

UPRAWA MISKANTA OLBRZYMIĘGO

**Energetyczne i pozaenergetyczne
możliwości wykorzystania słomy**

UPRAWA MISKANTA OLBRZYMIĘGO

Energetyczne i pozaenergetyczne możliwości wykorzystania słomy

**Pod redakcją
ANDRZEJA KOTECKIEGO**



WROCLAW 2010

Autorzy:

Marta Buzar, Renata Galek, Joanna Góra, Edward Grzyś, Michał Hurej,
Andrzej Kotecki, Marcin Kozak, Urszula Piszcz, Elżbieta Płaskowska, Wojciech Pusz,
Ewa Sawicka-Sienkiewicz, Zofia Spiak, Józef Szlachta, Jacek Twardowski,
Dariusz Zalewski, Tomasz Zbroszczyk, Zbigniew Zdrojewski

Opiniodawcy:

prof. dr hab. Stanisław Ignatowicz, prof. dr hab. Tomasz Kurowski,
prof. dr hab. Waclaw Romaniuk, prof. dr hab. Jan Rybczyński,
prof. dr hab. Mieczysław Wilczek, prof. dr hab. Stanisław Wróbel

Redaktor merytoryczny

prof. dr hab. inż. Zofia Spiak

Opracowanie redakcyjne

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

Korekta:

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz
dr Ewa Jaworska

Łamanie

Alina Gebel

Projekt okładki

Halina Sebzda

Monografie XCII

Praca wykonana i wydana drukiem w ramach projektu rozwojowego własnego
nr R 1200702 finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego
nr umowy 0617/PO1/2007/02

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2010

ISSN 1898-1151

ISBN 978-83-60574-96-6

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel. 71 328–12–77

e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 150 + 16 egz. Ark. wyd. 12,0. Ark. druk. 11,75
Druk i oprawa: EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, Spółka Jawna
ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

Słowo wstępne

Ogromny wzrost zużycia energii spowodowały dwa najważniejsze czynniki: rewolucja naukowo-techniczna, której wyznacznikami były m.in.: zbudowanie maszyny parowej, odkrycie elektryczności, rozwój motoryzacji i przemysłu oraz gwałtowny wzrost liczby ludności na świecie. Szacuje się, że nasza cywilizacja zużyła energię, która odpowiada ok. 500 mld tpu (tona paliwa umownego – jest to równoważnik jednej tony węgla kamiennego o wartości opałowej równej $29 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$), z czego ok. 2/3 przypada na ostatnie stulecie.

W strategiach rozwoju energetyki krajów rozwiniętych coraz większy nacisk kładzie się na pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych. W Polsce według przyjętej przez Sejm „Strategii rozwoju energetyki odnawialnej” jej udział powinien osiągnąć 7,5% w roku 2010 i 14% w roku 2020. W celu realizacji tych założeń, obok drewna opałowego i rolniczych produktów ubocznych, konieczna będzie produkcja biomasy na plantacjach energetycznych lokalizowanych na użytkach rolnych.

Do gatunków roślin potencjalnie przydatnych do takiej produkcji w naszych warunkach siedliskowych zalicza się: wierzbę krzewiastą (*Salix sp.*), miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.), ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) i topinambur (*Helianthus tuberosus* L.)

Miscanthus x giganteus Greef et Deu. to mieszańiec międzygatunkowy tetraploidalnego gatunku *M. sinensis* i diploidalnego gatunku *M. sacchariflorus*. Został on sprowadzony z Japonii do Danii w 1930 r. przez Aksela Olsena i dał początek istniejącym dzisiaj w Europie formom uprawnym. *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. jako allotriploid jest całkowicie nieplodny, sterylny i nie zawiązuje nasion, dlatego można rozmnażać go jedynie wegetatywnie poprzez podział kłaczy i kępy macierzystej lub poprzez wykorzystanie kultur *in vitro*.

Spośród możliwych do uprawy roślin energetycznych miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) wydaje się być najbardziej obiecującym gatunkiem, którego biomasa może być traktowana jako biopaliwo lub substrat używany w przemyśle papierniczym, samochodowym i budownictwie. Miskant olbrzymi – kępowa trawa wieloletnia posiada takie predysponujące do tego celu zalety, jak: nieskomplikowana technologia uprawy i zbioru, wysokie plony – wynoszące średnio 20 ton s. m. \cdot ha $^{-1}$ oraz wysoka wartość opałowa – około $18 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Niniejsze opracowanie jest wynikiem 3-letnich badań prowadzonych w ramach projektu rozwojowego własnego nr R 1200702 pt.: „Opracowanie technologii uprawy miskanta olbrzymiego i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne i pozaenergetyczne”.

Prof. dr hab. Andrzej Kotecki

1. ROZMNAŻANIE MISKANTA OLBRZYMIEGO (*MISCANTHUS X GIGANTEUS* GREEF ET DEU.)

1.1. Mikropropagacja *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.

Wstęp

Do rodzaju *Miscanthus* należą wieloletnie, obcopolne gatunki, znane jako popularne rośliny ozdobne. Te wysokie wieloletnie trawy charakteryzują się szlakiem fotosyntezy typu C_4 . Liczne gatunki rodzaju *Miscanthus* występują w Azji Wschodniej. Miskant japoński (*Miscanthus sinensis*) diploidalny gatunek pochodzi z Chin i Japonii. To bylina wytwarzająca kłocza i liczne źdźbła, a szczytowa wiecha (do 30 cm) składa się z wielu cienkich kłoców srebrzysto owłosionych. W Japonii ozdobna trawa parkowa uprawiana jest również jako roślina pastewna, wykorzystuje się ją do wyplatania różnych wyrobów użytkowych i produkcji papieru. Rodzaj *Miscanthus* w wielu krajach jest powszechnie akceptowaną i przyjazną środowisku uprawą [Roszewski 1996, Jeżowski 1999, Clifton-Brown i Lewandowski 2000, Clifton-Brown i in. 2001]. Miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*) jest diploidalnym gatunkiem rosnącym w Chinach, natomiast w Japonii znana jest tetraploidalna forma, która ze względu na silny system korzeniowy znalazła zastosowanie jako roślina zapobiegająca erozji. Sadzona jest na poboczach autostrad, ze względu na zdolność aktywnego pobierania metali ciężkich. Miskant cukrowy może być uprawiany przez wiele lat na jednym miejscu i nie wymaga prawie żadnych zabiegów agrotechnicznych [Majtkowski i in. 1996, Majtkowski 1998].

Triploidalny mieszańiec międzygatunkowy *Miscanthus x giganteus*, znany także pod nazwą trawy słoniowej lub trzciny chińskiej, pochodzi ze skrzyżowania *Miscanthus sinensis* x *M. sacchariflorus*. Jest to roślina o niewielkich wymaganiach agrotechnicznych, która tworzy ogromną biomase. W latach 80. naturalne mieszańce z Japonii zostały przywiezione do Anglii, gdzie występują pod nazwą "Clone Harvey". Doświadczenia z wykorzystaniem tego gatunku prowadzi się od 10 lat w Europie, rejonie Basenu Morza Śródziemnego i w południowej Szwecji. Dotychczas opisano ponad 100 typów osiągających największe rozmiary (Goliath, Gross Fontane, Silberderfeder, Poseidion, Positanei i inne). Mieszańce międzygatunkowe powstają stosunkowo łatwo i otrzymano liczne heterozygotyczne populacje o różnym stopniu poliploidalności – $2n=2x$, $2n=3x$, $2n=4x$, $2n=5x$ i $2n=6x$ [Deuter i Jeżowski 1998, Jeżowski 1999].

Jakość uzyskiwanej biomasy trawy słoniowej jest porównywana do biomasy drewna, a termin zbioru może być prowadzony od jesieni aż do wiosny [Lewandowski i in., 2000]. Te właściwości wyraźnie zwracają uwagę na *Miscanthus x giganteus* jako niejadłą uprawną roślinę o szerokim spektrum wykorzystania na opał, słomę, płyty wiórowe, włókno do produkcji papieru, w przemyśle samochodowym i produkcji etanolu.

Rośliny trzciny chińskiej znalazły zastosowanie w ekocentrum „Sława” (województwo lubuskie) do oczyszczania ścieków w małej przydomowej oczyszczalni. W roku 1995 sprowadzono z Niemiec 100 sadzonek, które posadzono w gruncie. W pierwszym roku na zimę przykryto rośliny 50-centymetrową warstwą słomy. Po dwóch latach dobrze ukorzenione sadzonki wprowadzono do ciągu oczyszczalni przydomowych. Rośliny dorastały do wysokości 4 m, a ścieki po przejściu przez system korzeniowy roślin uzyskiwały parametry I klasy czystości powierzchniowych wód śródlądowych, czyli mogą znaleźć zastosowanie w hydrobotanicznych oczyszczalniach [Fiedler i in. 1998].

Miscanthus x giganteus jako allotriploid jest całkowicie nieplodny, sterylny i nie zawiązuje nasion [Greef i Deuter 1993]. Dlatego mieszańca tego można rozmnażać jedynie wegetatywnie poprzez podział kłaczy i kępy macierzystej lub wykorzystanie kultur *in vitro*, co zapewnia najkorzystniejszy współczynnik namnażania [Clifton-Brown i in. 2001].

Celem podjętych badań było określenie możliwości zainicjowania kultury morfogenego kalusa *Miscanthus x giganteus* za pomocą technik kultur tkankowych i analiza dynamiki wzrostu mikrosadzonek.

Material i metody badań

Doświadczenia wykonano w latach 2007–2009. Materiał pobierano z roślin prowadzonych w szklarni i na poletkach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w RZD Pawłowice. Do założenia kultur wykorzystano izolowane w kwietniu i listopadzie pąki przybyszowe z kłaczy (1000 sztuk) oraz niedojrzałe osadki kłosowe pobierane z roślin na przełomie sierpnia i września w kolejnych latach badań.

Materiał do inicjacji kultur po wstępnym oczyszczeniu i przemyciu roztworem detergentu oraz 70-procentowym alkoholem etylowym poddano powierzchniowej sterylizacji przy użyciu sublimatu (HgCl_2 0,1% – pąki przybyszowe 14', osadki kłosowe 8'). Po sterylizacji eksplantaty zostały 3-krotnie (po 15 min) przepłukane w sterylnej wodzie destylowanej. Do drugiego płukania dodano związki antyutleniające: L-cysteina 100 mg/dm^{-3} + kwas askorbinowy 50 mg/dm^{-3} + kwas cytrynowy 75 mg/dm^{-3} .

Do indukcji kalusa zastosowano dodatek do pożywki podstawowej MS [Murashige i Skoog 1962] takich regulatorów wzrostu jak: 2,4-D ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$), BA ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) oraz NAA ($0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$).

W celu ograniczenia produkcji związków fenolowych przez eksplantaty do pożywki podstawowej (MS) dodawano azotanu srebra – AgNO_3 (100 mg/dm^{-3}) lub węgla aktywowanego (2 g/dm^{-3} – AC), czy też PVP (5 g/dm^{-3} poliwinylpiperolidon).

Esplantaty wielkości około 4 cm umieszczano w 10 kolbach po 6 sztuk w każdej. Obserwacje prowadzono nad regeneracją roślin z morfogenego kalusa pochodzącego z niedojrzałych osadek kłosowych oraz pąków przybyszowych z kłaczy.

Jako pożywkę podstawową zastosowano MS z dodatkiem AgNO_3 i różnych stężeń regulatorów wzrostu (mg/dm^{-3}): MS + $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D, MS + $3,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D + $1,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ KIN, MS + $3,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ BA + $1,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ NAA, MS + $4,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2iP + $0,5 \text{ mg/dm}^{-3}$ IAA. Kultury prowadzono w pokoju hodowlanym w temp. 22°C , przy względnej wilgotności powietrza 60–70%. Aby uzyskać indukcję tkanki kalusowej, eksplantaty stymulowano w ciemności przez 14 dni. Natomiast regenerację roślin prowadzono w warunkach światła ciągłego o intensywności 4000 lx.

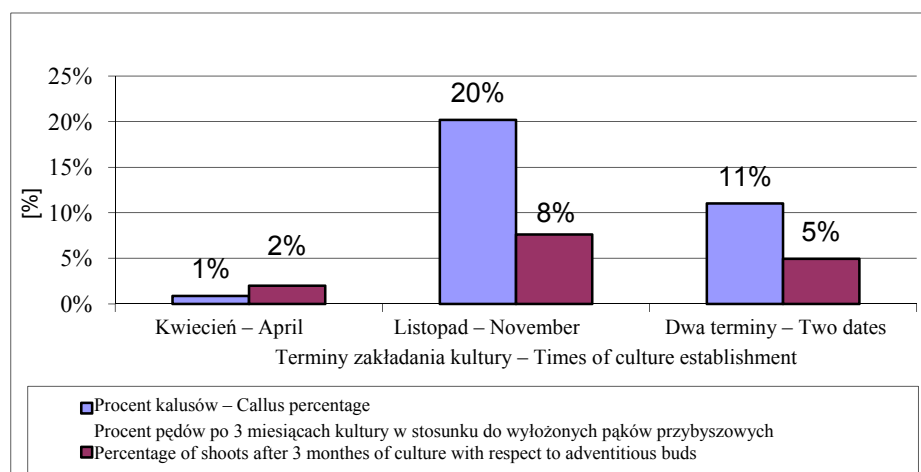
Obserwowano wzrost roślin na 60 eksplantatach po pierwszym i drugim miesiącu trwania kultury (I i II termin). Oceniono następujące cechy: wysokość roślin, liczbę pędów przybyszowych przypadającą na 1 eksplantat, wielkość pędów przybyszowych, liczbę korzeni i ich długość. Wykonano zestawienie ujmujące procent eksplantatów tworzących pędy i liczbę mikrosadzonek ukorzenionych, a także liczbę nowych pędów i korzeni w obu terminach oraz graficznie przedstawiono dynamikę przyrostów.

W celu zweryfikowania hipotezy o braku wpływu podłoża na wzrost eksplantatów wtórnych zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji dla każdego z doświadczeń osobno.

Wyniki

Pomyślną inicjację wzrostu i rozwoju w rośliny w kulturze *in vitro* – uzyskano zarówno z pąków przybyszowych, jak i z osadek kłosowych eksplantatów średniej wielkości, pochodzących z podziemnych części rośliny oraz osadek kłosowych (fot. 1, 2, 3).

Efektywność wytwarzania kalusa na eksplantatach z pąków przybyszowych wyniosła 11%, a regenerację w rośliny odnotowano w 5,0% w stosunku do liczby wyłożonych pąków przybyszowych w obu terminach indukcji kultury (wykres 1).



Wykres 1. Efektywność powstawania kalusa i regeneracji roślin z pędów przybyszowych w kulturach indukowanych w kwietniu oraz listopadzie

Graph 1. Effectiveness of callus induction and plant regeneration from shoots in cultures initiated in April and November

Termin pobierania pąków przybyszowych miał wyraźny wpływ na efektywność regeneracji kalusa. W pierwszym terminie (kwiecień) pobrania pąków przybyszowych efektywność regeneracji kalusa wyniosła poniżej 1%, natomiast efektywność regeneracji pędów 2%. Drugi termin pobrania materiału okazał się korzystniejszy, gdyż efektywność regeneracji kalusów wyniosła 20% a liczba regenerujących pędów – 7,6% (wykres 1, fot. 2a–c).



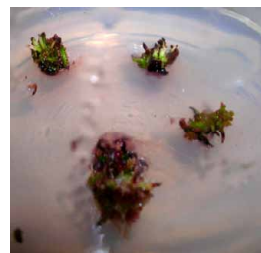
a



b



c



d

Fot. 1. Eksplantaty pierwotne *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. wykorzystywane do inicjacji kultur *in vitro*

Phot. 1. Primary explants of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. used for culture initiation in *in vitro*

a) wyizolowane pąki przybyszowe z kłączy *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. wyłożone na pożywkę MS+NAA ($0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$) z węglem aktywowanym tuż po sterylizacji

isolated adventitious buds from rhizomes of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. laid on the nutrient medium MS+NAA (0.2 mg/dm^{-3}) with active carbon just after sterilization

b) wyizolowane osadki kłosowe z *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. przed sterylizacją

isolated rachises from *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. before sterilization

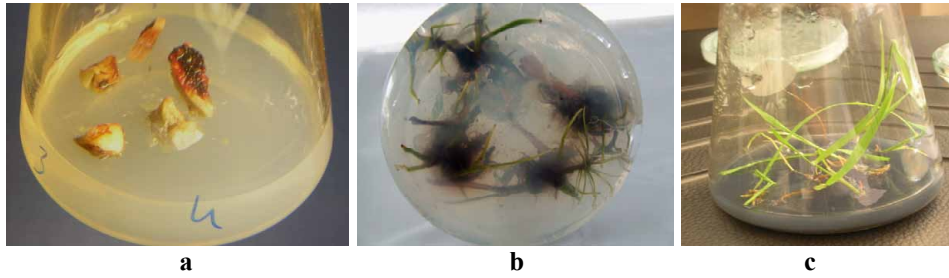
c) fragmenty osadki kłosowych po dwóch tygodniach kultury na pożywce MS + 2,4-D ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem AgNO_3

fragments of rachis after two weeks on the nutrient medium MS + 2,4-D (2.0 mg/dm^{-3}) with AgNO_3 added

d) fragmenty osadki kłosowych po dwóch tygodniach kultury na pożywce MS + BA ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem AgNO_3 z wytwarzającymi się związkami fenolowymi, powodującymi zamieranie eksplantatów

fragments of rachis after two weeks on the nutrient medium MS + BA (2.0 mg/dm^{-3}) with AgNO_3 added, with evolving phenol compounds that cause dying of explants

Najlepsze jednak wyniki otrzymano, używając jako eksplantatów pierwotnych osadek kłosowych, gdzie po wyłożeniu kilkunastu osadek kłosowych otrzymano intensywnie rozwijający się morfogeny kalus (fot. 3a-d). Indukcji kalusa sprzyjał dodatek $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D, natomiast na szybsze różnicowanie się roślin z kalusa wpływał równoczesny dodatek $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ BA oraz $0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$ NAA do pożywki podstawowej MS. Na tym typie eksplantatów obserwowano również w trakcie ich rozwoju wytwarzanie związków fenolowych (fot. 1c-d).



Fot. 2. Regeneracja roślin z pąków przybyszowych *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. na etapie inicjacji (a) i namnażania kultury (b, c)

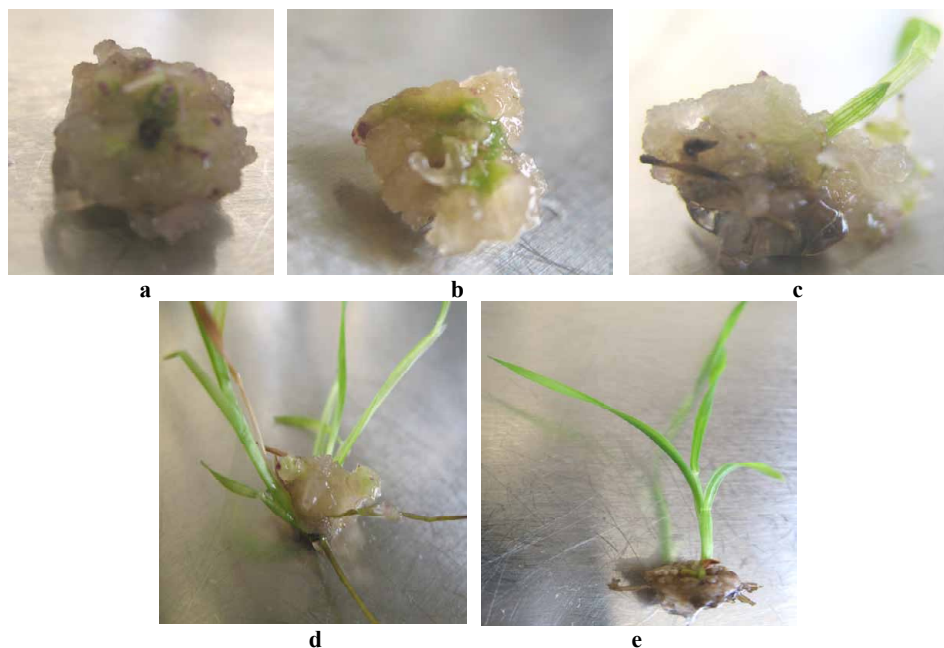
Phot. 2. Plant regeneration from shoots of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. at the stage of initiation (a) and culture propagation (b,c)

- fragmenty pąków przybyszowych po dwóch tygodniach kultury na pożywce MS + 2,4-D ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem AgNO_3
fragments of adventitious buds after two weeks on the nutrient medium MS + 2,4-D (2.0 mg/dm^{-3}) with AgNO_3 added
- ukorzenione mikrosadzonki na pożywce MS + NAA ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) i BA ($0,5 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem AgNO_3 po 10 tygodniach kultury
rooting of mini-seedling on the nutrient MS + NAA (2.0 mg/dm^{-3}) and BA (0.5 mg/dm^{-3}) with AgNO_3 after 10-week culture
- mikrosadzonki na pożywce MS + NAA ($0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem węgla aktywowanego przed założeniem doświadczeń po 16 tygodniach od inicjacji kultury
mini-seedling on the nutrient MS + NAA (2.0 mg/dm^{-3}) with activated carbon added, before setting of the experiment after 16 weeks from initiating the culture

Zregenerowane rośliny przeszczepiano na pożywkę MS + $0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$ NAA oraz PVP lub węgla aktywowanego, a następnie po miesiącu wzrostu przycinano je do 4 cm i wykładano na 4 rodzaje podłoży. Pomiary zostały wykonane po miesiącu (I termin – wykres 2), a następnie po ponownym przycięciu roślin do 4 cm wykonano pomiary 30 dni od cięcia (II termin – wykres 2). Oceniono wzrost mikrosadzonek, ich ukorzenianie oraz liczbę tworzących się pędów.

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji po miesiącu wzrostu wykazała istotny wpływ regulatorów wzrostu na wysokość roślin i długość korzeni. Najdłuższe rośliny – 22,3 cm stwierdzono na pożywce MS + $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D, a na pozostałych podłożach wielkość roślin wahała się w przedziale 10,1–12,3 cm i zostały one zaliczone na podstawie testu Duncana do jednej grupy jednorodnej. Największe przyrosty zaobserwowano u roślin na pożywce MS + $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D (wykres 3).

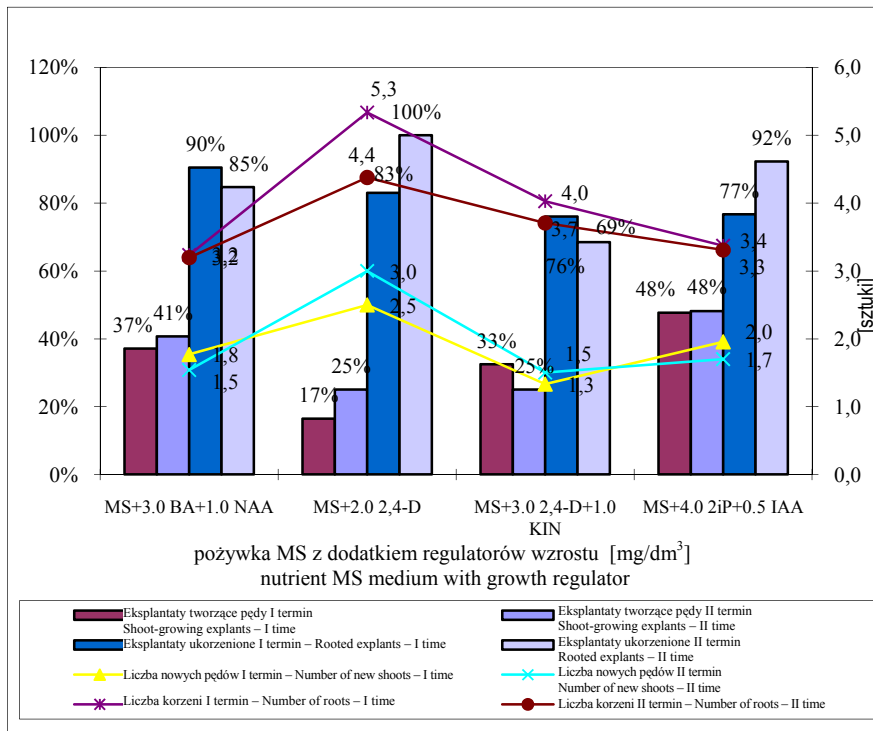
Po miesiącu wzrostu rośliny wytwarzały od 1,3 (MS + $3,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D + $1,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ KIN) do 2,5 pędów przybyszowych (MS + $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2,4-D) (wykres 2). Jednak najwięcej pędów uzyskano na pożywce MS + $4,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ 2iP + $0,5 \text{ mg/dm}^{-3}$ IAA, ponieważ ponad 48% analizowanych eksplantatów wytworzyło po 2 pędy przybyszowe.



Fot. 3. Regeneracja roślin *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. z morfogenego kalusa wytworzonego z osadek kłosowych w kulturze *in vitro*

Phot. 3. Regeneration of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. from a morphogenic callus formed of rachis in *in vitro* culture

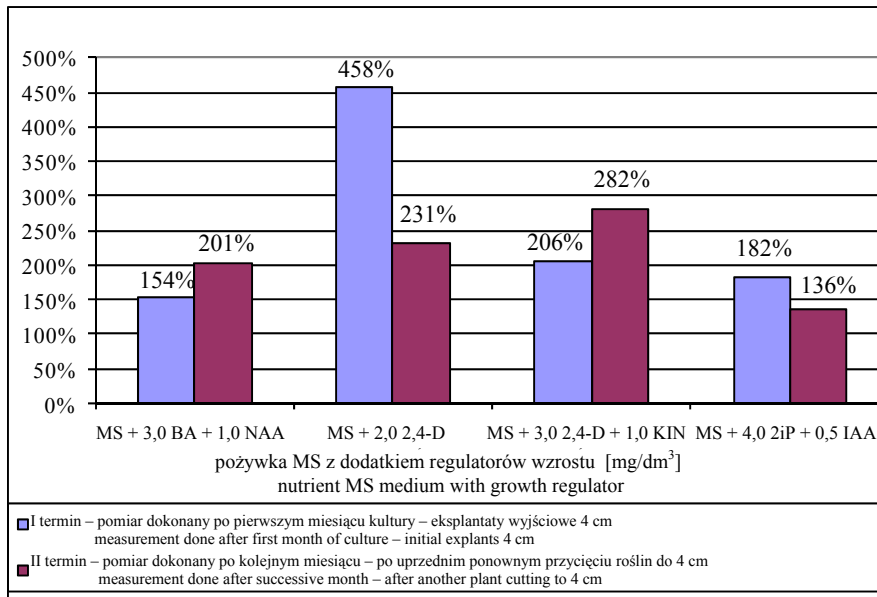
- a, b) morfogeny kalus z widocznymi centrami merystematycznymi po 6 tygodniach kultury na pożywce MS + 2,4-D ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem AgNO_3
morphogenous callus with visible meristematic centres after 6 weeks of culture on MS + 2.4-D (2.0 mg/dm^{-3}) with AgNO_3 added
- c) różnicujące się pędy z morfogenego kalusa po 6–8 tygodniach jego hodowli na pożywce MS + 2,4-D ($2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$) z dodatkiem AgNO_3
differentiating shoots from morphogenic callus after 6–8 weeks of its culture on MS + 2.4-D (2.0 mg/dm^{-3}) with AgNO_3 added
- d) różnicujące się pędy z morfogenego kalusa po 6–8 tygodniach hodowli na pożywce MS + $2,0 \text{ mg/dm}^{-3}$ BA + $0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$ NAA z dodatkiem AgNO_3
differentiating shoots from morphogenic callus after 6–8 weeks of its culture on MS + 2.0 mg/dm^{-3} BA + 0.2 mg/dm^{-3} NAA with AgNO_3 added
- e) mikrosadzonka uzyskana po 10 tygodniach kultury (MS + $0,2 \text{ mg/dm}^{-3}$ NAA)
mini-seedlings obtained after 10 weeks of culture (MS + 0.2 mg/dm^{-3} NAA)



Wykres 2. Efektywność krzewienia i ukorzenia zregenerowanych roślin na 4 podłożach
 Graph 2. Effectiveness of propagation and rootage of regenerated plants on 4 substrates

Na pozostałych pożywkach u 17–37% obserwowanych roślin odnotowywano tworzenie pędów przybyszowych. Stwierdzono, że od 76 do 90% eksplantatów wytwarzało korzenie. Liczba korzeni po miesiącu kultury wahała się w przedziale 3,2 (MS + 3,0 mg/dm⁻³ BA + 1,0 mg/dm⁻³ NAA) do 5,4 (MS + 2,0 mg/dm⁻³ 2,4-D) i nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu rodzaju podłoża na ich liczbę. Natomiast odnotowano tworzenie się istotnie dłuższych korzeni – 1,9 cm – na pożywce MS + 3,0 mg/dm⁻³ BA + 1,0 mg/dm⁻³ NAA. Na pozostałych kombinacjach pożywek analizowane rozwijające się mikrosadzonki wytwarzały korzenie wielkości 1,0 cm.

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji dla wyników uzyskanych po dwumiesięcznej kulturze nie wykazała istotnego wpływu podłoża na analizowane cechy. Jednakże, najlepsze przyrosty roślin zaobserwowano na pożywce MS + 2,0 mg/dm⁻³ 2,4-D i MS + 3,0 mg/dm⁻³ 2,4-D + 1,0 mg/dm⁻³ KIN (wykres 3). Rośliny osiągnęły wielkość 12,0–13,0 cm. Odnotowano także bardzo dobre ukorzenie się mikrosadzonek (90–100%) na pożywce MS + 4,0 mg/dm⁻³ 2iP + 0,5 mg/dm⁻³ IAA oraz MS + 2,0 mg/dm⁻³ 2,4-D (fot. 4).



Wykres 3. Dynamika przyrostu eksplantatów w trakcie dwumiesięcznej kultury
Graph 3. Dynamics of explant growth in a two-month culture



Fot. 4. Mikrosadzonki *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. na pożywce MS z dodatkiem różnych regulatorów wzrostu oraz AgNO₃

Phot. 4. Minicuttings of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. on MS nutrient with addition of various growth regulators and AgNO₃

Dyskusja

Prace eksperymentalne nad mikrorozmnażaniem gatunków z rodzaju *Miscanthus* prowadzone są w wielu europejskich ośrodkach naukowych [Głowacka i in. 2004, Płażek i in. 2007, Czarnecka i in. 2009].

Miscanthus x giganteus jako allotriploid jest całkowicie niepłodny, sterylny i dlatego nie rozmnaża się przez nasiona. Rośliny zwykle rozmnażane są wegetatywnie poprzez podział kłaczy lub kępy macierzystej, jednak mikrorozmnażanie w kulturze *in vitro* oferuje najwyższy współczynnik namnażania. Potencjalnym źródłem eksplantatów pierwotnych mogą być osadki kłosowe, kłacza, a także pobrane fragmenty liści z wcześniej otrzymanych zregenerowanych roślin w kulturach tkankowych [Peterson 1997, Holmes i Peterson 1996, Płażek i in. 2007, Płażek i Dubert 2009, Czarnecka i in. 2009].

W trakcie prowadzenia doświadczeń, podobnie jak inni autorzy, zaobserwowano wydzielanie fenoli do podłoża, które w znacznym stopniu utrudniały prowadzenie hodowli, a nawet często powodowały zamieranie eksplantatów, szczególnie pierwotnych pochodzących z kłaczy, pomimo zastosowania różnych antyutleniaczy. Płażek i in. [2007] obserwowali także ciemnienie niedojrzałych eksplantatów z osadek kłosowych już po 2–3 dniach od założenia kultury.

Przeprowadzone badania nad uzyskiwaniem mikrosadzonek z kultur tkankowych u *Miscanthus x giganteus* pokazały, że najlepsze wyniki regeneracji pośredniej uzyskiwano poprzez kalus, wykorzystując jako eksplantaty pierwotne osadki kłosowe [Peterson 1997, Głowacka i in. 2004, Płażek i in. 2007]. Na podstawie przeprowadzonych własnych doświadczeń najlepsza indukcja kalusa i wzrostu kultury następowała po zastosowaniu regulatorów wzrostu, takich jak: 2,4-D w stężeniu 2 mg/dm³ oraz kombinacji 0,2 mg/dm³ NAA + 2,0 mg/dm³ BA. Płażek i in. [2007] indukcję kalusa obserwowali po zastosowaniu 6,5 mg/dm³ 2,4-D oraz BA 0,25 mg/dm³. Czarnecka i in. [2009] uzyskali najlepsze wyniki po zastosowaniu 2,4-D w zakresie 2,5–5,0 mg/dm³, 0,2 mg/dm³ IAA, 0,2 mg/dm³ NAA i BAP od 0,1–0,5 mg/dm³. Płażek i Dubert [2009] natomiast w swoich doświadczeniach użyli stężeń regulatorów wzrostu 6,5 mg/dm³ 2,4-D + 0,25 mg/dm³ BAP.

Stale prowadzone są badania nad doskonaleniem metod otrzymywania mikrosadzonek z kultury *in vitro*, zastosowano nowe źródła węgla w pożywce MS + miód i miąższ banana [Płażek i Dubert 2009]. Dzięki temu wspomniani autorzy otrzymali znaczny wzrost liczby tworzących się somatycznych zarodków z 54 do 84% na pożywce z dodatkiem miodu i miąższu banana, a 74% na MS + tylko z dodatkiem banana. Na regenerującej pożywce 0,2 mg/dm³ BAP nie otrzymali roślin, podczas gdy zastosowanie 0,2 mg/dm³ kinetyny pozwoliło na otrzymanie 52 roślin z kalusów, ale tylko na pożywkach uzupełnionych miąższem bananowym.

Korzystny wpływ kinetyny na regenerację roślin z kalusa zaobserwowano w trakcie prowadzenia doświadczeń (wykresy 2 i 3). Wcześniejsze doświadczenia przeprowadzone w Katedrze Genetyki Hodowli Roślin i Nasiennictwa wykazały, że na samej pożywce podstawowej (MS) dochodziło do szybszego procesu drewnienia eksplantatów.

Podsumowanie

Najlepsze rezultaty otrzymano, wykorzystując do indukcji kalusa niedojrzałe osadki kłosowe. Potwierdzono przydatność 2,4-D do indukcji morfogenego kalusa. Szybszemu rozwojowi roślin z kalusa sprzyjał dodatek 2,0 mg/dm⁻³ BA oraz 0,2 mg/dm⁻³ NAA do pożywki podstawowej.

Regeneracja roślin z pąków przybyszowych nie była bardzo efektywna, gdyż wydzielane do podłoża związki fenolowe, pomimo zastosowania różnych antyutleniaczy, niekorzystnie oddziaływały na proces regeneracji i namnażania.

Największe przyrosty mikrosadzonek otrzymano na pożywce MS z dodatkiem 2,0 mg/dm⁻³ 2,4-D oraz 3,0 mg/dm⁻³ 2,4-D + 1,0 mg/dm⁻³ KIN. Najwięcej obserwowanych roślin wytwarzających pędy przybyszowe na pożywce z dodatkiem 4,0 mg/dm⁻³ 2iP + 0,5 mg/dm⁻³ IAA oraz 3,0 mg/dm⁻³ BA + 1,0 mg/dm⁻³ NAA. W trakcie prowadzenia kultury obserwowano bardzo dobre ukorzenianie się roślin.

W latach 2007–2009 doświadczenia wykonano w ramach badań realizacji grantu rozwojowego MNiSW nr 0617/PO1/2007 pt. „Opracowanie technologii uprawy miskanta olbrzymiego i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne i pozaenergetyczne”, zadanie badawcze: Możliwości regeneracyjne różnych części rośliny *Miscanthus x giganteus* w kulturze *in vitro* i opracowanie taniej technologii produkcji sadzonek

Piśmiennictwo

- Deuter M., Jeżowski S.: 1988. Szanse i problemy hodowli traw z rodzaju *Miscanthus* jako roślin alternatywnych. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, 2, 45–48.
- Clifton-Brown J.C., Lewandowski I.: 2000. Water use efficiency and biomass of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany*, 86, 191–200.
- Clifton-Brown J.C., Lewandowski I., Andersen B., Nash G., Christian D.G., Kjeldsen J.K., Jørgensen 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. *Agron. J.*, 93, 1013–1019.
- Czarnecka D., Czubańska A., Doroszevska T.: 2009. Optimization of the regeneration method of *Miscanthus x giganteus* in *in vitro* culture. *Acta Biologica Cracoviensia* Vol. 51 suppl. 1, 37.
- Fiedler P., Mendaluk J., Rösler A.: 1998. *Miscanthus sinensis* – biomasa i oczyszczanie ścieków. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, 2, 49–53.
- Głowacka K., Zenkteler M., Jeżowski S.: 2004. Mikrorozmnażanie *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu.) z eksplantatów kwiatowych. *Biotechnologia*, 2 (65), 251–259.
- Greef J.M., Deuter M.: 1993. Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Angewandte Botanik*, 67, 87–90.
- Holmes I.B., Peterson K.K.: 1996. Callus induction and plant regeneration from different explants types of *Miscanthus x ogiformis* Honda ‘Giganteus’. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 45, 43–52.
- Jeżowski S.: 1999. Miskant chiński (*Miscanthus sinensis* (Thun) Anderson) – źródło odnawialnych surowców dla Polski. *Zeszyty Probl. Post. Nauk Rol.* z. 468, 159–166.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W.: 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*.

- Majtkowski W.: 1998. Przydatność wybranych gatunków traw typu C4 do upraw alternatywnych w Polsce. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, 2, 41–48
- Majtkowski W., Podyma W., Góral S.: 1996. Gatunki roślin do rekultywacji zdegradowanych terenów przez przemysł i gospodarkę komunalną, [w:] *Nowe Rośliny Uprawne na Cele Spożywcze, Przemysłowe i jako Odnawialne Źródła Energii*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 136–148
- Murashige T., Skoog F.: 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 15, 473–497.
- Peterson K.K.: 1997. Callus induction and plant regeneration in *Miscanthus x ogiformis* Honda 'Giganteus' as influenced by benzyladenine. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 49, 137–140.
- Płazek A., Dubert F.: 2009. Optimization of medium for callus induction and plant regeneration of (*Miscanthus x giganteus*). *Acta Biologica Cracoviensia* Vol. 51 suppl. 1, 56.
- Płazek A., Dubert F., Żur I., Waligórski P.: 2007. Kultury in vitro miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*). *Zeszyty Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 523, 175–184.
- Roszewski R.: 1996. Miscant olbrzymi – *Miscanthus sinensis giganteus*, [w:] *Nowe Rośliny Uprawne na Cele Spożywcze, Przemysłowe i jako Odnawialne Źródła Energii*. Wyd. SGGW, 123–135.

2. CZYNNIKI WARUNKUJĄCE PLONOWANIE I SKŁAD CHEMICZNY MISKANTA OLBRZYMIEGO (*MISCANTHUS X GIGANTEUS* GREEF ET DEU.)

2.1. Aktywność fotosyntetyczna

Wstęp

Badania nad fotosyntetyczną aktywnością roślin należy uznać za niezmiernie ważne z punktu widzenia wzrostu plonów roślin. Dzięki procesowi fotosyntezy dochodzi do biologicznego przekształcania energii świetlnej w biomasę. Trawy z rodzaju *Miscanthus* należą do najważniejszych roślin energetycznych [Jeżowski 2003; Lewandowski i in. 2000]. Odnaczają się one dużą wydajnością produkcji suchej masy z uwagi na przynależność do roślin szlaku fotosyntetycznego C₄. Na intensywność procesu fotosyntezy wpływa szereg czynników środowiska. Każde ograniczenie intensywności tego procesu przyczynia się zwykle do spadku zarówno wielkości, jak i jakości plonu. Racjonalne wykorzystanie energii świetlnej w tym procesie wiąże się z koniecznością zaopatrzenia roślin uprawnych w wodę i składniki pokarmowe.

Jednym z istotnych czynników wpływających na aktywność fotosyntetyczną roślin jest zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach, a w szczególności chlorofili. Ich zawartość zależy między innymi od poziomu zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe, szczególnie tych, które bezpośrednio wpływają na biosyntezę chlorofili. Intensywność procesu fotosyntezy wpływa na dynamikę przyrostu suchej masy. Do jej oceny stosowane są między innymi wskaźniki produktywności. Spośród wskaźników produktywności w ocenie dynamiki przyrostu suchej masy roślin wykorzystuje się między innymi wskaźniki szybkości wzrostu roślin: bezwzględną szybkość wzrostu roślin – *GR* oraz względną szybkość wzrostu – *RGR* [Evans 1872].

Jedną z metod stosowanych do oceny aktywności fotochemicznej aparatu fotosyntetycznego jest metoda oparta na pomiarze fluorescencji chlorofilu. Należy ona do metod całkowicie nieinwazyjnych i pozwala badać fotosyntezę *in vivo*. Fluorescencja jest zjawiskiem emisji promieniowania elektromagnetycznego przez substancję w wyniku jej ekspozycji na promieniowanie elektromagnetyczne o innej długości fali. Metoda ta jest szczególnie przydatna w warunkach oddziaływania na rośliny różnorodnych czynników środowiskowych [Kalaji i Łoboda 2009, Michałek i Sawicka 2005].

Niniejsze badania dotyczyły monitorowania zmian zawartości barwników fotosyntetycznych, w szczególności chlorofili, w liściach oraz dynamiki przyrostu suchej masy roślin na podstawie wskaźników szybkości wzrostu roślin w trakcie wegetacji w latach 2007–2009. Ponadto, w 2009 r. przeprowadzono pomiary fluorescencji chlorofilu w celu zbadania aktywności fotochemicznej fotosystemu *PSII*.

Material i metody badań

Material do badań pobierano z doświadczenia prowadzonego na poletkach Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w Pawłowicach. Doświadczenia założono w układzie bloków zrandomizowanych w 4 powtórzeniach. W uprawie miskanta olbrzymiego stosowano zróżnicowane nawożenia azotowe w dawkach N - 100, 150 i 200 kg·ha⁻¹ oraz nawożenie potasowe w dawkach K₂O 100 i 150 kg·ha⁻¹. Azot stosowano w postaci mocznika, potas jako 60-procentową sól potasową. Corocznie, wiosną na wszystkich obiektach doświadczenia stosowano także fosfor w dawce 26 kg P·ha⁻¹ w formie 46% superfosfatu potrójnego. Powierzchnia poletek wynosiła 20 m². Doświadczenia założono na lekkiej madzie rzecznej, zaliczanej do kompleksu żyniowego słabego. Odczyn gleby był bardzo kwaśny, wahał się od pH_{KCl} 4,3 do 4,8. Przed rozpoczęciem badań zastosowano wapnowanie w dawce 1,5 t CaCO₃·ha⁻¹. Zawartość w glebie rozpuszczalnych form makroskładników wskazywała na bardzo wysoką zawartość fosforu, średnią potasu oraz bardzo niską magnezu.

Przez cały okres wegetacji w 2007 i 2008 r. notowano wyższe średnie dobowe temperatury niż w ostatnim roku doświadczenia. We wszystkich latach badań opady atmosferyczne były rozłożone nierównomiernie. W drugim roku okres wczesnej wiosny był stosunkowo suchy, podobnie jak i późne lato. W ostatnim roku badań w okresie od czerwca do połowy sierpnia występowały nagle i silne opady, a następnie wystąpił okres długiej suszy powodujący wczesne zasychanie roślin.

Analizę zawartości barwników fotosyntetycznych przeprowadzono w liściach roślin pięciokrotnie w trakcie wegetacji (czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik). Do każdego obiektu wykonano oznaczenie zawartości barwników fotosyntetycznych w środkowej części trzeciego najmłodszego liścia u pięciu losowo wybranych roślin. Oznaczano zawartość chlorofilu *a*, chlorofilu *b*, sumy chlorofilu (*chl a* + *chl b*) oraz karotenoidów. Barwniki ekstrahowano z materiału roślinnego przy użyciu 80-procentowego acetonu i oznaczano je metodą spektrofotokolorymetryczną. Ilość chlorofilu *a* i *b* oraz karotenoidów obliczano, korzystając z następujących wzorów [Arnon 1949]:

$$\text{chlorofil } a = 12,25 A_{663} - 2,79 A_{647}$$

$$\text{chlorofil } b = 21,50 A_{647} - 5,10 A_{663}$$

$$\text{chlorofil } a + b = 7,15 A_{663} + 18,71 A_{647}$$

$$\text{karotenoidy} = (1000 A_{470} - 1,82 \text{ Chl } a - 85,02 \text{ Chl } b) \cdot 198$$

W tych samych terminach w trakcie sezonu wegetacyjnego każdego miesiąca począwszy od czerwca do października pobierano próby po 20 roślin z każdego obiektu i oznaczano suchą masę części nadziemnych roślin. Dynamikę przyrostu masy określono na podstawie bezwzględnej i względnej szybkości wzrostu, wykorzystując wzory Evansa [1872]:

$$GR = (W_2 - W_1) (T_2 - T_1)^{-1} [\text{g} \cdot \text{doba}^{-1}]$$

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) (T_2 - T_1)^{-1} [\text{g} (\text{g} \cdot \text{doba}^{-1})^{-1}]$$

gdzie:

GR – szybkość wzrostu roślin,

RGR – względna szybkość wzrostu roślin,

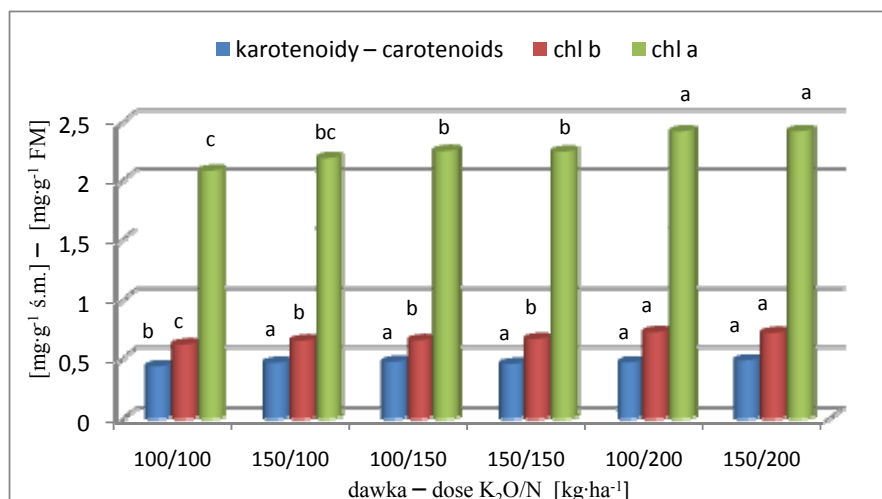
*W*₁ – sucha masa roślin – na początku okresu pomiarowego,

W_2 – sucha masa na końcu okresu pomiarowego,
 T_1 – początek okresu pomiarowego,
 T_2 – koniec okresu pomiarowego.

W 2009 r. trzykrotnie w sezonie wegetacyjnym przeprowadzono pomiary fluorescencji chlorofilu. Dla każdego obiektu wykonano pomiar maksymalnej fotochemicznej wydajności PSII (F_v/F_M) w środkowej części trzeciego najmłodszego liścia u dziesięciu losowo wybranych roślin po uprzednim zaciemnieniu liścia. Pomiary przeprowadzono przy użyciu przenośnego fluorymetru OS-30p (ADC). Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji. Istotność różnic oceniano testem Tukey'a.

Wyniki badań i dyskusja

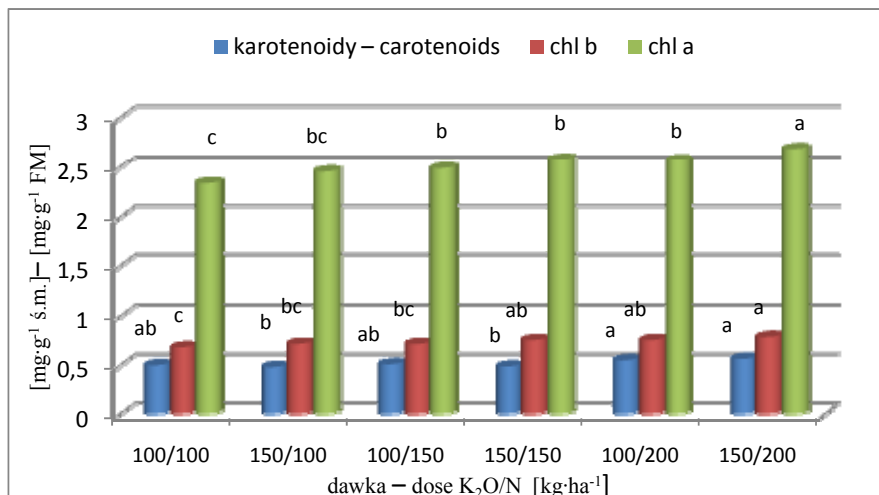
Średnia zawartość karotenoidów w liściach miskanta w 2007 r. mieściła się w granicach od 0,43 do 0,48 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ świeżej masy liści i z wyjątkiem obiektów, w których stosowano najwyższe oraz najniższe dawki K_2O i N, nie odnotowano istotnych różnic w zawartości tych barwników (rys. 1). Zawartość chlorofilu *b* była wyższa od zawartości karotenoidów o około 45%. Najniższą zawartość tego barwnika stwierdzono u roślin z obiektu, w którym stosowano najniższe nawożenie azotem i potasem, natomiast najwyższą w obiektach z najwyższym poziomem nawożenia azotowego. Różnica w zawartości tego barwnika pomiędzy roślinami z tych obiektów przekraczała 15%.



Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)
 Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 1. Zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach miskanta olbrzymiego (średnio – 2007 rok)

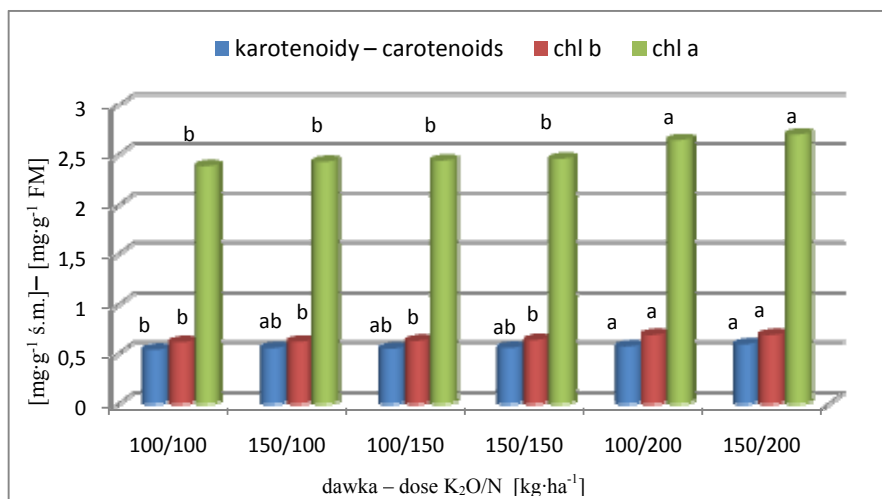
Fig. 1. Content photosynthetic pigments in leaves of *Miscanthus giganteus* (average – 2007 year)



Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)
 Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 2. Zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach miskanta olbrzymiego (średnio – 2008 rok)

Fig. 2. Content photosynthetic pigments in leaves of *Miscanthus giganteus* (average – 2008 year)

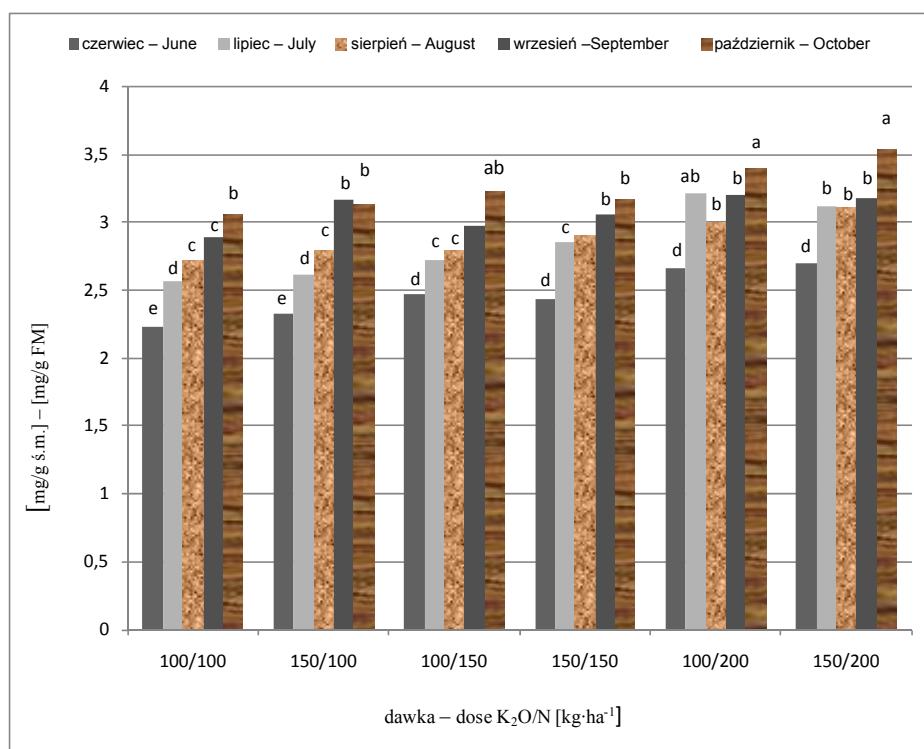


Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)
 Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 3. Zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach miskanta olbrzymiego (średnio – 2009 rok)

Fig. 3. Content photosynthetic pigments in leaves of *Miscanthus giganteus* (average – 2009 year)

Podobne zmiany odnotowano w poziomie zawartości chlorofilu *a* w liściach miskanta w badanych obiektach. Warto podkreślić, że chlorofil *a* był barwnikiem dominującym w składzie barwników fotosyntetycznych. Jego zawartość (średnio) 3,5-krotnie przewyższała zawartość chlorofilu *b* w liściach. W kolejnych latach badań (2008 i 2009) średnia zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach miskanta zarówno karotenoidów, jak i chlorofili (chl *a* i chl *b*) kształtowała się podobnie jak w 2007 r. (rys. 2 i 3). Ogólna zawartość chlorofili (chl *a* + chl *b*) w liściach miskanta w pierwszym roku badań (2007) zwiększała się w trakcie wegetacji roślin (zależnie od obiektu doświadczenia) od 27 do 35% (rys. 4). Najmniejsza zawartość chlorofili w liściach roślin występowała w pierwszym miesiącu badań, czyli w czerwcu we wszystkich obiektach.



Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)

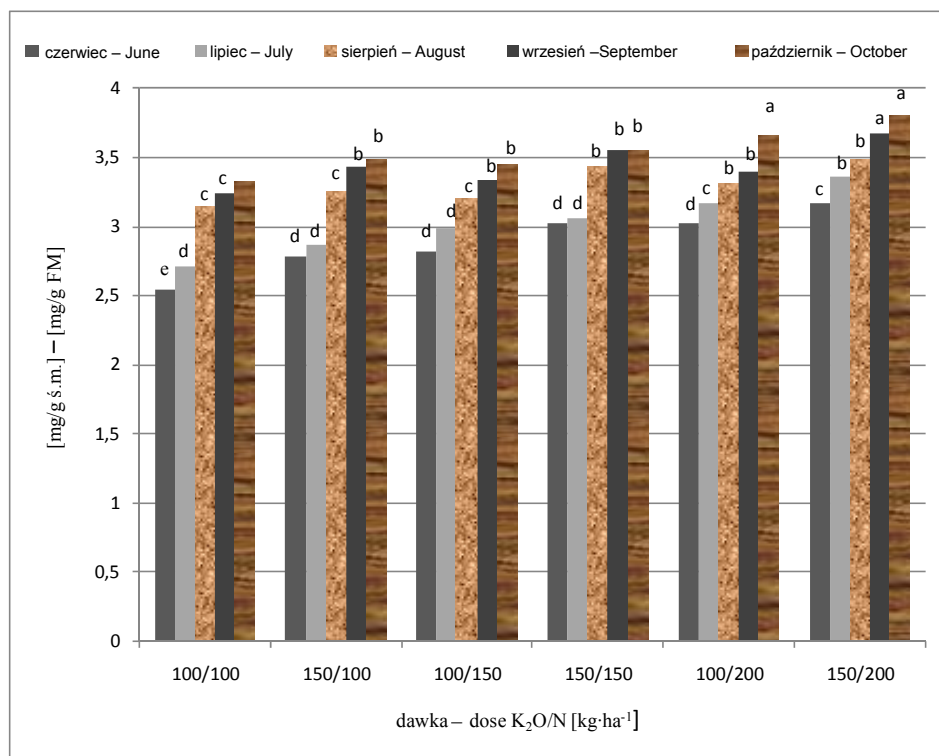
Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 4. Zawartość chlorofili w liściach miskanta olbrzymiego w 2007 roku

Fig. 4. Content of chlorophylls in leaves of *Miscanthus giganteus* in 2007 year

Natomiast największą zawartość tych barwników odnotowano w liściach miskanta na przeważającej liczbie obiektów w ostatnich dwóch miesiącach badań, czyli we wrześniu i w październiku. Sumaryczna zawartość chlorofili (chl *a* + chl *b*) w liściach miskanta w poszczególnych miesiącach badań 2008 r. przedstawiała się podobnie. Tak jak w pierwszym roku badań ich ilość zwiększała się wraz z upływem okresu wegetacji (rys. 5).

Najwyższą ich zawartość w liściach stwierdzono w roślinach na obiektach nawożonych azotem w najwyższej dawce – 200 kg·ha⁻¹. Również w 2009 r., podobnie jak w latach poprzednich, zawartość chlorofili (chl *a* + chl *b*) zwiększała się w miarę trwania okresu wegetacji, osiągając najwyższy poziom w ostatnim miesiącu badań (październik). Najwyższą zawartość chlorofili odnotowano w liściach roślin uprawianych w obiektach, w których zastosowano nawożenie 200 kg N·ha⁻¹ (rys. 7). Porównanie zawartości tych barwników w liściach roślin w poszczególnych latach wskazuje, że najniższa zawartość chlorofili w liściach dotyczyła pierwszego roku badań (2007) i średnio ich ilość była mniejsza w porównaniu do 2008 i 2009 o około 10%.

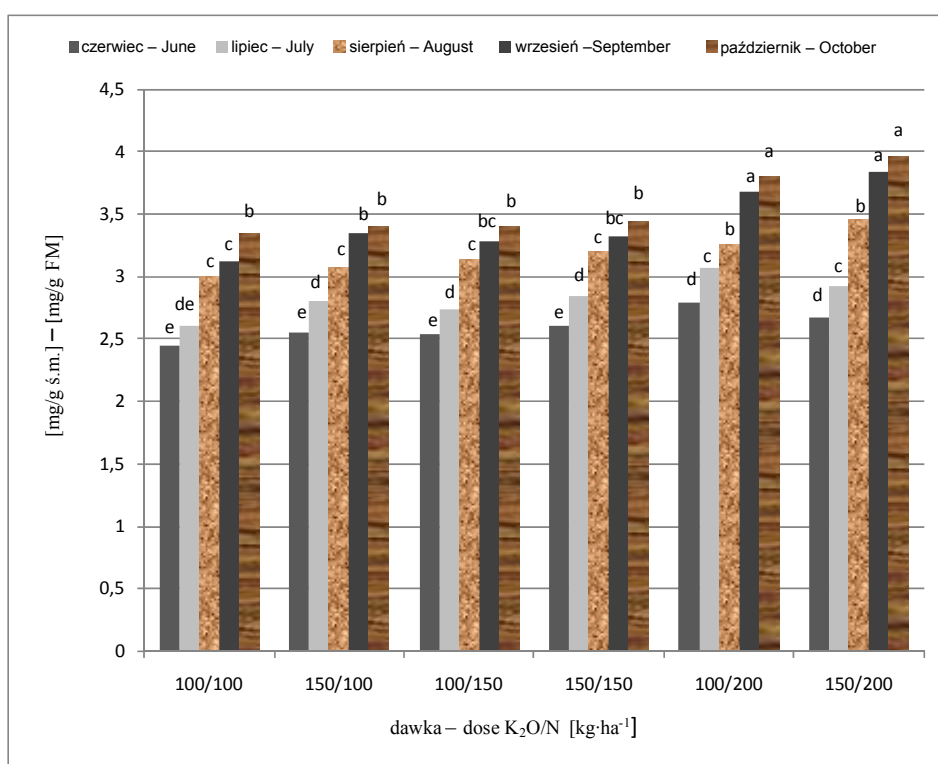


Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)
 Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 5. Zawartość chlorofili w liściach miskanta olbrzymiego w 2008 roku
 Fig. 5. Content of chlorophylls in leaves of *Miscanthus giganteus* in 2008 year

Nie ulega wątpliwości, że zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach roślin jest tylko jednym z istotnych elementów wpływających na ich aktywność fotosyntetyczną. Odnotowana w tych badaniach mniejsza zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach miskanta w pierwszym roku doświadczeń może być jednym z czynników ograniczających aktywność fotosyntetyczną roślin. Końcowy plon zarówno ze zbioru jesiennego, jak i zimowego w pierwszym roku badań był znacznie mniejszy aniżeli

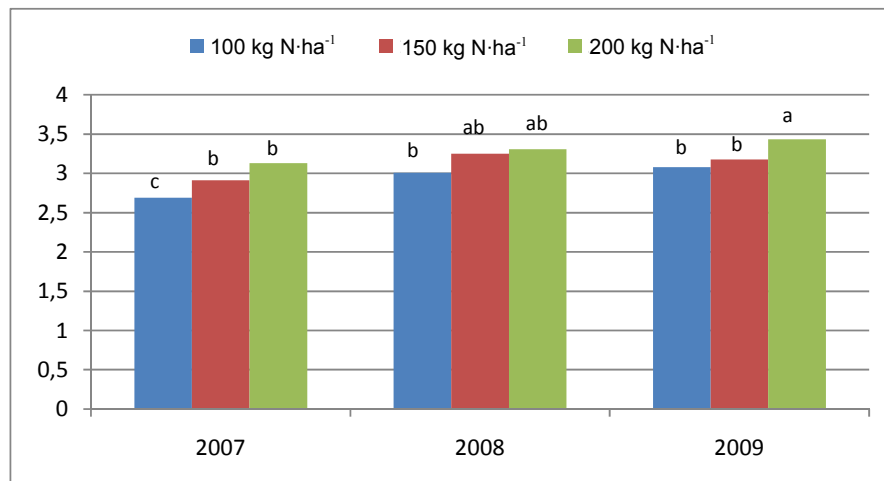
w kolejnych latach doświadczeń. W literaturze brak jest jednoznacznych informacji, które potwierdzałyby związek pomiędzy zawartością chlorofilu a intensywnością fotosyntezy. Olszewski i in. [2003] w swoich badaniach odnotowali ujemną korelację pomiędzy zawartością chlorofilu a intensywnością fotosyntezy w liściach *Ficus benjamina*. Z kolei Wróbel [1997] wykazał prostoliniową zależność pomiędzy zawartością chlorofilu w liściach a natężeniem fotosyntezy u odmiany tradycyjnej grochu siewnego. Mc Grath i Pennypacker [1990] stwierdzili brak korelacji pomiędzy zawartością chlorofilu a intensywnością fotosyntezy w liściach traw uprawianych w warunkach oddziaływania czynników stresowych. Williams [1997] wykazał wręcz, że rośliny ubogie w chlorofil wytwarzają często wielokrotnie więcej asymilatów w przeliczeniu na jednostkę chlorofilu niż rośliny bogate w ten barwnik. Według Olszewskiej [2004] intensywność fotosyntezy i zawartość chlorofilu w liściach są cechą odmianową roślin i w dużym stopniu zależną od uwilgotnienia gleby. Jej zdaniem nie cały zawarty w liściach chlorofil jest czynny fotosyntetycznie, ale może pełnić w roślinach również inne funkcje. Należy podkreślić, że zawartość chlorofilu w liściach roślin jest nie tylko miernikiem intensywności fotosyntezy, ale także wskaźnikiem zawartości azotu w roślinie.



Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)

Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 6. Zawartość chlorofilu w liściach miskanta olbrzymiego w 2009 roku
 Fig. 6. Content of chlorophylls in leaves of *Miscanthus giganteus* in 2009 year



Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie ($\alpha \leq 0,05$)
 Values followed by the same letter are not significantly different ($\alpha \leq 0.05$)

Rys. 7. Zawartość chlorofili (chl *a* + chl *b*) w liściach miskanta olbrzymiego w zależności od nawożenia azotem (średnia – 2007, 2008, 2009 rok)

Fig. 7. Content of chlorophyll in leaves of *Miscanthus giganteus* in relationship on nitrogen fertilization (average – 2007, 2008, 2009 year)

Bezwzględna szybkość wzrostu (GR) w pierwszych dwóch latach badań zwiększała się w miarę postępującego rozwoju roślin i osiągnęła największą wartość w ostatnim miesiącu analizowanego okresu, tzn. we wrześniu (tab. 1a i 1b). W 2009 r. (tab. 1c) we wrześniu nie stwierdzono znaczącego wzrostu tego wskaźnika, a na niektórych obiektach zanotowano jedynie minimalny wzrost wartości tego parametru. Bezpośrednią przyczyną zahamowania dynamiki przyrostu suchej masy w analizowanym okresie 2009 r. był niekorzystny układ warunków pogodowych, zwłaszcza mała ilość opadów, znacznie poniżej średniej wieloletniej. Nie odnotowano większych różnic w bezwzględnej szybkości wzrostu roślin w zależności od stosowanego nawożenia azotowego. Natomiast w przypadku wyższej dawki potasu, zwłaszcza w ostatnim miesiącu badań (wrzesień), szczególnie w 2007 r., stwierdzono znacznie wyższe wartości bezwzględnej szybkości wzrostu na obiektach o niższym poziomie nawożenia azotowego. Analiza zmian wartości tego wskaźnika produktywności w latach 2007–2009 (tab. 1d) również wskazuje, że w miarę rozwoju roślin w okresie od czerwca do października jego wartości wzrastają, osiągając najwyższą wartość w ostatnim miesiącu badań, czyli we wrześniu. Na podstawie średnich wartości tego wskaźnika w latach 2007–2009 nie stwierdzono istotnych różnic w bezwzględnej szybkości wzrostu roślin w zależności od poziomu nawożenia azotem (rys. 8). Odnotowano natomiast znaczny wzrost wartości tego wskaźnika w ostatnim miesiącu badań przy niższych dawkach azotu (100 i 150 kg·ha⁻¹).

Tabela 1
Table 1

Absolutna (GR) i względna szybkość wzrostu (RGR) miskanta olbrzymiego w zależności od stosowanego nawożenia azotem i potasem (część nadziemna)
Absolute (GR) and relative (RGR) growth rate of *Miscanthus giganteus* in dependence on nitrogen and potassium fertilization (aboveground part)

a) 2007

Miesiąc Month	K ₂ O [kg·ha ⁻¹]	GR [g · doba ⁻¹] – [g · day ⁻¹]			RGR [g (g · doba ⁻¹) ⁻¹] [g (g · day ⁻¹) ⁻¹]		
		N [kg·ha ⁻¹]					
		100	150	200	100	150	200
Czerwiec June	100	0,500	0,483	0,600	0,030	0,028	0,034
	150	0,660	0,700	0,527	0,040	0,034	0,030
Lipiec July	100	0,794	0,906	0,581	0,023	0,023	0,016
	150	1,064	0,758	0,955	0,031	0,018	0,021
Sierpień August	100	0,590	0,474	0,777	0,010	0,008	0,014
	150	0,032	0,752	0,723	0,005	0,011	0,010
Wrzesień September	100	1,99	1,71	1,99	0,021	0,019	0,020
	150	2,78	2,72	1,79	0,026	0,023	0,017

b) 2008

Miesiąc Month	K ₂ O kg·ha ⁻¹	GR [g · doba ⁻¹] – [g · day ⁻¹]			RGR [g (g · doba ⁻¹) ⁻¹] [g (g · day ⁻¹) ⁻¹]		
		N [kg·ha ⁻¹]					
		100	150	200	100	150	200
Czerwiec June	100	0,433	0,363	0,537	0,026	0,022	0,031
	150	0,583	0,700	0,320	0,029	0,029	0,018
Lipiec July	100	0,713	0,716	0,568	0,021	0,022	0,017
	150	0,690	0,758	0,590	0,017	0,014	0,016
Sierpień August	100	1,148	1,158	1,20	0,018	0,019	0,019
	150	1,116	0,752	1,23	0,016	0,017	0,019
Wrzesień September	100	1,87	1,56	1,99	0,017	0,015	0,017
	150	1,65	2,72	1,63	0,015	0,020	0,015

c) 2009

Miesiąc Month	K ₂ O kg·ha ⁻¹	GR [g · doba ⁻¹] – [g · day ⁻¹]			RGR [g (g · doba ⁻¹) ⁻¹] [g (g · day ⁻¹) ⁻¹]		
		N [kg·ha ⁻¹]					
		100	150	200	100	150	200
Czerwiec June	100	0,806	0,697	0,557	0,038	0,042	0,030
	150	0,727	0,580	0,650	0,039	0,033	0,038
Lipiec July	100	0,700	0,868	1,103	0,016	0,021	0,033
	150	0,929	1,158	1,113	0,021	0,026	0,025
Sierpień August	100	0,739	0,777	0,409	0,011	0,009	0,006
	150	0,371	0,239	0,339	0,006	0,003	0,005
Wrzesień September	100	0,018	0,230	0,293	0,001	0,001	0,004
	150	0,090	0,532	0,603	0,001	0,008	0,008

d) 2007–2009

Miesiąc Month	K ₂ O kg·ha ⁻¹	GR [g · doba ⁻¹] – [g · day ⁻¹]			RGR [g (g · doba ⁻¹) ⁻¹] [g (g · day ⁻¹) ⁻¹]		
		N [kg·ha ⁻¹]					
		100	150	200	100	150	200
Czerwiec June	100	0,580	0,513	0,567	0,032	0,031	0,032
	150	0,657	0,647	0,500	0,034	0,032	0,024
Lipiec July	100	0,735	0,832	0,748	0,019	0,022	0,022
	150	0,871	0,829	0,884	0,024	0,019	0,021
Sierpień August	100	0,832	0,803	0,797	0,013	0,013	0,013
	150	0,506	0,732	0,765	0,008	0,010	0,011
Wrzesień September	100	1,23	1,01	1,35	0,013	0,011	0,014
	150	1,65	1,90	1,36	0,017	0,018	0,014

Tabela 2

Table 2

Potencjalna wydajność fotochemiczna PSII (F_v/F_m) miskanta olbrzymiego

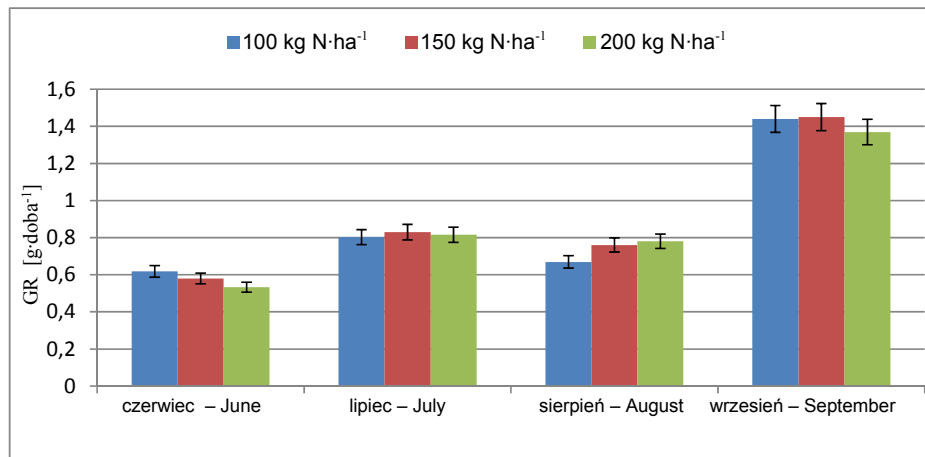
Potential photochemical activity PSII (F_v/F_m) of *Miscanthus giganteus*

Miesiąc Month	K ₂ O [kg·ha ⁻¹]	N [kg·ha ⁻¹]		
		100	150	200
Sierpień August	100	0,764	0,768	0,781
	150	0,768	0,772	0,779
Wrzesień September	100	0,768	0,778	0,789
	150	0,776	0,781	0,784
Październik October	100	0,771	0,778	0,782
	150	0,782	0,789	0,789

NIR_{0,05} – LSD_{0,05} = 0,009

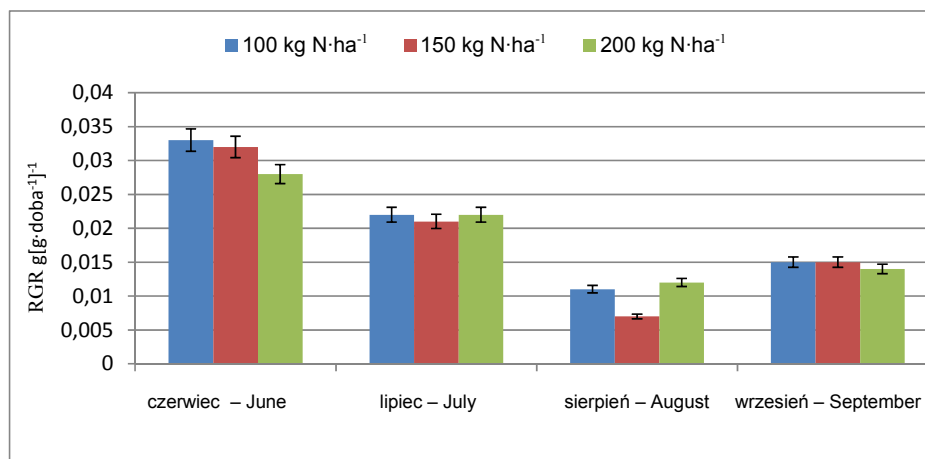
Względna szybkość wzrostu (RGR) była największa we wszystkich latach badań w czerwcu (tab. 1a, b, c, d). Najwyższe wartości tego wskaźnika odnotowano w 2009 r. (tab. 1c). W miarę rozwoju roślin wartości względnej szybkości wzrostu zmniejszały się z wyjątkiem 2007 r.. W ostatnim miesiącu badań (wrzesień) w tym roku odnotowano znaczny wzrost względnej szybkości wzrostu roślin w stosunku do poprzedzających miesięcy (lipiec i sierpień). Podobnie jak w przypadku bezwzględnej szybkości wzrostu nie stwierdzono istotnych różnic w wielkości tego wskaźnika w zależności od dawki nawożenia azotowego (rys. 9).

Należy podkreślić, że zależność pomiędzy intensywnością fotosyntezy a wysokością plonów roślin nie jest prosta. Przebieg fotosyntezy, a następnie transport i rozdział asymilatów do organów roślin stanowią podstawowy klucz w kierunku zapewnienia wysokiej produktywności uprawianych roślin. Miskant olbrzymi nie należy do roślin o zbyt dużych wymaganiach w odniesieniu do zaopatrzenia gleby w składniki mineralne. Pomimo dosyć zróżnicowanego nawożenia azotem nie stwierdzono istotnych różnic w dynamice wzrostu roślin zarówno pod względem bezwzględnego (GR), jak i względnego (RGR) wskaźnika szybkości wzrostu roślin. Reakcja roślin na stosowane nawożenie jest w dużej mierze zależna od zasobności gleby w składniki pokarmowe. Można sądzić, że brak znacznych różnic w dynamice wzrostu roślin pomiędzy obiektami, na których stosowano zróżnicowane nawożenie, wynika właśnie z dobrej zasobności gleby w te składniki.



Rys. 8. Absolutna (*GR*) szybkość wzrostu miskanta olbrzymiego w zależności od nawożenia azotem (średnia 2007–2009)

Fig. 8. Absolute (*GR*) growth rate of *Miscanthus giganteus* in dependence on nitrogen fertilization (average 2007–2009)



Rys. 9. Względna (*RGR*) szybkość wzrostu miskanta olbrzymiego w zależności od nawożenia azotem (średnia 2007–2009)

Fig. 9. Relative (*RGR*) growth rate of *Miscanthus giganteus* in dependence on nitrogen fertilization (average 2007–2009)

Z doświadczeń innych autorów wynika, że miskant szczególnie korzystnie reaguje na wiosenne nawożenie azotem, zwłaszcza w pierwszym roku uprawy, co ma wpływ na szybki wzrost i rozwój, a także prawidłowe wykształcanie podziemnych kłączy (rhizomów). Jest to szczególnie ważne, jeśli materiałem sadzonkowym są rośliny wyhodowane metodą kultur *in vitro* [Schwarz i in. 1994]. Stąd też wiosenną dawkę, przed sadzeniem roślin, w wysokości około $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ przyjmuje się najczęściej jako optymalną w pierwszym roku uprawy. W kolejnych latach prowadzenia plantacji miskanta wraz z rozrastaniem się pojedynczych roślin zaleca się stopniowo zwiększać do $150\text{--}180 \text{ kg}$ na 1 ha^{-1} lub w celu ograniczenia nakładów pozostać na dotychczasowym poziomie $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Wartości F_v/F_m były zbliżone do 0,800, co może świadczyć o tym, że potencjalna wydajność fotochemiczna fotosystemu *PSII* jest zbliżona do wartości maksymalnej. Obserwowano nieznaczną tendencję wzrostową wartości tego parametru w liściach roślin uprawianych przy wyższej dawce azotu na ha, szczególnie w pierwszym miesiącu badań (sierpień). Natomiast nie stwierdzono istotnych różnic wartości tego wskaźnika w zależności od dawki nawożenia potasem.

Parametr ten określony dla roślin zaadaptowanych w ciemności określa potencjalną wydajność *PSII* i może być wykorzystywany jako wiarygodny wskaźnik aktywności fotochemicznej aparatu fotosyntetycznego. Zdaniem Langa i in. [1996] funkcjonowanie fotosystemu *PSII* jest najbardziej czułym wskaźnikiem wpływu różnych czynników stresowych na rośliny. Metoda ta znalazła zastosowanie w określaniu potencjału plonowania, ocenie wpływu czynników agrotechnicznych, deficytu pierwiastków oraz skażenia atmosfery na proces fotosyntezy [Jasiewicz i in. 1999, Lang i in. 1996]. Dla większości roślin w fazie pełnego rozwoju i w warunkach korzystnych maksymalna wartość tego parametru jest zbliżona nawet do 0,83 i uważa się, że w warunkach kontrolowanych wskaźnik ilorazu F_v/F_m jest proporcjonalny do intensywności fotosyntezy [Angelini i in. 2001; Bjorkman i Demmig 1987]. Zmiany stosunku F_v/F_m mogą być spowodowane według Maxwella i Johnsona [2000] przez wygaszenie niefotochemiczne, a także mogą odzwierciedlać stopień degradacji białka D_1 oraz inaktywację centrów reakcji *PSII*. Zmiany tego parametru mogą być zależne również od genotypu roślin [Wrochna i in. 2007]. Obniżenie wartości tego parametru może wskazywać na to, że badana roślina była narażona na działanie czynników stresowych.

Wnioski

Zawartość barwników fotosyntetycznych w liściach miskanta olbrzymiego zwiększała się wraz z rozwojem roślin w okresie od czerwca do października we wszystkich latach badań.

Stwierdzono istotnie wyższą zawartość chlorofili w liściach roślin z obiektów o najwyższym poziomie nawożenia azotem – $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w stosunku do nawożenia na poziomie $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Dominującym barwnikiem wśród barwników fotosyntetycznych jest chlorofil a. Jego zawartość w liściach miskanta przewyższała zawartość chlorofilu *b* średnio – 3,5-krotnie.

Wartości bezwzględnego wskaźnika szybkości wzrostu roślin (*GR*) sukcesywnie zwiększały się w miarę rozwoju roślin, osiągając najwyższy poziom w ostatnim miesiącu badań (wrzesień) z wyjątkiem 2009 r.

Wartości wskaźnika względnej szybkości wzrostu (*RGR*) we wszystkich latach badań były najwyższe w początkowym okresie badań (miesiąc – czerwiec). W miarę trwania okresu wegetacji poziom wartości tego wskaźnika zmniejszał się.

Potencjalna wydajność fotochemiczna *PSII* (F_v/F_M) określona na podstawie pomiarów fluorescencji chlorofilu wykazywała tendencję wzrostową wraz z fazą rozwojową roślin i poziomem nawożenia azotowego.

Piśmiennictwo

- Angelini G., Ragni P., Esposito D., Giardi P., Pompili M.L., Moscardelli R., Giardi M. T.: 2001. A device to study the effect of space radiation on photosynthetic organisms. *Physica Medica – Vol. XVII, Suppl. 1, International Workshop on Space Radiation Research (Italy), May 27–31, 2000.*
- Arnon D. J.: 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24, 1–15.
- Bjorkman O., Demmig B.: 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489–504.
- Evans G.C.: 1872. The quantitative analysis of plant growth. Univ. California Press, 734.
- Jasiewicz C., Rapacz M., Antonkiewicz J.: 1999. Wpływ metali ciężkich na uszkodzenia błon komórkowych i aparatu fotosyntetycznego oraz plon topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.) *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 469, 403–410.
- Jeżowski S.: 2003. Rośliny energetyczne – produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i socjalny ich wykorzystania jako ekopaliwa. *Post. Nauk Rol.*, 3, 61–73.
- Kalaji M.H., Łoboda T.: 2009. Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin. Wyd., SGGW Warszawa.
- Lang M., Lichtealter H.K., Sowinska M., Heisel F., Meihe J.A.: 1996. Fluorescence imaging of water and temperature stress in plant leaves. *J. Plant Physiol.*, 148(5), 613–621.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W.: 2000. Miscanthus: European with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19, 4, 209–227.
- Maxwell K., Johnson N.G.: 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51, 659–668.
- Mc Grath M.T., Pennypacker S.P.: 1990. Alternation of physiological process in wheat flag leaves caused by stem rust and leaf rust. *American Phytopathol. Soc.*, 80(8), 677–686.
- Michałek W., Sawicka B.: 2005. Zawartość chlorofilu i aktywność fotosyntetyczna późnych odmian ziemniaka w warunkach pola uprawnego w środkowo-wschodniej Polsce. *Acta Agrophys.*, 6(1), 183–195.
- Olszewska M.: 2004. Reakcja koniczyny białej uprawianej na dwóch typach gleb na stres wodny. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 3(2), 203–213.
- Olszewski J., Pszczółkowska A., Kulik T., Dziejowski J.: 2003. Influence of chlorophyll content on photosynthetic rate of young and old leaf of *Ficus benjamina*. *Pol. J. Natur. Sci., Suppl.*, 1, 72.
- Schwarz H., Liebhard P., Ehrendorfer K., Ruckebauer P.: 1994. The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* "Giganteus". *Industrial Crops Products*, 2, 3, 153–159.

- Williams L.E.: 1997. Relationship between early photosynthesis products, photorespiration and stage of leaf development in *Zea mays* L. *Pflanzenphysiol. B*, 81, 4–9.
- Wrochna M., Gawrońska H., Borkowska B., Gawroński S.: 2007. Wpływ zasolenia na akumulację biomasy i fluorescencję chlorofilu u roślin trzech odmian szarłatu ozdobnego. *Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu. Roczn. AR Pozn. CCCLXXXIII, Ogrodn.* 41, 235–239.
- Wróbel J.: 1997. Porównanie natężenia fotosyntezy struktur liściowych u morfologicznie zróżnicowanych form grochu siewnego. *Zesz. Nauk. AR Szczecin*, 68, 201–214.

2.2. Dynamika nagromadzenia biomasy

Wstęp

Trawy szybko rosnące należące do grupy roślin szlaku C-4, biorąc pod uwagę wydajny proces fotosyntezy pozwalający na uzyskiwanie wysokich plonów przy względnie małych nakładach, mogą stanowić alternatywę dla rolnictwa szczególnie na terenach odlegowanych czy zdegradowanych [Jeżowski 1999, Deuter i Jeżowski 2002].

Do najbardziej wydajnych traw wieloletnich zaliczane są gatunki z rodzaju *Miscanthus*: *Miscanthus sinensis giganteus* oraz *Miscanthus sacchariflorus* [Jeżowski 1999, Nalborczyk 1999, Kościk i in. 2003]. Szersze rozpowszechnienie upraw miskanta olbrzymiego, którego areal w krajach europejskich nie przekracza 350 ha, warunkuje uzyskanie przez hodowlę nowych odmian odpornych na niskie temperatury i suszę o podwyższonej zawartości celulozy, co powinno stworzyć możliwość szerokiego zastosowania taniej i dobrej jakości biomasy w przemyśle papierniczym, budowlanym, chemicznym czy sektorze energetycznym [Podleśny 2005, Jeżowski i in. 2007].

Spośród wielu korzystnych cech miskanta podkreślana jest rola tego gatunku w sekwestracji węgla [Hansen i in. 2004, Borzęcka-Walker 2006], ochronie terenów podatnych na erozję ze względu na rozbudowany system korzeniowy [Podleśny 2005] czy możliwości zastosowania młodych pędów tej trawy jako paszy dla zwierząt [Kalembasa i in. 2005, Karsznicka i in. 2005].

Uzyskiwanie potencjalnie wysokich plonów miskanta uzależnione jest przede wszystkim od warunków klimatycznych i siedliskowych [Szczukowski i in. 2006]. Plon już w drugim roku od założenia plantacji wynosić może 8–10 t s.m. \cdot ha⁻¹, a w kolejnych latach od 20 do 30 t s.m. \cdot ha⁻¹. W badaniach prowadzonych w warunkach Niemiec plony miskanta wynosiły od 6,2 do 20,7 t s.m. \cdot ha⁻¹ [Kahle i in. 2001, Lewandowski i Heinz 2003].

Według niektórych badań miskant wymaga intensywnego nawożenia i nawadniania [Lewandowski i in. 2000, Krzywy i in. 2004, Kalembasa i Malinowska 2007]. Inni autorzy twierdzą, że roślina ta ma małe wymagania związane z nawożeniem i udaje się na glebach lekkich [Kościk i Kalita 1999, Kowalczyk-Juśko i in. 2004, Jeżowski i in. 2007, 2009]. W niniejszej pracy podjęto próbę oceny dynamiki gromadzenia biomasy i pobierania składników pokarmowych przez tę roślinę.

Materiały i metody badań

Dynamikę nagromadzenia biomasy oraz składników pokarmowych przez miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) badano w trzyletnim doświadczeniu, założonym na polu Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin, w RZD Pawłowice (położenie geograficzne 17°02'E i 51°31'N).

Układ warunków pogodowych w okresie wegetacji roślin, szczególnie szlaku C-4, jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na tempo rozwoju i wielkość plonów [Swan i in. 1990]. W tabeli 1 zamieszczono podstawowe dane dotyczące przebiegu pogody podczas badań.

Tabela 1
Table 1

Warunki atmosferyczne w okresie wegetacji miskanta olbrzymiego
Weather conditions during vegetation period of *Miscanthus giganteus*

Rok Year	Miesiąc – Month				
	maj May	czerwiec June	lipiec July	sierpień August	wrzesień September
	Przeciętne temperatury – Temperature average [°C]				
2007	16,2	16,2	19,2	19,2	18,9
2008	14,3	14,3	18,8	19,8	18,8
2009	14,2	14,2	15,8	19,5	19,3
	Suma opadów – Precipitation [mm]				
2007	50,3	69,2	92,4	52,8	46,1
2008	37,3	36,5	65,5	94,0	27,9
2009	67,6	141,7	134,2	53,5	12,0

W pierwszym i drugim roku badań prawie przez cały okres wegetacji miskanta notowano wyższe średnie dobowe temperatury niż w ostatnim roku doświadczenia. We wszystkich latach doświadczenia opady atmosferyczne były nierównomiernie rozłożone. W drugim roku okres wczesnej wiosny był stosunkowo suchy, podobnie jak i późne lato. W ostatnim roku badań w okresie od czerwca do połowy sierpnia występowały nagłe i silne opady, a następnie wystąpił okres długiej suszy powodujący wczesne zasychanie roślin.

Doświadczenie założono na lekkiej madzie rzecznej, zaliczanej do kompleksu przydatności rolniczej żytniego słabego. Miskant wysadzano w maju 2004 r. na poletkach o powierzchni 5 m², po 16 szt. w rozstawie 45 cm x 70 cm. Ponieważ plonowanie miskanta zależy w dużym stopniu od wieku roślin, a w pierwszym roku po posadzeniu rośliny nie powinny być przycinane, w badaniach własnych oceniano nagromadzenie biomasy począwszy od 3. do 6. roku po założeniu plantacji.

Odczyn gleby był bardzo kwaśny, w obrębie doświadczenia wahał się od pH_{KCl} 4,3 do 4,8, dlatego przed rozpoczęciem badań w 2007 r. zastosowano wapnowanie w dawce 1,5 t CaCO₃·ha⁻¹. Zawartość w glebie rozpuszczalnych form makroskładników wskazywała na bardzo wysoką zasobność w fosfor (96–107 mg P·kg⁻¹), średnią – w potas (85–89 mg K·kg⁻¹) oraz bardzo niską – w magnez (12–18 mg Mg·kg⁻¹).

Doświadczenie założono w czterech powtórzeniach metodą losowanych podbloków. Na tle dwóch poziomów nawożenia potasem 100 kg K₂O·ha⁻¹ (83 kg K·ha⁻¹) oraz 150 kg K₂O·ha⁻¹ (124 kg K·ha⁻¹) rozlosowano w obrębie podbloków trzy poziomy nawożenia azotem: 100 kg N, 150 kg N oraz 200 kg N w przeliczeniu na hektar. Corocznie, wiosną na wszystkich obiektach doświadczenia stosowano także fosfor w dawce 26 kg P·ha⁻¹. Azot stosowano w postaci mocznika, potas jako 60% sól potasową, fosfor w 46% superfosfacie potrójnym.

W latach 2007–2009, w celu określenia dynamiki nagromadzenia biomasy przez miskanta, z każdego poletka doświadczalnego wycinano po 20 szt. reprezentatywnych pędów roślin, około 3 cm nad powierzchnią gleby. Próbkę pobierano w okresie wegetacji pięciokrotnie, zawsze w pierwszej dekadzie miesiąca, począwszy od czerwca do września. Każdorazowo określano zieloną oraz suchą masę roślin.

W próbkach roślinnych pobranych z poletek doświadczenia po ich wysuszeniu i rozdrobnieniu oznaczano zawartość N-ogólnego po mineralizacji w kwasie salicylosiarkowym. Zawartość pozostałych makroskładników: P, K, Mg, Ca oraz mikroskładników Cu, Zn, Mn oznaczano po mineralizacji próbek na sucho w piecu muflowym. Z ilości wytworzonej suchej masy oraz oznaczonej zawartości makro- i mikroskładników obliczono ich nagromadzenie w biomacie, w poszczególnych miesiącach wegetacji.

Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej z zastosowaniem analizy wariancji do metody losowanych podbloków, po stwierdzeniu istotności różnic wyceniano je za pomocą przedziału ufności (NIR 0,05) opartego na wielokrotnym teście rozstępu Duncana.

Wyniki badań i dyskusja

Liczne badania prowadzone na terenie Azji czy Europy Zachodniej nad czynnikami decydującymi o wysokości plonów miskanta oraz możliwością ich wykorzystania w celach energetycznych dotyczą przede wszystkim biomasy roślin uzyskiwanej w okresie późnej jesieni, zbieranej po odprowadzeniu do części podziemnych – rhizomów znacznej części składników pokarmowych oraz po przemrożeniu roślin powodującym ich wysuszenie [Christian i in. 2008, Lewandowski 1998, Lewandowski i in. 2000, Yazaki i in. 2004]. Mniej prac dotyczy dynamiki nagromadzania biomasy przez miskanta w czasie wegetacji roślin [Beale i Long 1997, Himken i in. 1997, Kalembasa i in. 2005, Kalembasa i Malinowska 2005].

W badaniach własnych, na początku okresu wegetacji, świeża masa pędów miskanta w pierwszej dekadzie czerwca wynosiła średnio $68,5 \text{ g} \cdot \text{szt.}^{-1}$, wahając się w poszczególnych latach od $60,2 \text{ g}$ do $77,5 \text{ g} \cdot \text{szt.}^{-1}$ (tab. 2). W ciągu każdego z kolejnych analizowanych miesięcy wegetacji świeża masa pędów przyrastała przeciętnie o około $40 \text{ g} \cdot \text{szt.}^{-1}$, równocześnie o około 10% miesięcznie zwiększała się zawartość suchej masy w roślinach. Na początku października średnia masa pędu miskanta wynosiła przeciętnie około 244 g i w zależności od roku badań wahała się od 175 g do $356 \text{ g} \cdot \text{szt.}^{-1}$. Tylko w drugim roku badań, charakteryzującym się korzystniejszym rozkładem opadów, obserwowano przyrost masy pędów miskanta aż do początku października.

W pierwszym i ostatnim roku prowadzenia badań intensywne nagromadzanie zielonej masy miało miejsce tylko do początku września, ponieważ po kolejnym miesiącu wegetacji roślin – w październiku zielona masa pędów była zbliżona lub nawet niższa niż we wrześniu.

Przyrost suchej masy pędów miskanta, w warunkach doświadczenia, trwał dłużej niż zwiększanie świeżej masy pędów. Nawet w ostatnim roku badań, niekorzystnym z powodu suszy, jeszcze w październiku obserwowano przyrost ilości wytworzonej suchej masy (tab. 3). W badaniach Himken i in. [1997] prowadzonych na terenie Niemiec w podobnym położeniu geograficznym ($6^{\circ}42' \text{E}$ i $51^{\circ}31' \text{N}$) maksymalne nagromadzenie biomasy miało miejsce pod koniec września. W badaniach tych autorów największe tempo przyrostu sięgające dziennie $30\text{--}35 \text{ g}$ suchej masy na roślinę, w przeliczeniu na hektar $0,28\text{--}0,32 \text{ t s.m.}$ dziennie, obserwowano w okresie pomiędzy majem a czerwcem. W późniejszym okresie, od października do grudnia, autorzy obserwowali spadek masy części nadziemnych, natomiast przyrosty suchej masy miały miejsce w częściach podziemnych miskanta – rhizomach.

Tabela 2
Table 2

Nagromadzenie zielonej masy przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [g·pęd⁻¹]
Green mass accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [g·steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K K dose	Dawka N N dose	Lata – Years			Średnio Mean
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	60,7	64,0	67,0	63,9
		150	71,0	69,3	45,5	61,9
		200	58,3	58,7	74,0	63,6
	124	100	55,9	74,3	55,5	61,9
		150	66,7	81,7	65,0	71,1
		200	94,6	117,0	54,0	88,5
Lipiec July	83	100	92,0	96,0	154,0	114,0
		150	95,5	90,5	125,2	103,7
		200	102,0	105,3	123,9	110,4
	124	100	107,5	138,9	135,4	121,5
		150	118,5	135,0	121,4	125,0
		200	114,0	116,0	124,0	118,0
Sierpień August	83	100	134,7	138,9	168,5	147,4
		150	146,7	135,3	165,3	149,1
		200	123,5	132,0	186,7	147,4
	124	100	168,9	155,6	177,9	167,5
		150	150,4	154,7	190,5	165,2
		200	164,2	142,2	187,8	164,7
Wrzesień September	83	100	169,0	184,7	215,5	189,7
		150	171,0	182,7	216,0	189,9
		200	173,5	183,3	204,0	186,9
	124	100	156,5	194,7	192,5	181,2
		150	196,0	200,0	192,5	196,2
		200	206,5	192,7	198,5	199,2
Październik October	83	100	161,0	353,0	183,7	232,6
		150	151,0	327,0	180,5	219,5
		200	163,0	344,0	209,3	238,7
	124	100	201,0	348,0	183,3	244,1
		150	202,0	415,0	218,3	278,4
		200	172,0	348,0	228,0	249,3
Średnie dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			67,8	77,5	60,2	68,5
Lipiec – July			104,9	110,7	130,6	115,4
Sierpień – August			161,2	143,1	179,4	156,9
Wrzesień – September			178,8	189,7	203,2	190,5
Październik – October			175,0	355,8	200,5	243,8
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			20,3	25,3	12,0	9,76
	83		124,8	164,3	154,6	147,9
	124		145,0	186,4	155,0	162,1
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			12,9	16,0	r.n. – n.s.	6,17
		100	130,7	173,1	153,3	152,4
		150	136,9	179,1	152,0	156,0
		200	137,2	173,9	159,0	156,7
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Year			134,9	175,4	154,8	155,0
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			7,56			–

Tabela 3
Table 3

Nagromadzenie suchej masy przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [g·ped⁻¹]
Dry mass accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [g·steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K K dose	Dawka N N dose	Lata – Years			Średnio Mean
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	8,9	10,0	9,12	9,3
		150	10,3	10,8	6,19	9,1
		200	8,5	9,1	10,1	9,2
	124	100	8,1	11,6	7,5	9,1
		150	9,7	12,7	8,9	10,4
		200	13,8	18,2	7,3	13,1
Lipiec July	83	100	23,9	23,0	33,3	26,7
		150	24,8	21,7	27,1	24,5
		200	26,5	25,2	26,8	26,2
	124	100	27,9	29,1	29,3	28,8
		150	30,7	32,4	26,3	29,8
		200	29,6	27,8	26,8	28,1
Sierpień August	83	100	48,5	45,1	55,0	49,5
		150	52,9	43,9	54,0	50,3
		200	44,5	42,8	61,0	49,4
	124	100	60,9	50,5	58,1	56,5
		150	54,2	50,2	62,2	55,5
		200	59,2	46,1	61,3	55,5
Wrzesień September	83	100	66,8	80,7	77,9	75,1
		150	67,6	79,8	78,1	75,2
		200	68,6	80,1	73,7	74,1
	124	100	61,9	85,1	69,6	72,2
		150	77,5	87,4	69,6	78,2
		200	81,6	84,2	71,8	79,2
Październik October	83	100	126,7	136,7	72,5	111,9
		150	118,8	126,6	71,2	105,5
		200	128,3	133,2	82,5	114,7
	124	100	158,2	134,7	72,3	121,7
		150	159,0	160,7	86,1	135,3
		200	135,4	134,7	89,9	120,0
Średnie dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			9,9	12,1	8,2	10,0
Lipiec – July			27,2	26,5	28,3	27,3
Sierpień – August			53,4	46,4	58,6	52,8
Wrzesień – September			70,7	82,9	73,4	75,7
Październik – October			137,7	137,8	79,1	118,2
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			9,8	8,3	3,7	3,39
	83		55,0	57,9	49,2	54,1
	124		64,5	64,4	49,8	59,5
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			6,2	5,3	r.n. – n.s.	2,14
		100	59,2	60,6	48,5	56,1
		150	60,5	62,6	48,9	57,4
		200	59,6	60,2	51,1	57,0
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			59,8	61,1	49,5	56,8
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			2,62			–

W warunkach prowadzonego doświadczenia nagromadzenie suchej, podobnie jak i zielonej masy było równomierne w okresie od czerwca do września. Wynosiło ono średnio około 25 g s.m. przez pęd, natomiast nieco większe, wynoszące przeciętnie ponad 42 g obserwowano pod koniec okresu wegetacji od września do października (tab. 3).

W żadnym z lat doświadczenia, pomimo znacznego zróżnicowania dawek N od 100 do 200 kg, nie stwierdzono istotnego oddziaływania nawożenia azotowego na ilość zielonej oraz suchej masy nagromadzonej przez miskant w czasie wegetacji (tab. 2 i 3). W pierwszym i drugim roku badań obserwowano tendencję do większego nagromadzenia zielonej i suchej masy przez miskant nawożony wysokimi dawkami N, ale tylko w początkowym okresie wegetacji. W późniejszych miesiącach wegetacji oraz w ostatnim roku prowadzenia badań korzystnego wpływu zastosowanego w nawozach azotu na przyrost masy roślin nie obserwowano.

Podobnie w badaniach Himken i in. [1997] stosowanie zróżnicowanych dawek azotu do 180 kg N · ha⁻¹ w postaci saletry wapniowej nie powodowało istotnych zmian w produkcji suchej masy przez miskanta. Również w licznych badaniach, prowadzonych na terenie Austrii, Grecji, Danii oraz Niemiec, cytowanych w przeglądowej pracy Lewandowski i in. [2000], nie stwierdzono wpływu nawożenia azotem na plonowanie miskanta w drugim czy trzecim roku prowadzenia plantacji.

Dawka 60 kg N ha⁻¹ została przez wielu autorów [El-Bassam 1996, Himken i in. 1997] uznana jako wystarczająca do optymalnego zaopatrzenia rhizomów miskanta, które na 6-letniej plantacji są w stanie nagromadzić i potem przemieszczać do pędów nadziemnych 265 kg N oraz 235 kg K w przeliczeniu na hektar uprawy, co czyni tę roślinę prawie niewrażliwą na wiosenne zaopatrzenie gleby w azot czy potas.

W warunkach prowadzonego doświadczenia zwiększenie dawki nawożenia potasem z 83 do 124 kg K powodowało istotne zwiększenie ilości nagromadzonej biomasy przez miskant. W początkowych fazach rozwojowych, w pierwszym i drugim roku badań, różnica ta wynosiła od 11 do 40%. W późniejszych fazach rozwojowych, we wrześniu i październiku oraz w ostatnim roku badań, najmniej korzystnym dla plonowania miskanta różnice te były mniejsze. W badaniach Lewandowskiego i Kicherera [1997] nawożenie potasem nie determinowało plonów miskanta, co mogło być spowodowane lepszymi właściwościami gleb, na których założono plantacje tej rośliny.

Wydaje się, że czynnikiem najsilniej wpływającym na ilość biomasy nagromadzonej w doświadczeniu przez miskanta była ilość wody dostępnej w okresie wegetacji. Ponieważ doświadczenie prowadzono na glebie lekkiej podścielonej żwirem o małej możliwości retencji oraz podsiąku wody, o wilgotności gleby decydowały przede wszystkim opady atmosferyczne. W początkowym okresie wzrostu tej rośliny zarówno zielona masa, jak i ilość nagromadzonej suchej masy przez pędy miskanta były największe w 2008 r., w którym opady w kwietniu i maju były najobfitsze. W czerwcu rośliny miały zbliżoną masę we wszystkich latach badań, natomiast w lipcu – początkowo słabiej rosnące w ostatnim roku badań pędy miały największe przyrosty suchej masy, najprawdopodobniej na skutek korzystnej reakcji tej rośliny na bardzo dużą ilość opadów atmosferycznych.

Potwierdza to niska masa roślin uzyskana w okresie lipca w drugim roku badań, w którym opady były bardzo małe. Zapotrzebowanie miskanta na wodę wydaje się być najwyższe w końcowym okresie wegetacji w miesiącu wrześniu, gdy duża masa roślin

zużywa większe jej ilości. Potwierdzają to obserwacje innych autorów, sugerujących, że pomimo niskiego zużycia wody (270–300 dm³·kg⁻¹ s.m.) wieloletnie plantacje miskanta powinny być zakładane na glebach o wysokim poziomie wód gruntowych [Podleśny 2005].

Wnioski

W warunkach prowadzonych badań wzrastające dawki azotu od 100 do 200 kg N w przeliczeniu na hektar nie modyfikowały tempa ani ilości nagromadzonej zielonej i suchej masy przez miskanta.

Zwiększenie dawki potasu z 83 kg do 124 kg K·ha⁻¹ powodowało istotny wzrost biomasy nagromadzonej przez miskanta uprawianego na glebie lekkiej.

Nagromadzenie suchej masy części nadziemnych miskanta przebiegało do początku października i było w dużym stopniu zależne od przebiegu pogody, głównie od ilości opadów atmosferycznych.

Piśmiennictwo

- El-Bassam N.: 1996. Renewable energy. Potential energy crops for Europe and the Mediterranean region. Federal Agric. Res., Rome.
- Beale C.V., Long S.P.: 1997. Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C₄-grasses *Miscanthus x Giganteus* and *Spartina Cynosuroides*. Biomass Bioenergy, 12, 6, 419–428.
- Borzęcka-Walker M.: 2006. Symulacje plonu potencjalnego i sekwestracji węgla w glebie w uprawie miskanta. Fragm. Agron., 23, 4 (92).
- Christian D.G., Riche A.B., Yates N.E.: 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x Giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. Industrial Crops and Products, 28, 320–327.
- Deuter M., Jeżowski S.: 2002. Stan wiedzy o hodowli traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus*. Post. Nauk Rol., 2, 59–67.
- Hansen E.M., Christensen B.T., Jensen L.S. Kristensen K.: 2004. Carbon sequestration in soil beneath long-term *Miscanthus* plantations as determined by ¹³C abundance. Biomass Bioenergy, 26, 97–105.
- Himken M., Lammel J., Neukirchen D., Czipionka-Krause U., Olf H.-W.: 1997. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. Plant and Soil, 189, 117–126.
- Jeżowski S.: 1999. Miskant chiński (*Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson) – źródło odnawialnych i ekologicznych surowców dla Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 468, 159–166.
- Jeżowski S., Głowacka K., Bocianowski J.: 2007. Zmienność wybranych klonów traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus* pod względem plonowania w pierwszych latach uprawy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 517, 339–348.
- Jeżowski S., Głowacka K., Kaczmarek Z.: 2009. Wstępna ocena głównych parametrów wymiany gazowej związanych z fotosyntezą w odniesieniu do plonowania traw energetycznych z rodzaju *Miscanthus* w pierwszym roku uprawy. Acta Agrophys. 14(1), 73–81.
- Kahle P., Beuch S., Boelcke B., Leinweber P., Schulten H.-R.: 2001. Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. Eur. J. Agron., 15, 171–184.

- Kalembasa D., Janinhoff A., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.: 2005. Zawartość siarki w wybranych klonach trawy *Miscanthus*. *J. Elementol.*, 10(2), 309–314.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2005. Zawartość potasu w różnych klonach trawy *Miscanthus* w zależności od nawożenia mineralnego. *Nawozy i Nawożenie*, 3(24), 359–364.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2007. Wpływ dawek osadu ściekowego na plon i skład chemiczny trawy *Miscanthus Sacchariflorus*. *Fragm. Agron.*, 24, 1(93), 113–118.
- Karsznicka A.M., Grzesik M., Mika B.: 2005. Uprawa traw na biomasę – możliwości i ograniczenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 504, 631–637.
- Kościk B., Kalita E.: 1999. Stan i perspektywy uprawy roślin alternatywnych na Zamojszczyźnie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 468, 47–62.
- Kościk B., Kowalczyk-Juśko A., Kościk K.: 2003. Uprawa i wykorzystanie roślin wieloletnich na cele energetyczne. *Pam. Puł. – Mat. Konf.*, 132, 203–210.
- Kowalczyk-Juśko A., Kościk B., Kościk K.: 2004. Miskant do pieca. *Energetyka – Biomasa*, 2(8), 16–17.
- Krzywy E., Iżewska, Wołoszyk Cz.: 2004. Bezpośredni i następczy wpływ komunalnego osadu ściekowego i kompostów sporządzonych z osadu ściekowego na wielkość plonu i zawartość mikroelementów w słomie trzciny chińskiej (*Miscanthus sacchariflorus*). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 502, 865–875.
- Lewandowski I.: 1998. Propagation method as an important factor in the growth and development of *Miscanthus x giganteus*. *Industrial Crops and Products*, 8, 229–245.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J. M.O., Huisman W.: 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenergy*, 19, 209–227.
- Lewandowski I., Heinz A.: 2003. Delayed harvest of *Miscanthus* – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *Eur. J. Agron.*, 19, 45–63.
- Lewandowski I., Kicherer A.: 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *Eur. J. Agron.*, 6, 163–177.
- Nalborczyk E.: 1999. Rośliny alternatywne rolnictwa XXI wieku i perspektywy ich wykorzystania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 468, 17–30.
- Podleśny J.: 2005. Trawa *Miscanthus x giganteus* – jej charakterystyka oraz możliwości wykorzystania. *Post. Nauk Rol.*, 2, 41–52.
- Swan J.B., Staricka J. A., Shaffer M.J., Paulson W.H., Peterson A.E.: 1990. Corn yield response to water stress, heat units, and management. Model development and calibration. *Soil Sci. Am. J.* 54, 209–216.
- Szczukowski S., Kościk B., Kowalczyk-Juśko A., Tworowski J.: 2006. Uprawa i wykorzystanie roślin alternatywnych na cele energetyczne. *Fragm. Agron.*, 23, 3(91), 300–315.
- Yazaki Y., Mariko S., Koizumi H.: 2004. Carbon dynamics and budget in a *Miscanthus sinensis* grassland in Japan. *Ecological Res.*, 19, 511–520.

2.3. Zmiany zawartości i dynamika pobierania makroskładników w okresie wegetacji

Wstęp

Uprawa roślin na cele nie żywnościowe, a zwłaszcza energetyczne jest przedmiotem badań w wielu krajach europejskich. Miskant jako jedna z obiecujących roślin energetycznych jest uprawiana w Europie na obszarze około 350 hektarów, głównie w postaci plantacji doświadczalnych [Szeptycki 2000].

Miskant olbrzymi nie ma szczególnie dużych wymagań agrotechnicznych [Lewandowski i in. 2000]. Jak podaje autor, najczęściej uprawiany jest na glebach klasy IV i V, może być to również klasa VI, pod warunkiem że stanowisko nie będzie stale przesuszone. Prowadzenie uprawy miskanta na glebach klas wyższych (IIIa i IIIb) skutkuje możliwością uzyskania wysokich i stabilnych plonów, w mniejszym stopniu zależnych od poziomu nawożenia. Szeptycki [2000] stwierdził, że miskant jest rośliną, która nie wymaga wysokiego poziomu nawożenia mineralnego.

Pod uprawę miskanta olbrzymiego nie stosuje się nawożenia mineralnego, jeżeli zasobność gleby w fosfor i potas jest wysoka bądź bardzo wysoka. W pozostałych przypadkach zaleca się jesienne nawożenie fosforem w ilości 30–90 kg P₂O₅ oraz potasem w ilości 80–120 kg K₂O na 1 hektar. Natomiast nawożenie azotem powinno się wykonać wiosną przed sadzeniem roślin, w dawce około 100 kg N na 1 hektar.

Badania prowadzone przez Kahle i in. [2001] z tą rośliną od czwartego do dziewiątego roku jej uprawy w czterech zakładach doświadczalnych na terenie Niemiec w latach 1994–1999 wykazały, że w okresie wegetacji uzyskać można od 14,8–33,5 tony suchej masy z hektara, a najwyższą koncentrację azotu, fosforu, potasu i magnezu w materiale roślinnym stwierdzono w okresie przed zbiorem roślin. W okresie pełnej dojrzałości zawartość tych składników była znacznie niższa i stanowiła około 60% tej ilości składników, które oznaczono w biomase miskanta pod koniec jego wegetacji.

Światowe tendencje zmierzające do zwiększania wykorzystania roślinnych surowców przemysłowych i energetycznych wymuszają konieczność dokładnego opracowania metod uprawy, nawożenia oraz przetwarzania biomasy roślinnej [Roszewski 1996]. Brak większych ilości danych na temat składu chemicznego miskanta, pobierania oraz gromadzenia składników pokarmowych był powodem podjęcia badań dotyczących poznania składu chemicznego miskanta w okresie wegetacji oraz oceny wielkości pobrania makroskładników w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem tej rośliny.

Material i metody badań

Warunki prowadzenia doświadczeń oraz ich schemat, metody i terminy pobierania próbek roślinnych, a także przygotowanie ich do analiz przedstawiono szczegółowo w II części pracy dotyczącej dynamiki nagromadzania świeżej i suchej masy przez rośliny miskanta w okresie wegetacji.

W celu oznaczenia makroelementów: fosforu, potasu, wapnia i magnezu – powietrznie suchy materiał roślinny poddano mineralizacji na sucho. Materiał spalano w piecach muflowych w temp. 450°C. Po uzyskaniu jednolicie zabarwionego popiołu traktowano go stężonym kwasem azotowym na płycie grzejnej, a następnie przeniesiono do kolb miarowych, uzupełniono wodą do objętości 100 ml. W tak przygotowywanym roztworze po przesączeniu określano stężenie badanych pierwiastków. Fosfor oznaczono metodą kolorymetryczną, z metawaniadynianem amonowym, molibdenianem amonowym i HNO₃, wywołując kompleks barwny. Pomiary ilościowe tego pierwiastka przeprowadzono na kolorymetrze Pulfricha, przy długości fali 470 nm. Potas i wapń oznaczono przy użyciu fotometrii płomieniowej, w płomieniu acetylenowo-powietrznym: K – przy długości fali 770 nm i przy użyciu filtru czerwonego. Ca – przy długości fali 554 nm i filtrze niebieskim, natomiast magnez został oznaczony metodą absorpcji atomowej na aparacie Spectra AA 220, przy zachowaniu odpowiednich parametrów dla tego pierwiastka. Aby oznaczyć zawartość azotu, materiał roślinny mineralizowano na mokro z kwasem salicylosiarkowym. W tym celu 0,5 g powietrznie suchego materiału zalewano w kolbie Kjeldahla kwasem salicylosiarkowym, a następnie po dodaniu tiosiarczianu sodu i mieszaniny selenowej ogrzewano na palniku gazowym pod wyciągiem aż do uzyskania roztworu o jasnoseledynowym zabarwieniu. Po wystudzeniu roztwór przenoszono ilościowo wodą destylowaną do kolby miarowej o pojemności 100 ml, dopełniano do kreski, mieszano, a następnie sączono. Azot ogólny oznaczano poprzez destylację w aparacie Parnas-Wagnera, wiążąc amoniak w kwasie borowym.

Pobranie makroskładników obliczono, uwzględniając uzyskany plon suchej masy miskanta i oznaczoną w niej zawartość badanych pierwiastków.

Wyniki badań i dyskusja

➤ Zawartość makroskładników

Zawartość wszystkich badanych makroskładników zależała w największym stopniu od fazy rozwojowej miskanta, w mniejszym od nawożenia mineralnego.

Jak wskazują dane zaprezentowane w tabeli 1, zawartość azotu w suchej masie pędów miskanta we wszystkich latach badań była najwyższa w czerwcu (średnio z trzyletniego okresu badań 23,5 g N·kg⁻¹), a najniższa w październiku (odpowiednio 6,5 g N·kg⁻¹). Wzrost i rozwój roślin skutkował istotnym obniżeniem zawartości tego składnika, która w ciągu 1 miesiąca średnio zmniejszyła się o prawie 40%, a po upływie dwóch miesięcy aż o 60%. Począwszy od sierpnia – zmiany zawartości azotu w częściach nadziemnych badanej rośliny były niewielkie i oscylowały w granicach od 9,9 do 6,0 g N·kg⁻¹ s. m., jednak w każdym roku najmniej tego pierwiastka oznaczono w październiku.

Potas stosowany w dwóch dawkach, średnio na przestrzeni trzech lat badań, zwiększał w sposób istotny zawartość azotu w roślinach miskanta, chociaż w pierwszym roku badań wykazane różnice były niewielkie, natomiast zwiększały się w miarę upływu lat. Nawożenie miskanta azotem w ilości od 100 do 200 kg N·ha⁻¹ nie modyfikowało zawartości analizowanego pierwiastka w częściach nadziemnych tej rośliny, chociaż w każdym roku badań wykazano nieznaczny wzrost zawartości azotu w badanych roślinach

wraz ze zwiększaniem jego dawki wprowadzanej do gleby. Istotne różnice w zawartości azotu wykazano tylko w drugim roku badań, przy najwyższej dawce tego składnika.

Kształtowanie się zawartości azotu w okresie wzrostu miskanta związane jest prawdopodobnie z produkcją biomasy, która jak przedstawiano we wcześniejszej pracy, wzrastała systematycznie od czerwca do października, przy czym największy wzrost zarówno świeżej, jak i suchej masy tej rośliny zaobserwowano ma przełomie czerwca i lipca, kiedy to wykazano prawie dwukrotne zwiększanie produkcji świeżej i niemal trzykrotne suchej masy. Wtedy też, jak wcześniej wspomniano, zanotowano największe różnice w zawartości azotu w roślinach. Podobne wyniki w swoich badaniach uzyskał Mun [1988], który wykazał, że niezależnie od warunków glebowych produkcja biomasy części nadziemnych miskanta chińskiego wzrastała od wczesnych miesięcy wiosennych aż do października, kiedy osiągała najwyższe wartości. Począwszy od października ulegała obniżeniu aż do grudnia, kiedy zakończył się okres wegetacji. Ten sam autor wskazuje również na podobną dynamikę zawartości azotu, która była najwyższa w maju i w czerwcu, a stopniowo obniżała się w sezonie wegetacyjnym aż do października. Beale i Long [1997] oraz Kalembasa i Malinowska [2009], którzy oznaczyli podobne ilości azotu w okresie wegetacji miskanta olbrzymiego, twierdzą, że są to podobne zawartości, jakimi charakteryzują się rośliny typu C_4 i uważają, że obniżenie się zawartości tego składnika w miarę osiągania dojrzałości pełnej tej rośliny jest bardzo korzystne. W swoich badaniach wykazali bowiem ograniczone wymywanie azotanów w okresie spoczynku tej rośliny z opadłych liści oraz zmniejszoną emisję tlenków azotu do atmosfery podczas spalania biomasy w celach energetycznych. Wzrost zawartości azotu w miskancie cukrowym w okresie wegetacji tej rośliny, pod wpływem zwiększonego nawożenia potasem, wykazali również Kahle i in. [2001] oraz Kalembasa i Malinowska [2005], tłumacząc to zwiększonym wykorzystaniem tego składnika pod wpływem potasu.

Wyniki badań wielu autorów, między innymi Himkena i in. [1997], Monti'ego i in. [2008] oraz Curley'a i in. [2009], potwierdzają spostrzeżenia badań własnych, gdyż wskazują na brak wpływu nawożenia azotem na kształtowanie się zawartości tego składnika w częściach nadziemnych badanej rośliny. Jako główne przyczyny wskazują wysoką zasobność gleby w ten składnik oraz znaczną mineralizację azotu organicznego w okresie wegetacji. Na podobne warunki w badaniach własnych wskazują Góra i in. [2010].

Jak wskazują wyniki zamieszczone w tabeli 2, zawartość fosforu w częściach nadziemnych miskanta w okresie wegetacji na przestrzeni trzech lat badań mieściła się w przedziale od 0,60 do 4,65 g $P \cdot kg^{-1}$, przy czym średnio w doświadczeniu najwięcej tego składnika oznaczono w 2007 r., w którym rozpoczęto badania. Średnio, zawartość fosforu w pierwszym roku badań wynosiła 2,94 g $P \cdot kg^{-1}$ i była ponad dwukrotnie wyższa niż w latach następnych. Podobnie jak w przypadku azotu najwyższą zawartość tego pierwiastka stwierdzono we wczesnych fazach rozwojowych tej rośliny, a w miarę jej rozwoju ulegała ona zmniejszeniu. Nie potwierdzają tego badania Kahle i in. [2001], którzy podają, że najwyższa koncentracja fosforu występowała pod koniec wegetacji uprawianego przez nich miskanta.

Wzrastające dawki potasu istotnie różnicowały zawartość fosforu w badanej roślinie i w każdym roku badań było go więcej na obiektach nawożonych wyższą dawką potasu.

Średnio w ciągu trzech lat badań zawartość fosforu w roślinach miskanta nawożonych potasem w ilości 124 kg K ($150 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$) była o 24% wyższa niż wówczas, gdy składnik ten stosowano w ilości 83 kg K ($100 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Wzrastające dawki azotu nie różnicowały istotnie zawartości fosforu w częściach nadziemnych miskanta olbrzymiego w okresie jego wegetacji. Jednak w poszczególnych latach badań najwięcej fosforu miskant gromadził wówczas, gdy nawożono go azotem w ilości $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a najmniej przy najniższej z badanych dawek. Borkowska i Lipiński [2007] badając wpływ zróżnicowanego intensywnego nawożenia NPK na zawartość wybranych składników pokarmowych w biomacie kilku klonów miskanta, nie wykazali istotnego wpływu tego zabiegu na zawartość fosforu. Podobne wyniki uzyskał Himken i in. [1997] oraz Beale i Long [1997], którzy nie uzyskali wzrostu zawartości fosforu w miskancie olbrzymim w wyniku nawożenia organicznego i mineralnego.

W warunkach przeprowadzonego doświadczenia zawartość potasu w częściach nadziemnych roślin doświadczalnych w trzyletnim okresie badań wahała się w przedziale od 7,8 do $35,4 \text{ g K} \cdot \text{kg}^{-1}$, była wyższa od zawartości azotu i istotnie zależała zarówno od terminu pobierania próbek w okresie wegetacji, jak i nawożenia badanym składnikiem (tab. 3). Podobnie jak w przypadku azotu i fosforu zarówno w każdym roku badań, jak i średnio w trzyletnim doświadczeniu najwięcej potasu gromadził miskant w początkowym okresie rozwoju rośliny (czerwiec), a już od lipca notowano wyraźny spadek jego zawartości, który pogłębiał się w miarę upływu wegetacji. Najmniej tego składnika oznaczono w badanej roślinie w październiku, kiedy zawartość potasu w tkankach była średnio około czterokrotnie niższa niż w czerwcu. Podobne wyniki uzyskali Jorgensen [1997], Clifton-Brown i Lewandowski [2002], Atienza i in. [2003] oraz Kalembasa i Malinowska [2005], którzy najmniej potasu w różnych klonach miskanta znajdowali w okresie ich dojrzwania. Badania Kahle i in. [2001] wykazały natomiast, że najwięcej tego pierwiastka zawierał miskant tuż przed zbiorem.

Kalembasa i in. [2001] w swojej pracy podają, że nawożenie NPK różnicowało zawartość potasu w nadziemnych częściach miskanta olbrzymiego, natomiast w badaniach własnych nie stwierdzono, aby nawożenie azotem różnicowało koncentrację tego składnika w badanej roślinie. Jak wskazują dane w tabeli 3, zawartość potasu na wszystkich obiektach kształtowała się na zbliżonym poziomie niezależnie od tego, ile azotu zastosowano pod roślinę. Wykazano natomiast istotne zmiany potasu w częściach nadziemnych miskanta w okresie wegetacji pod wpływem nawożenia tym składnikiem. Zwiększenie dawki potasu z 83 do $124 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ze 100 do $150 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$) skutkowało wzrostem jego zawartości w roślinie doświadczalnej, w pierwszych dwóch latach badań aż o 50%. Mimo wielu doniesień literaturowych [Ercoli i in. 1999, Kozak i in. 2006, Danalatos i in. 2007] wzrastające dawki azotu w zakresie od 100 do $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w badaniach własnych nie różnicowały zawartości potasu w roślinie doświadczalnej.

Zawartość wapnia w roślinach miskanta zamieszczono w tabeli 4. W przedstawionym okresie badań zawartość tego pierwiastka w istotny sposób zależała od okresu wzrostu tej rośliny. Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych składników najwięcej wapnia zawierał miskant w czerwcu. W miarę upływu czasu ilość ta obniżała się, osiągając najniższą zawartość na przełomie sierpnia i września. Od połowy września badana roślina znowu zaczęła gromadzić większe ilości tego składnika i w październiku zawierała go więcej niż w czerwcu.

