

Efektywność energetyczna produkcji biomasy *Miscanthus giganteus*

A. KOBYLŃSKI, M. OLSZEWSKA

Katedra Łąkarstwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Energy efficiency of *Miscanthus giganteus* biomass production

Abstract: The study includes an evaluation of the use of the cultivation of *Miscanthus giganteus* for energy production based on an energy analysis carried out on a test farm. The study shows that the obtained yield of dry matter indicates the profitability of the cultivation of *Miscanthus giganteus* for energy production.

Key words: biomass, energetic efficiency, *Miscanthus giganteus*

1. Wstęp

W miarę rozwoju cywilizacji i postępu technologicznego rośnie zapotrzebowanie na bardziej wydajne źródła energii. Najstarszym używanym od lat, znanym człowiekowi, źródłem energii jest biomasa. W dominującej części pochodzi ona z organizmów roślinnych (WĘGRZYN i ZAJĄC, 2008). Biomasa jest obecnie najczęściej na świecie wykorzystywanym źródłem energii alternatywnej. Wynika to przede wszystkim z opłacalności produkcji biomasy na cele energetyczne (SZCZUKOWSKI i TWORKOWSKI, 2004; PISKIER, 2010).

Należy podkreślić, że w wyniku użytkowania energii pochodzącej z biomasy roślinnej nie zanieczyszczamy środowiska, ponieważ uzyskuje się tzw. zerowy bilans emisji dwutlenku węgla. Ponadto biomasa dostarcza wręcz niewyczerpalnych, odnawiających się w kolejnych cyklach produkcyjnych źródeł energii. Innym ważnym elementem, na który należy zwrócić uwagę przy produkcji biomasy na cele energetyczne jest możliwość uzyskania w rolnictwie nowych źródeł dochodu. W obecnej dobie, gdzie spotykamy się z masową nadprodukcją żywności, w konsekwencji prowadzącą na światowych rynkach do niskich cen płodów rolnych, produkcja biomasy daje nowe możliwości rozwoju rolnictwa i poprawę warunków ekonomicznych. W Polsce obecnie na cele energetyczne najczęściej uprawiana jest wierzba. Jednakże równie cennym i wartościowym alternatywnym surowcem energetycznym jest biomasa pochodząca z traw.

W pracy postawiono hipotezę, że uprawa miskanta olbrzymiego oraz pozyskanie biomasy może charakteryzować się korzystnym wskaźnikiem energochłonności jednostkowej oraz wysokim wskaźnikiem efektywności energetycznej produkcji.

Celem pracy było określenie skumulowanych nakładów materiałowo-energetycznych oraz efektywności energetycznej produkcji biomasy miskanta olbrzymiego.

2. Materiał i metody

Podstawą pracy są dane uzyskane z gospodarstwa rolnego „MISKANT”, w którym uprawiano miskanta olbrzymiego na cele energetyczne. Gospodarstwo zlokalizowane jest w województwie pomorskim w miejscowości Chojnice. Na podstawie zgromadzonych danych oceniono aktualny poziom produkcji i efektywność energetyczną produkcji biomasy. W rachunku efektywności energetycznej w nakładach wyodrębnione zostały cztery strumienie energii: praca ludzka, nośniki energii (olej napędowy), materiały (nawozy sztuczne, materiał siewny, środki ochrony roślin), maszyny i narzędzia (WIELICKI, 1989). Nakłady środków produkcji oraz nakłady robocizny i siły pociągowej ponoszone na uprawę roli, sadzenie, zabiegi ochroniarskie i zbiór przeliczone zostały na MJ, wykorzystując przy tym odpowiednie wskaźniki energochłonności, stosowane w rachunku energetycznym produkcji roślinnej (ANUSZEWSKI, 1987; WÓJCICKI, 1983). Przyjęte zostały następujące wskaźniki energochłonności: praca ludzka – 40 MJ rbh⁻¹, nośniki energii – 48 MJ kg⁻¹, nawozy azotowe (N) – 77 MJ kg⁻¹, nawozy fosforowe (P₂O₅) – 15 MJ kg⁻¹, nawozy potasowe (K₂O) – 10 MJ kg⁻¹, sadzonki – 0,0204 MJ szt.⁻¹, środki ochrony roślin – 300 MJ kg⁻¹ substancji aktywnej. Wielkość nakładów energetycznych określona została na podstawie bezpośrednich pomiarów własnych wg stosowanych wariantów uprawy na polach produkcyjnych z wykorzystaniem maszyn i urządzeń typowych dla produkcji rolniczej. Rachunek został przeprowadzony w odniesieniu do powierzchni 1 ha. Miernikiem efektywności jest wskaźnik efektywności energetycznej, wynikający z proporcji między wartością energetyczną plonu, a nakładami poniesionymi na jego wyprodukowanie. Do oceny energetycznej posłużono się także zyskiem energii skumulowanej i wskaźnikiem energochłonności jednostkowej (ZAREMBA, 1986; WIELICKI, 1989).

