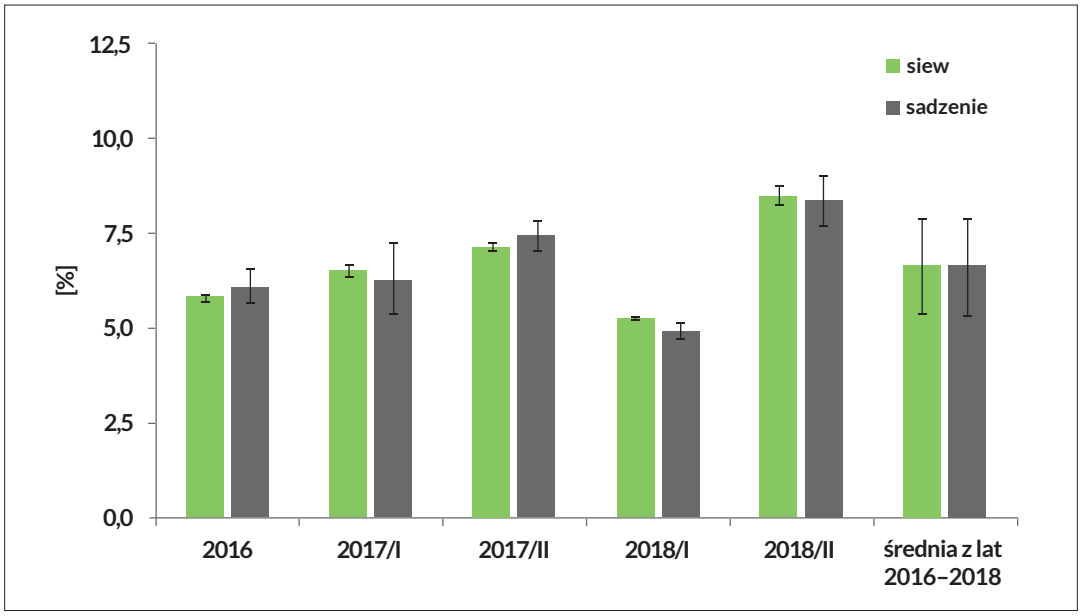


Ryc. 4a, 4b. Średni udział procentowy (±wartość maksymalna i minimalna) analizowanych składników chemicznych w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonych na biomasę

Skład chemiczny fitomasy przeznaczonej do produkcji biogazu (BIOGAZ)

Analiza uzyskanych wyników dla roślin *Sida* przeznaczonych na biogaz wskazuje, że charakteryzuje się ona zróżnicowaną zawartością wilgotności analitycznej. Stwierdzono, że głównym czynnikiem decydującym o uzyskanych wartościach wilgotności analitycznej są warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin oraz termin poboru prób. Wraz z wiekiem plantacji zawartość wilgotności analitycznej w roślinach *Sida* nieznacznie wzrastała.

Zawartość W_a dla roślin *Sida* otrzymanych z siewu wzrosła z 5,8 w 2016 r. do 8,5% w 2018 r., dla roślin z otrzymanych sadzenia z 6,1 w 2016 r. do 8,4% w 2018 r. (ryc. 5). W przypadku próbek roślin pobranych dwukrotnie w 2017 i 2018 r. stwierdzono, iż rośliny pobrane w pierwszym terminie charakteryzowały się niższą zawartością W_a. Różnice pomiędzy pierwszym a drugim terminem zbioru w 2017 r. wynosiły od ok. 10 (siew) do 15% (sadzenie), natomiast w 2018 r., niezależnie od sposobu założenia plantacji, ok. 40% i były statystycznie istotne.

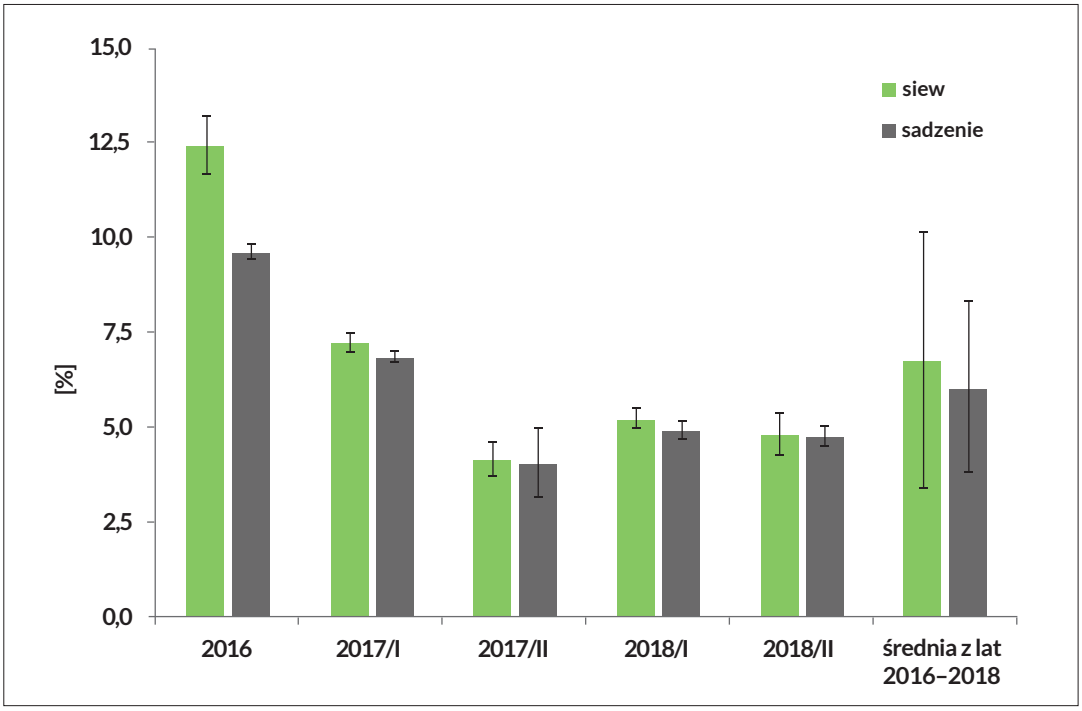


Ryc. 5. Zawartość wilgotności analitycznej (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz

Dodatkowo nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na wilgotność analityczną w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz. Wyliczona na podstawie trzyletniego doświadczenia polowego średnia Wa w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz, otrzymanych z siewu i z sadzenia, była na zbliżonym poziomie ok. 6,7%.

Zawartość popiołu w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz była zróżnicowana i wahała się w zakresie od 4,2 do 12,9% (ryc. 6). Największą zawartością tego wskaźnika na poziomie 12,9% (siew) i 10,0% (sadzenie) charakteryzowały się rośliny *Sida* pobrane w pierwszym roku założenia plantacji (2016). Wraz z wiekiem plantacji zawartość popiołu maleje, a dodatkowym czynnikiem wpływającym na jego zawartość w ba-

danej roślinie energetycznej był termin zbioru. W 2017 r. zawartość popiołu wahała się w zakresie od 7,5 do 4,3% dla roślin z siewu i od 7,1 do 4,2% dla roślin z sadzenia. Stwierdzone, niezależnie od sposobu założenia plantacji, ponad 40% różnice w zawartości popiołu pomiędzy I a II terminem zbioru były statystycznie istotne. Natomiast w 2018 r. oznaczone zawartości popiołu w roślinach *Sida* z siewu i z sadzenia przeznaczonych na biogaz, pobranych w pierwszym terminie, były na zbliżonym poziomie ok. 5% i były nieznacznie wyższe w roślinach pobranych w drugim terminie (ok. 4,3%).



Ryc. 6. Zawartość popiołu (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz

W trakcie trzyletniego doświadczenia polowego nie stwierdzono jednoznacznego wpływu sposobu założenia plantacji (siew, sadzenie) na zawartość popiołu w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz. Jego średnia zawartość w roślinach *Sida* z siewu wynosi 7,0%, natomiast w roślinach z sadzenia 6,3%.

Zawartość węgla w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz wahała się w zakresie od 360,5 do 427,75 g·kg^{-1} s.m (tab. 28). Najmniejszą zawartość analizowanego pierwiastka oznaczono w badanej roślinie w obu sposobach uprawy, w pierwszym roku doświadczenia (2016). W kolejnych latach odnotowano nieznaczny wzrost zawartości węgla w roślinach *Sida*. Średnia zawartość węgla w roślinach *Sida* w 2017 r. wyniosła 405,10 g·k g^{-1} s.m dla sposobu z siewu i 418,53 g·kg^{-1} s.m dla sposobu z sadzenia. W porównaniu do 2016 r. oznaczona zawartość węgla w roślinach z plantacji dwuletniej była wyższa – od 7,3% (sadzenie) do 15,2% (siew). Dodatkowo w drugim roku doświadczenia (2017) większą zawartością węgla charakteryzowały się rośliny pobrane w pierwszym terminie.

Tabela 28. Zawartość węgla (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	360,50^{A,a}	±2,12	377,00^{A,a}	±1,41	36,88
2017	I	415,15^{A,b}	±2,33	432,50^{A,b}	±14,42	42,38
	II	395,05^{A,c}	±1,48	404,55^{A,c}	±2,33	39,98
2018	I	386,70^{A,dc}	±1,70	389,55^{A,ac}	±3,04	38,81
	II	427,75^{A,e}	±5,30	426,75^{A,b}	±7,92	42,73
Średnia z lat 2016–2018		397,03	±26,06	406,07	±23,70	40,16

* oznaczenia jak w tabeli 21

Natomiast średnia zawartość węgla w roślinach *Sida* z 2018 r. wynosiła ok. 408 g·kg^{-1} s.m. Większą zawartością węgla charakteryzowały się rośliny pobrane w drugim jesiennym terminie zbioru o ok. 10% w stosunku do I terminu zbioru dla obu sposobów uprawy oraz odpowiednio od 13 (sadzenie) do 18% (siew) w stosunku do 2016 r.

Nie stwierdzono wpływu sposobu założenia plantacji na zawartość węgla w roślinach *Sida*. We wszystkich latach prowadzenia doświadczenia ilość węgla oznaczona w roślinach *Sida* z siewu i sadzenia nie różniła się istotnie.

Zawartość azotu w roślinach *Sida* otrzymanych w ramach dwóch sposobach uprawy siewu i sadzenia była zróżnicowana (tab. 29). Niezależnie od sposobu założenia plantacji największą ilość azotu oznaczono w roślinach testowych pobranych w pierwszym terminie 2016 r. i wynosiła ona od 24,05 do 29,20 g·kg^{-1} s.m. W kolejnych terminach i latach (2017, 2018) prowadzenia doświadczenia odnotowano tendencję spadkową omawianego pierwiastka w stosunku do 2016 r. Średnia zawartość azotu dla obu sposobach uprawy w 2017 r. była na zbliżonym poziomie (5,0 g·kg^{-1} s.m.) i ponad 82,0% niższa w porównaniu do pierwszego roku doświadczenia. Podobną zależność uzyskano w 2018 r., dla którego oznaczona średnia zawartość analizowanego pierwiastka dla obu sposobów zakładania plantacji była także niższa w stosunku do 2016 r. o ponad 70% i wynosiła ok. 8,0 g·kg^{-1} s.m.

Tabela 29. Zawartość azotu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	29,20^{A,a}	±2,69	24,05^{B,a}	±2,05	2,66
2017	I	4,52^{A,b}	±0,06	3,72^{A,b}	±0,57	0,41
	II	5,64^{A,b}	±1,45	6,42^{A,b}	±2,04	0,60
2018	I	8,17^{A,a}	±1,20	8,60^{A,b}	±1,36	0,84
	II	7,70^{A,a}	±0,91	7,65^{A,b}	±3,24	0,77
Średnia z lat 2016–2018		11,04	±10,26	10,09	±8,02	1,06

* oznaczenia jak w tabeli 21

Analiza uzyskanych wyników wskazuje również istotny wpływ terminu zbioru, a tym samym warunków atmosferycznych panujących w trakcie wegetacji roślin na ilość oznaczonego w nich azotu, co potwierdzają bardzo zróżnicowane ilości tego pierwiastka w roślinach pobranych na biogaz w I i II terminie 2017 i 2018 r. W 2017 r., niezależnie od sposobu uprawy, rośliny pobrane w drugim jesiennym terminie charakteryzowały się istotnie wyższą zawartością analizowanego składnika pokarmowego: siew o 25%, sadzenie o 73%. W przypadku 2018 r., charakteryzującym się małą ilością opadów, oznaczone dla obu sposobów uprawy ilości azotu były na zbliżonym poziomie, a odnotowane niewielkie różnice pomiędzy terminami zbiorów (siew 5,7%; sadzenie 11,1%) były statystycznie nieistotne.

W przypadku azotu nie można jednoznacznie potwierdzić istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na zawartość tego pierwiastka w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz. Istotne różnice w ilości oznaczonego składnika w zależności od sposobu uprawy uzyskano tylko w pierwszym roku doświadczenia.

Tabela 30. Zawartość siarki (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacj				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	0,952^{A,a}	±0,013	0,852^{B,a}	±0,030	0,09
2017	I	0,257^{A,b}	±0,025	0,310^{A,b}	±0,079	0,03
	II	0,155^{A,c}	±0,011	0,164^{A,b}	±0,011	0,02
2018	I	0,748^{A,d}	±0,044	0,760^{A,ac}	±0,005	0,08
	II	0,617^{A,e}	±0,008	0,639^{A,c}	±0,414	0,06
Średnia z lat 2016–2018		0,546	±0,334	0,545	±0,296	0,05

* oznaczenia jak w tabeli 21

Zawartość siarki w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz wahała się od 0,155 do 0,952 g·kg^{-1} s.m. (tab. 30). Największą zawartość siarki odnotowano we wszystkich roślinach testowych zebranych w pierwszym roku doświadczenia. Wraz z wiekiem plantacji zawartość omawianego składnika pokarmowego w roślinach zmalała w stosunku do 2016 r. Zależność tą odnotowano dla obu sposobów uprawy, zarówno w pierwszym, jak i drugim terminie zbioru. W 2017 r. spadek ten wyniósł od 73% (I termin) do 84% (II termin) dla roślin z siewu i od 60% (I termin) do 81% (II termin) dla roślin z sadzenia. W trzecim roku doświadczenia spadek ten był mniejszy na poziomie od 21 do 35% dla uprawy z siewu oraz od 11 do 25% dla uprawy z sadzenia. Na podstawie wyników uzyskanych w 2017 i 2018 r. stwierdzono, iż termin zbioru ma istotny wpływ na zawartość siarki w roślinie testowej. Niezależnie od sposobu uprawy w latach 2017–2018 większe ilości siarki oznaczono w roślinach testowych pobranych w pierwszym terminie. Równocześnie uzyskane wyniki badań wskazują, że nastąpił wzrost zawartości siarki między 2017 a 2018 r. w *Sida* w uprawie z siewu odpowiednio o 192 i 298%, a w uprawie z sadzenia odpowiednio o 145 i 291%. Takie zróżnicowanie w pobraniu siarki przez rośliny testowe najprawdopodobniej spowodowane było ilością opadów atmosferycznych występujących w minionym czasie. Rok 2017 charakteryzował się wysokimi opadami w okresie zbioru, a 2018 – bardzo małymi.

Przeprowadzona analiza statystyczna nie potwierdziła jednoznacznego wpływu sposobu uprawy na zawartość siarki w roślinach *Sida*. Tylko w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia odnotowano istotny wpływ sposobu założenia plantacji na zawartość siarki w roślinach *Sida*. W pozostałych latach doświadczenia ilość siarki oznaczona w roślinach *Sida* z siewu i sadzenia nie różniła się istotnie.

