

Jan Kuś, Antoni Faber, Mieczysław Stasiak, Andrzej Kawalec

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

PRODUKCYJNOŚĆ WYBRANYCH GATUNKÓW ROŚLIN
UPRAWIANYCH NA CELE ENERGETYCZNE
W RÓŻNYCH SIEDLISKACH*

Wstęp

Przyjęta w 2000 r. przez Radę Ministrów „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” zakłada, że udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie energii pierwotnej powinien wynosić w Polsce 7,5% w 2010 r. oraz 14,0% w 2020 r. (14). Według szacunków Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej w 2000 r. udział ten wynosił 2,5%, a w 2005 r. osiągnął około 4,8%, z czego 95,5% pozyskano z biomasy (13). Mniejszy był udział energii elektrycznej wytworzonej ze źródeł odnawialnych w ogólnym zużyciu energii elektrycznej, gdyż wzrósł on z 1,6% w 2000 r. do 2,9% w 2006 r. (13).

Przyjęte w Polsce cele rozwoju OZE są zgodne z zaleceniami UE, które zobowiązują kraje członkowskie do zwiększania udziału energii uzyskiwanej z biomasy z 4% obecnie do 8% w 2010 r. (5). Polska jest w UE postrzegana jako kraj o dużych potencjalnych możliwościach produkcji biomasy, gdyż pod ten kierunek produkcji może być przeznaczonych do 1,6 mln ha UR (20).

W dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2025 r.” przyjęto, że wykorzystanie biomasy stanowić będzie nadal podstawowy kierunek rozwoju OZE (13). Według rozporządzenia Ministra Gospodarki ilość biomasy pochodzącej z rolnictwa powinna wynosić 5% ogólnej ilości biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych w 2008 r. i wzrastać każdego roku o 10%, aż do osiągnięcia 60% udziału w 2014 r. (13). Tak więc rolnictwo musi pogodzić produkcję żywności i pasz, która powinna być lokalizowana na lepszych glebach, z produkcją na cele energetyczne, z konieczności prowadzoną na glebach o ograniczonej przydatności rolniczej. Są to z reguły gleby wadliwe, czyli gleby bardzo ciężkie (okresowo nadmiernie uwilgotnione, o niekorzystnych stosunkach powietrzno-wodnych) oraz gleby średnie i lekkie (okresowo nadmiernie przesuszone).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Celem opracowania było określenie produktywności wierzby krzewiastej, miskanta, ślazuca, mozgi trzcinowatej, topinamburu i rdestowca sachalińskiego w okresie 2-4 lat prowadzenia plantacji w różnych warunkach siedliskowych. Opracowanie wykonano na podstawie wyników badań prowadzonych w ostatnim okresie w IUNG - PIB.

Metodyka badań

Doświadczenia polowe założono w latach 2003 i 2004 r. w trzech siedliskach:

1. na glebie ciężkiej – czarna ziemia o składzie granulometrycznym gliny ciężkiej, zaliczanej do kompleksu 8 – zbożowo-pastewnego mocnego (klasa III b), w Stacji Doświadczalnej IUNG – Osiny;
2. na glebie lekkiej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego przechodzącego na głębokości 90-110 cm w glinę lekką, zaliczanej do kompleksu 5 – żytniego dobrego (klasa V), również w Stacji Doświadczalnej IUNG – Osiny;
3. na glebie średniej – gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego, przechodzącego na głębokości 40-60 cm w glinę lekką, kompleks 4 – żytni bardzo dobry (klasa – IVa), w Zakładzie Doświadczalnym IUNG - Grabów (woj. mazowieckie).

Doświadczenia założono metodą losowanych bloków, a powierzchnia bloku dla każdego genotypu lub klonu wynosiła na glebie ciężkiej 700 m², zaś na glebach średniej i lekkiej po 200 m².

Wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis*) wysadzono w 2003 r. na glebie kompleksów 8 i 4; były to sztopry czterech klonów wierzby pozyskane z kwalifikowanej plantacji matecznej z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. W 2004 r. w obu doświadczeniach zlokalizowanych w Osinach dodatkowo wysadzono 4 szwedzkie i 1 duńską odmianę wierzby. Gęstość nasadzeń wierzby wynosiła 40 tys. szt. · ha⁻¹. W pierwszym roku przed zimą wierzbę ścięto na wysokości 10 cm nad ziemią. Wierzbę zbierano w cyklach corocznych i trzyletnich.

Sadzonki 5 klonów traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus* wyprodukowane metodą *in vitro* zakupiono w firmie Timplant Biotechnik and Pflanzenvermehrung GmbH (Niemcy). Rośliny wysadzono na glebie ciężkiej w Osinach i na średniej w Grabowie w połowie maja w obsadzie 15 tys. na 1 ha, a przed zimą rośliny ścięto na wysokości 10 cm nad ziemią i całe pole obficie ściółkowano słomą w celu zabezpieczenia przed szkodami mrozowymi.

Ukorzenione w doniczkach sadzonki ślazuca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*) wyprodukowano z nasion pozyskanych z AR w Lublinie. Obsada roślin wynosiła w tych doświadczeniach 10 tys. · ha⁻¹, a w 2004 roku dodatkowo włączono do badań obiekty z obsadą roślin 20 tys. · ha⁻¹.