Plantację założono w 2004 r. na glebach kompleksu 3. pszennego wadliwego należącego do klasy bonitacyjnej III b oraz kompleksu 4. żytniego bardzo dobrego należącego do klasy bonitacyjnej IV a i IV b. Zawartość składników pokarmowych PK w glebie wahała się na poziomie średnim, a wartość pH gleby wynosiła 6,1. Przedplonem dla uprawy miskanta olbrzymiego były zboża (żyto ozime, pszenżyto ozime, jęczmień jary oraz pszenica). Przygotowanie gleby po zbiorze zbóż polegało na odchwaszczeniu, wykonanym za pomocą oprysku preparatem Roundup 360 SL w ilości 1260 g s.a. ha⁻¹ oraz zastosowaniu standardowych uprawek poźniwnych, takich jak podorywka, dwa razy bronowanie broną ciężką oraz wykonaniu przed zimą orki głębokiej pozostawionej na zimę w ostrej skibie. Wiosną przedsięwzięto zastosowanie nawożenia NPK stosując 2 dt ha⁻¹ Polifoski 8–24–24, następnie glebę doprowadzono dwukrotnie agregatem uprawowym. Sadzenie sadzonek wykonano w dniach 12–15 kwietnia 2004 r. Prace wykonano za pomocą własnoręcznie wykonanej sadzarki zagregatowanej z ciągnikiem Ursus 914. Łącznie wysadzono 12 tys. szt. ha⁻¹ sadzonek w rozstawie 1 m × 0,83 m na głębokość 3–5 cm.

W pierwszym roku uprawy miskanta olbrzymiego wykonano dwukrotnie zabiegi ochrony roślin przed chwastami. Pierwszy zabieg wykonano w fazie od 2 do 3 liści

perzu herbicydami Titus 25 WG w dawce 30 g s.a. ha⁻¹ i Mustang 306 SE w dawce 0,6 l ha⁻¹ oraz dodatkiem adiuwanta Trend 90 EC w stężeniu 0,1% (100 ml /100 l wody). Następny zabieg powtórzono po 20 dniach herbicydem Titus 25 WG w dawce 30 g s.a. ha⁻¹ z dodatkiem adiuwanta Trend 90 EC w stężeniu 0,1% (100 ml /100 l wody). Zastosowano 300 l wody na hektar wykonując opryskiwanie średniokropliste. Do wykonania zabiegów użyto opryskiwacza Pilmet 800 o szerokości roboczej belki polowej wynoszącej 18 m. Na początku czerwca zastosowano nawożenie pogłównie azotem w postaci saletry amonowej w ilości 1 dt ha⁻¹. Rośliny skoszono kosiarką rotacyjną zagregatowaną z ciągnikiem Ursus C-330. Biomasy nie zbierano na cele energetyczne, lecz pozostała ona na polu.

W drugim roku uprawy wczesną wiosną zastosowano nawożenie pogłównie NPK w postaci polifoski 8–24–24 w ilości 2 dt ha⁻¹, po miesiącu powtórzono nawożenie N w postaci saletry amonowej w ilości 1 dt ha⁻¹. Ponieważ rośliny miskanta olbrzymiego nie były jeszcze wystarczająco rozwinięte, aby konkurować z chwastami wykonano zabieg ochrony roślin mieszkanką herbicydów oraz adiuwanta. Zastosowano Titus 25 WG w dawce 60 g s.a. ha⁻¹ i Mustang 306 SE w dawce 0,6 l ha⁻¹ oraz dodatkiem adiuwanta Trend 90 EC w stężeniu 0,1% (100 ml /100 l wody). Wczesną wiosną w miesiącu marcu dokonano pierwszego zbioru biomasy na cele energetyczne. Do tego celu wykorzystano silosokombajn John Deere 7200 o szerokości roboczej zespołu tnącego wynoszącej 4 m.