Tabela 1
Table 1

Zawartość azotu w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [g·kg⁻¹]
Nitrogen content in tissue of Miscanthus giganteus during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	24,2	19,9	28,6	24,2
		150	19,6	22,4	22,7	21,6
		200	23,8	22,0	27,6	24,4
	124	100	21,5	21,4	25,6	22,8
		150	22,1	21,9	27,2	23,7
		200	22,9	23,0	26,2	24,0
Lipiec July	83	100	12,7	12,7	12,9	12,8
		150	11,6	14,3	14,8	13,6
		200	12,3	14,2	12,5	13,0
	124	100	14,1	14,8	17,5	15,5
		150	15,4	16,9	18,8	17,0
		200	15,2	15,2	18,6	16,3
Sierpień August	83	100	6,9	8,4	7,3	7,5
		150	7,7	8,4	8,1	8,1
		200	9,2	8,7	12,2	10,0
	124	100	10,5	9,4	9,5	9,8
		150	11,1	9,4	10,8	10,4
		200	11,6	10,0	11,3	11,0
Wrzesień September	83	100	8,8	5,0	5,7	6,5
		150	12,9	4,1	7,1	8,0
		200	8,3	7,1	9,0	8,1
	124	100	8,0	6,5	8,3	7,6
		150	9,2	6,9	9,4	8,5
		200	8,5	6,8	7,8	7,7
Październik October	83	100	5,5	6,1	5,7	5,8
		150	4,5	5,6	5,7	5,3
		200	7,4	6,6	6,9	7,0
	124	100	8,4	6,9	6,9	7,4
		150	7,6	6,7	8,5	7,6
		200	5,6	7,1	5,3	6,0
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			22,3	21,7	26,3	23,5
Lipiec – July			13,6	14,7	15,8	14,7
Sierpień – August			9,5	9,0	9,9	9,5
Wrzesień – September			9,3	6,0	7,9	7,7
Październik – October			6,5	6,5	6,5	6,5
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			2,03	0,88	2,0	0,92
	83		11,7	11,0	12,5	11,7
	124		12,8	12,2	14,1	13,0
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	0,56	1,3	0,58
		100	12,0	11,1	12,8	12,0
		150	12,2	11,6	13,3	12,4
		200	12,5	12,0	13,7	12,8
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	0,69	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			12,2	11,6	13,3	12,4
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$				0,71		–

Tabela 2
Table 2

Zawartość fosforu w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Phosphorus content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	4,13	2,10	2,75	2,99
		150	4,40	2,60	2,75	3,25
		200	4,28	2,25	2,75	3,09
	124	100	4,84	3,30	3,25	3,80
		150	4,96	2,80	3,13	3,63
		200	5,30	3,25	3,25	3,93
Lipiec July	83	100	3,28	1,40	1,75	2,14
		150	3,43	1,65	1,75	2,27
		200	3,05	1,05	1,50	1,87
	124	100	3,51	1,90	2,00	2,47
		150	4,13	2,00	2,25	2,79
		200	3,85	1,60	2,00	2,48
Sierpień August	83	100	1,83	0,40	0,50	0,91
		150	2,10	0,40	0,50	1,00
		200	2,31	0,50	0,75	1,19
	124	100	2,78	0,95	0,75	1,49
		150	2,78	0,60	1,00	1,46
		200	2,96	0,80	1,13	1,63
Wrzesień September	83	100	1,81	1,00	0,50	1,10
		150	2,20	1,00	0,63	1,28
		200	2,05	1,00	0,75	1,27
	124	100	2,28	0,40	0,75	1,14
		150	2,50	0,30	0,63	1,14
		200	2,14	1,00	0,63	1,25
Październik October	83	100	1,86	0,42	0,50	0,93
		150	1,50	1,25	0,50	1,08
		200	1,55	0,55	0,50	0,87
	124	100	2,10	0,52	0,75	1,12
		150	2,14	1,45	0,75	1,45
		200	2,14	1,35	0,63	1,37
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			4,65	2,72	2,98	3,45
Lipiec – July			3,54	1,60	1,87	2,34
Sierpień – August			2,46	0,61	0,77	1,28
Wrzesień – September			2,16	0,78	0,65	1,20
Październik – October			1,88	0,92	0,60	1,14
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,23	0,26	0,13	0,11
	83		2,65	1,17	1,23	1,68
	124		3,23	1,48	1,53	2,08
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,15	0,21	0,08	0,07
		100	2,84	1,24	1,35	1,81
		150	3,01	1,40	1,39	1,93
		200	2,96	1,33	1,39	1,89
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	0,08
Lata – Years			2,94	1,33	1,37	1,88
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,08			–

Tabela 3
Table 3

Zawartość potasu w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [g·kg⁻¹]
Potassium content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	25,4	29,8	37,2	30,8
		150	21,9	28,6	33,0	27,8
		200	22,7	32,3	32,8	29,2
	124	100	30,2	37,9	38,9	35,7
		150	28,3	39,8	31,0	33,0
		200	38,9	36,4	39,5	38,3
Lipiec July	83	100	15,3	18,1	28,7	20,7
		150	15,0	18,6	29,0	20,9
		200	14,0	20,2	27,5	20,6
	124	100	20,3	24,0	33,0	25,8
		150	20,9	25,8	30,2	25,6
		200	22,8	23,5	20,2	22,1
Sierpień August	83	100	6,5	8,5	13,6	9,5
		150	7,7	9,5	13,2	10,1
		200	10,8	9,5	16,3	12,2
	124	100	14,1	15,5	16,0	15,2
		150	13,3	16,3	17,0	15,5
		200	17,5	14,5	22,6	18,2
Wrzesień September	83	100	7,4	6,2	9,1	7,5
		150	9,4	6,8	11,1	9,1
		200	8,8	6,4	12,8	9,3
	124	100	10,3	9,5	14,4	11,4
		150	14,3	9,3	12,9	12,2
		200	12,0	8,5	15,1	11,9
Październik October	83	100	7,0	8,5	5,7	7,0
		150	5,0	7,1	5,2	5,7
		200	6,9	10,2	7,7	8,3
	124	100	12,0	10,4	10,4	11,0
		150	12,8	10,8	9,5	11,0
		200	10,0	8,5	9,9	9,5
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			27,9	34,1	35,4	32,5
Lipiec – July			18,0	21,7	28,1	22,6
Sierpień – August			11,6	12,3	16,5	13,5
Wrzesień – September			10,4	7,8	12,6	10,2
Październik – October			9,8	9,2	8,1	8,7
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			3,05	1,3	3,6	1,5
	83		12,2	14,7	18,9	15,3
	124		18,5	19,4	21,4	19,7
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			1,93	0,8	2,3	0,9
		100	14,8	16,8	20,7	17,5
		150	14,8	17,3	19,2	17,1
		200	16,4	17,0	20,4	17,9
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			15,4	17,0	20,1	17,5
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$				1,1		–

Tabela 4
Table 4

Zawartość wapnia w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Calcium content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	2,03	1,85	1,44	1,77
		150	1,82	2,40	1,53	1,91
		200	1,96	1,25	1,30	1,50
	124	100	1,72	1,90	1,06	1,56
		150	1,82	1,90	1,20	1,64
		200	1,81	1,90	1,05	1,59
Lipiec July	83	100	1,59	1,50	0,90	1,33
		150	1,15	1,70	0,89	1,25
		200	1,63	1,50	0,89	1,17
	124	100	1,26	1,25	0,79	1,10
		150	1,59	1,90	0,74	1,41
		200	1,55	1,70	0,73	1,33
Sierpień August	83	100	1,13	1,70	0,58	1,13
		150	1,30	1,90	0,66	1,29
		200	1,44	1,60	0,63	1,22
	124	100	1,31	1,50	0,46	1,09
		150	1,31	1,70	0,59	1,20
		200	1,38	1,50	0,49	1,12
Wrzesień September	83	100	1,72	0,80	0,63	1,05
		150	2,30	0,60	0,68	1,19
		200	2,01	0,80	1,16	1,32
	124	100	1,69	0,80	0,74	1,08
		150	1,66	0,80	0,50	0,99
		200	1,90	0,80	0,69	1,13
Październik October	83	100	2,92	1,20	2,04	2,06
		150	2,12	1,15	1,81	1,70
		200	1,88	1,97	1,89	1,91
	124	100	1,93	1,35	1,59	1,62
		150	2,06	2,07	2,21	2,11
		200	1,37	1,47	1,50	1,45
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			1,86	1,87	1,26	1,66
Lipiec – July			1,46	1,51	0,82	1,26
Sierpień – August			1,31	1,65	0,57	1,18
Wrzesień – September			1,88	0,77	0,73	1,13
Październik – October			2,05	1,53	1,84	1,81
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,32	0,47	0,24	0,16
	83		1,80	1,43	1,13	1,45
	124		1,62	1,50	0,95	1,36
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	0,15	r.n. – n.s.
		100	1,73	1,38	1,02	1,38
		150	1,71	1,61	1,08	1,47
		200	1,69	1,40	1,03	1,37
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			1,71	1,47	1,04	1,41
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$				0,12		–

Tabela 5
Table 5

Zawartość magnezu w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [g·kg⁻¹]
Magnesium content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	0,86	0,95	1,18	1,00
		150	0,87	1,20	1,20	1,09
		200	0,82	1,00	1,00	0,94
	124	100	0,82	1,25	1,20	1,09
		150	1,03	1,40	1,14	1,19
		200	1,09	1,35	1,20	1,21
Lipiec July	83	100	0,67	0,80	0,95	0,81
		150	0,61	1,00	0,87	0,82
		200	0,55	0,65	0,81	0,67
	124	100	0,70	1,20	1,02	0,98
		150	0,89	1,20	1,07	1,05
		200	0,86	1,10	1,01	0,99
Sierpień August	83	100	0,37	0,60	0,64	0,54
		150	0,44	0,60	0,70	0,58
		200	0,58	0,60	0,79	0,65
	124	100	0,63	0,90	0,64	0,72
		150	0,63	0,90	0,73	0,76
		200	0,72	0,90	0,72	0,78
Wrzesień September	83	100	0,48	0,45	0,59	0,51
		150	0,66	0,40	0,70	0,59
		200	0,50	0,45	0,74	0,56
	124	100	0,65	0,60	0,75	0,67
		150	0,70	0,60	0,54	0,61
		200	0,65	0,60	0,73	0,66
Październik October	83	100	0,52	0,57	0,71	0,60
		150	0,39	0,57	0,66	0,54
		200	0,42	0,70	0,77	0,63
	124	100	0,69	0,72	0,69	0,70
		150	0,71	0,77	0,76	0,75
		200	0,52	0,62	0,66	0,60
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			0,91	1,19	1,15	1,09
Lipiec – July			0,71	0,99	0,95	0,89
Sierpień – August			0,56	0,75	0,70	0,67
Wrzesień – September			0,61	0,52	0,67	0,60
Październik – October			0,54	0,66	0,71	0,64
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,11	0,10	0,12	0,04
	83		0,58	0,70	0,82	0,70
	124		0,75	0,94	0,86	0,85
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,07	0,06	r.n. – n.s.	0,27
		100	0,64	0,80	0,84	0,76
		150	0,69	0,86	0,83	0,80
		200	0,67	0,80	0,84	0,77
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			0,67	0,82	0,84	0,78
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,03			–

Na gromadzenie wapnia w tkankach miskanta pod koniec wegetacji wskazuje również wielu autorów, m.in. Majtkowski [1998], Kalembasa i in. [2001], Szilard i Pepo [2006], którzy uważają, że pierwiastek ten gromadzi się wówczas w ścianach komórkowych roślin i zapobiega ich wyleganiu. Nawożenie potasem obniżało zawartość wapnia w częściach nadziemnych miskanta, co prawdopodobnie jest wynikiem antagonizmu jonowego między tymi pierwiastkami, przy czym istotny spadek zawartości tego składnika stwierdzono tylko w ostatnim roku badań. Chociaż wyniki analiz (tab. 4) wskazują, że wzrastające dawki azotu nie modyfikowały w sposób istotny zawartości wapnia w badanej roślinie, to zarówno w poszczególnych latach badań, jak i średnio w ciągu trzech lat badań najwięcej tego pierwiastka oznaczono w roślinach nawożonych azotem w ilości $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Zawartość magnezu w miskancie zamieszczono w tabeli 5. Jak wynika z przedstawionych danych, spośród badanych makroskładników rośliny zawierały go najmniej, jednak podobnie jak pozostałych makroskładników najwięcej tego składnika oznaczono w roślinach w początkowej fazie rozwoju. W miarę postępu wegetacji obserwowano istotny spadek zawartości tego składnika, jednak tak jak w przypadku wapnia najniższe jego zawartości oznaczono na początku września. W późnych miesiącach jesiennych koncentracja magnezu zaczęła wzrastać, co potwierdzają badania Kahle i in. [2001], którzy podają, że najwięcej magnezu rośliny miskanta olbrzymiego zawierały pod koniec okresu wegetacji.

Nawożenie potasem, podobnie jak długość okresu wegetacji, istotnie różnicowały zawartość magnezu w częściach nadziemnych, jednak wbrew znanemu zjawisku antagonizmu jonowego między tymi pierwiastkami – im więcej potasu stosowano, tym wyższa była jego zawartość w miskancie. Jedynie w 2009 r. nie wykazano istotności różnic w tym zakresie. Średnio w trzyletnim okresie badań zwiększenie dawki potasu do $124 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ skutkowało wzrostem koncentracji magnezu w badanej roślinie o $0,15 \text{ g Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s. m. Analizując wpływ nawożenia miskanta azotem, należy stwierdzić, że przy braku istotnych różnic najwięcej magnezu w badanej roślinie oznaczono wówczas, gdy azot stosowano w ilości $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Przy pozostałych dawkach zawartości te były niższe i kształtowały się na zbliżonym poziomie. Obserwując gromadzenie magnezu w badanej roślinie na przestrzeni trzech lat badań, wykazano, że niezależnie od czynników doświadczalnych było go coraz więcej w miarę upływu czasu.

➤ Nagromadzenie makroskładników

Jak wspomniano w metodyce badań, nagromadzenie makroskładników obliczono, uwzględniając uzyskany plon suchej masy 1 rośliny miskanta w kolejnych miesiącach wegetacji i oznaczoną zawartość poszczególnych składników.

W warunkach przeprowadzonego doświadczenia jedna roślina miskanta pobierała przeciętnie na przestrzeni trzech lat badań od 217 do 911 mg N (tab. 6). Wykazano, że wraz z rozwojem rośliny pobieranie azotu zwiększało się i w październiku było średnio ponad trzykrotnie wyższe niż na początku wegetacji w czerwcu, a w pierwszym roku badań różnica ta była jeszcze większa. Najmniejsze zróżnicowanie w wielkości pobrania azotu w miarę postępu wegetacji miskanta wykazano w trzecim roku badań, w którym również jak wykazały obliczenia, rośliny pobrały najmniej tego składnika. Mun [1988] porównując pobranie składników pokarmowych przez *Miscanthus sinensis*

z różnych gleb, stwierdził, że najwięcej azotu i fosforu nadziemne części tej rośliny nagromadziły we wrześniu i w październiku, niezależnie od gleby na jakiej je uprawiano. Do podobnych wniosków doszedł również Himken i in. [1997], uprawiając miskanta olbrzymiego w warunkach Europy Zachodniej.

Stosowanie potasu znacząco zwiększało ilość pobranego azotu przez badaną roślinę w okresie wegetacji, chociaż istotność różnic w tym zakresie wykazano dopiero w drugim i trzecim roku jej uprawy. Jednoczesne nawożenie azotem tej rośliny, chociaż wpływało na lepsze wykorzystanie tego składnika przez roślinę doświadczalną, gdyż w każdym roku badań jego pobranie wzrastało wraz ze zwiększaniem dawki, to uzyskane różnice nie zostały udowodnione statystycznie [Mun 1988, Christian i in. 1997].

Dane dotyczące pobierania fosforu przez rośliny miskanta przedstawiono w tabeli 7. Wynika z nich, że ilości tego składnika wyniesione z gleby przez 1 roślinę mieściły się w przedziale od 24 do 262 mg P. Najwięcej fosforu miskant pobrał w pierwszym roku uprawy, a w następnych latach ilość ta systematycznie malała i w 2009 r. była trzykrotnie mniejsza. W ciągu okresu wegetacji pobieranie fosforu było zróżnicowane i zwiększało się od wiosny do jesieni, przyjmując w październiku wartości średnio czterokrotnie wyższe w porównaniu z czerwcem. Stosowany potas istotnie zwiększał nagromadzenie omawianego składnika, natomiast najwięcej fosforu pobierały rośliny miskanta nawożone azotem w ilości 150 kg N·ha⁻¹.

Dane przedstawione w tabeli 8 wskazują, że pobranie potasu przez badaną roślinę mieściło się w przedziale od 284 do 1281 mg·roślina⁻¹ i w odróżnieniu od azotu i fosforu zwiększało się na przestrzeni trzech lat badań. Najmniej potasu miskant pobrał w czerwcu, a jak wskazują wartości średnie z trzech lat prowadzenia doświadczeń w okresie od lipca do września, badana roślina pobierała co prawda dwukrotnie większe niż w czerwcu, ale zbliżone ilości potasu z gleby. Jesienią zanotowano znaczący wzrost pobrania tego składnika i w październiku było ono prawie trzykrotnie wyższe niż w czerwcu i niemal dwukrotnie wyższe niż w pozostałych miesiącach. Uzyskane wyniki zostały potwierdzone przez Kalembasę i Malinowską [2006], Malinowską i in. [2006] oraz Martyna i in. [2007]. Stosowanie wzrastających dawek potasu w każdym okresie rozwoju rośliny przy wszystkich poziomach nawożenia azotem zarówno średnio w doświadczeniu, jak i w kolejnych latach badań istotnie zwiększało pobieranie tego składnika przez rośliny miskanta olbrzymiego. Jak wskazują dane tabelaryczne, najbardziej widoczne było to w pierwszym roku uprawy tej rośliny. Azot stosowany w ilościach od 100 do 200 kg N·ha⁻¹, chociaż nie udowodniono tego statystycznie, zwiększał ilości pobranego potasu wraz ze wzrostem dawek tego składnika wprowadzonego do gleby [Lewandowski i Kicherer 1997, Neukirchen i in. 1999].

Ilość pobranego wapnia przez rośliny miskanta olbrzymiego w trzyletnim okresie prowadzenia doświadczeń mieściła się w przedziale od 10 do 281 mg·roślina⁻¹, przy czym średnio najwięcej Ca rośliny pobrały w pierwszym roku badań (tab. 9). Analizując pobieranie wapnia w ciągu okresu wegetacji miskanta, wykazano, że od czerwca do września rośliny gromadziły wapń w niewielkiej ilości i dopiero w październiku zaczęły wynosić go z gleby w dużych ilościach. Średnio w latach 2007–2009 pobranie wapnia w tym miesiącu było dwanaście razy większe niż w czerwcu. Do podobnych wniosków w swoich badaniach doszli Kahle i in. [2001], Borkowska i Lipiński [2007] oraz Kalembasa i Malinowska [2007].

Tabela 6
Table 6

Nagromadzenie azotu przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Nitrogen accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	214	198	260	224
		150	203	242	140	195
		200	202	200	278	227
	124	100	175	247	194	205
		150	215	278	240	245
		200	316	419	192	309
Lipiec July	83	100	304	291	429	341
		150	288	310	402	333
		200	326	357	334	339
	124	100	394	431	513	446
		150	473	547	493	504
		200	449	421	500	457
Sierpień August	83	100	333	378	401	371
		150	407	366	439	404
		200	411	370	743	508
	124	100	639	474	553	556
		150	599	472	671	581
		200	688	461	696	615
Wrzesień September	83	100	588	404	447	480
		150	871	323	558	584
		200	567	565	661	597
	124	100	494	553	575	541
		150	716	603	653	657
		200	697	574	563	611
Październik October	83	100	692	827	416	645
		150	532	703	409	548
		200	952	879	566	799
	124	100	1329	932	496	919
		150	1202	1080	735	1006
		200	758	950	478	729
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			221	264	217	234
Lipiec – July			373	393	445	403
Sierpień – August			513	420	584	506
Wrzesień – September			655	504	576	578
Październik – October			911	895	517	774
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			240	99	96	75
	83		459	428	432	440
	124		610	563	503	559
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	63	61	47
		100	516	474	428	473
		150	551	493	474	506
		200	537	520	501	519
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			535	495	468	499
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.			–

Tabela 7
Table 7

Nagromadzenie fosforu przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Phosphorus accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	37	21	25	27
		150	46	28	17	30
		200	36	21	28	28
	124	100	39	38	25	34
		150	48	36	28	37
		200	73	59	24	52
Lipiec July	83	100	78	32	58	56
		150	85	36	47	56
		200	81	27	40	49
	124	100	98	55	59	71
		150	127	65	59	84
		200	114	45	54	71
Sierpień August	83	100	89	18	28	45
		150	111	18	27	52
		200	103	21	46	57
	124	100	169	48	44	87
		150	150	30	62	81
		200	175	37	69	94
Wrzesień September	83	100	121	81	39	80
		150	149	80	49	93
		200	141	80	55	92
	124	100	141	34	52	76
		150	194	26	43	88
		200	174	84	45	101
Październik October	83	100	236	57	36	110
		150	178	158	36	124
		200	199	73	41	105
	124	100	332	70	54	152
		150	340	233	65	213
		200	289	182	56	176
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			47	34	24	35
Lipiec – July			97	43	53	64
Sierpień – August			133	29	46	69
Wrzesień – September			153	64	47	88
Październik – October			262	129	48	146
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			23	24	8	10,5
	83		113	50	38	67
	124		164	69	49	94
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			15	15	5	6,6
		100	134	45	42	74
		150	143	71	43	86
		200	138	63	46	82
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	18	r.n. – n.s.	8,1
Lata – Years			138	60	44	81
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$				8,1		–

Tabela 8
Table 8

Nagromadzenie potasu przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Potassium accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata –Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	225	297	340	287
		150	227	309	204	247
		200	193	295	330	273
	124	100	246	438	294	326
		150	275	506	274	351
		200	536	662	291	496
Lipiec July	83	100	365	417	957	580
		150	371	404	786	520
		200	370	510	737	539
	124	100	566	699	967	744
		150	641	834	794	756
		200	673	652	541	622
Sierpień August	83	100	316	383	748	482
		150	405	417	712	511
		200	481	407	996	628
	124	100	861	782	929	857
		150	720	818	1059	867
		200	1037	669	1386	1031
Wrzesień September	83	100	492	500	705	566
		150	635	543	868	682
		200	604	513	943	687
	124	100	636	808	1002	816
		150	1107	813	900	940
		200	976	716	1085	926
Październik October	83	100	882	1155	412	816
		150	594	899	367	620
		200	885	1352	637	960
	124	100	1902	1401	755	1353
		150	2029	1735	819	1528
		200	1354	1145	889	1129
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			284	418	289	330
Lipiec – July			498	586	797	627
Sierpień – August			637	579	972	729
Wrzesień – September			742	649	917	769
Październik – October			1274	1281	646	1067
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			256	222	107	80
	83		470	560	649	560
	124		904	845	799	849
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			162	141	67	50
		100	649	688	711	683
		150	700	728	678	702
		200	711	692	783	729
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	83	r.n. – n.s.
Lata – Years			687	703	724	705
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.			–

Tabela 9
Table 9

Nagromadzenie wapnia przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Calcium accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	18	18	13	17
		150	19	26	9	18
		200	17	11	13	14
	124	100	14	22	8	15
		150	18	24	11	18
		200	25	35	8	22
Lipiec July	83	100	38	35	30	34
		150	29	37	24	30
		200	43	25	24	31
	124	100	35	36	23	31
		150	49	62	19	43
		200	46	47	19	38
Sierpień August	83	100	55	77	32	54
		150	69	83	36	63
		200	64	69	38	57
	124	100	79	76	27	61
		150	71	85	37	64
		200	82	69	30	60
Wrzesień September	83	100	115	65	49	76
		150	155	48	53	85
		200	138	64	86	96
	124	100	105	68	51	75
		150	129	70	35	78
		200	155	67	49	81
Październik October	83	100	373	164	148	228
		150	252	146	129	176
		200	241	262	156	220
	124	100	305	182	115	201
		150	327	333	191	283
		200	186	198	135	173
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			18	23	10	17
Lipiec – July			40	40	23	35
Sierpień – August			70	76	33	60
Wrzesień – September			133	64	54	83
Październik – October			281	214	145	213
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			37	54	23	11,7
	83		108	75	56	80
	124		108	92	51	83
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
		100	114	74	49	79
		150	112	91	54	86
		200	100	85	56	80
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			108	83	53	82
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			9,1			–

Tabela 10
Table 10

Nagromadzenie magnezu przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Magnesium accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	8	9	11	9
		150	9	13	7	10
		200	7	9	10	90
	124	100	7	14	9	10
		150	10	18	10	13
Lipiec July	83	100	16	18	32	22
		150	15	22	23	20
		200	15	16	22	18
	124	100	20	35	30	28
		150	27	39	28	31
		200	26	31	27	28
Sierpień August	83	100	18	27	35	27
		150	23	26	38	29
		200	26	26	48	33
	124	100	38	45	37	40
		150	34	45	45	42
Wrzesień September	83	100	42	42	44	43
		100	32	36	46	38
		150	45	32	54	44
	124	200	34	36	55	42
		100	40	51	52	48
		150	54	52	37	48
		200	53	51	52	52
Październik October	83	100	66	78	51	65
		150	47	72	47	55
		200	54	93	63	70
	124	100	109	97	50	85
		150	112	124	66	100
		200	71	84	59	71
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			9	15	9	11
Lipiec – July			20	27	27	25
Sierpień – August			30	35	41	36
Wrzesień – September			43	43	49	45
Październik – October			76	91	56	75
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			12	13	8	36
	83		28	34	36	33
	124		44	50	37	44
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			7	8	r.n. – n.s.	23
		100	35	41	35	37
		150	38	44	36	39
		200	34	41	39	38
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			36	42	37	38
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			28			–

Potas wprowadzany do gleby w dwóch wzrastających dawkach, chociaż obniżał zawartość wapnia w roślinach miskanta, to nie modyfikował jego pobrania, które na wszystkich obiektach doświadczalnych kształtowało się na podobnym poziomie. Nie wykazano ukierunkowanego wpływu nawożenia azotem na wielkość pobrania wapnia w warunkach prowadzonych badań.

Jak wskazują wyniki zamieszczone w tabeli 10, pobranie magnezu w okresie wegetacji miskanta olbrzymiego mieściło się w przedziale od 9 do 91 mg·roślina⁻¹ i było największe w drugim roku uprawy tej rośliny. Podobnie jak w przypadku pozostałych badanych makroskładników, największe pobranie tego pierwiastka miało miejsce pod koniec okresu wegetacji, kiedy jak wykazano w drugiej części pracy, notowano największy przyrost suchej masy badanej rośliny.

Podobnie jak w przypadku zawartości magnezu nawożenie potasem istotnie zwiększało nagromadzenie tego składnika, natomiast żadna z dawek azotu nie różnicowała jego nagromadzenia, które w okresie wegetacji miskanta kształtowało się na zbliżonym poziomie.

Wnioski

Zawartość wszystkich badanych makroskładników w roślinach miskanta olbrzymiego była najwyższa na początku okresu wegetacyjnego i zmniejszała się systematycznie w miarę ich wzrostu i rozwoju.

Nawożenie potasem zwiększało zawartość azotu, fosforu i magnezu w badanej roślinie, natomiast obniżało zawartość wapnia.

Wzrastające dawki azotu stosowane na tle zróżnicowanej zawartości potasu w glebie nie decydowały o zawartości żadnego z badanych makroskładników w roślinach miskanta w okresie wegetacji.

Pobieranie wszystkich badanych makroskładników przez rośliny miskanta systematycznie wzrastało w ciągu okresu wegetacji, przyjmując najwyższe zawartości w październiku.

Nawożenie potasem stymulowało pobieranie azotu, fosforu, potasu i magnezu przez cały okres wegetacji badanej rośliny. Nie miało natomiast wpływu na gromadzenie wapnia.

Wzrastające dawki azotu nie decydowały o wielkości pobierania makroskładników przez roślinę doświadczalną. Wykazano jednak nieco większe nagromadzenie azotu i potasu przy najwyższej jego dawce.

Piśmiennictwo

- Atienza S.G., Satovic Z., Petersen K.K., Dolstra O., Martin A.: 2003. Identification of QTLs influencing combustion quality in *Miscanthus sinensis* Anderss. II. Chlorine and potassium content. *Theor. Appl. Genet.*, 107, 857–863.
- Beale C.V., Long S.P.: 1997. Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C₄-grasses *Miscanthus x Giganteus* and *Spartina Cynosuroides*. *Biomass Bioenergy*, 12, 6, 419–428.
- Borkowska H., Lipiński W.: 2007. Zawartość wybranych pierwiastków w biomase kilku gatunków roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 10(2), 287–292.

- Christian D.G., Poulton P.R., Riche A.B., Yates N.E.: 1997. The recovery of ^{15}N -labelled fertilizer applied to *Miscanthus x Giganteus*. *Biomass Bioenergy*, 12, 1, 21–24.
- Clifton-Brown J.C., Lewandowski I.: 2002. Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimize biomass yield and quality in Southern Germany, *European Journal of Agronomy* 16, 97–110.
- Curley E.M., O' Flynn M.G., McDonell K.P.: 2009. Nitrate leaching losses from *Miscanthus x giganteus* impact on groundwater quality, *J. Agron.*, 8, (3), 107–112.
- Danalatos N.G., Archontoulis S.V., Mitisios I.: 2007. Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus x giganteus* as affected by plant density and N- fertilization in central Greece. *Biomass Bioenergy* 31, 145–152.
- Ercoli L., Mariotti M., Masoni A., Bonari E.: 1999. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass field and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*, *Field Crops Res.*, 63, 3–11.
- Góra J., Kotecki A., Kozak M.: 2010. Wpływ terminu zbioru oraz nawożenia azotem i potasem na rozwój i plonowanie *Miscanthusa olbrzymiego (Miscanthus x giganteus)*. (w tym numerze).
- Himken M., Lammel J., Neukirchen D., Czyzionka-Krause U., Olfs H.-W.: 1997. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, 189, 117–126.
- Jorgensen U.: 1997. Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K, and Cl in *Miscanthus* in Denmark. *Biomass Bioenergy*, 12, 1, 155–169.
- Kahle P., Beuch S., Boelcke B., Leinweber P., Schulten H.-R.: 2001. Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *Eur. J. Agron.*, 15, 171–184.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2006. Zawartość wybranych makroelementów w biomacie wierzby *Salix* sp. w różnych terminach zbioru. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 512, 255–264.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2005. Zawartość potasu w różnych klonach trawy *Miscanthus* w zależności od nawożenia mineralnego. *Nawozy i Nawożenie*, 3(24), 359–364.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2007. Wpływ dawek osadu ściekowego na plon i skład chemiczny trawy *Miscanthus Sacchariflorus*. *Fragm. Agron.*, XXIV, 1(93), 113–118.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2009. Zawartość makroskładników w biomacie trawy *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. oraz w glebie po trzech latach uprawy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 537, 153–159.
- Kalembasa D., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.: 2001, Zawartość potasu w różnych klonach trawy *Miscanthus* w zależności od nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 480, 77–84.
- Kozak K., Kotecki A., Dobrzański Z.: 2006, The effect of nitrogen fertilisation on growth and yield of *Miscanthus giganteus*, *Chem. Agric.*, 7, 567–571.
- Lewandowski I., Clifton- Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W.: 2000. *Miscanthus*: European with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 209–227.
- Lewandowski I., Kicherer A.: 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *Eur. J. Agron.*, 6, 163–177.
- Majtkowski W.: 1998. Przydatność wybranych gatunków traw typu C4 do upraw alternatywnych w Polsce. *Hod. Roś. i Nas.*, 2, 41–48.
- Malinowska E., Kalembasa D., Jeżowski S.: 2006. Wpływ dawek azotu na plon i zawartość makroelementów w trawie *Miscanthus sacchariflorus* uprawianej w doświadczeniu wazonyowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 512, 403–409.

- Martyn W., Wylupek T., Czerwiński A.: 2007. Zawartość wybranych makroskładników w glebie i roślinach energetycznych nawożonych osadami ściekowymi. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 149–158.
- Monti A., Di Virgilio N., Venturi G.: 2008. Mineral composition and ash content of six energy crops. *Biomass Bioenergy*, 32, 216–223.
- Mun H.T.: 1988. Comparisons of primary production and nutrients absorption by a *Miscanthus sinensis* community in different soils. *Plant and Soil*, 112, 143–149.
- Neukirchen D., Himken M., Lammel J., Czypionka-Krause U., Olf H.-W.: 1999. Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established *Miscanthus* crop. *Eur. J. Agron.*, 11, 301–309.
- Roszewski R.: 1996, *Miscanthus sinensis giganteus*. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii, SGGW, Warszawa 123–135.
- Szeptycki A.: 2000. Wykorzystanie trzciny chińskiej do celów energetycznych. *Mat. Konf. Miscanthus-polsko-niemiecka konferencja nt. wykorzystania trzciny chińskiej*. Połczyn-Zdrój. Wyd. Szczecin-Expo, Biuro Promocji, 36–49.
- Szilard T., Pepo P.: 2006. Nutrient uptake of *Miscanthus* in vitro cultures. *J. Nat. Fibers*, 3, 1, 17–21.

2.4. Zmiany zawartości i dynamika pobierania mikrośkładników w okresie wegetacji

Wstęp

Mikrośkładniki występują w roślinach w niewielkich ilościach, jednak bez ich udziału prawidłowy wzrost i rozwój nie jest możliwy. Odgrywają one ważną rolę w procesach metabolicznych Wojcieszka i in. [1989], a do najważniejszych z nich należą miedź, cynk, żelazo i mangan. Na ich przyswajalność i pobieranie wpływa wiele czynników, m.in. odczyn gleby, zawartość substancji organicznej oraz nawożenie. W związku z ogromnym wzrostem zainteresowania uprawą roślin energetycznych w krajach europejskich niezbędne staje się poznanie ich składu chemicznego, warunków uprawy i wymagań pokarmowych. Obiecującymi roślinami, które mogą być wykorzystane do celów energetycznych, są trawy z rodzaju *Miscanthus*. Wstępne badania wykazały, że rośliny te mają małe wymagania pokarmowe, mogą być uprawiane w warunkach ekstensywnych, w których jednak produkują dużą ilość biomasy. Choć w krajowej literaturze można już spotkać nieliczne publikacje [Kalembasa i in. 2004, Krzywy i in. 2004, Iżewska 2006, Kalembasa i Malinowska 2009], w których autorzy próbują oceniać zarówno wymagania pokarmowe, jak i reakcje miskańta na warunki uprawy, to w dalszym ciągu brak jest danych na temat składu chemicznego tej rośliny oraz pobierania składników pokarmowych, zwłaszcza mikroelementów. Celem pracy było więc przesłedzenie w warunkach glebowo-klimatycznych Dolnego Śląska zawartości oraz pobierania miedzi, cynku, manganu i żelaza przez części nadziemne miskańta olbrzymiego w różnych fazach rozwojowych.

Materiał i metody badań

Materiał roślinny do analiz pochodził z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2007–2009 w Pawłowicach pod Wrocławiem, którego założenia, schemat oraz szczegółowy przebieg przedstawiono w II części pracy dotyczącej gromadzenia przez badaną roślinę świeżej i suchej masy. Próbkę do analiz pobierano pięciokrotnie w okresie wegetacji: od czerwca do października. Po ich wysuszeniu i zmieleniu, w celu oznaczenia zawartości mikrośkładników, mineralizowano je na sucho w piecu muflowym w temp. 450°C przez 8 godz. Uzyskany w wyniku spalania popiół roztwarzano stężonym kwasem azotowym i odparowywano do sucha. Następnie przenoszono ilościowo do kolb miarowych i sączono. W tak przygotowanym roztworze oznaczano miedź, cynk, mangan i żelazo metodą spektrofotometrii atomowo-absorpcyjnej w płomieniu na aparacie Spectra AA 200 firmy Varian. Przy oznaczeniu każdego z badanych mikrośkładników przestrzegano wymaganych warunków dotyczących długości fali, szerokości szczeliny i wysokości płomienia. Z uzyskanych danych dotyczących zawartości poszczególnych mikrośkładników i plonu suchej masy miskańta obliczono wielkość ich pobrania w poszczególnych fazach rozwojowych tej rośliny.

Wszystkie otrzymane wyniki poddano ocenie statystycznej z zastosowaniem analizy wariancji w doświadczeniach trzyczynnikowych w układzie zależnym. Po stwierdzeniu istotności różnic oceniano je za pomocą przedziału ufności.

Wyniki badań i dyskusja

➤ Zawartość mikroskładników

Wyniki badań przedstawione w tabeli 1 świadczą o znacznym zróżnicowaniu zawartości miedzi w roślinach miskanta, która w ciągu trzech lat badań kształtowała się w zakresie od 1,32 do 5,41 mg·kg⁻¹ s.m., a średnio w doświadczeniu najwięcej tego mikroelementu stwierdzono w drugim roku uprawy tej rośliny. Spośród trzech czynników doświadczenia statystycznie udowodniono jedynie wpływ terminu pobierania próbek w okresie wegetacji miskanta na zawartość tego składnika w tkankach badanej rośliny. Wykazano, że podobnie jak w przypadku makroskładników wraz z rozwojem miskanta obniżała się zawartość miedzi i w październiku średnio w latach 2007–2009, a także w drugim i trzecim roku badań była dwukrotnie niższa niż w czerwcu. W pierwszym roku badań różnice te były jeszcze większe, gdyż pod koniec wegetacji miskanta oznaczono w nim prawie 3,5-krotnie mniej miedzi niż w czerwcu, co w wartościach bezwzględnych stanowiło 3,13 mg·kg⁻¹.

Uzyskane dane potwierdziły wyniki podawane przez Krzywego i in. [2004] oraz Kalembeś i Malinowską [2007, 2009a], którzy w swoich badaniach mniej miedzi oznaczali zawsze pod koniec wegetacji miskanta cukrowego lub w kolejnych latach jego uprawy. Zróżnicowana zawartość potasu w glebie, chociaż średnio w całym okresie badawczym istotnie obniżała zawartość miedzi, to widoczne było to dopiero w trzecim roku badań. Nawożenie azotem różnicowało w niewielkim stopniu zawartość miedzi w miskancie, wykazano jednak, że najlepiej na jego gromadzenie oddziaływał azot stosowany w ilości 150 kg N·ha⁻¹.

W warunkach prowadzonych badań zawartość cynku w roślinach miskanta w trzyletnim okresie prowadzenia doświadczeń była średnio około dziesięciokrotnie wyższa niż miedzi, jednak podobnie jak wcześniej omawiany mikroskładnik koncentracja cynku w okresie od czerwca do października obniżyła się około dwukrotnie, a stwierdzone różnice były statystycznie istotne (tab. 2). Potas stosowany w postaci soli potasowej okazał się czynnikiem statystycznie nieistotnym w kształtowaniu zawartości cynku, gdyż różnica pomiędzy zawartością tego mikroskładnika w częściach nadziemnych miskanta uprawianego w warunkach wzrastającego nawożenia potasem sięgała zaledwie 1%. Najniższą zawartość cynku w całym okresie badań obserwowano w miskancie uprawianym przy najniższej koncentracji azotu w glebie. Najwięcej tego pierwiastka było natomiast na tych obiektach, na których azot stosowano w postaci mocznika w ilości 200 kg N·ha⁻¹. Mimo że w poszczególnych latach badań nie wykazano istotnego wpływu tego czynnika, to średnio w latach 2007–2009 wykazane zawartości różniły się istotnie. Wyniki te potwierdziły opinię Jeżowskiego [2000], który w swoich badaniach stwierdził, że nawet wysokie dawki nawozów mineralnych stosowane w uprawie tej rośliny nie zwiększały w jej tkankach koncentracji cynku. Podobną opinię wyrażają

Kalembasa i Malinowska [2007], które nie stwierdziły różnicy w zawartości cynku w miskancie cukrowym uprawianym na obiekcie zerowym, nawożonym wysokimi dawkami NPK. Wykazały natomiast istotny wzrost tego mikrośladnika, gdy badane rośliny nawożone były osadem ściekowym.

Miskant uprawiany w trzyletnim doświadczeniu zawierał ponad dwukrotnie więcej manganu niż cynku i około 20-krotnie więcej tego pierwiastka niż miedzi, średnio w doświadczeniu zawartość Mn wynosiła blisko 60 mg w kilogramie suchej masy (tab. 3).

Podobnie jak w przypadku miedzi i cynku zawartość manganu w częściach nadziemnych miskanta najsilniej modyfikował wiek rośliny. Wykazano, że w okresie wegetacji od maja do czerwca zarówno w każdym roku badań, jak i średnio z 3 lat zawartość cynku zmniejszyła się o ponad 30%, przy czym największe różnice w tym zakresie stwierdzono w ostatnim roku badań. Wyniki te potwierdziły spostrzeżenia Kalembasy i Malinowskiej [2008 i 2009] oraz Krzywego i in. [2004a]. W przeciwieństwie do miedzi i cynku nawożenie zarówno potasem, jak i azotem istotnie modyfikowało zawartość manganu w roślinach miskanta. Rośliny uprawiane na wyższej dawce potasu, w czasie wegetacji w każdym roku badań zawierały około 40% manganu mniej niż wówczas, gdy w ich uprawie stosowano ten śladnik w ilości $100 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($83 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Mimo że w całym okresie prowadzenia doświadczeń wraz ze wzrostem dawki nawozu azotowego zwiększała się zawartość manganu w roślinach miskanta, to tylko w pierwszym roku uprawy tej rośliny wykazane różnice okazały się statystycznie istotne. Wzrost zawartości manganu w różnych klonach miskanta pod wpływem nawożenia mocznikiem uzyskały Kalembasa i in. [2004] oraz Kalembasa i Malinowska [2008]. W dostępnej literaturze brak jest informacji dotyczących kształtowania się zawartości manganu w warunkach zróżnicowanej koncentracji potasu w glebie.

Zawartość żelaza w roślinach miskanta w warunkach prowadzonych badań była dość zróżnicowana i wahała się w zakresie od 56,3 do 161,2 mg $\text{Fe}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy (tab. 4). Podobnie jak w przypadku wszystkich makrośladników oraz wcześniej omawianych mikrośladników wraz z rozwojem rośliny zmniejszała się zawartość w niej żelaza, osiągając najniższą wartość pod koniec okresu wegetacyjnego. Obserwacje te potwierdzają badania Kalembasy i in. [2004], którzy wykazali obniżanie się zawartości żelaza w roślinach miskanta wraz z ich wzrostem i rozwojem. Była ona ponad pięciokrotnie niższa niż ta, którą autorzy oznaczyli w roślinach na początku wegetacji.

W przeprowadzonych doświadczeniach najwięcej żelaza oznaczono w roślinie doświadczałnej, gdy nawożono ją azotem w ilości $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, dalszy wzrost dawek tego śladnika obniżał gromadzenie żelaza, przy czym wykazane różnice były na tyle małe, że nie udowodniono ich statystycznie.

Średnio w doświadczeniu rośliny miskanta nawożone wyższą dawką soli potasowej zawierały istotnie więcej żelaza, chociaż w poszczególnych latach badań nie wykazano ukierunkowanego wpływu tego czynnika na kształtowanie się koncentracji badanego pierwiastka w częściach nadziemnych badanej rośliny w okresie wegetacji. Obserwacji tych nie potwierdzają Krzywy i in. [2004a], którzy wykazali obniżanie się zawartości żelaza w tym gatunku rośliny pod wpływem nawożenia jej osadem ściekowym z dodatkiem potasu w postaci soli potasowej.

Tabela 1
Table 1

Zawartość miedzi w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Copper content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	4,46	6,44	5,46	5,45
		150	4,84	6,01	6,47	5,77
		200	4,44	5,18	5,18	4,93
	124	100	4,07	4,95	5,31	4,77
		150	4,49	4,76	5,40	4,88
		200	4,42	5,36	4,64	4,80
Lipiec July	83	100	3,57	4,42	5,70	4,56
		150	3,09	4,14	4,85	4,03
		200	3,43	4,12	4,23	3,93
	124	100	2,85	4,21	3,61	3,56
		150	3,39	3,79	4,17	3,78
		200	3,56	3,35	4,93	3,95
Sierpień August	83	100	1,36	5,43	2,38	3,06
		150	1,47	4,89	2,96	3,10
		200	1,87	6,15	2,55	3,52
	124	100	1,83	4,28	2,39	2,83
		150	1,88	3,72	2,39	2,66
		200	2,29	4,37	3,80	3,49
Wrzesień September	83	100	1,16	2,39	3,20	2,25
		150	1,68	3,67	2,83	2,73
		200	1,36	3,35	2,97	2,56
	124	100	1,33	4,41	2,11	2,61
		150	1,36	3,17	1,90	2,14
		200	1,07	3,17	2,08	2,10
Październik October	83	100	1,52	2,61	2,82	2,31
		150	1,20	2,09	4,39	2,56
		200	1,18	2,58	2,31	2,02
	124	100	1,22	2,92	2,14	2,09
		150	1,58	2,68	2,37	2,21
		200	1,25	2,58	1,80	1,88
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			4,45	5,45	5,41	5,10
Lipiec – July			3,31	4,00	4,58	3,97
Sierpień – August			1,78	4,81	2,74	3,11
Wrzesień – September			1,33	3,36	2,51	2,40
Październik – October			1,32	2,58	2,64	2,18
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,31	0,77	0,70	0,33
	83		2,44	4,23	3,89	3,52
		124		2,44	3,84	3,27
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s	r.n. – n.s.	0,44	0,21
		100	2,33	4,21	3,51	3,35
		150	2,50	3,89	3,77	3,39
		200	2,48	4,02	3,45	3,32
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			2,44	4,04	3,58	3,35
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,26			–

Tabela 2
Table 2

Zawartość cynku w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Zinc content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	31,8	37,7	36,4	35,3
		150	35,8	50,8	39,0	41,9
		200	41,6	44,7	39,6	42,0
	124	100	35,8	38,3	41,8	38,6
		150	25,9	39,2	31,3	32,2
		200	54,9	55,0	43,1	51,0
Lipiec July	83	100	26,7	28,0	35,9	30,2
		150	29,6	42,1	35,1	35,6
		200	30,6	35,1	27,2	31,0
	124	100	28,7	25,9	39,8	31,5
		150	23,5	26,7	38,9	29,7
		200	35,0	24,0	34,4	31,1
Sierpień August	83	100	17,5	22,0	21,1	20,2
		150	20,8	25,6	27,3	24,6
		200	22,3	26,3	28,4	25,7
	124	100	18,1	17,4	25,7	20,4
		150	21,5	20,6	21,3	21,2
		200	20,6	18,3	29,5	22,8
Wrzesień September	83	100	21,8	9,8	21,0	17,6
		150	44,2	9,9	26,2	26,8
		200	34,9	10,4	31,4	25,5
	124	100	28,2	19,0	18,8	22,0
		150	47,8	13,7	26,9	29,5
		200	38,8	15,6	31,7	28,7
Październik October	83	100	26,0	21,5	33,1	26,9
		150	16,9	15,6	52,3	28,3
		200	24,0	22,0	24,4	23,5
	124	100	27,1	26,6	17,9	23,9
		150	24,8	22,2	24,4	23,8
		200	16,6	16,9	19,7	17,7
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			37,6	44,3	38,5	40,2
Lipiec – July			29,0	30,3	35,2	31,5
Sierpień – August			20,1	21,7	25,6	22,5
Wrzesień – September			36,0	13,1	26,0	25,0
Październik – October			22,6	20,8	28,6	24,0
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			6,83	6,20	5,02	3,01
	83		28,3	26,8	31,9	29,0
	124		29,8	25,3	29,7	28,3
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
		100	26,2	24,6	29,2	26,7
		150	29,1	26,6	32,3	29,3
		200	31,9	26,8	30,9	29,9
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	2,33
Lata – Years			29,1	26,0	30,8	28,6
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			2,33			–

Tabela 3
Table 3

Zawartość manganu w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg·kg⁻¹]
Manganese content in tissue of Miscanthus giganteus during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	89,2	94,3	98,4	93,9
		150	103,9	107,8	135,9	115,9
		200	101,1	102,7	110,7	104,9
	124	100	40,7	50,9	55,5	49,1
		150	47,7	50,2	58,4	52,1
		200	62,9	61,5	73,3	65,9
Lipiec July	83	100	55,4	62,2	62,9	60,2
		150	62,7	74,9	86,3	74,6
		200	76,0	80,0	83,2	79,7
	124	100	31,1	44,0	43,2	39,4
		150	39,6	46,2	46,2	44,0
		200	44,9	42,3	56,7	48,0
Sierpień August	83	100	54,9	64,3	35,6	51,6
		150	56,5	82,1	50,1	62,9
		200	54,7	65,1	44,5	54,8
	124	100	28,6	28,0	31,4	29,3
		150	32,4	29,0	33,5	31,6
		200	50,6	33,0	46,2	43,3
Wrzesień September	83	100	56,6	45,7	61,0	54,4
		150	80,4	62,7	55,5	66,2
		200	64,7	68,6	52,5	61,9
	124	100	45,9	44,5	34,2	41,5
		150	40,9	38,7	29,0	36,2
		200	49,9	48,1	42,6	46,9
Październik October	83	100	59,2	65,8	58,4	61,1
		150	80,9	62,1	32,4	58,5
		200	57,3	48,5	51,3	52,4
	124	100	34,2	67,5	39,9	47,2
		150	47,4	55,8	44,1	49,1
		200	51,9	48,7	46,8	49,1
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			74,3	77,9	88,7	80,3
Lipiec – July			51,6	58,3	63,1	57,7
Sierpień – August			46,3	50,2	40,2	45,6
Wrzesień – September			56,4	51,4	45,8	51,2
Październik – October			55,1	58,1	45,5	52,9
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			8,89	6,73	12,7	4,76
	83		70,2	72,5	67,9	70,2
	124		43,3	45,9	45,4	44,9
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			5,62	4,25	8,03	3,01
		100	49,6	56,7	52,1	52,8
		150	59,2	61,0	57,1	59,1
		200	61,4	59,9	60,8	60,7
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			6,89	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	3,68
Lata – Years			56,7	59,2	56,7	57,5
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.			–

Tabela 4
Table 4

Zawartość żelaza w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Iron content in tissue of *Miscanthus giganteus* during vegetation

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	67,1	146,0	111,0	108,0
		150	100,0	146,5	123,8	123,4
		200	79,5	184,9	113,2	125,9
	124	100	92,0	151,3	126,4	123,3
		150	117,6	185,3	120,5	141,1
		200	126,7	153,2	122,3	134,1
Lipiec July	83	100	72,8	104,9	163,3	113,7
		150	81,5	94,0	139,2	104,9
		200	65,9	96,3	174,6	112,2
	124	100	91,3	134,9	141,4	122,6
		150	81,7	111,0	123,1	105,3
		200	93,9	97,7	112,0	101,2
Sierpień August	83	100	60,9	75,6	52,5	63,0
		150	51,7	68,5	75,7	65,3
		200	61,5	52,3	47,4	53,7
	124	100	69,3	57,5	39,8	55,5
		150	75,8	63,4	63,5	67,6
		200	65,7	81,8	58,9	68,8
Wrzesień September	83	100	61,9	60,1	55,4	59,1
		150	74,1	37,8	68,5	60,1
		200	64,3	53,5	62,6	60,1
	124	100	57,4	66,1	60,7	61,4
		150	66,5	52,7	64,8	61,3
		200	68,3	44,6	92,5	68,4
Październik October	83	100	60,7	71,5	62,1	64,8
		150	53,1	58,3	67,0	59,8
		200	47,0	66,1	46,5	53,2
	124	100	58,4	98,4	63,2	73,3
		150	60,0	87,5	80,5	76,0
		200	64,8	63,5	51,5	59,9
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			97,2	161,2	119,5	126,0
Lipiec – July			81,2	106,5	142,3	110,0
Sierpień – August			64,2	66,5	56,3	62,3
Wrzesień – September			65,4	52,5	67,4	61,8
Październik – October			57,3	74,2	61,8	64,4
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			10,1	20,7	16,7	9,33
	83		66,8	87,7	90,9	81,8
	124		79,3	96,6	88,1	88,0
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			6,4	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	5,90
		100	69,2	96,6	87,6	84,5
		150	76,2	90,5	92,7	86,4
		200	73,7	89,4	88,1	83,8
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			73,0	92,2	89,5	84,9
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			7,23			–

➤ Pobieranie mikrośkładników

Dane dotyczące dynamiki pobierania miedzi, cynku, manganu i żelaza przez miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji w trzech kolejnych latach przedstawiono w tabelach 5–8.

W przypadku każdego z badanych mikrośkładników, podobnie jak omówionych w III części pracy makrośkładników, pobieranie zwiększało się w miarę upływu okresu wegetacji. Jest to w dużym stopniu związane z ilością produkowanej świeżej i suchej masy, która zwiększała się w miarę wzrostu i rozwoju badanej rośliny.

Wyniki przedstawione w tabeli 5 obrazują pobranie miedzi przez rośliny miskanta, która w całym okresie prowadzenia doświadczeń kształtowała się w przedziale od 0,044 do 0,356 mg Cu-roślina⁻¹. Pobieranie tego mikrośkładnika było najmniejsze na początku okresu wegetacji i wraz z rozwojem rośliny istotnie wzrastało. Pobranie miedzi w październiku było średnio aż pięciokrotnie wyższe niż w czerwcu, w początkowym okresie rozwoju miskanta, przy czym średnio najwięcej tego mikrośkładnika roślina pobrała w drugim roku badań. Wykazano, że nawożenie azotem nie miało istotnego wpływu na pobieranie badanego pierwiastka przez miskanta olbrzymiego, gdyż niezależnie od zastosowanej dawki mocznika zawartość miedzi kształtowała się na zbliżonym poziomie. Chociaż potas wprowadzony do gleby w dwóch zróżnicowanych dawkach, w poszczególnych latach badań, wpływał w sposób niejednoznaczny na dynamikę pobierania miedzi przez roślinę doświadczalną, to średnio w doświadczeniu nie stwierdzono istotnego wpływu tego czynnika doświadczalnego w tym zakresie.

Ilość pobranego cynku przez jedną roślinę miskanta olbrzymiego w okresie prowadzenia badań mieściła się w przedziale od 0,31 do 3,14 mg Zn-roślina⁻¹ i była średnio około 10-krotnie wyższa niż miedzi (tab. 6). Pobranie tego mikrośkładnika zależało w sposób istotny wyłącznie od tego, w jakim okresie wzrostu i rozwoju rośliny pobierano próby do analiz. Zwiększało się wraz z rozwojem rośliny i w październiku było prawie 7-krotnie wyższe niż w czerwcu i około 1,5-raza wyższe niż we wrześniu. Na podobną dynamikę gromadzenia cynku przez różne klony miskanta zwracają uwagę także Krzywy i in. [2004] oraz Kalembasa i Malinowska [2009].

Pozostałe czynniki doświadczalne nie decydowały o ilości cynku wyniesionego z gleby przez części nadziemne miskanta, jednak więcej tego mikrośkładnika zawsze gromadziła badana roślina wówczas, gdy uprawiano ją przy wyższej zasobności gleb w potas. Podobnie sposób gromadzenia cynku modyfikował azot, gdyż przy większej zasobności gleby w ten śkładnik miskant pobierał więcej cynku. Różnice nie zostały jednak statystycznie udowodnione.

W warunkach prowadzonego doświadczenia pobranie manganu przez 1 roślinę miskanta w zależności od okresu wzrostu mieściło się w przedziale od 0,72 do 7,99 mg Mn-roślina⁻¹ i było około dwukrotnie wyższe niż cynku i ponad 25 razy większe niż miedzi (tab. 7).

W okresie wegetacji pobieranie manganu było najniższe w czerwcu i lipcu, natomiast w miarę rozwoju rośliny wynos tego pierwiastka z gleby w przeliczeniu na 1 roślinę był coraz większy. Najwięcej manganu pobrały rośliny miskanta w październiku, średnio w doświadczeniu o około 6 mg Mn na 1 roślinę więcej niż w czerwcu.

Tabela 5
Table 5

Nagromadzenie miedzi w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Copper accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	0,039	0,064	0,050	0,051
		150	0,050	0,065	0,040	0,052
		200	0,038	0,047	0,052	0,046
	124	100	0,033	0,057	0,040	0,043
		150	0,044	0,060	0,048	0,051
		200	0,061	0,098	0,034	0,064
Lipiec July	83	100	0,085	0,102	0,190	0,126
		150	0,077	0,090	0,131	0,099
		200	0,091	0,104	0,113	0,103
	124	100	0,079	0,123	0,106	0,103
		150	0,104	0,123	0,110	0,112
		200	0,105	0,093	0,132	0,110
Sierpień August	83	100	0,066	0,245	0,131	0,147
		150	0,077	0,215	0,160	0,151
		200	0,083	0,263	0,155	0,167
	124	100	0,111	0,216	0,139	0,155
		150	0,102	0,187	0,149	0,146
		200	0,135	0,202	0,233	0,190
Wrzesień September	83	100	0,077	0,193	0,249	0,173
		150	0,113	0,293	0,221	0,209
		200	0,093	0,268	0,219	0,193
	124	100	0,082	0,375	0,146	0,201
		150	0,105	0,277	0,132	0,171
		200	0,087	0,267	0,149	0,168
Październik October	83	100	0,192	0,357	0,204	0,251
		150	0,143	0,265	0,312	0,240
		200	0,151	0,344	0,191	0,228
	124	100	0,192	0,393	0,155	0,247
		150	0,251	0,431	0,204	0,295
		200	0,169	0,348	0,162	0,226
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			0,044	0,065	0,044	0,051
Lipiec – July			0,090	0,106	0,130	0,109
Sierpień – August			0,096	0,221	0,161	0,159
Wrzesień – September			0,093	0,279	0,186	0,186
Październik – October			0,183	0,356	0,205	0,248
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,028	0,064	0,030	0,023
	83		0,092	0,194	0,161	0,149
	124		0,111	0,217	0,129	0,152
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,018	r.n. – n.s.	0,019	r.n. – n.s.
		100	0,096	0,212	0,141	0,150
		150	0,107	0,200	0,151	0,153
		200	0,101	0,203	0,144	0,150
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			0,101	0,205	0,145	0,151
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,018			–

Tabela 6
Table 6

Nagromadzenie cynku w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Zinc accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	0,28	0,38	0,33	0,33
		150	0,37	0,55	0,24	0,39
		200	0,35	0,41	0,40	0,39
	124	100	0,29	0,44	0,32	0,35
		150	0,25	0,50	0,28	0,34
		200	0,76	1,00	0,32	0,69
Lipiec July	83	100	0,64	0,64	1,20	0,83
		150	0,73	0,91	0,95	0,87
		200	0,81	0,89	0,73	0,81
	124	100	0,80	0,75	1,17	0,91
		150	0,72	0,87	1,02	0,87
		200	1,03	0,67	0,92	0,87
Sierpień August	83	100	0,85	0,99	1,16	1,00
		150	1,10	1,12	1,47	1,23
		200	0,99	1,12	1,73	1,28
	124	100	1,10	0,88	1,49	1,16
		150	1,17	1,03	1,33	1,18
		200	1,22	0,84	1,81	1,29
Wrzesień September	83	100	1,46	0,79	1,64	1,30
		150	3,00	0,79	2,5	1,94
		200	2,39	0,83	2,31	1,85
	124	100	1,74	1,62	1,31	1,56
		150	3,70	1,19	1,87	2,26
		200	3,17	1,31	2,27	2,25
Październik October	83	100	3,26	2,94	2,40	2,88
		150	2,01	1,98	3,72	2,57
		200	3,08	2,94	2,01	2,25
	124	100	4,28	3,59	1,29	3,06
		150	3,94	3,56	2,10	3,20
		200	2,25	2,27	1,77	2,10
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			0,38	0,55	0,31	0,41
Lipiec – July			0,79	0,79	1,00	0,86
Sierpień – August			1,07	0,99	1,50	1,19
Wrzesień – September			2,58	1,09	1,91	1,86
Październik – October			3,14	2,88	2,22	2,75
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,66	0,53	0,31	0,28
	83		1,42	1,15	1,49	1,35
	124		1,76	1,37	1,28	1,47
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	0,19	r.n. – n.s.
		100	1,47	1,30	1,23	1,34
		150	1,70	1,25	1,50	1,48
		200	1,61	1,23	1,43	1,42
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			1,59	1,26	1,39	1,41
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,21			–

Tabela 7
Table 7

Nagromadzenie manganu w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Manganese accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	0,79	0,94	0,90	0,87
		150	1,08	1,16	0,84	1,03
		200	0,86	0,94	1,11	0,97
	124	100	0,33	0,59	0,42	0,45
		150	0,46	0,64	0,52	0,54
		200	0,87	1,12	0,54	0,84
Lipiec July	83	100	1,32	1,43	2,10	1,62
		150	1,55	1,63	2,34	1,84
		200	2,01	2,02	2,23	2,09
	124	100	0,87	1,28	1,27	1,14
		150	1,22	1,50	1,21	1,31
		200	1,33	1,18	1,52	1,34
Sierpień August	83	100	2,66	2,90	1,96	2,51
		150	2,99	3,60	2,70	3,10
		200	2,44	2,79	2,72	2,65
	124	100	1,74	1,41	1,83	1,66
		150	1,76	1,45	2,08	1,76
		200	3,00	1,52	2,84	2,45
Wrzesień September	83	100	3,78	3,69	4,75	4,07
		150	5,44	5,00	4,33	4,92
		200	4,44	5,50	3,87	4,60
	124	100	2,84	3,78	2,38	3,00
		150	3,17	3,38	2,02	2,86
		200	4,08	4,05	3,05	3,73
Październik October	83	100	7,50	9,00	4,23	6,91
		150	9,61	7,87	2,31	6,59
		200	7,35	6,47	4,24	6,02
	124	100	5,41	9,10	2,89	5,80
		150	7,54	8,97	3,80	6,77
		200	7,02	6,56	4,21	5,93
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			0,73	0,90	0,72	0,78
Lipiec – July			1,38	1,50	1,78	1,55
Sierpień – August			2,43	2,28	2,35	2,35
Wrzesień – September			3,96	4,23	3,40	3,86
Październik – October			7,40	7,99	3,61	6,34
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,54	0,59	0,74	0,28
	83		3,59	3,66	2,71	3,32
	124		2,78	3,10	2,04	2,64
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,34	0,37	0,47	0,17
		100	2,72	3,41	2,27	2,80
		150	3,48	3,52	2,21	3,07
		200	3,34	3,21	2,63	3,06
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,42	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	0,21
Lata – Years			3,18	3,38	2,37	2,98
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$				0,21		–

Tabela 8
Table 8

Nagromadzenie żelaza w tkankach miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji [mg-roślina⁻¹]
Iron accumulation by *Miscanthus giganteus* during vegetation [mg-steam⁻¹]

Miesiąc Month	Dawka K Dose of K	Dawka N Dose of N	Lata – Years			Średnio Mean 2007–2009
			2007	2008	2009	
Czerwiec June	83	100	0,59	1,45	1,01	1,02
		150	1,04	1,58	0,77	1,13
		200	0,68	1,69	1,14	1,17
	124	100	0,75	1,75	0,95	1,15
		150	1,14	2,35	1,07	1,52
		200	1,75	2,79	0,90	1,81
Lipiec July	83	100	1,74	2,41	5,44	3,20
		150	2,02	2,04	3,77	2,61
		200	1,74	2,43	4,68	2,95
	124	100	2,55	3,93	4,14	3,54
		150	2,51	3,59	3,23	3,11
		200	2,78	2,72	3,00	2,83
Sierpień August	83	100	2,95	3,41	2,89	3,08
		150	2,73	3,01	4,09	3,28
		200	2,74	2,24	2,89	2,62
	124	100	4,22	2,90	2,31	3,14
		150	4,11	3,18	3,95	3,75
		200	3,89	3,77	3,61	3,76
Wrzesień September	83	100	4,13	4,85	4,31	4,43
		150	5,01	3,02	5,35	4,46
		200	4,41	4,29	4,61	4,44
	124	100	3,55	5,63	4,23	4,47
		150	3,15	4,60	4,51	4,76
		200	5,58	3,75	6,63	5,32
Październik October	83	100	7,68	9,77	4,50	7,32
		150	6,31	7,38	4,77	6,15
		200	6,03	8,81	3,83	6,22
	124	100	9,24	13,26	4,57	9,02
		150	9,54	14,05	6,93	10,17
		200	8,78	8,55	4,63	7,32
Średnio dla czynników – Mean for factors						
Czerwiec – June			0,99	1,93	0,97	1,30
Lipiec – July			2,22	2,85	4,04	3,04
Sierpień – August			3,44	3,08	3,29	3,27
Wrzesień – September			4,64	4,36	4,94	4,65
Październik – October			7,93	10,30	4,87	7,70
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,49	1,57	0,87	0,51
	83		3,32	3,89	3,60	3,60
	124		4,37	5,12	3,64	4,38
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,31	0,99	r.n. – n.s.	0,32
		100	3,74	4,94	3,44	4,04
		150	3,96	4,48	3,84	4,09
		200	3,84	4,10	3,59	3,84
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$			0,38	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years			3,84	4,51	3,62	3,99
NIR – LSD $\alpha_{0,05}$				0,40		–

Nawożenie potasem istotnie obniżało pobieranie manganu przez roślinę doświadczalną i zawsze było go mniej na tych obiektach, na których stosowano większą dawkę tego składnika. W odróżnieniu od potasu wzrastające dawki azotu, co prawda w sposób niejednoznaczny, ale zwiększały pobranie badanego mikrośladnika wraz z plonem części nadziemnych miskanta. Średnio w okresie trzech lat badań oraz w pierwszym roku uprawy badanej rośliny wpływ tego czynnika był statystycznie istotny.

Dane dotyczące pobierania **żelaza** przez rośliny miskanta przedstawiono w tabeli 8. Wynika z nich, że ilości tego składnika wyniesione z glebą przez 1 roślinę mieściły się w przedziałach od 0,97 do 10,30 mg Fe i były zbliżone do ilości pobranego manganu. Podobnie jak w przypadku wszystkich badanych wcześniej makro- oraz mikrośladników pobieranie żelaza wzrastało sukcesywnie od wiosny do jesieni i w październiku było średnio prawie 7-krotnie wyższe niż w czerwcu. W odróżnieniu od manganu zwiększenie zawartości potasu w glebie w wyniku nawożenia tym składnikiem skutkowało wzrostem pobrania żelaza. Wzrost ten, oprócz ostatniego roku badań, był statystycznie istotny. Trzeci z czynników doświadczalnych – wzrastające dawki azotu nie modyfikowały w wyraźny sposób ilości wyniesionego z gleby żelaza przez plon części nadziemnych miskanta w całym okresie badawczym.

Wnioski

Zawartość mikrośladników w miskancie olbrzymim uprawianym w doświadczeniu istotnie modyfikował okres wegetacji. Najwięcej miedzi, cynku, manganu i żelaza, podobnie jak makrośladników, oznaczono w początkowym okresie rozwoju tej rośliny. Wraz z postępem wegetacji ilości te systematycznie malały, przyjmując najniższe wartości tuż przed zbiorem.

Potas stosowany w uprawie rośliny doświadczalnej obniżał w niej zawartość miedzi i manganu, a zwiększał zawartość żelaza. Nie modyfikował jednak zawartości cynku.

Zróżnicowane nawożenie azotem nie wywarło wpływu na gromadzenie się badanych mikroelementów w częściach nadziemnych miskanta w okresie trzech lat prowadzenia badań.

Pobieranie miedzi, cynku, manganu i żelaza zwiększało się w miarę rozwoju rośliny doświadczalnej i najwięcej tych śladników rośliny miskanta pobrały pod koniec wegetacji.