Mozgę trzcinowatą (*Phalaris arundinacea*) szwedzkiej odmiany Bamse wysiano w 2004 r. w obu doświadczeniach w Osinach w ilości około 20 kg · ha⁻¹ nasion, w rzędy o rozstawie 14,5 cm. Badanym czynnikiem jest sposób zbioru – w dwóch

pokosach (pierwszy po wykłoszeniu, a drugi późną jesienią) lub jeden zbiór późną jesienią.

Topinambur (słonecznik bulwiasty – *Helianthus tuberosus*) odmiany Albit wysadzono wiosną 2004 r. tylko na glebie kompleksu 5 w Osinach. Rozstawa roślin wynosiła 70 x 30 cm, a bulwy pozyskano z kolekcji IHAR w Radzikowie.

Rdest sachaliński (*Reynoutria sachalinensis*) badano tylko na glebie ciężkiej. Sadzonki uzyskano z podziału karp korzeniowych pochodzących z kolekcji IHAR Radzików. Wysadzano je w obsadzie 15 tys. na 1 ha. Gatunek ten jest zaliczany do roślin inwazyjnych, w związku z tym zakres prowadzonych badań był bardzo ograniczony.

W uprawie tych roślin, z wyjątkiem mozgi, stosowano jednakowe dawki nawozów ($N - 75$, $P_2O_5 - 50$ i $K_2O - 75$ kg · ha⁻¹); w przypadku mozgi dawka azotu była większa i wynosiła 135 kg N · ha⁻¹.

Chwasty zwalczano na ogół ręcznie, jedynie w wierzbie stosowano Azotop i Symmazin. Choroby (zgnilizna twardzikowa i fuzariozy) zwalczano głównie w ślazowcu, stosując Benlate i Horizon. Szkodniki (mszyce i niekreślanek wierzbuweczkę) zwalczano wykorzystując różne insektycydy. Należy podkreślić, że w praktyce brak jest zarejestrowanych chemicznych środków ochrony roślin do stosowania na plantacjach roślin energetycznych.

Plon biomasy określono późną jesienią po zakończeniu wegetacji roślin, jedynie w przypadku miskantusa stosowano dodatkowo zbiór wiosną. Plon określono zbierając po 20 roślin wierzby oraz po 10 roślin pozostałych gatunków, w 5 powtórzeniach dla każdego obiektu.

Pomiary biometryczne i obserwacje prowadzono na 5 losowo wybranych roślinach, w odstępach czasowych co 3-4 tygodnie. Pomiary obejmowały liczbę pędów na roślinie oraz ich wysokość i średnicę (10 cm od gruntu). Reprezentatywne pędy z sąsiednich roślin wycinano nad powierzchnią gruntu i określano świeżą i suchą masę samych pędów i liści. W biomase pobranej w okresie wegetacji oznaczano zawartość: N, P, K i Na, zaś w plonie końcowym oznaczano dodatkowo zawartość C (metodą Alтена), Cl (metodą Mohra), SiO₂ (metodą wagową), Cd, Cu, Pb i Zn (metodą spektrometrii absorpcji atomowej).

Analizy właściwości energetycznych biomasy wykonano w Instytucie Energetyki w Warszawie zgodnie z obowiązującymi metodykami.

Eksperymenty zlokalizowano na glebach o gospodarce wodnej opadowej, w związku z tym uzyskane plony wyraźnie zależały od ilości i rozkładu opadów. Warunki pogodowe scharakteryzowano na podstawie kształtowania się klimatycznego bilansu wodnego gleby (opad – ewapotranspiracja), którego saldo w okresie intensywnego wzrostu roślin (IV-VII) wahało się w latach badań w granicach od -107 do -359 mm. Deficyt wody był najgłębszy w 2006 r., wówczas klimatyczny bilans wodny w okresie intensywnego wzrostu roślin (IV-VII) w Grabowie i Osinach przekraczał -330 mm (tab. 1).

Tabela 1

Klimatyczny bilans wody

Rok	Miesiąc						Suma		
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-VII	IV-X
Osiny									
2004	-19	-46	-24	-18	-50	-43	0	-107	-200
2005	-55	-40	-88	-34	-57	-43	-32	-217	-349
2006	-35	-48	-102	-147	142	-65	3	-332	-252
Grabów									
2004	-14	-51	-43	-13	-53	-51	6	-121	-219
2005	-63	-26	-83	-3	-65	-34	-29	-175	-303
2006	-34	-52	-102	-171	126	-72	0	-359	-305

Źródło: Badania własne.

Wyniki badań i dyskusja

Wierzba krzewiasta. Średni plon suchej masy drewna wierzby za okres 3 lat, niezależnie od uprawianego klonu, wyniósł na glebie ciężkiej 12,9, a na średniej 11,9 t · ha⁻¹ (tab. 2-4). Największe plony uzyskano w 2004 r. o ilości i rozkładzie opadów zbliżonych do średnich z wielolecia. Na glebie ciężkiej plon, średnio dla czterech klonów, wyniósł 14,7, a na glebie średniej 13,3 t · ha⁻¹ suchej masy drewna (tab. 2 i 3). Natomiast w pozostałych dwóch latach średnie plony oscylowały w granicach 11-13 t · ha⁻¹. Przeciętny plon, za okres 3 lat dla wszystkich badanych klonów był na glebie ciężkiej większy o 8% niż na glebie średniej, zaś w poszczególnych latach różnica ta wahała się od 0 do 16%. W bardzo suchym 2006 r. plony wierzby, niezależnie od klonu, były w Grabowie mniejsze o 11%, a w Osinach aż o 23% niż w 2004 roku o przeciętnej ilości opadów. Zbiór w cyklu 3-letnim umożliwił uzyskanie w 2006 r., w obu siedliskach, plonu o około 20% większego, w porównaniu z sumą plonów z 3 kolejnych zbiorów corocznych. Wilgotność pędów 3-letnich była mniejsza (47-48%) niż zebranych w drugim i czwartym roku uprawy (tab. 2 i 3).