W trzecim roku uprawy pielęgnacja plantacji miskanta ograniczyła się do zastosowania wczesną wiosną nawożenia pogłównego NPK w ilości 2 dt ha⁻¹ polifoski 8–24–24 oraz w okresie rozpoczęcia wegetacji 1 dt ha⁻¹ saletry amonowej.

3. Wyniki

Po posadzeniu plantacji, w pierwszych dwóch latach uprawy rośliny miskanta olbrzymiego rozwijały się bardzo powoli. W tym okresie sadzonki potrzebowały czasu na ukorzenie się, aklimatyzację i odpowiedni rozwój. Do wydania maksymalnego plonu plantacja potrzebowała trzech lat uprawy. W pierwszych dwóch latach uprawy plony były niewielkie, w tym okresie miskant olbrzymi plonował średnio o 63% niżej niż w kolejnych latach uprawy po uzyskaniu pełni rozwoju (tab. 1). Bardzo powolne tempo rozwoju roślin szczególnie w pierwszym roku uprawy spowodowało, że nowo założona plantacja wydała bardzo niskie plony biomasy, które w pierwszym roku uprawy wynosiły 15 dt ha⁻¹, natomiast w drugim roku kształtowały się na poziomie 90 dt ha⁻¹. W kolejnych latach uprawy wraz z rozwojem założonej plantacji plon biomasy wyraźnie rósł i w trzecim roku uprawy (2006) osiągnął już pułap 150 dt ha⁻¹. W kolejnych latach uprawy plony utrzymywały się na podobnym poziomie i były stabilne. Najwyższy plon biomasy uzyskano w 2009 roku, wynosił on w granicach 160 dt ha⁻¹. Na przełomie pięciu lat uprawy tj. w latach 2005–2009 uzyskano średni plon biomasy wynoszący 139 dt ha⁻¹. Należy podkreślić, że w badanym okresie na przełomie czterech lat tj. 2006–2009 plantacja po osiągnięciu pełni rozwoju, utrzymywała średnie plonowanie wynoszące 151 dt ha⁻¹.

Tabela 1. Plonowanie *Miscanthus giganteus*
Table 1. Yielding of *Miscanthus giganteus*

Rok uprawy – Year of cultivation	Plon (dt ha ⁻¹) – Yield (dt ha ⁻¹)
2004 (rok założenia plantacji – year of plantation establishment)	15,0
2005	90,0
2006	150,0
2007	140,0
2008	155,0
2009	160,0
Średnia – Mean	139,0

Wyniki przedstawione w tabeli 2, przedstawiają rachunek energetyczny nakładów środków produkcji oraz nakładów robocizny i siły pociągowej poniesionej na założenie plantacji miskanta olbrzymiego. Największe nakłady energetyczne na założenie plantacji zostały poniesione na nawożenie – 5209,30 MJ ha⁻¹. W ogniwie tym najwięcej energii zużyto na strumień materiałów, na który składały się nawozy (saletra oraz polifoska). Najmniej energii zużyto na sadzenie plantacji, w ogniwie tym nakład energii wyniósł 1003,13 MJ ha⁻¹. Na uprawę roli zużyto 1761,80 MJ ha⁻¹, najwięcej energii w tym ogniwie zużyto na paliwo. Na regulację zachwaszczenia zużyto 1062,05 MJ ha⁻¹. Stosunkowo niewiele energii zużyto na zbiór biomasy, tylko 160,10 MJ ha⁻¹. Łącznie zużyto 9196,37 MJ ha⁻¹ energii.