Zawartość fosforu w roślinach ślazowca przeznaczonych na biogaz charakteryzowała się dużą zmiennością, na którą miał wpływ przede wszystkim wiek doświadczenia, termin zbioru, a tym samym warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin (tab. 31). Najmniejszą zawartość fosforu oznaczono w roślinach testowych dla obu sposobów uprawy pobranych w pierwszym roku doświadczenia, odpowiednio 1,57 (siew) i 1,60 g·kg^{-1} s.m. (sadzenie). W kolejnych latach doświadczenia wystąpił wzrost zawartości fosforu w roślinach z obu sposobów uprawy. Średnia zawartość fosforu oznaczona w 2017 r. w roślinach *Sida* wyniosła dla siewu 2,33, a dla sadzenia 2,21 g·kg^{-1} s.m. i była od 37 do 48% wyższa od wartości uzyskanych w 2016 r. Podobnie w 2018 r. średnie zawartości fosforu w roślinach testowych z obu sposobów upraw były większe niż w pierwszym roku doświadczenia o 60 (siew)–65% (sadzenie) i wynosiły odpowiednio dla siewu 2,25 g·kg^{-1} s.m., dla sadzenia 2,26 g·kg^{-1} s.m.

Tabela 31. Zawartość fosforu w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018 (g·kg^{-1} s.m.)

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	1,57^{A,a,}	±0,03	1,60^{A,a,c}	±0,15	0,16
2017	I	3,48^{A,bc}	±0,26	3,40^{A,b}	±0,23	0,34
	II	1,18^{A,a}	±0,16	1,01^{A,a}	±0,25	0,11
2018	I	2,78^{A,cd}	±0,20	3,17^{A,,b}	±0,17	0,30
	II	2,25^{A,da}	±0,37	2,12^{A,,c}	±0,26	0,22
Średnia z lat 2016–2018		2,25	±0,92	2,26	±1,02	0,23

* oznaczenia jak w tabeli 21

Na podstawie wyników uzyskanych w latach 2017 i 2018 stwierdzono, iż termin zbioru ma istotny wpływ na zawartość fosforu w roślinie testowej pobranej na biogaz. Niezależnie od sposobu uprawy, w drugim i trzecim roku doświadczenia większe ilości fosforu oznaczono w *Sidzie* pobranej w pierwszym terminie, odpowiednio o 66 (siew)–70% (sadzenie) w 2017 r. i o 19 (siew)–33% (sadzenie) w 2018 r. Analiza statystyczna wyników otrzymanych dla fosforu z trzyletniego doświadczenia polowego potwierdza, iż sposób uprawy nie ma istotnego wpływu na zawartość fosforu w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz.

Zawartość pozostałych makroskładników Ca, K i Mg w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz charakteryzuje się dużą różnorodnością. Ilość wapnia oznaczona w suchej masie *Sida* otrzymanych z dwóch sposobów upraw siewu i sadzenia, wahała się w zakresie od 15,37 do 33,58 g·kg^{-1} s.m. (tab. 32).

Tabela 32. Zawartość wapnia (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	30,30^{A,ac}	±0,09	33,58^{A,a}	±2,32	3,19
2017	I	15,37^{A,b}	±0,61	15,48^{A,b}	±6,22	1,54
	II	23,79^{A,bc}	±5,11	21,84^{A,ab}	±4,72	2,28
2018	I	16,12^{A,b}	±1,31	15,43^{A,b}	±1,39	1,58
	II	19,50^{A,bc}	±4,06	26,74^{A,ab}	±1,92	2,31
Średnia z lat 2016–2018		21,02	±6,16	22,62	±7,75	2,18

* oznaczenia jak w tabeli 21

Niezależnie od sposobu założenia plantacji, największe ilości Ca oznaczono w roślinach pobranych w pierwszym roku założenia plantacji i wynosiły odpowiednio: dla roślin z siewu 30,30 g·kg^{-1} s.m., a dla roślin z sadzenia 33,58 g·kg^{-1} s.m. Wraz z wiekiem plantacji w roślinach *Sida* malała zawartość analizowanego pierwiastka. W latach 2017 i 2018 oznaczone średnie zawartości wapnia wynosiły dla porównywanych sposobów upraw odpowiednio: siew – 19,58 (2017), 17,81 g·kg^{-1} s.m. (2018), sadzenie – 18,66 (2017), 21,09 g·kg^{-1} s.m, (2018) i były mniejsze w stosunku do 2016 r.: dla siewu od 35 do 41%; dla sadzenia od 37 do 44%.

Na podstawie wyników uzyskanych w latach 2017 i 2018 stwierdzono, że dodatkowym czynnikiem wpływającym na ilość analizowanego składnika w testowanej roślinie energetycznej miał termin zbioru. W przypadku obu sposobów uprawy większe ilości wapnia oznaczono w roślinach pobranych w drugim jesiennym terminie odpowiednio: siew 54,8% (2017)–21,0% (2018); sadzenie 41,1% (2017)–73,3% (2018). W przypadku analizowanego pierwiastka również nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na jego ilość w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz. Niezależnie od wieku plantacji różnice w ilości oznaczonego wapnia w roślinach z obu sposobów upraw nie różniły się istotnie.

Zawartość potasu w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonych na biogaz wahała się w zakresie od 8,94 do 21,04 g·kg^{-1} s.m. (tab. 33). Wraz z wiekiem plantacji maleje jego zawartość w testowanej roślinie. Średnie zawartości potasu w drugim i trzecim roku prowadzenia doświadczenia wynoszą odpowiednio: siew 15,78 i 14,72 g·kg^{-1} s.m.; sadzenie 13,80 i 13,41 g·kg^{-1} s.m. i niezależnie od sposobu prowadzenia plantacji są mniejsze w stosunku do 2016 r. o ok. 20% w 2017 r. i ok. 35% w 2018 r.

Tabela 33. Zawartość potasu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	19,53^{A,a}	±0,92	14,76^{B,abc}	±0,61	+1,71
2017	I	21,04^{A,a}	±0,38	18,65^{A,b}	±2,01	1,98
	II	10,52^{A,b}	±2,45	8,94^{A,c}	±1,61	0,97
2018	I	15,91^{A,ab}	±1,41	14,24^{A,a}	±0,26	1,51
	II	13,52^{A,b}	±1,34	12,57^{A,a}	±2,38	1,30
Średnia z lat 2016–2018		16,10	±4,30	13,83	±3,53	1,50

* oznaczenia jak w tabeli 21

W przypadku potasu, również stwierdzono istotny wpływ terminu zbioru na jego zawartość w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz. Zarówno w 2017, jak i w 2018 r. większe ilości potasu oznaczono w próbkach *Sida* pobranych w pierwszym terminie.

Zależność tą zaobserwowano dla obu sposobów upraw. Odnotowane między I a II terminem zbioru różnice w zawartości analizowanego pierwiastka wynosiły od 50 (2017) do 15% (2018) i były statystycznie istotne tylko w 2017 r.

Analiza statystyczna wyników uzyskanych w ramach trzyletniego doświadczenia polowego wskazuje, iż sposób uprawy *Sida* przeznaczonej na biogaz miał istotne znaczenie tylko w pierwszym roku doświadczenia.

Analiza zawartości magnezu w roślinach *Sida* przeznaczonych na biogaz wskazuje na jego duże zróżnicowanie. Wynikało to głównie z terminu zbioru oraz warunków atmosferycznych panujących w trakcie wegetacji roślin (tab. 34).

Tabela 34. Zawartość magnezu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

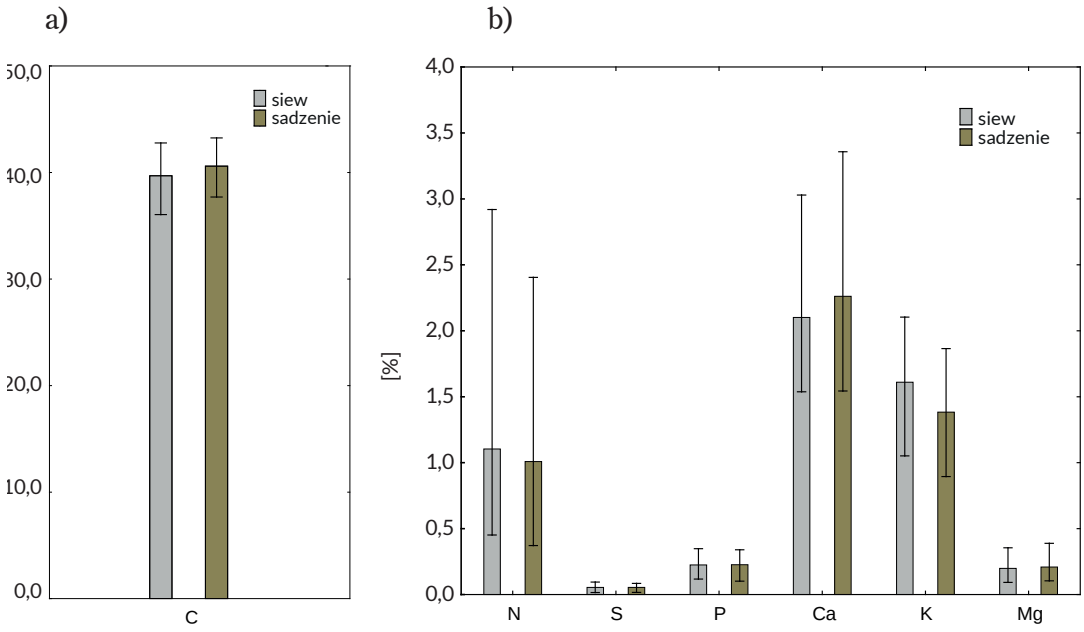
Lata	Termin zbioru	Sposób założenia plantacji				Średni % udział w s.m.
		siew		sadzenie		
2016	I	2,39^{A,a}	±0,36	2,63^{A,a}	±0,25	0,25
2017	I	1,54^{A,ab}	±0,21	1,44^{A,b}	±0,15	0,15
	II	0,92^{A,b}	±0,21	1,04^{A,b}	±0,10	0,10
2018	I	1,54^{A,ab}	±0,21	1,44^{A,b}	±0,15	0,15
	II	3,55^{A,c}	±0,10	3,88^{A,c}	±0,37	0,37
Średnia z lat 2016–2018		1,99	±1,02	2,09	±1,17	0,20

* oznaczenia jak w tabeli 21

Niezależnie od sposobu założenia plantacji zawartość magnezu wahała się w zakresie od 0,92 do 3,88 g·kg^{-1} s.m. Najmniejsze ilości tego pierwiastka oznaczono w roślinach *Sida* pobranych z obu sposobów uprawy w 2017 r., charakteryzującym się znacznymi opadami w trakcie wegetacji roślin. Średnia zawartość Mg w przeliczeniu na 1 kg suchej masy rośliny wyniosła w 2017 r. od 1,23 g (siew) do 1,24 g (sadzenie) i była o ok. 50% mniejsza w porównaniu do 2016 r. i średniej zawartości uzyskanej w 2018 r. (siew – 2,54; sadzenie – 2,66 g·kg^{-1} s.m.). Z uzyskanych danych wynika, że wpływ terminu zbioru był bardzo zróżnicowany. W 2017 r., dla obu sposobów uprawy, w drugim terminie zbioru (jesiennym) ilości oznaczonego Mg w próbkach rośliny energetycznej były mniejsze dla siewu o 40%, dla sadzenia o 28%, natomiast w 2018 r. – istotnie większe o ok. 130 – dla siewu i 170% – sadzenia. Nie stwierdzono także istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na ilość oznaczonego Mg w roślinie testowej. W trakcie trzyletniego doświadczenia polowego oznaczone ilości analizowanego pierwiastka w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz uzyskane w ramach dwóch sposobów uprawy siew/sadzenie nie różniły się istotnie.

Z analizy wybranych składników chemicznych *Sida* przeznaczonej na biogaz wynika, iż największy udział procentowy w suchej masie rośliny ma węgiel. Niezależ-

nie od sposobu założenia plantacji uzyskany dla trzyletniego doświadczenia polowego jego średni udział w suchej masie roślin *Sida* stanowi ok. 40% (ryc. 7a). Tylko dla azotu, wapnia i potasu stwierdzono, iż ich procentowe udziały w suchej masie rośliny testowej przekraczały 1% i wyniosły w zależności od sposobu uprawy (siew, sadzenie) odpowiednio: N = 1,10–1,01%, Ca = 2,10–2,26%; K = 1,61–1,38%. Udział procentowy w suchej masie pozostałych analizowanych składników nie przekroczył 1% i można je uszeregować w kolejności: P (0,23%), Mg (0,20%), S (0,05%) – rycina 7b.



Ryc. 7a, 7b. Średni udział procentowy (± wartość maksymalna i minimalna) analizowanych składników chemicznych w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonych na biogaz

Rozpatrywany w badaniach wpływ sposobu założenia plantacji nie wpłynął również w sposób wyraźny i ukierunkowany na średni udział procentowy analizowanych składników chemicznych w suchej masie roślin *Sida*. Z przedstawionych na wykresie wartości maksymalnych i minimalnych wynika, że głównym czynnikiem determinującym ich udziały był termin zbioru, a tym samym warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin.

Dyskusja

Przedstawione dane wskazują na duże zróżnicowanie zawartości poszczególnych składników w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonej na biomasę i biogaz. Termin zbioru w odpowiedniej fazie wzrostu należy do czynników najbardziej intensyfikujących zmiany wszystkich analizowanych składników. Istotnym problemem w procesie spalania i współspalania biomasy jest jej wilgotność. Obniża ona wartość opałową paliwa, gdyż część generowanego ciepła jest tracona na ogrzanie i odparowania wilgoci.

Surowa fitomasa charakteryzuje się wysoką wilgotnością całkowitą, której składową jest wilgotność analityczna. Analizowany materiał roślinny *Sida* charakteryzuje się stosunkowo niskimi wartościami wilgotności analitycznej. Niezależnie od sposobu uprawy (siew, sadzenie) wilgotność analityczna w roślinach *Sida* jest na średnim poziomie 6,2–6,5%. Uzyskane wartości są charakterystyczne dla tej rośliny (Jagustyn i in. 2011), a także zbliżone do wartości, jakie uzyskali Mółka i Łapczyńska-Kordon (2011) dla słomy w postaci peletów, natomiast znacznie niższe od wartości uzyskanych dla ziaren zbóż (owsa, pszenicy, jęczmienia) czy drzewa bukowego. Obok wilgotności istotnym balastem paliwa jest popiół powstały w procesie spalania. Zawartość popiołu w paliwie, podobnie jak wilgotność, niekorzystnie wpływa na wartość energetyczną paliwa oraz na przebieg procesu spalania (Kowalczyk-Juśko 2009).

Oznaczona zawartość popiołu w biomasie *Sida* waha się w zakresie od 2,0 (siew) do 1,8% (sadzenie). Na podstawie wyników badań własnych stwierdzono, że istotnym czynnikiem kształtującym poziom popiołu w ślazowcu przeznaczonym na biomasę są: wiek plantacji oraz brak nawożenia w kolejnych latach doświadczenia, czego skutkiem był spadek zawartości większości analizowanych składników w roślinie. Stwierdzono także, że termin zbioru oraz warunki pogodowe panujące w trakcie wegetacji roślin istotnie oddziaływają na zawartość popiołu. Rośliny *Sida* pobrane w trakcie wegetacji roślin charakteryzowały się większą zawartością popiołu, która także malała z wiekiem plantacji, ze względu na brak nawożenia. Podobne zależności stwierdzili m.in. Stolarski i in. (2008) badając właściwości biomasy wieloletnich roślin energetycznych. Stwierdzili oni, iż opóźnienie zbioru biomasy od listopada do marca wpływa na obniżenie zawartości popiołu w biomasie.

Zawartość makroelementów w różnych gatunkach roślin waha się w szerokim zakresie. Dane z piśmiennictwa wskazują, że znaczący wpływ na skład chemiczny roślin wywiera gleba i jej zasobność w składniki pokarmowe, warunki pogodowe czy czynniki agrotechniczne, tj. sposób uprawy, termin siewu, odmiana rośliny, termin zbioru czy nawożenie (Tarkowski 2006; Tworkowski i in. 2014; Borkowska i in. 2016).