Wierzba wykształcała od 6 do 13 żywych pędów w zależności od klonu i roku, niezależnie od siedliska (tab. 2 i 3). Średnica pędów przy zbiorze wahała się w granicach od 7-11 mm. Klon 1054 tworzył więcej pędów, jednak ich średnica i wysokość były mniejsze w porównaniu z pozostałymi ocenianymi genotypami. Największą wysokość – 3,1-3,6 m – rośliny osiągnęły w 2004 r. na glebie kompleksu 4 oraz 2,7-3,1 m na glebie kompleksu 8, zaś w latach 2005 i 2006 przy niedoborze opadów rośliny były znacznie niższe. Mniejszy plon wierzby uprawianej na glebie średniej był spowodowany nieco mniejszą liczbą pędów, których średnica była także mniejsza, natomiast długość pędów nie zależała od jakości gleby.

Wartości LAI w okresie pełnego rozwoju łąnu wierzby wahały się w latach, niezależnie od klonu, na glebie ciężkiej w granicach 5,0-5,8 oraz od 4,4 do 5,2 na glebie średniej.

Tabela 2

Plon i charakterystyki biometryczne wierzby uprawianej na glebie ciężkiej
(Osiny – 8 kompleks zbożowo-pastewny mocny)

Klon	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów* (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
1023	12	9	2,93	4,90	16,6 a	49,3	84,3	15,7
1047	9	9	3,13	5,61	14,1 a	52,2	78,6	21,4
1052	8	10	3,29	5,99	17,2 a	49,9	77,9	22,1
1054	13	7	2,72	3,74	10,8 b	49,0	81,3	18,7
2005 – trzeci rok uprawy								
1023	6	9	2,41	4,45	12,6 a	46,9	87,8	12,2
1047	6	9	2,38	5,47	12,7 a	45,3	88,6	11,4
1052	6	10	2,50	5,88	13,7 a	46,3	84,4	15,6
1054	11	8	2,14	5,77	12,4 a	50,8	88,4	11,6
2006 – czwarty rok uprawy								
1023	8	10	2,22	5,82	10,0 a	50,5	78,8	21,2
1047	7	11	2,24	5,67	12,8 a	51,0	76,9	23,1
1052	7	10	2,12	6,23	11,0 a	51,5	76,3	23,7
1054	13	8	1,98	5,69	11,5 a	52,7	80,0	20,0

* plony oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Źródło: Badania własne.

Tabela 3

Plon i charakterystyki biometryczne wierzby uprawianej na glebie średniej
(Grabów – 4 kompleks żytni bardzo dobry)

Klon	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów* (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
1023	10	10	3,58	4,04	13,4 a	50,2	87,3	12,7
1047	8	9	3,29	4,76	12,7 a	51,8	81,6	18,4
1052	10	8	3,12	5,01	13,1 a	49,9	80,5	19,5
1054	12	9	3,30	3,84	14,0 a	49,0	84,1	15,9
2005 – trzeci rok uprawy								
1023	7	8	2,28	5,27	11,0 a	48,0	86,5	13,5
1047	6	8	2,10	5,26	9,4 a	50,4	87,8	12,2
1052	8	8	2,08	5,69	10,8 a	52,0	88,9	11,1
1054	7	8	2,34	4,64	12,1 a	49,0	87,6	12,4
2006 – czwarty rok uprawy								
1023	7	10	2,27	5,33	11,2 a	51,4	78,8	21,2
1047	6	9	1,89	5,67	11,2 a	51,1	74,1	25,9
1052	11	9	1,90	5,03	10,8 a	51,7	74,1	25,9
1054	8	9	2,06	4,89	12,7 a	52,4	79,4	20,6

* jak w tabeli 2
Źródło: Badania własne.

Średnie dla klonów rozdysponowanie biomasy pomiędzy pędy i liście, w okresie maksymalnych ich wartości, wynosiło 81,9% pędy i 18,1% liście na glebie ciężkiej oraz 82,6% pędy i 17,4% liście na glebie średniej (tab. 2 i 3).

Wilgotność drewna zbieranego na przełomie grudnia i stycznia wahała się w granicach 45,3-52,7% na glebie ciężkiej oraz 48,0-52,4% na glebie średniej.