Tabela 2. Rachunek energetyczny nakładów środków produkcji oraz nakładów robocizny i siły pociągowej poniesionej na założenie plantacji *Miscanthus giganteus*
Table 2. Energy cost estimate for means of production, inputs of labour force and tractive force incurred in establishing *Miscanthus giganteus* plantation

Ogniwo agrotechniki Crop production steps	Wykonywane czynności Operations	Siła robocza Labour force	Ciągniki i maszyny Tractors and machines	Nośniki energii Energy carriers	Materiały Materials
		(MJ ha ⁻¹)			
Uprawa roli Tillage	podorywka skimming	33,33	55,46	336,00	
	orka głęboka deep plowing	47,06	94,76	711,53	
	brona ciężka heavy harrow (x2)	14,55	30,44	146,62	
	agregat uprawowy cultivation unit (x2)	20,00	70,44	201,60	
Razem – Total		114,90	251,10	1395,70	
Sadzenie (szt ha ⁻¹) Planting (plants ha ⁻¹)		80,00	214,67	463,68	244,80
Nawożenie przedsiewne Pre-sowing fertilization (kg ha ⁻¹)	jednostka aplikacyjna single dose				
	16				1232,00
	48	8,00	33,60	46,37	720,00
	48				480,00

Nawożenie N wiosenne Spring N fertilization (kg ha ⁻¹)	wznowienie wegetacji growth resumption				
	34	8,00	16,95	46,37	2618,00
Razem – Total		16,00	50,50	92,70	5050,00
Regulacja zachwaszczenia Weed control	Roundup 360 SL (1260 g s.a ha ⁻¹)	13,30	36,50	77,30	378,00
	Titus® 25WG (7 g s.a ha ⁻¹) (2x)	13,30	36,50	77,30	4,20
	Mustang 306 SE (455 g s.a ha ⁻¹)	13,30	36,50	77,30	136,50
	Trend 90 EC (270 g s.a ha ⁻¹) (2x)				162,00
Razem – Total		40,00	109,50	231,80	680,70
Zbiór Harvest	kosiarka rotacyjna rotary mower	17,40	41,90	100,80	
Razem – Total	9196,37	268,33	667,74	2284,80	5975,50

Tabela 3. Rachunek energetyczny nakładów środków produkcji oraz nakładów robocizny i siły pociągowej poniesionej w pierwszym roku uprawy *Miscanthus giganteus*
Table 3. Energy cost estimate for means of production, inputs of labour force and tractive force incurred in the first year of running *Miscanthus giganteus*

Ogniwo agrotechniki Crop production steps	Wykonywane czynności Operations	Siła robocza Labour force	Ciągniki i maszyny Tractors and machines	Nośniki energii Energy carriers	Materiały Materials
Nawożenie przedsiewne Pre-sowing fertilization (kg ha ⁻¹)	jednostka aplikacyjna single dose				
	16				1232,00
	N 48	8,00	33,60	46,37	720,00
	P 48				480,00
Nawożenie N wiosenne Spring N fertilization (kg ha ⁻¹)	wznowienie wegetacji growth resumption				
	34	8,00	16,95	46,37	2618,00
Razem – Total		16,00	50,50	92,70	5050,00
Regulacja zachwaszczenia Weed control	Titus® 25WG (14 g s.a ha ⁻¹) (1x)	13,30	36,50	77,30	4,20
	Mustang 306 SE (455 g s.a ha ⁻¹) (1x)				136,50
	Trend 90 EC (270 g s.a ha ⁻¹) (1x)				81,00
Razem – Total		13,30	36,50	77,30	221,70
Zbiór Harvest	jednoetapowy wiosną kombajnem do zielonek single-stage, in spring, with a forage harvester	40,00	793,30	787,20	
Razem – Total	7178,60	69,30	880,40	957,20	5271,70

W pierwszym roku uprawy miskanta olbrzymiego najwięcej energii pochłonęło również nawożenie – 5209,3 MJ ha⁻¹ (tab. 3). Zanotowano znaczny wzrost zużycia energii na zbiór, do wykonania którego zużyto 1620,5 MJ ha⁻¹, wzrost ten nastąpił ponieważ w roku założenia plantacji biomasy nie zbierano. Ponadto należy podkreślić, że łączne nakłady energetyczne poniesione w pierwszym roku uprawy wynosiły 7178,6 MJ ha⁻¹ i były niższe prawie o 22% w porównaniu do nakładów poniesionych na założenie plantacji miskanta olbrzymiego.