W przypadku badań własnych, niezależnie od przeznaczenia energetycznego roślin (biomasa, biogaz), istotnymi czynnikami determinującymi skład jakościowy *Sida* był wiek plantacji, termin poboru prób, skrajne warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin oraz brak nawożenia. Rozpatrywany dodatkowo w badaniach wpływ sposobu założenia plantacji nie wpłynął w sposób wyraźny i ukierunkowany na średni udział procentowy analizowanych składników chemicznych w suchej masie roślin *Sida*. Dla obu sposobów uprawy, niezależnie od przeznaczenia energetycznego *Sida*, najbardziej stabilnym składnikiem okazał się węgiel. Jego średni udział procentowy w suchej masie roślin wahał się w granicach od 36,6 do 40,2%, a wyliczony współczynnik zmienności dla tego składnika nie przekroczył 10%.

Uzyskane w badaniach własnych wartości są nieznacznie niższe od wartości, jakie uzyskał Tworkowski i in. (2014) badając produktywność oraz właściwości biomasy ślazowca pensylwańskiego jako paliwo w zależności od materiału siewnego i obsady roślin. Uzyskana przez autorów zawartość procentowa węgla w suchej masie testo-

wanych roślin mieściła się w zakresie od 47,0 do 47,7% i potwierdziła, że sposób założenia plantacji nie miał istotnego wpływu na jego ilość w testowanych roślinach. Zawartość pozostałych makroelementów w suchej masie roślin jest bardzo zróżnicowana i zmieniała się istotnie w zależności od ich fazy rozwojowej (Tarkowski 2006). Sucha masa roślin pobrana na biogaz (w okresie wegetacji roślin) charakteryzowała się wyższym procentowym udziałem fosforu, wapnia i potasu oraz niższym procentowym udziałem azotu, siarki i magnezu w porównaniu do suchej masy *Sida* przeznaczonej na biomasę. Jednym z parametrów klasyfikującym przydatność biomasy do celów energetycznych jest zawartość pierwiastków kwasotwórczych: azotu, siarki, chloru (Borkowska i Lipiński 2008; Cichy 2005; Srogi 2007). Stanowią one niepożądany składnik paliwa powodując między innymi korozję urządzeń technologicznych stosowanych w procesie spalania czy są inhibitorami procesu produkcji biogazu. W beztlenowym procesie pozyskiwania biogazu – metanu, ważne jest zachowanie odpowiedniej proporcji pomiędzy zawartością węgla i azotu C:N w podawanym substracie. Zbyt duży stosunek C do N w podłożu może być przyczyną szybszej degradacji azotu przez drobnoustroje i niecałkowitej przemiany węgla, natomiast zbyt niski – zwiększa ryzyko powstawania amoniaku, który jest toksyczny dla bakterii metanogennych (Mao i in. 2015). Optymalny stosunek tych pierwiastków w przypadku fermentacji metanowej powinien mieścić się w zakresie od 20 do 35, przy czym najczęściej spotykanym jest 25 (Weiland 2010, Zhang i in. 2016, Gołaszewski 2014; Mao i in. 2015, Kozłowski i in. 2016). W pozyskanym surowcu *Sida* do produkcji biogazu wyliczony stosunek C:N jest znacznie większy (50:1) od optymalnego, co może skutkować mniejszą wydajnością produkcji biogazu.

Analizując średnie udziały procentowe pierwiastków kwasotwórczych w suchej masie *Sida* z lat 2016–2018 stwierdzono, że niezależnie od terminu zbiorów, *Sida* charakteryzowała się zawartością azotu przekraczającą normy, m.in. DIN 51731 i EN 14961-2:2011, A1 (≤0,3%). W przypadku siarki kryteria jakościowe zawarte w normach są bardziej zróżnicowane. Według normy EN 14961-2:2011, A1 ilość siarki nie powinna przekraczać wartości 0,03%, natomiast wg normy DIN 51731 wartość ta jest znacznie wyższa (<0,08). Uzyskane wyniki badań dotyczące zawartości siarki kształtowały się w granicach 0,05%. Cytowane normy dotyczą granulowanych paliw z drewna naturalnego. W przypadku nowych surowców, jakimi są rośliny energetyczne uprawy polowej, normy te mogą służyć jako punkt odniesienia (Cichy 2005).

Wnioski

1. Niezależnie od wykorzystania energetycznego roślin *Sida* nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na wartości analizowanych wskaźników fizykochemicznych. Głównymi czynnikami kształtującymi ich wartości są wiek plantacji, termin poboru prób i warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin.
2. Biomasa roślin *Sida* charakteryzowała się stosunkowo niską wilgotnością analityczną i zawartością popiołu. Wartości tych wskaźników malały z wiekiem plantacji.

5. Dla obu sposobów uprawy, niezależnie od przeznaczenia energetycznego *Sida*, najbardziej stabilnym składnikiem okazał się węgiel. Jego udział procentowy w suchej masie roślin oznaczono na poziomie od 36,6 do 40,2%.
6. Średni procentowy udział pierwiastków kwasotwórczych (N i S) w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonej na biomasę był zróżnicowany w porównaniu do norm zalecanych dla paliw granulowanych.
7. W pozyskanym surowcu *Sida*, przeznaczonym do produkcji biogazu, uzyskano większy stosunek C:N (50:1), co może skutkować mniejszą wydajnością procesu fermentacji metanowej.

| X. SKŁAD CHEMICZNY GLEBY

Przed założeniem doświadczenia zostały wykonane analizy chemiczne próbek gleby pobrane z trzech warstw (0–30 cm, 30–60 cm i 60–90 cm). Na ich podstawie można stwierdzić, że doświadczenie założono na glebie brunatnordzawej kwaśnej niecałkowitej, wytworzonej z piasku gliniastego lekkiego pylastego, średnio głęboko podścielonego gliną lekką (tab. 35). Gleba należy do klasy bonitacyjnej IVa, kompleksu przydatności rolniczej – żytniego dobrego. Pod względem geologicznym skała macierzysta gleby to utwory moreny dennej ostatniego bałtyckiego zlodowacenia (Koźmiński i Michalska 2000; Koźmiński i Michalska 2003).

Tabela 35. Procentowa zawartość frakcji granulometrycznych w próbkach glebowych z Lipnika oraz nazwa grupy granulometrycznej wg PTG (1989) oraz kategoria agronomiczna wg Obojskiego i Strączyńskiego (1995)

Lp.	Warstwa cm	Szkielet >1 mm	Części ziemiste			Grupa granulometryczna	Kategoria agronomiczna gleb
			piasek 1–0,1 mm	pył 0,1–0,02 mm	części spławialne <0,02 mm		
1	0–30	1,5	59,0	29,5	14,8	piasek gliniasty lekki pylasty	gleba lekka
2	30–60	1,6	58,0	28,0	14,0	piasek gliniasty lekki pylasty	gleba lekka
3	60–90	2,1	63,3	23,8	13,0	piasek gliniasty lekki	gleba lekka

W próbkach glebowych przed założeniem doświadczenia oznaczono pH, zawartość ogólną C, N, P, K, Ca, Mg, S oraz formy przyswajalne P, K i Mg (tab. 36).

Gleba użyta do badań charakteryzowała się odczynem zbliżonym do obojętnego (pHKCL 5,90–6,78), zasobność węgla ogólnego w warstwie 0–30 cm wyniosła 9,30, azotu – 0,92, fosforu – 0,45, potasu – 0,62, wapnia – 0,78, magnezu – 0,90 i siarki – 0,15 g·kg^{-1} s.m. Zasobność gleby w formy przyswajalne fosforu (134 mg·kg^{-1} s.m.), potasu (120 mg·kg^{-1} s.m.) i magnezu (39,8 mg·kg^{-1} s.m.) była średnia. Koncentracja mikroskładników w tym niektórych metali ciężkich w glebie mieściła się w granicach zawartości naturalnych (Rozporządzenie Ministra Środowiska Dz.U. 02.165.1359).

Tabela 36. Właściwości chemiczne gleby pobranej z trzech głębokości przed założeniem doświadczenia polowego

Pierwiastek	Miąższość gleby (cm)		
	0–30	30–60	60–90
pH_{KCl}	5,90	6,45	6,78
Zawartość ogólna w g·kg^{-1} s.m.			
N	0,924	0,723	0,190
P	0,45	0,40	0,340
K	0,62	0,70	0,681
Mg	0,90	0,91	0,952
Ca	0,78	0,96	0,851
S	0,15	0,025	0,002
C	9,30	7,10	1,18
Zawartość form przyswajalnych w mg·kg^{-1} s.m.			
P_2O_5	134,0	112,0	84,0
K_2O	120,0	98,0	84,0
MgO	39,8	38,7	38,1

Skład chemiczny gleby po zakończeniu doświadczenia

W trakcie prowadzenia doświadczenia nawożenie w postaci nawozów mineralnych było stosowane jednorazowo w każdym roku badań, w pierwszym roku (2016) przed założeniem doświadczenia, a w pozostałych latach (2017–2018) przed ruszeniem wegetacji roślin. Uzyskane rezultaty badań gleby po zakończeniu doświadczenia zestawiono w tabeli 29. Wartość pH gleby wahała się od 5,54 do 5,67. Analizując dane stwierdzono, że odczyn gleby uległ obniżeniu w tracie uprawy *Sida* w porównaniu do wartości odnotowanej sprzed założenia doświadczenia (5,90).

Koncentracja makroskładników w glebie po zakończeniu doświadczenia była zróżnicowana i mniejsza w stosunku do zawartości przed założeniem doświadczenia. Zawartość azotu w glebie po zakończeniu doświadczenia wahała się od 0,72 do 0,78 g·kg^{-1}s.m. (tab. 37). Były to wartości mniejsze niż sprzed założenia doświadczenia średnio o 25,0%. Gleba po zbiorze biomasy *Sida* z uprawy z siewu i sadzenia zawierała mniej ogólnego azotu, fosforu, potasu, magnezu, wapnia siarki i węgla w porównaniu do wartości przed założeniem doświadczenia. System uprawy z siewu *Sida* przyczynił się do mniejszego pobrania z gleby azotu, fosforu, potasu i siaki w porównaniu do uprawy z sadzenia. Odwrotną zależność stwierdzono w pobraniu z gleby magnezu, wapnia i węgla przez roślinę testową. Zawartość fosforu, potasu i siarki w glebie po zakończeniu doświadczenia w systemie z siewu była większa odpowiednio o 12,5, 9,25 i 12,8% w porównaniu do uprawy z sadzenia. Znaczącą różnicę stwierdzono w zawartości wapnia w glebie w systemie uprawy z sadzenia, którego było więcej o 47,7% w stosunku do sposobu uprawy z siewu.

Tabela 37. Właściwości chemiczne gleby pobranej z warstwy 0–30 cm po zbiorze roślin testowych w 2018 r.

Pierwiastek	Sposób założenia plantacji	
	siew	sadzenie
pH_{KCl}	5,65	5,54
Zawartość ogólna w $g \cdot kg^{-1}$ s.m.		
N	0,78	0,72
P	0,36	0,32
K	0,59	0,54
Mg	0,27	0,31
Ca	0,44	0,65
S	0,053	0,047
C	7,00	7,33
Formy przyswajalne $mg \cdot kg^{-1}$ s.m.		
P_2O_5	156,0	179,2
K_2O	127,4	127,8
MgO	35,3	36,2

Analizując zawartość form przyswajalnych fosforu i potasu w glebie po zbiorze rośliny testowej, stwierdzono wzrost obu pierwiastków zarówno w systemie uprawy z siewu, jak i z sadzenia w stosunku do wartości sprzed założenia doświadczenia odpowiednio o 16,4, 33,7, 6,2 i 6,5% oraz spadek magnezu. Wyniki badań wykazały, że system uprawy z sadzenia przyczynił się do zwiększenia formy przyswajalnej w glebie fosforu oraz magnezu odpowiednio o 14,9 i 2,55% w porównaniu do uprawy z siewu. Natomiast sposób założenia plantacji (siew, sadzenie) nie miał wpływu na kształtowanie zawartości formy przyswajalnej potasu w glebie.

Wnioski

1. Odczyn oraz zawartość ogólna makroskładników w glebie w trzecim roku po zbiorze *Sida* była zróżnicowana i niższa w porównaniu do zawartości przed założeniem doświadczenia.
2. *Sida* uprawiana z siewu pobrała z gleby mniej azotu, fosforu, potasu i siarki w porównaniu do uprawy z sadzenia. Odwrotną zależność stwierdzono w pobraniu z gleby magnezu, wapnia i węgla przez roślinę testową.
3. Sposób uprawy z sadzenia przyczynił się do zwiększenia formy przyswajalnej w glebie fosforu i magnezu odpowiednio o 14,9 i 2,6% w porównaniu do uprawy z siewu.

| XI. OPŁACALNOŚĆ EKONOMICZNA UPRAWY *SIDA*

Wstęp

Ważnym dla rynku biomasy w Polsce była informacja Rady Ministrów z 7 grudnia 2010 r. o przyjęciu krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych, który został przygotowany na podstawie schematu opracowanego przez Komisję Europejską. Zawarto w nim prognozy wykorzystania 15,5% OZE w zużyciu energii końcowej brutto do 2020 r. (Szczukowski i in. 2010). Polska ma dogodne warunki do produkcji biomasy ze słomy. Dysponowanie prawie 2 mln ha gruntów o niższej przydatności produkcyjnej może przyczynić się do zapełnienia potrzeb energetycznych kraju (Wach i Wach 2015). Głównym roślinnym produktem ubocznym jest słoma, której nadwyżka po uwzględnieniu zapotrzebowania na rolnictwo, w tym zapewnienie odpowiedniej ilości na ściółkę i paszę dla zwierząt. Rolnicy często pozostawioną ze zbiorów słomę stosują jako nawóz organiczny, aby utrzymać zrównoważony bilans substancji organicznej w glebie. W celu przyorania na ten zabieg przeznacza się ok. 20% słomy. Pozostawianie słomy jako nawozu pozwala ograniczyć dodatkowe wydatki na zakup nawozów sztucznych oraz ograniczyć pracę własną przy jej zbiorze (Ludwicka, Grzybek 2010). Może służyć także do produkcji peletów i brykietów. Magazynowanie i transport biomasy w formie zagęszczonej w postaci brykietów lub peletów ma wiele zalet, gdyż oszczędza czas i powierzchnię, na której dany surowiec się znajduje, co powoduje obniżenie kosztów transportu i ułatwia prace (Wyszomierski i Bórawski 2015). Rozwój energetyki w Polsce napotyka na trudności z dostępnością biomasy. Głównym powodem tego jest import taniej biomasy z rynków poza Unią Europejską (UE). Biomasa w postaci peletu w Rosji, na Ukrainie czy Białorusi jest o wiele tańsza niż w Polsce. Dodatkowym powodem, dla którego istnieją trudności ze sprzedażą biomasy na rynku krajowym są wymagania energetyki i elektrociepłowni dotyczące kontraktów średnio- i długoterminowych (Krawiec 2010).

Najwyższe koszty produkcji peletu stanowią: zakup surowca, energii elektrycznej, transportu, płac, amortyzacji i konserwacji maszyn. Ze struktury kosztów produkcji wynika, że zakup surowca, jakim jest słoma, jest największym wydatkiem podczas produkcji peletu (44% całej produkcji). Ważne znaczenie odgrywają także koszty energii elektrycznej i transportu (odpowiednio 12 i 11% całości kosztów produkcji). Płace, administracja, amortyzacja, remonty i konserwacje stanowiły 7–8%, a koszty składowania surowca i produktu były najniższe – sięgały tylko 3% wszystkich kosztów produkcji (Kraszkewicz i in. 2010, Szul 2013). Główny składnik produkcji peletu to koszty zakupu surowca, energii elektrycznej, transportu oraz płace, a także koszty remontowe i konserwacyjne maszyn. Aby produkcja peletu była opłacalna, cena na rynku biomasy za 1 GJ wartości energetycznej peletu powinna być na tyle wysoka, aby koszt produkcji 1 tony peletu był niższy od oferowanej wartości energetycznej przez rynek, która waha się między 18 a 31 zł za $1GJ \cdot Mg^{-1}$.