Wyniki zestawione w tabelach 4 i 5 wskazują na istotne znaczenie doboru odmiany (klonu) do warunków siedliskowych. Na glebie ciężkiej, średnio za okres 3 lat, trzy klony plonowały na zbliżonym poziomie 13,1-13,7 t · ha⁻¹, zaś plon suchej masy drewna klonu 1054 był o 12-18% mniejszy (tab. 2). Klon 1054 okazał się natomiast bardziej przydatny do uprawy na glebie średniej, gdyż w siedlisku tym plonował wyżej niż pozostałe 3 klony. Wyniki 2-letnich badań wskazują, że genotypy 1047 oraz Olof mogą być bardziej przydatne do uprawy na glebie lżejszej, zaś Gigantea i Torhild na glebie ciężkiej (tab. 5).

Plony suchej masy drewna wierzby uzyskane w naszych badaniach są porównywalne z wynikami innych doświadczeń. Według symulacji przeprowadzonych dla Eu-

Tabela 4

Średnie plony suchej masy drewna 4 klonów wierzby w okresie trzylecia (2004–2006)

Klon	Kompleks 8		Kompleks 4	
	t · ha ⁻¹	% średniej	t · ha ⁻¹	% średniej
1023	13,1	102	11,9	100
1047	13,2	102	11,1	93
1052	13,7	103	11,6	97
1054	11,6	90	12,9	108
Średnia	12,9	100	11,9	100

Źródło: Badania własne.

Tabela 5

Plon suchej masy drewna (t · ha⁻¹) różnych genotypów wierzby uprawianej na glebie ciężkiej i lekkiej w drugim i trzecim roku po założeniu plantacji

Klon/odmiana	Gleba ciężka – kompleks 8			Gleba lekka – kompleks 5		
	2005*	2006*	średnio	2005*	2006*	średnio
1023	12,6 a	10,0 a	11,3	7,7b c	12,5 ab	10,1
1047	12,7 a	12,8 a	12,8	14,0 a	15,4 a	14,7
1052	13,7 a	10,1 a	11,9	6,5 c	17,2 a	11,8
Gigantea	14,9 a	12,3 a	13,6	13,0 a	14,7 a	13,8
Swen	13,7 a	12,0 a	12,8	11,4 ab	12,8 ab	12,1
Torhild	13,7 a	12,5 a	13,1	14,1 a	11,0 c	12,6
Olof	10,9 b	9,6 a	10,2	14,4 a	14,8 a	14,6
Tora	13,9 a	10,6 a	12,2	12,0 ab	13,0 ab	12,5
Średnio	13,3	11,2	12,2	11,6	13,9	12,8

* jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

ropy Wschodniej plony wierzby możliwe do uzyskania na glebach bardzo dobrych wahały się w granicach 14,1-18,4 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, a na glebach dobrych w zakresie 9,9-14,0 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹ (9).

W doświadczeniu zlokalizowanym na glebie kompleksu zbożowo-pastewnego mocnego (ciężka mada nadwiślańska) wielkość plonów wierzby krzewiastej pozyskiwanej w cyklach jednorocznych wahała się w granicach od 12,5 do 21,5 t s.m. · ha⁻¹ w zależności od klonu i obsady roślin (19). Wzrost zagęszczenia roślin z 20 do 40 tys. · ha⁻¹ powodował istotny przyrost plonu, średnio z 15,1 do 16,3 t s.m. · ha⁻¹, natomiast dalsze zwiększanie obsady roślin do 60 tys. · ha⁻¹ nie różnicowało już wydajności. W tych samych warunkach wierzba zbierana w cyklach trzyletnich wydawała plony 19,4-25,9 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹ (17). Wierzba charakteryzuje się ponadto niskim współczynnikiem wykorzystania wody (8).

Plony wierzby uzyskiwane w innych krajach były na ogół mniejsze. W Szwecji wahały się w granicach 8-10 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, w Wielkiej Brytanii pomiędzy 8 i 20 t · s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, w Danii 7-8 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, natomiast w Irlandii około 5 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹ (12).

Miscanthus. Jest to wieloletnia wysoka trawa o szlaku fotosyntezy C₄, której obszarami naturalnego występowania są wschodnia Azja oraz wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych. Miskantusa sprowadzono do Europy z Japonii w latach trzydziestych XX wieku; początkowo był traktowany jako roślina ozdobna. Prace badawcze nad uprawą mieszańca *Miscanthus x giganteus* zapoczątkowano w Europie w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku (4). Jest to mieszańiec międzygatunkowy tetraploidalnego gatunku *Miscanthus sacchariflorus* i diploidalnego *Miscanthus sinensis*. Genotyp ten może być uprawiany w zasadzie w całej Europie aż po południową Skandynawię (11). Warunkiem powodzenia uprawy jest jednak zabezpieczenie roślin przed przemarzaniem w roku sadzenia, ponieważ rośliny nie tolerują temperatury niższej niż -3,5°C w wierzchniej warstwie gleby (3).

W drugim roku uprawy miskantusa rozbudowuje intensywnie karpę korzeniową, dlatego plony biomasy nadziemnej uzyskane w 2004 r. były mniejsze i wahały się, w zależności od klonu, na glebie ciężkiej w granicach 8,4-12,8 t · ha⁻¹ (tab. 6) oraz od 10,4 do 18,1 t · ha⁻¹ suchej masy na glebie średniej (tab. 7). Najwyżej plonowały genotypy M7 i M115, a najniżej *M. giganteus*.