W kolejnych latach uprawy miskanta nakłady energetyczne poniesione na produkcję biomasy uległy zmniejszeniu o kolejne 348,8 MJ ha⁻¹ (tab. 4) i nie ulegały dalszym zmianom. Najwięcej energii podobnie jak w poprzednich latach używano na nawożenie. W tym okresie nakłady energetyczne w porównaniu do roku bazowego spadły o 25,8%, natomiast w odniesieniu do pierwszego roku uprawy spadły tylko o 4,9%.

Na podstawie uzyskanych wyników wysokości i struktury nakładów energetycznych poniesionych na produkcję biomasy pochodzącej z uprawy miskanta olbrzymiego należy stwierdzić, że strumieniem energii, na który w poszczególnych latach badań ponoszono największe nakłady energii były materiały, na które głównie składały się nawozy. Natomiast najmniejsze nakłady ponoszono na strumień energii siły roboczej, co

Tabela 4. Rachunek energetyczny nakładów środków produkcji oraz nakładów robocizny i siły pociągowej poniesionej w drugim i kolejnych latach uprawy *Miscanthus giganteus*
Table 4. Energy cost estimate for means of production, inputs of labour force and tractive force incurred in the second year and successive years of running *Miscanthus giganteus*

Ogniwo agrotechniki Crop production steps	Wykonywane czynności Operations	Siła robocza Labour force	Ciągniki i maszyny Tractors and machines	Nośniki energii Energy carriers	Materiały Materials
(MJ ha ⁻¹)					
Nawożenie przedsiewne) Pre-sowing fertilization (kg ha ⁻¹)	jednostka aplikacyjna single dose				
N	16	8,00	33,60	46,37	1232,00
P	48				720,00
K	48				480,00
Nawożenie N wiosenne Spring N fertilization (kg ha ⁻¹)		wznowienie wegetacji growth resumption			
	34	8,00	16,95	46,37	2618,00
Razem- Total	16,00	50,50	92,70	5050,00	
Zbiór Harvest	jednoetapowy, wiosną kombajnem do zielonek single-stage, in spring, with a forage harvester	40,00	793,30	787,20	
Razem – Total	6829,80	56,00	843,90	879,90	5050,00

Tabela 5. Wysokość i struktura nakładów energetycznych poniesionych na technologie produkcji biomasy pochodzącej z uprawy *Miscanthus giganteus* wg strumieni energii – zakładanie plantacji
 Table 5. Value and structure of energy inputs incurred in producing *Miscanthus giganteus* biomass subject to energy fluxes – establishing a plantation

Strumienie energii Energy fluxes	0 rok zero year		1 rok 1 st year		2- 17 rok 2 nd – 17 th year	
	(MJ ha ⁻¹)	(%)	(MJ ha ⁻¹)	(%)	(MJ ha ⁻¹)	(%)
Siła robocza – Labour force	268,33	2,92	69,33	0,97	56,00	0,82
Ciągniki i maszyny Tractors and machines	667,74	7,26	880,39	12,26	843,88	12,36
Nośniki energii Energy carriers	2284,80	24,84	957,22	13,33	879,94	12,88
Materiały – Materials	5975,50	64,98	5271,70	73,44	5050,00	73,94
Razem – Total	9196,37	100,00	7178,64	100,00	6829,82	100,00

Tabela 6. Wysokość i struktura nakładów energii skumulowanej poniesionych na technologie produkcji biomasy pochodzącej z uprawy *Miscanthus giganteus* wg operacji produkcji
 Table 6. Value and structure of cumulative energy inputs incurred in producing *Miscanthus giganteus* biomass subject to crop production operations

Operacje produkcyjne Crop production operations	0 rok zero year		1 rok 1 st year		2 – 17 rok 2 nd – 17 th year	
	(MJ ha ⁻¹)	(%)	(MJ ha ⁻¹)	(%)	(MJ ha ⁻¹)	(%)
Uprawa roli – Tillage	1761,79	19,16				
Sadzenie – Planting	1003,15	10,91				
Nawożenie mineralne Mineral fertilization	5209,29	56,64	5209,29	72,57	5209,29	76,27
Regulacja zachwaszczenia Weed control	1062,05	11,55	348,82	4,86		
Zbiór – Harvest	160,10	1,74	1620,53	22,57	1620,53	23,73
Razem – Total	9196,37	100,00	7178,64	100,00	6829,82	100,00