Pod wpływem nawożenia potasem stwierdzono wzrost pobrania miedzi, cynku i żelaza, a zmniejszenie pobrania manganu przez rośliny miskanta.

Nie wykazano istotnych różnic w pobieraniu badanych mikrośladników przez rośliny miskanta uprawiane przy różnej zawartości azotu w glebie.

Piśmiennictwo

- Iżewska A.: 2006. Zawartość metali ciężkich w trzcinie chińskiej jako wskaźnik jej wykorzystania do utylizacji osadów ściekowych i kompostów z osadów ściekowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 512, 165–171.
- Jeżowski S.: 2000. Miscanthus – roślina alternatywna dla polskiego rolnictwa i możliwości jej introdukcji w warunkach klimatycznych Polski. Polsko- Niemiecka Konferencja na temat wykorzystania trzciny chińskiej. Połczyn-Zdrój. Wyd. Szczecin-Expo Biuro Promocji, 22–25.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2007. Zmiany zawartości metali ciężkich w *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. pod wpływem nawożenia osadem ściekowym. Łąkarstwo w Polsce, 10, 99–110.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2008. Wpływ nawożenia osadem ściekowym i mocznikiem na zawartość wybranych pierwiastków w trawie *Miscanthus sacchariflorus*. Acta Agrophysica, 11(3), 657–666.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2009. Działanie następcze osadu ściekowego zastosowanego do gleby w doświadczeniu wazonowym na zawartość metali ciężkich w trawie *Miscanthus sacchariflorus*. Acta Agrophysica, 13(2), 377–384.
- Kalembasa D., Malinowska E.: 2009a. The yield and content of trace elements in biomass of *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. and in soil in the third year of a pot experiment. J. Elementol., 14(4), 685–691.
- Kalembasa D., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.: 2004. Zawartość żelaza i manganu w biomase *Miscanthusa*. Roczn. PZH, 55, Supl., 203–207.
- Krzywy E., Iżewska A., Wołoszyk Cz.: 2004. Bezpośredni i następczy wpływ komunalnego osadu ściekowego i kompostów sporządzonych z osadu ściekowego na wielkość plonu i zawartość mikroelementów w słomie trzciny chińskiej (*Miscanthus sacchariflorus*). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 502, 865–875.
- Krzywy E., Iżewska A., Wołoszyk Cz.: 2004a. Pobranie i wykorzystanie mikroelementów w okresie dwóch lat przez trzcinę chińską (*Miscanthus sacchariflorus*) z osadu ściekowego oraz z kompostów wyprodukowanych z osadu ściekowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 502, 877–885.
- Wojcieszka U., Giza A., Wolska E.: 1989. Wzrost, rozwój, akumulacja suchej masy i pobierania składników pokarmowych przez pszenżyto jare MAH-183 i pszenicę jarą Kadett. Cz. II. Zmiany zawartości Fe, Mn, Zn i Cu w czasie rozwoju roślin. Pam. Puł., 94, 77–97.

3. WYBRANE ELEMENTY AGROTECHNIKI MISKANTA OLBRZYMIEGO (*MISCANTHUS X GIGANTEUS* GREEF ET DEU.)

3.1. Wpływ terminu zbioru oraz nawożenia azotem i potasem na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)

Wstęp

Wymagania nawozowe miskanta są stosunkowo małe dzięki dobremu wykorzystaniu oraz zdolności roślin do przemieszczania z pędów i akumulowania dużych ilości składników pokarmowych w rhizomach pod koniec sezonu wegetacyjnego. Liście przeważnie opadają i pozostają na polu, dlatego pobranie składników pokarmowych z gleby dotyczy tylko pędów. Składniki pokarmowe wykorzystywane przez rośliny w czasie kolejnych sezonów wegetacyjnych pochodzą z trzech źródeł: mineralizacji opadłych liści, rezerwy glebowej i opadu atmosferycznego. Rhizomy pełnią kluczową rolę w gospodarowaniu składnikami pokarmowymi jako organ, który pozwala roślinom przetrwać zimę. Miskant wysokie wykorzystanie azotu zawdzięcza zdolności do jego translokacji z rhizomów do pędów na wiosnę oraz jego powtórnej kumulacji w rhizomach w czasie zasychania pędów na koniec sezonu wegetacyjnego [Beale, Long 1997, Lewandowski i in. 2000]. Dojrzałe rhizomy mają zdolność do akumulacji większej ilości składników pokarmowych niż rośliny pobierają podczas wegetacji [Planting and Growing Miscanthus 2007].

Dawka 60 kg N·ha⁻¹ została uznana za wystarczającą do właściwego rozwoju rhizomów [Lewandowski i in. 2000]. Pod koniec sezonu wegetacyjnego ze źdźbeł i liści do rhizomów przemieszcza się 21–46% azotu, 36–50% fosforu, 14–30% potasu i 27% magnezu zakumulowanego w nadziemnej części rośliny [Himken i in. 1997].

Neukirchen [1995] wykazał, że pod koniec zimy rhizomy z sześciolletniej plantacji miskanta, w doświadczeniach niemieckich, zawierały 265 kg N i 235 kg K·ha⁻¹. Na wiosnę te rezerwy są mobilizowane i transportowane do nowych pędów, co czyni rośliny miskanta częściowo niezależnymi od aktualnej zawartości dostępnego azotu w glebie [Christian i in. 1997, Lewandowski i in. 2000].

Doświadczenia z izotopem ¹⁵N pokazały, że tylko 38% ¹⁵NH₄ i ¹⁵NO₃ dostarczonych z dawką 60 kg N·ha⁻¹ zostało pobrane przez roślinę, z czego ponad połowa została zakumulowana w rhizomach [Christian i in. 1997, Christian i in. 2006, Lewandowski i in. 2000].

Większość azotu zawartego w roślinie nie pochodziła z nawożenia, lecz z procesu mineralizacji zachodzącego w glebie. Można zatem stwierdzić, że nawożenie azotowe

jest konieczne tylko na glebach ubogich w azot. Na stanowiskach, gdzie poziom mineralizacji materii organicznej jest wystarczający, nie zaobserwowano wpływu nawożenia azotowego na plonowanie. Potrzeby nawozowe miskanta może zaspokoić dawka 50–70 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹ zastosowana wiosną na początku wypuszczania nowych pędów przez rośliny [Lewandowski i in. 2000, Himken i in. 1997].

Dotychczasowe badania w warunkach Wrocławia wykazały, że miskant korzystnie reaguje na wiosenne nawożenie azotem, szczególnie w 1 roku uprawy. Zwiększenie dawki azotu z 30 do 60 kg·ha⁻¹ skutkowało większą liczbą pędów na poletku, dodatkowo były one wyższe i grubsze. Dalsze zwiększanie dawki do 90 kg N·ha⁻¹ nie wpłynęło na wyżej wymienione cechy morfologiczne, skutkowało natomiast najwyższym plonem świeżej i suchej masy [Kozak i in. 2006a, Kozak 2006a]. W drugim roku uprawy plon świeżej i suchej masy również był zależny od nawożenia azotowego – korzystny efekt zaobserwowano przy zwiększeniu dawki od 100 do 150 kg N·ha⁻¹. Dalsze zwiększanie nawożenia do 200 kg N·ha⁻¹ nie prowadziło do wzrostu plonu biomasy [Kozak i in. 2006a, Ercoli i in. 1999]. Według Acaroglu i Semi Aksoy [2005] zastosowanie dawki azotu na poziomie 100 kg N·ha⁻¹ skutkowało uzyskaniem najwyższych plonów biomasy zarówno w pierwszym, jak i kolejnych latach uprawy.

W sześcioletnich doświadczeniach polskich z miskantem, prowadzonych na glebie o bardzo niskiej zasobności w składniki pokarmowe, mimo że nie zastosowano żadnego nawożenia mineralnego, plony miskanta wynosiły 2 kg·m⁻² (20 t·ha⁻¹). Znaczącym czynnikiem powodującym brak wpływu nawożenia na plonowanie miskanta jest system rhizomów i korzeni wytwarzany przez rośliny [Wyżgolik i in. 2006].

W doświadczeniach prowadzonych na glebie gliniastej w Rothamsted we Wschodniej Anglii – po 13 latach badań również nie stwierdzono wpływu nawożenia azotowego na liczbę pędów, ich wysokość i wielkość uzyskiwanego plonu [Christian i in. 1997a, i in. 2008]. Podobne rezultaty uzyskano w badaniach niemieckich prowadzonych, przez 6 lat, w dolinie Renu [Himken i in. 1997]. Prawdopodobnie wysoka zasobność gleby w azot (185 kg N·ha⁻¹) i proces mineralizacji zachodzący w czasie sezonu wegetacyjnego spowodowały, że nawożenie azotowe miało niewielki wpływ zarówno na wysokość plonu, jak i poziom zgromadzonych w nim składników pokarmowych. Roczny wyнос azotu z plonem z poletek, bez nawożenia azotowego, wyniósł średnio 69 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹, co równoważy się z ilością azotu dostarczaną roślinom z puli azotu zgromadzonego w glebie gliniastej w Rothamsted oraz ilością azotu dostarczanego w wyniku jego mokrej depozycji z powietrza, np. po wyładowaniach atmosferycznych. Nawożenie azotowe nie wpłynęło także na zawartość fosforu i potasu w zebranej biomacie, a wyнос tych składników z plonem był niższy niż zastosowane dawki azotu. Christian i in. [2008] podczas 14-letnich badań nie wykazali wpływu nawożenia azotem na wysokość plonu miskanta i dlatego uważają, że nie ma potrzeby stosowania tego makroskładnika.

Z kolei badania nad miskantem prowadzone na glebie piaszczystej, ubogiej w azot, wykazały korzystny wpływ nawożenia tym pierwiastkiem na plonowanie [Christian i in. 2008].

Podczas wegetacji miskanta występują straty azotu w formie gazowej; Jorgensen i in. [1997] określili, że ich wysokość na glebie piaszczystej wynosi 1,5% z dawki 75 kg N·ha⁻¹. Straty te były ponad 2 razy większe niż zmierzone w przyległej uprawie żyta.

Powodem występowania tak wysokich strat azotu mogły być: nieuprawiona gleba pod uprawą miskanta oraz ściółka powstała z opadłych liści miskanta, która utrzymując wysoką wilgotność gleby, może zwiększać powstawanie N_2O [Christian i in. 2008, Jorgensen i in. 1997].

Na plantacjach miskanta straty azotu mogą również zachodzić na skutek wypłukiwania azotanów w głąb profilu glebowego. Według Christiana i Riche'ego [1998], którzy mierzyli przez 3 lata straty azotanów na nowo założonych doświadczeniach z miskan-tem, największe straty azotu notowano w 1 roku uprawy – 154, 187 i 228 $kg\ N\cdot ha^{-1}$, nawożonych odpowiednio dawkami – 0, 60 i 120 $kg\ N\cdot ha^{-1}$. Straty w kolejnych latach były niższe i wynosiły odpowiednio dla dawek 0, 60 i 120 $kg\ N\cdot ha^{-1}$ – w 2 roku uprawy 8, 24 i 87 $kg\ N\cdot ha^{-1}$, a w 3 roku już tylko 3, 11 i 30 $kg\ N\cdot ha^{-1}$. Wyniki te można porównać z tymi, które uzyskano na ekstensywnie użytkowanych pastwiskach i łąkach. Wysokie straty azotu w 1 roku uprawy były prawdopodobnie spowodowane przez przedplon, którym była fasola i mineralizację resztek poźniwnych. Wyniki badań wskazują, że uprawa miskanta może przyczynić się do ograniczenia wypłukiwania azotanów z gleby i poprawy jakości wód gruntowych [Christian i in. 1998]. Badania nad tym zagadnieniem w latach 2008 i 2009 prowadzili, na doświadczeniach założonych w 2007 r., Curley i in. [2009]. Jako źródła azotu użyli oni gnojowicy bydłowej, a dawki $N\cdot ha^{-1}$ wynosiły 0, 60, 120 kg w 2008 r., a w 2009 r. – 0, 60, 120 i 180 kg . Średnia koncentracja azotanów w próbkach wody glebowej z 2008 r. na wszystkich obiektach była wysoka – 14, 16 i 20 $mg\cdot l^{-1}$, odpowiednio dla dawek 0, 60 i 120 $kg\ N\cdot ha^{-1}$. W 2009 r. nie stwierdzono znaczącej różnicy w koncentracji azotanów w próbkach wody glebowej dla dawek $N\cdot ha^{-1}$ – 0, 60 i 120 kg – wynosiła ona średnio od 12 do 14 $mg\cdot l^{-1}$. Najwyższą koncentrację azotanów (21 $mg\cdot l^{-1}$) odnotowano przy dawce 180 $kg\ N\cdot ha^{-1}$. Może to być pośrednio spowodowane intensywniejszą mineralizacją azotu glebowego zachodzącą pod wpływem dostarczenia do gleby azotu mineralnego, a także bezpośrednio wysokością dawki azotu. Otrzymane przez Curley'a i in. [2009] wyniki wskazują, że uprawa miskanta może mieć korzystny wpływ na jakość wód podziemnych, ponieważ koncentracja azotanów nie przekracza maksymalnego poziomu dla wody pitnej, wynoszącego 50 $mg\cdot l^{-1}$ [Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 r.; S.I. No. 106/2007].

Według Kaacka i Schwarza [2001] stosowanie wysokich dawek azotu w uprawie *M. x giganteus* (powyżej 75 $kg\ N\cdot ha^{-1}$) może skutkować wzmocnionym wyleganiem pędów miskanta, zwłaszcza na stanowiskach nieosłoniętych od wiatru. Wyleganie może utrudnić zbiór biomasy i tym samym powodować obniżkę plonu.

Mimo że zapotrzebowanie miskanta na potas wynosi od 4 do 8 $kg\cdot t^{-1}$ suchej masy, nawożenie tym pierwiastkiem nie wpłynęło na wysokość plonów, co mogło być spowodowane dużą zasobnością gleby w ten składnik [Lewandowski i in. 1997]. Ogólne zapotrzebowanie na składniki pokarmowe: azot, fosfor i wapń wynosi odpowiednio 2–5; 0,3–1,1; 0,8–1,0 $kg\cdot t^{-1}$ suchej masy [Lewandowski i in. 2000].

Gdy nie planujemy uzyskania wysokich plonów miskanta i uprawa jest niskonakładowa, z nawożenia można zrezygnować. W przeciwnym wypadku, w zależności od zasobności gleby, zalecane jest na 1 ha 30–90 $kg\ P_2O_5$ i 80–120 $kg\ K_2O$ [Kozak 2006a].

Himken i in. [1997] zaobserwowali podczas wegetacji, powiązane ze sobą, zmiany w zawartości poszczególnych składników pokarmowych w rhizomach i pędach. Koncentracja azotu w pędach była najwyższa na początku sezonu wegetacyjnego, podczas

wegetacji ulegała zmniejszeniu, a wyraźnie spadała w czasie zasychania pędów. W rhizomach natomiast zawartość azotu obniżała się w czasie wzrostu pędów, a od sierpnia do lutego jego koncentracja wzrastała. Maksymalne zawartości fosforu i magnezu w pędach notowano w sierpniu, a potasu w lipcu, w kolejnych miesiącach ulegały one zmniejszeniu. Zawartość fosforu, potasu i magnezu w rhizomach malała od początku sezonu wegetacyjnego, następnie między sierpniem a listopadem wzrastała, by pozostać na w miarę stałym poziomie do lutego [Himken i in. 1997].

Badania prowadzone przez Kahle i in. [2001] z 4–9-letnim miskantem, w czterech zakładach doświadczalnych na terenie Niemiec, w latach 1994–1999, wykazały, że z 1 ha można uzyskać od 14,8–33,5 t s. m. W liściach, łodygach i korzeniach najwyższą koncentrację N, P, K i Mg stwierdzono przed zbiorem roślin. W biomacie miskanta zbieranego w lutym lub marcu, zawartość składników pokarmowych obniżyła się o 61% (N), 64% (P), 55% (K) i 50% (Mg) w porównaniu do zawartości oznaczonej w październiku. Wysoka koncentracja potasu przyswajalnego w glebie powoduje, że miskant zwiększa przepływ składników pokarmowych w kierunku gleba – roślina. W wyniku opadania dużej masy liści oraz dużej masy korzeniowej w glebach piaszczystych wzrosła zawartość węgla organicznego średnio o $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i azotu ogólnego średnio o $0,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zwiększyło to ilość substancji organicznej, w wierzchniej warstwie gleby o $11,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Uprawa miskanta wpływała też na jakość substancji organicznej, zwiększając w niej zawartość alkanów, alkenów i wolnych kwasów tłuszczowych.

Kalembasa i in. [2005] stosując nawożenie 60 kg N , 50 kg P i $100 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$, wykazali, że całkowita zawartość siarki w pięciu klonach miskanta zmniejszała się proporcjonalnie w miarę wzrostu roślin. Próby pobierano w pierwszej dekadzie czerwca, lipca, sierpnia, września i października. Wykazano, że rośliny na początku czerwca zawierały $1,67 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s. m., a pod koniec września tylko $0,50 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s. m. Średnia zawartość we wszystkich klonach wynosiła $0,91 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$ s. m. Natomiast zawartość manganu [Kalembasa i in. 2004] zwiększała się podczas wegetacji.

Badania Wyżgolik i in. [2006a] nad jednorocznymi i sześciolletnimi roślinami miskanta wykazały, że zawartość azotu i fosforu w roślinach powiązana jest z wiekiem plantacji. W roślinach jednorocznych zawartość azotu w suchej masie liści wynosiła $23 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w sześciolletnich $34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość azotu azotanowego w liściach sześciolletniej plantacji obniżała się z $25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w październiku do $17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na wiosnę. Najwyższą zawartość składników pokarmowych w roślinach odnotowano podczas intensywnego wzrostu. Wraz z dojrzewaniem pędów i ich zamieraniem składniki pokarmowe przenoszone są ze starszych części roślin do rhizomów lub są wymywane [Wyżgolik i in. 2006].

Największe straty fosforu zanotowano w liściach – zawartość tego składnika w opadłych liściach po zimie była ok. 18 razy niższa niż w okresie intensywnego wzrostu (czerwiec). Podobne zależności obserwowano w przypadku bilansu potasu. Znacznie niższe ilości składników pokarmowych były wymywane z pędów – zawartość fosforu spadała trzykrotnie, a potasu prawie ośmiokrotnie. Również magnez był intensywnie wymywany z opadłych liści, jego ilość w okresie, od czerwca 2003 r. do lipca 2004 r., zmniejszała się sześciokrotnie. Wymywanie wapnia nie było duże, jego zawartość od czerwca do wiosny roku następnego spadła mniej niż dwukrotnie [Wyżgolik i in. 2006].

Badania nad pobieraniem metali ciężkich przez miskant wykazały, że najintensywniej kumulowany jest cynk. W pędach jednorocznych roślin jego zawartość wynosiła $148 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy, a w liściach była 3 razy niższa. W pędach i liściach roślin z sześciolletniej plantacji kształtowała się na poziomie $28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Także zawartość kadmu i ołowiu była wyższa w pędach niż w liściach. Zawartość metali ciężkich w roślinach z sześciolletniej plantacji była niższa niż w jednorocznych. Dowodzi to, że rośliny miskanta nie mają zdolności do intensywnej akumulacji metali ciężkich w częściach nadziemnych [Wyżgolik i in. 2006].

Jeżowski i in. [2006] wykazali natomiast, że korzenie i rhizomy triploidalnych kłonów miskanta charakteryzowały się wyższą zawartością chromu, niklu i miedzi niż liście i źdźbła. Gromadzenie tych pierwiastków może być związane z przemieszczaniem się składników pokarmowych w okresie jesiennym z części nadziemnych rośliny do podziemnych. Akumulacja metali ciężkich w korzeniach i rhizomach jest zjawiskiem korzystnym, ponieważ w przypadku spalania biomasy nadziemnej metale te nie są uwalniane do atmosfery.

Jak wykazały badania Kozaka i in. [2006b], wysokie dawki metali ciężkich (kadmu, ołowiu i miedzi) wpływały negatywnie na rozwój roślin miskanta, plon świeżej i suchej masy, a także na wysokość i grubość pędów. Najniższy plon świeżej i suchej masy oraz najmniejszą średnicę pędów stwierdzono na kombinacji, gdzie zastosowano najwyższą dawkę kadmu wynoszącą $4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wzrost dawek wszystkich wyżej wymienionych metali ciężkich powodował stopniowy spadek plonu świeżej i suchej masy, podobne wyniki otrzymali Arduini i in. [2006].

Jeżowski i in. [2007] stwierdzili, że o plonowaniu miskanta decyduje przede wszystkim stadium rozwoju roślin oraz ich rozkrzewienie i średnica kępy.

Zbiory miskanta olbrzymiego mogą przypadać w 2 terminach: jesienią od października do listopada (a nawet przy sprzyjających warunkach w niektórych latach w I dekadzie grudnia), kiedy rośliny zakończą swoją wegetację lub zimą od lutego do marca, jeszcze przed rozpoczęciem wegetacji. Plon i jakość uzyskiwanej do spalania biomasy uwarunkowane są terminem zbioru [Lewandowski i in. 2000, Jeżowski 2004].

Zawartość suchej masy w zebranej jesienią biomase kształtuje się w przedziale 35 – 45%, a przy zbiorze zimowym wynosi od 60 do 70% [Kozak 2006b]. Jest to związane ze spadkiem zawartości wody w roślinach w okresie zimowym, co ułatwia mechanizację prac i przechowywanie zebranego materiału. Obniżenie plonu suchej masy w okresie zimowym spowodowane jest opadaniem części liści. Spadek plonów rekompensowany jest procentowym wzrostem zawartości, a właściwie koncentracji celulozy, której w liściach jest mało. Drugą przyczyną powodującą spadek plonu części nadziemnej może być jesienna translokacja składników pokarmowych do kłaczy, czego wynikiem jest wzrost ich masy i zmiany w składzie chemicznym. W związku z tym, że to właśnie kłacza decydują o stopniu przezimowania, roślina gromadzi w nich związki osmotycznie czynne obniżające wrażliwość na niskie temperatury [Roszewski 1996].

Uzyskiwany plon suchej masy jest istotnie zależny od wieku plantacji oraz terminu zbioru i waha się w szerokich granicach, w zależności od stanowiska, nawożenia i użytego materiału sadzonkowego (kłacza, sadzonki *in vitro*), bo od 1 do 3 ton z ha w pierwszym roku uprawy (rok założenia plantacji), a rośliny uzyskują wysokość około 2 m, do 8–15 ton w drugim, a ich wysokość przekracza 3 metry [Ercoli i in. 1999, Clifton-

-Brown i in. 2000]. Od trzeciego roku uprawy rośliny wchodzą w okres pełnego użytkowania i plony osiągają wysokość 25–30 t·ha⁻¹ suchej masy [Ercoli i in. 1999, Clifton-Brown i Lewandowski 2002, Lewandowski i in. 2000].

Miskant charakteryzuje się wysokim poziomem asymilacji, sięgającym nawet 85 kg CO₂·ha⁻¹·h⁻¹, a plony przy nawadnianiu osiągają wartość aż 28–38 t ha⁻¹ [Danalatos i in. 2007].

Plon ze zbioru jesiennego jest wyższy niż ze zbioru wiosennego – różnice mogą wynosić od 14 do 30% [Clifton-Brown i Lewandowski 2002]. Wadą jesiennego terminu zbioru jest nie tylko wyższa wilgotność pozyskanej biomasy, ale również wyższy wnos składników pokarmowych z pola [Lewandowski i Heinz 2003].

Podczas spoczynku zimowego rośliny zrzucają liście, co powoduje wypłukanie, przede wszystkim, potasu do gleby [Kahle i in. 2001]. Konsekwencją tego procesu jest redukcja zawartości sodu i potasu w słomie miskanta, a tym samym po spaleniu w popiele [Clifton-Brown i Lewandowski 2002]. Biomasa o najlepszej jakości na cele energetyczne uzyskujemy, decydując się na zbiór zimowo-wiosenny. Opóźnienie zbioru skutkuje obniżeniem wilgotności biomasy średnio o jedną trzecią, a także redukcją zawartości chloru, którego obecność w biomacie może powodować emisje chlorowodoru i dioksyn [Lewandowski i Kicherer 1997, Clifton-Brown i Lewandowski 2002].

Według badań przeprowadzonych przez Lewandowski i in. [2003a], w pięciu krajach Europy, opóźnienie terminu zbioru skutkowało obniżeniem zawartości popiołu średnio o 28% w Portugalii i Wielkiej Brytanii, o 42% w Niemczech, o 50% w Szwecji i o 54% w Danii. Udział liści w biomacie zebranej zimą był niższy od ich udziału w zbiorze jesiennym średnio o 12%. Rezultaty te potwierdziły wcześniejsze badania Lewandowski³ jej i Kircherera [1997], którzy wykazali, że liście miskanta charakteryzują się wyższą zawartością popiołu niż pędy. Udział azotu w biomacie ze zbioru zimowego był niższy niż ze zbioru jesiennego. Średnia koncentracja siarki w biomacie była najwyższa w Danii i Portugalii, odpowiednio 0,63 g·kg⁻¹ i 0,75 g·kg⁻¹, w pozostałych krajach Europy (Niemczech, Wielkiej Brytanii i Szwecji) zawartość tego pierwiastka wynosiła od 0,46 do 0,51 g·kg⁻¹ [Lewandowski i in. 2003a].

Przeprowadzone w Irlandii badania przez Clifton-Brown i in. [2007], na szesnastoletniej plantacji, wykazały, że wnos składników pokarmowych przy zbiorze jesiennym kształtował się następująco: 145 ± 9,4 kg N·ha⁻¹, 23 ± 1,1 kg P·ha⁻¹ i 111 ± 9,9 kg K·ha⁻¹. Przesunięcie terminu zbioru na marzec obniżyło wnos składników pokarmowych z biomasa do poziomu: 51 ± 6,1 kg N·ha⁻¹, 8,3 ± 0,7 kg P·ha⁻¹ i 42 ± 7,9 kg K·ha⁻¹. Średnie plony z 15 lat kształtowały się następująco: 13,4 ± 1,1 s. m. ha⁻¹·rok⁻¹ dla zbiorów jesiennych i 9,0 ± 0,7 s. m. ha⁻¹·rok⁻¹ przy zbiorze zimowym.

Rośliny uprawiane na cele energetyczne ograniczają emisję węgla przez zastępowanie nimi paliw kopalnych i akumulację węgla w glebie. Szacunkowo określone zmniejszenie emisji węgla przez piętnastoletnią uprawę miskanta (sumując glebową materię organiczną i podziemną biomasa roślin, gdzie węgiel został zakumulowany) wahało się od 5,2 do 7,2 t C·ha⁻¹·rok⁻¹, zależnie od terminu zbioru [Clifton-Brown i in. 2007].

W Europie Zachodniej zbiór biomasy przeprowadza się za pomocą silosokombajnów rolujących lub silosokombajnów tradycyjnych. W pierwszym przypadku zebrany i sprasowany materiał roślinny jest zwijany w duże role ważące około 130 kg. Metodą tą można zebrać rośliny z powierzchni 2 ha w ciągu godziny. Maksymalna zawartość

wody przy tym systemie zbioru może wynosić 25%. Zrolowany materiał można z powodzeniem przechowywać na zewnątrz, gdyż tylko zewnętrzna warstwa 10 cm chłonie wodę. Bardziej jednak zalecane jest przechowywanie pod dachem. Kiedy biomasa ma wilgotność powyżej 25% do zbioru, wykorzystuje się silosokombajny rozdrabniające rośliny, 1 m³ takiego materiału waży 70–100 kg. Ten sposób zbioru jest bardziej kosztochłonny, ponieważ zebrana biomasa ma dużą objętość, wzrastają także koszty transportu, dosuszania oraz czasochłonność prac [Roszewski 1996].

Poważnym problemem w czasie zbioru mechanicznego, za pomocą ciężkich maszyn kołowych, jest możliwość uszkodzenia podziemnych kłączy, zwłaszcza przy wyższej wilgotności gleby. Powoduje to w roku następnym spadek plonów nawet o 25%. Aby temu zapobiec, zbiory należy przeprowadzać, gdy gleba jest zamrznięta [Roszewski 1996].

Przy wyborze gatunku rośliny uprawianej na cele energetyczne należy uwzględniać niskie nakłady energetyczne ponoszone przy uprawie, tak aby osiągnąć jak największy dodatni bilans energii [Nonhebel 2002]. Wydajność energii uzyskanej z uprawy miskanta w porównaniu z nakładem energii ponoszonym podczas jego uprawy wynosi ok. 15–20:1 [Lewandowski i Kicherer 1997].

Energię z biomasy roślinnej uzyskuje się najczęściej na drodze pirolizy, zgazowania czy też z bezpośredniego spalania odpowiednio rozdrobnionej lub poddanej granulacji masy. Uzyskanie wysokiej jakości granulatu, np. peletu, uwarunkowane jest jakością surowca, która zależy między innymi od zawartości różnych pierwiastków [Borkowska i Lipiński 2007].

Masa popiołu surowego otrzymanego w czasie spalania 1 tony biomasy miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis* Thumb.) wynosiła 52,5 kg·t⁻¹, dla ślazuwca pensylwańskiego i wierzby, było to odpowiednio: 59,5 i 31,5 kg·t⁻¹ [Kalembasa 2006]. Jakość popiołu ocenia się m.in. na podstawie stosunku masy popiołu surowego do popiołu właściwego. Wartość tego stosunku dla biomasy badanych roślin była zbliżona dla ślazuwca pensylwańskiego (3,72) i miskanta chińskiego (3,58) oraz znacznie niższa dla wierzby (1,85), co wskazuje na dużą ilość krzemionki i węglanów zawartych w popiele surowym. Im szerszy jest ten stosunek, tym więcej w popiele ww. składników. Procentowy udział wybranych makroelementów (P, K, Mg, Na, Ca, S) w popiele trzech analizowanych roślin energetycznych był bardzo zbliżony i wynosił odpowiednio: dla miskanta – 91,9%, ślazuwca – 89,5% i wierzby – 90,8% (zawartość oznaczonych pierwiastków podano w procentach masy popiołu właściwego przyjętej jako 100%) [Kalembasa 2006].

Zawartość makroelementów w popiele właściwym z miskanta oraz ze ślazuwca pensylwańskiego układała się w takim samym szeregu malejących wartości Ca > K > S > Mg > P > Na, a w popiele z wierzby: K > Ca > P > Mg > S > Na. Stosunek P:K:Ca:Mg w popiele analizowanych roślin (gdy P=1) wynosił dla: miskanta 1: 7,43: 8,69: 1,25, ślazuwca 1:3,63:21,7:1,27, wierzby 1:4,43:3,54:0,43. W praktyce rolniczej do nawożenia najbardziej przydatnym wydaje się być popiół z miskanta [Kalembasa 2006].

Badania prowadzone przez Borkowską i Lipińskiego [2007] wykazały, że miskant olbrzymi odznacza się niższą zawartością popiołu surowego i wybranych pierwiastków w biomacie niż miskant cukrowy, z wyjątkiem magnezu, którego wyższą zawartość stwierdzono u miskanta olbrzymiego. Wśród przebadanych roślin: miskanta olbrzymiego, miskanta cukrowego, ślazuwca pensylwańskiego oraz 2 klonów wierzby konopianki – miskant olbrzymi wyróżnił się najniższą zawartością chloru [Borkowska i Lipiński 2007].

Jakość uzyskiwanej biomasy miskanta jest porównywana do biomasy drewna, a zbiór może być prowadzony od jesieni aż do wiosny [Lewandowski i in. 2000]. Zawiera ona jedynie ligniny i celulozę, których fizyczne właściwości decydują o przydatności w budownictwie (płyty grubo- i drobnoziarniste, materiały kompozytowe do poszycia dachów, ramy okienne), w przemyśle celulozowym (papier i opakowania), ogrodnictwie i rolnictwie (substytut torfu, doniczki, ściółka dla koni), przemyśle samochodowym (opony) [Lewandowski 2005, Wyżgolik i in. 2006]. W przyszłości biomasa uzyskana z miskanta stanie się tanim źródłem etanolu i chemikaliów produkowanych na szeroką skalę. Najpierw jednak należy opracować tanią i efektywną metodę konwersji celulozowej biomasy we wspomniane substancje [Lewandowski 2005].

Wartość energetyczna słomy i pelet z miskanata wynosi według różnych autorów od 17, 7 do 19 MJ·kg⁻¹ [Collura i in. 2006, Roszewski 1996], a emisja gazów takich jak: SO₂, NO_x i całkowitego węgla organicznego ze spalinami spełnia europejskie standardy dla kotłów o nominalnej mocy do 300 kW [PN-EN 303-5, 2002]. Jedynie emisja pyłu w obu przypadkach, tj. spalania słomy i pelet nie spełnia standardów, co jest związane z właściwościami surowca. Należy zaznaczyć, że dla pelet te wartości nieznacznie przekraczają normę. Dlatego słoma z miskanta powinna być spalana w dużych elektrociepłowniach, wyposażonych w odpowiednie systemy do oczyszczania spalin. Natomiast pelety wydają się być dobrym surowcem energetycznym do stosowania w kotłach domowych [Collura i in. 2006].

Biomasa miskanta ma stosunkowo niską temperaturę topnienia popiołu (ok. 700°C) [Lewandowski i in. 2000, Monti i in. 2008], co może być związane z jednoczesną obecnością w materiale roślinnym krzemu, potasu i wapnia. Badania przeprowadzone przez Monti'ego i in. [2008] wykazały w liściach wyższą niż w łodygach zawartość krzemu i wapnia, natomiast potas był równomiernie rozdzielony między liście a pędy. Liście miały cztery razy większy stosunek Si:K niż pędy, także stosunek Ca:K był w nich wyższy. W liściach stwierdzono również dwukrotnie wyższą niż w łodygach zawartość popiołu oraz wyższą zawartość glinu, żelaza, azotu i siarki. Zatem opóźnienie terminu zbioru, które skutkuje utratą większości liści, może jednocześnie przyczynić się do wzrostu jakości zbieranej biomasy [Monti i in. 2008].

Słoma miskanta charakteryzuje się dobrymi właściwościami chemicznymi i fizycznymi. Szczególnie po pocięciu na małe odcinki lub zmieleniu ma dobre właściwości sorpcyjne porównywalne ze słomą zbóż i trocinami, o czym świadczą wyniki dotychczasowych badań [Dobrzański i in. 2006, Ercoli i in. 1999]. Pocięta słoma miskanta jako ściółka dla zwierząt może dawać szczególnie dobre efekty dzięki jej zdolnościom do pochłaniania amoniaku i siarkowodoru, co redukuje ilość tych związków w powietrzu w budynkach inwentarskich. Najlepsze efekty w zmniejszaniu emisji tych związków uzyskano dla mieszanki słomy miskanta z trocinami w stosunku 1:1 [Opaliński i in. 2008].

Słoma miskanta może być wykorzystywana również jako składnik strukturalny do ściółki dla zwierząt (trzoda, bydło, drób), kompostów i wermikompostów, a także jako przykrycie w postaci mat, zbiorników z gnojowicą świńską lub bydłą. Stwarza to nowe możliwości wykorzystania słomy miskanta, który dotychczas był preferowany jako źródło odnawialnych surowców energetycznych [Jeżowski 1999].

Rośliny miskanta znalazły zastosowanie w ekocentrum „Sława” (lubuskie) do oczyszczania ścieków w małej przydomowej oczyszczalni. W roku 1995 sprowadzono z Niemiec 100 sadzonek, które posadzono w gruncie. W pierwszym roku na zimę przykryto rośliny 50 cm warstwą słomy. Po dwóch latach dobrze ukorzenione sadzonki wprowadzono do ciągu oczyszczalni przydomowej. Rośliny dorastały do wysokości 4 m, a ścieki po przejściu przez system korzeniowy miskanta uzyskiwały parametry I klasy czystości powierzchniowych wód śródlądowych, czyli mogą znaleźć zastosowanie w hydrobotanicznych oczyszczalniach [Fiedler i in. 1998].

Wieloletnia uprawa zapewnia lepsze warunki rozwoju organizmom bytującym w glebie (gryzonie, dżdżownice, owady), ssakom (królikom, sarnom, lisom i nietoperzom) oraz ptakom. Zbiór zimowy, niska częstotliwość korzystania ze sprzętu oraz niższe dawki nawozów mineralnych ograniczają wyciek azotanów, emisję tlenu azotu i eutrofizację zbiorników wodnych. Oprócz herbicydów stosowanych w pierwszym i drugim roku uprawy miskant nie wymaga zabiegów chemicznej ochrony roślin [Lewandowski 2005].

Metodyka i warunki badań

W latach 2007–2009 w Pawłowicach koło Wrocławia prowadzono badania polowe nad wpływem terminu zbioru, nawożenia potasem i azotem na rozwój, plonowanie, skład chemiczny plonu i wartość energetyczną miskanta olbrzymiego.

Doświadczenie założono w 2004 r. Rhizomy pochodziły z Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie k. Bydgoszczy. Gmina Miejska Czarna Woda leży w południowej części województwa pomorskiego, na zachodnim krańcu Pojezierza Starogardzkiego, w północno-wschodniej części kompleksu leśnego Borów Tucholskich. W warunkach przyrodniczych Czarnej Wody miskant wymarzał i dlatego plantacja została zlikwidowana. Surowe, w porównaniu z Wrocławiem, warunki klimatyczne w Czarnej Wodzie spowodowały selekcję roślin w kierunku zwiększonej odporności na niskie temperatury. W latach 2004–2006 przeprowadzono I serię badań, którą traktowano jako rozpoznawczą, przygotowującą rośliny do pełnego użytkowania.

Ważniejsze elementy agrotechniki I serii badań:

- termin sadzenia: 07.05.2004 r.,
- liczba wysadzonych kłączy na 1 m²: 3 szt.,
- głębokość sadzenia kłączy: 5–10 cm,
- rozstawa rzędów: 70 cm,
- odległość między roślinami w rzędzie: 45 cm,
- liczba wysadzonych kłączy na poletku: 16 szt.,
- nawożenie w kg·ha⁻¹: N – 60, P₂O₅ – 60 (26 kg P·ha⁻¹), K₂O – 100 (83 kg K·ha⁻¹),
- wielkość poletka: 5,04 m².

W latach 2004–2006 chwasty zwalczano punktowo za pomocą herbicydu Roundup 360 SL w dawce 4 dcm³·ha⁻¹.

W latach 2007–2010 przeprowadzono II serię badań. Doświadczenia założono metodą podbloków na trzy czynniki zmienne, którymi w kolejności były:

I. Termin zbioru:

- a – jesienny po zahamowaniu wegetacji – 18.12. 2007 r., 03.12. 2008 r., 15. 12. 2009 r.
- b – zimowy przed ruszeniem wegetacji – 04.03.2008 r., 18.03. 2009 r., 11. 03. 2010 r.

II. Nawożenie w kg K₂O·ha⁻¹:

- 100 (83 kg K·ha⁻¹),
- 150 (124 kg K·ha⁻¹).

Nawożenie w kg N·ha⁻¹:

- 100,
- 150,
- 200.

We wszystkich latach badań wiosną stosowano nawożenie 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ (26 kg P·ha⁻¹). W 2007 r., z powodu niskiego pH gleby, w czerwcu zastosowano nawożenie CaCO₃ w dawce 1,5 t·ha⁻¹.

W latach 2007–2009 dzięki szybkiemu wzrostowi roślin miskanta oraz wojłokowi powstałemu z opadłych liści chemiczne odchwaszczanie było zbyt skuteczne. Na doświadczeniu występowały sporadycznie: komosa biała (*Chenopodium album* L.) i tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris* L.), a z jednoliściennych chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli* L.). Chwasty usuwano ręcznie.

Od momentu ruszenia wegetacji wiosennej, w zależności od przebiegu pogody, I–III dekada kwietnia, prowadzono obserwacje rozwoju roślin, pomiary wysokości roślin oraz monitoring występowania chorób i szkodników. Po zahamowaniu wegetacji na wszystkich poletkach policzono liczbę roślin (karp) i źdźbeł (pędów) oraz określono na 10 pędach z każdego poletka:

- wysokość roślin,
- długość liścia flagowego,
- liczbę węzłów na pędzie,
- średnicę pędu (na wysokości 10 cm od powierzchni gleby).

Na podstawie pomiarów morfologicznych wyliczono średnią długość międzywęzła.

Po zbiorach na każdym poletku określono plon świeżej masy.

Analizy chemiczne wykonano w laboratorium Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin i dotyczyły one następujących oznaczeń:

- sucha masa – metodą suszarkową poprzez suszenie rozdrobnionego materiału roślinnego przez 4 godz. w temp. 105°C,
- popiół surowy – poprzez spalanie materiału roślinnego w temp. 600°C w piecu elektrycznym,
- azot ogólny metodą Kjeldahla,
- zawartość składników mineralnych:
 - ✓ K (fotometria płomieniowa),
 - ✓ P (metoda kolorymetryczna),
 - ✓ Ca (fotometria płomieniowa),
 - ✓ Mg (metoda kolorymetryczna).

Na podstawie wyników analiz chemicznych wyliczono procentową zawartość wody w materiale roślinnym i plon suchej masy. Ponadto obliczono nagromadzenie w biomase miskanta popiołu surowego oraz badanych makroskładników.

Wartość energetyczną biomasy określono w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Badania wykonano w półautomatycznym kalorymetrze KL-10 firmy Precyzja-BIT z Bydgoszczy, który przeznaczony jest do pomiaru ciepła spalania paliw stałych takich jak: torf, węgiel brunatny, węgiel kamienny, brykiety węgla kamiennego i węgla brunatnego, koks, półkoks oraz niewybuchowych palnych substancji organicznych. Metoda pomiaru jest zgodna z wymogami Polskiej Normy (PN-G-04513:1981 „Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i wartości opałowej”).

Jesienny i zimowy zbiór wykonano ręcznie za pomocą piły spalinowej do żywopłotu i piły tarczowej.

Doświadczenia założono na glebie lekkiej, definiowanej jako mada rzeczna bardzo lekka na piasku luźnym i żwirze piaszczystym, należącej do klasy bonitacyjnej V. W latach 2007–2009 r. odczyn pH gleby był bardzo kwaśny, a zasobność gleby w makroskładniki była następująca: P – bardzo wysoka, K – średnia do wysokiej, Mg – bardzo niska.

Warunki pogodowe w latach 2007–2010 były bardzo zróżnicowane – tabele 1–4.

W 2007 r., miskant rozpoczął wegetację pod koniec I dekady kwietnia, jednak z powodu niskiej temperatury powietrza oraz małej sumy opadów, w tym miesiącu aż o 27,8 mm niższych od średnich wieloletnich, rośliny nie rozpoczynały wzrostu (tab. 1). Powolny wzrost nastąpił dopiero na przełomie III dekady kwietnia i I dekady maja. Wzrost temperatury w II dekadzie maja przyspieszył rozwój. Średnie miesięczne temperatury maja, czerwca, lipca i sierpnia były wyższe od średnich z wielolecia odpowiednio o 2,1, 2,3, 0,5, i 1°C, przy sumie opadów miesięcznych w okresie od czerwca do września zbliżonych do średnich, co było korzystne dla wzrostu miskanta (fot. 1).

W sierpniu zaobserwowano stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli źdźbeł. Niska temperatura powietrza (ok. 7°C) w II i III dekadzie października przyczyniła się do ograniczenia fotosyntezy i zahamowania wzrostu roślin. Zahamowanie wegetacji nastąpiło 10 listopada. Wysoka suma opadów w listopadzie spowodowała nadmierne uwilgotnienie gleby, co w połączeniu z dodatnimi temperaturami skutkowało przesunięciem terminu zbioru jesiennego na II dekadę grudnia, po wystąpieniu przymrozków. Zbiór wiosenny przeprowadzono w I dekadzie marca 2008 r.

W 2008 r. początek wegetacji miskanta nastąpił w II dekadzie kwietnia. Średnia temperatura powietrza powyżej 10°C w III dekadzie kwietnia oraz dobre zaopatrzenie roślin w wodę skutkowało bardzo szybkim wzrostem miskanta w maju. Tempo to uległo niewielkiemu spowolnieniu w czerwcu na skutek słabszego zaopatrzenia roślin w wodę – opady w tym miesiącu były niższe od średniej wieloletniej o 25 mm (tab. 2).

Równomierny rozkład opadów, korzystne średnie temperatury lipca i sierpnia sprzyjały intensywnemu wzrostowi roślin (fot. 2).

Stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli zaobserwowano na początku sierpnia 2008 r. Spadek średnich temperatur powietrza do ok. 7°C w III dekadzie października przyczynił się do ograniczenia fotosyntezy i zahamowania wzrostu roślin. Zakończenie wegetacji nastąpiło 21 listopada. Mała suma opadów w listopadzie oraz przymrozki na przełomie listopada i grudnia umożliwiły przeprowadzenie zbioru jesiennego w I dekadzie grudnia.

Tabela 1
Table 1

Średnie miesięczne temperatury powietrza [°C] oraz sumy opadów [mm] w roku 2007 na tle wielolecia
 Mean monthly air temperature [°C] and precipitation sums [mm] in 2007 compared to multi-year data

Miesiąc – Month	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dekada – Decade	Temperatura – Temperature [°C]									
I	6,4	8,4	12,2	18,5	17,4	19,2	13,4	10,7	6,4	6,0
II	6,5	11,7	14,9	21,0	21,5	19,7	12,4	7,1	0,5	0,2
III	6,7	12,6	21,4	18,1	18,9	17,8	12,9	7,2	1,6	-2,7
Średnie miesięczne – Monthly means	6,6	10,9	16,2	19,2	19,2	18,9	12,9	8,3	2,8	1,0
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005	3,7	8,3	14,1	16,9	18,7	17,9	13,3	9,2	3,7	0,2
	Opady – Precipitations [mm]									
I	17,6	0,8	15,3	32,6	47,6	22,6	21,9	0,9	37,1	10,9
II	20,8	1,1	24,5	3,6	25,6	24,5	7,1	12,7	10,0	7,6
III	10,4	0,8	10,5	33,0	19,2	5,7	17,1	8,1	6,8	2,5
Sumy miesięczne – Monthly sums	48,8	2,7	50,3	69,2	92,4	52,8	46,1	21,7	53,9	21,0
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005	31,7	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	32,3	36,6	37,4

Tabela 2
Table 2

Średnie miesięczne temperatury powietrza [°C] oraz sumy opadów [mm] w roku 2008 na tle wielolecia
Mean monthly air temperature [°C] and precipitation sums [mm] in 2008 compared to multi-year data

Dekada – Decade	Miesiąc – Month		Temperatura – Temperature [°C]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
I	-0,7	4,4	5,1	7,2	13,0	20,3	19,6	20,4	18,4	11,0	10,0	3,5		
II	4,3	0,4	4,9	8,2	14,5	16,2	19,2	19,4	10,9	10,6	6,5	3,2		
III	4,8	7,2	3,8	11,2	15,4	20,0	20,7	16,9	10,4	7,3	1,7	-0,1		
Średnie miesięczne – Monthly means	2,9	3,9	4,6	8,9	14,3	18,8	19,8	18,8	13,2	9,6	6,1	2,1		
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005	-1	0,1	3,7	8,3	14,1	16,9	18,7	17,9	13,3	9,2	3,7	0,2		
Opady – Precipitations [mm]														
I	12,1	3,7	18,4	33,7	6,2	3,2	23,5	26	13	3,6	2,6	4,6		
II	20,9	2,2	12,3	41,7	20,4	6,8	29,9	48,2	0,4	11,9	15,9	8,6		
III	23,7	14,5	2,3	11,7	10,7	26,5	12,2	19,8	14,5	25,6	11,1	7,3		
Sumy miesięczne – Monthly sums	56,7	20,4	33	87,1	37,3	36,5	65,6	94	27,9	41,1	29,6	20,5		
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005	31,9	26,7	31,7	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	32,3	36,6	37,4		

Tabela 3
Table 3

Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza [°C] oraz sumy opadów [mm] w roku 2009
Mean monthly air temperature [°C] and precipitation sums [mm] in 2009 compared to multi-year data

Dekada – Decade	Temperatura – Temperature [°C]												
	Miesiąc – Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I		-6,3	1,6	5,7	11,9	13,7	13,9	19,9	20,0	16,7	11,6	3,8	3,7
II		-2,2	-1,9	3,2	11,0	13,7	15,8	19,5	19,2	15,7	5,1	8,0	-5,6
III		1,2	1,2	4,9	13,2	15,2	17,6	19,3	18,9	13,8	7,1	8,6	0,6
Średnie miesięczne – Monthly means		-2,3	0,2	4,6	12,0	14,2	15,8	19,5	19,3	15,4	7,9	6,8	-0,4
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005		-1,0	0,1	3,7	8,3	14,1	16,9	18,7	17,9	13,3	9,2	3,7	0,2
		Opady – Precipitations [mm]											
I		6,0	13,2	7,6	0,1	2,5	12,1	58,2	28,4	3,1	20,7	23,5	19,7
II		18,2	13,0	16,8	0,2	25,8	26,8	55,2	19,4	1,1	39,3	4,2	5,8
III		10,4	20,6	23,9	30,6	39,3	102,8	20,8	5,7	7,8	16,0	4,8	26,4
Sumy miesięczne – Monthly sums		34,6	46,8	48,3	30,9	67,6	141,7	134,2	53,5	12,0	76,0	32,5	51,9
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005		31,9	26,7	31,7	30,5	51,3	59,5	78,9	61,7	45,3	32,3	36,6	37,4

Tabela 4
Table 4

Średnie dekadowe i miesięczne temperatury powietrza [°C]
oraz sumy opadów [mm] w roku 2010
Mean monthly air temperature [°C] and precipitation sum [mm] in 2010
compared to multi-year data

Miesiąc – Month	I	II	III
Dekada – Decade			
Temperatura – Temperature [°C]			
I	-4,7	-4,0	-1,1
II	-2,9	-1,5	3,4
III	-9,7	3,3	10,7
Średnie miesięczne – Monthly means	-5,9	-1,0	4,3
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005	-1,0	0,1	3,7
Opady – Precipitations [mm]			
I	28,7	1,0	0,7
II	7,2	7,3	18,4
III	4,7	2,7	25,8
Sumy miesięczne – Monthly sums	40,6	11,0	44,
Średnie wieloletnie za lata 1976–2005 Multi-year means for 1976–2005	31,9	26,7	31,7



Fot. 1. Miskant olbrzymi – 19.06.2007 roku
Phot. 1. Miscanthus giganteus – 19.06.2007



Fot. 2. Miskant olbrzymi – 30.07.2008 roku
Phot. 2. Miscanthus giganteus – 30.07.2008

Wysoka suma opadów oraz zmienna temperatura w lutym 2009 r. spowodowały, że wykonanie zimowego zbioru miskanta było możliwe dopiero po ustabilizowaniu się pogody w II dekadzie marca 2009 r. (tab. 3).

Początek wegetacji w 2009 r. miał miejsce dopiero w III dekadzie kwietnia (fot. 3). Opóźnienie to prawdopodobnie było spowodowane tym, że karpys miskanta były pokryte warstwą liści, które opadały z pędów pozostawionych do zbioru zimowego, co izolowało rośliny od wpływu czynników atmosferycznych. Natomiast równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury maja oraz I i II dekady czerwca (tab. 3) sprzyjały dobremu rozwojowi roślin i ich intensywnemu wzrostowi.

W III dekadzie czerwca oraz I i II dekadzie lipca występowały bardzo niekorzystne zjawiska pogodowe – ulewne burze połączone z silnym wiatrem, sumy miesięczne opadów w tych miesiącach przekroczyły średnie wieloletnie odpowiednio o 82,2 i 54,3 mm (tab. 3). Spowodowało to pochylanie się całych kęp i pędów pod ciężarem mokrych liści, a nawet ich łamanie.

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury III dekady lipca oraz I i II dekady sierpnia sprzyjały rozwojowi roślin i ich intensywnemu wzrostowi. Wysoka temperatura powietrza we wrześniu oraz w I dekadzie października przedłużyły wegetację roślin mimo niewielkich opadów w tym okresie.

Stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli źdźbeł zaobserwowano w sierpniu 2009 r.



Fot. 3. Miskant olbrzymi, początek wegetacji wiosną – 28.04.2009 roku
Phot. 3. Miscanthus giganteus, start to spring vegetation – 28.04.2009



Fot. 4. Miskant olbrzymi przed zbiorem jesiennym – 15.12.2009 roku
Phot. 4. Miscanthus giganteus before autumn harvest – 15.12.2009

Spadek temperatury powietrza do 5,1°C w II dekadzie października zahamował fotosyntezę, a tym samym również wzrost roślin. Zahamowanie wegetacji miało miejsce 3 listopada. Duże sumy opadów w III dekadzie listopada i I dekadzie grudnia (tab. 3) nadmiernie uwilgotniły glebę, co skutkowało przesunięciem terminu zbioru jesiennego na II dekadę grudnia po wystąpieniu przymrozków (fot. 4). W 2010 r. styczeń i luty były mroźne, a suma opadów w styczniu bardzo wysoka (tab. 4), co w połączeniu z niskimi temperaturami spowodowało, że śnieg zalegał do początku marca. Zbiór zimowy wykonano na początku II dekady marca.

W latach 2007–2009 prowadzono monitoring występowania szkodników i chorób na miskancie olbrzymim (*Miscanthus x giganteus*). Badania wykonali pracownicy Katedry Ochrony Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

We wszystkich latach badań notowano niewielkie liczebności fitofagów. W większym nasileniu występowały mszyce: czeremchowo-zbożowa (*Rhopalosiphum padi* L.) oraz różano-trawowa (*Metopolophium dirhodum*) Walk i przyłżeńce: *Frankliniella tenuicornis* Uzel., *Haplothrips aculeatus* Fabricius. W sumie, liczebność zaobserwowanych na doświadczeniu mszyc i przyłżeńców nie przekraczała kilkuset sztuk.

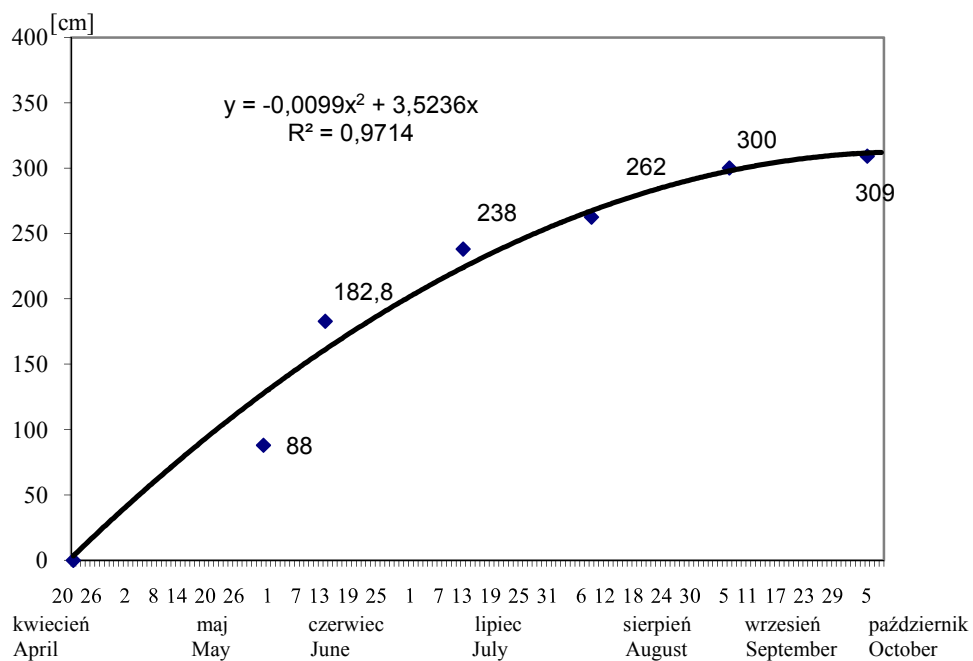
Inne fitofagi takie jak: tasznikowate, skrzypionka zbożowa, skrzypionka błękitka, występowały w mniejszym nasileniu. Sporadycznie stwierdzano również obecność pchełek i ślimaków oskorupionych bądź uszkodzeń przez nie powodowanych. Należy stwierdzić, że żaden z fitofagów nie występował na tyle licznie, aby ograniczał rozwój miskanta olbrzymiego.

W latach 2007–2009 stwierdzono na liściach miskanta występowanie w małym nasileniu *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl, a w roku 2009 pojawił się egzotyczny grzyb *Stagonospora tainanensis* W.H. Hsieh.

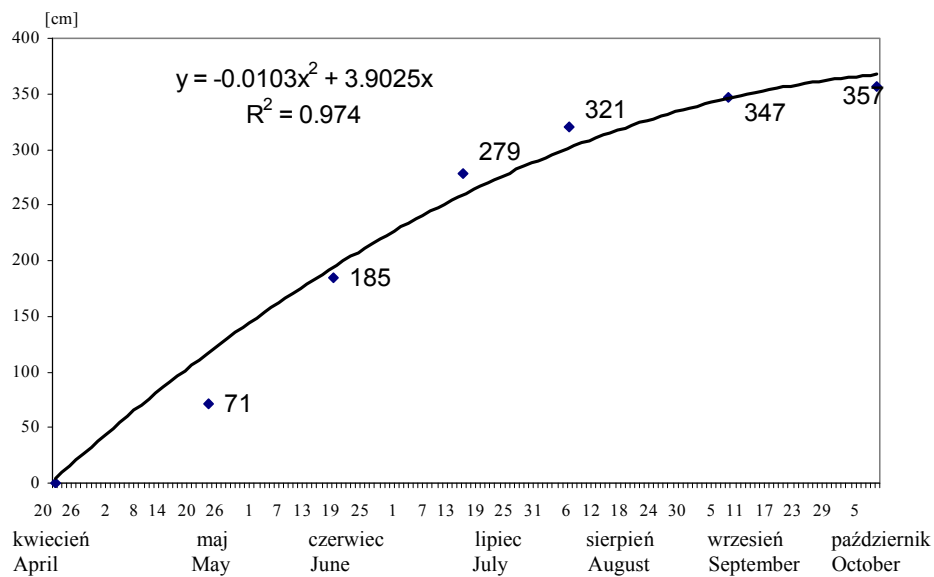
Wyniki badań i dyskusja

Żaden z badanych czynników nie miał istotnego wpływu na wzrost miskanta podczas wegetacji i dlatego uśrednione, w poszczególnych latach, pomiary posłużyły do opisanego wzrostu jako funkcji czasu. Należy zaznaczyć, że od rozpoczęcia wegetacji do końca lipca miskant osiągał 80–90% końcowej wysokości (rys. 1–3). W dwuletnich doświadczeniach greckich, gdzie rośliny były nawadniane co 6–7 dni, pędy miskanta przyrastały średnio 3 cm na dobę w okresie od ich pojawienia się w maju do końca czerwca, osiągając wysokość 170 cm, w kolejnych miesiącach codzienne przyrosty były niższe (od 0,5 do 1,0 cm), aż do sierpnia, kiedy to pędy osiągnęły wysokość maksymalną – w 1 roku 233 cm, a w 2 roku 323 cm [Danalatos i in. 2007].

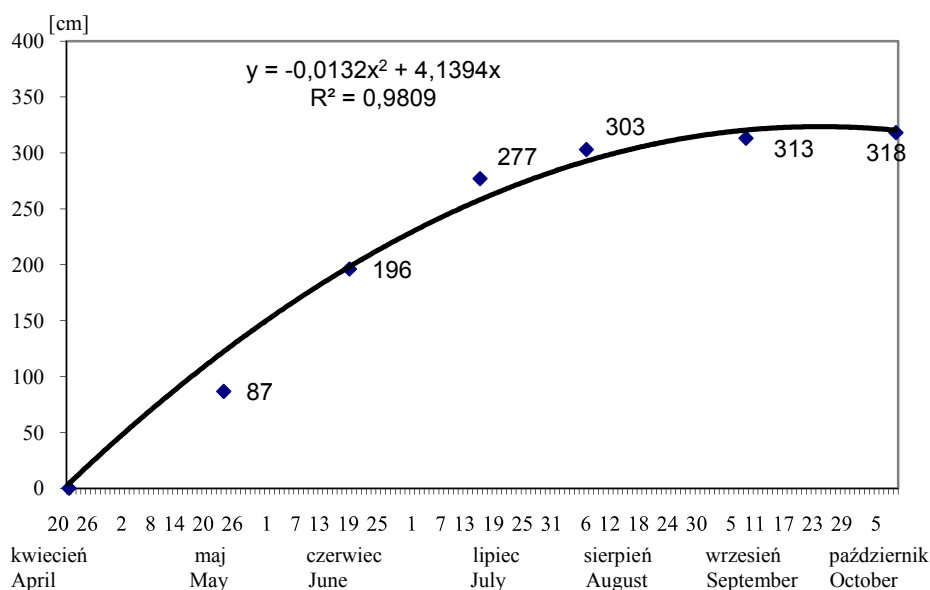
W odniesieniu do liczby karp i pędów na 1 m² oraz liczby pędów w 1 karpie nie wykazano współdziałania badanych czynników. Liczba pędów na 1 m² zależała od terminu zbioru i nawożenia potasem (tab. 5). Natomiast liczba pędów w jednej karpie kształtowała się pod wpływem układu warunków wilgotnościowo-termicznych i nawożenia potasem. W warunkach Grecji liczba wytworzonych pędów na 1 m², w okresie od pojawienia się ich w maju do czerwca, w 1 roku wynosiła 80–85, a w 2 roku 90–100, później stopniowo malała do 75 [Danalatos i in. 2007]. Jeżowski i in. [2007] stwierdzili, że o plonowaniu miskanta decyduje przede wszystkim faza rozwoju roślin oraz ich rozkrzewienie i średnica kępy.



Rys. 1. Wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2007 r.
 Fig. 1. Growth of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2007



Rys. 2. Wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2008 r.
 Fig. 2. Growth of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2008



Rys. 3. Wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2009 r.

Fig. 3. Growth of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2009

Tabela 5

Table 5

Zagęszczenie roślin miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) przed zbiorem jesiennym (średnie dla czynników i lat)

The increase of density of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after vegetation stop (means for factors and years)

Termin zbioru Harvest date	Dawka – Dose [kg·ha ⁻¹]		Liczba na 1 m ² Number of [per 1 m ²]		Liczba pędów w 1 karpie Number of shoots in one rhizome
	K ₂ O	N	karp rhizomes	pędów shoots	
jesienny – autumn			2,03	47,7	24,4
zimowy – winter			2,13	52,8	24,9
NIR – LSD (α = 0,05)			r.n. – n.s.	3,7	r.n. – n.s.
	100		2,05	53,0	26,6
	150		2,11	47,5	22,7
NIR – LSD (α = 0,05)			r.n. – n.s.	2,6	1,8
		100	2,01	49,0	24,7
		150	2,13	50,1	24,2
		200	2,09	51,6	25,1
NIR – LSD (α = 0,05)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years		2007	2,14	49,7	23,0
		2008	2,13	49,9	23,9
		2009	1,97	51,2	27,1
NIR – LSD (α = 0,05)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	3,0

r.n. – n.s. różnica nieistotna – no significant difference

Nawożenie potasem i azotem nie miało wpływu na wysokość roślin, liczbę węzłów na 1 pędzie, średnią długość międzywęzła, długość liścia flagowego i średnicę pędu (tab. 6). Przebieg pogody różnicował natomiast wysokość roślin, liczbę węzłów na 1 pędzie, długość międzywęzła i średnicę pędu. Rośliny ze zbioru zimowego, w porównaniu z jesiennym, wykształcały mniej węzłów na pędzie, krótszy liść flagowy i większą średnicę pędu.