W trzecim roku po założeniu (2005 r.) plantacja miskantusa weszła w okres pełnej produkcyjności. Plony suchej masy zebrane jesienią na glebie ciężkiej wahały się w granicach 16,1-21,7 t · ha⁻¹, na glebie średniej od 16,2 do 26,8 t · ha⁻¹ suchej masy (tab. 6 i 7). W bardzo suchym 2006 r. plon miskantusa na glebie ciężkiej, w zależności od klonu, wahał się od 13,8 do 18,2 t · ha⁻¹, a na glebie średniej od 13,8 do 20,5 t · ha⁻¹ suchej masy. Na duży niedobór opadów miskantusa zareagował, niezależnie od genotypu, 17% spadkiem plonu na glebie ciężkiej oraz 14% na glebie średniej, w stosunku do plonu uzyskanego w poprzednim roku o korzystniejszym rozkładzie opadów. Susza obniżyła głównie wysokość pędów, natomiast nie różnicowała liczby pędów na roślinie.

Tabela 6

Plon i charakterystyki biometryczne miskantusa uprawianego na glebie ciężkiej
(Osiny – 8 kompleks zbożowo-pastewny mocny)

Genotyp*	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów** (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
M. gigant.	39	7,0	2,2	4,2	9,0 a	49	68	32
M7	47	7,0	2,2	5,4	12,8 a	32	61	39
M40	40	6,2	1,8	5,4	10,8 a	24	69	31
M105	40	7,0	1,7	5,2	8,4 a	43	68	32
M115	63	6,2	2,0	5,4	10,1 a	35	66	34
2005 – trzeci rok uprawy								
M. gigant.	50	6,9	2,6	5,4	21,7 a	51	79	21
M7	70	7,1	2,4	6,6	20,7 ab	47	70	30
M40	49	5,9	1,9	6,5	18,8 ab	30	67	33
M105	62	6,7	2,0	7,5	16,1 b	53	63	37
M115	99	5,0	2,4	7,6	18,6 ab	51	67	33
2006 – czwarty rok uprawy								
M. gigant.	68	8,0	2,4	5,9	18,0 a	56	76	24
M7	119	5,7	1,8	7,2	17,1 a	55	66	34
M40	88	5,8	1,9	7,6	15,0 a	46	59	41
M105	81	5,9	1,5	5,6	14,3 a	54	64	36
M115	102	5,3	2,0	7,5	15,8 a	55	68	32

* *Miscanthus x giganteus* - *M. sacchariflorus* x *M. sinensis*

M7 – *M. sinensis* Gofal

M40 – *Miscanthus sinensis* Silver Feather

M105 – *M. sacchariflorus* Robustus x *M. sinensis*

M115 – *M. sacchariflorus* Robustus x *M. sinensis*

** jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

Porównywane genotypy miskantusa różniły się liczbą pędów na roślinie, ich średnicą i długością (tab. 6 i 7). W obu siedliskach miskantus wytwarzał przeciętnie po około 65-70 pędów, przy czym genotypy M7 i M115 miały ich po 80-90, zaś *M. giganteus* tylko około 50, ale pędy tego ostatniego wyróżniały się zdecydowanie większą średnicą i długością.

Podczas zbioru jesiennego (październik/listopad) wilgotność zebranej biomasy wahała się w szerokim zakresie, w zależności od roku i genotypu, od 25 do 56% (średnio około 45%). Przy zbiorze wiosennym wilgotność biomasy wynosiła około 25%, ale plon suchej masy był o około 20-30% mniejszy, gdyż rośliny utraciły większość liści. Późną jesienią udział liści w suchej masie nadziemnej części roślin wahał się od 24 do 41%, w zależności od klonu i roku uprawy. Dodatkowo w zimie pod ciężarem śniegu miskantus wylegał, z wyjątkiem genotypu *M. giganteus*, co utrudniało zbiór.

Tabela 7

Plon i charakterystyki biometryczne miskantusa uprawianego na glebie średniej
(Grabów – 4 kompleks żytni bardzo dobry)

Genotyp*	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów** (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
Gigant.	39	6,0	2,6	4,4	10,4 b	51	74	26
M7	74	5,8	2,8	5,4	16,2 a	32	71	29
M40	49	4,2	2,7	5,1	11,4 b	41	80	20
M105	52	5,2	3,0	5,2	13,5 b	39	66	34
M115	49	7,0	2,5	5,6	18,1 a	41	81	19
2005 – trzeci rok uprawy								
Gigant.	44	6,0	2,9	3,9	19,2 bc	44	64	36
M7	77	6,6	2,3	6,1	23,7 ab	44	64	36
M40	55	6,3	2,2	5,8	16,2 c	47	65	35
M105	56	6,2	2,2	5,6	17,7 bc	50	67	33
M115	86	5,2	2,6	6,4	26,8 a	40	63	37
2006 – czwarty rok uprawy								
Gigant.	54	8,1	2,8	4,1	14,9 b	56	69	31
M7	98	6,5	2,0	6,1	20,5 a	55	74	26
M40	74	6,1	2,0	5,8	16,7 ab	46	70	30
M105	76	6,4	1,9	5,1	13,8 b	62	71	29
M115	97	5,8	2,4	4,7	17,6 ab	57	64	35

* objaśnienia w tabeli 6

** jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

Maksymalny indeks LAI łąnów doświadczalnych wahał na glebie ciężkiej w granicach 3,7-6,2, a na glebie średniej od 3,8 do 5,7.