Tabela 7. Wyróżniki oceny energetycznej technologii produkcji biomasy pochodzącej z uprawy *Miscanthus giganteus*

Table 7. Energy analysis of *Miscanthus giganteus* biomass production

Rok uprawy Year of cultivation	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Plon – Yield (dt ha ⁻¹)	15,00	90,00	150,00	140,00	155,00	160,00
Suma nakładów poniesionych Total energy inputs (MJ ha ⁻¹)	9196,37	7178,64	6829,82	6829,82	6829,82	6829,82
Wartość energetyczna plonu Energy value of biomass yield (MJ ha ⁻¹)	28650,00	171900	286500	276400	296050	305600
Zysk energii skumulowanej Cumulative energy gain (MJ ha ⁻¹)	19453,63	164721,36	279670,18	269570,18	289220,18	298770,18
Energochłonność jednostkowa produkcji Energy consumption per unit of production (MJ dt ⁻¹)	613,09	79,76	45,53	48,78	44,06	42,69
Wskaźnik efektywności energetycznej Energy efficiency ratio	3,12	23,95	41,95	40,47	43,35	44,74

pozwała stwierdzić, że uprawa miskanta olbrzymiego jest mało pracochłonna (tab. 5). W przeprowadzonych badaniach najwięcej energii wg operacji produkcji w poszczególnych latach badań zużyto na nawożenie mineralne, którego średnia wartość wyniosła 68,49% (tab. 6).

Podsumowując należy stwierdzić, że w przeprowadzonych badaniach średnia suma nakładów poniesionych na produkcję biomasy pochodzącej z uprawy miskanta olbrzymiego wyniosła 7217,73 MJ ha⁻¹, przez pierwsze trzy lata spadała, a w następnych latach uprawy utrzymywała się na jednakowym poziomie. Natomiast wartość energetyczna uzyskanego plonu przez pierwsze trzy lata rosła, podczas gdy w kolejnych latach utrzymywała się na jednakowym poziomie i średnio wynosiła 236 488,57 MJ ha⁻¹ co dało zysk energii skumulowanej średnio wynoszący 229 270,84 MJ ha⁻¹. Należy podkreślić, że uzyskany plon z hektara ma wartość równoważną 11,6 t węgla kamiennego średniej jakości. Ponadto należy zwrócić uwagę na to, że wskaźnik efektywności energetycznej w badanych latach średnio wyniósł 32,93 co oznacza, że uzyskano średnio 32,93 razy więcej energii niż jej włożono, a biorąc pod uwagę lata, w których miskant olbrzymi uzyskał pełnię rozwoju, wartości te były jeszcze większe. Średnio za okres ostatnich czterech lat wskaźnik efektywności energetycznej wyniósł ponad 42 (tab. 7).

4. Dyskusja

Do produkcji na cele energetyczne najbardziej przydatne są gatunki charakteryzujące się wysoką wydajnością biomasy, posiadające tzw. korzystny bilans energetyczny, czyli różnicę pomiędzy energią znajdującą się w wytworzonej biomacie a energią niezbędną do jej wyprodukowania (JEŻOWSKI, 2001, 2003; SZCZUKOWSKI i WSP., 2006). Uzyskane plony w badanym gospodarstwie były niższe od niektórych danych publikowanych w polskiej literaturze, gdzie w warunkach doświadczalnych uzyskuje się rocznie od 26,8 (FABER i WSP., 2007) do 33,4 t s.m. ha⁻¹ (MAJTKOWSKI i MAJTKOWSKA, 2008) miskanta olbrzymiego, 17,8 t s.m. ha⁻¹ ślazuca pensylwańskiego (BORKOWSKA i STYK, 2003) oraz 26 t ha⁻¹ suchej masy drewna wierzby krzewiastej (SZCZUKOWSKI, 2003). W badanym gospodarstwie na niski plon biomasy wpłynęło prawdopodobnie niskie nawożenie mineralne, które wynosiło 146 kg ha⁻¹ NPK oraz niski poziom wód gruntowych. Jednakże należy podkreślić, że FABER i WSP. (2007) stosując nawożenie NPK w wysokości 200 kg ha⁻¹, prowadząc doświadczenie na glebie średniej kompleksu 4 (żytni bardzo dobry) uzyskali za trzy lata średnie plony biomasy pochodzącej z miskanta olbrzymiego wynoszące 17,1 t s.m. ha⁻¹. Jak widać warunki środowiskowe mają bardzo duże znaczenie w plonowaniu miskanta olbrzymiego co potwierdzają badania JEŻOWSKIEGO i WSP. (2009), którzy twierdzą, że cechy związane z plonowaniem jak i wymianą gazową u miskanta olbrzymiego są uwarunkowane genetycznie, jednakże na kształtowanie się tych cech ma wpływ środowisko. Potwierdzają to przeprowadzone przez nich badania, które wykazują, że lepszym dla wzrostu i rozwoju miskanta olbrzymiego okazało się środowisko Elbląga aniżeli Poznania, a to głównie jak można przypuszczać, za sprawą obfitych opadów deszczu i wysokiego poziomu wody gruntowej w glebie podczas wegetacji (JEŻOWSKI i WSP., 2009). Dobre warunki glebowe, wysoki poziom wód gruntowych oraz zbliżone warunki