Wyniki badań własnych wskazują, że plon suchej masy zależał od terminu zbioru, nawożenia azotem i przebiegu pogody podczas wegetacji. Plon suchej masy ze zbioru zimowego był w porównaniu ze zbiorem jesiennym o 9,5% niższy, z powodu opadania liści w okresie jesienno-zimowym, jednak świeża masa zawierała o 16,8% mniej wody i miała wyższą o ponad 33% wartość energetyczną wyrażoną w $\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$, natomiast niższą w przeliczeniu na 1 ha (tab. 7).

Wielu autorów [Lewandowski i in. 2000, Jeżowski 2004] twierdzi, że plon i jakość uzyskiwanej do spalenia biomasy uwarunkowane są terminem zbioru. Plon ze zbioru jesiennego jest wyższy niż ze zbioru wiosennego – straty mogą wynosić od 14 do 30% [Clifton-Brown i Lewandowski 2002]. Wadą jesiennego terminu zbioru jest nie tylko wyższa wilgotność pozyskanej biomasy, ale również większy wnos składników pokarmowych z pola [Lewandowski i Heinz 2003].

Lewandowski i Kicherer [1997] wykazali, że zapotrzebowanie miskanta na potas wynosi od 4 do 8 $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$ suchej masy, jednak nawożenie tym pierwiastkiem nie wpłynęło na wysokość plonów, co mogło być spowodowane dużą zasobnością gleby w ten składnik. Wyniki badań własnych dowodzą, że nawożenie potasem nie miało wpływu na plon i jego wydajność energetyczną.

Nawożenie azotem w dawce od 100 do 150 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało wzrost plonów suchej masy na granicy błędu statystycznego, dlatego na glebach lekkich nawożenie azotem w dawce 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ jest wystarczające (tab. 7). Według wielu autorów [Lewandowski i in. 2000, Himken i in. 1997] potrzeby nawozowe miskanta może zaspokoić dawka 50–70 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ zastosowana wiosną na początku wypuszczania nowych pędów przez rośliny. Według Kaacka i Schwarza [2001] stosowanie wysokich dawek azotu w uprawie *M. x giganteus* (powyżej 75 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) może skutkować wzmocnionym wyleganiem pędów miskanta, zwłaszcza na stanowiskach nieosłoniętych od wiatru. W badaniach własnych nie stwierdzono wylegania roślin pod wpływem nawożenia azotem.

W Rothamsted we wschodniej Anglii, po 13 latach badań, nie stwierdzono wpływu nawożenia azotem na liczbę pędów, ich wysokość i wielkość uzyskiwanego plonu [Christian i in. 1997, 2008]. Christian i in. [2008] podczas 14-letnich badań nie wykazali wpływu nawożenia azotem na wysokość plonu miskanta i dlatego uważają, że nie ma potrzeby stosowania tego makroskładnika. Natomiast badania nad miskantem prowadzone na glebie piaszczystej, ubogiej w azot, wykazały korzystny wpływ nawożenia tym pierwiastkiem na plonowanie [Christian i in. 2008].

Cechy morfologiczne miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)
po zahamowaniu wegetacji jesienią (średnie dla czynników i lat)
Morphological features of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after vegetation stop
(means for factors and years)

Termin zbioru Harvest date	Dawka – Dose [kg·ha ⁻¹]		Wysokość roślin Height of plants [cm]	Liczba węzłów Number of nodes [szt.]	Długość międzywęzli Length of internodes [cm]	Długość liścia flagowego Length of a flag leaf [cm]	Średnica pędu Shoot diameter [cm]
	K ₂ O	N					
jesienny autumn zimowy winter			332	14,1	24,1	46,7	10,3
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			r.n. – n.s.	0,5	r.n.	1,3	0,2
	100		326	13,8	24,1	44,9	10,5
	150		331	13,7	24,4	46,0	10,6
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
		100	330	13,7	24,4	45,6	10,6
		150	325	13,8	24,1	45,4	10,5
		200	331	13,8	24,3	45,4	10,6
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
lata years		2007	309	11,8	26,2	44,9	10,0
		2008	358	14,2	25,7	45,8	10,4
		2009	318	15,3	20,9	45,7	11,3
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			4	0,6	0,6	r.n. – n.s.	0,2

r.n. – n.s. – różnica nieistotna – no significant difference

Tabela 7
Table 7

Plony świeżej i suchej masy, zawartość wody w świeżej masie oraz wartość energetyczna plonu miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) (średnie dla czynników i lat)
Green matter and dry matter yield, water content in the green matter and energy value of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. yield (means for factors and years)

Termin zbioru Harvest date	Dawka – Dose [kg·ha ⁻¹]		Świeża masa – Green matter				Sucha masa – Dry matter		
	K ₂ O	N	plon yield [t·ha ⁻¹]	zawartość wody water content [%]	wartość energetyczna energy value		plon yield [t·ha ⁻¹]	wartość energetyczna energy value	
					[GJ·t ⁻¹]	[GJ·ha ⁻¹]		[GJ·ha ⁻¹]	[toe*·ha ⁻¹]
jesienny autumn	100	100	52,7	45,2	9,84	509	28,3	509	12,1
		150	49,6	46,0	9,69	476	26,5	476	11,4
		200	54,9	46,3	9,64	522	29,1	522	12,5
	150	100	51,7	45,3	9,82	503	28,0	503	12,0
		150	54,8	44,7	9,93	537	29,9	537	12,8
		200	52,3	45,4	9,82	509	28,3	509	12,1
zimowy winter	100	100	32,4	27,7	13,23	429	23,4	429	10,2
		150	40,6	30,9	12,64	510	27,9	510	12,2
		200	40,4	28,2	13,14	529	28,9	529	12,7
	150	100	33,6	27,4	13,29	442	24,2	442	10,6
		150	35,8	28,8	13,03	465	25,4	465	11,1
		200	33,5	29,3	12,93	433	23,7	433	10,3
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			3,8	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	42	2,3	42	1,0
Średnie dla czynników – Means for factors									
jesienny autumn			52,7	45,5	9,79	509	28,3	509	12,2
zimowy winter			36,1	28,7	13,04	468	25,6	468	11,2
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			2,0	1,7	0,30	22	1,2	22	0,5
	100		45,1	37,4	11,36	496	27,4	496	11,8
	150		43,6	36,8	11,47	481	26,6	481	11,5
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
		100	42,6	36,4	11,54	471	26,0	471	11,2
		150	45,2	37,6	11,32	497	27,4	497	11,9
		200	45,3	37,3	11,38	498	27,5	498	11,9
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			1,9	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	21	1,2	21	0,5
Lata Years	2007/2008		36,8	34,0	11,98	432	23,9	432	10,3
	2008/2009		46,9	36,9	11,46	522	28,8	522	12,5
	2009/2010		49,3	40,5	10,81	511	28,2	511	12,2
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			2,5	2,0	0,37	27	1,4	27	0,6

r.n. – n.s. – różnica nieistotna – no significant difference

kaloryczność suchej masy 1 t miskanta zbiór: jesienny – 17,97 GJ, zimowy – 18,30
dry mass caloric value of 1 t *Miscanthus*, crop: autumn – 17.97 GJ, winter – 18.30

* toe – ton of oil equivalent – ekwiwalent ropy (paliwo o kaloryczności 41,87 GJ·t⁻¹)

Tabela 8
Table 8

Skład chemiczny biomasy miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)
(średnie dla czynników i lat)
Chemical content of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. biomass [%]
(means for factors and years)

Termin zbioru Harvest date	Dawka – Dose [kg·ha ⁻¹]		Popiół surowy Crude ash	N	P	K	Ca	Mg
	K ₂ O	N						
jesienny autumn	100	100	2,35	0,44	0,05	0,25	0,07	0,17
		150	2,35	0,43	0,05	0,26	0,07	0,19
		200	2,33	0,46	0,04	0,24	0,07	0,18
	150	100	2,33	0,42	0,06	0,29	0,09	0,17
		150	2,37	0,43	0,05	0,30	0,07	0,18
		200	2,39	0,47	0,05	0,32	0,07	0,18
zimowy winter	100	100	1,68	0,33	0,03	0,17	0,05	0,16
		150	1,69	0,34	0,03	0,17	0,04	0,15
		200	1,72	0,31	0,03	0,17	0,05	0,15
	150	100	1,80	0,34	0,04	0,18	0,05	0,15
		150	1,81	0,34	0,04	0,18	0,05	0,15
		200	1,82	0,35	0,04	0,20	0,05	0,15
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			0,04	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Średnie dla czynników – Means for factors								
jesienny autumn			2,35	0,44	0,05	0,28	0,08	0,18
zimowy winter			1,75	0,34	0,03	0,18	0,05	0,15
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	r.n. – n.s.
	100		2,02	0,39	0,04	0,21	0,06	0,17
	150		2,09	0,39	0,04	0,25	0,07	0,16
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			0,01	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	0,01	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
		100	2,02	0,38	0,04	0,22	0,07	0,16
		150	2,06	0,39	0,04	0,23	0,06	0,17
		200	2,07	0,40	0,04	0,23	0,06	0,17
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Lata – Years 2007/2008			1,69	0,34	0,03	0,12	0,06	0,17
2008/2009			2,04	0,43	0,06	0,25	0,05	0,17
2009/2010			2,43	0,40	0,04	0,32	0,07	0,16
NIR – LDS ($\alpha = 0,05$)			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	r.n. – n.s.

r.n. – n.s. – różnica nieistotna – no significant difference

Tabela 9
Table 9

Wynos popiołu surowego i makroskładników w [kg·ha⁻¹] z biomasy miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) (średnie dla czynników i lat)
The content of crude ash and macro-elements in *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. biomass [kg·ha⁻¹] (means for factors and years)

Termin zbioru Harvest date	Dawka Dose K ₂ O [kg·ha ⁻¹]	Dawka Dose [N kg·ha ⁻¹]	Popiół surowy Crude ash	N	P	K	Ca	Mg
jesienny autumn	100	100	674	125	13,7	75,2	20,8	47,7
		150	626	115	14,1	68,4	19,4	50,7
		200	683	135	12,9	71,1	20,4	53,3
	150	100	656	118	16,2	82,3	24,3	47,4
		150	713	130	14,7	92,5	22,0	54,5
		200	675	132	12,8	88,8	20,8	51,0
zimowy winter	100	100	400	79	6,8	40,8	11,7	37,5
		150	487	96	8,9	51,4	11,7	42,8
		200	513	92	9,7	51,7	14,5	43,7
	150	100	441	83	10,2	45,4	13,0	35,4
		150	463	88	9,0	48,1	13,2	38,2
		200	428	84	8,5	46,0	12,3	34,9
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			51	10	r.n. – n.s.	5,5	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.
Średnie dla czynników – Means for factors								
jesienny autumn			671	126	14,1	79,7	21,3	50,8
zimowy winter			455	87	8,9	47,2	12,7	38,8
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			26	5	0,5	2,7	0,8	2,1
	100		564	107	11,0	59,8	16,4	45,9
	150		563	106	11,9	67,2	17,6	43,6
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	3,8	1,1	r.n. – n.s.
		100	543	101	11,7	60,9	17,4	42,0
		150	572	107	11,7	65,1	16,5	46,5
		200	575	111	11,0	64,4	17,0	45,7
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			25	5	0,6	2,8	r.n. – n.s.	2,1
Lata Years	2007/2008		410	82	7,0	28,1	14,7	39,9
	2008/2009		592	125	17,4	71,6	15,4	50,2
	2009/2010		688	112	10,1	90,7	20,9	44,2
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)			32	6	0,7	3,4	1,0	2,6

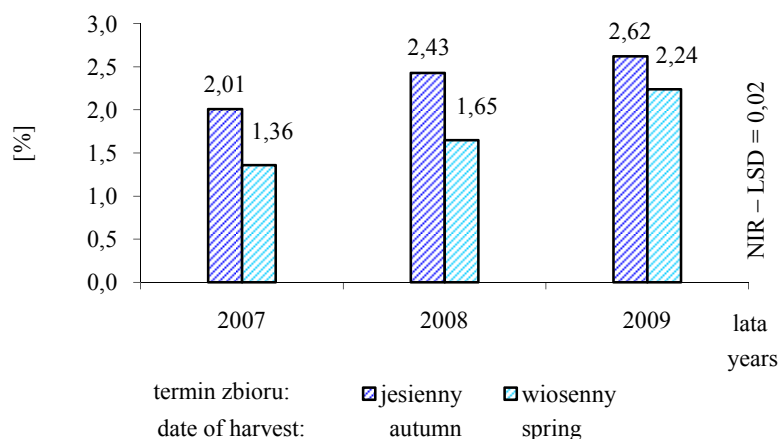
r.n. – n.s. – różnica nieistotna – no significant difference

Zawartość popiołu surowego i wszystkich badanych makroskładników w biomase mискanta była wyższa, ze zbioru jesiennego w porównaniu z zimowym (tab. 8). Według badań przeprowadzonych przez Lewandowski i in. [2003a], w pięciu krajach Europy, opóźnienie terminu zbioru skutkowało obniżeniem zawartości popiołu średnio o 28% w Portugalii i Wielkiej Brytanii, o 42% w Niemczech, o 50% w Szwecji i o 54% w Danii. Badania prowadzone przez Kahle i in. [2001] z 4–9-letnim mискantem, w czterech zakładach doświadczalnych na terenie Niemiec, w latach 1994–1999, wykazały, że z 1 ha można uzyskać od 14,8 do 33,5 t s. m. W liściach, łodygach i korzeniach najwyższą koncentrację N, P, K i Mg stwierdzono przed zbiorem roślin. W biomase mискanta zbiór wykonany w lutym lub marcu obniżał zawartość składników pokarmowych o 61% (N), 64% (P), 55% (K) i 50% (Mg) w porównaniu do koncentracji oznaczonej, pod koniec wegetacji, w październiku. W badaniach własnych zawartość N, P, K, Ca i Mg w biomase pochodzącej ze zbioru zimowego w porównaniu ze zbiorem zimowym obniżyła się odpowiednio o 23, 40, 36, 38 i 17%.

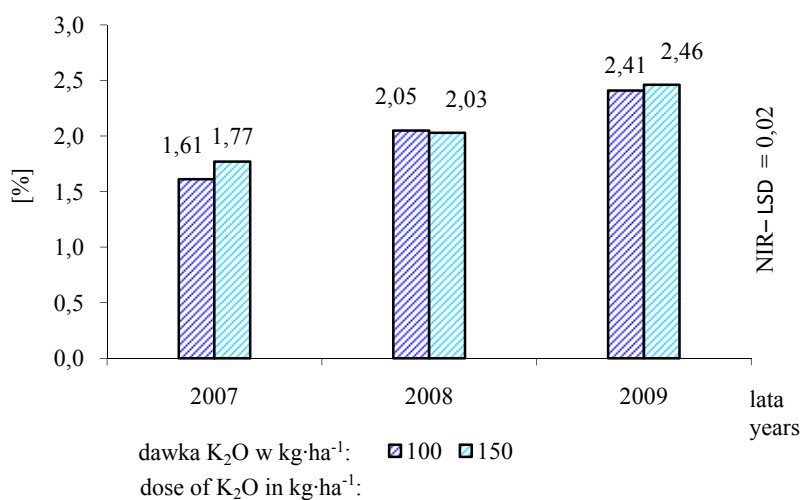
Nawożenie potasem w dawce 150 kg K₂O·ha⁻¹, w stosunku do 100 kg K₂O·ha⁻¹, zwiększyło istotnie w biomase zawartość popiołu surowego i potasu (tab. 8).

Nawożenie azotem nie miało wpływu na zawartość popiołu surowego i badanych makroskładników.

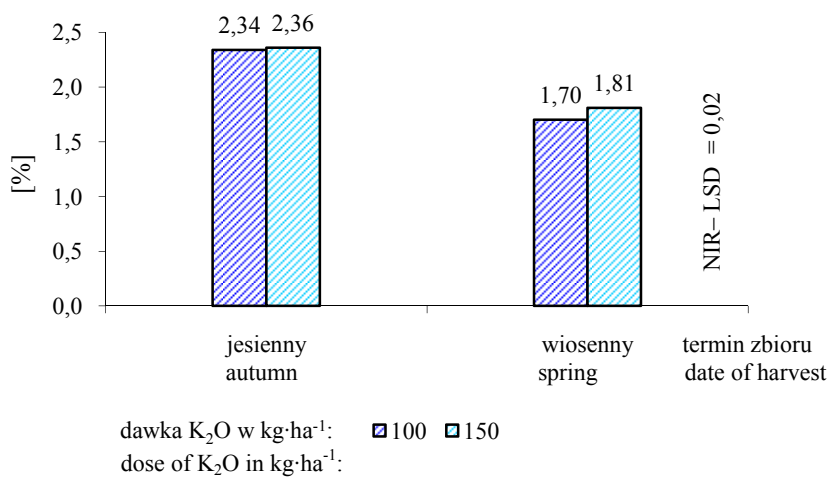
Zróznicowany w latach przebieg pogody miał wpływ na zawartość popiołu surowego, N, P i K i Ca. W odniesieniu do popiołu surowego, N, P i K wykazano interakcje lat z terminami zbioru (rys. 4, 7, 8, 9). Natomiast współdziałanie lat z nawożeniem potasem i terminów zbioru z nawożeniem potasem kształtowało zawartość popiołu surowego i potasu (rys. 5, 6, 10, 11).



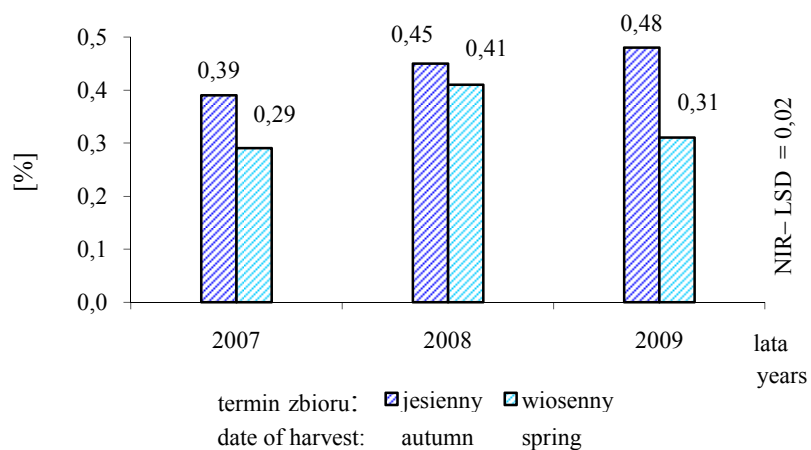
Rys. 4. Zawartość popiołu [%] – średnie dla współdziałania lat i terminów zbioru
 Fig. 4. Crude ash content [%] – means for interaction of years and harvest dates



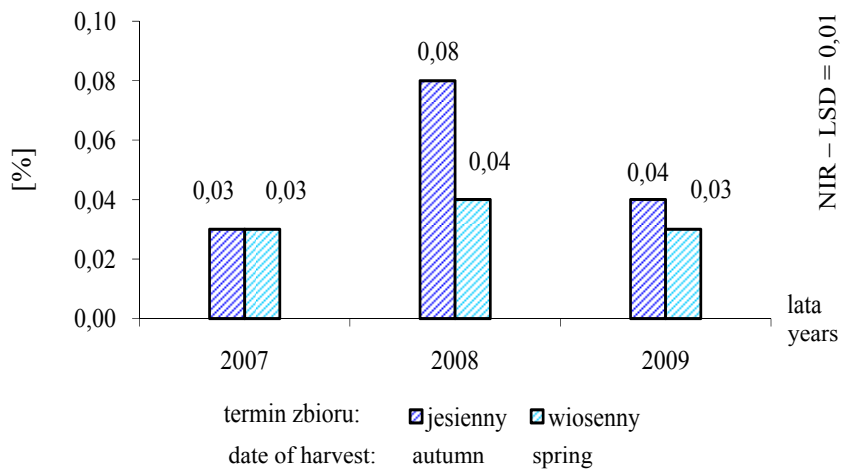
Rys. 5. Zawartość popiołu [%] – średnie dla współdziałania lat i nawożenia potasem
 Fig. 5. Crude ash content [%] – means for interaction of years and potassium fertilization



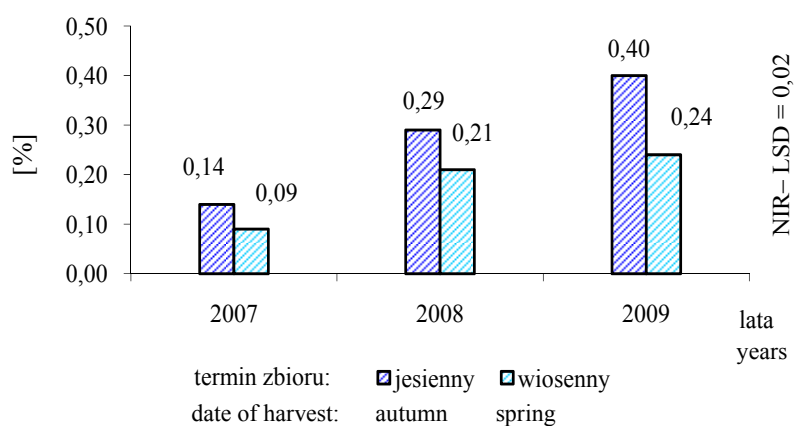
Rys. 6. Zawartość popiołu [%] – średnie dla współdziałania terminów zbioru i nawożenia potasem
 Fig. 6. Crude ash content [%] – means for interaction of harvest dates and potassium fertilization



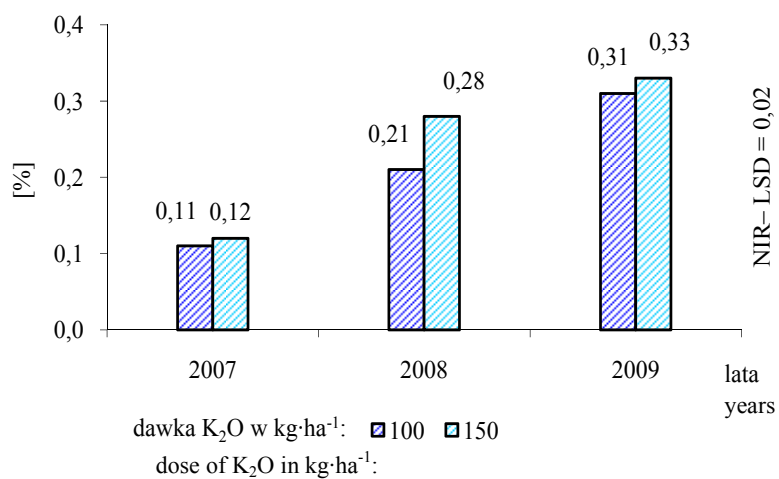
Rys. 7. Zawartość azotu [%] – średnie dla współdziałania lat i terminów zbioru
 Fig. 7. N content [%] – means for interaction of years and harvest dates



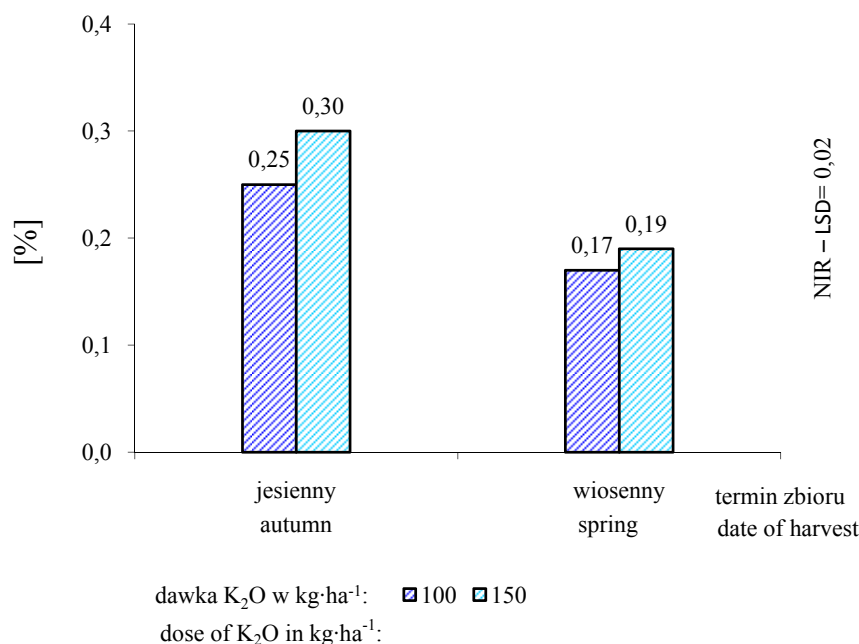
Rys. 8. Zawartość fosforu [%] – średnie dla współdziałania lat i terminów zbioru
 Fig. 8. P content [%] – means for interaction of years and harvest dates



Rys. 9. Zawartość potasu [%] – średnie dla współdziałania lat i terminów zbioru
 Fig. 9. K content [%] – means for interaction of years and harvest dates



Rys. 10. Zawartość potasu [%] – średnie dla współdziałania lat i nawożenia potasem
 Fig. 10. K content [%] – means for interaction of years and potassium fertilization



Rys. 11. Zawartość potasu [%] – średnie dla współdziałania terminów zbioru i nawożenia potasem
Fig. 11. K content [%] – means for interaction of harvest dates and potassium fertilization

Wynos składników pokarmowych i popiołu surowego był wyższy podczas zbioru jesiennego, w porównaniu ze zbiorem zimowym, od 31 do 69% (tab. 9). Zwiększone nawożenie potasem spowodowało istotny wzrost wynosu tego pierwiastka i wapnia, a nawożenie azotem miało podobny skutek w odniesieniu do popiołu surowego N, K i Mg. Zróżnicowany przebieg pogody w latach kształtował wynos popiołu surowego i wszystkich badanych makroskładników.

Przeprowadzone w Irlandii badania przez Clifton-Brown i in. [2007], na szesnastoletniej plantacji, wykazały, że wynos składników pokarmowych przy zbiorze jesiennym kształtował się następująco: $145 \pm 9,4$ kg N·ha⁻¹, $23 \pm 1,1$ kg P·ha⁻¹ i $111 \pm 9,9$ kg K·ha⁻¹. Przesunięcie terminu zbioru na marzec obniżyło wynos składników pokarmowych z biomasa do poziomu: $51 \pm 6,1$ kg N·ha⁻¹, $8,3 \pm 0,7$ kg P·ha⁻¹ i $42 \pm 7,9$ kg K·ha⁻¹. Średnie plony z 15 lat kształtowały się następująco: $13,4 \pm 1,1$ s. m. ha⁻¹·rok⁻¹ dla zbiorów jesiennych i $9,0 \pm 0,7$ s. m. ha⁻¹·rok⁻¹ przy zbiorze zimowym.

Wnioski

Zróżnicowany przebieg pogody w latach badań kształtował liczbę pędów w jednej karpie, wysokość roślin, liczbę węzłów na pędzie, średnicę pędu, plon suchej masy, zawartość wody w biomacie i jej wartość energetyczną oraz wynos popiołu surowego i wszystkich badanych makroskładników.

Nawożenie potasem i azotem nie miało istotnego wpływu na cechy morfologiczne miskanta olbrzymiego.

Spośród badanych czynników agrotechnicznych największy wpływ na wysokość plonu i jego jakość miał termin zbioru. Zimowy zbiór, w porównaniu z jesiennym, spowodował zmniejszenie: plonu suchej masy o 9,5%, zawartości wody w świeżej masie o 16,8% i popiołu surowego – 26% oraz wzrost wartości energetycznej świeżej masy o 33%.

Z 1 ha uprawy miskanta olbrzymiego można uzyskać plon biomasy o średniej wartości energetycznej 488 GJ, co odpowiada 11,7 toe.

Wysokie plony suchej masy miskanta olbrzymiego można uzyskać przy zastosowaniu 100 kg N·ha⁻¹ i 100 kg K₂O·ha⁻¹. Zbiór zimowy pomimo że daje niższe plony biomasy niż jesienny, jest korzystniejszy ze względu na lepsze parametry jakościowe, dla celów energetycznych.

Piśmiennictwo

- Acaroglu M., Semi Aksoy A.: 2005. The cultivation and energy balance of *Miscanthus x giganteus* production in Turkey, *Biomass and Bioenergy*, 29, 42–48.
- Arduini I., Ercoli L., Mariotti M., Masoni A.: 2006. Response of miscanthus to toxic cadmium applications during the period of maximum growth *Environmental and Experimental Botany*, 55, 29–40.
- Beale C.V., Long S.P.: 1997. Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C4-grasses *Miscanthus x giganteus* and *Spartina cynosuroides*, *Biomass and Bioenergy* Vol. 12, No 6, 419–428.
- Borkowska H., Lipiński W.: 2007. Zawartość wybranych pierwiastków w biomacie kilku gatunków roślin energetycznych, *Acta Agrophysica*, 10 (2), 287–292.
- Christian D.G., Bullard M.J., Wilkins C.: 1997a. The agronomy of some herbaceous crops grown for energy in Southern England. *Aspects of Applied Biology*, 49, 41–53.
- Christian D.G., Poulton P.R., Riche A. B., Yates N. E.: 1997. The recovery of 15 N-labelled fertilizer applied to *Miscanthus x giganteus*, *Biomass and Bioenergy*, 12, 4–21.
- Christian D.G., Riche A.B.: 1998. Nitrate leaching losses under *Miscanthus* grass planted on a silty clay loam soil, *Soil Use and Management*, 14, 131–135.
- Christian D.G., Riche A.B., Yates N.E.: 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests, *Industrial Crops and Products*, 28, 320–327.
- Christian D.G., Poulton P.R., Riche A.B., Yates N.E., Todd A.D.: 2006. The recovery over several seasons of 15N-labelled fertilizer applied to *Miscanthus x giganteus* ranging from 1 to 3 years old, *Biomass and Bioenergy*, 30, 125–133.
- Clifton-Brown J.C., Breuer J., Jones M.B.: 2007. Carbon mitigation by the energy crop *Miscanthus*, *Global Change Biology*, 13, 2296–2307.
- Clifton-Brown J.C., Lewandowski I.: 2002. Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimize biomass yield and quality in Southern Germany, *European Journal of Agronomy*, 16, 97–110.
- Collura S., Azambre B., Finqueneisel G., Zimny T., Weber J.V.: 2006. *Miscanthus x Giganteus* straw and pellets as sustainable fuels, Combustion and emission tests, *Environmental Chemistry Letters*, 4, 75–78.
- Curley E.M., O'Flynn M.G., McDonnell K.P.: 2009. Nitrate leaching losses from *Miscanthus x giganteus* impact on groundwater quality, *Journal of Agronomy*, Vol. 8.

- Danalatos N.G., Archontoulis S.V., Mitsios I.: 2007. Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus x giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece, *Biomass and Bioenergy*, 31, 145–152.
- Dobrzański Z., Kotecki A., Opaliński S., Kozak M.: 2006. The sorption properties of *Miscanthus sinensis giganteus* as a component of poultry bedding, *Chemistry for Agriculture*, 7, 936–940.
- Ercoli L., Mariotti M., Masoni A., Bonari E.: 1999. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*, *Field Crops Research*, 63, 3–11.
- Fiedler P., Mendaluk J., Rösler A.: 1998. *Miscanthus sinensis* – biomasa i oczyszczanie ścieków. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, 2, 49–53.
- Himken M., Lammel J., Neukirchen D., Czymionka-Krause U., Olf H. W.: 1997. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization, *Plant and Soil*, 189, 117–126.
- Jeżowski S.: 1999. Miskant chiński (*Miscanthus sinensis* (Thunb.) Andersson) – źródło odnawialnych i ekologicznych surowców dla Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 468, 159–166.
- Jeżowski S.: 2004. Energia w trawie, *Czysta energia*, 5 (33) 2004, ss. 15.
- Jeżowski S., Głowacka K., Bocianowski J.: 2007. Zmienność wybranych klonów traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus* pod względem plonowania w pierwszych latach uprawy, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 517, 339–348.
- Jeżowski S., Kalembasa D., Malinowska E.: 2006. The effect of mineral fertilization on contents of chromium, zinc, copper and nickel in the biomass of *Miscanthus*, *Alternative plants for sustainable agriculture*, 99–107.
- Jorgensen R.N., Jorgensen B. J., Nielsen N.E., Maag M., Lind A.-M.: 1997. N₂O emission from crop fields of *Miscanthus "giganteus"* and winter rye, *Atmospheric Environment*, 31, 18, 2899–2004.
- Kaack K., Schwarz Kai-Uwe: 2001. Morphological and mechanical properties of *Miscanthus* in relation to harvesting, lodging, and growth conditions, *Industrial Crops and Products*, 14, 145–154.
- Kahle P., Beuch S., Boelcke B., Leinweber P., Schulten H.-R.: 2001. Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter, *European Journal of Agronomy*, 15, 171–184.
- Kalembasa D.: 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych, *Acta Agrophysica* 7(4), 909–914.
- Kalembasa D., Janinhoff A., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.: 2005. Zawartość siarki w wybranych klonach trawy *Miscanthus*. *Journal of Elementology*, 10 (2), 309–314.
- Kalembasa D., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.: 2004. Zawartość żelaza i manganu w biomacie *Miscanthusa*. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 55, 203–207.
- Kozak K., Kotecki A., Dobrzański Z.: 2006a. The effect of nitrogen fertilisation on growth and yield of *Miscanthus giganteus*, *Chemistry for Agriculture*, 7, 567–571.
- Kozak K., Kotecki A., Dobrzański Z.: 2006b. The *Miscanthus giganteus* response of chemical soil contamination, *Chemistry for Agriculture*, 7, 520–524.
- Kozak M.: 2006a. Możliwości uprawy i wykorzystania Miskanta olbrzymiego na cele energetyczne w Polsce, cz. I, *Ekonatura*, Wrocław, 2, 24–26.
- Kozak M.: 2006b. Możliwości uprawy i wykorzystania Miskanta olbrzymiego na cele energetyczne w Polsce, cz. II, *Ekonatura*, Wrocław, 3, 20–22.
- Lewandowski I.: 2005. Miskantus – biomasa przyszłości, *Czysta Energia* 10, 18–19.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Andersson B., Basch G., Christian D. G., Jorgensen U., Jones M.B., Richie A.B., Schwarz K.U., Tayebi K., Teixeira F.: 2003a. BIOFUELS,

- Environment and Harvest Time Affects the Combustion Qualities of Miscanthus Genotypes, *Agronomy Journal*, 95, 1274–1280.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W.: 2000. Miscanthus: European experience with a novel energy crop, *Biomass and Bioenergy* 19, 209–227.
- Lewandowski I., Heinz A.: 2003. Delayed harvest of miscanthus – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production, *European Journal of Agronomy*, 19, 45–63.
- Lewandowski I., Kicherer A.: 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*, *European Journal of Agronomy* 6, 163–177.
- Monti A., Di Virgilio N., Venturi G., 2008. Mineral composition and ash content of six major energy crops, *Biomass and Bioenergy*, 32, 216–223.
- Neukirchen D., 1995. Nährstoffverlagerung in Rhizom und Wurzel sowie Nährstoffverluste über Herbst und Winter bei *Miscanthus x giganteus*. Diplomarbeit, Ruhr-Universität, Bochum, Germany.
- Nonhebel S., 2002. Energy yields in intensive and extensive biomass production systems, *Biomass and Bioenergy*, 22, 3, 159–167.
- O'Neill N.R., Farr D.F.: 1996. Miscanthus blight, a new foliar disease of ornamental grasses and sugarcane incited by *Leptosphaeria* sp. and its anamorphic state *Stagonospora* sp. *Plant Dis.* 80 (9), 980–987.
- Opaliński S., Korczyński M., Gbiorczyk W., Dobrzański Z., Kotecki A.: 2008. Application of *Miscanthus giganteus* straw as a component of a poultry bedding – laboratory-scale investigation, *Chemistry for Agriculture*, 9, 463–468.
- Planting and Growing Miscanthus, 2007. Best Practice Guidelines For Applicants to Defra's Energy Crops Scheme, DEFRA Publications, London, July 2007.
- PN-EN 303-5, 2002. Polska norma – Kotły grzewcze – część 5: „Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy do 300 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie” (tłumaczenie normy EN-303-5:1999).
- Polska Norma. PN-G-04513:1981 „Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i wartości opałowej”.
- Roszewski R.: 1996. Miskant olbrzymi – *Miscanthus sinensis giganteus*, Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii, *SGGW*, 123–135.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. (Dz. U. nr 203, poz. 1718).
- S.I. No. 106/2007 — European Communities (Drinking Water) Regulations 2007.
- Spencer L. J., Raghu S., 2009, Refuge or reservoir? The potential impacts of the biofuel crop *Miscanthus x giganteus* on a major pest of Maize, *PlosOne*, December, 4, 12, 1–9.
- Wyżgolik B., Surowiec E., Brząkalik K.: 2006a. Mineral balance in *Miscanthus x giganteus*, *Alternative plants for sustainable agriculture*, edytorzy: Jeżowski S., Wojciechowicz K.M., Zenkteler E., Institute of Plant Genetics PAS, Poznań, 115–120.
- Wyżgolik B., Wyżgolik G., Surowiec E.: 2006. Application of *Miscanthus x giganteus* to phytoremediation, *Alternative plants for sustainable agriculture*, edytorzy: Jeżowski S., Wojciechowicz K.M., Zenkteler E., Institute of Plant Genetics PAS, Poznań, 121–124.

3.2. Następczy wpływ chemicznego zwalczania chwastów w pierwszym roku, po posadzeniu, na rozwój i plonowanie miskanta olbrzyniego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)

Wstęp

Chwasty konkurują z roślinami uprawnymi o światło, składniki pokarmowe i wodę, co skutkuje obniżką plonu. Zwalczanie chwastów przed założeniem plantacji miskanta oraz podczas wzrostu i rozwoju w pierwszym roku wegetacji jest konieczne, gdyż rośliny nie mogą jeszcze konkurować z chwastami, co może ograniczyć ich rozwój [Planting and Growing Miscanthus 2007]. Szeroka rozstawa, w jakiej uprawiany jest miskant oraz mała liczba wysadzanych roślin na 1 m², powodują, że między roślinami jest duża powierzchnia pozbawionej okrywy roślinnej gleby, co sprzyja porastaniu przez chwasty, zwłaszcza w pierwszym roku. Młode rośliny miskanta długo po posadzeniu nie są w stanie konkurować z szybko rosnącymi chwastami, które mogą je nawet zagłuszyć. Stosowanie herbicydów, bezpośrednio po posadzeniu, jest często niemożliwe, ponieważ naraża rośliny na dodatkowy stres oraz może spowodować uszkodzenia młodych pędów. Mechaniczne zwalczanie chwastów jest wtedy jedynym rozwiązaniem, a sprzyja temu szeroka rozstawa rzędów. Gdy młode rośliny się wzmocnią, można stosować szeroki wybór selektywnych herbicydów w odchwaszczaniu chemicznym (tab. 1) [Christian i in. 2001].

Bullard i in. [1995] donoszą, że każda substancja aktywna stosowana w ochronie zbóż może być używana w uprawach miskanta z wyjątkiem niektórych graminicydów.

W drugim lub trzecim roku wegetacji, zależnie od stanowiska i klimatu, ściółka powstała z opadłych liści oraz zwarcie ładu przez rośliny utrudnia przenikanie promieni słonecznych do gleby, co ogranicza rozwój chwastów, a ich konkurencyjny wpływ na miskanta maleje [Christian i in. 2008, Planting and Growing Miscanthus 2007].

Jak podaje brytyjski departament zajmujący się ochroną środowiska, żywnością i rolnictwem DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), nie ma dotąd listy herbicydów dopuszczonych do stosowania w uprawie miskanta na terenie Wielkiej Brytanii. Plantatorzy wykorzystujący środki ochrony roślin używane w ochronie zbóż i kukurydzy aplikują je na „własne ryzyko”. Nie należy wykonywać oprysku żadnym środkiem ochrony roślin, gdy pędy miskanta mierzą więcej niż 1 m [Planting and Growing Miscanthus 2007].

Celem badań było określenie możliwości stosowania herbicydów w pierwszym roku po posadzeniu roślin oraz zbadanie następczego wpływu tych zabiegów na rozwój i plonowanie miskanta olbrzyniego.

Tabela 1
Table 1

Substancje aktywne stosowane do kontroli zachwaszczenia upraw miskanta
The active substance in control weeds in *Miscanthus*
[Planting and growing *Miscanthus* 2001, Christian i Hasse 2001]

Substancja aktywna Active substance	Miejsce stosowania Appliance location	Nazwy handlowe herbi- cydów obowiązujące w Wielkiej Brytanii Trade names of products used in UK	Dawka Dose
atrazyna	A	Gesaprim ®	2,5 dm ³ ·ha ⁻¹
bromoxynil/ ioxynil	A	Briotril ®	2,5 dm ³ ·ha ⁻¹
bromoxynil/fluroxypyr/ ioxynil	A	Advance ®	2,5 dm ³ ·ha ⁻¹
clopyralid	A, B	Dow Shield ®	2,4 dm ³ ·ha ⁻¹
dichlorprop	B	(667 g l ⁻¹ of active in- gredient) ®	5 dm ³ ·ha ⁻¹
diflufenican/isoproturon	B	(100:500 g l ⁻¹ of active ingredient)	3 dm ³ ·ha ⁻¹
fluroxypyr	A, B	Starane* 2 ®	2 dm ³ ·ha ⁻¹
glifosat *	A, B	Roundup ®	3 dm ³ ·ha ⁻¹
isoproturon	B	Tolkan ®	4 dm ³ ·ha ⁻¹
metsulfuron-metyl + bromoxynil ioxynil	A, B	Ally ®	30 g·ha ⁻¹
metsulfuron-metyl + fluroxypyr	A	Ally ® + Deloxil ®	30 g·ha ⁻¹ + 1 dm ³ ·ha ⁻¹
MCPA	B	(750 g l ⁻¹ of active ingredient)	5 dm ³ ·ha ⁻¹
MCPA + MCPB	A	Trifolex-Tra ®	7,7 dm ³ ·ha ⁻¹
mecoprop-P	B	Duplosan ®	6 dm ³ ·ha ⁻¹
paraquat *	A	Gramoxone ®	4 dm ³ ·ha ⁻¹

A – ADAS (Agricultural Development and Advisory Service in UK)

B – Georg Noye Institute of Weed Control, 'Flakkebjerg', Dania

* – stosowany przed wschodami – applied before emergence

Metodyka i warunki badań

W latach 2007–2009 w Pawłowicach koło Wrocławia prowadzono badania polowe nad następczym wpływem chemicznego zwalczania chwastów w pierwszym roku po posadzeniu na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego. Doświadczenie założono metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, na 1 czynnik zmienny, którym były herbicydy użyte do zwalczania chwastów:

1. Kontrola (bez ochrony herbicydowej)
2. Chwastox Extra 300 SL (MCPA) – $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$
3. Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) – $0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$
4. Starane 250 EC (fluroksypyr) – $0,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$
5. Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) – $0,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ + Chwastox Extra 300 SL (MCPA) – $2 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$
6. Starane 250 EC (fluroksypyr) - $0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ + Chwastox Extra 300 SL (MCPA) – $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$

Ważniejsze elementy agrotechniki:

- termin sadzenia: 16.05.2007,
- liczba wysadzonych roślin na 1 m^2 : 1,5 szt.,
- głębokość sadzenia roślin (ręcznie pod znacznik): 5 cm,
- rozstawa rzędów: 70 cm,
- odległość między roślinami w rzędzie: 95 cm,
- liczba roślin na poletku: 20 szt.
- wielkość poletka $13,3 \text{ m}^2$.

Chemiczne zwalczanie chwastów dwuliściennych przeprowadzono 14.06.2007 wg schematu doświadczenia, a punktowe zwalczanie chwastów jednoliściennych za pomocą Fusilade Forte 150 EC w dawce $2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ wykonano 21.06.2007.

Na doświadczeniu występowały głównie: chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli* L.), komosa biała (*Chenopodium album* L.), rdest plamisty (*Polygonum persicaria* L.), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus* L.) i żółtlica drobnokwiatowa (*Galinsoega parviflora* Cav.).

Przed posadzeniem miskanta w 2007 r. chwasty zwalczano preparatem Roundup 360 SL w dawce $4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Przed założeniem doświadczeń stosowano następujące dawki nawozów mineralnych: $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ ($24 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$) i $120 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($100 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$). Nawozy azotowe stosowano w postaci saletry amonowej: $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przed sadzeniem i $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 4 tygodnie później. W latach 2008 i 2009 nawozy N, P, K wysiano przed ruszeniem wegetacji, w takich samych dawkach jak w pierwszym roku badań, a chwasty usuwano ręcznie.

W pierwszym roku wegetacji 2 tygodnie po posadzeniu, a w następnych latach od momentu ruszenia wegetacji wiosennej prowadzono obserwacje wzrostu i rozwoju roślin oraz monitoring występowania chorób i szkodników. Wysokość roślin mierzono co 2 tygodnie do lipca, a następnie co miesiąc do października. Wiosną po ruszeniu i jesienią po zahamowaniu wegetacji określono liczbę pędów na roślinie, a wyniki przeliczono na 1 m^2 . Jesienią przed zbiorem, na 10 pędach z każdego poletka, zmierzono wysokość roślin oraz oznaczono świeżą masę 1 karpki. Po zbiorach na każdym poletku określono plon świeżej masy.

Suchą masę oznaczono metodą suszarkową w laboratorium Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin, według metodyki podanej w pracy pt.: „Wpływ terminu zbioru oraz nawożenia azotem i potasem na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego”.

Na podstawie wyników analiz chemicznych wyliczono procentową zawartość wody w materiale roślinnym i plon suchej masy.

Zbiór wykonano ręcznie za pomocą piły spalinowej do żywopłotu i piły tarczowej, po zahamowaniu wegetacji roślin: 18.12. 2007, 03.12. 2008 i 16.12.2009.

Doświadczenie zostało założone na glebie lekkiej, definiowanej jako mada rzeczna bardzo lekka na piasku luźnym i żwirze piaszczystym, należącej do klasy bonitacyjnej V. W latach 2007–2009 r. odczyn pH gleby był kwaśny, a zasobność gleby w makroskładniki następująca: P – bardzo wysoka, K – średnia do wysokiej, Mg – bardzo niska.

Warunki meteorologiczne w latach 2007–2009 były zróżnicowane. Tabele z danymi meteorologicznymi przedstawiono w pracy pt.: „Wpływ terminu zbioru oraz nawożenia azotem i potasem na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*)”. Doświadczenie zostało założone 16.05.2007. Dzięki intensywnym opadom w II dekadzie maja i średniej temperaturze powietrza wynoszącej 14,9°C wszystkie rośliny miskanta przyjęły się i rozpoczęły wzrost, jednocześnie wypuszczając nowe pędy. Korzystne warunki pogodowe sprzyjały również rozwojowi chwastów na poletkach, m.in. chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli* L.). Intensywne opady w II i III dekadzie czerwca oraz I dekadzie lipca przyczyniły się do częściowego podtopienia doświadczeń (fot.1), co doprowadziło do zahamowania wzrostu miskanta.



Fot. 1. Podtopione rośliny miskanta olbrzymiego – 10 czerwca 2007 roku
Phot. 1. Flooded *Miscanthus giganteus* plants, June 10, 2007

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury w I i II dekadzie sierpnia sprzyjały rozwojowi roślin. We wrześniu zaobserwowano stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli. Niska temperatura powietrza (ok. 7°C) w II i III dekadzie października przyczyniła się do ograniczenia fotosyntezy i wyhamowania wzrostu roślin na wysokość. Zakończenie wegetacji nastąpiło 10 listopada. Duża suma opadów w listopadzie spowodowała nadmierne uwilgotnienie gleby, co w połączeniu z dodatnimi temperaturami skutkowało przesunięciem terminu zbioru na II dekadę grudnia, po wystąpieniu przymrozków.

W 2008 r. początek wegetacji miskanta miał miejsce w II dekadzie kwietnia. Średnia temperatura powietrza powyżej 10°C w III dekadzie kwietnia oraz dobre zaopatrzenie roślin w wodę skutkowało bardzo szybkim tempem wzrostu roślin miskanta w maju. Tempo to uległo niewielkiemu spowolnieniu w czerwcu na skutek słabszego zaopatrzenia roślin w wodę – opady w tym miesiącu były niższe od średniej wieloletniej o 25 mm. Równomierny rozkład opadów, korzystne średnie temperatury lipca i sierpnia sprzyjały intensywnemu wzrostowi roślin.

Stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli zaobserwowano już pod koniec lipca 2008 r. (fot. 2). Spadek średnich temperatur powietrza do ok. 7°C w III dekadzie października przyczynił się do ograniczenia fotosyntezy i wyhamowania wzrostu roślin. Zakończenie wegetacji miało miejsce 21 listopada. Mała suma opadów w listopadzie oraz przymrozki na przełomie listopada i grudnia umożliwiły przeprowadzenie zbioru jesiennego w I dekadzie grudnia.

W roku 2009 zanotowano rozpoczęcie wegetacji przez miskant już w I dekadzie kwietnia. Przyczyniła się do tego wysoka, jak na tę porę roku, temperatura powietrza. Średnia temperatura powietrza w kwietniu była wyższa od średniej z wielolecia o 3,7°C.

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury maja oraz I i II dekady czerwca sprzyjały dobremu rozwojowi roślin i ich intensywnemu wzrostowi.

W III dekadzie czerwca oraz I i II dekadzie lipca występowały bardzo niekorzystne zjawiska pogodowe – ulewne burze połączone z silnym wiatrem, sumy miesięczne opadów dla tych miesięcy przekroczyły średnie wieloletnie odpowiednio o 82,2 i 54,3 mm. Spowodowało to pochylanie się całych kęp i pędów pod ciężarem mokrych liści, a nawet ich łamanie.

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury III dekady lipca oraz I i II dekady sierpnia sprzyjały rozwojowi roślin i ich intensywnemu wzrostowi. Wysoka temperatura powietrza we wrześniu oraz w I dekadzie października przedłużyły wegetację roślin mimo niewielkich opadów w tym okresie.

Stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli żdźbeł zaobserwowano pod koniec sierpnia 2009 r.

Spadek temperatury powietrza do 5,1°C w II dekadzie października zahamował fotosyntezę, a tym samym również wzrost roślin. Zakończenie wegetacji miało miejsce 3 listopada. Duże sumy opadów w III dekadzie listopada i I dekadzie grudnia nadmierne uwilgotniły glebę, co skutkowało przesunięciem terminu zbioru jesiennego na II dekadę grudnia po wystąpieniu przymrozków.



Fot. 2. Miskant olbrzymi w drugim roku po posadzeniu – 30 lipca 2008 roku
Phot. 2. *Miscanthus giganteus* in the second year after seeding, July 30, 2008

W latach 2007–2009 prowadzono monitoring występowania chorób i szkodników na wszystkich doświadczeniach z miskantem olbrzymim (*Miscanthus x giganteus*). Badania wykonali pracownicy Katedry Ochrony Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

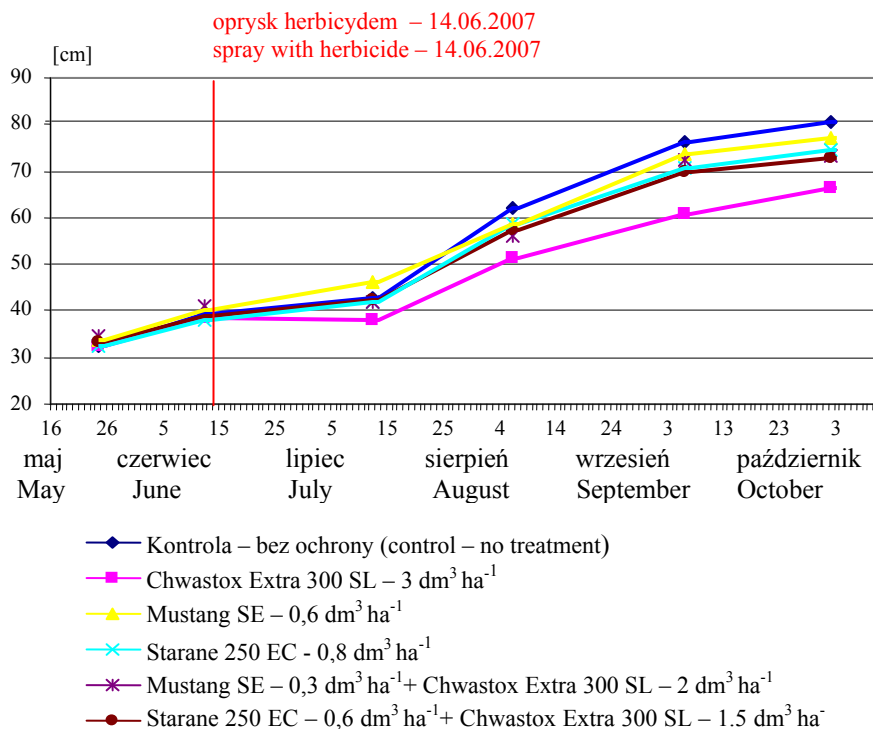
We wszystkich latach badań notowano niewielkie liczebności fitofagów. W większym nasileniu występowały mszyce: czeremchowo-zbożowa (*Rhopalosiphum padi* L.) oraz różano-trawowa (*Metopolophium dirhodum* Walk) i przylżeńce: *Frankliniella tenuicornis* Uzel., *Haplothrips aculeatus* Fabricius. W sumie liczebność zaobserwowanych na doświadczeniu mszyc i przylżeńców nie przekraczała kilkudziesięciu sztuk.

Inne fitofagi takie jak: tasznikowate, skrzypionka zbożowa, skrzypionka błękitek występowały w mniejszym nasileniu. Sporadycznie stwierdzano również obecność pchełek i ślimaków oskorupionych bądź uszkodzeń przez nie spowodowanych. Należy stwierdzić, że żaden z fitofagów nie występował na tyle licznie, aby ograniczył rozwój miskanta olbrzymiego.

W 2007 r. na roślinach miskanta nie zaobserwowano występowania chorób bakteryjnych i grzybowych. W 2008 i 2009 roku na blaszkach liściowych stwierdzono występowanie w niewielkim nasileniu *Stagonospora tainanensis* W.H. Hsieh.

Wyniki badań i dyskusja

Warunki pogodowe po posadzeniu miskanta 16 maja 2007 r. sprzyjały dobremu przyjęciu roślin, a zastosowanie przed sadzeniem preparatu Rondup 360 SL, w dawce $4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, skutecznie zniszczyło chwasty i sprawiło, że w początkowym okresie wzrostu posadzone rośliny nie konkurowały o czynniki siedliska. Wtórne zachwaszczenie pojawiło się w trzy tygodnie po posadzeniu roślin. Stwierdzono występowanie chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli* L.), komosy białej (*Chenopodium album* L.), rdestu plamistego (*Polygonum persicaria* L.), szarlatu szorstkiego (*Amaranthus retroflexus* L.) i żółtlicy drobnokwiatowej (*Galinsoga parviflora* Cav.). Zastosowane w dniu 14 czerwca 2007 r., opryski herbicydami ograniczyły skutecznie zachwaszczenie.

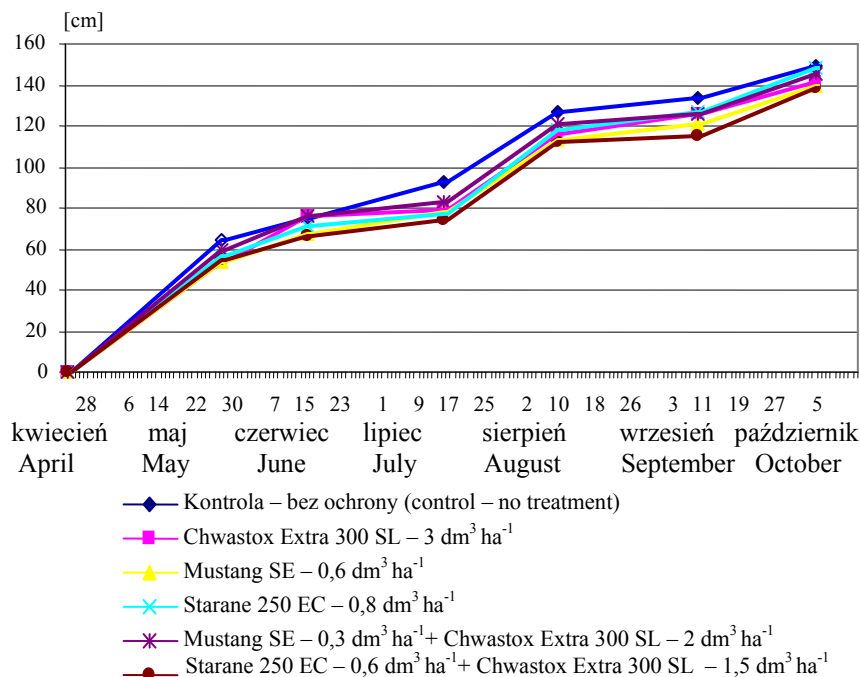


Rys. 1. Wpływ zastosowania herbicydów w roku sadzenia na wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2007 r.

Fig. 1. The effect of herbicide application in the year of seeding on the growth on *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2007

Chwasty jednoliścienne zwalczano punktowo preparatem Fusilade Forte 150 EC, w dawce $2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Według Christian i Hasse [2001] gdy młode rośliny miskanta przyjmą się, to w odchwaszczaniu chemicznym można stosować szeroki wybór selektywnych herbicydów. Bullard i in. [1995] donoszą, że każda substancja aktywna stoso-

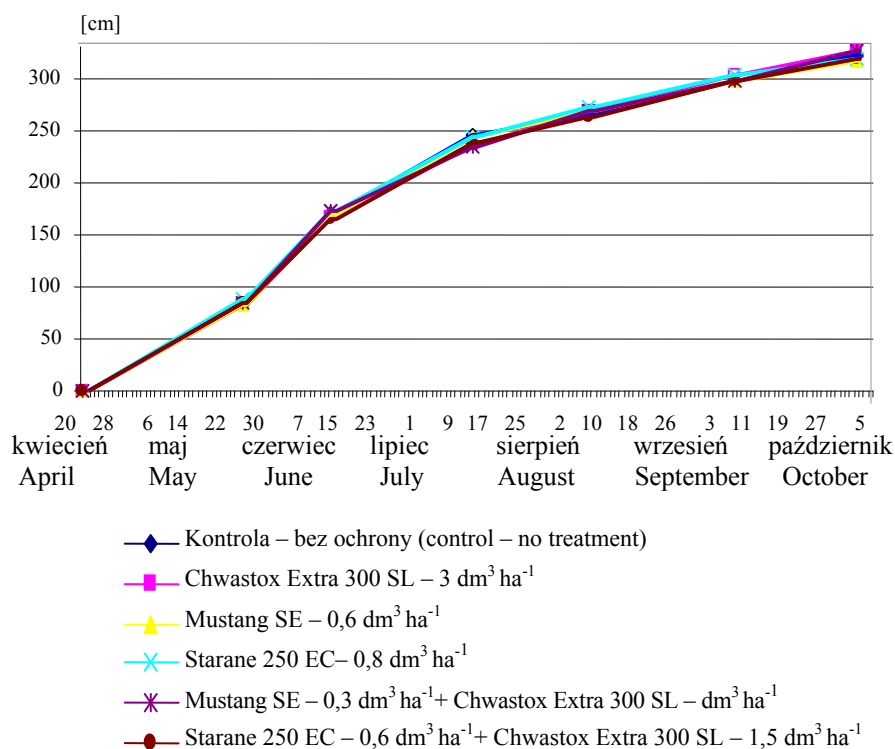
wana w ochronie zbóż może być używana w uprawach miskanta z wyjątkiem niektórych graminicydów. Zastosowanie herbicydów spowodowało, w porównaniu z kontrolą, ograniczenie tempa wzrostu roślin, które utrzymywało się do końca wegetacji. Wzrost miskanta w najmniejszym stopniu ograniczył preparat Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D), a największy niekorzystny wpływ obserwowano po zastosowaniu preparatu Chwastox Extra 300 SL (MCPA) (rys. 1). Należy zaznaczyć, że w ograniczaniu wzrostu miskanta następczy wpływ herbicydów utrzymywał się jeszcze w drugim roku badań (rys. 2), natomiast w trzecim roku nie stwierdzono niekorzystnego oddziaływania herbicydów na wzrost (rys. 3).



Rys. 2. Następczy wpływ zastosowania herbicydów w roku sadzenia na wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2008 r.

Fig. 2. The residual effect of herbicide application in the year of seeding of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2008

Zabiegi herbicydowe po posadzeniu miskanta miały wpływ na kształtowanie cech morfologicznych roślin po zahamowaniu wegetacji (tab. 1). Zacinienie miskanta przez chwasty na obiekcie kontrolnym spowodowało, że rośliny miskanta były istotnie wyższe, w porównaniu z poletkami, na których stosowano ochronę herbicydową. Wykształcały jednak mniej pędów z 1 karpą i miały niższą masę. W porównaniu z obiektem, na którym zastosowano preparat Mustang, obniżka wynosiła odpowiednio 48 i 45%.



Rys. 3. Następczy wpływ zastosowania herbicydów w roku sadzenia na wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2009 r.

Fig. 3. The residual effect of herbicide application in the year of seeding of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2009

Następczy wpływ herbicydów w kształtowaniu cech morfologicznych miskanta utrzymywał się w drugim roku badań w odniesieniu do wszystkich badanych cech. Zastosowanie preparatu Chwastox Extra 300 SL zwiększyło, w porównaniu z kontrolą, liczbę pędów z 1 karpą o 54% i suchą masę pędów o 28% (tab. 2). W trzecim roku badań sucha masa pędów była wyższa o 19% (tab. 3).

Średnio za trzy lata badań zastosowanie herbicydów po posadzeniu miskanta – kształtowało wszystkie badane cechy morfologiczne. Najlepsze efekty w odniesieniu do liczby pędów i suchej masy pędów z 1 karpą uzyskano po zastosowaniu preparatu Chwastox Extra 300 SL lub Starane 250 EC (tab. 4).

We wszystkich latach badań najwyższy plon suchej masy miskanta uzyskano po zastosowaniu oprysku preparatem Chwastox Extra 300 SL. W porównaniu z kontrolą był on wyższy w pierwszym roku badań o 96%, w drugim o 36% i trzecim o 19% (tab. 5–7).

Średnio za trzy lata badań najwyższe plony suchej masy miskanta uzyskano po zastosowaniu preparatu Chwastox Extra 300 SL lub Starane 250 EC (tab. 8).