W okresie dwóch lat pełnej produkcyjności (2005 i 2006) największe plony na glebie ciężkiej wydał *M. giganteus*, a na glebie średniej najlepiej plonowały genotypy M7 i M115 (tab. 8). Może to wskazywać na różną reakcję porównywanych genotypów na warunki siedliskowe. Niższy plon na ciężkiej czarnej ziemi należy wiązać z położeniem jej w obniżeniu terenowym, co opóźniało wznowienie wegetacji wiosną oraz zwiększało uszkodzenia roślin przez późnowiosenne przymrozki.

Doświadczenia przeprowadzone w Europie wykazały, że produkcyjność miskantusa bardzo zależy od warunków siedliskowych, a przede wszystkim od temperatury powietrza. Już w drugim roku uprawy plony w północnej Europie wahały się w granicach 7,8-11,4 t s.m. · ha⁻¹, a w południowej Europie dochodziły do 27 t s.m. · ha⁻¹ (15). W trzecim roku miskant wchodził w okres pełnej produkcyjności. Uzyskiwane w tym okresie plony wynosiły w Danii 15-25 t s.m. · ha⁻¹, Austrii 22 t s.m. · ha⁻¹, zaś w Niemczech na glebach dobrych 6-24 t s.m. · ha⁻¹, a na słabych 2-10 t s.m. · ha⁻¹ (15). W warunkach deszczowania na południu Europy uzyskiwano plony w granicach

Tabela 8

Średnie plony miskantusa w okresie pełnej produktywności (2005 i 2006 r.) – zbiór jesienny

Genotyp	Osiny		Grabów	
	t · ha ⁻¹	% średniej	t · ha ⁻¹	% średniej
<i>M. giganteus</i>	19,8	112	17,0	91
M7	18,9	107	22,1	118
M40	16,9	96	16,4	88
M105	15,2	86	15,7	84
M115	17,2	97	22,2	119
Średnia	17,7	100	18,7	100

Źródło: Badania własne.

28-38 t s.m. · ha⁻¹ (6). Wysokość roślin w okresie pełnej wegetacji dochodziła do około 4 m. Natomiast według symulacji przeprowadzonych dla Europy Wschodniej plony miskantusa możliwe do uzyskania na glebach bardzo dobrych wahały się w granicach 17,7-21,8 t s.m. · ha⁻¹, a na glebach dobrych w zakresie 12,9-17,1 t s.m. · ha⁻¹ (9).

Miskantus jako roślina o szlaku fotosyntezy C4 charakteryzuje się efektywnym wykorzystaniem światła, wody i składników pokarmowych (15). W stosunku do innych roślin C4 jest wyjątkowo dobrze przystosowany do utrzymywania wysokiej produktywności w relatywnie niższych temperaturach.

Miskantusa zbiera się corocznie, a o przydatności paliwowej biomasy decyduje: wilgotność, zawartość popiołu oraz K, Cl i N (11). Opóźnienie zbiorów do wiosny poprawiało jakość biomasy, gdyż zmniejszała się zawartość: popiołu, N, K i Cl, ale również plon zmniejszył się o 18%, gdyż rośliny traciły większość liści. Z biomasa miskantusa wywozi się z pola stosunkowo mało składników mineralnych, gdyż w czasie jesiennego zasychania roślin są one przemieszczane z liści i pędów do karp korzeniowych (7).

Ślázowiec pensylwański (sida). Roślina ta pochodzi z Ameryki Północnej, a do Polski została introdukowana w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Rozważano jego uprawę jako rośliny pastewnej (1), surowca dla przemysłu celulozowo-papierniczego (2) oraz surowca energetycznego (18). Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że ślázowiec dobrze znosi nasze warunki klimatyczne oraz ma niewielkie wymagania glebowe (2). Rozmnażany może być przez wysiew nasion albo wegetatywnie przez podział karpki korzeniowej lub z zielonych pędów nadziemnych.

Plony suchej masy łądyg ślázowca wahały się w granicach 6,4-12,9 t · ha⁻¹, średnio 10 t · ha⁻¹ (tab. 9). Zaskakująco duże plony uzyskiwano na glebie najslabszej kompleksu 5 (11,2-12,9 t · ha⁻¹), co mogło być spowodowane większą obsadą roślin (na glebach kompleksów 8 i 4 obsada wynosiła 10 tys. · ha⁻¹, zaś na kompleksie 6 była dwukrotnie większa); plantację na glebie najslabszej założono o dwa lata wcześniej, czyli w latach prowadzenia badań znajdowała się ona w okresie pełnej produktywności. Późną jesienią pozyskiwano biomasę o wilgotności około 30%.