Ilość dostępnego surowca na rynku lokalnym ma znaczący wpływ na jego cenę, gdyż różnice cenowe między regionami mogą sięgać nawet 200%. Z badań przeprowa-

dzonych przez Brodzińskiego i Pawlewicza (2015) wynika, że głównymi czynnikami decydującymi o rozwoju biomasy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych są: stabilizacja cen surowca i zapewnienie stabilnych cen. Pomocne w tym może być tworzenie małych elektrociepłowni i ciepłowni wykorzystujących biomasę ze źródeł lokalnych (Brodziński i Pawlewicz 2015).

Z badań Kraszkiewicza i in. (2010) wynika, że średnie koszty produkcji peletu to ok. 270 zł za tonę. Najważniejszymi składnikami tych kosztów są: surowiec (ok. 120 zł), koszty remontów (39 zł), płace (36 zł), amortyzacja (20,8 zł), granulowanie (14,31 zł), rozdrabnianie właściwe (14,01 zł) za tonę.

Jedną z roślin energetycznych przydatnych do uprawy w warunkach glebowo-klimatycznych Polski jest ślazowiec pensylwański [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby] (Borkowska-Królik i in. 1986; Borkowska i Styk 2006; Kalembasa i Wiśniewska 2006; Stolarski i in. 2008). Biomasa tej rośliny wykorzystywana jest obecnie głównie do produkcji paliwa stałego (zrębki, brykiet, pelet). Może być również użyta do produkcji metanu w procesie jej fermentacji. Koszty założenia oraz prowadzenia plantacji ślazowca są bardzo zróżnicowane i zależne od wyboru sposobu zakładania plantacji. Wysokie koszty związane są z materiałem siewnym, przygotowaniem i sadzeniem sadzonek (Matyka 2008; Piskier 2008). Ostateczna opłacalność produkcji biomasy ślazowca uzależniona jest od możliwości jej sprzedaży, kosztów transportu i przetwarzania.

Podstawą analiz są wyniki z polowego doświadczenia ścisłego prowadzonego w latach 2016–2018 w RSD w Lipniku. W doświadczeniu uwzględniono dwa rodzaje przeznaczenia zbieranego materiału na biogaz i biomasę oraz dwa sposoby zakładania plantacji wysiew z nasion (3,0 kg·ha^{-1}) i sadzenie z rozsady w obsadzie 44 000 (szt.·ha^{-1}). Analizę ekonomiczną uprawy i produkcji zrębków ślazowca pensylwańskiego przedstawiono na podstawie plonu biomasy uzyskanego w poszczególnych obiektach doświadczenia w latach 2017 i 2018. Założono, że zbiór roślin ślazowca będzie wykonywany jednoetapowo. Całość poniesionych kosztów bezpośrednich podzielono na etapy. Pierwszy z nich obejmował założenie plantacji, a drugi jej użytkowanie. Poniesione koszty bezpośrednie na założenie oraz prowadzenie plantacji w pierwszym roku wegetacji przedstawiono w całości oraz podzielono na potencjalnie 10-letni okres ich użytkowania. Wykorzystane w opracowaniu zestawione tabelarycznie jednostkowe koszty eksploatacji sprzętu rolniczego przyjęto za przykładowymi kalkulacjami rolniczymi kosztów i wyników produkcji (ZODR Barzkowice 2018). Koszt zakupu nasion ślazowca ustalono na poziomie 900 zł·kg^{-1}, a rozsady 0,50 zł za sztukę. Wartość świeżych zrębków ślazowca z przeznaczeniem na biogaz przyjęto w cenie 12,9 zł za 1 dt, a na biomasę 30,0 zł za 1 dt. Wartość plonu świeżej biomasy wyliczono jako iloczyn plonu biomasy i ceny za 1 dt zrębków.

Wyniki

Kalkulacje dotyczące kosztów zakładania plantacji roślin energetycznych są bardzo rozbieżne nawet w obrębie tego samego gatunku i wynikają z relacji cen w danym roku, różnego doboru maszyn, cen materiału siewnego i innych założeń (Matyka 2008, Muzalewski 2010, Piskier 2008). Według danych Kusia i Matyki (2009) koszt założenia plantacji

ślazowca przy wysiewie nasion wynosił 9319 zł·ha^{-1}, zaś przy ręcznym sadzeniu sadzonek wzrósł do 11 127 zł·ha^{-1}. Dla porównania przeciętny koszt założenia 1 ha plantacji wierzby krzewiastej ci sami autorzy wyliczyli na 9060 zł, a miskanta na 23 075 zł·ha^{-1}. Koszty bezpośrednie produkcji zrębków ślazowca zależały głównie od kosztów założenia plantacji, a tylko w niewielkim stopniu modyfikowane były przez siłę roboczą, ciągniki i maszyny, których koszt związany był z wysokością zebranego plonu biomasy. Koszty produkcji zrębków wahały się od ok. 3349,5 do 6308,5 zł·ha^{-1}, w tym koszty założenia plantacji stanowiły od 15,9 do 61,0% wszystkich kosztów (tab. 38–41). Kuś i Matyka (2009) wyliczyli koszt produkcji ślazowca na 2705 zł·ha^{-1}, dla wierzby 1723 zł·ha^{-1}, a dla miskanta 2945 zł·ha^{-1}, co w przeliczeniu na 1 tonę biomasy wynosiło odpowiednio 301, 191 i 924 zł. W badaniach własnych koszty produkcji jednej tony biomasy na biogaz wynosiły 120,9 zł przy zakładaniu plantacji z siewu nasion do 144,8 zł przy zakładaniu plantacji z rozsady, natomiast produkcja biomasy do spalania odpowiednio 386,8 zł z nasion i 508,6 zł z rozsady. W badaniach Stolarskiego i in. (2013) dotyczących produkcji biomasy wierzby różnymi technologiami, koszty produkcji zrębków do spalania wynosiły średnio od 96 do 114 zł za tonę. Koszt produkcji jednej tony zrębków ślazowca w badaniach własnych zależał od rodzaju materiału siewnego oraz zebranego plonu biomasy (tab. 38–41). Plon świeżej masy równoważący koszty produkcji surowca na biogaz w przypadku wysiewu 3,0 kg nasion, jako materiału siewnego, powinna wynosić 36 Mg·ha^{-1}, a po wysadzeniu 44 000 szt.·ha^{-1} rozsady musiałby wynosić 50,0 Mg·ha^{-1}. Natomiast przy produkcji biomasy do spalania wartości plonu suchej masy powinny wynosić odpowiednio 11,0 i 21,0 Mg·ha^{-1}. Uzyskane wyniki były zgodne z tymi uzyskanymi przez Kusia i Matykę (2010), wg których opłacalność ślazowca następuje przy plonach ponad 11 Mg·ha^{-1} suchej masy i korzystnych cenach za biomasę.

Tabela 38. Kalkulacje rolnicze kosztów i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biogaz z siewu nasion w roku pełnego użytkowania

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
				ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
I	Koszty bezpośrednie				1695,00		1766,50
1	Materiał siewny				270,00		270,00
	nasiona, sadzonki – własne	j.s.			0,00		0,00
	nasiona, sadzonki – z zakupu ($^1/_5$ wartości)	szt.	90,00	3,0	270,00	3,0	270,00
2	Nawozy mineralne i dolistne				1175,00		1175,00
	azotowe (N)	kg	3,75	100,0	375,00	100,0	375,00
	fosforowe (P)	kg	3,95	80,0	316,00	80,0	316,00
	potasowe (K)	kg	2,60	140,0	364,00	140,0	364,00

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
				ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
3	Środki ochrony roślin				250,00		321,50
	herbicydy				250,00		321,50
	insektycydy						
II	Koszty bezpośrednie				1654,50		1811,65
1	Koszty uprawy i zbioru				1354,00		1504,00
	uprawki pożniwne	godz.			0,00		0,00
	orka siewna (ozima)	godz.			0,00		0,00
	nawożenie przedsiewne	godz.			0,00		0,00
	zabiegi doprawiające glebę	godz.			0,00		0,00
	siew (sadzenie)	godz.	100,00	1,0	100,00	1,0	100,00
	nawożenie pogłówne	godz.	65,00	1,0	65,00	1,0	65,00
	ochrona i dożywianie	godz.	65,00	0,6	39,00	0,6	39,00
	zbiór silosokombajnem	ha	700,00	1,0	700,00	1,0	700,00
	transport plonu	godz.	75,00	6,0	450,00	8,0	600,00
2	Koszty specjalistyczne				0,00		0,00
	czyszczenie, przygotowanie do sprzedaży	godz.					
	donajem pracy	godz.					
	inne (sznurek, folia, itp.)	szt./m^2					
3	Koszty ogólne				300,50		307,65
	podatek rolny				131,00		131,00
	koszty ogólnogospodarcze (10% k. bezpośrednich)				169,50		176,65
III	Ogółem koszty produkcji zielonki				3349,50		3578,15
IV	Koszty przygotowania kiszonki				1108,00		1444,00
	ugniatanie i formowanie pryzmy	godz.	65,00	2,0	130,00	4,0	260,00
	inne (folia, itp.)	m^2	1,50	600,0	900,00	720,0	1080,00
	najem pracowników do formowania pryzmy	godz.	13,00	6,0	78,00	8,0	104,00
V	Ogółem koszty produkcji kiszonki				4457,50		5022,15

	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
		ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
Plon biomasy (dt·ha^{-1})			277,10		358,00
Wartość produkcji przy cenie (zł za dt)	12,90		3574,59		4618,20
Nadwyżka bezpośrednia (wartość produkcji – koszty bezpośrednie)			1879,59		2851,70
Dochód z produkcji (wartość produkcji – koszty ogólne)			-882,91		-403,95
Dopłaty bezpośrednie (JPO + płatności za zazielenienie)			771,32		771,32
Ogółem przychody			4345,91		5389,52
Dochód rolniczy – zł za ha (dochód z produkcji + dopłaty)			-111,59		367,37
Wskaźnik opłacalności (%)			97,50		107,31

Plon łączny z trzech lat badań
Koszt 1 kg nasion 900,00 zł

Tabela 39. Kalkulacje rolnicze – koszty i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biogaz z sadzenia w roku pełnego użytkowania

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
				ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
I	Koszty bezpośrednie				3605,00		3676,50
1.	Materiał siewny				2200,00		2200,00
	nasiona, sadzonki – własne	j.s.			0,00		0,00
	nasiona, sadzonki – z zakupu ($^1/_5$ wartości)	szt.	0,50	44 000,0	2200,00	44 000,0	2200,00
2.	Nawozy mineralne i dolistne				1155,00		1155,00
	azotowe (N)	kg	3,75	100,0	375,00	100,0	375,00
	fosforowe (P)	kg	3,95	80,0	316,00	80,0	316,00
	potasowe (K)	kg	2,60	140,0	364,00	140,0	364,00

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
				ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
3.	Środki ochrony roślin				250,00		321,50
	herbicydy				250,00		321,50
	insektycydy						
II.	Koszty bezpośrednie				1745,50		1902,65
1.	Koszty uprawy i zbioru				1254,00		1404,00
	uprawki pożniwne	godz.			0,00		0,00
	orka siewna(ozima)	godz.			0,00		0,00
	nawożenie przedsiewne	godz.			0,00		0,00
	zabiegi doprawiające glebę	godz.			0,00		0,00
	siew (sadzenie)	godz.			0,00		0,00
	nawożenie pogłówne	godz.	65,00	1,0	65,00	1,0	65,00
	ochrona i dożywianie	godz.	65,00	0,6	39,00	0,6	39,00
	zbiór silosokombajnem	ha	700,00	1,0	700,00	1,0	700,00
	transport plonu	godz.	75,00	6,0	450,00	8,0	600,00
2.	Koszty specjalistyczne				0,00		0,00
	czyszczenie, przygotowanie do sprzedaży	godz.					
	donajem pracy	godz.					
	inne (sznurek, folia, itp.)	szt./m^2					
3.	Koszty ogólne				491,50		498,65
	podatek rolny				131,00		131,00
	koszty ogólnogospodarcze (10% k. bezpośrednich)				360,50		367,65
III.	Ogółem koszty produkcji zielonki				5350,50		5579,15
IV.	Koszty przygotowania kiszonki				1108,00		1444,00
	ugniatanie i formowanie pryzmy	godz.	65,00	2,0	130,00	4,0	260,00
	inne (folia, itp.)	m^2	1,50	600,0	900,00	720,0	1080,00
	najem pracowników do formowania pryzmy	godz.	13,00	6,0	78,00	8,0	104,00
V.	Ogółem koszty produkcji kiszonki				6458,50		7023,15

	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
		ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
Plon biomasy (dt·ha^{-1})			369,50		500,00
Wartość produkcji przy cenie (zł za dt)	12,90		4766,55		6450,00
Nadwyżka bezpośrednia (wartość produkcji – koszty bezpośrednie)			1161,55		2773,50
Dochód z produkcji (wartość produkcji – koszty ogólne)			-1691,95		-573,15
Dopłaty bezpośrednie (JPO + płatności za zazielenienie)			771,32		771,32
Ogółem przychody			5537,87		7221,32
Dochód rolniczy – zł za ha (dochód z produkcji + dopłaty)			-920,63		198,17
Wskaźnik opłacalności (%)			85,75		102,82

Plon łączny z trzech lat badań
Koszt 1 sadzonki 0,5 zł

Tabela 40. Kalkulacje rolnicze – koszty i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biomasę z siewu nasion w roku pełnego użytkowania

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
				ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
I.	Koszty bezpośrednie				1695,00		1766,50
1.	Materiał siewny				270,00		270,00
	nasiona, sadzonki – własne	j.s.			0,00		0,00
	nasiona, sadzonki – z zakupu ($^1/_5$ wartości)	kg	90,00	3,0	270,00	3,0	270,00
2.	Nawozy mineralne i dolistne				1175,00		1175,00
	azotowe (N)	kg	3,75	100,0	375,00	100,0	375,00
	fosforowe (P)	kg	3,95	80,0	316,00	80,0	316,00
	potasowe (K)	kg	2,60	140,0	364,00	140,0	364,00
	wapno nawozowe (Ca – $^1/_5$ wartości)	kg	120,00	1,0	120,00	1,0	120,00
3.	Środki ochrony roślin				250,00		321,50
	herbicydy				250,00		321,50
	insektycydy						

II.	Koszty bezpośrednie				1654,50		1811,65
1.	Koszty uprawy i zbioru				1354,00		1504,00
	uprawki pożniwne	godz.			0,00		0,00
	orka siewna (ozima)	godz.			0,00		0,00
	nawożenie przedsiewne	godz.			0,00		0,00
	zabiegi doprawiające glebę	godz.			0,00		0,00
	siew (sadzenie)	godz.	100,00	1,0	100,00	1,0	100,00
	nawożenie pogłówne	godz.	65,00	1,0	65,00	1,0	65,00
	ochrona i dożywianie	godz.	65,00	0,6	39,00	0,6	39,00
	zbiór silosokombajnem	ha	700,00	1,0	700,00	1,0	700,00
	transport plonu	godz.	75,00	6,0	450,00	8,0	600,00
2.	Koszty specjalistyczne				0,00		0,00
	czyszczenie, przygotowanie do sprzedaży	godz.					
	donajem pracy	godz.					
	inne (sznurek, folia, itp.)	szt./m^2					
3.	Koszty ogólne				300,50		307,65
	podatek rolny				131,00		131,00
	koszty ogólnogospodarcze (10% k. bezpośrednich)				169,50		176,65
III.	Ogółem koszty produkcji zielonki				3349,50		3578,15
IV.	Koszty przygotowania kiszonki				78,00		104,00
	ugniatanie i formowanie pryzmy	godz.					
	inne (folia, itp.)	m^2					
	najem pracowników do formowania pryzmy	godz.	13,00	6,0	78,00	8,0	104,00
V.	Ogółem koszty produkcji kiszonki				3427,50		3682,15
Plon biomasy (dt·ha^{-1})					86,60		110,00
Wartość produkcji przy cenie (zł za dt)			30,00		2598,00		3300,00
Nadwyżka bezpośrednia (wartość produkcji – koszty bezpośrednie)					903,00		1533,50
Dochód z produkcji (wartość produkcji – koszty ogólne)					-829,50		-382,15
Dopłaty bezpośrednie (JPO + płatności za zazielenienie)					771,32		771,32