Tabela 1
Table 1

Wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego
(*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) na kształtowanie cech morfologicznych roślin w 2007 r.
The effect of herbicide treatments after seeding on morphological
features of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. plants in 2007

Wyszczególnienie Specification	Wysokość roślin przed zbiorem [cm] Height of plants before harvest	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpki Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpki [g] Shoots dry matter per rhizome
		po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before harvest	przed zbiorem before harvest	
kontrola – bez ochrony control – no treatment	83	5,6	11,3	7,5	20,0
1*	69	5,2	19,9	13,3	31,3
2	79	5,6	21,8	14,5	36,3
3	77	6,4	21,4	14,3	35,0
4	75	6,0	17,7	11,8	24,3
5	75	5,2	20,3	13,5	33,3
NIR – LSD $\alpha=0,05$	3	0,4	2,3	2,1	3,2

*Objaśnienia – Explanations: 1 – Chwastox Extra 300 SL (MCPA) – 3 dm³ ha⁻¹, 2 – Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) – 0,6 dm³ ha⁻¹; 3 – Starane 250 EC (fluroksypyr) – 0,8 dm³ ha⁻¹; 4 – Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) – 0,3 dm³ ha⁻¹+ Chwastox Extra 300 SL (MCPA) – 2 dm³ ha⁻¹; 5 – Starane 250 EC (fluroksypyr) – 0,6 dm³ ha⁻¹+ Chwastox Extra 300 SL (MCPA) – 1,5 dm³ ha⁻¹

Tabela 2
Table 2

Następczy wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego
(*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) na kształtowanie cech morfologicznych roślin w 2008 r.
The effect of herbicide treatments after seeding on morphological features
of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. plants in 2008

Wyszczególnienie Specification	Wysokość roślin przed zbiorem [cm] Height of plants before harvest	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpki Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpki [g] Shoots dry matter per rhizome
		po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before harvest	przed zbiorem before harvest	
kontrola – bez ochrony control – no treatment	152	13,9	18,4	12,3	192
1*	143	25,6	28,6	19,0	245
2	142	21,8	26,0	17,3	228
3	150	28,2	28,2	18,8	231
4	148	24,8	27,9	18,5	227
5	140	23,7	26,7	17,8	219
NIR – LSD $\alpha=0,05$	6	4,6	6,5	1,4	18

*Objaśnienia: jak w tab. 1
Explanations: as in Tab. 1

Tabela 3
Table 3

Następczy wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) na kształtowanie cech morfologicznych roślin w 2009 r.
The effect of herbicide treatments after seeding on morphological features of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. plants in 2009

Wyszczególnienie Specification	Wysokość roślin przed zbiorem [cm] Height of plants before harvest	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpki Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpki [g] Shoots dry matter per rhizome
		po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before harvest	przed zbiorem before harvest	
kontrola – bez ochrony control – no treatment	324	31,2	50,0	33,3	1026
1*	329	39,9	53,4	35,5	1222
2	318	36,5	50,8	33,8	1101
3	320	42,1	53,4	35,5	1185
4	328	40,6	52,6	35,0	1172
5	320	38,0	50,8	33,8	1139
NIR – LSD $\alpha=0,05$	r.n. – n.s.	4,4	r.n. – n.s.	r.n. – n.s.	105

*Objaśnienia: jak w tab. 1
Explanations: as in Tab. 1

Tabela 4
Table 4

Wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) na kształtowanie cech morfologicznych roślin (średnie z lat w 2007–2009)
The effect of herbicide treatments after seeding on morphological features of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. plants (means for years 2007–2009)

Ochrona chemiczna Chemical control	Lata Years	Wysokość roślin przed zbiorem [cm] Height of plants before harvest [cm]	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpki Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpki [g] Shoots dry matter per rhizome
			po rozpoczęciu wegetacji** after vegetation start	przed zbiorem before harvest	przed zbiorem before harvest	
kontrola – bez ochrony control – no treatment		186	16,9	26,5	17,7	413
1*		180	23,6	34,0	22,6	500
2		180	21,3	32,9	21,8	455
3		182	25,6	34,3	22,8	484
4		184	23,8	32,7	21,8	474
5		178	22,3	32,6	21,7	464
NIR – LSD $\alpha=0,05$		4	2,0	3,6	1,1	32

Tabela 4 cd.
Table 4 cont.

1	3	4	5	5	6	7
	2007	76	5,7	18,7	12,5	30
	2008	146	23,0	26,0	17,3	223
	2009	323	38,0	51,8	34,5	1141
NIR – LSD $\alpha=0,05$		3	1,4	2,5	0,8	23

*Objaśnienia: jak w tab.1 – Explanations: as in Tab. 1

**Dane w 2007 dotyczą roślin po posadzeniu
Data from 2007 refer to plants after planting

Tabela 5
Table 5

Wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego
(*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) na plon świeżej i suchej masy
oraz zawartość wody w świeżej masie w 2007 r.

The effect of herbicide treatment after seeding of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.
on green matter yield and water content in green matter in 2007

Wyszczególnienie Specification	Plon – Yield [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
	świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez ochrony control – no treatment	0,46	0,28	39,4
1*	0,92	0,55	40,5
2	0,87	0,54	37,8
3	0,76	0,50	33,6
4	0,60	0,38	36,1
5	0,81	0,50	38,5
NIR – LSD $\alpha=0,05$	0,08	0,06	r.n. – n.s.

*Objaśnienia: jak w tab.1 – Explanations: as in Tab. 1

Tabela 6
Table 6

Następczy wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego
(*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody
w świeżej masie w 2008 r.

The residual effect of herbicide treatments after seeding of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.
on green and dry matter yields and water content in green matter in 2008

Wyszczególnienie Specification	Plon – Yield [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
	świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez ochrony control – no treatment	4,66	2,77	40,8
1*	6,33	3,77	40,5
2	5,72	3,40	40,5
3	5,82	3,46	40,6
4	5,56	3,39	39,0
5	5,37	3,28	39,0
NIR – LSD $\alpha=0,05$	0,54	0,44	r.n. – n.s.

*Objaśnienia: jak w tab.1 – Explanations: as in Tab. 1

Tabela 7
Table 7

Następczy wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody w świeżej masie w 2009 r.

The residual effect of herbicide treatments after seeding of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. on green and dry matter yields and water content in green matter in 2009

Wyszczególnienie Specification	Plon – Yield [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
	świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez ochrony control – no treatment 1*	28,1	15,4	45,1
2	33,4	18,4	44,9
3	30,1	17,1	43,3
4	32,4	17,8	44,8
5	32,1	17,6	45,0
NIR – LSD $\alpha=0,05$	2,3	1,0	r.n. – n.s.

*Objaśnienia: jak w tab.1 – Explanations: as in Tab. 1

Tabela 8
Table 8

Wpływ zabiegów herbicydowych po posadzeniu miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody w świeżej masie (średnie z lat 2007–2009)

The residual effect of herbicide treatments after seeding of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. on green and dry matter yields and water content in green matter (means for years 2007–2009)

Wyszczególnienie Specification	Lata	Plon – Yield [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
		świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez ochrony control – no treatment 1*		11,1	6,16	41,8
2		13,6	7,56	42,0
3		12,2	7,00	40,5
4		13,0	7,26	39,7
5		12,7	7,13	40,0
		12,4	6,97	40,8
NIR – LSD $\alpha=0,05$		0,7	0,35	r.n.
	2007	0,7	0,46	37,7
	2008	5,6	3,34	40,0
	2009	31,2	17,24	44,7
NIR – LSD $\alpha=0,05$		0,5	0,25	2,4

*Objaśnienia: jak w tab.1 – Explanations: as in Tab. 1

Wnioski

Miskant olbrzymi charakteryzuje się dużą dynamiką wzrostu, zwłaszcza w drugim i trzecim roku po posadzeniu. W stosunku do pierwszego roku wysokość w drugim roku wegetacji zwiększyła się dwukrotnie, a w trzecim – czterokrotnie.

Zastosowana, po posadzeniu miskanta, ochrona herbicydowa miała korzystny wpływ na rozwój roślin, kształtowanie liczby pędów i suchej masy z 1 karpki oraz plon suchej masy nie tylko w pierwszym roku badań. Następczy wpływ zabiegu utrzymywał się w drugim i trzecim roku.

Średnio za trzy lata badań najlepsze efekty herbicydowej ochrony uzyskano po zastosowaniu preparatu Chwastox Extra 300 SL w dawce $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ lub Starane 250 EC w dawce $0,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, gdyż w porównaniu z kontrolą plon suchej masy był wyższy odpowiednio o 23 i 18%.

Piśmiennictwo

- Bullard M.J., Heath M.C., Nixon P.M.I.: 1995. Shoot growth, radiation interception and dry matter production and partitioning in *Miscanthus sinensis* 'Giganteus' grown at two densities in the UK during the establishment phase. *Annals of Applied Biology*, 126, 365–378.
- Christian D.G., Hasse E.: 2001. Agronomy of *Miscanthus*, [in:] M.B. Jones and M. Walsh, Editors, *Miscanthus for Energy and Fiber*, James & James (Science Publishers) Ltd., London, 21–45.
- Christian D.G., Riche A.B., Yates N.E.: 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus* × *giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests, *Industrial Crops and Products* 28, 320–327.
- Planting and growing *Miscanthus*: 2001, DEFRA Publications, London, March 2001.
- Planting and Growing *Miscanthus*: 2007. Best Practice Guidelines For Applicants to Defra's Energy Crops Scheme, DEFRA Publications, London, July 2007.

3.3. Następczy wpływ częstotliwości koszenia, w pierwszym roku po posadzeniu, na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)

Wstęp

Okres użytkowania plantacji miskanta można podzielić na 2 etapy: zakładanie plantacji, wzrost i rozwój roślin aż do zwarcia międzyrzędzi, który związany jest z rozwojem rhizomów, coraz wyższą produkcją biomasy z części nadziemnych, oraz etap pełnego użytkowania. Etap pierwszy trwa od 3 do 5 lat i zależy od stanowiska, warunków klimatycznych, glebowych i ukształtowania terenu. Po tym okresie następuje etap pełnego użytkowania plantacji, kiedy to biomasa części nadziemnych jest corocznie zbierana, najlepiej na przedwiośniu następnego roku. Zbiór przeprowadzany w takim terminie pozwala uzyskać wysoką zawartość suchej masy w plonie, co jest ważnym parametrem przy wykorzystaniu biomasy miskanta na cele energetyczne [Kahle i in. 2001].

Właściwe przygotowanie stanowiska pod plantację miskanta należy rozpocząć jesienią przed planowanym wiosennym sadzeniem [Roszewski 1996]. W roku zakładania plantacji i kolejnych latach wiosenny oprysk herbicydem o szerokim spektrum działania (np. zawierającym w swym składzie glifosat) może być konieczny do ograniczenia występowania takich chwastów jednoliściennych, jak: perz, wiechlina roczna, oraz dwuliściennych szybko rozwijających się wiosną [Planting and Growing Miscanthus 2007]. Ważny jest odpowiedni termin wykonywania oprysków herbicydami, a najlepszym rozwiązaniem jest ich aplikacja w czasie spoczynku roślin, co pozwala na uniknięcie uszkodzenia młodych pędów [Planting and Growing Miscanthus 2007].

Materiałem sadzeniowym mogą być pocięte rhizomy lub sadzonki wytworzone przez mikropropagację [Pude 2000]. Rhizomy o długości 8–10 cm pozyskuje się w czasie spoczynku roślin (zimną lub wczesną wiosną) z 2–3-letnich plantacji matecznych, używając do ich pocięcia kultywatora i przechowuje w temperaturze 0–1°C [Acaroglu i in. 2005]. Uzyskany w ten sposób materiał powinien mieć po 3–4 pączki i być możliwie krótko przechowywany w wysokiej wilgotności.

Z uwagi na szybkie tworzenie przez roślinę dużych i zwartych kęp większość autorów skłania się ku obsadzie 1 roślina na 1 m², która zapewnia optymalną penetrację łąnu przez promienie świetlne [Roszewski 1996]. Według Acaroglu i Semi Aksoy [2005] optymalna gęstość sadzenia rhizomów na terenie Turcji to 1 szt. na m², a głębokość to 3–6 cm. Fragmenty rhizomów o długości ok. 10 cm można również przyorać na głębokość 15–20 cm. Po sadzeniu niezbędne jest wałowanie wałem gładkim oraz nawadnianie w razie okresowych niedoborów wody [Roszewski 1996, Gradziuk i in. 2003].

Z doświadczeń brytyjskich wynika, że optymalnym terminem wysadzania rhizomów są miesiące marzec i kwiecień, ponieważ mogą one wykorzystać nagromadzoną w glebie wodę po okresie zimowym. Pozwala to na wydłużenie rozwoju młodych roślin w pierwszym sezonie wegetacyjnym, co umożliwia wytworzenie większych i zdrowszych rhizomów, a to w kolejnych latach pozwala roślinom lepiej znosić mróz i suszę

[Planting and Growing Miscanthus 2007, Lewandowski i in. 2000]. W warunkach brytyjskich optymalna gęstość sadzenia rhizomów wynosi od 1 do 2 sztuk na 1 m² przy głębokości 5–10 cm [Planting and Growing Miscanthus 2007].

Sadzonki miskanta wysadza się dopiero w maju, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia wiosennych przymrozków. Sadzenie można wykonać ręcznie lub mechanicznie, np. przy użyciu zmodyfikowanej sadzarki do ziemniaków [Planting and Growing Miscanthus 2007, Acaroglu i Semi Aksoy 2005].

Celem badań było określenie możliwości pobudzenia sadzonek miskanta do intensywnego krzewienia, przez koszenie, w pierwszym roku po posadzeniu oraz zbadanie następczego wpływu tego zabiegu na rozwój i plonowanie.

Metodyka i warunki badań

W latach 2007–2009 w Pawłowicach koło Wrocławia prowadzono badania polowe i laboratoryjne nad następczym wpływem częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego po posadzeniu na rozwój i plonowanie. Doświadczenie założono metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, na 1 czynnik zmienny, którym była częstotliwość pokosów po posadzeniu:

1. Kontrola (bez koszenia)
2. Koszenie 1-krotne, 4 tygodnie po posadzeniu
3. Koszenie 2-krotne (pierwszy zabieg 4 tygodnie po posadzeniu, a następny po dalszych 4 tygodniach)
4. Koszenie 3-krotne (pierwszy zabieg w 4 tygodnie po posadzeniu, a następne w odstępach 4-tygodniowych).

Wielkość poletek do zbioru wynosiła 6,65 m².

Chemiczne zwalczanie chwastów dwuliściennych wykonano 14.06.2007 za pomocą Starane 250 EC – 0,6 dm³·ha⁻¹ + Chwastox Extra 300 SL – 1,5 dm³·ha⁻¹, a do punktowego zwalczania chwastów jednoliściennych, 21.06.2007, zastosowano Fusilade Forte 150 EC w dawce 2,5 dm³·ha⁻¹.

Po sadzeniu rośliny miskanta koszone wg schematu doświadczenia w odstępach 4-tygodniowych: I koszenie wykonano 12.06, II 9.07, a III 6.08.2007. W kolejnych latach obserwowano następczy wpływ tego zabiegu na rozwój i plonowanie miskanta.

Warunki agrotechniczne i metodykę badań opisano w pracy pt.: „Następczy wpływ chemicznego zwalczania chwastów w pierwszym roku, po posadzeniu, na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*)”.

Doświadczenie założono na glebie lekkiej, definiowanej jako mada rzeczna bardzo lekka na piasku luźnym i żwirze piaszczystym, należącej do klasy bonitacyjnej V. W latach 2007–2009 roku odczyn pH gleby był bardzo kwaśny, a zasobność gleby w makroskładniki była następująca: P – bardzo wysoka, K – średnia i Mg – bardzo niska.

Warunki meteorologiczne w latach 2007–2009 były zróżnicowane. Tabele z danymi meteorologicznymi przedstawiono w pracy pt.: „Wpływ terminu zbioru oraz nawożenia azotem i potasem na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*)”.

Doświadczenie zostało założone 16 maja 2007 r.. Dzięki intensywnym opadom w II dekadzie maja i średniej temperaturze powietrza wynoszącej 14,9°C wszystkie rośliny miskanta przyjęły się i rozpoczęły wzrost, jednocześnie wypuszczając nowe pędy.

Korzystne warunki pogodowe sprzyjały również rozwojowi chwastów na poletkach, m.in. chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli* L.). Koszenie, które wykonano 12.06, zahamowało wzrost i rozwój roślin, w porównaniu do obiektów nie koszonych. Miskant na obiektach koszonych, w porównaniu z kontrolą, charakteryzował się słabszym wzrostem.

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury I i II dekady sierpnia sprzyjały dobremu rozwojowi roślin na obiektach nie koszonych. We wrześniu zaobserwowano stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęzła źdźbeł, które z większym nasileniem wystąpiło na obiektach koszonych. Niska temperatura powietrza (ok. 7°C) w II i III dekadzie października przyczyniła się do ograniczenia fotosyntezy i wyhamowania wzrostu roślin na wysokość. Zakończenie wegetacji nastąpiło 10 listopada. Duża suma opadów w listopadzie spowodowała nadmierne uwilgotnienie gleby, co w połączeniu z dodatnimi temperaturami skutkowało przesunięciem terminu zbioru na II dekadę grudnia, po wystąpieniu przymrozków.

W 2008 r. początek wegetacji miskanta na wszystkich obiektach przypadł na II dekadę kwietnia. Średnia temperatura powietrza powyżej 10°C w III dekadzie kwietnia oraz dobre zaopatrzenie roślin w wodę skutkowało bardzo szybkim tempem wzrostu roślin miskanta w maju. Należy zaznaczyć, że na obiektach koszonych wzrost miskanta, w porównaniu z kontrolą, był słabszy. Z powodu małych opadów w czerwcu wzrost roślin na wysokość uległ niewielkiemu spowolnieniu.

Równomierny rozkład opadów, korzystne średnie temperatury lipca i sierpnia sprzyjały intensywnemu wzrostowi roślin na obiektach nie koszonych. Natomiast na obiektach koszonych, zwłaszcza trzykrotnie, utrzymywał się niekorzystny, następczy wpływ tego zabiegu.

Spadek średnich temperatur powietrza do ok. 7°C w III dekadzie października przyczynił się do ograniczenia fotosyntezy i wyhamowania wzrostu roślin. Pod koniec wegetacji nie stwierdzono wyraźnego wpływu częstotliwości koszenia na wysokość roślin. Zakończenie wegetacji miało miejsce 21 listopada. Mała suma opadów w listopadzie oraz przymrozki na przełomie listopada i grudnia umożliwiły przeprowadzenie zbioru jesiennego w I dekadzie grudnia.

W 2009 r. rozpoczęcie wegetacji przez miskant zanotowano już w I dekadzie kwietnia (fot. 1). Przyczyniła się do tego wysoka, jak na tę porę roku, temperatura powietrza w I dekadzie kwietnia. Średnia temperatura powietrza w kwietniu była wyższa od średniej z wielolecia o 3,7°C.

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury maja oraz I i II dekady czerwca sprzyjały dobremu rozwojowi roślin i ich intensywnemu wzrostowi. Nie wykazano następczego wpływu koszenia na wzrost roślin (rys. 3).

W III dekadzie czerwca oraz I i II dekadzie lipca występowały bardzo niekorzystne zjawiska pogodowe – ulewne burze połączone z silnym wiatrem, a miesięczne sumy opadów dla tych miesięcy przekroczyły średnie wieloletnie odpowiednio o 82,2 i 54,3 mm. Spowodowało to pochylanie się całych kęp i pędów pod ciężarem mokrych liści, a nawet ich łamanie.



Fot. 1. Początek wegetacji – 17.04.2009 roku
Phot. 1. Start on vegetation – 17.04.2009

Równomierny rozkład opadów i korzystne średnie temperatury III dekady lipca oraz I i II dekady sierpnia sprzyjały rozwojowi roślin i ich intensywnemu wzrostowi. Stopniowe żółknięcie pędów rozpoczynające się od dolnych liści i międzywęźli źdźbeł zaobserwowano na wszystkich obiektach w sierpniu. Wysokie temperatury powietrza we wrześniu oraz w I dekadzie października przedłużyły wegetację roślin mimo niewielkich opadów w tym okresie.

Spadek temperatury powietrza do 5,1°C w II dekadzie października zahamował fotosyntezę, a tym samym również wzrost roślin. Zakończenie wegetacji miało miejsce 3 listopada. Duże sumy opadów w III dekadzie listopada i I dekadzie grudnia (tab. 4c) nadmiernie uwilgotniły glebę, co skutkowało przesunięciem terminu zbioru jesiennego na II dekadę grudnia po wystąpieniu przymrozków.

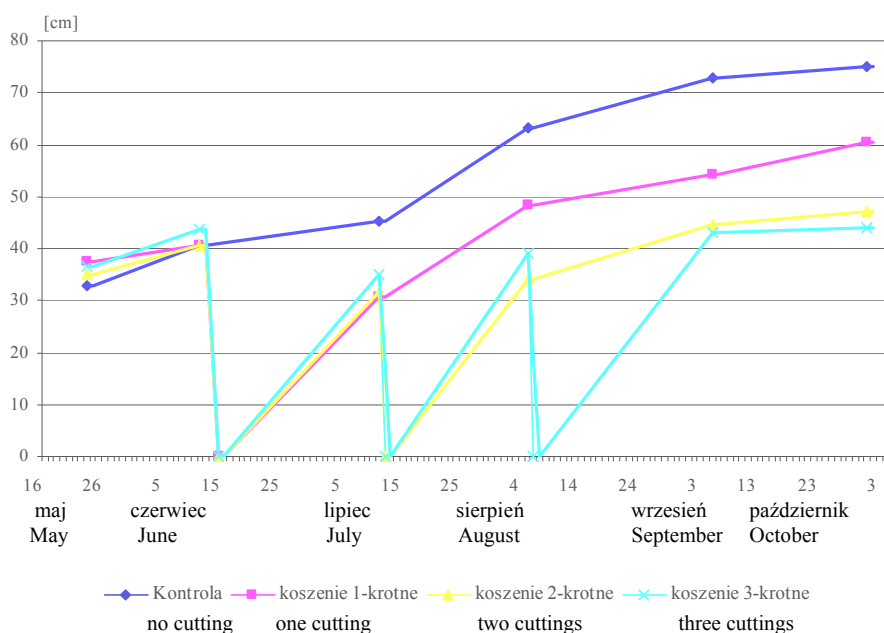
W latach 2007–2009 prowadzono monitoring występowania chorób i szkodników na wszystkich doświadczeniach z miskantem olbrzymim (*Miscanthus x giganteus*). Badania wykonali pracownicy Katedry Ochrony Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Występowanie szkodników i chorób opisano w pracy pt.: „Następczy wpływ chemicznego zwalczania chwastów w pierwszym roku, po posadzeniu, na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*)”.

Wyniki badań

Warunki pogodowe po posadzeniu miskanta 16.05.2007 sprzyjały dobremu przyjęciu roślin, a zastosowanie przed sadzeniem preparatu Rondup 360 SL w dawce $4 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ skutecznie zniszczyło chwasty i sprawiło, że w początkowym okresie wzrostu posadzone rośliny nie konkurowały o czynniki siedliska. Wtórne zachwaszczenie pojawiło się w trzy tygodnie po posadzeniu roślin. Stwierdzono występowanie chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli* L.), komosy białej (*Chenopodium album* L.), rdestu plamistego (*Polygonum persicaria* L.), szarłat szorstkiego (*Amaranthus retroflexus* L.) i żóltlicy drobnokwiatowej (*Galinsoga parviflora* Cav.). Zastosowanie w dniu 14.06.2007 oprysku Starane 250 EC – $0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ + Chwastox Extra 300 SL – $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ograniczyło zachwaszczenie. Do punktowego zwalczania chwastów jednoliściennych, 21.06.2007 zastosowano Fusilade Forte 150 EC w dawce $2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

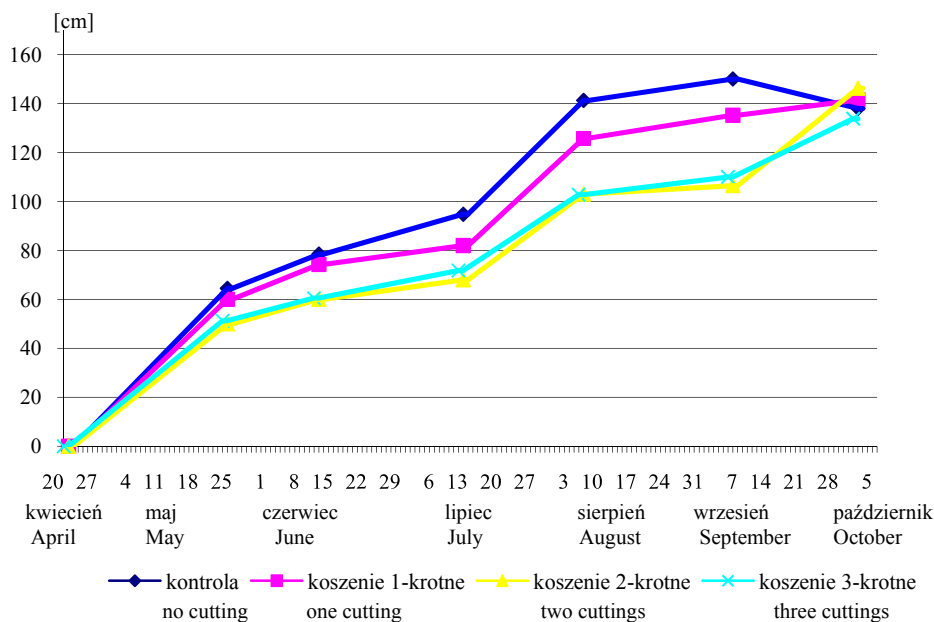
Koszenie, które wykonano 12 czerwca, zahamowało wzrost i rozwój roślin. Miskant koszony jedno-, dwu- i trzykrotnie, w porównaniu z kontrolą, odznaczał się słabszym wzrostem (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ częstotliwości koszenia w roku sadzenia na wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2007 r.

Fig. 1. The effect of cutting frequency in the year of seeding on the growth *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2007

Następny wpływ częstotliwości koszenia, po posadzeniu miskanta, na wzrost utrzymywał się przez cały okres wegetacji w 2008 r. Jednak po zahamowaniu wegetacji nie wykazano już istotnych różnic w wysokości roślin (rys. 2).



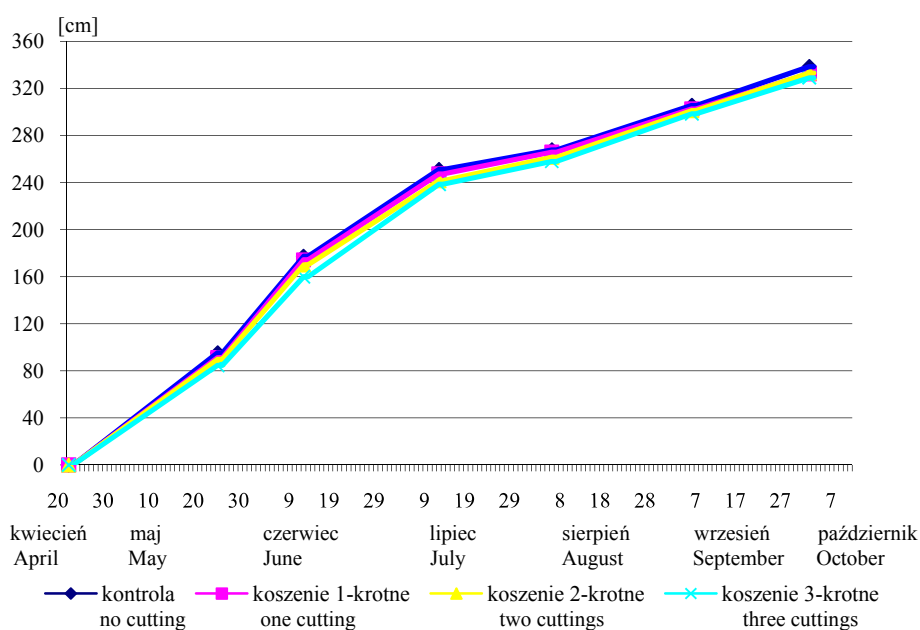
Rys. 2. Następczy wpływ częstotliwości koszenia w roku sadzenia na wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) w 2008 r.
 Fig. 2. The effect of cutting frequency in the year of seeding on the growth *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. in 2008

W ostatnim roku badań nie wykazano wpływu częstotliwości koszenia na wzrost miskanta podczas wegetacji (rys. 3).

W porównaniu z kontrolą nawet jednokrotne koszenie po sadzeniu osłabiało istotnie wzrost i rozwój roślin (tab. 1). Trzykrotne koszenie obniżyło w porównaniu z kontrolą wysokość roślin o 49%, liczbę pędów z 1 karpą o 47% i suchą masę pędów z 1 karpą o 86%. Następczy wpływ podkaszania roślin miskanta, po posadzeniu, na rozwój utrzymywał się w 2. i 3. roku badań (tab. 2 i 3). Trzykrotne koszenie, w porównaniu z kontrolą, spowodowało, że w trzecim roku badań pojedyncza karpa miskanta wytworzyła po zahamowaniu wegetacji mniej o 46% pędów, a jej nadziemna masa była o 55% niższa.

Średnio za trzy lata badań nawet jednokrotne koszenie po sadzeniu miskanta obniżyło istotnie, w porównaniu z kontrolą, wysokość roślin, liczbę pędów z 1 karpą i suchą masę pędów (tab. 4).

Koszenie miskanta w pierwszym roku po posadzeniu obniżało istotnie plon suchej masy (tab. 5). Następczy wpływ koszenia po sadzeniu utrzymywał się w 2. i 3. roku badań (tab. 6 i 7). Średnio za trzy lata badań trzykrotne koszenie miskanta po sadzeniu obniżyło plon suchej masy, w porównaniu z kontrolą, o 57% (tab. 8).



Rys. 3. Następny wpływ częstotliwości koszenia w roku sadzenia na wzrost miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) w 2009 r.

Fig. 3. The effect of cutting frequency in the year of seeding on the growth *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. in 2009.

Tabela 1

Table 1

Wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) po posadzeniu na kształtowanie cech morfologicznych roślin w 2007 roku

The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after seeding on plants' morphological features in 2007

Wyszczególnienie Specification	Wysokość roślin przed zbiorem Height of plants before harvest [cm]	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpki Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpki [g] Shoots dry matter per rhizome
		po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before arvest		
kontrola – bez koszenia control – no cutting	77	5,6	18,0	12,0	30,0
koszenie 1-krotne one cutting	63	6,5	12,6	8,4	13,5
koszenie 2-krotne two cuttings	49	5,8	11,2	7,4	7,5
koszenie 3-krotne three cuttings	39	6,8	9,7	6,4	4,3
NIR – LSD $\alpha=0,05$	6	0,4	2,3	1,8	2,8

Tabela 2
Table 2

Następczy wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) po posadzeniu na kształtowanie cech morfologicznych roślin w 2008 roku
The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. after seeding on plants' morphological features in 2008

Wyszczególnienie Specification	Wysokość roślin przed zbiorem Height of plants before harvest [cm]	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpą Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpą [g] Shoots dry matter per rhizome
		po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before harvest		
kontrola – bez koszenia control – no cutting	140	27,0	30,4	20,2	393
koszenie 1-krotne one cutting	144	21,6	23,5	15,6	231
koszenie 2-krotne two cuttings	148	16,3	20,2	13,4	171
koszenie 3-krotne three cuttings	136	12,3	15,8	10,5	108
NIR – LSD $\alpha=0,05$	r.n.	2,5	3,8	3,3	9

Tabela 3
Table 3

Następczy wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) po posadzeniu na kształtowanie cech morfologicznych roślin w 2009 roku
The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. after seeding on plants' morphological features in 2009

Wyszczególnienie Specification	Wysokość roślin przed zbiorem Height of plants before harvest [cm]	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpą Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpą [g] Shoots dry matter per rhizome
		po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before harvest		
kontrola – bez koszenia control – no cutting	341	59,6	78,3	52,1	1740
koszenie 1-krotne one cutting	335	50,4	64,1	42,6	1371
koszenie 2-krotne two cuttings	335	45,2	53,9	35,9	1099
koszenie 3-krotne three cuttings	331	36,0	42,3	28,1	791
NIR – LSD $\alpha=0,05$	r.n.	4,7	6,2	5,0	112

Tabela 4
Table 4

Wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) po posadzeniu na kształtowanie cech morfologicznych roślin (średnie dla czynnika i lat)
The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after seeding on plants' morphological features plants (means for factor and years)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Wysokość roślin przed zbiorem Height of plants before harvest [cm]	Liczba pędów z 1 m ² Number of shoots per 1 m ²		Liczba pędów z 1 karpą Number of shoots per rhizome	Sucha masa pędów z 1 karpą [g] Shoots dry matter per rhizome
			po posadzeniu after seeding	przed zbiorem before harvest		
kontrola – bez koszenia control – no cutting		186	30,7	42,2	28,3	721
koszenie 1-krotne one cutting		180	26,2	33,4	22,2	539
koszenie 2-krotne two cuttings		177	22,4	27,6	19,1	426
koszenie 3-krotne three cuttings		169	18,4	22,6	15,2	301
NIR – LSD $\alpha=0,05$		4	1,5	2,2	1,9	33
	2007	57	6,2	12,9	8,6	14
	2008	142	19,3	21,8	15,2	226
	2009	335	47,8	59,6	39,7	1250
NIR – LSD $\alpha=0,05$		4	1,3	1,9	1,6	29

Tabela 5
Table 5

Wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) po posadzeniu na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody w świeżej masie w 2007 roku
The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after seeding on green matter yield and water content in green matter in 2007

The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after seeding on green matter yield and water content in green matter in 2007

Wyszczególnienie Specification	Plon – Yield of [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]	
	świeżej masy green matter	suchej masy dry matter		
kontrola – bez koszenia control – no cutting	0,87	0,53	39,4	
koszenie 1-krotne one cutting	0,61	0,36	41,4	
koszenie 2-krotne two cuttings	0,47	0,27	43,6	
koszenie 3-krotne three cuttings	0,33	0,18	45,0	
NIR – LSD $\alpha=0,05$		0,04	0,05	r.n. – n.s.

Tabela 6
Table 6

Następczy wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) po posadzeniu na na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody w świeżej masie w 2008 roku

The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. after seeding on green matter yield and water content in green matter in 2008

Wyszczególnienie Specification	Plon – Yield of [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
	świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez koszenia control – no cutting	9,86	5,90	40,3
koszenie 1-krotne one cutting	6,60	3,98	39,5
koszenie 2-krotne two cuttings	4,57	2,81	38,4
koszenie 3-krotne three cuttings	3,17	1,98	37,5
NIR – LSD $\alpha=0,05$	0,84	0,45	r.n. – n.s.

Tabela 7
Table 7

Następczy wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu.) po posadzeniu na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody w świeżej masie w 2009 roku

The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef *et* Deu. after seeding on green matter yield and water content in green matter in 2009

Wyszczególnienie Specification	Plon – Yield of [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
	świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez koszenia control – no cutting	46,2	26,2	43,3
koszenie 1-krotne one cutting	36,2	20,6	43,0
koszenie 2-krotne two cuttings	29,3	16,5	43,5
koszenie 3-krotne three cuttings	20,9	11,9	43,0
NIR – LSD $\alpha=0,05$	2,9	2,9	r.n. – n.s.

Tabela 8
Table 8

Wpływ częstotliwości koszenia miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)
po posadzeniu na plon świeżej i suchej masy oraz zawartość wody w świeżej masie
(średnie dla czynnika i lat)

The effect of cutting frequency of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. after seeding
on green matter yield and water content in green matter (means for factor and years)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Plon – Yield of [t·ha ⁻¹]		Zawartość wody Water content [%]
		świeżej masy green matter	suchej masy dry matter	
kontrola – bez koszenia control – no cutting		19,0	10,9	41,0
koszenie 1-krotne one cutting		14,5	8,3	41,3
koszenie 2-krotne two cuttings		11,4	6,5	41,8
koszenie 3-krotne three cuttings		8,1	4,7	41,9
NIR – LSD $\alpha=0,05$		0,8	0,9	r.n. – n.s.
	2007	0,6	0,3	42,3
	2008	6,1	3,7	38,9
	2009	33,1	18,8	43,2
NIR – LSD $\alpha=0,05$		0,7	0,8	3,2

Wnioski

Koszenie miskanta, w pierwszym roku po posadzeniu, w celu pobudzenia roślin do intensywnego krzewienia było niekorzystne dla rozwoju roślin i miało negatywne następstwa skutki w drugim i trzecim roku wegetacji, w porównaniu z kontrolą.

Z trzyletnich badań wynika, że trzykrotne koszenie miskanta po posadzeniu obniżyło między innymi liczbę pędów z 1 karpą o 46% i plon suchej masy o 57%, w porównaniu z kontrolą.

Piśmiennictwo

- Acaroglu M., Semi Aksoy A.: 2005. The cultivation and energy balance of *Miscanthus x giganteus* production in Turkey, *Biomass and Bioenergy*, 29, 42–48.
- Gradziuk P. (red.): 2003. Autorzy: Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościak B., Biopaliwa, Akademia Rolnicza w Lublinie, Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu [i in.]. – Wyd. 2., Warszawa: Wieś Jutra, 2003, 160.
- Kahle P., Beuch S., Boelcke B., Leinweber P., Schulten H.-R.: 2001. Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter, *European Journal of Agronomy*, 15, 171–184.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W.: 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop, *Biomass and Bioenergy*, 19, 209–227.

- Planting and Growing Miscanthus: 2007. Best Practice Guidelines For Applicants to Defra's Energy Crops Scheme, DEFRA Publications, London, July 2007.
- Pude R.: 2000. Uprawa i zbiory Miscanthus w Europie. Polsko-niemiecka konferencja na temat wykorzystania trzciny chińskiej. Materiały konferencyjne polsko-niemieckiej konferencji na temat wykorzystania trzciny chińskiej, która odbyła się w dniach 27–29 września 2000 r. w Połczynie Zdrój, 11–16.
- Roszewski R.: 1996. Miskant olbrzymi – *Miscanthus sinensis giganteus*, Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii, SGGW, 123–135.

4. CHOROBY I SZKODNIKI WYSTĘPUJĄCE NA MISKANCIE OLBRZYMIM (*MISCANTHUS X GIGANTEUS* GREEF ET DEU.)

4.1. Liczebność i skład gatunkowy przyłżeńców (Thysanoptera) występujących na miskancie olbrzymim (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)

Wstęp

W Europie, podobnie jak i w naszym kraju, jest bardzo niewiele informacji o fitofagach żerujących na miskancie olbrzymim (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.). Pojedyncze badania prowadzone w Anglii wykazały, że mszyca *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) rozmnaża się na *M. giganteus* i może infekować młode rośliny wirusem żółtej karłowatości jęczmienia (barley yellow dwarf luteovirus). W wyniku infekcji stwierdzono spadek plonu nadziemnych części roślin o około 23% [Christian i in. 1994, Huggett i in. 1999]. Mrówczyński i in. [2007], informują o możliwości uszkodzeń liści miskanta olbrzymiego przez larwy łokasia garbatka (*Zabrus tenebroides* Goeze) oraz prawdopodobnie przez larwy Diptera. Nasze wstępne badania prowadzone na tej roślinie wykazały obecność mszyce czeremchowo-zbożowej (*Rhopalosiphum padi* L.), wciornastków, skoczaków oraz zmieników. Inne fitofagi takie jak: inne tasznikowate, skrzypionka zbożowa i skrzypionka błękitka występowały tylko sporadycznie [Hurej i Twardowski 2009].

Celem badań było poznanie liczebności, składu gatunkowego oraz dynamiki występowania przyłżeńców na miskancie olbrzymim.

Miejsce i metody badań

Badania prowadzono w latach 2007–2009 na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w Pawłowicach. Rozpoczęto je na roślinach miskanta w pierwszym roku po posadzeniu (miskant młody) oraz miskancie wieloletnim i kontynuowano w 2008 i 2009 r. na roślinach tych samych kombinacji doświadczenia. Obserwacje w każdej kombinacji prowadzono na pięciu poletkach o powierzchni 15 m² (1,5 x 10 m). Na każdym poletku obserwowano przyłżeńce występujące na 50 roślinach (w 5 miejscach po 10 kolejnych roślin w rzędzie), w odstępach tygodniowych, w całym sezonie wegetacyjnym. Owady do oznaczeń odławiano na upatrzonego. Odłowione przyłżeńce oznaczono do gatunku. Identyfikacji gatunkowej przyłżeńców dokonała dr Halina Kucharczyk z Zakładu Zoologii UMCS w Lublinie.

Strukturę jakościowo-ilościową przyłżeńców określano za pomocą następujących wskaźników analitycznych: liczba gatunków, liczebność ogólna, dominacja indywidualna gatunków, zwana też wskaźnikiem dominacji (D). Dla opisowego przedstawienia wartości wskaźnika dominacji przyjęto klasy dominacji dla grup mało licznych gatunkowo, tj. eudominanty (powyżej 10% zebranych okazów), dominanty (5–10%), subdominanty (2–5%), recedenty (1–2%) i subrecedenty (poniżej 1%) [Kasprzak i Niedbała 1981]. Do porównania średnich liczebności przyłżeńców, w każdym roku badań, wykorzystano analizę wariancji (ANOVA) oraz test Tukeya (HSD). Średnie porównywano przy poziomie istotności 5%.

Wyniki badań

➤ Skład gatunkowy

W 2007 r., przyłżeńce odławiano przede wszystkim na młodych roślinach miskanta. Na roślinach wieloletnich stwierdzano tylko pojedyncze osobniki. Wśród 116 odłowionych na upatrzonego na młodych roślinach przyłżeńców oznaczono 5 gatunków (tab. 1). Zdecydowanym eudominantem był *Frankliniella tenuicornis* Uzel. Do tej samej klasy dominacji zaliczono również *Haplothrips aculeatus* Fabricius i *Aeolothrips intermedium* Bagnall. Pozostałe dwa gatunki należały do recedentów.

W 2008 r. przez cały sezon wegetacyjny na młodych roślinach miskanta odłowiono 188 przyłżeńców (tab. 2). Wśród nich oznaczono 9 gatunków. Podobnie jak w roku poprzednim 3 gatunki zaliczono do eudominantów. Również i tym razem zdecydowanie najliczniejszym gatunkiem był *F. tenuicornis*. Eudominantami były *H. aculeatus* oraz *Limothrips denticornis* Haliday. Wśród innych oznaczonych na młodym miskancie przyłżeńców jeden gatunek reprezentował klasę dominantów, trzy należały do subdominantów i dwa do subrecedentów. Znacznie mniej przyłżeńców, gdyż tylko 42 sztuki, odłowiono na roślinach wieloletnich (tab. 2). Liczba ta jest istotnie niższa w porównaniu do przyłżeńców oznaczonych na miskancie młodym. W tym przypadku owady należały do 7 gatunków. Eudominantami, podobnie jak na roślinach młodych, były *F. tenuicornis* oraz *H. aculeatus*. Przedstawiciele wszystkich pięciu pozostałych gatunków zaliczono do klasy subdominantów.

W 2009 r. na roślinach w obu kombinacjach doświadczenia przyłżeńce występowały mniej licznie w porównaniu do poprzednich lat badań. Na roślinach młodego miskanta do oznaczeń zebrano tylko 18 osobników, a na miskancie wieloletnim 42 osobniki (tab. 3). Wśród odłowionych okazów oznaczono 6 gatunków na młodych roślinach i 7 gatunków oraz 2 rodzaje na roślinach wieloletnich. Na młodych roślinach eudominantami były *F. tenuicornis*, *H. aculeatus* i *L. denticornis*. Pozostałe 3 gatunki zaliczono do dominantów. Na roślinach wieloletnich klasę eudominantów reprezentowały *L. denticornis* i *F. tenuicornis*. Dominantem okazał się *Aeolothrips versicolor* Uzel. Przedstawiciele pozostałych oznaczonych gatunków należały do subdominantów.

Tabela 1
Table 1

Skład gatunkowy przylżeńców na roślinach miskanta olbrzymiego w 2007 roku
Species composition of thrips recorded on *Miscanthus giganteus* in 2007

Gatunek Species	Rośliny młode New plants	D*	Razem Total
<i>Frankliniella tenuicornis</i> Uzel, 1895	63	53,3	63
<i>Haplothrips aculeatus</i> Fabricius, 1803	26	22,4	26
<i>Aeolothrips intermedius</i> Bagnall, 1934	25	22,3	25
<i>Thrips fuscipennis</i> Haliday, 1836	1	1	1
<i>Thrips tabaci</i> Lindeman, 1888	1	1	1
Suma – Total	116	100	116
Liczba gatunków – Species number	5		5

* D – dominacja – dominance

Tabela 2
Table 2

Skład gatunkowy przylżeńców na roślinach miskanta olbrzymiego w 2008 roku
Species composition of thrips recorded on *Miscanthus giganteus* in 2008

Gatunek Species	Rośliny młode New plants	D*	Rośliny wieloletnie Perennial plants	D	Razem Total
<i>Frankliniella tenuicornis</i> Uzel, 1895	113	60,1	21	51,3	134
<i>Haplothrips aculeatus</i> Fabricius, 1803	23	12,2	13	31,7	36
<i>Limothrips denticornis</i> Haliday, 1836	20	10,6	2	4,9	22
<i>Limothrips cerealium</i> , Haliday, 1836	11	5,9	1	2,4	12
<i>Aeolothrips intermedius</i> Bagnall, 1934	9	4,8			9
<i>Chirothrips manicatus</i> Haliday, 1836	5	2,7	1	2,4	6
<i>Aeolothrips versicolor</i> Uzel, 1895	5	2,7			5
<i>Anaphothrips obscurus</i> Müller, 1776			2	4,9	2
<i>Thrips nigropilosus</i> Uzel, 1895			1	2,4	1
<i>Thrips major</i> Uzel, 1895	1	0,5			1
<i>Thrips flavus</i> Schrank, 1776	1	0,5			1
Suma – Total	188 a**	100	41 b	100	229
Liczba gatunków – Species number	9		7		11

* D – dominacja – dominance

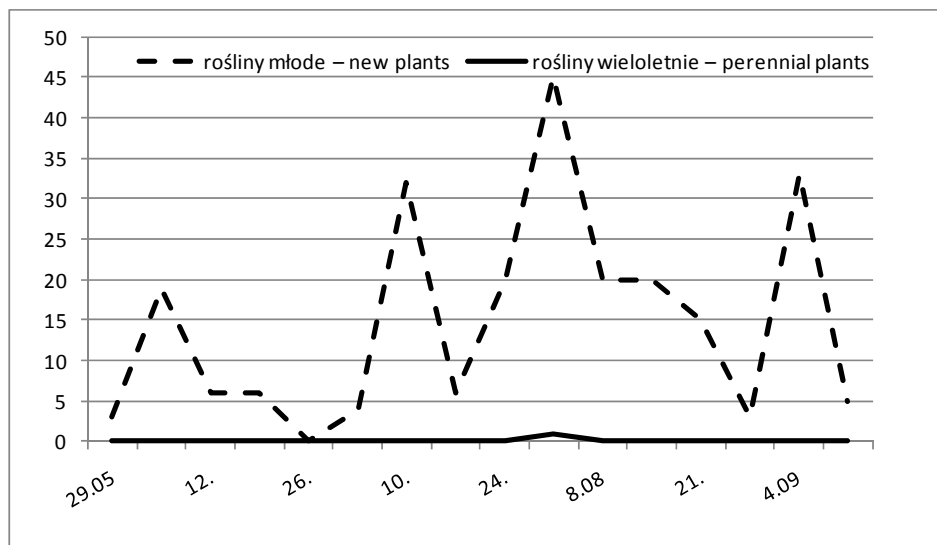
** różnica istotna – significant difference

Tabela 3
Table 3

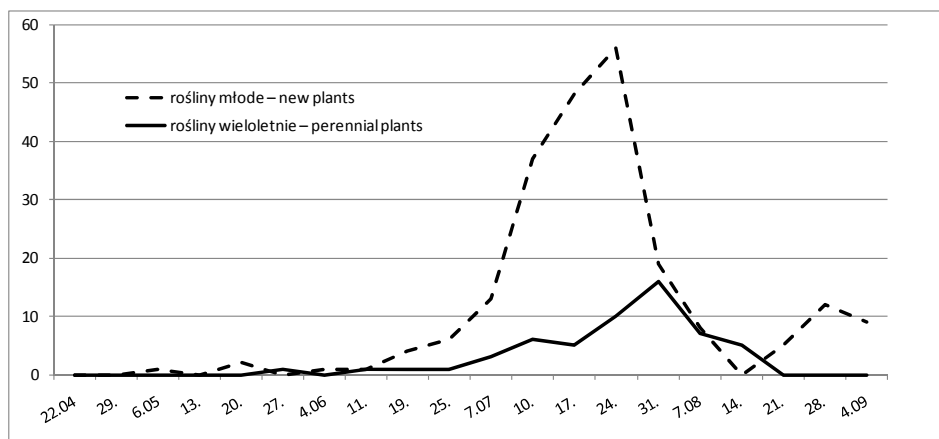
Skład gatunkowy przyłżeńców na roślinach miskanta olbrzymiego w 2009 roku
Species composition of thrips recorded on *Miscanthus giganteus* in 2009

Gatunek Species	Rośliny młode New plants	D*	Rośliny wieloletnie Perennial plants	D	Razem Total
<i>Limothrips denticornis</i> Haliday, 1836	4	22,2	18	42,8	22
<i>Frankliniella tenuicornis</i> Uzel, 1895	6	33,3	15	35,7	21
<i>Haplothrips aculeatus</i> Fabricius, 1803	5	27,7			5
<i>Aeolothrips versicolor</i> Uzel, 1895			3	7,1	3
<i>Chirothrips pallidicornis</i> Priesner, 1925	1	5,6	1	2,4	2
<i>Aeolothrips intermedius</i> Bagnall, 1934			1	2,4	1
<i>Thrips minutissimus</i> Linnaeus, 1761			1	2,4	1
<i>Limothrips consimilis</i> Priesner, 1926			1	2,4	1
<i>Chirothrips manicatus</i> Haliday, 1836	1	5,6			1
<i>Chirothrips hamatus</i> Trybom, 1895	1	5,6			1
<i>Thrips</i> sp.			1	2,4	1
<i>Haplothrips</i> sp.			1	2,4	1
Suma – Total	18	100	42	100	60
Liczba gatunków, rodzajów Species, genera number	6+0		7+2		10+2

* D – dominacja – dominance



Rys. 1. Dynamika występowania przyłżeńców na roślinach miskanta w 2007 roku
Fig. 1. Seasonal dynamic of thrips recorded on *Miscanthus* plants in 2007



Rys. 2. Dynamika występowania przylżeńców na roślinach miskanta w 2008 roku
 Fig. 2. Seasonal dynamic of the thrips recorded on Miscanthus plants in 2008

➤ Dynamika występowania

Dynamika występowania przylżeńców zostanie omówiona na przykładzie wyników obserwacji prowadzonych na roślinach uzyskanych w latach 2007 i 2008. W tych dwóch latach liczebność badanych owadów była na tyle duża, że możliwe jest przedstawienie ich dynamiki występowania.

W 2007 r., pierwsze przylżeńce pojawiły się na młodych roślinach miskanta w końcu maja (rys. 1). W czerwcu ich liczebność była niewielka. W tym terminie stwierdzano od 0 do 19 owadów przypadających na 50 roślin. W lipcu natomiast nastąpił wzrost liczby żerujących przylżeńców. W końcu tego miesiąca odnotowano ich maksymalną liczebność, tj. 45 osobników. W sierpniu owady te występowały w liczbie od 3 do 20 sztuk. Na początku września odnotowano kolejny liczniejszy pojaw przylżeńców (33 osobniki). Ostatnie owady żerowały na miskantusie w połowie września. W ciągu całego okresu wegetacji młodych roślin miskanta odnotowano 237 sztuk przylżeńców.

W 2008 r., na młodych roślinach miskanta pierwsze owady rozpoczęły żerowanie na początku maja (rys. 2). W maju oraz w czerwcu stwierdzano tylko pojedyncze żerujące osobniki. Największa liczebność przylżeńców ponownie została odnotowana w lipcu. W końcu lipca miało też miejsce maksimum liczebności tych owadów, tj. 56 sztuk. W omawianym roku przylżeńce występowały nielicznie na młodych roślinach miskanta do pierwszych dni września. W ciągu całego sezonu wegetacyjnego stwierdzono łącznie 222 Thysanoptera. Na wieloletnich roślinach miskanta pierwsze, pojedyncze przylżeńce odnotowano dopiero w końcu maja. W większym nasileniu fitofagi te żerowały w lipcu. Największe ich nasilenie w tym terminie wynosiło 16 sztuk. Pojedyncze owady występowały na roślinach tylko do połowy sierpnia. W ciągu całego okresu badań na miskancie wieloletnim stwierdzono 56 przylżeńców.

Wnioski

Na młodych roślinach miskanta oznaczono 9 gatunków przyłżeńców, natomiast na wieloletnich 7 gatunków. Eudominantem w obu kombinacjach doświadczenia był *Frankliniella tenuicornis*. Do tej samej klasy dominacji zaliczono również *Haplothrips aculeatus*, *Aeolothrips intermedius* i *Limothrips denticornis*.

Na miskancie olbrzymim, zarówno na roślinach młodych, jak i wieloletnich, przyłżeńce były nieliczne. W większej liczbie owady te występowały na roślinach młodych. W lipcu obserwowano okres ich większego nasilenia, z maksimum liczebności w końcu tego miesiąca.

Piśmiennictwo

- Christian D.G., Lampty J.N.L., Forde S.M.D., Plumb R.T.: 1994. First report of barley yellow dwarf luteovirus on *Miscanthus* in the United Kingdom. *European Journal of Plant Pathology*, 100, 167–170.
- Huggett D.A.J., Leather S.R., Walters K.F.A.: 1999. Suitability of the biomass crop *Miscanthus sinensis* as a host for the aphids *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Rhopalosiphum maidis* (F.), and its susceptibility to the plant luteovirus Barley Yellow Dwarf Virus. *Agricultural and Forest Entomology*, 1, 143–149.
- Hurej M., Twardowski J.: 2009. Fitofagi występujące na miskancie olbrzymim (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.). *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 49, 1183–1186.
- Kasprzak K., Niedbała W.: 1981. Wskaźniki biocenotyczne stosowane przy porządkowaniu i analizie danych w badaniach ilościowych, [w:] Górny M., Grum L. (red.) *Metody stosowane w zoologii gleby*. PWN Warszawa, 397–416.
- Mrówczyński M., Nijak K., Pruszyński G., Wachowiak H.: 2007. Zagrożenie roślin energetycznych przez szkodniki. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 47, 347–350.

4.2. Ocena zdrowotności miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)

Wstęp

Miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) jest jednym z najbardziej obiecujących gatunków traw wieloletnich pod względem możliwości uprawy na cele energetyczne. Za podjęciem uprawy tego gatunku przemawia jego szybki wzrost począwszy od posadzenia w ziemi, niewielkie wymagania nawozowe, długi okres plonowania na względnie stałym poziomie oraz zbiór za pomocą typowych maszyn rolniczych. Istotne jest również małe zapotrzebowanie na wodę (2–3 tys. m³ rocznie na 1 ha uprawy), co ma szczególne znaczenie przy bardzo ograniczonych zasobach wodnych naszego kraju [Majtkowski 2007, Żurek 2008].

W warunkach europejskich miskant olbrzymi wykazuje bardzo dużą odporność na porażenie przez różne czynniki chorobotwórcze. Na plantacjach nie jest więc prowadzona ochrona chemiczna, co wydatnie przyczynia się do obniżenia kosztów ich utrzymania. Uważa się jednak, że w przypadku zwiększania areалу uprawy miskanta w Europie wzrośnie znacznie zagrożenie chorobowe tej rośliny przez biotyczne czynniki chorobotwórcze, głównie grzyby patogeniczne z rodzajów: *Fusarium*, *Stagonospora*, *Cercospora*, *Helminthosporium*, *Alternaria* i wielu innych.

Największe szkody w uprawie miskanta olbrzymiego notowane są w miejscach, gdzie rośnie on w warunkach klimatycznych zbliżonych do panujących w rejonach jego pochodzenia, czyli w południowo-wschodniej Azji. Warunki atmosferyczne panujące na Dolnym Śląsku szczególnie sprzyjają infekcji roślin przez te grzyby, ponieważ jest on jednym z najcieplejszych rejonów naszego kraju.

Celem przeprowadzonych badań było poznanie grzybów, które stanowią potencjalne zagrożenie dla zdrowotności miskanta olbrzymiego w warunkach Dolnego Śląska.

Materiał i metody badań

Doświadczenia z miskantem przeprowadzono w latach 2007–2009 na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Pawłowicach koło Wrocławia, należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Zostało ono założone metodą split-plot przez Katedrę Szczegółowej Uprawy Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu na poletkach o powierzchni 5 m², w 4 powtórzeniach. Badaniami objęto plantacje założone w 2004 i 2007 r.

Obserwacje polowe zdrowotności roślin przeprowadzono w odstępach 7-dniowych, w okresie od kwietnia do października. Za każdym razem analizowano zdrowotność 25 losowo wybranych roślin po przekątnej każdego poletka. Ocenę porażenia liści przez patogeny wykonano według własnej 5-stopniowej skali porażenia, gdzie: 1° – oznacza rośliny zdrowe, 2° – plamy zajmują 1–10% powierzchni liści, 3° – 11–20%, 4° – 21–40%, 5° – powyżej 40%. Następnie obliczono dla każdego patogenu wskaźnik porażenia roślin, posługując się wzorem: $WP = \Sigma (P \times W) / n$, gdzie: $\Sigma (P \times W)$ – suma iloczynów liczby roślin porażonych w określonym stopniu – P, przez odpowiadającą im

wartość stopnia porażenia – W, n – liczba wszystkich ocenianych roślin. Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie na podstawie analizy wariancji.

Isolacja grzybów z porażonych liści została wykonana w laboratorium Zakładu Fitoopatologii i Mikologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Polegała ona na opłukiwaniu liści w sterylnej wodzie, a następnie na wycinaniu z miejsca zmienionego procesem chorobowym 0,5 cm fragmentów liści. Fragmenty te wykładano na szalki Petriego, z zestaloną pożywką PDA, po uprzednim jej zakwaszeniu kwasem cytrynowym (3 ml/250 ml kolbę). Wyrastające kolonie grzybów odszczepiano na skosy z pożywką PDA i identyfikowano do gatunku wg dostępnych monografii: Ellis [1971] i Hsieh [1979].

Do określenia zbiorowisk grzybów występujących na powierzchni liści roślin wieloletnich pobierano z każdego poletka po 3 liście z 10 roślin. Liście wkładano do kopert papierowych, a następnie na czas transportu umieszczano je w przenośnej lodówce. Z każdego liścia w laboratorium, za pomocą korkoboru, wycinano cztery krążki o powierzchni 0,5 cm², które następnie wkładano do kolbek zawierających 10 ml sterylnej wody i umieszczano je na 10 min w wytrząsarce automatycznej (4 ampl. 250 cykli/min). Z tak uzyskanych popłuczyn pobierano pipetą po 1 ml zawiesiny, którą wylewano na szalki, w trzech powtórzeniach. Następnie szalki zalewano przestudzoną pożywką Martin, z dodatkiem antybiotyku tetracykliny. Wyrastające kolonie grzybów odszczepiano na skosy z pożywką PDA i oznaczano do gatunku według dostępnych monografii: [Raiłło 1950, Raper i Fennel 1965, Raper i Thom 1969, Ellis 1971, Arx 1974, Nelson i in. 1983, Barnett i Hunter 1999].

Wyniki badań

Na wiosnę 2007 i 2008 r., głównie na roślinach posadzonych w 2004 r., przy spadku temperatury poniżej 12°C obserwowano czerwienienie podstawy źdźbła znacznej części roślin. Zmiany zabarwienia w pierwszym roku obejmowały około 2/3 powierzchni źdźbła, a w drugim 1/3 (fot. 1).

Na roślinach posadzonych w 2007 r., w okresie trwania doświadczenia, nie zaobserwowano objawów alternariozy. Natomiast w każdym roku badań na roślinach posadzonych w 2004 r., w lipcu, notowano na liściach brunatne plamy o nieregularnym kształcie (tab. 1). W miejscach tych stwierdzano również żółknięcie blaszki liściowej w rejonie plam. Z porażonych liści wyosobniono polifagicznego grzyba *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (fot. 2). W pierwszym roku badań plamy występowały na nielicznych roślinach, głównie na liściach dolnych. Zajmowały one maksymalnie do 20% powierzchni blaszki liściowej. W drugim i trzecim roku alternariozę notowano już tylko na pojedynczych roślinach wieloletnich. Procent uszkodzonej powierzchni liści wynosił około 10%. W dwóch ostatnich latach badań na roślinach posadzonych w 2007 r. stwierdzono objawy chorobowe powodowane przez *Stagonospora tainanensis* W.H. Hsieh (tab. 1). W sierpniu na liściach pojawiały się jasnobieżowe plamy otoczone ciemnobrunatną obwódką z widocznymi piknidiami tego gatunku (fot. 3). W 2008 r. plamy występowały sporadycznie na roślinach rocznych, natomiast w 2009 r. porażenie liści znacznie wzrosło (20% porażonych roślin). W miarę rozwoju choroby – plamy łączyły się ze sobą, a liście przedwcześnie zasychały. Niekiedy plamy zajmowały nawet 30–40% blaszki liściowej. Na roślinach z plantacji założonej w 2004 r. septoriozę zaobserwowano tylko w 2009 r. Ich porażenie przez *S. tainanensis* było jednak znacznie mniejsze niż roślin posadzonych w 2007 r.



Fot. 1. Zmiany zabarwienia na źdźble miskanta spowodowane niską temperaturą
Phot. 1. Color change of Miscanthus stem caused by low temperature



Fot. 2. Objawy porażenia liści przez *Alternaria alternata*
Phot. 2. Symptoms of leaf infection by *Alternaria alternata*

Tabela 1
Table 1

Stopień porażenia liści miskanta olbrzymiego przez *Alternaria alternata*
i *Stagonospora tainanensis*
Leaf infestation index of *Miscanthus giganteus* by *Alternaria alternata*
and *Stagonospora tainanensis*

Skala porażenia Infestation scale	<i>A. alternata</i>						<i>S. tainanensis</i>					
	2007		2008		2009		2007		2008		2009	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1° Rośliny zdrowe/ Healthy plants	100	87	100	92	100	94	100	100	96	100	80	98
2° (1–10%)	–	4	–	8	–	6	–	–	4	–	6	2
3° (11–20%)	–	9	–	–	–	–	–	–	–	–	10	–
4° (21–40%)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4	–
5° (>40%)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Wskaźnik porażenia/ Infestation index	1,0	1,24	1,0	1,08	1,0	1,06	1,0	1,0	1,04	1,0	1,38	1,02
NIR – LSD ($\alpha=0,05$)	0,21		0,07		0,05		r.n. – n.s.		0,03		0,10	
Procent porażonych roślin/ Percentage of infected plants	0	13	0	8	0	6	0	0	4	0	20	2

A – rośliny posadzone w 2007 r. – plants planted on 2007
B – rośliny posadzone w 2004 r. – plants planted on 2004
r.n. – różnica nieistotna , n.s. – not significant difference



Fot. 3. Objawy porażenia liści przez *Stagonospora tainanensis* (z pycnidiami)
Phot. 3. Symptoms of leaf infection by *Stagonospora tainanensis* (with pycnidia)

Grzyby wyizolowane z fyllofery miskanta olbrzymiego (częstoliwość występowania w %)
Fungi isolated from phyllosphere of Miscanthus giganteus (frequency in %)

Gatunek grzyba Fungus	Lata – Years		
	2007	2008	2009
<i>Acremonium strictum</i> W. Gams	–	0,2	–
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	16,6	27,1	29,0
<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	–	0,4	4,0
<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	–	0,6	3,0
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries	9,6	0,6	1,0
<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	19,7	16,2	21,0
<i>Clonostachys rosea</i> f. <i>catenulata</i> (J.C. Gilman et. E.V. Abbott) Schroers	–	0,2	–
<i>Epicoccum nigrum</i> Link	–	8,2	18,0
<i>Fusarium culmorum</i> (W.G. Sm.) Sacc.	–	1,0	1,0
<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht.	–	1,0	–
<i>Gibberella avenacea</i> R.J. Cook	4,5	3,0	2,0
<i>Gibberella intricans</i> Wollenw.	–	0,8	–
<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	–	0,2	–
<i>Penicillium chrysogenum</i> Thom	5,1	0,8	0,8
<i>Penicillium griseofulvum</i> Dierckx	–	0,2	–
<i>Penicillium velutinum</i> J.F.H. Beyma	–	0,2	–
<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill.	1,9	2,2	1,4
<i>Talaromyces flavus</i> (Klöcker) Stolk et Samson	–	0,2	–
<i>Trichoderma polysporum</i> (Link) Rifai	–	0,2	–
<i>Ulocladium botrytis</i> Preuss	–	0,2	–
Kolonie ciemne niezarodnikujące – Dark non-sporulating fungi	3,8	4,4	8,7
Kolonie jasne niezarodnikujące – Bright non-sporulating fungi	–	0,6	–

Z fyllofery miskanta uzyskano łącznie 20 gatunków grzybów, ciemne i jasne kolonie niezarodnikujące oraz grzyby drożdżoidalne (tab. 2). Największe ich bogactwo zanotowano w 2008 r. We wszystkich latach badań, z fyllofery, najliczniej izolowano grzyby drożdżoidalne. Ich procentowy udział w ogólnej liczbie izolatów był wysoki i wynosił średnio około 33% (2007–2008), natomiast w ostatnim roku badań stanowił tylko 10%. Z grzybów patogenicznych najliczniej notowany był *A. alternata*. Jego procentowy udział wahał się od 16,6% w pierwszym roku badań do 29% w ostatnim roku trwania doświadczenia. Licznie występowały również grzyby z rodzaju *Cladosporium*. Stanowiły one w zależności od lat badań 17–30% wszystkich grzybów. Zdecydowanie częściej notowany był *C. herbarum* (Pers.) Link (16,2–21,0%), niż *C. cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries (0,6–9,6%). *Epicoccum nigrum* Link notowany był w dość dużej liczbie, we wszystkich latach badań (w pierwszym roku 4,4 %, w drugim 8,2% i w trzecim 18 %). Procentowy udział *Fusarium* spp. w ogólnej liczbie izolatów był niski i wahał się od 3,0% do 5,0%. Najwięcej gatunków tych grzybów uzyskano w 2008 r., który był rokiem bardzo ciepłym. Inne grzyby występowały w jeszcze mniejszym nasileniu: *Penicillium* spp., *Botrytis cinerea* Pers., *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. i *Mucor hiemalis* Wehmer.

