

## WSTĘPNE BADANIA NAD PLONOWANIEM I WYDAJNOŚCIĄ ENERGETYCZNĄ WYBRANYCH ROŚLIN UPRAWIANYCH NA CELE BIOGAZOWE

WŁADYSŁAW SZEMPLIŃSKI, BOGDAN DUBIS

*Katedra Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

wladyslaw.szemplinski@uwm.edu.pl

**Synopsis.** W latach 2007–2008 przeprowadzono badania polowe i laboratoryjne nad przydatnością wybranych, jednorocznych i wieloletnich roślin energetycznych na cele biogazowe. Określono plon biomasy i energii z jednostki powierzchni oraz efektywność energetyczną jej produkcji. Wyniki badań wykazały, że w dwuletnim cyklu badań z roślin jednorocznych najplenniejsza (21,9 do 25,6 t·ha<sup>-1</sup>), a więc najbardziej przydatna do produkcji biogazu, była kukurydza. Z roślin wieloletnich najwyższy plon biomasy w roku pełnego użytkowania (2008 rok) zapewniała koniczyna czerwona z tymotką łąkową (14,1 t·ha<sup>-1</sup>). Miskant cukrowy oraz miskant olbrzymi w drugim roku uprawy wykazywały słabą dynamikę przyrostu biomasy i uzyskały niski plon suchej masy (3,4–8,4 t·ha<sup>-1</sup>). Najwyższą wydajność energii w plonie biomasy zapewniała kukurydza, która w średnich wynikach przewyższała pozostałe rośliny energetyczne od 36 do 86%. Najmniejszym jednostkowym nakładem energii poniesionym na produkcję 1 t biomasy oraz największą sprawnością energetyczną jej produkcji charakteryzowały się koniczyna czerwona z tymotką łąkową i kukurydza uprawiana na kiszonkę z całych roślin. Najmniej sprawna energetycznie, głównie ze względu na niskie plony suchej masy w dwóch pierwszych latach uprawy, była produkcja biomasy miskanta olbrzymiego. Należy przypuszczać, że w kolejnych latach, w miarę wzrostu plonowania, konkurencyjność tego gatunku względem innych roślin będzie wzrastać.

**Słowa kluczowe** – *key words*: rośliny energetyczne – *crops for energy purposes*, plon biomasy – *biomass yield*, efektywność energetyczna – *energy efficiency*

### WSTĘP

Do produkcji biogazu można wykorzystywać wiele rodzajów biomasy [Gradziuk 2003a, Kościak i Kowalczyk-Juśko 2004]. Najważniejszym, potencjalnym źródłem biomasy na potrzeby produkcji biogazu jest celowa produkcja roślin na użytkach rolnych. Gatunki roślin przydatne do celów energetycznych charakteryzują się jednak różną wydajnością biomasy i zawartą w niej energią chemiczną [Jeżowski 2001, 2003]. Do intensywnej uprawy na cele energetyczne nadają się głównie gatunki o wysokiej produktywności biomasy z jednostki powierzchni, a więc charakteryzujące się korzystnym bilansem energetycznym, czyli różnicą pomiędzy energią zawartą w biomacie a energią potrzebną do jej wytworzenia [Jeżowski 2001, 2003, Szczukowski i in. 2006]. Takie rośliny pozwalają na ciągłą dostawę substratu do biogazowni oraz dużą konwersję energii w formie biogazu o wysokiej zawartości w nim biometanu [Gradziuk 2003a].

Celem badań było określenie plonu biomasy i energii z jednostki powierzchni oraz efektywności energetycznej jej produkcji.

## MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2007–2008 w Zakładzie Produkcyjno-Doświadczalnym w Bałcynach (53°35' N, 19°51' E), należącym do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego Olsztynie. Doświadczenie ścisłe, dwuczynnikowe prowadzono w układzie losowanych podbloków. W badaniach uwzględniono 9 gatunków roślin, które uprawiano według dwóch technologii uprawy – konwencjonalnej i integrowanej, zróżnicowanych poziomem nakładów ponoszonych na agrotechnikę (m.in. nawożenie mineralne, pielęgnacja, ochrona). W pracy przedstawiono tylko średnie wartości niektórych cech badanych roślin dla technologii konwencjonalnej, zapewniającej wyższy poziom plonowania niż technologia integrowana.