Ogółem przychody	3369,32	4071,32
Dochód rolniczy (zł za ha – dochód z produkcji + dopłaty)	-58,18	389,17
Wskaźnik opłacalności (%)	98,30	110,57

Tabela 41. Kalkulacje rolnicze – koszty i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biomasę z rozsady w roku pełnego użytkowania

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka miary	Cena jedn. w zł	Plon niski (dt·ha^{-1})		Plon wysoki (dt·ha^{-1})	
				ilość jedn.	wartość w zł	ilość jedn.	wartość w zł
I.	Koszty bezpośrednie				3605,00		3676,50
1.	Materiał siewny				2200,00		2200,00
	nasiona, sadzonki – własne	j.s.			0,00		0,00
	nasiona, sadzonki – z zakupu (10% wartości)	szt.	0,50	44 000,0	2200,00	44 000,0	2200,00
2.	Nawozy mineralne i dolistne				1155,00		1155,00
	azotowe (N)	kg	3,75	100,0	375,00	100,0	375,00
	fosforowe (P)	kg	3,95	80,0	316,00	80,0	316,00
	potasowe (K)	kg	2,60	140,0	364,00	140,0	364,00
	wapno nawozowe (Ca – $^1/_5$ wartości)	kg	100,00	1,0	100,00	1,0	100,00
3.	Środki ochrony roślin				250,00		321,50
	herbicydy				250,00		321,50
	insektycydy						
II.	Koszty bezpośrednie				1745,50		1902,65
1.	Koszty uprawy i zbioru				1254,00		1404,00
	uprawki pożniwne	godz.			0,00		0,00
	orka siewna (ozima)	godz.			0,00		0,00
	nawożenie przedsiewne	godz.			0,00		0,00
	zabiegi doprawiające glebę	godz.			0,00		0,00
	siew (sadzenie)	godz.			0,00		0,00
	nawożenie pogłówne	godz.	65,00	1,0	65,00	1,0	65,00
	ochrona i dożywianie	godz.	65,00	0,6	39,00	0,6	39,00
	zbiór silosokombajnem	ha	700,00	1,0	700,00	1,0	700,00
	transport plonu	godz.	75,00	6,0	450,00	8,0	600,00

2.	Koszty specjalistyczne				0,00		0,00
	czyszczenie, przygotowanie do sprzedaży	godz.					
	donajem pracy	godz.					
	inne (sznurek, folia itp.)	szt./m^2					
3.	Koszty ogólne				491,50		498,65
	podatek rolny				131,00		131,00
	koszty ogólnogospodarcze (10% k. bezpośrednich)				360,50		367,65
III.	Ogółem koszty produkcji zielonki				5350,50		5579,15
IV.	Koszty przygotowania kiszonki				78,00		104,00
	ugniatanie i formowanie pryzmy	godz.					
	inne (folia itp.)	m^2					
	najem pracowników do formowania pryzmy	godz.	13,00	6,0	78,00	8,0	104,00
V.	Ogółem koszty produkcji kiszonki				5428,50		5683,15
Plon biomasy (dt·ha^{-1})					105,20		165,00
Wartość produkcji przy cenie (zł za dt)			30,00		3156,00		4950,00
Nadwyżka bezpośrednia (wartość produkcji - koszty bezpośrednie)					-449,00		1273,50
Dochód z produkcji (wartość produkcji - koszty ogólne)					2272,50		-733,15
Dopłaty bezpośrednie (JPO + płatności za zazielenienie)					771,32		771,32
Ogółem przychody					3927,32		5721,32
Dochód rolniczy – zł za ha (dochód z produkcji + dopłaty)					1501,18		38,17
Wskaźnik opłacalności (%)					72,35		100,67

Koszt 1 sadzonki 0,5 zł

Podsumowanie

Koszty bezpośrednie założenia i prowadzenia plantacji ślazowca pensylwańskiego były wysokie. Na obiekcie z wysiewem 3,0 kg nasion na 1 ha wyniosły 3979,50 zł, a przy zastosowaniu 44 000 szt. rozsady koszty te osiągnęły kwotę aż 25 150,50 zł·ha^{-1}. Koszty materiału siewnego/sadzonek stanowiły od 22,6 do 87,5% wszystkich kosztów.

Koszt produkcji surowca na biogaz ze ślazowca pensylwańskiego wynosił od 3427,5 do 6308,5 zł·ha^{-1}, natomiast przy produkcji biomasy do spalania wartości te kształtują się odpowiednio od 4457,50 do 6458,50010 zł, w tym od 50,6 do 67,4% to koszty założenia plantacji.

Wybór materiału siewnego przy zakładaniu plantacji ślazowca pensylwańskiego jest elementem decydującym o plonowaniu i wynikach ekonomiczno-energetycznych produkcji surowca do produkcji biomasy oraz biogazu. Najwyższą nadwyżkę bezpośrednią oraz wskaźnik efektywności energetycznej produkcji surowca można uzyskać z wysiewu 3,0 kg·ha^{-1} nasion, co rekomenduje do zakładania tą metodą plantacji w praktyce.

| XII. PODSUMOWANIE

Prowadzenie działalności związanej z pozyskaniem surowca do produkcji energii musi spełniać wiele warunków. Pierwszym z nich jest zapewnienie dobrej jakości stałych dostaw surowca, który jest najważniejszym i najdroższych czynnikiem mającym wpływ na końcową cenę produktu. Surowiec powinien być dostępny w niedużej odległości od miejsca docelowego oraz odbiorcy, czyli elektrowni lub elektrociepłowni. Czynniki te mogą ograniczyć do minimum ryzyko związane z produkcją energii. Główny koszt produkcji energii to zakup surowca – np. węgla, słomy. Polska jest w stanie zaspokoić zapotrzebowanie energetyki na dostawy materiału, będącego zamiennikiem dla surowców nieodnawialnych, np. węgla kamiennego. Jednak proces ten powinien być wspierany nie tylko przez samą energetykę, ale szczególnie przez odpowiednią politykę na szczeblu lokalnym, krajowym i międzynarodowym, ponieważ import biomasy pogarsza opłacalność jej stosowania.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały dużą przydatność roślin *Sida* jako surowca do produkcji biogazu i biomasy energetycznej. Ocena wzrostu i rozwoju oraz plonowania i składu chemicznego zbieranej biomasy oraz zmiany wartości uprawianej gleby przed i po założeniu plantacji pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Sposób założenia plantacji roślin ślazowca przez wysadzanie z rozsady wpłynął na stabilizację obsady roślin na jednostce powierzchni w latach użytkowania.
2. Rośliny użytkowane z przeznaczeniem na biogaz i wysadzane z rozsady wytwarzały więcej pędów na jednej roślinie, były one wyższe i grubsze, w porównaniu do roślin uprawianych z siewu nasion oraz wykorzystywanych do produkcji biomasy do spalania.
3. Wartość indeksu powierzchni asymilacyjnej aparatu liściowego (LAI) roślin *Sida* wahała się w przedziale od 3,54 w pierwszym roku, do 2,74 w trzecim roku badań, a jego wartość w latach pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok użytkowania) była średnio o 33,6% niższa od wartości uzyskanej w roku założenia plantacji.
4. Wartość indeksu zieloności liści (SPAD) roślin *Sida* wahała się w przedziale od 41,95 w pierwszym roku, do 24,08 w drugim roku badań, a jego wartości w latach pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok użytkowania) były średnio o 43,1 i 9,6% niższe od tych uzyskanych w roku założenia plantacji.
5. Plon *Sida* zbieranej na biogaz wyniósł w roku założenia plantacji (2016) ok. 6,4 Mg świeżej masy oraz ok. 4 Mg z 1 ha suchej masy, a w kolejnych latach użytkowania (2017, 2018) odpowiednio 31,7 i 22,2 Mg świeżej masy oraz 13,2 i 6,8 Mg suchej masy. Natomiast plon suchej masy roślin zbieranych na biomasę w pierwszym roku uprawy wynosił ok. 1 Mg, a w latach kolejnych powyżej 9,0 Mg z 1 ha rocznie, niezależnie od sposobu zakładania plantacji czy przebiegu warunków atmosferycznych. Uprawiając rośliny *Sida*, zarówno na biogaz, jak i biomasę w okresie trzech lat badań, większe plony uzyskano z obiektów, gdzie rośliny wysadzano z rozsady w porównaniu do tych uprawianych z siewu nasion.

6. Badane rośliny *Sida* uprawiane w zróżnicowanych warunkach pogodowych (rok wilgotny – 2017 i rok suchy – 2018) charakteryzowały się dużą przydatnością do uprawy na biogaz i biomasę w warunkach gleby lekkiej.
7. Z przeprowadzonych badań wynika, że sposób założenia plantacji, z siewu lub z sadzenia, nie miał wpływu na wartość opałową *Sida*. Najmniejszą wartość opałową biomasy *Sida* uzyskano w pierwszym roku założenia plantacji, a największą – w trzecim roku.
8. Niezależnie od wykorzystania energetycznego roślin *Sida* nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na wartość analizowanych wskaźników fizykochemicznych. Głównymi czynnikami kształtującymi ich wartości są: wiek plantacji, termin zbioru próbek i warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin. Sucha masa roślin ślazowca charakteryzowała się stosunkowo niską zawartością wilgotności analitycznej i popiołu. Wartości tych wskaźników malały z wiekiem plantacji. Dla obu sposobów uprawy, niezależnie od przeznaczenia energetycznego *Sida*, najbardziej stabilnym składnikiem okazał się węgiel. Jego udział procentowy w suchej masie roślin oznaczono na poziomie od 36,6 do 40,2%. Średni procentowy udział pierwiastków kwasotwórczych (N i S) w suchej masie roślin ślazowca był dość wysoki i mieścił się w górnych granicach norm jakościowych zalecanych dla paliw granulowanych, m.in. DIN 51731 i EN 14961-2:2011.
9. W pozyskanym surowcu *Sida* przeznaczonym do produkcji biogazu uzyskano niekorzystny stosunek C:N na poziomie ok. 50:1. Skutkować to może niższą wydajnością procesu fermentacji metanowej. Odczyn oraz zawartość ogólna makroskładników w glebie w trzecim roku po zbiorze *Sida* była zróżnicowana i niższa w porównaniu do zawartości sprzed założenia doświadczenia. *Sida* uprawiana z siewu pobrała z gleby mniej azotu, fosforu, potasu i siaki w porównaniu do uprawy z sadzenia. Odwrotną zależność stwierdzono w pobraniu przez rośliny ślazowca z gleby magnezu, wapnia i węgla. Sposób założenia plantacji poprzez sadzenie przyczynił się do zwiększenia form przyswajalnych w glebie fosforu i magnezu, odpowiednio o 14,9 i 2,6% w porównaniu do uprawy z siewu.
10. Koszty bezpośrednie założenia i prowadzenia plantacji ślazowca pensylwańskiego były wysokie. Na obiekcie z wysiewem 3,0 kg nasion·ha^{-1} wyniosły 3979,50 zł, a przy zastosowaniu 44 000 szt. rozsady koszty te osiągnęły kwotę aż 25 150,50 zł·ha^{-1}. Koszty materiału siewnego/sadzonek stanowiły od 22,6 do 87,5% wszystkich kosztów. Koszt produkcji surowca na biogaz ze ślazowca pensylwańskiego wynosił od 3427,50 do 6308,50 zł·ha^{-1}, natomiast przy produkcji biomasy do spalania wartości te kształtują się odpowiednio od 4457,50 do 6458,50 zł, w tym od 50,6 do 67,4% to koszty założenia plantacji.
11. Wybór materiału siewnego przy zakładaniu plantacji ślazowca pensylwańskiego jest elementem decydującym o plonowaniu i wynikach ekonomiczno-energetycznych produkcji surowca do produkcji biomasy i biogazu. Najwyższą nadwyżkę bezpośrednią oraz wskaźnik efektywności energetycznej produkcji surowca można uzyskać z wysiewu 3,0 kg·ha^{-1} nasion, co pozwoli na zakładanie tą metodą plantacji w praktyce.

| XIII. PIŚMIENNICTWO

1. Anderson E., Arundale R., Oladeinde A., Wycisło A. Voigt T. 2011. Growth and agronomy of *Miscanthus* x *giganteus* for biomass production. Biofuels, 2, 71-87.
2. Artyszak D. 2016. Rośliny energetyczne- charakterystyka podstawowych gatunków i ich wykorzystanie w polskiej energetyce, Konferencja pt. „Nowoczesna Energetyka Europy Środkowo-Wschodniej, Warszawa, 1-34.
3. Bendi D.K. 1994. Prediction of leaf area indices and yields of wheat. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 122, 13-20.
4. Biernat K. 2012. Perspektywy rozwoju technologii biopaliwowych w świecie do 2050 r. CHEMIK, 66 (11), 1178-1189.
5. Biskupski A., Kaus A., Pabin J., Włodek S. 2004. Wpływ zróżnicowanego nawożenia na wskaźnik powierzchni liści (LAI), średni kąt nachylenia liści (MTA) i plon wybranych odmian pszenicy jarej. Annales UMCS, Sec. E, Agricultura 59, 2, 649-654.
6. Biskupski A., Kaus A., Włodek S., Pabin J. 2007. Zróżnicowane nawożenie azotem a plonowanie i wybrane wskaźniki architektury łanu kilku odmian pszenicy jarej. Inż. Rol. 3 (91), 29-36.
7. Bocqueho G., Jacquet F. 2010. The adoption of switchgrass and miscanthus by farmers: Impact of liquidity constraints and risk preferences. Energy Policy, 38, 2598-2607.
8. Borkowska H. 1996. Wpływ nawożenia azotowego i potasowego na wysokość i jakość plonów zielonki ślazowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ann. UMCS, E, 51, 63-70.
9. Borkowska H. Lipiński W. 2008. Porównanie zawartości wybranych pierwiastków w biomasie ślazowca pensylwańskiego uprawianego w rośnych warunkach glebowych. Acta Agroph., 11(3), 589-595.
10. Borkowska H., Molas R. 2008. Zachwaszczenie oraz obsada roślin ślazowca pensylwańskiego w zależności od herbicydów. Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura, 63, 10-16.
11. Borkowska H., Molas R. 2012. Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. Biomass Bioenerg, 36, 234-240.
12. Borkowska H., Molas R. 2013. Yield comparison of four lignocellulosic perennial energy crop species. Biomass and Bioenergy, 51, 145-153, http//dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.017 (dostęp 24.08.2019).
13. Borkowska H., Molas R., Kupczyk A. 2009. Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) Cultivated on Light Soil; Height of Yield and Biomass Productivity. Polish J. of Environ. Stud., 18, 563-568.
14. Borkowska H., Molas R., Skiba D., Machaj D. 2016. Plonowanie oraz wartość energetyczna ślazowca pensylwańskiego w zależności od poziomu nawożenia azotem. Acta Agroph., 23(1), 5-14.
15. 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.
16. Borkowska H. Styk B. 2004. Ślazowiec pensylwański – wieloletni energetyczny gatunek uprawy polowej. [w] Piotr Lewandowski i W. Nowak (red.) Rozwój energii odnawialnej na Pomorzu Zachodnim. Szczecin. Wyd. Hogben, 279-284.
17. Borkowska H., Styk B. 2006. Ślazowiec pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby). Uprawa i wykorzystanie. Wydanie II popr. Wyd. AR Lublin: ss. 69.
18. Borkowska H., Wardzińska K. 1999. Wpływ ilości wysiewu i terminów zbioru na zróżnicowanie plonów biomasy ślazowca pensylwańskiego. Ann. UMCS, Sect. E, Agricultura, 54(4), 45-49.