Tabela 9

Plony i charakterystyki biometryczne ślazuca uprawianego na różnych glebach

Rok	Kompleks gleby	Liczba pędów	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów* (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
								pędy	liście
2004	8	15	14,6	2,46	6,2	7,4 b	27,2	78	22
	4	13	13,4	3,38	5,9	6,4 b	30,4	82	18
	5	16	15,2	3,30	6,4	11,2 a	28,8	81	19
2005	8	21	17,9	3,09	6,7	10,0 a	25,5	85	15
	4	23	16,1	3,40	5,4	9,0 a	31,3	84	16
	5	26	18,2	3,35	6,8	11,2 a	27,5	81	19
2006	8	19	18,2	3,05	6,3	10,3 a	21,3	85	15
	4	14	19,5	3,33	5,8	11,4a	25,3	83	17
	5	14	16,0	3,19	5,6	12,9 a	29,3	82	17

* jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

Ślazuca uprawiany w badanych siedliskach i latach wytwarzał 13-26 pędów, o średnicy wahającej się w zakresie 13-20 mm oraz wysokości 2,4-3,4 m, a maksymalny LAI dzięki bogatemu ulistnieniu roślin osiągał wartości 5,4- 6,8 (tab. 9). Udział pędów w biomacie części nadziemnych wynosił około 83-84%.

W innych krajowych doświadczeniach (1, 16) uzyskiwano większe plony ślazuca (12,8-13,1 t · ha⁻¹), co mogło być spowodowane stosowaniem znacznie większych dawek nawozów azotowych.

Mozga trzciniowata. W omawianych doświadczeniach dobrze plonowała szwedzka odmiana Bamse tej trawy (tab. 10). Łączny jej plon z dwóch pokosów na ciężkiej glebie wynosił 16-19 t · ha⁻¹, a na glebie lekkiej ponad 14 t · ha⁻¹ suchej masy. Przy jednokrotnym zbiorze późną jesienią uzyskiwano ewidentnie mniejsze plony. Gatunek ten może okazać się szczególnie przydatny do produkcji biomasy na cele energetyczne na wyłączonych z użytkowania rolniczego trwałych użytkach zielonych. Jednak z uwagi na dużą zawartość w plonie popiołu, N, Cl i K ograniczona jest przydatność takiej biomasy do spalania (10).

Topinambur. Na glebie lekkiej plon suchej masy części nadziemnej (łodyg) topinamburu, średnio za 3 lata, wynosił około 9,5 t · ha⁻¹ (tab. 11). Dodatkowo można uzyskać około 8-10 t · ha⁻¹ świeżej masy bulw. Wydaje się, że biomasa tej rośliny z uwagi na małą gęstość usypową jest mało przydatna do transportu i spalania, natomiast mogłaby być wykorzystywana w biogazowniach. Bulwy można także wykorzystać do produkcji biogazu lub etanolu.

Rdest (rdestowiec) sachaliński. Na ciężkiej czarnej ziemi w 3 i 4 roku po założeniu plantacji plon wynosił 12,5 t · ha⁻¹ suchej masy (tab. 12). Rdest należy do roślin mało wrażliwych na stres suszy i mógłby być wykorzystywany do produkcji biomasy na cele energetyczne. Jednak jest zaliczany do roślin inwazyjnych i z tego powodu nie powinien być wprowadzany do uprawy.

Tabela 10

Plon suchej masy mozgi trzcinowatej

Gleba	Pokosy	2005		2006	
		plon (t · ha ⁻¹)	wilgotność (%)	plon (t · ha ⁻¹)	wilgotność (%)
Ciężka (kompleks 8)	1	11,7	58	14,1	71
	2	4,6	45	5,7	62
	razem	16,3	-	19,8	-
	1	13,0	25	11,7	45
Lekka (kompleks 5)	1	10,2	68	11,1	72
	2	4,4	44	3,4	60
	razem	14,6	-	14,5	-
	1	9,3	27	10,3	49

Źródło: Badania własne.

Tabela 11

Plon nadziemnej biomasy topinamburu uprawianego na glebie lekkiej (kompleks 5)

Rok	Plon s.m. pędów (t · ha ⁻¹)	Wilgotność (%)
2004	7,8	25
2005	13,2	22
2006	8,1	32

Źródło: Badania własne.

Tabela 12

Plon biomasy rdestu sachalińskiego uprawianego na glebie ciężkiej (kompleks 8)

Rok	Plon s.m. pędów (t · ha ⁻¹)	Wilgotność (%)
2005	6,3	47
2006	12,5	34
2007	12,5	45

Źródło: Badania własne.

W naszych doświadczeniach plony większości ocenianych gatunków roślin były mniejsze od podawanych przez innych autorów. Po części mogło to być następstwem niższych dawek azotu (mozga 135, a pozostałe gatunki 75 kg N · ha⁻¹). Jednak było to spowodowane koniecznością utrzymania możliwie niskiej zawartości azotu w biomacie, aby ograniczać emisję tlenków azotu w spalinach. Istnieje liniowa zależność między zawartością N w spalanej biomacie a emisją NO w spalinach. Ponadto wykazano, że dawki te równoważyły w większości przypadków ilości azotu wynoszone z pola z plonem biomasy (10).

Wnioski

1. Plon wierzby krzewiastej przy zbiorze corocznym (średnio za 3 lata niezależnie od klonu) na ciężkiej czarnej ziemi (kompleks 8) wynosił $12,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, na glebie średniej (kompleks 4) $11,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy, a przy trzyletnim cyklu zbioru był o około 20% większy. Stwierdzono duży wpływ genotypu (klonu) uprawianej wierzby oraz ilości i rozkładu opadów na wielkość plonu.

2. Plon miskantusa, średnio za 3 lata dla 5 porównywanych genotypów, na glebie średniej (kompleks 4) wynosił $17,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był o około 15% większy niż na ciężkiej czarnej ziemi. Porównywane klony różniły się wielkością plonu oraz reakcją na warunki siedliskowe. Ostra susza zmniejszała plony miskantusa o 14-17%.