Kukurydzę odmiany LG 2244 (FAO 230) wysiewano w III dekadzie kwietnia, w gęstości 12 roślin na 1 m<sup>2</sup>, w rozstawie rzędów 75 cm. Nawożenie mineralne stosowano w dawkach: N–180 (2/3 przed siewem + 1/3 w stadium BBCH 12), P–52,3 i K–116,2 kg·ha<sup>-1</sup> (przed siewem). Do regulacji zachwaszczenia w 2007 roku zastosowano po siewie herbicyd Trophy 840 EC w dawce 2,0 l·ha<sup>-1</sup>, a w 2008 roku Guardian Max 840 EC w dawce 2,5 l·ha<sup>-1</sup>. Zbiór na kiszonkę przeprowadzono w stadium BBCH 85 (początek października). Sorgo cukrowe odmiany Sucrosorgo 506 wysiano w III dekadzie maja, w gęstości 240 tys. nasion (6÷8 kg·ha<sup>-1</sup>), w rzędy o rozstawie 75 cm. Nawożenie wynosiło: N–160 (100 przed siewem + 60 w stadium BBCH 12), P–34,9; K–132,8 kg·ha<sup>-1</sup> (przed siewem). Do regulacji zachwaszczenia użyto po siewie preparatu Lumax 537,5 SE w dawce 2,5 l·ha<sup>-1</sup>. Zbiór wykonano w stadium BBCH 81 (początek października). Mieszaniec sorgo z trawą sudańską (Nutri honey) wysiewano w terminie siewu sorgo cukrowego, gęstość siewu wynosiła 45 tys. nasion (20 kg·ha<sup>-1</sup>), a rozstawa rzędów 50 cm. Nawożenie mineralne stosowano w dawkach: N–180 (120 przed siewem + 60 po I pokosie), P–65,4, K–172,2 kg·ha<sup>-1</sup> (przed siewem). Zbiór I pokosu wykonano po około 70 dniach od wysiewu (początek sierpnia), a II pokos zbierano w terminie zbioru sorgo. Tymotkę łąkową odmiany Climax i kupkówkę pospolitą odmiany Amba nawożono w dawkach: N–60; P–34,9; K–99,6 kg·ha<sup>-1</sup> (całość wiosną) + 30 kg N po I pokosie. Koniczynę czerwoną odmiana Nike z tymotką łąkową i lucernę siewną odmiana Verko z tymotką łąkową nawożono w dawkach: P–39,2; K–99,6 kg·ha<sup>-1</sup> (całość wiosną). W roku założenia doświadczenia trawy i rośliny motylkowe z trawami zbierano 2-krotnie, natomiast w 2 roku uprawy trawy w siewie czystym zbierano 2-krotnie, a motylkowe z trawami 3-krotnie. Miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*) i miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*) corocznie nawożono w dawkach: N–90, P–34,9; K–99,6 kg·ha<sup>-1</sup> (całość wiosną). Regulacja zachwaszczenia polegała na mechanicznej pielęgnacji międzyrzędzi. Zbiór w obu latach badań wykonano jednorazowo na początku października (miskant cukrowy w fazie kwitnienia, miskant olbrzymi w fazie wegetatywnej).