19. Borkowska-Królik H. 1988. Wpływ czasu przechowywania na kiełkowanie nasion Sida (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ann. UMCS, E, 43, 37-42.
20. Borkowska-Królik H., Wróblewska A., Kolasa Z. 1986. Sida (*Sida hermaphrodita* Rusby) – nowa roślina uprawna. Fragm. Agron., 3(1), 37-42.
21. Brodziński Z., Pawlewicz A. 2015. Uwarunkowania organizacji bazy surowcowej do produkcji energii z biomasy". Roczniki Naukowe Seria XVII (3): 62-66.
22. Budzyński W., Szczukowski S., Tworkowski J. 2009. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne. I Kongres Nauk Rolniczych „Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich" Puławy, 14-15.05.2009, 77-88.
23. Bury M. i Czyż H. 2007. Einfluss von Standortbedingungen und agrotechnischen Maßnahmen auf die Entwicklung und Erträge von Sida (*Sida hermaphrodita* Rusby). [w:] Eds. Michał Jasiulewicz, Peter Garbe, Werner Westphal. Wissenschaft und Wirtschaft im Diskurs. Die Zukunft Regenerativer Energien. Technische Universität Koszalin, UdW GmbH Neubrandenburg, Institut zur Förderung deutsch-polnischer Innovations- und Wissentransferprozesse e. V, Torgelow., 41-48.
24. 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.
25. Cichy W. 2005. Problemy z utrzymaniem jakości pelet. Czysta Energia, 6, 39-40.
26. Clifton-Brawn J.C., Lewandowski I., Andersson B., Basch G., Christian D.G., Kjeldsen J. B., Jřrgrnsen U., Mortensen J. V., Riche A.B., Schwarz K-U., Tayebi K., Teixeira F. 2001. Performance of 15 Miscanthus Genotypes at Five Sites in Europe. Agronomy Journal, 93, 1013-1019.
27. Cosentino S., Scordia D., Testa G., Monti A., Alexopoulou E., Christou M. 2018. The Importance of Perennial Grasses as a Feedstock for Bioenergy and Bioproducts. [w:] *Perenial Grasses for Bioenergy and Bioproducts*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1-33.
28. Czerednik A., Nalborczyk E. 2000. Współczynnik wykorzystania napromieniowania fotosyntetycznie aktywnego (RUE) – nowy wskaźnik fotosyntetycznej produktywności roślin w łanie. Biul. IHAR, 215, 13-21.
29. Diariusz Centralnego Ośrodka Badań Odmian Roślin Uprawnych. 2011. Polish Gazette for Plant Breeders' Rights and National List. COBORU, Słupia Wielka 3 (104), 80 s.
30. Fotyma E., Bezduszniak D. 2000. Ocena stanu odżywienia zbóż ozimych azotem na podstawie pomiaru indeksu zieloności liścia. Fragm. Agron. 17(4): 29-44.
31. Fotyma M., Gosek S. 2000. Zmiany w zużyciu nawozów potasowych i ich konsekwencje dla żyzności gleby i poziomu produkcji rolniczej w Polsce. Naw. Nawoż. (Fert. Fertil.) 1: 9-52.
32. Gajewski R. 2016. Potencjalna rola plantacji roślin energetycznych w Polsce. Polska Izba Biomasy, Warszawa. http://www.econet-poland.pl/fileadmin/ahk_poleneconet/Publicationen/Polska_Izba_Biomasy_08.06.2016.pdf (25.06.2019).
33. Glenn P., Huete A., R., Nagler P. L., Nelson S.G. 2008. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. Sensors 8, 2136-2160.
34. Gołaszewski J. (red.) 2014. Modelowe kompleksy agroenergetyczne: Technologie pozyskania i kondycjonowania biomasy rolniczej i wodnej dla biogazowni i zgazowarki. Wydawnictwo UWM. Olsztyn, 416 s.
35. Gradziuk P. 2003. Alternatywne wykorzystanie gruntów rolniczych na cele niezwiązane z produkcją żywności ze szczególnym uwzględnieniem energetyki [w:] B. Kościk (red.). Rośliny energetyczne. Akademia Rolnicza w Lublinie, 9-25.
36. Grzesik M., Romanowska-Duda B. 2009. Technologia hydrokondycjonowania nasion ślazowca pensylwańskiego *(Sida hermaphrodita)* w aspekcie zmian klimatycznych. [w:] Skrobacki A. (red.) Produkcja biomasy – wybrane problemy. Wyd. SGGW, Warszawa, 63-69.

37. Gutowska A.E. 2007. Biomasa jako surowiec energetyczny. W: Energia odnawialna jak z niej korzystać? Wyd. Polska Fund Rozw. Reg. Białystok.
38. Iqbal Y., Lewandowski I. 2014. Biomass composition and ash melting behaviour of selected miscanthus genotypes in south Germany. Fuel Process. Technol., 121, 47-55.
39. Jablonowski D.N., Kollmann T., Nabel M., Damm T., Klose H., Müller M., Bläsing M., Seebold S., Krafft S., Kuperjans I., Dahmen M., Schurr U. 2017. Valorization of Sida *(Sida hermaphrodita)* biomass for multiple energy purposes. GCB Bioenergy 9, 202-214, doi: 10.1111/gcbb.12346
40. Jabłoński B, Kołtowski Z. 2005. Nectar secretion and honey potential of honey plants growing under Poland's conditions. Part. XV. Journal of Apicultural Science, 49(1), 59-63.
41. Jagustyn B., Bątorek-Giesa N., Wilk B. 2011. Ocena właściwości biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych. CHEMIK. 65, 6, 557-563.
42. Janowicz L. 2006. Biomasa w Polsce. Energetyka, 8, 601-604.
43. Jaśkiewicz B. 2007. Wskaźnik pokrycia liściowego (LAI) pszenżyta ozimego w zależności od jego obsady i nawożenia NPK. Acta Agroph., 10(2), 373-382.
44. Jeżewski S. 2002. Rośliny energetyczne – ogólna charakterystyka, uwarunkowania fizjologiczne I znaczenie w produkcji ekobiopaliw, Post. Nauk Rol., 2, 19-27.
45. Kacprzak A., Michalska K., Romanowska-Duda Z., Grzesik M. 2012. Rośliny energetyczne jako cenny surowiec do produkcji biogazu. Kosmos. Probl. Nauk Biol., 2(61), 281-293.
46. Kalembasa S., Wiśniewska B. 2006. Wpływ dawek azotu na plon biomasy ślazowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) oraz zawartość w niej makroelementów. Acta Agroph., 8(1), 127-138.
47. Kalembasa S., Wiśniewska B. 2010. Wpływ dawek azotu na pobieranie wybranych metali ciężkich przez ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 42, 204-211.
48. Kiesel A., Lewandowski I. 2017. Miscanthus as biogas substrate- cutting tolerance and potential for anaerobic digestion. GCB Bioenerg., 9, 153-167.
49. Kitczak T. 2008: Koniczyna biała (*Trifolium repens* L.) jako komponent mieszanek z trawami na krótkotrwałe użytki zielone w warunkach gleb lekkich. AR w Szczecinie, rozprawy, 246, ss. 90 (ISSN 0239-6467).
50. Kolasa Z. Wróblewska A. 1987. Wartość pszczelarska Sida – *Sida hermaphrodita* Rusby. [w]: Materiały XXXI Kongresu Apimondia. Warszawa.
51. Kołtowski Z. 2002. Beekeeping value of recently cultivated rapeseed cultivars. Journal of Apicultural Science, 46 (2), 23-34.
52. Kopiński J. 2005. Regionalne zróżnicowanie bilansu azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim w latach 1999–2003. Naw. Nawoż. (Fert. Fertil.) 2: 84-96.
53. Kościk B., Kalita E. 1999. Stan i perspektywy uprawy roślin alternatywnych na Zamojszczyźnie. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 468, 47–62.
54. Kowalczyk-Juśko A. 2009. Popiół z różnych roślin energetycznych. Proceedings of ECOpole. Vol. 3, No. 1. 159-164.
55. Kowalska A. 2017. Charakterystyka roślin energetycznych jako potencjalnego surowca do produkcji biogazu. Eliksir. 1(5), 11-15.
56. Koźmiński Cz., Michalska B. 2000. Klimatyczna charakterystyka rejonu stacji agrometeorologicznej w Lipkach k. Stargardu Szczecińskiego. Wyd. AR, Szczecin,
57. Koźmiński Cz., Michalska B. 2003. Agrometeorologia i klimatologia. Wyd. AR, Szczecin, 96.

58. Kraszkiewicz A., Lorencowicz E., Kachel-Jakubowska M. 2010. Koszty produkcji peletów z biomasy roślinnej pochodzenia rolniczego. http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/ artyk_pdf_2015/T1/t1_0470.pdf (dostęp 15.08.2019)

59. Krawiec F. 2010. Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Warszawa, Difin.

60. Kuś J., Matyka M. 2009. Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych warunkach siedliskowych. [w:] Skrobacki A. (red.). Produkcja biomasy – wybrane problemy. Wyd. SGGW Warszawa, 101-120.

61. Kuś J., Matyka M. 2010. Wybrane elementy agrotechniki roślin uprawianych na cele energetyczne. [w:] Bocian P., Golec T, Rakowski J. (red.). Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Wyd. IE Warszawa, 101-120.

62. Lewandowski I., Clinton-Brown J., Trindade L.M., Linden V.D., Schwarz K.U., Muller-Samann K., Anisimov A., Chen C.-L., Dolstra O., Dommison I.S. 2016. Programs on Optimizing Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. Front. Plant Sci., 7, 1620.

63. Ludwicka A., Grzybek A. 2010. Bilans biomasy rolnej (słomy) na potrzeby energetyki, Probl. Inż. Rol., 2, 103-104.

64. Machul M. 2001. Ocena stanu odżywienia roślin azotem z zastosowaniem testów roślinnych. Post. Nauk Rol. 3: 71-83.

65. Mao C., Feng Y., Wang X., Ren G. 2015. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. Renewable and Sustainable Energy Reviews 45, 540-555.

66. Matyka M. 2008. Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. [w:] Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 11, 113-123.

67. Mółka J., Łapczyńska-Kordon B. 2011. Właściwości energetyczne wybranych gatunków biomasy. Inż. Rol., 6(131), 141-146.

68. Muzalewski A. 2010. Koszty i opłacalność produkcji roślin energetycznych – wyniki badań terenowych. [w:] Grzybek A. (red.). Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy. Wyd. ITP Falenty-Warszawa, 171-182.

69. Nahm M., Morhart Ch. 2018. Virginia mallow [Sida hermaphrodita (L.) Rusby] as perennial multipurpose crop: biomass yields, energetic valorization, utilization potentials, and management perspectives. GCB Bioenergy (2018), 1-12. doi: 10.1111/gcbb.12501

70. Nalborczyk E., Łoboda T., Pietkiewicz S. 1995. Photosynthetic indices of the canopy and grain yield. Fragm. Agron, 2(46), 98-99.

71. Niedźwiecki E., Koźmiński C. 1994. Agricultural production on light soilin the protective zone of Miedwie lake water intake for Szczecin. Rocz. Glebozn., 45 (1/2), 21-26.

72. Nieróbca A., Faber A. 1996. Indeks powierzchni liści jako wskaźnik stanu wegetacji oraz wielkości spodziewanego plonu pszenicy ozimej. Fragm. Agron, 3, 54-66.

73. Obojski J., Strączyński S. 1995. Odczyn i zasobność gleb Polski w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy; ss. 48.

74. Oleksy A., Szmigiel A., Kołodziejczyk M. 2009. Plonowanie oraz kształtowanie się powierzchni liści wybranych odmian pszenicy ozimej w zależności od poziomu agrotechniki. Fragm. Agron. 26(4), 120-131.

75. Olszewska M., Grzegorczyk S., Olszewski J., Bałuch-Małecka A. 2008. Effect of phosphorus defi ciency on gas exchange parameters, leaf greenness (SPAD) and yield of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and Orchard grass (*Dactylis glomerata* L.). J. Elementol. 13(1), 91-99.

76. Pietkiewicz S. 1985. Wskaźnikowa analiza wzrostu roślin. Wiad. Bot., 29, 29-42.
77. Piskier T. 2008. Ocena nakładów energetycznych wybranych technologii zakładania plantacji ślazowca pensylwańskiego. Inż. Rol., 12(10), 193-200.
78. Remlein-Starosta D. 2007. Choroby roślin energetycznych. Progress in Plant Protection /Postępy w Ochronie Roślin, 47 (4), 351-357.
79. Russell G., Wilson G.W. 1994. An agro-pedo-climatological knowledge-base of wheat in Europe. Agriculture series. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities, 158.
80. Sapek A., Sapek B. 2012. Znaczenie biopaliwa w pozyskiwaniu energii odnawialnej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. t. 12 z. 1 (37), 139-151.
81. Spooner D.M., Cusick A.W., Hall G.E., Baskin J.M. 1985. Observations on the distribution and ecology of *Sida hemaphrodita* (L.) Rusby (*Malvaceae*). Sida Contributions to Botany, 11(2), 215-225.
82. Srogi K. 2007. Termiczne wykorzystanie biomasy w procesie pirolizy. Czysta Energia, 1, 21-23.
83. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2002. Produktywność klonów wierzb krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. Fragm. Agron., 2, 39-51.
84. Stolarski M. Szczukowski S., Tworkowski J. 2008. Biopaliwa z wieloletnich roslin energetycznych. Energetyka i ekologia. (1), 77-80.
85. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2008a. Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. Energetyka. 1, 77-80.
86. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M. 2013. Ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru. Rocz. Ekon. Rol. Rozw. Obsz. Wiejskich, 100(1), 211-219.
87. Stolarski M., Wróblewska H., Szczukowski S., Tworkowski J., Cichy W. 2006. Charakterystyka biomasy wierzby i ślazowca pensylwańskiego jako potencjalnego surowca przemysłowego. Fragm. Agron., 3, 277-289.
88. Styk B. 1984. Niektóre zagadnienia użytkowania, biologii i agrotechniki Sida. Post. Nauk Roln., 3, 3-8.
89. Sulima P., Przyborowski J. A., Stolarski M. 2006. Ocena przydatności wybranych gatunków wierzby do celów energetycznych. Fragm. Agron., 3, 290-299.
90. Szczukowski S., Kościk B., Kowalczyk-Juśko A., Tworkowski J. 2006. Uprawa i wykorzystanie roślin alternatywnych na cele energetyczne. Frag. Agron., 3 (91), 300-315.
91. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Kwiatkowski J., Krzyżaniak M., Lajszner W., Graban Ł. 2010. Wieloletnie rośliny energetyczne (monografia). MULTICO Oficyna Wydawnicza, ss. 6-149.
92. Szul T. 2013. Ocena opłacalności produkcji peletów ze słomy. Tech. Rol. Ogrod. Leśna, 2, 17-19.
93. Szyszlak J., Piekarski W., Krzaczek P., Borkowska H. 2006. Ocena wartości energetycznych ślazowca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny. Inż. Rol., 10(6), 311-318.
94. Szyszlak-Bargłowicz J., Piekarski W. 2009. Wartość opałowa biomasy łodyg ślazowca pensylwańskiego dla różnych grubości pędów rośliny. Inż. Rol., 10(8), 223-230.
95. Tarkowski T. 2006. Wpływ terminu zbioru na zawartość wybranych składników mineralnych w zielonce Sida (*Sida hermaphrodita* Rusby). Acta Agrophysica, 8(2), 509-514.
96. Thomas L.K.JR. 1979. Distribution and ecology of Sida hermaphrodita, a rare plant species. Bartonia 46, 51-59.