Dyskusja

Rodzaj *Miscanthus* Anderss. obejmuje ponad 20 różnych, wykazujących dużą zmienność morfologiczną gatunków, pochodzących przede wszystkim z Japonii, Filipin oraz dawnych Indochin. Obecnie dziko rosnący lub uprawiany na cele opałowe miskant występuje na terenie prawie całej Azji Południowo-Wschodniej oraz Azji Centralnej. W rejonach tych jest on porażany przez wiele różnych, charakterystycznych dla tych lokalizacji czynników chorobotwórczych [Yamashita i in. 1985].

Miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) jest triploidem wyhodowanym w Danii w wyniku skrzyżowania diploidalnego *M. sinensis* Anderss. (miskanta chińskiego) z tetraploidalnym *M. sacchariflorus* (Maxim.) Franch. (miskantem cukrowym). Genotyp ten charakteryzuje się szybkim wzrostem (rośliny tego gatunku w środowisku naturalnym dorastają nawet do 6 m wysokości, a średnica ich pędów osiąga 6 cm), wysokim plonem biomasy z jednostki powierzchni oraz wysoką jak na ten gatunek odpornością na niskie temperatury, szkodniki i choroby. W warunkach europejskich nie rozmnaża się generatywnie, ale wegetacja roślin na jednym miejscu może trwać nawet do 30 lat. Obszar uprawy tej rośliny systematycznie się powiększa, jednak w Europie nie jest on tak znaczny jak w USA czy w Kanadzie [Majtkowski 2007, Żurek 2008].

W polskich warunkach momentem krytycznym w uprawie miskanta olbrzymiego jest wrażliwość sadzonek na niskie temperatury w pierwszym roku uprawy. W przeprowadzonym doświadczeniu rośliny starsze silniej reagowały na spadek temperatury w okresie wiosennym niż rośliny jednoroczne. Sadzonki są również bardziej podatne na infekcję przez czynniki chorobotwórcze. W Stanach Zjednoczonych, w warunkach niekorzystnych dla swojego rozwoju, sadzonki miskanta są bardzo podatne np. na infekcję przez *Stagonospora* sp. [O'Neill i Farr 1996], a w Japonii [Yamashita i in. 1985] i Wielkiej Brytanii [Rutherford i Heath 1992] przez wirusa smugowatości [*Miscanthus Streak Virus*].

Z przeprowadzonych obserwacji polowych wynika, że największym zagrożeniem dla zdrowotności liści miskanta były grzyby *Stagonospora tainanensis* i *Alternaria alternata*. W rejonach tropikalnych i subtropikalnych, gdzie uprawa miskanta jest bardziej popularna niż w naszym kraju, najczęściej problemów stwarzają wirusy i bakterie [Yamashita i in. 1985, Christian i in. 1994, Hugget 1996]. Szczególnie duże straty może powodować wirus żółtej karłowatości jęczmienia [Barley Yellow Dwarf Luteovirus], przenoszony przez mszyce z plantacji jęczmienia na miskant [Christian i in. 1994, Hugget 1996]. W przeprowadzonym doświadczeniu nie obserwowano jednak zmian charakterystycznych dla chorób wirusowych i bakteryjnych.

Problemem w uprawie miskanta mogą być również grzyby rodzajów *Stagonospora*, *Cercospora* i *Fusarium*. Według O'Neill i Farrego [1996] *Stagonospora* spp. porażają głównie rośliny jednoroczne i to znalazło potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach. Infekcji liści sprzyjał szczególnie 2009 r., który był rokiem mokrym, co przyczyniło się do rozprzestrzeniania zarodników konidialnych z piknid wraz z kroplami deszczu. Plamistości liści miskanta mogą być także powodowane przez inne gatunki z rodzajów: *Helminthosporium*, *Bipolaris*, *Drechslera* [Remlein-Starosta 2007]. Jednak z porażonych plam izolowano tylko *S. tainanensis*. Symptomy chorobowe podobne do septoriozy powoduje również cerkozporioza powodowana przez *Cercospora miscanthi* Sawada [Hsieh 1979]. Cechą odróżniającą objawy tych chorób są piknidia, które tworzą się na powierzchni plam roślin porażonych przez *S. tainanensis*.

W lipcu, z brunatnych plam tworzących się na liściach roślin starszych, izolowano *Alternaria alternaria*. Gatunek ten jest uważany za potencjalnie niebezpieczny, ponieważ może tworzyć kwas tenazonowy inhibujący wydłużanie się korzonków i kiełków wielu roślin oraz alternariol hamujący rozwój siewek [Bottalico i Logrieco 1998]. W miarę wzrostu arealu uprawy miskantusa stanowić więc może pewien problem w jego uprawie i ukorzenianiu młodych sadzonek [Remlein-Starosta 2007]. *Alternaria alternata* jest gatunkiem powszechnie występującym na zbożach w okresie zniw i powoduje czerń zbóż. Prawdopodobnie zboża są też źródłem infekcji dla miskanta chińskiego. Badania fyllosfery potwierdzają jego dużą liczebność na powierzchni liści tej rośliny.

W zbiorowiskach grzybów wyosobnianych z fyllosfery notowano również bardzo często przedstawicieli *Cladosporium* spp. (*C. cladosporioides* i *C. herbarum*) oraz *Epicothium nigrum*. Grzyby te są również odpowiedzialne za czerń zbóż. Występują one licznie na kłosach oraz liściach zbóż i traw. Kita [1988] oraz Kutrzeba [1993] potwierdzają, że grzyby te często izolowane są z powierzchni liści wielu roślin. Jedną z głównych przyczyn ich liczego występowania w fyllosferze jest wysoka koncentracja zarodników *Cladosporium* spp. w powietrzu w porównaniu z zarodnikami innych gatunków oraz wszechstronne zdolności do wytwarzania enzymów, które pozwalają im zajmować różne siedliska [Mędreła-Kuder 1999]. Dostatecznie liczne występowanie w fyllosferze różnych gatunków rodzaju *Cladosporium* potwierdza również w swoich badaniach Madej [1996]. Niektórzy badacze twierdzą, że istnieje prawdopodobieństwo, że *E. nigrum* może być antagonistą wobec grzybów patogenicznych infekujących liście [Mims i Richardson 2005].

Izolowane bardzo licznie z powierzchni liści kolonie grzybów drożdżoidalnych stwierdzali również w fyllosferze inni autorzy [Chruściak 1974, Blakeman i Fokkema

1982, Kita i Mazurek 2003]. Grzyby te stanowią, prawdopodobnie, naturalną barierę ochronną liści przed infekcją przez grzyby patogeniczne [Blakeman i Fokkema 1982].

Z powierzchni liści nielicznie izolowano przedstawicieli rodzaju *Fusarium*. W krajach tropikalnych i subtropikalnych, gdzie panują szczególnie sprzyjające warunki dla ich rozwoju, *Fusarium* spp. stanowią bardzo duży problem w uprawie miskanta. W Japonii i Danii grzyby te powodują groźną chorobę – fuzariozę podstawy źdźbła, której objawem jest brunatnienie porażonych organów. Na badanych plantacjach nie zaobserwowano tych zmian chorobowych na podstawie źdźbła. Bardzo ważną drogą rozprzestrzeniania się przedstawicieli tego gatunku są, prawdopodobnie, zainfekowane sadzonki [Gams i in. 1999].

Wnioski

Największym zagrożeniem dla zdrowotności liści roślin młodszych był *Stagonospora tainanensis*, a dla starszych *Alternaria alternata*.

Grzyby drożdżoidalne, licznie występujące w fyllosferze miskanta olbrzymiego, prawdopodobnie chronią liście przed infekcją przez grzyby patogeniczne.

Piśmiennictwo

- Arx J.A.: 1974. The genera of fungi. J. Cramer, Vaduz.
- Barnett H.L., Hunter B.B.: 1999. Illustrated genera of Imperfect fungi. APS Press, St. Paul, Minnesota.
- Blakeman J.P., Fokkema N.J.: 1982. Potential for biological control of plant diseases on the phylloplane. Ann. Rev. of Phytopath., 1: 167–192.
- Bottalico A., Logrieco A.: 1998. Toxigenic *Alternaria* species of economic importance, [in:] Mycotoxins in agriculture and food safety. (Ed. Sinha K.K., Bhatnagar D.). Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong, 65–108.
- Christian D.G., Lampty J.N.L., Forde S.M.D., Plumb R.T.: 1994. First report of barley yellow dwarf leuteovirus on *Miscanthus* in the United Kingdom. European J. of Plant Pathology, 100, 167–170.
- Chruściak E.: 1974. Mikroflora fyllosfery. Acta Mycol., 10, 1, 1–171.
- Ellis M.B.: 1971. Dematiaceus *Hyphomycetes*. Comme. Mycol. Instit., Key, Surrey, England, London.
- Gams W., Klamer M., O'Donell K.: 1999. *Fusarium miscanthi* sp. nov. from *Miscanthus* litter. Mycol. 91, 2, 263–268.
- Hsieh W.H.: 1979. The causal organism of sugarcane leaf blight. Mycol. 71, 5, 892–898.
- Hugget D.A. 1996. Potential aphid pests of the biomass crop *Miscanthus*, [in:] Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference (Pests and Diseases), British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, 427–428.
- Kita W.: 1988. Mikroflora fyllosfery jako czynnik ochrony słonecznika oleistego przed chorobami powodowanymi przez grzyby, w zależności od warunków ekologicznych. Acta Myc., 12, 2, 205–221.
- Kita W., Mazurek J.: 2003. Skład gatunkowy fyllosfery różanecznika w Ogrodzie Botanicznym we Wrocławiu i Arboretum w Wojsławicach. Erica Polonica, 14, 25–36
- Kutrzeba M.: 1993. Mikroflora liści *Festuca pratensis* Huds. Biul. IHAR, 188, 33–41.
- Madej T.: 1996. Epi- i endotroficzne grzyby w fylloplanie. Hod. Rośl. i Nasienn., 1, 17–19.
- Majtkowski W.: 2007. Rośliny energetyczne na paliwo stałe. Wieś Jutra, 8/9, 16–18.

- Mędreła-Kuder E.: 1999. Występowanie zarodników grzybów w powietrzu atmosferycznym na terenie Krakowa z uwzględnieniem zanieczyszczenia pyłowego. Arch. Ochr. Środ., 25, 1, 63–70.
- Mims C.W., Richardson E.A.: 2005. Ultrastructure of sporodochium and conidium development in the anamorphic fungus *Epicoccum nigrum*. Can. J. Bot., 83, 1354–1363.
- Nelson P.E., Toussoun T.A., Cook R.J.: 1981. *Fusarium* disease, biology and taxonomy. The Pennsylvania State University. University Park in London.
- O’Niell R.N., Farr D.F.: 1996. Miscanthus blight, a new foliar disease of ornamental grasses and sugarcane incited by *Leptosphaeria* sp. and its anamorphic state *Stagonospora* sp. Plant Dis., 80, 980–984.
- Raiłło A.J.: 1950. Griby roda *Fusarium*. Gosudarstvennoie Izdarelstwo Selskohoziastwennoi Literatury. Moskwa.
- Raper K.B., Fennel D.I.: 1965. The genus *Aspergillus*. The Williams & Wilkins Company, Baltimore.
- Raper K.B., Thom C.: 1968. A manual of the *Penicillia*. Hafner Publishing Company. New York.
- Remlain-Starosta D.: 2007. Choroby roślin energetycznych. Post. w Ochr. Rośl., 47, 4, 351–357.
- Rutherford L., Heath M.C. (eds): 1992. The potential of *Miscanthus* as a fuel crop. Energy Technology Support Unit (ETSU) B1354. Harwell, UK.
- Yamashita S., Nonaka N., Doi Y., Yora K.: 1985. Miscanthus streak virus, a geminivirus in *Miscanthus sacchariflorus* Benth et Hook. Ann. of the Phytopathological Soc. of Japan, 5, 582–590.
- Żurek G.: 2008. Uprawy energetyczne: za i przeciw. Agrotechnika, 11, 26–29.

5. WYKORZYSTANIE SŁOMY MISKANTA OLBRZYMIEGO (*MISCANHTUS X GIGANTEUS* GREEF ET DEU.) NA CELE ENERGETYCZNE

5.1. Miskant olbrzymi jako nośnik energii odnawialnej

Wstęp

➤ Dane charakterystyczne

Miskant jest rośliną energetyczną o rozbudowanym systemie korzeniowym, który stwarza możliwości czerpania wody i składników odżywczych z głębszych warstw gleby. Sprawia to, że po ukorzenieniu się znosi dobrze brak wody. Ważną cechą jest, że jako roślina o cyklu fotosyntetycznym C_4 bardzo dobrze wykorzystuje światło w procesie fotosyntezy. Nie wymaga wysokiego nawożenia mineralnego, a ponadto wykazuje wysoką odporność na większość patogenów roślinnych. Właściwości te sprawiają, że w Polsce odnotowuje się dynamiczny wzrost uprawy miskanta. Cenne jest jego małe zapotrzebowanie na wodę (2–3 tys. m^3 rocznie na powierzchnię 1 ha uprawy), co ma znaczenie przy ograniczonych zasobach wodnych Polski. Średnia wydajność kilkuletniej plantacji kształtuje się na poziomie ok. 20–22 ton biomasy z 1 ha, przy wilgotności ok. 20%. Wartość opałowa miskanta przytaczana w literaturze waha się od 12 do 17 $MJ \cdot kg^{-1}$, co wskazuje na mało precyzyjne pod względem metodycznym jej określenie. Poważnym mankamentem zakładania plantacji uprawy miskanta w polskich warunkach jest wrażliwość sadzonek na niskie temperatury w pierwszym roku po posadzeniu. Miskant po ukorzenieniu się, a zwłaszcza w trzecim sezonie wegetacyjnym, uzyskuje wysokie plony, najwyższe jednak na żyznych glebach III–IV klasy bonitacyjnej, o odczynie pH od 5,5 do 7,5, z niskim poziomem wód gruntowych.

➤ Perspektywy energetycznego wykorzystania miskanta

Energetyczne wykorzystanie biomasy na cele energetyczne poprzez spalanie jest podstawową formą konwersji biomasy. W Polsce funkcjonuje wiele kotłowni opalanych biomasą, w których spalana jest słoma lub inne rodzaje biomasy. Rozwiązania konstrukcyjne kotłów powodują, że nie ma istotnych przeszkód, ażeby spalać lub współspalać w nich biomasę uzyskaną z upraw roślin energetycznych. Spośród traw wieloletnich na uwagę zasługują introduktowane gatunki traw takie jak: miskant olbrzymi, miskant cukrowy, spartina preriowa czy palczatka Gerarda. Często wyrażany jest pogląd, że w Polsce przy rocznym zużyciu do celów energetycznych wynoszącym ok. 100 milionów ton węgla zapotrzebowanie na biomasę w energetyce w ciągu kilku najbliższych lat wzrośnie do ponad 11 mln ton. Pokrycie rosnącego zapotrzebowania na biomasę

wymagać będzie wprowadzenia do uprawy wysoko wydajnych gatunków roślin. Jest to tym bardziej istotne, gdyż sektor upraw energetycznych w Polsce znajduje się w początkowej fazie rozwoju. Systematyczny wzrost zapotrzebowania na biomasę spowoduje większe zainteresowanie roślinami, które można uprawiać na wieloletnich plantacjach, w szczególności roślin o prostej i taniej agrotechnice – niskie koszty uprawy i zbioru. Rośliną taką niewątpliwie jest miskant olbrzymi, którego uprawa na skalę przemysłową jest już w kraju rozwinięta [Gostkowski 2005]. Uprawa miskantusa na cele energetyczne wydaje się być kierunkiem, który ma szansę zaspokoić oczekiwania rynku energii. Przewodzone od kilku lat badania nad przydatnością energetyczną, głównie próby spalania miskantusa, wykazały jego korzystne walory jako nośnika energii.

Biomasa miskanta może być spalana oraz przetwarzana energochemicznie w procesach pirolizy, zgazowania, upłynniania. W praktyce do najczęściej stosowanych technologii energetycznego wykorzystania biomasy, w tym biomasy miskanta, należy zaliczyć:

- bezpośrednie spalanie w postaci (rozdrobnionej, kompaktowanej – peletyzowanej, brykietowanej),
- bezpośrednie współspalanie z węglem (tzw. *co-firing*) wykorzystujące konwencjonalne kotły,
- pośrednie współspalanie z węglem, tj. wstępne zgazowanie biomasy i następcze współspalanie wytworzonego gazu procesowego.

Własności fizykochemiczne miskanta są zbliżone do słomy, co sprawia, że jego spalanie w kotłach przeznaczonych do spalania słomy nie nastęrcza większych problemów. Duża zawartość substancji lotnych pokazuje, iż znaczna część właściwego spalania następuje w fazie gazowej, lotnej; dlatego też efektywne przeprowadzenie procesu spalania wymaga większej komory spalania oraz dostarczenia dodatkowego powietrza do drugiej części paleniska, tzw. powietrza wtórnego. Biomasa pozyskana z miskanta charakteryzuje się korzystnymi właściwościami energetycznymi – ciepło spalania szacowane jest na poziomie ok. $22 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz niską zawartością substancji chemicznych po spalaniu: popiołu 3,38%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,42\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 5,34\%$, $\text{K}_2\text{O} = 26,42\%$, $\text{SiO}_2 = 2,15\%$ [Lewandowski i in. 2000, Herzog 1994]. W pracy [Komorowicz i in. 2009] analizowano ciepło spalania kilku rodzajów biomasy i wykazano, że ciepło spalania miskanta wyniosło $17,95 \text{ MJ/kg}$, natomiast wartość opałowa, obliczona na podstawie ciepła spalania, wilgotności, zawartości wodoru i popiołu w stanie analitycznym (wilgotność materiału po przygotowaniu próbki do analizy) oraz w stanie roboczym (wilgotność materiału jako gotowego paliwa) i w stanie suchym bezpopiołowym zależała od zawartości wilgoci oraz popiołu i wynosiła w stanie suchym $18,272 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a w stanie bezpopiołowym $18,300 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dane literaturowe odnośnie wartości opałowej, zawartości popiołu oraz przydatności energetycznej miskanta są zróżnicowane. O energetycznym wykorzystaniu biomasy miskantusa w procesach spalania decyduje przede wszystkim zawartość wilgoci, pokrój roślin (zawartość liści, łodyg) i stan skupienia (tab. 1), dlatego konieczne są dalsze badania porównawcze w zakresie oznaczania parametrów energetycznych oraz jakości procesu spalania. Wdrożenie intensywnych form uprawy roślin o dużym przyroście biomasy stwarza szerokie spektrum ich energetycznego wykorzystania, głównie poprzez spalanie, a także inne formy termicznego przetwarzania. Miskant jest rośliną szczególnie predysponowaną do tych celów, zaś ze względu na wymagania przyrodniczo-agrotechniczne jego walory energetyczne nie zostały całkowicie rozpoznane.

Cel pracy

Celem badań było dokonanie kompleksowej analizy przydatności energetycznego wykorzystania biomasy miskanta. W szczególności badania obejmowały:

- wykonanie pomiarów cech fizycznych, długości czy stosunku masy liści do masy łodyg,
- analizę chemiczną i jakościową biomasy miskanta,
- analizę ilości i składu popiołu,
- określenie zawartości metali ciężkich w popiele,
- wyznaczenie ciepła spalania i wartości opałowej miskanta dla zróżnicowanego okresu zbioru w odniesieniu do całej rośliny oraz oddzielnie dla łodyg i liści,
- obliczenia dla porównania kaloryczności paliwa na podstawie składu chemicznego,
- określenie temperatury spalania,
- wykonanie badań spalania w nagrzewnicach powietrza dwóch typów.

Badania wykonano na kilku formach miskanta i dla porównania na innym materiale roślinnym. Na podstawie wyników pomiarów określono współczynnik nadmiaru powietrza λ , temperaturę spalin T_{sp} , udział CO, NO_x i SO₂ w spalinach.

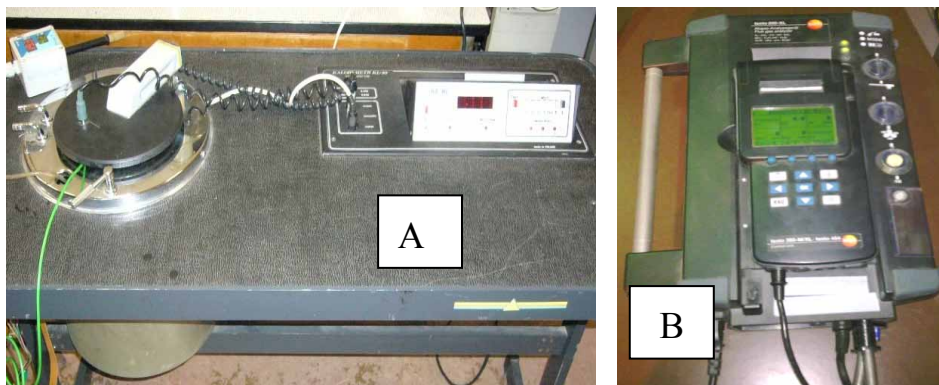
Z pomiarów oraz obliczeń dokonano bilansu ilości dwutlenku węgla emitowanego łącznie do atmosfery podczas spalania oraz wzrostu dla różnych etapów jego produkcji i spalania.

Metodyka i zakres badań

Badania cech fizyko-mechanicznych oraz przydatności energetycznej miskanta olbrzymiego wykonano oddzielnie dla poszczególnych części rośliny. Badania obejmowały wyznaczenie cech fizycznych, jak: masa właściwa oddzielnie łodyg i liści, pomiary długości pojedynczych pędów oraz procentowe udziały poszczególnych mas właściwych. Pomiary przeprowadzono dla dziesięciu losowo wybranych pędów z każdego roku, zebranych na jesieni 2007 r. i na wiosnę 2008 r. Pierwsze zebrano zatem po 26 miesiącach uprawy, drugie – po 34 miesiącach uprawy. Analizy przeprowadzono w okresie lipiec – sierpień, a materiał do czasu badań przechowywany był w temp. pokojowej. Wilgotność miskanta określano w temperaturze 130°C przez okres 4 godz. przy wykorzystaniu komory cieplnej KBC-250.

Badania spalin przeprowadzono z wykorzystaniem analizatora spalin TESTO 350 M (fot. 1 B). Ciepło spalania i wartość opałową wyznaczono zgodnie z instrukcją pomiarów dla kalorymetru KL-10, firmy Precyzja – BIT (fot. 1 A).

Metoda pomiaru była zgodna z wymogami Polskiej Normy PN-G-045131981 – Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i wartości opałowej. Badania ciepła spalania przeprowadzono na pędach miskanta ze zbioru po 26 i 34 miesiącach uprawy. Pomiary ciepła spalania poprzedzono pomiarami wilgotności poszczególnych części roślin. Do pomiarów użyto próbki paliwa w postaci sprasowanej pastylki. Norma dopuszcza różne formy materiału do badań, w tym również postać naturalną.



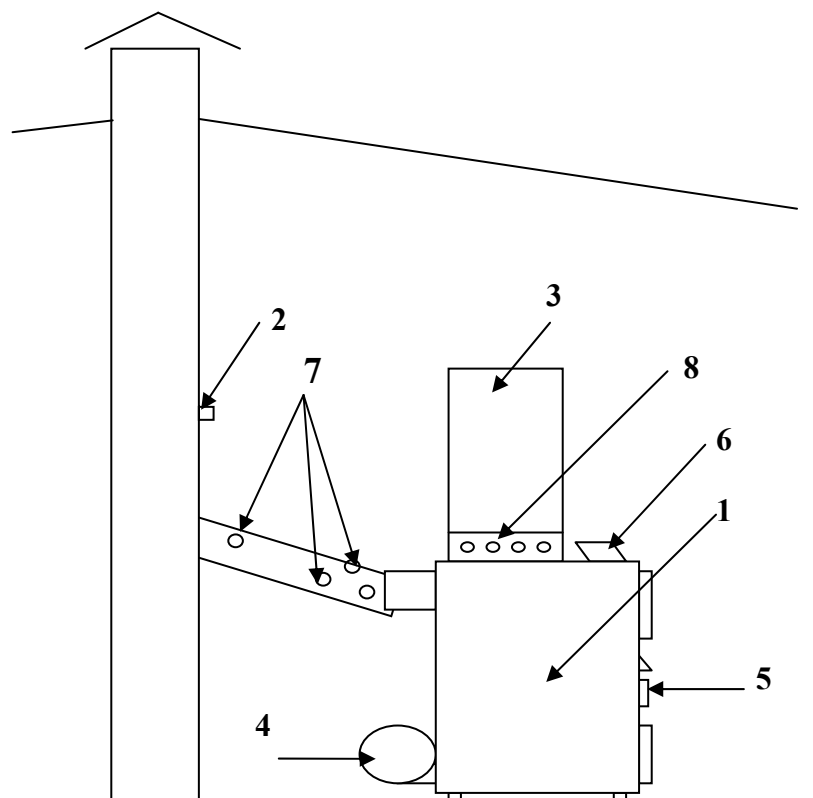
Fot. 1. Widok przedstawiający kalorymetr KL-10 (A) oraz analizator spalin typu TESTO 350M (B)
 Phot. 1. Calorimeter KL-10 (A) and combustion products analyser TESTO 350M (B)

Pomiar zasadniczy poprzedzono określeniem stałej kalorymetru i zgodnie z Polską Normą PN-G-045131981 i PN –ISO 1928. wykorzystano trzy rodzaje paliwa wzorcowego, tj. sacharozę, naftalenu i kwasu benzoesowego. Ostatecznie, ze względu na duże odchylenia standardowe, do wyznaczenia stałej kalorymetru użyto kwasu benzoesowego. Inną część badań wykonano w certyfikowanej jednostce Laboratorium Badawczym Zakładów Pomiarowo-Badawczych Energetyki „Energopomiar” w Gliwicach, posiadającej certyfikat Nr AB 550. Badania tam przeprowadzone dotyczyły pomiarów kaloryczności, składu chemicznego, ilości i składu popiołu, temperatur topliwości popiołu oraz zawartości metali ciężkich w popiele. Kaloryczność paliwa można także określić na podstawie składu chemicznego paliwa. Stąd przeprowadzono takie obliczenia dla wybranych równań literaturowych. Podobnie, opierając się na składzie paliwa, dokonano obliczeń teoretycznej temperatury spalania. Badania procesu spalania miskaanta przeprowadzono na dostępnym piecu-nagrzewnicy powietrza VIGAS o mocy 20 kW (fot. 2).



Fot. 2. Zdjęcia przedstawiające komorę spalania nagrzewnicy VIGAS oraz oprzyrządowanie stanowiska pomiarowego
 Phot. 2. View of combustion chamber of VIGAS heater and equipment of the measurement stand

Ma ona komorę zamkniętą z nastawialną temperaturą spalania z układem automatycznego włączania i wyłączania wentylatora podmuchu, co zapewnia utrzymanie nastawionej temperatury. Nagrzewnica znajduje się w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Do odprowadzania spalin zastosowano 8-metrowy komin. Proces spalania polegał na wypełnieniu komory miskantem czy innym paliwem, co sprowadzało się do podania ok. 10 kilogramów jednorazowo i zakończeniu procesu spalania lub dołożeniu następnej partii 10 kg paliwa. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat nagrzewnicy powietrza VIGAS: 1 – nagrzewnica powietrza VIGAS, 2 – komin, 3 – komora odprowadzająca podgrzane powietrze, 4 – wentylator powietrza podgrzewanego, 5 – wentylator powietrza do spalania, 6 – panel sterowniczy pieca, 7 – punkty pomiaru temperatury spalin i stopnia zaczernienia spalin metodą Bacharacha, 8 – punkty pomiaru temperatury podgrzanego powietrza

Fig. 1. Scheme of VIGAS air heater: 1 – VIGAS air heater, 2 – chimney, 3 – chamber for hot air outlet, 4 – heated-air fan, 5 – fan of combustion air, 6 – furnace control panel, 7 – points of measurement of combustion gas temperature and degree of combustion gas blackness by Bacharach's method, 8 – points of heated-air temperature measurement

Druga nagrzewnica SILVER (fot. 3), będąca odpowiednikiem nagrzewnicy Bul-lerjan, działa w sposób tradycyjny, w pierwotnej wersji bez rusztów, ponieważ zasadni-czo przeznaczona jest ona do spalania polan drewna. Powietrze ogrzewa się w nim w rurkach opasujących komorę spalania. Następnie zaopatrzone nagrzewnice w 27 rusztów o długości 34 cm. Podobnie i tutaj podawano paliwo co pewien czas dla kontynu-acji badań. W przeprowadzaniu badań kierowano się normami PN-EN 303-5 i PN-EN 12809.



Część paleniskowa.
Furnace part
Widok nagrzewnicy
View of heater

Część grzewcza
Heating part



Obudowa wylotu powietrza z nagrzewnicy,
do pomiaru temperatur podgrzanego powietrza
wylotowego
Casing of air outlet from the heater, for meas-
urement of hot air temperature at the outlet



Wnętrze komory spalania po zainstalowaniu rusztów
Combustion chamber after installing the grid

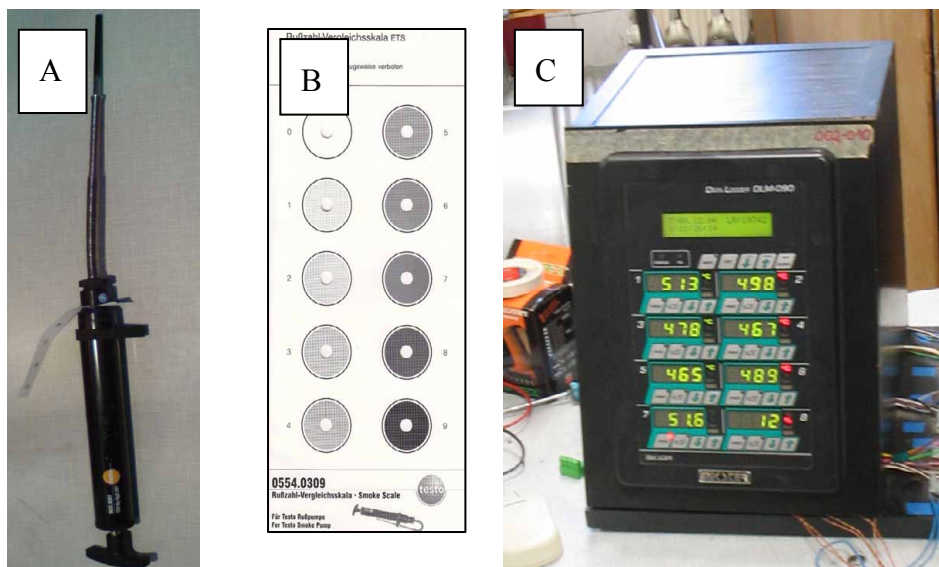


Wylot ogrzanego powietrza z części grzewczej
nagrzewnicy
Outlet of hot air from the heating part of heater

Fot. 3. Widok nagrzewnicy powietrza SILVER z częścią paleniskową (u dołu) i częścią grzewczą (na górze)

Phot. 3. View of SILVER air heater with furnace (bottom) and the heating part (top)

Oba kotły oprzyrządowano w króćce na rurach wychodzących z nagrzewnic do prze-wodu kominowego (rys. 1). Jeden króćciec znajdował się w kominie. Sondę umieszczano na rurze łączącej nagrzewnicę z kominem. W jednym z króćców na tej samej rurze umieszczano tzw. sondę Bacharacha, dla oceny w skali od 0 do 9 stopnia zaczernienia spalin (fot. 4). Pomiaru temperatur opuszczających nagrzewnice VIGAS lub SILVER dokonywano wielofunkcyjnym rejestratorem mikroprocesorowym DLM-090 MIKSTER.



Fot. 4. Rejestrator mikroprocesorowy DLM-090 MIKSTER do zbierania temperaturowych danych pomiarowych (A), pompka Bacharacha do pomiaru stopnia zaczernienia spalin (B) oraz wzornik do pompki Bacharacha, w skali 0–9 (C)
 Phot. 4. Microprocess recorder DLM-090 MIKSTER for collecting temperature data (A), Bacharach pump for measuring the darkness of combustion products (B), Bacharach pump master, 0-9 scale (C)

Wyniki badań

➤ Wyniki pomiarów cech fizycznych

Pomiary cech fizycznych wykazały, że wysokości pędów zebrane w roku 2008 dla okresów zbioru A i B są zdecydowanie większe (3,32 m) od pozyskanych w roku 2007 (2,44 m). Wynika to głównie ze zróżnicowanej długości okresu wegetacji. Dla etapu badań B, tj. po 34 miesiącach uprawy, masy całego pędu roślin były zbliżone i wahały się od 62,04 do 66,37 g. Wykazano także, że niezależnie od etapu badań – długości okresu uprawy miskanta – procentowy udział liści wahał się od 26,16 do 27,90%, natomiast udział procentowy łodyg wynosił odpowiednio od 72,10 do 73,84%. Średni udział liści w badaniach Lewandowskiego i Kicherera [1997] (przy 13 różnych sposobach nawożenia miskanta na różnych polach) wyniósł 20,15% (S.D. = 3,72), co jest wartością mniejszą o ok. 6% w stosunku do badań własnych. Wilgotności łodyg dla obu okresów były zbliżone i wynosiły od 8,72 do 10,99%, co oznacza, że po zbiorze wysychają do podobnej wilgotności (rozdział 4.9). Przy badaniach dotyczących liści – wilgotności różnią się już zasadniczo, co może świadczyć, że początkowa ilość wody w materiale była mniejsza dla tych zebranych w roku 2007. Średnie wilgotności liści z roku 2007 wynosiły 8,75%, podczas gdy dla zebranych w roku 2008 (czyli starszych o 8 miesięcy) uzyskano wilgotność 9,02%. Odchylenie standardowe wyliczone dla liści,

materiału zebranego w 2007 r. było znacznie większe, co świadczy o dużym zróżnicowaniu wilgotności badanych liści. Minimalna wilgotność dla liści z roku 2007 to 6,73%, a w roku 2008 to 9,59%. W roku 2007 średnia wysokość pojedynczego pędu zebranego wynosiła 2,44 m (tab. 1). Średnia masa liści z pojedynczych pędów wyniosła 10,61 g, zaś masa łodyg średnio 26,99 g, a więc masa całkowita każdego pędu wynosiła średnio 37,60 g. Udział procentowy masy liści to 27,90%, zaś masy łodygi 72,10%.

W roku 2008 średnia wysokość pojedynczego pędu wynosiła 3,32 m dla okresu A i 3,27 m dla okresu B. Średnia masa liści z pojedynczych pędów to 17,58 g dla A i 16,12 g dla okresu B. Masa łodyg dla okresu A wynosiła średnio 48,79 g, dla okresu B 45,95 g, a więc masa całkowita każdego pędu liczyła średnio odpowiednio 66,37 oraz 62,07 g. Są to wartości zbliżone i dwa razy większe od tych z roku 2007. Udział procentowy liści w 100% pędu to 26,55% / 26,16%, zaś łodygi 73,45% / 73,84%. Wartości procentowe udziałów liści i łodyg z poszczególnych lat były do siebie zbliżone, a więc można stwierdzić, że stosunek mas poszczególnych części był podobny bez względu na termin zbioru miskanta. Porównanie zakresu zmian właściwości fizycznych (tab. 2 i 3) dla analizowanych okresów zbioru wykazały znaczne rozbieżności mas i długości pomiędzy pędami.

Tabela 1

Table 1

Cechy fizyczne pędów miskanta z roku 2007 i 2008 – okres zbioru A i B
Physical properties of Miscanthus from 2007 and 2008 – harvest period A and B

Nr pomiaru Measurement No	Wysokość pojedynczego pędu Height of single shoot	Masa liści Mass of leaves	Masa łodyg Mass of stems	Masa całkowita Total mass	Udział procentowy poszczególnych części pędu Percent share of shoot elements	
					liści leaves	łodyg stems
	[m]	[g]	[g]	[g]	[%]	
2007/okres zbioru A – 2007/harvest period A						
1	1,80	3,26	15,78	19,04	17,12	82,88
2	2,60	15,74	26,04	41,78	37,67	62,33
3	3,10	6,51	28,62	35,13	18,53	81,47
4	2,15	9,23	14,70	23,93	38,57	61,43
5	2,25	7,91	21,34	29,25	27,04	72,96
6	2,70	15,47	40,58	56,05	27,60	72,40
7	2,30	8,53	33,13	41,66	20,48	79,52
8	2,00	14,79	34,22	49,01	30,18	69,82
9	2,85	9,74	21,16	30,90	31,52	68,48
10	2,65	14,95	34,34	49,29	30,33	69,67
Wart. średnia Mean value	2,44	10,61	26,99	37,60	27,90	72,10
Odch. standard. Standard deviation	0,41	4,36	8,66	11,99	7,40	7,41

Tabela 1 cd.
Table 1 cont.

Nr pomiaru Measurement No	2008/okres zbioru A 2008/harvest period A					
	1	2,85	11,67	52,40	64,07	18,21
2	3,25	22,25	59,88	82,13	27,09	72,91
3	3,35	14,75	38,75	53,50	27,57	72,43
4	3,60	19,99	46,61	66,60	30,02	69,98
5	3,55	16,34	50,74	67,08	24,36	75,64
6	3,70	22,62	66,11	88,73	25,49	74,51
7	2,80	11,76	36,84	48,60	24,20	75,80
8	3,50	19,08	37,14	56,22	33,94	66,06
9	3,30	20,14	54,42	74,56	27,01	72,99
10	3,25	17,15	45,03	62,18	27,58	72,42
Wart. średnia Mean value	3,32	17,58	48,79	66,37	26,55	73,45
Odch. standard. Standard deviation	0,30	3,95	9,83	12,58	4,08	4,08

Nr pomiaru Measurement No	2008/okres zbioru B 2008/harvest period B					
	1	3,05	10,11	35,99	46,10	21,93
2	3,25	22,25	42,67	64,92	34,27	65,73
3	3,35	14,75	39,15	53,90	27,37	72,63
4	3,20	19,73	37,19	56,92	34,66	65,34
5	3,00	12,98	49,22	62,20	20,87	79,13
6	3,05	10,62	66,11	76,73	13,84	86,16
7	3,10	12,97	36,84	49,81	26,04	73,96
8	3,50	20,68	48,72	69,40	29,80	70,20
9	3,55	18,76	49,86	68,62	27,34	72,66
10	3,60	18,39	53,72	72,11	25,50	74,50
Wart. średnia Mean value	3,27	16,12	45,95	62,07	26,16	73,84
Odch. standard. Standard deviation	0,22	4,37	9,52	10,11	6,26	6,26

Tabela 2
Table 2

Wartości średnie masy poszczególnych części miskanta na 1 metr długości pędu
Mean values of individual parts of Miscanthus per 1 m length of shoot

Okres zbioru Harvest period	Masa liści na metr długości pędu Mass of leaves	Masa łodygi na metr długości pędu Mass of shoot	Masa całkowita pędu na metr długości pędu Total mass
	[g / m]	[g / m]	[g / m]
2007 – okres A harvest period A	4,34	11,06	15,16
2008 – okres A harvest period A	5,29	14,69	20,00
2008 – okres B harvest period B	4,92	14,05	18,98

Tabela 3
Table 3

Właściwości fizyczne pędów miskanta dla analizowanych okresów zbioru
Physical properties of Miscanthus shoots for the harvest period analysed

Cecha Feature	Masa pędów Mass of shoots			Wysokość pędów Height of shoots		
	[g]			[m]		
	2007 okres zbioru A harvest period A	2008 okres zbioru A harvest period A	2008 okres zbioru B harvest period B	2007 okres zbioru A harvest period A	2008 okres zbioru A harvest period A	2008 okres zbioru B harvest period B
Minimum	19,04	48,6	48,6	1,8	2,8	2,8
Maksimum	56,05	88,73	88,73	3,1	3,7	3,7
Średnia Mean	37,6	66,37	66,37	2,44	3,32	3,32
Wariancja Variation	143,70	158,14	102,12	0,16	0,09	0,05
Odchylenie standardowe Standard deviation	11,99	12,58	10,11	0,41	0,30	0,22

➤ Kaloryczność paliwa

Kaloryczność paliwa – określana laboratoryjnie

Badania ciepła spalania miskanta przeprowadzono wielowariantowo dla pędów ze zbioru po 26 i 34 miesiącach uprawy. Przeprowadzono również badania dla różnych części miskanta – łodyg i liści. Łącznie wykonanych zostało 18 pomiarów kalorymetrycznych ciepła spalania. Do pomiarów użyto próbek oddzielnie dla liści i łodyg miskanta. Poza wskazaniem kalorymetru, dzięki zestawowi stosownych zależności, przeprowadzono pomiary własne ciepła spalania, dla weryfikacji wyników. Porównanie wartości obliczonych ze zmierzonymi na kalorymetrze KL-10 wykazało różnice dochodzące do 3,6%.

Wartości ciepła spalania Q_c i wartości opałowej Q_w (tab. 4) przedstawione są z uwzględnieniem parametrów rośliny, do której zalicza się wilgotność w_a , przy której przeprowadzane były badania oraz procentowy udział w suchej masie zarówno wodoru h_{sm} , jak i popiołu p_{sm} . Na badania własne składają się te wykonane na kalorymetrze KL-10, oraz wykonane na zewnątrz w Centralnym Laboratorium Energopomiar w Gliwicach.

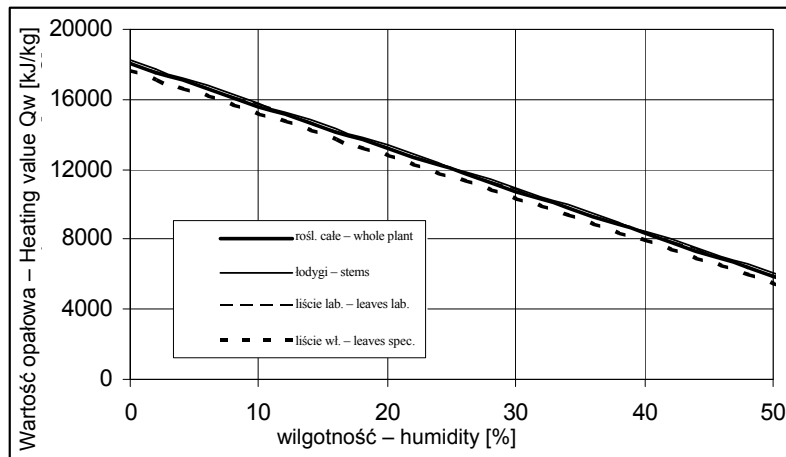
Analizując kaloryczność miskanta w zależności od pory zbioru, należy stwierdzić, że te pędy, które były zbierane w jesieni po 26 miesiącach uprawy, mają wartość opałową o ok. $300 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ mniejszą od tych zbieranych po 34 miesiącach uprawy, po przemowaniu. Możliwe, że jest to związane z wymrożeniem części wilgoci w roślinach. Dotyczy to jednak tylko suchej absolutnie masy. Wraz z wilgotnością różnica ta będzie się zmniejszać. Pomiary przytoczone tutaj pochodzą ze zmielenia po 2 całe rośliny na jeden pomiar, co oznacza, że wartość średnia odnosi się do masy pozyskanej z 6 całych roślin. Badania natomiast poszczególnych części miskanta pokazują, że łodygi mają kaloryczność nieznacznie większą w porównaniu z liśćmi. W badaniach kalorymetrycznych, dla łodyg, kaloryczność ta wynosiła $18262 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, podczas gdy dla liści była ona równa $17616 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, czyli była niższa od wartości dla łodyg o ok. 3%. W badaniach zewnętrznych w Laboratorium w Gliwicach okazało się, że zróżnicowanie tych wartości było znacznie mniejsze, gdyż wynosiły one odpowiednio 18211 i $18056 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Należy pamiętać jednak, że liście stanowią tylko ok. 27% masy całej łodygi, a więc specjalnie nie wpływają one na wartość kaloryczności dla całej rośliny. W przytoczonych w tabeli badaniach Lewandowskiego i Kicherera [1997] różnice występują podobnie na niekorzyść liści. Wartości te wynoszą, jako średnia z 7 pomiarów, wprawdzie dla różnych stopni nawożenia miskanta, odpowiednio 18086 i $17982 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Różnica zatem, mimo że występuje, ze statystycznego punktu widzenia jest jednak nieistotna.

Przebieg wartości opałowej w zależności od wilgotności dla poszczególnych części miskanta przedstawia rysunek 3, a pomiędzy porami zbioru – rysunek 4. Przykładowo, dla wilgotności 25% wartość opałowa wynosi ok. $12\,000 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. W literaturze bardzo często podawane są wartości kaloryczności bez podania wilgotności, do której się odnosi oraz bez podania parametrów, w jakich warunkach je określano. Podawanie wartości ciepła spalania Q_c może wprawdzie dać informację, na ile maksymalnie można wykorzystać energetycznie dane paliwo, ale potrzebne jest do tego podanie niezbędnych parametrów, tak jak to pokazano w tabeli 4.

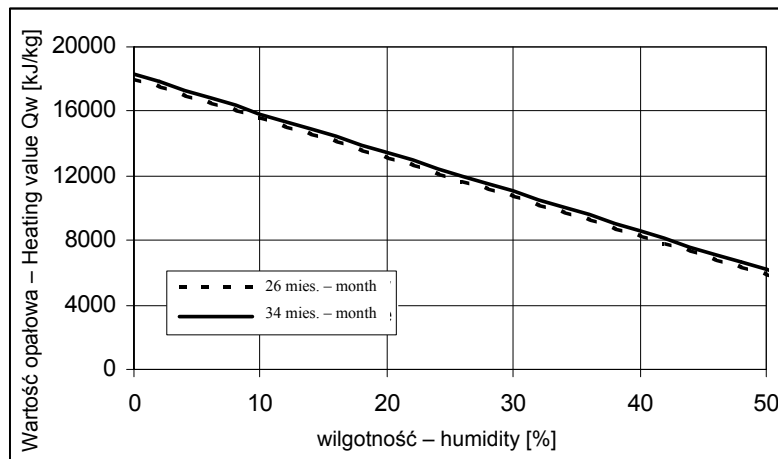
Tabela 4
Table 4

Wartości energetyczne miskanta – dla różnych jego części i terminu zbioru
Energy value of Miscanthus – for various parts and harvest periods

L.p.	Forma miskanta Parts Miscanthus	Parametry Parameters			Wartości energetyczne Energy value			Źródło Source
		w a	h s.m.	p s.m.	Qc s.m.	Qw s.m.		
		%	%	%	kJ/kg	kJ/kg		
1	Liście	10,2	6	5,2	18887	17577	17616	Bad. własne Our research
2	Leaves	10,5	6	"	18964	17655		
3	Pochwy	9,5	6	–	18441	17132	17106	
4	Sheath	9,7	6	"	18391	17081		
5	Łodygi	9,8	6	1,8	19806	18496	18262	
6	Stems	10	6	"	19338	18028		
7	Całe	2,5	6,02	2,3	19268	17953	18044	Bad. własne – lab. Energopomiar Our research – lab. Energopomiar
8	Entire	"	"	"	19448	18134		
9	Łodygi	2,3	6	1,8	19481	18172	18211	
10	Stems	"	"	"	19558	18249		
11	Liście	2,9	6,02	5,2	19395	18075	18056	
12	Leaves	"	"	"	19356	18036		
13	Całe jesień	1,5	6	2,3	19032	17722	17969	Bad. własne Our research
14	Entire	1,2	6	2,3	19105	17795		
15	autumn	1,7	6	2,3	19700	18390		
16	Całe	8,4	6	2,3	19313	18003	18303	Bad. własne Our research
17	zima	7,8	6	2,3	19894	18584		
18	Entire winter	8,1	6	2,3	19631	18321		
	–	7,2	6,09	2,1	19245	17915	17915	Komorowicz et al. [2009]
	Łodygi (daf) Stems	16,7– 33,3	5,9	2,25	19381	18093	18086	Lewandowski and Kicherer [1997]
			5,8	1,57	19894	18628		
			5,8	2,58	19327	18061	S.D.=326	
			5,9	1,55	19234	17946		
			5,9	1,75	19642	18354		
			5,7	2,79	19141	17897		
			5,6	2,28	18845	17622		
	Liście Leaves	11,5– 35,0	6	2,34	19629	18319	17982	Lewandowski and Kicherer [1997]
			5,9	1,92	19832	18544		
			6	2,47	19972	18662	S.D.=605	
			5,8	1,94	19159	17893		
			5,8	2,09	19338	18072		
			5,7	7,63	18293	17049		
			5,8	6,61	18599	17333		



Rys. 2. Kaloryczność miskanta w funkcji wilgotności – w jego różnych częściach
 Fig. 2. Caloric value of Miscanthus as dependent on humidity – for its various parts



Rys. 3. Kaloryczność miskanta w funkcji wilgotności – w różnych terminach zbioru
 Fig. 3. Caloric value of Miscanthus as dependent on humidity – for various harvest periods

Kaloryczność paliwa – obliczeniowa

Kaloryczność paliwa określa się nie tylko na podstawie badań eksperymentalnych w kalorymtrze, ale również dzięki znajomości składu paliwa. Ponieważ badania takie były przeprowadzone, w tabeli 5 przedstawiono obliczeniowe wartości ciepła spalania, wykorzystując różne zależności prezentowane w literaturze oraz dla składu paliwa wyznaczonego dla całych roślin miskanta. Najbardziej popularny sposób polega na zasto-

sowaniu formuł Dulonga czy inżynierów niemieckich [Kozaczka 1993], wykorzystując zawartość pierwiastków c, h, n, o, s w paliwie. Innym sposobem jest obliczanie Q_c z równań przedstawionych przez Demirbasa [2003] w dwóch wersjach:

- na podstawie znajomości składu chemicznego, tj. c, h, o, n, s; w zasadniczej formie zależność ta jest ($Q_c_Demirbas_1$) podobna do równania Dulonga, różnią je tylko wartości współczynników oraz brak uwzględnienia siarki w biomasie, która w przypadku miskanta jednak występuje;
- na podstawie znajomości tzw. węgla związanego FC (Fixed Carbon) oraz znajomości części lotnych VM (Volatile Mater) – $Q_c_Demirbas_3$.

Tabela 5
Table 5

Kaloryczność miskanta, obliczona na podstawie składu elementarnego –
według różnych źródeł, dla wybranych wilgotności

Caloric value of Miscanthus, calculated on the basis of elementary composition – according at
various sources, for selected humidity

L.p.	Obliczenia dokonane na podstawie źródeł: Sources used for calculations:	Ciepło spalania dla s. m. $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ Combustion heat for d.m.	Wartość opałowa Q_w dla wilgotności Heating value Q_w		Uwzględnione parametry Parameters considered
			w = 10%	w = 30%	
1	Kozaczka, 1993 – Dulonga	18317	15051	11163	c,h,o,n,s
2	Kozaczka, 1993 – inż. niem.	18248	14989	11115	c,h,o,n,s
3	Ebeling i Jenkins, 1985	18998	15664	11640	c,h,o
4	Demirbas, 1995	18840	15521	11529	c,h,o,n,
5	Demirbas, 1997	17890	14666	10864	FC,VM
6	Gaura i Reed, 2005	20259	16799	12523	c,h,o,n,s,p
	Średnia Mean	18759	15448	11472	–
	S.D.	840	758	588	–

Do analizy włączono również zależność opracowaną przez Ebelinga, Jenkinsa [1985], wyprowadzoną dla m.in. roślin energetycznych ze współczynnikiem determinacji $R^2=0,982$. Dla tak zastosowanych równań oraz określonych w badaniach laboratoryjnych składu chemicznego paliwa, węgla związanego FC i części lotnych VM obliczono następnie wartości ciepła spalania dla suchej masy Q_c_sm oraz wartość opałową Q_w dla dwóch wilgotności, charakterystycznych dla miskanta, tj. 30% i 10% – w odniesieniu do wyników badań dotyczących całych roślin. Maksymalna ilość ciepła (tab. 5), którą można uzyskać teoretycznie z całej rośliny (uwzględniając łodygi, które jak wykazano, stanowią ok. 73% masy pędu i liście, stanowiące 27% masy pędu), zawarta jest w granicach $18317\text{--}20259 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (średnio $18759 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ przy odchyleniu standardowym 840). Wartości opałowe, które informują o faktycznym do uzyskania ciepłe ze spalania paliwa, będą różne dla różnych wilgotności. Przy założeniu wilgotności zbioru

równej 10% (w stosunku do mokrej masy) – trudnej jednak do uzyskania w przypadku miskanta – średnia wartość opałowa wynosi $15448 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($SD=758$), a rozrzut wielkości jest w granicach $14666\text{--}16799 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zakładając, z drugiej strony, również realną wilgotność zbioru 30%, obliczeniowe, teoretyczne ciepło spalania wynosi średnio $11472 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($SD=588$), a rozrzut wielkości dla poszczególnych zależności waha się od 10864 do 12523. Wydaje się, że najbardziej zbliżone wyniki obliczeń do wartości średniej uzyskuje się przy wykorzystaniu równania Demirbasa [2003] czy ewentualnie Ebelinga i Jenkinsa [1985].

Porównując uzyskane wartości obliczeniowe kaloryczności dla 10 i 30% wilgotności z uzyskanymi na drodze laboratoryjnej, można stwierdzić, że wartości obliczeniowe są nieznacznie wyższe. Dla wilgotności 10% średnia wartość obliczeniowa wynosi $15448 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, a określona kalorymetrycznie waha się od 15187 do $15\ 876 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zatem wartość obliczeniowa znajduje się w zakresie wilgotności zmierzonych. Dla wilgotności 30%, przy średniej wartości obliczeniowej $11472 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, zmierzona kaloryczność wynosi od 10334 do $11021 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartość obliczeniowa jest dlatego o ok. 7% większa. Zmierzone wartości ciepła spalania (tab. 5), dla próbki, dla której zmierzony został skład chemiczny, w przeliczeniu na suchą masę Q_c s.m, wyniosły $19,360 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartość zmierzona jest zatem wyższa od obliczonych, które wyniosły odpowiednio 94,6–96,9–92,4%.

➤ Analiza chemiczna i jakościowa biomasy miskanta

Chlor znajdujący się w paliwie pełni rolę katalityczną, tzn. intensywnie utlenia materiał rur. Chlor w połączeniu z parą wodną tworzy też kwas solny, stąd jego zawartość jest szczególnie ważna, gdy temperatura płomienia, a zatem i rur jest niska ($100\text{--}150^\circ\text{C}$ dla rur). Dlatego należy kontrolować temperaturę w piecu, aby uniknąć powstawania korozji rur, a zawartość chloru w paliwie suchym nie powinna przekraczać 0,1% [Handbook... 2002]. Tymczasem zawartości chloru w miskancie są nieco wyższe; dla całych roślin jego zawartość wyniosła 0,17%, dla łodyg 0,158 i 0,125% dla liści (tab. 8). Zawartość ta jest niższa aniżeli w słomie kukurydzianej (0,27%) [Zuchniarz 2009], słomie żółtej czy szarej zbóż (0,55–0,20%) [Wichowski 2007], jednak mniejsze zawartości chloru występują w zrębkach drzewnych (0,02%) [Wichowski 2007], ślazu (0,018%) [Szyszak-Bargłowicz 2008] czy wierzbie energetycznej ($< 0,01\%$) [Ebeling i Jenkins 1985].

Zawartość siarki w paliwie zawsze jest niepożądana, gdyż w połączeniu z parą wodną tworzy kwas. Podobnie jak w przypadku chloru tak i dla siarki maksymalna jej zawartość w biomacie powinna być mniejsza niż 0,1%. W przypadku biomasy miskanta (tab. 8) okazuje się, że najwięcej jej jest w liściach (0,14%), natomiast w łodygach znacznie mniej (0,05%), zaś dla całych roślin zawartość siarki wynosi 0,08%. W porównaniu z węglem (zawartość ok. 1%) są to wartości kilkakrotnie mniejsze, natomiast zbliżone wartości stwierdzono dla biomasy z innych roślin energetycznych, gdzie w słomie pszennej, jęczmiennej czy kukurydzianej stwierdzono zawartość siarki 0,05–0,12%. Badania Ebelinga i Jenkinsa [1985] wykazują natomiast dla słomy kukurydzianej zawartość aż 0,60% czy dla osadek kukurydzy i słomy pszennej odpowiednio 0,21% i 0,28%.

Zawartość węgla i wodoru w biomase mискanta nie odbiega od wartości charakterystycznych dla innych rodzajów biomasy. Analiza chemiczna wykazała zawartości odpowiednio: dla węgla 51%, a dla wodoru 6,05%. W rozbiciu na części rośliny można stwierdzić, że zawartość węgla dla łodyg i liści jest bardzo podobna – odpowiednio 49,3 i 48,3%. Zmierzone zawartości wodoru były bardzo podobne zarówno dla całych roślin, jak i łodyg oraz liści – i mieściły się w zakresie 6,00–6,05%.

Spalanie biomasy obarczone jest niebezpieczeństwem szkodliwej emisji NO_x i dlatego zawartość azotu w paliwie powinna być mniejsza od 0,6%. Badania wykazały (tab. 8), że podobnie jak dla siarki najwięcej związków azotu jest w liściach (1,01%), podczas gdy w łodygach jedynie 0,36%, a w całych roślinach wartość ta wyniosła 0,51%. Przy uwzględnieniu faktu, że łodygi stanowią 73% masy, liście zaś 27%, obliczeniowa wartość dla całej rośliny wynosi 0,53%, co pokrywa się ze zmierzoną wartością wodoru w próbce z całych roślin.

➤ Temperatury przemian popiołu

Temperatura przemian popiołu jest ważna z punktu widzenia procesu spalania biomasy. Wyniki stosownych badań przedstawiono w dwóch wersjach (tab. 7). Pierwsza, górna część tabeli odnosi się do procedury zawartej w polskiej normie, natomiast dolna część – dotyczy normy CEN/TS. Najniższa z temperatur – temperatura spiekania osiąga wartości stosunkowo niskie. Średnie wartości z pomiarów wynosiły 630°C dla całych roślin, 650°C dla łodyg i 740°C dla liści. Analiza literatury [Werther i in. 2006, Zuchniarz 2009, Rybak 2006] wskazuje, że jedynie dla słomy kukurydzianej uzyskano wartość podobną (640°C). Dla drewna brzozy temperatura ta wynosiła 1140°C, dla drewna świerka 1110–1340°C, a dla węgla kamiennego 920°C (wg PN) czy 1283°C (wg CEN/TS). Dla słomy pszenicy, żyta, owsa i jęczmienia (wg normy CEN/TS) wartości temperatury spiekania wynosiły odpowiednio 900–1150, 800–850, 730–800°C.

Werther i in. [2006] zauważyli również, że przy niskim poziomie K₂O w popiele (6,6%) wysoki jest poziom temperatury spiekania (słoma pszenna), dla słomy jęczmiennej natomiast zawartość K₂O jest bardzo wysoka (40,3%). Z badań własnych dla mискanta (wartości wg normy CEN/TS) wynika, że mimo zawartości K₂O niższej aniżeli dla słomy jęczmiennej (dla mискanta całych roślin to 31,1%) temperatura spiekania jest podobna jak dla słomy jęczmiennej – odpowiednio 810°C i 730–800°C. Badania Kowalczyk-Jusko [2009] i Wasilewskiego [2007] wykazały, że podobnie jak dla mискanta bardzo niska jest wartość temperatury spiekania dla ślazuwca i wierzby energetycznej (680 i 830°C), natomiast znacznie wyższe aniżeli dla mискanta (1000–1170°C) są temperatury topnienia i płynięcia (> 1500°C). Nieco inne wartości temperatury topliwości popiołów biomasy mискanta przedstawiono w pracy Rybaka [2006], gdzie wynoszą one 820–980°C dla spiekania, 820–1160°C dla mięknięcia, 960–1290°C dla topnienia i 1050–1270°C dla płynięcia. W porównaniu z badaniami własnymi – wartości te są o ok. 200–300°C niższe dla spiekania, a dla pozostałych topliwości odpowiadają dolnym zakresom wyników. Analiza topliwości popiołu wskazuje, że biomasy mискanta, podobnie jak biomasa ślazuwca czy słomy kukurydzianej, nie należą do paliw szczególnie przydatnych do spalania w kotłach do spalania drewna czy słomy.

Temperatury przemian popiołu w różnych częściach miskanta (wg norm PN i CEN/TS)
 Temperatures of ash transitions for different parts of Miscanthus (acc. to standard PN and CEN/TS)

Pomiar Measur.	Rodzaj Type	Oznaczenie Symbols	Całe rośliny Whole plants						Łodygi Stems				Liście Leaves				
			Pom. 1	Pom. 2	Pom. 3	\bar{x}	S.D.	Pom. 1	Pom. 2	Pom. 3	\bar{x}	S.D.	Pom. 1	Pom. 2	Pom. 3	\bar{x}	S.D.
wg PN	spiekania sintering	t_s	640	636	610	630	16	664	638	634	650	16	740	730	735	740	5
G-04535: 1982	mięknienia softening	t_A	822	839	815	830	12	770	750	745	760	13	1119	1096	1106	1110	12
	topnienia melting	t_B	1019	1024	1018	1020	3	1063	1075	1059	1070	8	1144	1146	1147	1150	2
	plynięcia yielding	t_C	1082	1100	1109	1100	14	1117	1098	1107	1110	10	1183	1171	1169	1170	8
wg CEN/TS	deformacji deformation	DT reformation	807	817	798	810	10	808	815	836	820	15	1080	1080	1080	1080	0
	kuli sphere	ST sphere	875	900	880	890	13	870	846	862	860	12	1124	1127	1125	1130	2
15370-1: 2007	półkuli semisphere	HT hemi-sphere	1019	1024	1018	1020	3	1063	1075	1059	1070	8	1144	1146	1145	1150	1
	plynięcia yielding	FT flow	1080	1102	1129	1100	25	1117	1112	1107	1110	5	1200	1196	1198	1200	2

Szczególnie w kotłach o ruchu ciągłym wymagane byłyby rozwiązania przystosowujące do spalania takich właśnie roślin, charakteryzujących się bardzo niską wartością temperatury spiekania.