W badaniach energochłonności produkcji zastosowano metodę rachunku energii skumulowanej opracowaną przez IBMER [Anuszewski 1987, Wójcicki 1981, Pawlak 1989]. Nakłady energii skumulowanej zestawiono według strumieni energii (praca ludzka, bezpośrednie nośniki energii, ciągniki i maszyny, surowce i materiały) oraz według ogniw agrotechniki (uprawa roli, siew i sadzenie, nawożenie, regulacja zachwaszczenia i pielęgnacja, zbiór). Wielkość nakładów środków produkcji (nawozy, materiał siewny i nasadzeniowy, środki ochrony roślin) określono na podstawie ich zużycia, zgodnie z przyjętą metodyką badań. Nakłady robocizny, siły pociągowej, zużycie oleju napędowego i wydajność maszyn zostały określone na podstawie danych normatywnych [Pawlak 1989]. W procesie produkcyjnym wykorzystano następujące ciągniki, maszyny, narzędzia i urządzenia rolnicze: orka – ciągnik U914 + pług U103/1 Atlas 4H, przedsiewne nawożenie mineralne – ciągnik U914 + rozsiewacz nawozów N035 RNW-3, bronowanie przedsiewne – ciągnik U914 + brona U216, zaprawianie ziarna – zaprawiarka P211 Redło, siew – ciągnik U914 + siewnik S052/C Mazur 5, bronowanie posiewne – ciągnik U4512

+ brona U212/2, pogłównie nawożenie mineralne – ciągnik U914 + siewnik nawozów N039 RNZ-3, ochrona chemiczna – ciągnik U4512 + opryskiwacz P117 Pilmet 612, zbiór – sieczkarnia samobieżna New Holland FX30 lub ciągnik U914 + kosiarka. Nakłady energetyczne z tytułu zastosowanych w procesie produkcyjnym ciągników i maszyn wyliczono mnożąc jednostkową materiałochłonność zestawu sprzętu wykorzystywanego przy wykonywaniu czynności technologicznych przez energetyczny ekwiwalent 1 kg sprzętu wynoszący 112 MJ·kg<sup>-1</sup> masy [Pawlak 1989]. Parametry sprzętu rolniczego dotyczące ich masy przyjęto według informatora PIMR Poznań [Ciągniki i maszyny rolnicze 1995/96]. Do określenia wartości energetycznej paliwa stosowano przelicznik 50 MJ·kg<sup>-1</sup> [Pawlak 1989], a dla zużytych surowców i materiałów przyjęto następujące wskaźniki energii skumulowanej: nawozy azotowe – 77 MJ·ha<sup>-1</sup> czystego N, nawozy fosforowe – 14 MJ·kg<sup>-1</sup> czystego P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, nawozy potasowe – 10 MJ·kg<sup>-1</sup> czystego K<sub>2</sub>O, środki ochrony roślin – 300 MJ·kg<sup>-1</sup> składnika aktywnego [Juchniewicz i in. 1994]. W 2008 roku do faktycznych nakładów poniesionych na uprawę roślin wieloletnich dodano nakłady energii wynikające z założenia plantacji w 2007 roku. Ich wielkość określono na podstawie średniego okresu użytkowania plantacji, który dla traw cyklu C<sub>4</sub> przyjęto 20 lat, a dla traw cyklu C<sub>3</sub> 3 lata. W ocenie energetycznej technologii uprawy posłużono się kategoriami zdefiniowanymi w pracy Zaremby [1986] i Wielickiego [1989]. Zysk energii skumulowanej (MJ·ha<sup>-1</sup>) określono jako różnicę między wartością energetyczną plonu a sumą energii wydatkowanej na jej uzyskanie. Energochłonność jednostkową (MJ·ha<sup>-1</sup>) określono jako iloraz sumy nakładów energetycznych na jednostkę plonu suchej masy. Wskaźnik efektywności energetycznej (sprawności) obliczono z ilorazu wartości energetycznej plonu i sumy nakładów energetycznych poniesionych na jego wytworzenie.