klimatyczne pozwalają przypuszczać, że uprawa miskanta olbrzymiego w województwie warmińsko-mazurskim pozwoli uzyskać wysokie plony biomasy oraz wysokie wskaźniki efektywności energetycznej. Efektywność energetyczna jest w praktyce wyraźnie zróżnicowana przez stosowane technologie produkcji (STARCZEWSKI i WSP., 2008). W przeprowadzonych badaniach zysk energii skumulowanej średnio wynosił 229 270,84 MJ ha⁻¹, a wskaźnik efektywności energetycznej 42,63 i był korzystniejszy od wskaźnika efektywności energetycznej otrzymanej w uprawie rzepaku (dla nasion i słomy rzepaku – 6,9) (BUDZYŃSKI i BIELSKI, 2004), wierzby w systemie Eko-Salix (9,2–11,7) (TWORKOWSKI i WSP., 2011), w uprawie wierzby krzewiastej w cyklu rocznym (22,5) i dwuletnim (33,6), oraz porównywalny z wynikami uzyskiwanymi przy uprawie wierzby w cyklu trzyletnim (41,9) (SZCZUKOWSKI i WSP., 2004). Podobne wyniki uzyskali HRYNKIEWICZ i GRZYBEK (2010), którzy wyliczając energochłonność jednostkową poniesioną na uprawę miskanta olbrzymiego otrzymali wartości w granicach od 2100 do 9200 MJ ha⁻¹. Uzyskane w badaniach wyniki są bardzo optymistycznie i zachęcają do uprawy miskanta olbrzymiego.

5. Wnioski

- Plony suchej masy wskazują na opłacalność uprawy miskanta olbrzymiego na cele energetyczne.
- Z uprawy jednego hektara plantacji miskanta olbrzymiego uprawianego na cele energetyczne uzyskano równoważną wartość energetyczną 11,6 ton węgla kamiennego średniej jakości.
- Wysokie wskaźniki efektywności energetycznej stawiają miskanta olbrzymiego na czołowym miejscu pod względem przydatności w produkcji biomasy na cele energetyczne.
- Na podstawie uzyskanych wartości wskaźnika energochłonności skumulowanej można stwierdzić, że uprawa miskanta olbrzymiego jest bardzo opłacalna i mało-pracochłonna.
- Największą sprawność energetyczną w produkcji biomasy miskant olbrzymi uzyskuje od drugiego roku uprawy.

Literatura

- ANUSZEWSKI R., 1987. Metoda oceny energochłonności produktów rolniczych (MET). Zagadnienia Ekonomiki Rolniczej, 4, 16–26.
- BORKOWSKA H., STYK B., 2003. Ślazowiec – biomasa, perspektywy uprawy i wykorzystania ślazowca pensylwańskiego na cele energetyczne, w: Ciechanowicz W., Szczukowski S. Ognia paliwowe i biomasa lignocelulozowa szansą rozwoju wsi i miast. Warszawa, ss. 185–191.
- BUDZYŃSKI W., BIELSKI S., 2004. Surowce energetyczne pochodzenia Rolniczego. Cz. I. Biokomponenty paliw płynnych (artykuł przeglądowy). Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 3(2), 5–14.
- FABER A., STASIAK M., KUŚ J., 2007. Wstępna ocena produktywności wybranych gatunków roślin energetycznych. Materiały z konferencji naukowej nt. Trawy energetyczne. Dolsk.
- HRYNKIEWICZ M., GRZYBEK A., 2010. Energochłonność skumulowana uprawy miskantusa. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2, 123–129.