Istotne znaczenie przy spalaniu ma fakt znacznego zanieczyszczenia mineralnego biopaliw, które obniżają i tak niskie wartości temperatury topliwości popiołu – a dotyczyć to może również miskanta.

➤ Analiza ilości i składu popiołu

W procesie spalania paliwa popiół oraz jego ilość odgrywa zasadnicze znaczenie, w szczególności jeśli chodzi o temperaturę spalania oraz o problemy z jego usuwaniem. W badaniach stwierdzono (tab. 8), że w całych, suchych roślinach zawartość popiołu wynosi średnio 2,3%, podczas gdy w łodygach było to 1,8% i w liściach aż 5,2%. Należy pamiętać jednak o tym, że w badaniach własnych stwierdzono udział wagowy liści na poziomie 27%, podczas gdy łodygi stanowiły 73% masy rośliny. Z przeliczenia wynika zatem, że ilość popiołu w całej roślinie powinna wynosić 2,72%, co nieznacznie odbiega od zmierzonej wartości 2,3%. Dla porównania, zawartość popiołu w słomie jęczmiennej, owsianej i pszennej wynosi 5,3–5,63%, a w słomie żytniej 3,2% [Handbook... 2002]. W badaniach Ebelinga i Jenkinsa [1985] wartości dla słomy jęczmiennej i pszenicznej są nawet wyższe (odpowiednio 10,3 i 8,9%), natomiast dla osadek kukurydzy to zaledwie 1,36% zawartości popiołu. Zuchniarz [2009] wykazał, że w słomie kukurydzianej jest 7,2% popiołu, natomiast w różnych trawach typu piórkowka, kupkówka, śmiełek czy mozgat jest podobnie średnio 6,47% popiołu [Dradrach i in. 2007]. Kalembsa [2006] zbadał z kolei, że w wierzbie popiołu jest 3,15%, w ślázowcu 5,95%, a w miskancie chińskim jest 5,25%. Z kolei wg Jenkinsa i in. [1998] w wierzbie energetycznej stwierdzono tylko 1,71% popiołu, przy ok. 20% w odpadach ryżu. Jest zatem pewna różnica w badaniach dotyczących wierzby. Jednak w drewnie ilość popiołu jest w porównaniu znacznie niższa, w granicach 0,26–0,55% dla buku, brzozy, modrzewia, dębu czy sosny [Rybak 2006]. Porównanie tych wartości pokazuje, że wprawdzie w liściach miskanta jest popiołu najwięcej (5,2%), to jednak ilość popiołu z całych roślin jest znacznie mniejsza aniżeli w innych roślinach energetycznych.

Skład popiołu ma istotne znaczenie w procesie spalania, zwłaszcza w odniesieniu do zawartości krzemionki jako S_iO_2 , której zawartość w popiele z całych roślin stwierdzono na poziomie 37,0%. Zawartość ta jest zdecydowanie niższa w porównaniu do zawartości w popiele ze słomy kukurydzianej (55,7%) [Zuchniarz 2009], ale jest to znacznie więcej aniżeli w popiele z wierzby energetycznej (18,97%) [Ściążko i in. 2006] czy ze ślázowca (7,4%) [Szyszak-Bargłowicz 2008]. Także w tym zakresie daje się zauważyć dużą rozpiętość wyników, co potwierdzają badania Jenkinsa i in. [1998], gdzie zawartość krzemionki w wierzbie energetycznej stwierdzono jedynie na poziomie 2,35%, w słomie pszenicznej 5,32%, w łodygach lucerny 5,79%, a w różnych częściach ryżu nawet 74,67–91,4%. Zróżnicowane wyniki badań mogą wynikać z odmienności wielu czynników, jak nawożenie, agrotechnika, gleby, niemniej jednak skłaniają do dalszych badań prowadzonych na podstawie jednolitej metodyki. Jest to o tyle ważne, gdyż duża zawartość krzemionki w połączeniu z niską temperaturą topnienia popiołu stwarza problemy z usuwaniem mechanicznym żużla z paleniska. W porównaniu z przytoczonymi roślinami energetycznymi ilość krzemionki w miskancie należy uznać za dosyć dużą.

Tabela 8
Table 8

Skład popiołu z całej rośliny miskanta
Composition of ash from whole Miscanthus

Zawarte w popiele Content in ash	Oznaczenie Symbol	Udział w całej roślinie* Share in whole plant			
		pomiar 1 measurement 1	pomiar 2 measurement 2	\bar{x}	odch. stand. stand. dev.
		[%]	[%]	[%]	[%]
Krzemionka Silica	SiO ₂	36,9	37	37,00	0,071
Żelazo Iron	Fe ₂ O ₃	1,33	1,67	1,50	0,240
Glin Aluminium	Al ₂ O ₃	1,06	1,06	1,06	0,000
Mangan Manganese	Mn ₃ O ₄	0,28	0,28	0,28	0,000
Tytan Titanium	TiO ₂	0,08	0,09	0,09	0,007
Wapń Calcium	CaO	9,49	9,63	9,56	0,099
Magnez Magnesium	MgO	3,72	3,74	3,73	0,014
Siarka Sulfur	SO ₃	4,08	4,07	4,08	0,007
Fosfor Phosphor	P ₂ O ₅	4,94	4,92	4,92	0,014
Sód Sodium	Na ₂ O	0,24	0,21	0,23	0,021
Potas Potassium	K ₂ O	31,2	31	31,10	0,141
Bar Barium	BaO	0,04	0,04	0,04	0,000
Stront Strontium	SrO	0,04	0,04	0,04	0,000
Chlorki Chlorides	Cl	0,77	0,77	0,77	0,000
Węglany Carbonates	CO ₂	4,56	4,72	4,64	0,113
	Razem Total	98,73	99,24	99,04	

* – Wartości procentowe udziału składników zawartych w popiele można podać w [g/kg], poprzez pomnożenie przez 10 – stąd dla krzemionki jest to 370 g/kg
Percent share of components contained in ash can be given in [g/kg], by multiplying by 10 – hence for silica it is 370 g/kg

Zawartość potasu w popiele jako K_2O zajmuje drugą po krzemionce pozycję w składzie popiołu, mającą ważny wpływ na warunki spalania i wynosi ok. 31,1%. Jest to wartość szczególnie wysoka w porównaniu z literaturą [Szyszak-Bargłowicz 2008, Wisz i Matwiejew 2005, Ściążko i in. 2006, Jenkins i in. 1998], gdzie zawartość potasu wykazano odpowiednio: dla słomy ok. 25%, wierzby 9–15% i ślázowca oraz słomy kukurydzianej – odpowiednio ok. 24 i 21,6%. Wysoka zawartość potasu w miskancie przekłada się na bardzo niską temperaturę spiekania.

Zawartość wapnia w popiele jako CaO jest ważna z punktu widzenia możliwości rolniczego wykorzystania popiołu po spalaniu biomasy miskanta. Uzyskana w badaniach zawartość wapnia w popiele miskanta wyniosła 9,56%, podczas gdy w popiele z innych roślin zawartość ta wynosiła odpowiednio: dla wierzby 44,5%, ślázowca 28,9%, słomy kukurydzianej 7,34%. W świetle przytoczonego porównania można stwierdzić, że popiół z miskanta nie jest zbyt korzystny jako nawóz do stosowania na glebach kwaśnych.

➤ Zawartość metali ciężkich w popiele

Analizując zawartość metali ciężkich w biomase miskanta (tab. 9), należy mieć świadomość, że zamieszczone tam wartości są podane w odniesieniu do kg popiołu. Wcześniej, w badaniach podstawowego składu chemicznego biomasy wykazano, że ilość popiołu w miskancie jest średnio 2,3% w stanie suchym. Jeżeli zatem zawartość np. cynku w popiele miskanta wynosi 11,9 mg/kg, to odpowiada to 0,00012% w stosunku do popiołu i $0,00012/100 \cdot 2,3 = 0,0000027\%$ w stosunku do paliwa suchego. W świetle danych literaturowych można zauważyć, że słoma, ziarno i trawy zawierają znacznie mniejsze ilości metali ciężkich aniżeli drewno czy kora [Rybak 2006]. Jest to prawdopodobnie związane z długą vegetacją drzew, co powoduje większą akumulację tych metali. Zalecane wartości wynoszą [Werther i in. 2006]: – dla cynku < 0,08, a dla kadmu < 0,0005% w stosunku do paliwa (a nie ilości popiołu). Można zauważyć, że przy zaleceniu, aby cynku było w paliwie mniej aniżeli 0,08%, kadmu mniej niż 0,0005%, w przypadku miskanta ten wymóg jest w pełni spełniony, zaś na podstawie tych dwóch metali ciężkich można przyjąć, że zawartości metali ciężkich w miskancie są znacznie mniejsze od dopuszczalnych.

Łączna zawartość metali ciężkich to 19,463 mg/kg popiołu suchego, co odpowiada 0,000194% w popiele suchym lub 0,0000043% w stosunku do paliwa suchego. W pracy Rybaka [2006] wykazana jest zawartość cynku w słomie na poziomie $60\text{--}90\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchego popiołu, a dla kadmu jest to $0,1\text{--}0,9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Miskant zawiera zatem 1/3 – 1/4 zawartości cynku, jaką zawiera słoma pszenna i odpowiada dolnej granicy (0,14%) w przypadku kadmu. Zdecydowanie większe zawartości metali ciężkich występują w liściach aniżeli w łodygach (tab. 9). Dla rtęci jest to 6-krotna, dla cynku 4,6-krotna, a dla miedzi 3,2-krotna wartość.

Zawartość metali ciężkich w przeliczeniu na suchą masę popiołu miskanta
Heavy metal content per kg dry mass of ash from Miscanthus

Metal	Oznaczenie Symbol	Jedn. Unit	Część rośliny – Plant parts								Cała roślina Whole plant	Udział liści do łodyg Leaves/stems
			Łodygi – Stems		Liście – Leaves				obliczeniowo ** calculation**			
			Pomiar 1 Measur.1	Pomiar 2 Measur.2	\bar{x}	Pomiar 1 Measur.1	Pomiar 2 Measur.2	\bar{x}				
Cynk – Zinc	Zn	[mg/kg]	9,123	14,614	11,9	51,001	57,42	54,2	23,32	4,6	–	
Miedź – Copper	Cu	[mg/kg]	1,426	1,498	1,46	4,564	4,646	4,61	2,31	3,2	–	
Ołów – Lead	Pb	[mg/kg]	3,079	2,021	2,55	3,305	2,85	3,08	2,69	1,2	–	
Nikiel – Nickel	Ni	[mg/kg]	1,773	1,094	1,43	1,37	1,231	1,3	1,39	0,9	–	
Chrom – Chromium	Cr	[mg/kg]	1,909	2,066	1,99	2,959	2,813	2,89	2,23	1,5	–	
Kadm – Cadmium	Cd	[mg/kg]	0,135	0,122	0,128	0,19	0,178	0,184	0,14	1,4	–	
Kobalt – Cobalt	Co	[mg/kg]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	–	–	
Rtęć – Mercury	Hg	[mg/kg]	0,005710	0,004731	0,00514	0,033333	0,030982	0,0299	0,01	6,0	–	
Przy wilgotności Humidity	w	%	2,36		3,4							

** Przy założeniu udziału wagowego łodyg 73% i liści 27%

– Aby otrzymać wartość %, należy powyższe wartości podzielić przez 10⁴, co odpowiada np. wartości 0,00012 dla cynku

** Assuming the carbon share for stems 73% and leaves 27%

– To obtain the % value, the above values should be divided by 10⁴, which corresponds to e.g. 0,00012 for zinc

➤ Analiza emisji CO₂

Z chwilą przeprowadzenia pilotażowych prac badawczych spalania biomasy w 0,5 MW instalacji w Niemczech główne zainteresowanie zwrócono na analizę i możliwość redukcji NO_x i SO₂ do otoczenia w porównaniu ze spalaniem węgla kamiennego. Powszechny w ostatnim czasie jest również aspekt zmniejszenia emisji CO₂ i związany z tym nawet handel przydzielonymi limitami. W najszerszym zakresie łańcuch wszystkich udziałów CO₂ ma swój początek w przygotowaniu pola, a koniec podczas spalania biopaliwa.

Emisje CO₂ do otoczenia w wersji zasadniczej można sprowadzić do tego, ile powstaje jego w wyniku spalania. Jeżeli z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika, że udział pierwiastka węgla C w miskancie wynosi dla całych roślin przeznaczonych do spalania $c = 0,4983$, to z reakcji stechiometrycznej wynika, że z 1 kg s.m. miskanta powstaje 1,827 kg CO₂. Wartość opałowa określona laboratoryjnie dla takiego stanu paliwa wynosiła $Q_w = 18039 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., co wskazuje, że emisję CO₂ można wyrazić inaczej jako $101,3 \text{ kg CO}_2\cdot\text{GJ}^{-1}$.

Porównując, dla węgla o kaloryczności $26000 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ i udziału pierwiastka węgla w nim 0,75 uzyskuje się emisję CO₂ na poziomie $2,750 \text{ kg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}$ węgla, co daje emisję $105,8 \text{ kg CO}_2\cdot\text{GJ}^{-1}$. Dla porównania, spalając olej napędowy (który w ciągnikach będzie miał swój udział w emisji CO₂ do otoczenia), przy założeniu kaloryczności oleju $42000 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, gęstości oleju $\rho = 0,86$, daje to emisję w wysokości $P_{\text{CO}_2\text{ON}} = 3,15 \text{ kg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}$ oleju i $75 \text{ kg CO}_2\cdot\text{GJ}^{-1}$. Wartości te można przeliczyć na 1 litr ON, co daje wartości odpowiednio 2,71 i 64,5.

Dla maszyn elektrycznych biorących udział w procesie wytwarzania czy przygotowywania do spalania miskanta wartość ta zależeć będzie od tego, z jakiego paliwa korzysta elektrownia. Jeżeli prąd będzie pochodził z elektrowni na węgiel, wówczas istotnym przelicznikiem węgla na prąd jest sprawność całej elektrowni. Reinhard [1992] podaje wartość takiego współczynnika równy $171,7 \text{ kg CO}_2\cdot\text{GJ}^{-1}$.

➤ Kotły do spalania miskanta

Kotły do spalania miskanta można podzielić na kilka kategorii:

1. Proste kotły z narzutem ręcznym (mogą tu być również kotły z komorą zamkniętą). Można w nich spalać grube frakcje miskanta, nawet całe rośliny. Zatem nie jest do takich pieców potrzebna specjalna obróbka miskanta do spalania.
2. Kotły fluidalne, które zasilać można materiałem przygotowanym np. w postaci granul lub zrębków.
3. Kotły pyłowe, które wymagają największego rozdrobnienia biomasy. Poprzez analogie do pieców na pył węglowy uzyskuje się najlepszą sprawność spalania ze względu na największą powierzchnię spalanego materiału.

Kotły typu 2 i 3 wymagają skomplikowanej technologii i mogą znaleźć zastosowanie w dużych jednostkach grzewczych, z możliwością również współspalania z węglem. Możliwe jest także spalanie miskanta w prostych piecach, w formie przetworzonej w postaci brykietów czy peletów, które wymagają dodatkowego nakładu energii, ale zwiększają możliwości transportowe miskanta, docelowo do miejsca spalania. Również dla takich pieców uzyskuje się w porównaniu z pociętą siewką większą stabilizację spalania.

Do emisji CO₂ do otoczenia powstałego wyłącznie z procesu spalania można jeszcze doliczyć ilość CO₂ wchodzącego do atmosfery z tytułu przygotowania materiału do spalania. Mogą to być następujące możliwości:

- 1) zbiór miskanta na polu i sprasowanie,
- 2) pocięcie na sieczkę,
- 3) pocięcie, rozdrobnienie i speletowanie,
- 4) pocięcie i zbrykietowanie.

Przykładowo, dla wycięcia łądyg i rozdrobnienia zastosować można następującą formułę określającą wielkość emisji CO₂ z 1 tony s.m.:

$$Z = \left(\frac{m_{ON, zbiór}^* \cdot \tau_{ha}}{m_{s.m., ha, zbiór}^*} + \frac{m_{ON, rozdr}^*}{m_{s.m., rozdr}^*} \right) \cdot P_{CO_2, ON}$$

gdzie:

- *
 $m_{ON, zbiór}$ – godzinowe zużycie paliwa (np. ON) przy zbiorze,
 *
 $m_{ON, rozdr}$ – godzinowe zużycie paliwa (np. ON) przy rozdrabnianiu,
 *
 $m_{s.m., rozdr}$ – strumień rozdrabnianej masy w przeliczeniu na s.m.,
 $m_{s.m., ha, zbiór}$ – zbiór suchej masy z plantacji, przyjmuje się 20 ton/ha,
 τ_{ha} – czas pracy maszyny na polu o pow. 1 ha,
 $P_{CO_2, ON}$ – wskaźnik powstawania kg CO₂ z 1 kg ropy = 3,15.

Obliczenia takie należy traktować indywidualnie dla zastosowanej metody otrzymywania materiału. W literaturze można spotkać wyliczenia dla pewnych założeń [Lewandowski i in., 1995], że cała ilość CO₂ powstająca przy produkcji miskanta wynosi 111,8 kg CO₂/tonę s.m., podczas gdy dla węgla wartość tę określono na podobną, równą 100 kg CO₂/kg węgla kamiennego. Powyższe wyliczenia wskazują, że ilość CO₂ powstająca ze spalania 1 tony suchego miskanta wynosi 1827 kg CO₂/kg s.m. i 2750 kg CO₂/kg węgla. Jak widać, przy spalaniu węgla łącznie ulatnia się do atmosfery 2850 kg CO₂/kg węgla, natomiast ze spalania miskanta ilość ta sprowadza się jedynie do 111,8 kg CO₂/tonę s.m.

Zatem, można stwierdzić, że z 1 ha plantacji miskanta, przy założonej wydajności plonu 20 ton s.m./ha, do atmosfery emitowane jest 2,236 tony CO₂/ha. Inne wyliczenia, przy uwzględnieniu określonej laboratoryjnie kaloryczności miskanta, potwierdzają, że wyprodukowaniu 1 GJ ciepła towarzyszy emisja 6,198 kg CO₂ do atmosfery wynikająca z fazy produkcji miskanta (bez uwzględnienia powstającego CO₂ ze spalania). Dla węgla o kaloryczności 26000 kJ/kg i przy emisji CO₂ podczas jego wydobywania i spalania wynoszącej 2850 kg CO₂/kg wyprodukowaniu 1 GJ ciepła towarzyszy łączna wielkość emisji do atmosfery wynosząca 109,6 kg CO₂. Obliczenia te należy traktować jako

orientacyjne, ponieważ wymagają one dokładnych wyliczeń dla danego typu kotła, uwzględnienia postaci miskanta jako paliwa oraz określenia kaloryczności czy składu chemicznego węgla jako paliwa do porównań.

➤ Wilgotność miskanta

Na początku przeprowadzono badania i czynności związane z określeniem wilgotności poszczególnych części pędów miskanta w temp. 130°C, przez okres 4 godzin. Badania dotyczyły miskanta zebranego po 26 oraz po 34 miesiącach, złożonych w temperaturze pokojowej przez okres 6 miesięcy.

Wartości wilgotności dla łądyg (tab. 10) nie wykazywały dużych różnic (max. 2%) dla obu lat zbioru i wahały się od 8,72 do 10,99%. Oznacza to, że analizowane łądygi suszyły się do zbliżonej wilgotności. Przy badaniach dotyczących liści – poszczególne wilgotności różniły się już zasadniczo, co może świadczyć, że początkowa ilość wody w materiale była mniejsza dla materiału zebranego w roku 2007. Średnie wilgotności liści z roku 2007 wynosiły 8,75%, natomiast dla zebranych w roku 2008 (czyli starszych o 8 miesięcy) – 9,02%. Odchylenie standardowe dla liści z roku 2007 było znacznie większe, co świadczy o dużej różnorodności wilgotności badanych liści. Minimalna wilgotność dla liści z roku 2007 wynosiła 6,73%, a dla roku 2008 aż 8,19%. Średnia wilgotność całego pędu składającego się z łądygi i liści w danym udziale procentowym pędu (tab. 4) wynosiła dla zbioru 2007 – 9,15%, a zbioru w roku 2008 – 9,82%. Taka różnica wynika z faktu niższej wilgotności liści w roku 2007, która wiąże się ewentualnie z właściwościami sorpcyjnymi liści. To jednak powinny dopiero wykazać badania izoterm sorpcji. Interesujące byłyby zatem badania izoterm sorpcji, czyli wilgotności równowagowych miskanta dla różnych temperatur i wilgotności równowagowych powietrza.

➤ Temperatura spalania

Temperatura spalania jest bardzo ważnym parametrem, który określa mechanizm spalania i szybkość wypalenia się cząstki paliwa. Temperaturę tę określa się mianem temperatury rzeczywistej i można ją wyliczyć na podstawie wyznaczonej obliczeniowo temperatury adiabatycznej (teoretycznej). Należy przy tym uwzględnić straty ciepła do otoczenia, które uwzględnia się poprzez tzw. współczynnik korekcyjny k . Stąd zależność ta przyjmuje następującą postać:

$$T_{rz} = k \cdot T_{sp} \quad (K)$$

Współczynnik k przyjmuje wartość 0,8 – 0,9 dla palenisk ze ścianami wodnymi i 0,9 – 0,95 dla palenisk z obmurzem [Rybak 2006].

Oddzielne zagadnienie stanowi obliczenie temperatury adiabatycznej T_{sp} . Można ją obliczyć przynajmniej na 3 sposoby. Najprostszy sposób to wykorzystanie zależności literaturowej dla biomasy [za Rybak 2006]:

$$T_{sp} = 695 - 10,1 \cdot w + \frac{1734}{\lambda} + 0,61 \cdot (T_{pow} - 298) \quad (K)$$

gdzie:

w – zawartość wilgoci w paliwie (%),

λ – współczynnik nadmiaru powietrza (–),

T_{pow} – temperatura powietrza podawanego do pieca, (K).

Tabela 10
Table 10

Badania wilgotności łodyg i liści dla poszczególnych zbiorów
Results for stems and leaves humidity

Rok zbioru Harvest year	Wilgotność [%] – Humidity					
	Łodygi Stems	Średnia / Odch. standard. Mean / Stand. Dev.	Liście Leaves	Średnia / Odch. Standard. Mean / Stand. Dev.	Udział masowy łodygi/liście [%] Mass share Stems/leaves	Średnia wilgotność pędu [%] Mean humidity
2007	10,15	9,31/ 0,59	11,34	8,75 / 2,55	72,1 / 27,9	9,15
	8,83		11,73			
	9,22		6,73			
	9,64		6,89			
	8,72		7,04			
2008	10,53	10,10/0,87	8,19	9,02 / 0,78	73,65 / 26,35	9,82
	9,20		9,18			
	10,99		9,92			
	9,11		9,59			
	10,66		8,23			

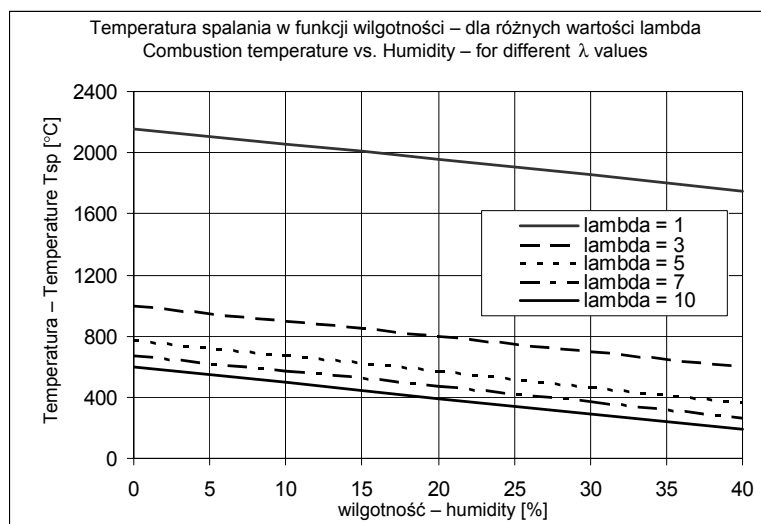
Zagadnienie obliczania teoretycznej temperatury spalania nie jest w literaturze często analizowane. Wynikać to może z faktu, że przyjmuje się różne uproszczenia. Zakładać można, że spalanie jest całkowite i zupełne i uwzględnia się w spalinach tylko składniki podstawowe, tj. CO₂, O₂, N₂, H₂O. Na podstawie kalorymetrycznego pomiaru ciepła spalania w przeliczeniu na suchą masę, przy wykorzystaniu równań opisujących zależność ciepła właściwego poszczególnych składników spalin, przeprowadza się precyzyjny bilans cieplny, gdzie niewiadomą będzie temperatura spalin. Wykorzystując procedurę zagadnienia odwrotnego, można określić następnie temperaturę spalania. Nie będzie tu jednak uwzględniany fakt występowania dysocjacji spalin.

Inny, najdokładniejszy sposób określenia teoretycznej temperatury spalania polega na wykorzystaniu stałych równowagi termodynamicznej do obliczeń precyzyjnego składu spalin, tj. określając: CO₂, CO, O₂, H₂O, H₂, OH, O, H, NO, N, Ar – łącznie 11 składowych. Może do tego być wykorzystana na przykład metoda Baehra-Schmidta. Konieczne jest jednak rozwiązanie układu 23 równań nieliniowych z 23 niewiadomymi (lub 13 równań z 13 niewiadomymi w wersji uproszczonej). Istotne jest również i tutaj

wykorzystanie równań opisujących zmienność ciepła właściwego spalin w zastosowaniu do tych 11 składowych oraz określenie m.in. składu chemicznego analizowanego paliwa. Ten sposób określania temperatury spalin uwzględnia występowanie dysocjacji spalin.

Do analizy teoretycznej temperatury spalania dla miskanta wykorzystano metodę pierwszą, na podstawie przedstawionego powyżej równania literaturowego dla biomasy. Wykres przedstawiający zależność temperatury spalania od wilgotności paliwa dla różnych współczynników nadmiaru powietrza (rys. 4) pokazuje, że zależność ta jest prosto liniowa. Dla współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda = 1$, czyli dla stechiometrycznego spalania maksymalnie uzyskać by można temperaturę spalania 2100°C dla zupełnie suchego materiału. Przy wilgotności 40% byłoby to już 1700°C. Dla 100% nadmiaru podawanego powietrza – odpowiednio temperatury te wynosiłyby 1289 i 885°C. Różnica jest więc zasadnicza. W miarę zwiększania nadmiaru powietrza o 200, 400, 600 i 900% – temperatury spalania zupełnie suchej masy przyjmowałyby wartości odpowiednio 1000, 770, 670 i 590°C. Dla materiału wilgotnego, co przy miskancie ma prawo się zdarzać, temperatury spalania wynosiłyby dla powyższych nadmiarów powietrza 595, 365, 266 i 191°C.

Do tych wyliczeń należy następnie uwzględnić współczynnik korekcyjny $k = 0,8 - 0,95$ (wymieniony powyżej), aby móc obliczyć rzeczywistą temperaturę spalania.



Rys. 4. Zależność teoretycznej – adiabatycznej temperatury spalania od wilgotności miskanta – dla różnych współczynników nadmiaru powietrza

Fig. 4. Theoretical, adiabatic combustion temperature vs. Miscanthus humidity, for various air-excess coefficients

➤ Analiza spalania w nagrzewnicach powietrza

Badania spalania miskanta przeprowadzono na dwóch nagrzewnicach powietrza – VIGAS i SILVER. W nagrzewnicy VIGAS z komorą zamkniętą proces był sterowany automatycznie przez sterownik, który włączał wentylator podmuch powietrza i zmniejszał lub zwiększał natężenie przepływu powietrza, bądź też wyłączał wentylator (głównie w końcowej fazie spalania, gdy spadała temperatura powietrza).

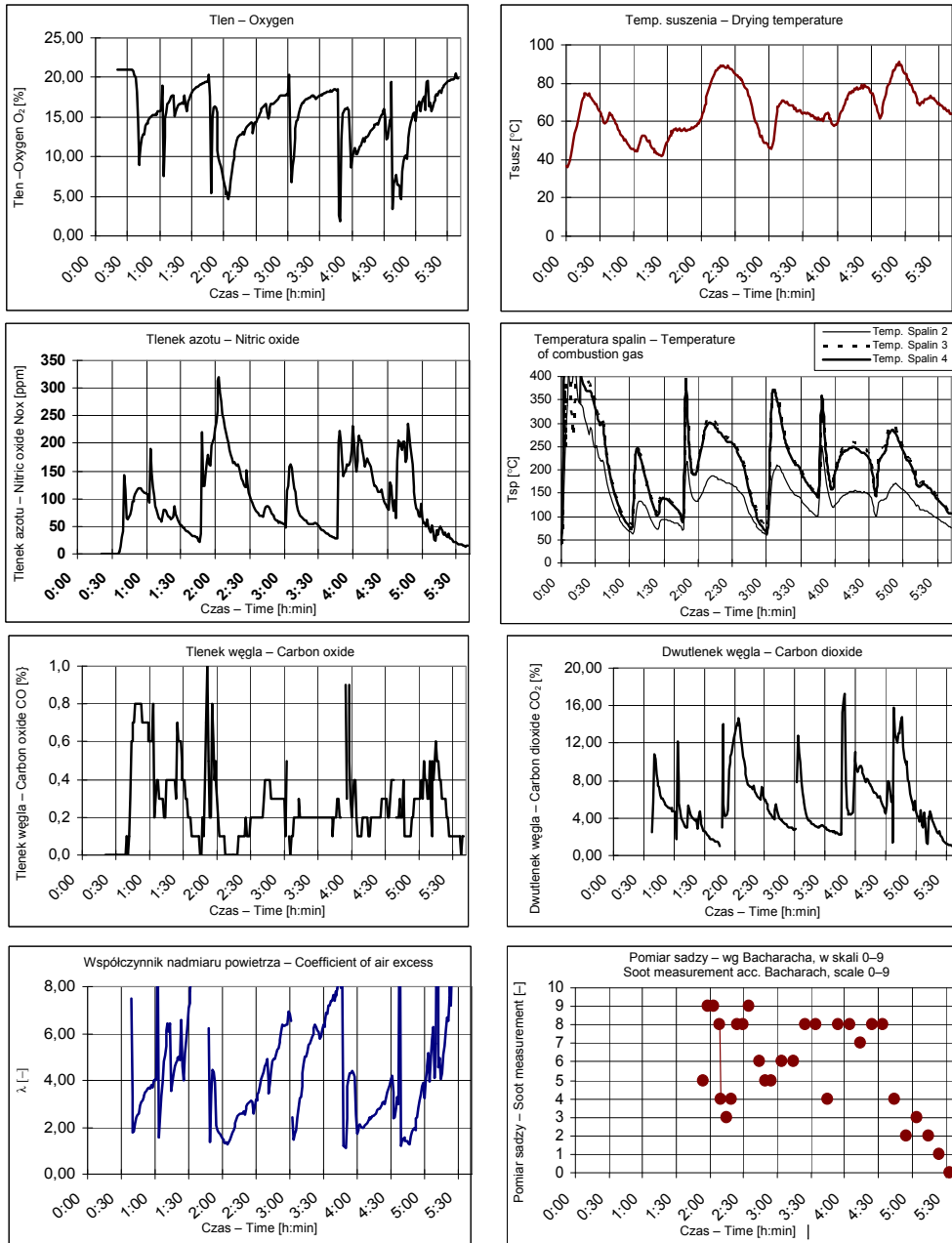
W nagrzewnicy VIGAS, przeznaczonej nominalnie do spalania drewna, przeprowadzono badania spalania miskanta w postaci brykietów oraz drewna:

- a) zasypując go brykietami 3 razy po 10 kg,
- b) zapełniając go drewnem dębu 20 kg.

Wyniki pomiarów na stanowisku przedstawiają rysunki 5 i 6.

W przypadku brykietów (rys. 5) czas trwania pomiaru wyniósł 5:30 godz., natomiast dla peletów czas ten wyniósł 3:39 godz. Na każdym z wykresów widoczny jest moment otwierania nagrzewnicy i dosypywania nowej partii materiału. Dochodzą do tego sytuacje załączania lub zmniejszania strumienia powietrza przez sterownik. Na sterowniku nastawiano temperaturę czynnika na 70°C i potwierdza to wykres temperatury suszenia w komorze postawionej na wylocie z nagrzewnicy. Temperatura spalin oscylowała między 50 a 300°C, licząc od pierwszej godziny pomiaru. Na uwagę zasługuje fakt mocno zmieniającego się współczynnika nadmiaru powietrza λ od 2 do ok. 8. Tlenek węgla poza początkową fazą ($CO = 0,8\%$) przybierał wartości ok. 0,2–0,5%, co mieści się w normie dla kotłów z okresowym załadunkiem paliwa ($CO < 5000$ ppm). Tlenki azotu na poziomie $NO_x = 50$ do 250 ppm również spełniają warunki normy ($NO_x < 400$ ppm). Dwutlenek węgla CO_2 osiągał wartości od 4 do 16%, co przekłada się na odpowiednie wartości tlenu O_2 w spalinach. Stopień zaczernienia spalin w skali od 0 do 9 przyjmował wartości bliskie czerni (9), ale były to wartości mniejszego zaczernienia od 3 do 6. W końcowej fazie spalania stopień zaczernienia stopniowo się zmniejsza, praktycznie do 0.

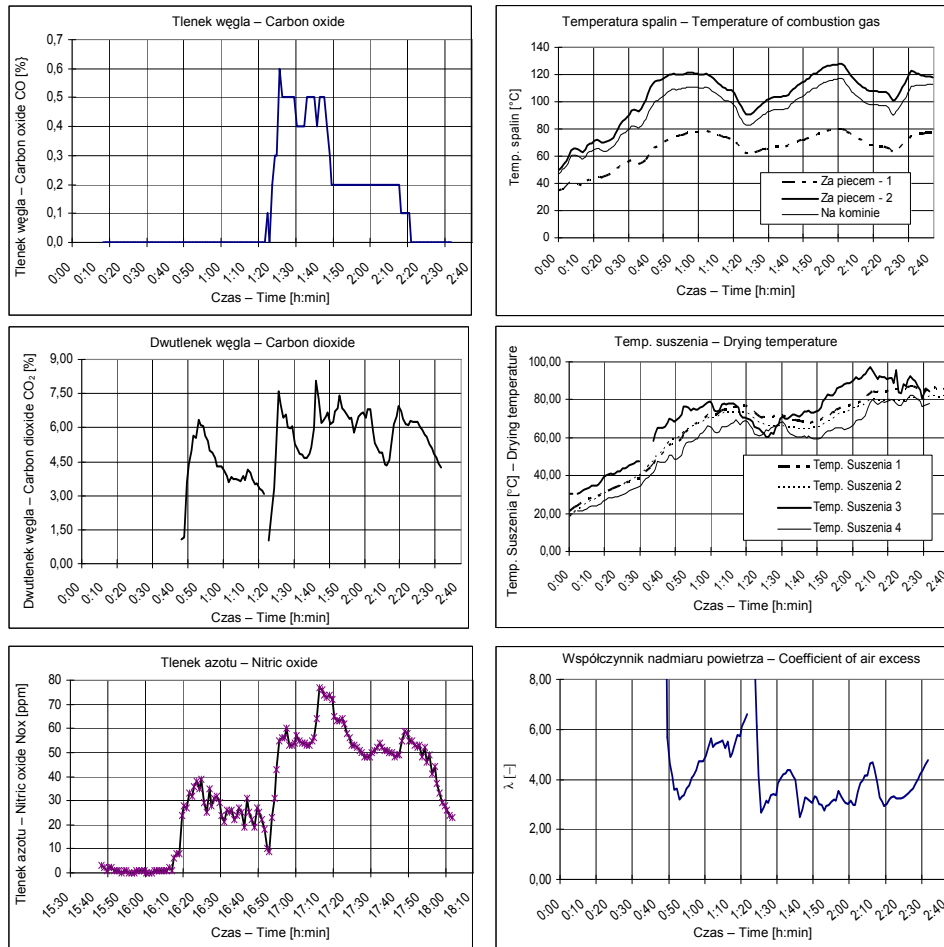
W spalaniu drewna temperatura spalin wzrastała stopniowo do ok. 120°C w pomiarze (rys. 6). Pomiaru temperatury powietrza dokonywano systemem bezstykowym i stykowym. Pomiar bezstykowy przeprowadzano w nadstawce nałożonej na wymiennik ciepła. Natomiast pomiar tzw. stykowy to pomiar, gdzie termometry dotykały konstrukcji kotła. Dolna linia dotyczy pomiaru temperatury powietrza w nadstawce nałożonej na wymiennik, dla umożliwienia pomiaru temperatury powietrza w ogóle. Temperatura spalin w kominie była najniższa (ok. 70°C), a bezpośrednio na wyjściu z nagrzewnicy wynosiła 90–130°C, co wskazuje, że układ zachowuje stabilizację, stąd nie kontynuowano pomiarów dalej. Tlenki azotu NO_x wobec niskiej temperatury spalin nie przekroczyły wartości 70 ppm, a i tlenek węgla osiągnął maksymalnie wartość 0,5%. Współczynnik nadmiaru powietrza to ok. $\lambda = 4$. Takie wyniki pomiarów uzyskano przy braku rusztów w nagrzewnicy. Jak widać, ich brak nie przeszkadzał w spalaniu paliwa, jakim było drewno dębu.



Rys. 5. Parametry spalania brykietów miskanta – w nagrzewnicy powietrza VIGAS.

Trzykrotny zasyp: $m = 10 \text{ kg} + 10 \text{ kg} + 10 \text{ kg}$

Fig. 5. Combustion parameters of Miscanthus briquets – in VIGAS air heater. Three additions of $m = 10 \text{ kg} + 10 \text{ kg} + 10 \text{ kg}$



Rys. 6. Parametry spalania drewna dębu – w nagrzewnicy powietrza SILVER. Jednokrotny zasyp: $m = 20$ kg

Fig. 6. Combustion parameters of oak wood – in SILVER air heater. Single input of $m = 20$ kg

Wobec wysokich i bardzo wysokich mierzonych wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ należy zauważyć, że wg teorii – rzeczywista temperatura spalania powinna wynosić (po uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego na poziomie $k = 0,8$) dla wilgotności spalanego miskanta ok. 20%: 870, 640, 450, 310°C odpowiednio dla współczynników nadmiaru powietrza równych $\lambda = 2, 3, 5, 7, 10$.

Badania pieców wg normy PN powinno się przeprowadzać na stanowisku po osiągnięciu stabilizacji. Podczas spalania miskanta w nagrzewnicach, na jakich prowadzono badania, nie ma możliwości uzyskania potrzebnej stabilizacji. Stąd zamieszczone są wykresy przebiegów poszczególnych parametrów, a nie wartości stabilnych wartości.

Podsumowanie i wnioski

Udział procentowy liści w całych pędach miskanta określono wagowo na poziomie 26,12 – 26,55 – 27,90%. Masa liści na metr długości pędu wynosiła dla uprawy 26-miesięcznej 4,34 g/m, a dla uprawy 34-miesięcznej 4,92–5,29 g/m. Dla łodyg masa to odpowiednio 11,06 i 14,05–14,69, natomiast dla całkowitego pędu 15,16 i 18,98–20,00 g/m.

Wartość opałowa suchej masy miskanta dla całego pędu wynosiła dla uprawy 26 miesięcznej 17969 kJ·kg⁻¹, a dla 34-miesięcznej 18303 kJ·kg⁻¹. Kaloryczność liści była nieznacznie niższa (o ok. 0,3–3%) od kaloryczności łodyg.

Obliczeniowa, rzeczywista temperatura spalania dla wilgotności 10% wynosiła 630 i 434°C przy współczynniku nadmiaru powietrza odpowiednio $\lambda=3$ lub $\lambda=5$. Dla wilgotności 30% było to odpowiednio 549 i 364°C.

Dla wilgotności ok. 25% kaloryczność miskanta olbrzymiego wynosiła ok. 12000 kJ·kg⁻¹, natomiast kaloryczność obliczeniowa na podstawie składu paliwa była większa maksymalnie o 7%. W przeliczeniu na stan suchy liści stwierdzono zawartości: siarki od 0,08 – do 0,14%, azotu od 0,36 do 1%, chloru 0,012 – 0,016%.

Zawartość popiołu w miskancie wahała na poziomie od 1,8% dla łodyg do 5% dla liści. W popiele miskanta wykazano zawartości: krzemionki 37%, K₂O na poziomie 31,1% i CaO na poziomie ok. 10%.

Z metali ciężkich wykazano największą zawartość cynku – 11,9 mg/kg dla łodyg i 54,2 mg/kg dla liści. Zawartość rtęci wyniosła poniżej 0,03 mg/kg, a ołowiu nie przekraczała 3 mg/kg.

We wszystkich pomiarach można zauważyć wysokie i bardzo wysokie wartości współczynników nadmiaru powietrza λ , co musi zasadniczo zmniejszać temperaturę spalania. W żadnym z pomiarów nie były przekraczane dopuszczalne wartości tlenku węgla CO i tlenków azot NOx. Nie zanotowano znaczących wartości dwutlenku siarki w spalinach, stąd i nie przedstawiano ich przebiegu na wykresach. Temperatura spiekania wynosiła dla całych pędów miskanta 630°C oraz 750°C dla liści.

Piśmiennictwo

- Borkowska H., Lipiński W.: 2007. Zawartość wybranych pierwiastków w biomase kilku gatunków roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 10(2), 287–292.
- Demirbas A. 2003.: Relationships between lignin contents and fixe carbon contents of biomass samples. *Energy Conversion and Management*, 44, 1481–1486.
- De Jong W., Pirone A., Wójtowicz M.A.: 2003. Pyrolysis of *Miscanthus Giganteus* and wood pellets: TG-FTIR analysis and reaction kinetics. *Fuel*, 82), 1139–1147.
- Dradrach A., Gąbka D., Szlachta J., Wolski K.: 2007. Wartość energetyczna kilku gatunków traw uprawianych na glebie lekkiej. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 29–35.
- Ebeling J.M., Jenkins B.M.: 1985. Physical and Chemical Properties of Biomass Fuels. *Transactions of the ASAE*, 28(3), 898–902.
- Gordon S., Mc Bride B.: 1971. Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions, rocets performance and reflected shocks. NASA SP-273.
- Gostkowski R.: 2005. *Ekonomiczny Miskantus*. Czysta Energia 10.
- Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, Eds. Sjaak van Loo, Jaap Koppejan, Twente University Press, 2002.

- Jenkins B.M. i in.: 1998. Combustion properties of biomass – Fuel Processing Technology, nr 54, 17–46.
- Kalembasa D.: 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. Acta Agrophysica, 7(4), 909–914.
- Komorowicz M., Wróblewska H., Pawłowski J.: 2009. Skład chemiczny i właściwości energetyczne biomasy z wybranych surowców odnawialnych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. Nr 40, 402–410.
- Kowalczyk-Jusko A.: 2009. Popiół z różnych roślin energetycznych. Proceedings of EC Opole, 3, 1, 159–164.
- Kozaczka J.: 1993. Procesy spalania. Wyd. AGH. Kraków.
- Lewandowski I., Kircherer A., Vounier P.: 1995. CO₂ – Balance For The Cultivation and Combustion of Miscanthus. Biomass and Bioenergy, 2, 81–90.
- Lewandowski I., Kicherer A.: 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of Miscanthus x Giganteus. European Journal of Agronomy, 6, 163–177.
- Rybak R.: 2006. Spalanie i współspalanie biopaliw stałych. Wyd. Politechniki Wrocławskiej.
- Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M.: 2006. Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową. Energetyka i Ekologia, 3, 207–220.
- Szyszak-Bargłowicz J.: 2008. Wykorzystanie ślazu jako źródła energii odnawialnej i biologicznego ekranu drogowego. Rozprawa doktorska, UP Lublin.
- Tillman D.A., Harding N.S.: 2004. Fuels of Opportunity characteristics and uses in combustions systems. Elsevier.
- Wasilewski R.: 2007. Doświadczenia ICHPW w zakresie współspalania biomasy i paliw alternatywnych. ICHPW, Zabrze.
- Werther J. i in.: 2006. Combustion of agricultural residues. Progress in Energy and Combustion Sciences, 26, 1–27.
- Wichowski R.: 1994. Wykorzystanie słomy jako źródła energii odnawialnej w rolnictwie na przykładzie Danii, Seminarium krajowe „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”, IBMER.
- Wisł J., Matwiejew A.: 2005. Biomasa – badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania. Energetyka, 9, 631–637.
- Wood for Energy Production, Technology-Environmental-Economy, The Centre for Biomass Technology, 1999.
- Zuchniarz A.: 2009. Ocena właściwości mechanicznych i energetycznych brykietów wytworzonych z biomasy roślinnej kukurydzy pastewnej. Praca doktorska. UP Lublin.
- PN 81 – G – 04513. Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.
- PN-EN 12809. Kotły grzewcze na paliwo stałe. Nominalna moc cieplna do 50 kW. Wymagania i badania.
- PN-EN 303-5. Kotły grzewcze. Kotły grzewcze na paliwo stałe z ręcznym i automatycznym zasypywaniem węgla o mocy nominalnej do 300 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie.
- PN-ISO 1928: Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej

Spis treści

Słowo wstępne.....	5
1. Rozmnażanie miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)..	7
1.1. Mikropropagacja <i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.	7
Wstęp.....	7
Materiał i metody badań.....	8
Wyniki.....	9
Dyskusja.....	15
Podsumowanie.....	16
Piśmiennictwo.....	16
2. Czynniki warunkujące plonowanie i skład chemiczny miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.) ..	18
2.1. Aktywność fotosyntetyczna.....	18
Wstęp.....	18
Materiał i metody badań.....	19
Wyniki badań i dyskusja.....	20
Wnioski.....	29
Piśmiennictwo.....	30
2.2. Dynamika nagromadzenia biomasy.....	32
Wstęp.....	32
Materiały i metody badań.....	32
Wyniki badań i dyskusja.....	34
Wnioski.....	38
Piśmiennictwo.....	38
2.3. Zmiany zawartości i dynamika pobierania makroskładników w okresie wegetacji.....	40
Wstęp.....	40
Materiał i metody badań.....	40
Wyniki badań i dyskusja.....	41
Wnioski.....	56
Piśmiennictwo.....	56
2.4. Zmiany zawartości i dynamika pobierania mikroskładników w okresie wegetacji.....	59
Wstęp.....	59
Materiał i metody badań.....	59
Wyniki badań i dyskusja.....	60
Wnioski.....	71
Piśmiennictwo.....	72

3. Wybrane elementy agrotechniki miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)	73
3.1. Wpływ terminu zbioru oraz nawożenia azotem i potasem na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)	73
Wstęp.....	73
Metodyka i warunki badań	81
Wyniki badań i dyskusja	90
Wnioski	102
Piśmiennictwo	103
3.2. Następczy wpływ chemicznego zwalczania chwastów w pierwszym roku, po posadzeniu, na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)	106
Wstęp.....	106
Metodyka i warunki badań	108
Wyniki badań i dyskusja	112
Wnioski	119
Piśmiennictwo	119
3.3. Następczy wpływ częstotliwości koszenia, w pierwszym roku po posadzeniu, na rozwój i plonowanie miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)	120
Wstęp.....	120
Metodyka i warunki badań	121
Wyniki badań	124
Wnioski	130
Piśmiennictwo	130
4. Choroby i szkodniki występujące na miskancie olbrzymim (<i>Miscanthus x Giganteus</i> Greef et Deu.)	132
4.1. Liczebność i skład gatunkowy przyłżeńców (Thysanoptera) występujących na miskancie olbrzymim (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)	132
Wstęp.....	132
Miejsce i metody badań.....	132
Wyniki badań	133
Wnioski	137
Piśmiennictwo	137
4.2. Ocena zdrowotności miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.)	138
Wstęp.....	138
Materiał i metody badań.....	138
Wyniki badań	139
Dyskusja	143
Wnioski	145
Piśmiennictwo	145

5. Wykorzystanie słomy miskanta olbrzymiego (<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef <i>et</i> Deu.) na cele energetyczne	147
5.1. Miskant olbrzymi jako nośnik energii odnawialnej	147
Wstęp.....	147
Cel pracy	149
Metodyka i zakres badań.....	149
Wyniki badań	153
Podsumowanie i wnioski.....	177
Piśmiennictwo	177

Contents – Summary

1. Propagation of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.

1.1. Micropropagation of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu. 7

Experimental work on micropropagation of species belonging to the genus *Miscanthus* is conducted in several European research centers, primarily in the Institute of Plant Genetics in Poznan, Poland. *Miscanthus x giganteus* as an allotriploid is completely sterile and therefore does not reproduce by seed. The plant can be propagated vegetatively by division of rhizomes, though micropropagation offers the best rate of multiplication. In the present work, for the initiation of tissue cultures was used rachis and adventitious buds isolated from the rhizomes. Basic medium was supplemented by phytohormones, at varied concentrations (cytokinins – 2.0 mg/dm³ 2iP, kinetin and auxins mg/dm³ 0.5–0.2 mg/dm³ IAA, NAA 0.2 mg/dm³, 2,4 D–2.0 mg/dm³) and combinations depending on the stage of the culture. The best results were obtained using rachis, which intensively developed morphogenic callus. Acceleration of the development of plants from callus favored the supplement of the basic medium by 2.0 mg/dm³ BA and 0.2 mg/dm³ NAA. Regeneration of plants from adventitious buds was not very effective, because the substrate excreted phenolic compounds, despite the use of various antioxidants – including AgNO₃, PVP, ascorbic acid – adversely affected the process of regeneration and multiplication. There was a significant relationship between the impact of growth regulators on the dynamics of growth and the development of secondary explants. The largest increases were observed for micro-plantlets propagated during the first month of culture on MS medium + 2.0 mg/dm³ 2,4-D. It was found a beneficial effect of kinetin on the growth of shoots and roots of plants in vitro culture derived from morphogenic callus.

2. Factors determining yielding and chemical composition of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.

2.1. Photosynthetic activity..... 18

The analysis of *Miscanthus x giganteus* photosynthetic activity changes was based on a field experiment carried out in 2007–2009. The experiment was performed by randomized blocks method. Chlorophyll (a and b) and carotenoids content in fresh leaves mass was measured. Productivity indicators, GR and RGR, and maximum efficiency of PS II photosystem (F_v/F_M) were also measured. The results showed that the contents of photosynthetic pigments in miscanthus leaves was increasing with the growth of the plants from June to October in each year of the research. There was also more chlorophyll in leaves with greater concentration of nitrogen (200 kg·ha⁻¹), in comparison to lower concentration (100 kg·ha⁻¹). The value of GR was increasing with growth of the plants, reaching its highest level in September. The values of RGR were highest in the first period of the research in each year (June) and were consecutively decreasing during the vegetation period. The value of the maximum efficiency of PS II photosystem (F_v/F_M), determined by measurement of chlorophyll fluorescence, showed increasing tendency together with development of the plants and with higher levels of nitrogen fertilization.

2.2. Dynamics of biomass accumulation.....32

In the 3-year field experiment carried out on light soil the influence of three different nitrogen doses and two doses of potassium on the dynamics of biomass accumulation by *Miscanthus giganteus* was examined. The experiment was set up according to the split-plot method, the factors were: two doses of potassium: 83 kg K/ha and 124 kg K/ha, and three doses of nitrogen: 100, 150, 200 kg N/ha applied as urea. Biomass of above-ground parts of *Miscanthus* was estimated five times during vegetation period from June to October, always in the first decade of the month. Accumulation of dry mass lasted until October and depended on weather condition, mostly precipitation. Increasing doses of nitrogen did not have any significant influence on quantity of green and dry mass of *Miscanthus giganteus*. Under the experimental conditions, increasing doses of potassium resulted in significant increase in *Miscanthus* biomass cultivated on light soil.

2.3. Modification of content and dynamics of uptake of macronutrients by *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.40

The aims of this research was to assess the content and uptake dynamics of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium by above-ground parts of *Miscanthus x giganteus* during vegetation under different potassium and nitrogen fertilization. The 3-year field experiment carried out in Agricultural Experimental Station at Pawłowice on the light sandy soil rated as weak rye complex. The experiment was established with randomized complete block design for two alternate factors; I – two doses of potassium (83 and 124kg K·ha⁻¹), II – three levels of nitrogen fertilization (100, 150 and 200kg N·ha⁻¹). The plants were analyzed five times during vegetation and the content of N, P, K, Ca and Mg was determined, and from the ratio of dry mass and of N, P, K, Ca and Mg contents, the macronutrients uptake was calculated. The highest contents of all investigated macronutrients in plants of *Miscanthus x giganteus* were in the beginning of vegetation period and decreased along with plants development. Accumulation on this elements by above-ground part of *Miscanthus x giganteus* increased with time and was highest in October. Potassium fertilization increased the contents and uptake of nitrogen, phosphorus and magnesium, but no effect on the content and uptake of calcium was founded. No effect of the growing doses of nitrogen on the content and accumulation of the investigated macronutrients in steam of *Miscanthus x giganteus* was noted.

2.4. Modification of content and dynamics of uptake of macronutrients by *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.59

The investigation was carried out in a 3-year field experiment, 2007–2009, in Agricultural Experimental Station – Pawłowice. In the experiment, the effect of raising potassium (83 and 124 kg K·ha⁻¹) and nitrogen (100, 150 and 200 kg N·ha⁻¹) fertilization on the content and dynamics of uptake of copper, zinc, manganese and iron, by the steam of *Miscanthus x giganteus*, at different stages of growth was examined. It was found that the highest content of micronutrients like macronutrients was determined in the initial period of vegetation, but along with growth of the plants decreasing amounts of micronutrient were observed. The amounts of copper, zinc, manganese and iron taken from soil were the highest at the end of vegetation period.

Potassium fertilization content of copper and manganese in the steam of *Miscanthus x giganteus* decreased, but increased the content of iron. The amount of copper, zinc and iron uptake from soil by one steam of *Miscanthus x giganteus* was higher and that of manganese was smaller, when potassium resources of the soil were high. During the 3-year period of investigation the effect of different nitrogen fertilization on the content and accumulation of micronutrients did not show clearly.

3. Selected elements of agrotechnics of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.

3.1. The effect of harvest date and nitrogen and potassium fertilization

on growth and yield of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.....73

In 2007–2009 in Pawłowice near Wrocław, Poland, field experiments were carried out in order to investigate the effect of harvest dates, nitrogen and potassium fertilization on growth, yield and chemical content of yield in *Miscanthus giganteus*, as well as on the energy value of its yield.

The experiment was set split-plot for three following variable factors: I harvest date: a – after vegetation stop in autumn, b – before vegetation start in winter; II Fertilization with K_2O , 100 and 150 $kg\ ha^{-1}$; III Fertilization with N, 100, 150 and 200 $kg\ ha^{-1}$. In all the years of the experiment 60 $kg\ ha^{-1}$ of P_2O_5 was applied as a fertilizer in spring.

After vegetation stopped, the number of plants (rhizomes) and shoots was counted. On 10 shoots from each plot the following features were determined: height of plants, length of the flag leaf, the number of nodes on a shoot, shoot diameter at 10 cm above the ground. Green matter yield was determined for every plot. Additionally, dry matter, crude ash and N, P, K, Ca, Mg contents and energy value were determined in the green matter yield. Based on chemical analysis, the following parameters were calculated: water content (%) in the plant material, dry matter yield, crude ash content, content of the investigated macro-elements and energy value of the yield.

Variable weather conditions in the years of the experiments influenced the height of plants, number of shoots per rhizome, number of shoots per 1 m^2 , number of nodes per shoot, shoot diameter, dry matter yield, water content in biomass, energy value of the biomass, and content of crude ash, N, P and K. The investigated agrotechnical factors did not have an effect on the morphological features of *Miscanthus giganteus*. The harvest date has the most significant effect on *Miscanthus* yielding among the agrotechnical factors studied. Winter harvest, compared to autumn harvest, reduced dry matter yield by 9.5%, reduced water content in green matter by 16.8% and crude ash by 26% but increased energy value of green matter by 33%.

It is possible to obtain *Miscanthus giganteus* biomass yield with an average energy value of 488 GJ per 1 ha, which corresponds to 11.7 toe. High dry matter yields of *Miscanthus giganteus* can be obtained with 100 $kg\ N\ ha^{-1}$ and 100 $kg\ K_2O\ ha^{-1}$. Despite the fact that winter harvest results in lower biomass yields than the autumn harvest, it is preferable because of higher quality parameters for energy purposes.

3.2. The residual effect of chemical infestation control in the first year after seeding on the growth and yielding of *Miscanthus x giganteus*

Greef. et Deu.....106

In 2007–2009 in Pawłowice near Wrocław, Poland, field experiments were carried out to investigate the residual effect of chemical weed control in the first year after seeding *Miscanthus x giganteus* on the plant growth and yield. The experiment was set with random plots (split-plot) and four replications with one variable factor: herbicides applied for weed control, a – control (no treatment), b– Chwastox Extra 300 SL (MCPA) at 3 $dm^3\ ha^{-1}$, c – Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) at 0.6 $dm^3\ ha^{-1}$, d – Starane 250 EC (fluroksypyr) at 0.8 $dm^3\ ha^{-1}$, e – Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) – 0.3 $dm^3\ ha^{-1}$ + Chwastox Extra 300 SL (MCPA) at 2 $dm^3\ ha^{-1}$, f – Starane 250 EC (fluroksypyr) – 0.6 $dm^3\ ha^{-1}$ + Chwastox Extra 300 SL (MCPA) at 1.5 $dm^3\ ha^{-1}$. *Miscanthus* plants were seeded on 16.05.2007, herbicide spraying was applied on 14.06.2007.

Herbicide treatments after seeding had a positive effect on the growth of plants, number of shoots and the amount of dry matter per 1 rhizome. They matter yield increased, not only in the first but also in the following two years of the investigation, as a result of the sustained residual effect of the treatments.

On average, in the three years the best results with herbicide control were obtained with Chwastox Extra 300 SL at the rate of 3 dm³ ha⁻¹ or Starane 250 EC at 0.8 dm³ ha⁻¹; with these treatments the dry matter yield, compared to control, was higher by 23 and 18%, respectively.

3.3. The residual effect of cutting frequency in the first year after seeding on the growth and yielding of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu. 120

In 2007–2009 in Pawłowice near Wrocław, Poland, field and laboratory experiments were conducted on the residual effect of cutting frequency of *Miscanthus giganteus* on its growth and yielding. The experiment was set in random blocks and four replications, with one variable factor: frequency of cutting after seeding: a – control without cutting; b – one cutting four weeks after seeding; c – two cuttings, the first four weeks after seeding, then the second after the next four weeks; d – three cuttings; the first one four weeks after seeding, the second and third in four-week intervals.

Cutting of *Miscanthus* in the first year after seeding, in order to stimulate the plants for increased branching, had negative effects on the growth of plants compared to the control plot, as well as negative effects in the second and third year of vegetation.

On average, out of three-year research, compared to control, three cuttings of *Miscanthus* after seeding reduced the number of shoots from a rhizome by 46% and dry matter yield by 57%.

4. Diseases and pests of *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.

4.1. The abundance and species composition of thrips (thysanoptera) occurring on miscanthus giganteus (*Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu.)..... 132

The aim of the study was to determine the abundance, species composition and seasonal dynamics of the thrips recorded on *Miscanthus giganteus*. The experiment was set up in the Experimental Field Station of Wrocław University of Environmental and Life Sciences at Pawłowice, Poland, in 2007–2009. It started on miscanthus plants growing in the first year after their planting (new plants) as well as on perennial plants. In the two next years the observations were continued according to that original design, on five plots of 15 m² size. There were 50 plants inspected weekly on each plot, throughout the whole growing season. Insects were collected for identification directly from the plants.

On new plants of the miscanthus 9 insect species were recognized, whereas only 7 species were found on the perennial ones. Apparently in both the treatments *Frankliniella tenuicornis* could be classified as eudominant. Three other species: *Haplothrips aculeatus*, *Aeolothrips intermedius* and *Limothrips denticornis* were also included in this group of dominance. Generally, on the perennial, as well as on the new-planted plants of the *Miscanthus giganteus*, the thrips were collected in small number, but still more were found on the new plants. We observed the higher abundance of these insects in July, with their maximum density at the end of the month.

4.2. Assessment of healthiness of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. 138

Healthiness of the plant *Miscanthus x giganteus* was studied in 2007–2009. The biggest threat to the leaf were *Stagonospora tainanensis* and *Alternaria alternata*. The strongest infection of leaves by *S. tainanensis* occurred in 2009. Approximately 20% of annual plants in the field showed lesions on the leaves (up to 40% leaf area damaged). *Alternaria alternata* was present in low intensity, the individual plants and the percentage of leaf damage reached up to 20%. Most of the isolated fungi from phyllosphere of miscanthus were yeast fungi and *A. alternata*.

5. Utilization of straw from *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu. for energetic purposes

5.1. *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu. as renewable energy carrier.....147

Physico-mechanical features and the energetic value of *Miscanthus giganteus*, of its entire shoots and leaves and stems separately, were studied. Combustion heat of miscanthus shoots, after 26 and 34 months of cultivation, was investigated. Research on the caloric value, chemical composition, amount and composition of ash, ash melting temperature and heavy metal content in ash was performed in the certified institution Energopomiar Research Laboratory in Gliwice. Research on the course of miscanthus combustion, and oak wood for comparison, was carried out with the use of two air heaters – VIGAS and SILVER.

The research showed that the percent share of leaves in whole shoots varied in the range 26.12–26.55–27.90%. The mass of leaves per meter of shoot length was 4.34 g/m for 26-month cultivation and 4.92–5.29 for 34-month cultivation. For the stems the mass was 11.06 and 14.05–14.69 g/m, respectively; whereas for the whole shoot it was 15.16 and 18.98–20.00 g/m. The heating value of dry mass of miscanthus entire shoot was 17969 kJ/kg for 26-month cultivation and 18303 kJ/kg for 34-month cultivation. The caloric value of leaves was a bit lower (ca. 0.3–3%) than that of stems. The calculated, real combustion temperature at 10% humidity was 630 and 434 °C at the air-excess coefficient $\lambda=3$ and $\lambda=5$, respectively. For 30% humidity the temperature was 549 and 364°C, respectively.

The measured caloric value at ca. 25% humidity of giant miscanthus was ca. 12000 kJ/kg, whereas the caloric value calculated on the basis of fuel composition was greater, by at most 7%. Relative to the dry mass of leaves, the following contents were found: sulfur 0.08–0.14%, nitrogen 0.36–1%, chlorine 0.012–0.016 %. The ash content in miscanthus varied from 1.8 for stems to 5% for leaves. In miscanthus ash the following were also found: silica 37%, K₂O 31.1% and CaO ca. 10%.

Of the heavy metals the largest proved to be the zinc content – 11.9 mg/kg for stems and 54.2 mg/kg for leaves; mercury – below 0.03 mg/kg and lead did not exceed 3 mg/kg.

In the combustion process in all the measurements were found high and very high values for the air-excess coefficient λ that essentially resulted in lowered temperature of combustion. No one of the measurements showed excessive contents of CO and NO_x, and no significant amounts of sulfur dioxide in the combustion products were found. The sintering temperature for whole miscanthus shoots was 630°C and 750°C for leaves.

Key words: *Miscanthus x giganteus* Greef. et Deu, *in vitro* culture, adventitious buds, rachids, micropropagation, photosynthetic pigments, absolute growth rate, relative growth rate, chlorophyll fluorescence, accumulation, dry mass, biomass, vegetation period, N and K fertilization, macronutrients content, uptake of macronutrients, vegetation period, content of micronutrients, uptake of micronutrients, harvest dates, biomass yield, energy value, herbicide control, dry matter yield, cutting, morphology, thrips, Thysanoptera, species composition, seasonal dynamic, miscanthus disease, physico-mechanical features, elementary composition, caloric value, combustion.