97. Ţiţei V. 2015. Agro biological peculiarities and economical value of Sida hermaphrodita in Republic of Moldova. ProEnvironment 8, 485-491.

98. Tworkowski J., Stolarski M., Wróblewska H. 2010. Skład chemiczny i wartość energetyczna biomasy wierzby krzewiastej, ślazowca pensylwańskiego i miskanta olbrzymiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 547, 401-408.

99. Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M., Kwiatkowski J., Graban Ł. 2014. Produkcyjność i właściwości biomasy ślazowca pensylwańskiego jako paliwa w zależności od materiału siewnego i obsady roślin. Fragm. Agron., 31(2), 115-125.

100. USDA 2017. Plants Profile for Sida hermaphrodita (Virginia fanpetals). Available at: https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SIHE3 (dostęp: 15 lipiec 2019)

101. Usťak S. 2008. Pestování a využití vlákne oboupohlavné v podmínkách Ceské republiky. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 25 s.

102. Uździcka B., Juszczak R., Sakowska K., Olejnik J. 2012. Związek między wskaźnikiem LAI a spektralnymi wskaźnikami roślinności na przykładzie wybranych gatunków roślin uprawnych. Woda, Śr., Obsz. Wiej. 12, 2(38), 283-311.

103. Wach E. 2007. Odnawialne źródła energii do 2020 r. Czysta Energia, 4, 1-40.

104. Wach E., Wach L. 2015. Rozwój przemysłu produkcji pelet w Polsce w 2014 r. Czysta Energia, 6, 18-19.

105. Wardzińska K. 2000. Plonowanie i pobieranie metali ciężkich przez ślazowiec pensylwański w warunkach uprawy na glebie mineralnej i osadzie pościekowym. Ann. UMCS, s. E, 55, 75-87.

106. Weiland P. 2010. Biogas production:current state and prespectives. Appl. Microbiol. Biotechnol., 85, 849-860.

107. Wiesenthal T. 2006. How mich bioenergy can Euro produce without harming enriroment. EEA Raport, 7-67.

108. Witzel C.-P., Finger R. 2016. Economic evaluation of Miscanthus production – A review. Renew/Sustain. Energy Rev., 56, 681-696.

109. Woźniak A., Gontarz D., Staniszewski M. 2005. Wpływ zmianowania na plonowanie i wartość wskaźnika LAI pszenicy twardej (Triticum durum Desf.). Biul. IHAR, 237/238, 13-1.

110. Wróblewska A. Kolasa Z. 1986. Pożytek pszczeli z Sida. Pszczelarstwo 10, 6-8.

111. Wyszomierski R., Bórawski P. 2015. Ocena opłacalności wykorzystywania biomasy z roślin energetycznych. Zeszyty Naukowe WSES w Ostrołęce, 3 (18), 109-119.

112. Xue S., Kalinina O., Lewadnowski I. 2015. Present and future options for Miscanthus propagation and establishment. Renew.Sustain. Energy Rev., 49, 1233-1246.

113. Zawadzki S. 2002. Podstawy gleboznawstwa. PWRiL Warszawa, 113-162.

114. Zhang Q., Hu J., Lee D. J. 2016. Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates. Renewable Energy 98, 108-119.

115. Zheng G., Moskal L. M. 2009. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theory, method and sensors. Sensors 9(4), 2719-2745.

116. ZODR w Barzkowicach. 2018. Kalkulacje rolnicze. Serwis Inf. Ekon., wrzesień 2018.

117. Zub H.W., Brancourt-Hulmel M. 2010. Agronomic and physiological performances of different species of Miscanthus, a major Energy crop. A review. Agron. Sustain. Dev. 30, 201-214.

Fot. 37. Trzmiel na kwiatach *Sida*

Fot. 38. Owady na roślinach *Sida*

Fot. 39. Kwiatostan *Sida*

| XIV. SPOTKANIA ROBOCZE GRUPY SIDATIM

Fot. 40. Szczecin–Lipnik, lipiec 2016 r.

Fot. 41. Szczecin–Lipnik, lipiec 2016 r.

Fot. 42. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.

Fot. 43. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.

Fot. 44. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.

Fot. 45. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.

Fot. 46. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.

Fot. 47. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.

Fot. 48. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.

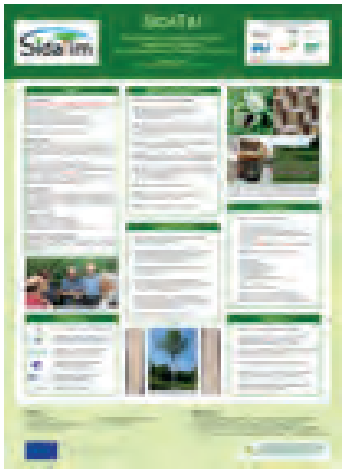
Fot. 49. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.

Fot. 50. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.

Fot. 51. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.

Fot. 52. Konferencja w Szczecinie, wrzesień 2018 r.

Fot. 53. Konferencja w Szczecinie, wrzesień 2018 r.



Fot. 54. Konferencja w Szczecinie, wrzesień 2018 r.

Fot. 55. Seminarium w Szczecinie, wrzesień 2018 r.

Fot. 56. Seminarium w Szczecinie, wrzesień 2018 r.

Fot. 57. Seminarium w Szczecinie, wrzesień 2018 r.

Fot. 58. Spotkanie w Rzymie (Włochy), marzec 2019 r.

Fot. 59. Spotkanie w Rzymie (Włochy), marzec 2019 r.

| STRESZCZENIE

Prowadzenie działalności związanej z pozyskaniem surowców do produkcji energii musi spełniać wiele warunków. Pierwszym z nich jest zapewnienie stałych dostaw surowca o dobrej jakości, który jest najważniejszym i najdroższym czynnikiem mającym wpływ na końcową cenę produktu. Surowiec powinien być dostępny w niedużej odległości od miejsca docelowego, czyli elektrowni lub biogazowni. Wykorzystanie odpadów z bezpośredniej produkcji rolniczej (np. słoma) i leśnej (np. odpady i drewno niepełnowartościowe) oraz uprawa roślin energetycznych stanowić może cenne źródło biomasy mogące zastąpić surowce nieodnawialne (węgiel, ropa naftowa). Spośród celowych roślin energetycznych obiecującym gatunkiem jest ślazowiec pensylwański.

Badania polowe ze ślazowcem pensylwańskim [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby], zwanym też *Sida*, realizowano w oparciu o dwa doświadczenia przeprowadzone w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku, koło Stargardu, w latach 2016–2019. Doświadczenia założono w maju i czerwcu 2016 r. w układzie podbloków losowanych split-plot w czterech replikacjach, o powierzchni jednego poletka – 16 m^2, a do zbioru – 12,6 m^2.

Doświadczenie 1 dotyczyło produkcji biomasy *Sida* z przeznaczeniem do produkcji biogazu, a doświadczenie 2 – produkcji biomasy stałej do spalania w kotłach. Zmiennymi badań był sposób zakładania plantacji:

– z siewu nasion,

– z sadzenia ukorzenionych sadzonek roślin.

Rośliny w doświadczeniu 1 zbierano jeden raz w roku założenia doświadczenia (2016) w w fazie wytwarzania pąków kwiatowych w końcowym okresie wegetacji (koniec września), natomiast w latach pełnego użytkowania (2017 i 2018) rośliny zbierano dwukrotnie, w terminach: pierwszy – w fazie wytwarzania pąków kwiatowych pod koniec czerwca, drugi – w fazie wytwarzania pąków kwiatowych na przełomie września/października.

Rośliny w doświadczeniu 2, które zaplanowano do produkcji biomasy przeznaczonej na cele energetyczne, zbierano po całkowitym zakończeniu wegetacji, na początku marca (tj. 2017, 2018 i 2019).

Przedplonem pod uprawę roślin *Sida* był jęczmień jary zbierany na ziarno. Nawożenie przedsiewne wynosiło: N-100, P-35 (80-P_2O_5) i K-110 (120-K_2O) kg·ha^{-1}. Nasiona malwy ślazowca po przeliczeniu na 100% zdolności kiełkowania wysiano w ilości 3 kg·ha^{-1}, w rozstawie rzędów, co 45 cm, na głębokość ok. 1–2 cm, siewnikiem poletkowym. Natomiast sadzenie roślin przeprowadzono w obsadzie 44 000 szt. na 1 ha również w rzędy co 45 cm. Na wszystkich obiektach badań przed zwarciem rzędów zostało zastosowane odchwaszczenie mechaniczne opielaczem międzyrzędowym, a w rzędach – ręcznie. W kolejnych latach badań odchwaszczanie nie było potrzebne.

W każdym roku badań oznaczono: obsadę roślin na 1 m^2, liczbę pędów na jednej roślinie, wysokość roślin, średnicę łodyg/pędów, indeksy powierzchni asymilacyjnej (LAI) i zieloności liści (SPAD), plon świeżej masy i strukturę plonu. Plon suchej masy określono na podstawie zawartości suchej masy w zielonce. Niezależnie od przezna-

czenia energetycznego roślin, w materiale roślinnym oznaczono wilgotność analityczną, zawartość popiołu po spaleniu oraz C, N, S, P, Mg, Ca, K.

Sposób założenia plantacji roślin ślazowca przez wysadzenie z rozsady wpłynął na stabilizację obsady roślin na jednostce powierzchni w latach użytkowania. Rośliny użytkowane z przeznaczeniem na biogaz i wysadzone z rozsady wytwarzały więcej pędów na jednej roślinie, były wyższe i grubsze w porównaniu do roślin uprawianych z siewu nasion oraz wykorzystywanych do produkcji biomasy do spalania. Wartość indeksu powierzchni asymilacyjnej aparatu liściowego (LAI) roślin *Sida* wahała się w przedziale od 3,54 w pierwszym roku, do 2,74 w trzecim roku badań, a jego wartość w latach pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok) była średnio o 33,6% niższa od wartości uzyskanej w roku założenia plantacji. Wartość indeksu zieloności liści (SPAD) roślin *Sida* wahała się w przedziale od ok. 42 w pierwszym roku, do 24 w drugim roku badań, a jego wartości w latach pełnego użytkowania (drugi i trzeci rok) były średnio o ok. 43 i 10% niższe od tych uzyskanych w roku założenia plantacji.

Uzyskany średni plon biomasy zbieranej na biogaz, niezależnie od sposobu zakładania plantacji, wynosił w roku założenia plantacji 6,4 Mg świeżej oraz 4 Mg suchej masy z 1 ha, a w kolejnych latach użytkowania (drugim i trzecim) odpowiednio 31,8 i 22,2 Mg świeżej masy oraz 13,2 i 6,8 Mg suchej masy w przeliczeniu na 1 ha. Plon roślin uzyskany w latach pełnego użytkowania zależał również od terminu zbioru. Plon biomasy roślin zbieranych w pierwszym terminie (pod koniec czerwca) był zdecydowanie większy niż plon roślin zebranych w drugim terminie, tj. na przełomie września i października.

Natomiast rośliny ślazowca zbierane na biomasę przeznaczoną do spalania w pierwszym roku wydały plon ok. 1 tony suchej masy, a w latach kolejnych od 8,6 do 10,5 tony z 1 ha rocznie, niezależnie od sposobu założenia plantacji. Uprawiając rośliny *Sida*, zarówno na biogaz, jak i biomasę w okresie trzech lat badań, większe plony uzyskano z obiektów, gdzie rośliny wysadzano z rozsady w porównaniu do tych uprawianych z siewu nasion. Badane rośliny *Sida* uprawiane w zróżnicowanych warunkach pogodowych (rok wilgotny – 2017 i rok suchy – 2018) charakteryzowały się dużą przydatnością do uprawy na biogaz i biomasę w warunkach gleby lekkiej.

Z przeprowadzonych badań wynika, że sposób założenia plantacji, z siewu lub z sadzenia, nie miał wpływu na wartość opałową *Sida*. Najmniejszą wartość opałową biomasy *Sida* (16,2 $MJ \cdot kg^{-1}$) uzyskano w pierwszym roku założenia plantacji, a największą – w trzecim roku (17,49 $MJ \cdot kg^{-1}$).

Niezależnie od wykorzystania energetycznego roślin *Sida* nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu założenia plantacji na wartość analizowanych wskaźników fizyko-chemicznych. Głównymi czynnikami kształtującymi ich wartości były: wiek plantacji, termin zbioru próbek i warunki atmosferyczne panujące w trakcie wegetacji roślin. Sucha masa roślin ślazowca charakteryzowała się stosunkowo niską zawartością wilgotności analitycznej i popiołu. Wartości tych wskaźników malały z wiekiem plantacji. Dla obu sposobów uprawy, niezależnie od przeznaczenia energetycznego *Sida*, najbardziej stabilnym składnikiem okazał się węgiel. Jego udział procentowy w suchej masie roślin oznaczono na poziomie od 36,6 do 40,2%. Średni procentowy udział pierwiastków

kwasotwórczych (N i S) w suchej masie roślin ślazowca był dość wysoki i mieścił się w górnych granicach norm jakościowych zalecanych dla paliw granulowanych. W pozyskanym surowcu *Sida* przeznaczonym do produkcji biogazu uzyskano dość szeroki stosunek C:N na poziomie ok. 50:1. Skutkować to może niższą wydajnością procesu fermentacji metanowej.

Odczyn oraz zawartość ogólna makroskładników w glebie w trzecim roku po zbiorze *Sida* była zróżnicowana i niższa w porównaniu do zawartości sprzed założenia doświadczenia. *Sida* uprawiana z nasion pobrała z gleby mniej azotu, fosforu, potasu i siarki w porównaniu do uprawy z ukorzenionych sadzonek. Odwrotną zależność stwierdzono w pobraniu przez rośliny ślazowca z gleby magnezu, wapnia i węgla. Sposób założenia plantacji poprzez sadzenie przyczynił się do zwiększenia w glebie form przyswajalnych fosforu i magnezu, odpowiednio o 14,9 i 2,6% w porównaniu do uprawy z siewu.

Koszty bezpośrednie założenia i prowadzenia plantacji ślazowca pensylwańskiego były wysokie. Na plantacjach założonych z nasion (3,0 kg nasion na 1 ha) wyniosły 3979,50 zł, a przy zastosowaniu 44 000 szt. rozsady koszty te osiągnęły kwotę aż 25150,50 zł·ha^{-1}. Koszty materiału siewnego/sadzonek stanowiły od 22,6 do 87,5% wszystkich kosztów. Koszt produkcji surowca na biogaz ze ślazowca pensylwańskiego wynosił od 3427,50 do 6308,50 zł·ha^{-1}, natomiast przy produkcji biomasy do spalania wartości te kształtowały się odpowiednio od 4457,50 do 6458,50 zł na 1 ha, w tym od 50,6 do 67,4% stanowiły koszty założenia plantacji.

Wybór materiału siewnego przy zakładaniu plantacji ślazowca pensylwańskiego jest elementem decydującym o plonowaniu i wynikach ekonomiczno-energetycznych produkcji surowca do produkcji biomasy i biogazu. Najwyższą opłacalność (nadwyżkę bezpośrednią) oraz wskaźnik efektywności energetycznej produkcji surowca można uzyskać z wysiewu 3,0 kg·ha^{-1} nasion, co pozwoli na zakładanie tą metodą plantacji w praktyce.

Słowa kluczowe: ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby**), sposób założenia plantacji (siew, sadzenie), plon biomasy, biogaz, biomasa stała, skład chemiczny, gleba**

| SUMMARY

Conducting activities related to obtaining raw materials for energy production must meet many conditions. The first is to ensure a constant supply of good quality raw material, which is the most important and expensive factor affecting the final price of the product. The raw material should be available at a short distance from the destination, i.e. a power station or biogas plant. The use of waste from direct agricultural (e.g. straw) and forestry production (e.g. waste and defective wood) and the cultivation of energy crops can be a valuable source of biomass that can replace fossil raw materials (coal, oil). Among the target energy crops, Virginia mallow or Pennsylvanian fanpetals is a promising species.