- JEŻOWSKI S., 2001. Rośliny energetyczne – ogólna charakterystyka, uwarunkowania fizjologiczne i znaczenie w produkcji biopaliwa. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2, 18–27.
- JEŻOWSKI S., 2003. Rośliny energetyczne – produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i socjalny ich wykorzystania jako ekobiopaliwa. *Postępy Nauk Rolniczych*, 3, 61–73.
- JEŻOWSKI S., 2009. Wstępna ocena głównych parametrów wymiany gazowej związanych z fotosyntezą w odniesieniu do plonowania traw energetycznych z rodzaju *Miscanthus* w pierwszym roku uprawy. *Acta Agrophysica*, 14(1), 73–81.
- MAJTKOWSKI W., MAJTKOWSKA G., 2008. Produktywność wieloletnich plantacji energetycznych w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 153–157.
- PISKIER T., 2010. Efektywność energetyczna różnych technologii uprawy topinamburu z przeznaczeniem na opał. *Inżynieria Rolnicza*, 5(123), 233–240.
- STARCZEWSKI J., DOPKA D., KORSAK-ADAMOWICZ M., 2008. Ocena energetycznej efektywności wybranych technologii uprawy żyta jarego. *Acta Agrophysica*, 11(3), 733–739.
- SZCZUKOWSKI S., 2003. Uprawa wierzb krzewiastych i pozyskiwanie biomasy, w: Ciechanowicz W., Szczukowski S. *Ogniwa paliwowe i biomasa lignocele-lulozowa szansą rozwoju wsi i miast*. Warszawa, ss. 35–48.
- SZCZUKOWSKI S., KOŚCIK B., KOWALCZYK-JUŚKO A., TWORKOWSKI J., 2006. Uprawa i wykorzystanie roślin alternatywnych na cele energetyczne. *Fragmenta Agronomica*, 23(3), 300–315.
- SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., 2004. Plantacje energetyczne wierzby i innych roślin wieloletnich. *Wieś Jutra*, 3, 53–55.
- TWORKOWSKI J., STOLARSKI M., SZCZUKOWSKI S., 2011. Efektywność energetyczna produkcji biomasy wierzby systemem Eko-Salix. *Fragmenta Agronomica*, 28(4), 123–130.
- WĘGRZYN A., ZAJĄC G., 2008. Wybrane aspekty badań efektywności energetycznej technologii produkcji biomasy roślinnej. *Acta Agrophysica*, 11(3), 799–806.
- WIELICKI W., 1989. Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. *Postępy Nauk Rolniczych*, 1, 69–86.
- WÓJCICKI Z., 1983. Problemy materiałochłonności produkcji rolnej. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 2, 41–59.
- ZAREMBA W., 1986. *Energetyka w systemie eksploatacji sprzętu rolniczego*. PWRiL, Warszawa.

Energy efficiency of *Miscanthus giganteus* biomass production

A. KOBYLIŃSKI, M. OLSZEWSKA

Department of Grassland Sciences, University of Warmia and Mazury

Summary

The study includes an evaluation of the use of the cultivation of *Miscanthus giganteus* for energy production based on an energy analysis carried out on a test farm. The study shows that the obtained yield of dry matter indicates the profitability of the cultivation of *Miscanthus giganteus* for energy production. On the studied farm, the cultivation of *Miscanthus giganteus* over an area of one hectare produced an energy value equivalent to that produced from 11.6 tons of average grade hard coal. The high level of energy efficiency obtained in the study ranks *Miscanthus giganteus* first for use in biomass energy production. The obtained data of cumulative energy consumption indicates the cultivation of *Miscanthus giganteus* is very profitable and not very labour consuming. The highest energy efficiency in biomass production from *Miscanthus giganteus* can be obtained in the second year of its cultivation.

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Dr hab. Marzenna Olszewska

Katedra Łąkarstwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Plac Łódzki 1, 10-727 Olsztyn

e-mail: marzenna.olszewska@uwm.edu.pl