3. Wielkość plonu ślazuwca pensylwańskiego zdecydowanie zależała od obsady roślin. Na glebie ciężkiej i średniej (kompleksy 8 i 4) przy obsadzie $10 \text{ tys. roślin} \cdot \text{ha}^{-1}$, średni jego plon za 2 lata pełnego użytkowania wynosił około $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy i był mniejszy niż na glebie lekkiej (kompleks 5), gdzie obsada roślin wynosiła $20 \text{ tys.} \cdot \text{ha}^{-1}$.

4. Duże plony mozgi trzcinowatej (odmiana Bamse) uzyskano przy zbiorze dwóch pokosów – $14 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na glebie lekkiej (kompleks 5) i $18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy na ciężkiej czarnej ziemi (kompleks 8). Natomiast przy jednokrotnym jej zbiorze późną jesienią plon był o ponad 30% mniejszy. Jednak duża zawartość w biomacie mozgi popiołu, N, Cl i K ogranicza jej przydatność do spalania.

5. Wilgotność pozyskiwanej biomasy przy zbiorze późną jesienią wahała się od około 30% (ślazowiec) do 40-45% (miskantus) oraz do około 50% w przypadku wierzby. Opóźnienie zbioru miskantusa do wczesnej wiosny zmniejszało wilgotność biomasy do około 20-25%, ale powodowało również straty suchej masy wynoszące średnio 18%.

Literatura

1. B o r k o w s k a H.: Wpływ nawożenia azotowego i potasowego na wysokość i jakość plonów zielonki ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ann. UMCS, 1996, E, **51**: 10-21.
2. B o r k o w s k a H., S t y k B.: Ślazuwec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) uprawa i wykorzystanie. AR Lublin, 1997, ss. 51.
3. C l i f t o n - B r o w n J. C., L e w a n d o w s k i I.: Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. New Phytol., 2000, **148**: 287-294.
4. C l i f t o n - B r o w n J. C., L e w a n d o w s k i I., A n d e r s s o n B., B a s c h G., C h r i s t i a n D. G., B o n d e r u p - K j e l d s e n J., J ø r g e n s e n U., M o r t e n s e n J., R i c h e A. B., S c h w a r z K. U., T a y e b i K., T e i x e i r a F.: Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. Agron. J., 2001, **93**: 1013-1021.
5. Commission of the European Community.: Biomass action plan. COM(2005) 2005, 628 final.
6. D a n a l a t o s G., S o t i r i s V., M i t s i o s I.: Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus x giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. Biomass & Bioenergy, 2007, **31**: 145-152.
7. ECN Phyllis. The composition of biomass and waste. <http://www.ecn.nl/phyllis/>

8. Faber A., Kuś J., Stasiak M.: Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. W: Biomasa dla energetyki i ciepłownictwa –szanse i problemy. Wyd. Wieś Jutra, 2007, 26-32.
9. Fischer G, Prieler S., van Velthuisen H.: Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. *Biomass & Bioenergy*, 2005, **28**: 119-132.
10. Kuś J., Faber A., Grabiński J., Stasiak M.: Ocena możliwości produkcji biomasy na cele energetyczne w różnych warunkach siedliskowych. Maszynopis, IUNG - PIB, 2007.
11. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Andersson B., Basch G., Christian D. G., Jørgensen U., Jones M. B., Riche A. B., Schwarz K. U., Tayebi K., Teixeira F.: Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agron. J.*, 2003, **95**: 1274-1280.
12. Luger E.: Energy crop species in Europe. http://www.bl.t.bmlf.gv.at/vero/artikel/artik013/Energy_crop_species+.pdf, 1996.
13. MGIP: Polityka energetyczna Polski do 2025 r. http://www.mgip.gov.pl/NR/rdonlyres/CBBE5FE3-3F4A-44DD-F552FF43943F32C/13548/polit_energ_polski_2025obw.pdf, 2007.
14. MOS: Strategia rozwoju energetyki odnawialnej. http://www.mos.gov.pl/1materialy_informacyjne/raporty_opracowania/energetyka/, 2000.
15. Scurlock J. M. O.: Miscanthus a review of European experience with a novel energy crop. <http://www.p2pays.org/ref/17/16283.pdf>, 1999.
16. Stolarski M.: Pelety z biomasy wierzby i ślazuca. *Czysta Energia*, 2005, 36.
17. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.: Produktywność klonów wierzby krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. *Fragm. Agron.*, 2002, **2**: 39-50.
18. Styk B., Styk W.: Ślazuwiec pensylwański – surowiec energetyczny. *Ann. UMCS, E*, 1994, **49**: 85.
19. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M.: Produkcyjność wierzby krzewiastych pozyskiwanych w jednorocznych cyklach zbiorów. *Acta Sci. Pol., Agricult.*, 2005, **4(1)**: 141-151.
20. Van Velthuisen H.: Agro-ecological zoning of Europe. <http://agrienv.jrc.it/activities/pdfs/irena/Velthuisen-AEZ-Europe.pdf>, 2003.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Kuś
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (0 81) 886 34 21, w. 360
e-mail: jankus@iung.pulawy.pl