The research with the Virginia fanpetals [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby], also called *Sida*, was based on two field experiments carried out at the Agricultural Experimental Station in Lipnik near Stargard in the years 2016–2019. The experiments were established in May and June 2016 in a split-plot design in four replications, with an area of one plot – 16 m^2, and for harvesting – 12.6 m^2.

Experiment 1 concerned the use of *Sida* biomass for biogas production, and experiment 2 – the use of solid biomass for combustion in furnaces. The variables of the research were the method of establishing the plantation:

– from sowing seeds,

– from planting rooted cuttings (seedlings).

Plants in experiment 1 were harvested once in the first year (2016) in the flower buds phase/ beginning of flowering at the end of the growing season (the end of September), while in the years of full use (2017 and 2018) the plants were harvested twice, on the terms: first – in the flower buds phase/ beginning of flowering at the end of June, the second – also in the same phase of flower buds at the turn of September–October.

Plants in experiment 2, which was planned for the biomass production for energy purposes, were harvested after end of vegetation, at the beginning of March (i.e. 2017, 2018 and 2019).

Spring barley harvested for grain was the forecrop for *Sida*. Pre-sowing fertilization was: N-100, P-35 (80-P_2O_5) and K-110 (120-K_2O) kg·ha^{-1}. The seeds of *Sida*, calculated for 100% germination, were sown in an amount of 3 kg·ha^{-1} in rows, every 45 cm, to a depth of approx. 1–2 cm, with a Ľyord plot drill. Whereas planting was carried out with a population of 44,000 seedlings per 1 ha, also in rows, every 45 cm. Mechanical weeding was applied with an inter-row weeder, and in rows – manually. Weeding was not needed in subsequent years of research.

In each year of research: plant density per 1 m^2, number of shoots per one plant, plant height, diameter of stem/shoots, leaf area index (LAI) and leaf greenness index (SPAD), fresh mass yield and yield structure were determined. The dry matter yield was determined on the basis of dry matter content in fresh mass. Regardless of the energy purpose of plants, analytical moisture, ash content after burning and C, N, S, P, Mg, Ca, K were determined in the plant material.

The method of establishing of *Sida* plantation by planting from seedlings stabilized the plant density per unit area in full years of use. Plants used for biogas purposes and planted from seedlings produced more shoots per one plant, were taller and thicker compared to plants grown from seed sowing and used for the production of biomass for combustion. The leaf area index (LAI) of *Sida* plants ranged from 3.54 in the first year to 2.74 in the third year of research, and its value in years of full use (second and third year) was on average 33, 6% lower than the value obtained in the year of plantation establishment. The value of the leaf greenness index (SPAD) of *Sida* plants ranged from about 42 in the first year to 24 in the second year of research, and its values in years of full use (second and third year) were on average by about 43 and 10% lower than those obtained in the year of plantation establishment.

The obtained average yield of biomass harvested for biogas, regardless of plantation establishing method was 6.4 Mg fresh and 4 Mg dry mass per 1 ha in the first year, and in subsequent years of use (second and third) respectively 31.8 and 22.2 Mg of fresh mass and 13.2 and 6.8 Mg of dry mass per 1 ha. Plant yield obtained in years of full use also depended on the harvest date. The biomass yield of plants harvested on the first term (at the end of June) was definitely higher than the yield of plants harvested on the second term, i.e. at the turn of September and October.

In contrast, *Sida* plants harvested for biomass combustion in the first year yielded about 1 ton of dry mass and in subsequent years from 8.6 to 10.5 tonnes of 1 ha per year, regardless of the plantation establishing method. Growing *Sida* plants, both for biogas and biomass during the three years of research, higher yields were obtained from plants which were planted from seedlings compared to those grown from seeds. The studied *Sida* plants cultivated in various weather conditions (wet year – 2017 and dry year – 2018) were characterized by high suitability for biogas and biomass cultivation in light soil conditions.

The conducted research shows that the method of plantation establishing, by sowing or planting, did not affect the calorific value of *Sida*. The lowest calorific value of Sida biomass (16,2 $MJ \cdot kg^{-1}$) was obtained in the first year of plantation establishment, and the highest – in the third year (17,49 $MJ \cdot kg^{-1}$).

Regardless of the energetic usage of *Sida* plants, no significant impact of the method of plantation establishment on the value of the analyzed physic-chemical indicators was found. The main factors influenced their values were: age of plantation, date of sample harvesting and weather conditions during plant vegetation. The dry mass of *Sida* was characterized by a relatively low content of analytical moisture and ash. The values of these indicators decreased with the plantation age. For both methods of plantation establishing, regardless of energetic usage of *Sida*, coal proved to be the most stable component. Its percentage share in dry matter of plants was determined at the level of 36.6 to 40.2%. The average percentage share of acid-forming elements (N and S) in the dry mass of *Sida* was quite high and was within the upper limits of the quality standards recommended for granulated biofuels. In the obtained *Sida* raw material for biogas production, a fairly wide C:N ratio of about 50:1 was obtained. This may result in lower efficiency of the methane fermentation process.

The pH and total content of macronutrients in the soil in the third year after harvesting *Sida* was varied and lower compared to the content before the establishing of the experiment. *Sida* grown from seeds took less nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur from the soil compared to cultivation from rooted cuttings (seedlings). An inverse relationship was found in the intake of *Sida* plants from soil magnesium, calcium and carbon. The method of establishing a plantation by planting contributed to an increase in the available forms of phosphorus and magnesium by 14.9 and 2.6%, respectively, compared to sowing.

The direct costs of establishing and running the *Sida* plantation were high. On plantations with sowing 3.0 kg of seeds per 1 ha, they amounted to PLN 3,979.50, and with 44,000 seedlings these costs reached as much as 25,150.50 PLN·ha^{-1}. Seed/seedling costs accounted for 22.6 to 87.5% of all costs. The cost of producing of raw material for biogas from *Sida* was from 3427.50 to 6308.50 PLN·ha^{-1}, while the cost of biomass production for combustion ranged from 4457.50 to 6458.50 PLN per 1 ha, including 50.6 up to 67.4% the cost of plantation establishing.

The choice between seeds and seedlings when establishing the *Sida* plantation is a decisive factor in the yield and economic and energy results of the production of raw material for biomass and biogas production. The highest profitability (direct surplus) and the energy efficiency index of raw material production can be obtained by sowing 3.0 kg·ha^{-1} of seeds, which will allow to establish plantations with this method in practice.

Key words: Virginia fanpetals [*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby**], plantation establishing method (seed, seedlings), biomass yield, biogas, solid biomass, chemical composition, soil**

SPIS TABEL

Tabela 1. Systematyka ślazowca pensylwańskiego
Tabela 2. Suma opadów na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w latach 2016–2019 na tle wielolecia (1981–2010)
Tabela 3. Przebieg średniej temperatury powietrza na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w latach 2016–2019 na tle wielolecia (1981–2010)
Tabela 4. Obsada roślin *Sida* (szt.. m-2) w zależności od sposobu założenia plantacji w latach badań
Tabela 5. Liczba pędów (szt.)na jednej roślinie *Sida* w zależności od sposobu założenia plantacji w latach badań
Tabela 6. Wysokość pędów *Sida* (m) zbieranych na biogaz
Tabela 7. Średnica pędów *Sida* (mm) zbieranych na biogaz
Tabela 8. Wysokość pędów *Sida* (m) zbieranych na biomasę
Tabela 9. Średnica pędów *Sida* (mm) zbieranych na biomasę
Tabela 10. Wskaźnik LAI roślin *Sida* zbieranych na biogaz i biomasę
Tabela 11. Wartość wskaźnika zieloności liści [SPAD] roślin *Sida* zbieranych na biogaz i biomasę
Tabela 12. Plon świeżej masy (Mg·ha^{-1}) roślin *Sida* zbieranych na biogaz
Tabela 13. Plon suchej masy (Mg·ha^{-1}) roślin zbieranych na biogaz
Tabela 14. Masa 1 rośliny *Sida* (g) zbieranej na biogaz
Tabela 15. Plon świeżej masy roślin (Mg·ha^{-1}) zbieranych na biomasę
Tabela 16. Plon suchej masy roślin (Mg·ha^{-1}) zbieranych na biomasę
Tabela 17. Masa 1 rośliny *Sida* (g) zbieranej na biomasę
Tabela 18a. Odległość od plantacji (m) i liczba zaobserwowanych roślin *Sida* (szt.)
Tabela 18b. Odległość od plantacji (m) i liczba zaobserwowanych roślin *Sida* (szt.) w doświadczeniu założonym w 2010 r.
Tabela 19. Wartość opałowa fitomasy *Sida* (MJ·kg^{-1}) przeznaczonej do spalania (biomasa) w latach 2016–2018
Tabela 20. Wartość opałowa *Sida* (MJ·kg^{-1}) zbieranej na biogaz w latach 2016–2018
Tabela 21. Zawartość węgla (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018
Tabela 22. Zawartość azotu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018
Tabela 23. Zawartość siarki (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018
Tabela 24. Zawartość fosforu ogólnego (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018
Tabela 25. Zawartość wapnia (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018
Tabela 26. Zawartość potasu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Tabela 27. Zawartość magnezu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018

Tabela 28. Zawartość węgla (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Tabela 29. Zawartość azotu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Tabela 30. Zawartość siarki (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Tabela 31. Zawartość fosforu w roślinach testowych zbieranych na biomasę w latach 2016–2018 [g·kg^{-1} s.m.]

Tabela 32. Zawartość wapnia (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Tabela 33. Zawartość potasu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Tabela 34. Zawartość magnezu (g·kg^{-1} s.m.) w roślinach testowych zbieranych na biogaz w latach 2016–2018

Tabela 35. Procentowa zawartość frakcji granulometrycznych w próbkach glebowych z Lipnika oraz nazwa grupy granulometrycznej wg PTG (1989) oraz kategoria agronomiczna wg Obojskiego i Strączyńskiego (1995)

Tabela 36. Właściwości chemiczne gleby pobranej z trzech głębokości przed założeniem doświadczenia polowego

Tabela 37. Właściwości chemiczne gleby pobranej z warstwy 0–30 cm po zbiorze roślin testowych w 2018 r.

Tabela 38. Kalkulacje rolnicze kosztów i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biogaz z siewu nasion w roku pełnego użytkowania

Tabela 39. Kalkulacje rolnicze – koszty i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biogaz z sadzenia w roku pełnego użytkowania

Tabela 40. Kalkulacje rolnicze – koszty i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biomasę z siewu nasion w roku pełnego użytkowania

Tabela 41. Kalkulacje rolnicze – koszty i wynik produkcji 1 ha *Sida* na biomasę z rozsady w roku pełnego użytkowania

SPIS RYCIN

Ryc. 1. Rolnicza Stacja Doświadczalna w Lipniku (http://www.stargard.pl)

Ryc. 2. Zawartość wilgotności analitycznej (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biomasę

Ryc. 3. Zawartość popiołu (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biomasę

Ryc. 4a, 4b. Średni udział procentowy (±wartość maksymalna i minimalna) analizowanych składników chemicznych w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonych na biomasę

Ryc. 5. Zawartość wilgotności analitycznej (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz

Ryc. 6. Zawartość popiołu (%) w roślinach *Sida* przeznaczonej na biogaz

Ryc. 7a, 7b. Średni udział procentowy (± wartość maksymalna i minimalna) analizowanych składników chemicznych w suchej masie roślin *Sida* przeznaczonych na biogaz

SPIS FOTOGRAFII

Fot. 1. Rolnicza Stacja Doświadczalna w Lipniku – zdjęcie lotnicze (http://www.gmina.stargard.pl)
Fot. 2. Nasiona *Sida*
Fot. 3. Siew roślin Sida siewnikiem poletkowym rzędowym typu Řyord
Fot. 4. Początek wschodów roślin *Sida* uprawianych z nasion
Fot. 5. Wschody roślin *Sida* uprawianych z nasion
Fot. 6. Sadzonka *Sida*
Fot. 7. Rozsada i rośliny *Sida* po wysadzeniu
Fot. 8. Rośliny *Sida* w pierwszych dniach po wysadzeniu
Fot. 9. Poletko przed odchwaszczeniem
Fot. 10. Poletko po odchwaszczeniu
Fot. 11. Sadzonki wegetatywne z odcinków korzenia *Sida*
Fot. 12. „Karpa" – system korzeniowy *Sida*
Fot. 13. Rośliny *Sida* przed zbiorem na biogaz w pierwszym roku badań
Fot. 14. Wysokość roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w pierwszym roku badań
Fot. 15. Wysokość roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w drugim roku badań
Fot. 16. Wysokość pędów roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w trzecim roku badań
Fot. 17. Średnica pędów roślin *Sida* w trakcie zbioru na biogaz w trzecim roku badań
Fot. 18. Rośliny *Sida* w pierwszym roku użytkowania
Fot. 19. Pomiar wartości LAI w drugim roku użytkowania
Fot. 20. *Sida* w pierwszym roku użytkowania po zbiorze na biogaz (po lewej) i przeznaczona na biomasę do spalania (po prawej)
Fot. 21. Wiosenne odrosty roślin w latach pełnego użytkowania
Fot. 22. Wiosenne odrosty roślin *Sida* w latach pełnego użytkowania
Fot. 23. Jesienny wygląd roślin *Sida* przed zbiorem na biogaz i biomasę (na drugim planie)
Fot. 24. Rośliny *Sida* zbierane na biogaz w I terminie
Fot. 25. Rozdrobiona biomasa rośliny *Sida* zbierane na biogaz w I terminie
Fot. 26. Wygląd roślin jesienią w drugim roku użytkowania
Fot. 27. Rośliny *Sida* przed zbiorem na biomasę w pierwszym roku użytkowania
Fot. 28. Rośliny dwuletnie przed zbiorem na biomasę
Fot. 29. Rośliny dwuletnie przed zbiorem na biomasę
Fot. 30. Rośliny *Sida* przed zbiorem na biomasa w trzecim roku użytkowania
Fot. 31. Zebrana biomasa rośliny *Sida* w trzecim roku użytkowania
Fot. 32. Roślinne przed rozdrobnieniem z przeznaczeniem do analiz chemicznych
Fot. 33. Próbki roślinne przed rozdrobnieniem do analiz chemicznych
Fot. 34. Próbki roślinne po rozdrobnieniu do analiz chemicznych
Fot. 35a. Rośliny *Sida* w innych uprawach
Fot. 35b. Rośliny *Sida* w sąsiadującej uprawie perzu wydłużonego
Fot. 36. Pojedyncza roślina *Sida* w sąsiadującej uprawie spartiny preriowej
Fot. 37. Trzmiel na kwiatach *Sida*

Fot. 38. Owady na roślinach *Sida*
Fot. 39. Kwiatostan *Sida*
Fot. 40. Szczecin–Lipnik, lipiec 2016 r.
Fot. 41. Szczecin–Lipnik, lipiec 2016 r.
Fot. 42. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.
Fot. 43. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.
Fot. 44. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.
Fot. 45. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.
Fot. 46. Spotkanie w Viborg (Dania), wrzesień 2016 r.
Fot. 47. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.
Fot. 48. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.
Fot. 49. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.
Fot. 50. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.
Fot. 51. Spotkanie w Freiburg (Niemcy), wrzesień 2017 r.
Fot. 52. Konferencja w Szczecinie, wrzesień 2018 r
Fot. 53. Konferencja w Szczecinie, wrzesień 2018 r
Fot. 54. Konferencja w Szczecinie, wrzesień 2018 r
Fot. 55. Seminarium w Szczecinie, wrzesień 2018 r
Fot. 56. Seminarium w Szczecinie, wrzesień 2018 r
Fot. 57. Seminarium w Szczecinie, wrzesień 2018 r.
Fot. 58. Spotkanie w Rzymie (Włochy), marzec 2019 r.
Fot. 59. Spotkanie w Rzymie (Włochy), marzec 2019 r.

ISBN: 978-83-7663-229-2