## WYNIKI BADAŃ

Plony biomasy badanych gatunków były mocno zróżnicowane w latach badań (interakcja lata x gatunek) (tab. 1). Gatunki jednoroczne (kukurydza, sorgo, mieszaniec sorgo z trawą sudańską) istotnie wyżej plonowały w pierwszym (2007) roku prowadzenia badań, natomiast wieloletnie w drugim (2008) roku użytkowania plantacji. Z gatunków jednorocznych najwyższy i najstabilniejszy poziom plonowania w obu latach badań zapewniała kukurydza, której plon suchej masy wynosił średnio 23,8 t·ha<sup>-1</sup>. Wydajność fitomasy sorga cukrowego, średnio z 2 lat, była niższa o 43%, głównie ze względu na niskie plonowanie w 2008 roku, spowodowane koniecznością ponownego siewu w terminie opóźnionym, ze względu na brak jego wschodów w terminie optymalnym w wyniku suszy glebowej (suma opadów w sezonie wegetacyjnym o 40% niższa w stosunku do średniej wieloletniej). Mieszaniec sorgo z trawą sudańską (Nutri honey), zebrany z dwóch pokosów, plonował średnio o 51% niżej niż kukurydza.

Plony biomasy gatunków wieloletnich są niemiernodajne, gdyż dotyczą tylko dwóch pierwszych lat badań od momentu założenia plantacji. W pierwszym roku wegetacji uzyskane plony suchej masy były bardzo małe i wahały się od 1,5 do 4,8 t·ha<sup>-1</sup>. Z porównywanych gatunków najniżej plonował miskant olbrzymi i miskant cukrowy. Rośliny wieloletnie wyższy poziom plonowania uzyskały w roku 2008, który był drugim rokiem wegetacji. Z roślin motylkowatych z trawami najwyższy plon suchej masy zapewniała koniczyna czerwona z tymotką łąkową. Wydajność lucerny siewnej z tymotką była niższa o 21%. Trawy o cyklu fotosyntetycznym C<sub>3</sub> uprawiane w siewie czystym plonowały wysoko (tab. 1). Średni poziom plonowania kupkówki pospolitej wynosił 9,5 t·ha<sup>-1</sup>, a wydajność tymotki łąkowej była o 27% niższa. Trawy wieloletnie typu C<sub>4</sub> w 2 roku wegetacji, ze względu na powolną dynamikę wzrostu, plonowały jeszcze nisko. Uzyskany plon suchej masy miskanta cukrowego wynosił 8,4 t·ha<sup>-1</sup>, zaś miskanta

Tabela 1. Plon suchej masy wybranych roślin energetycznych  
 Table 1. Dry matter yield of selected energetic plants

Gatunek – Species	Plon suchej masy (t·ha <sup>-1</sup> ) Dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )		Średnio Mean
	2007	2008	
Kukurydza zwyczajna ( <i>Zea mays</i> )	25,6	21,9	23,8
Sorgo cukrowe ( <i>Sorghum vulgare</i> ssp. <i>saccharatum</i> )	20,7	6,7	13,7
Sorgo cukrowe z trawą sudańską (Nutri honey) ( <i>Sorghum vulgare</i> ssp. <i>saccharatum</i> x ssp. <i>sudanense</i> )	14,3	9,0	11,6
Miskant cukrowy ( <i>Miscanthus sacchariflorus</i> )	2,4	8,4	5,4
Miskant olbrzymi ( <i>Miscanthus giganteus</i> )	1,5	3,4	2,4
Koniczyna czerwona z tymotką łąkową ( <i>Trifolium pratense</i> et <i>Phleum pratense</i> )	4,8	14,1	9,5
Lucerna siewna z tymotką łąkową ( <i>Medicago sativa</i> et <i>Phleum pratense</i> )	4,0	11,2	7,6
Tymotka łąkowa ( <i>Phleum pratense</i> )	4,1	6,9	5,5
Kupkówka pospolita ( <i>Dactylis glomerata</i> )	4,3	9,5	6,9
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>	0,78	0,17	–
Średnio – Mean	9,1	10,1	–

NIR<sub>0,05</sub> – LSD<sub>0,05</sub> dla – for: lat – years – r.n., gatunku – species – 0,37, interakcji – interaction – 0,52  
 r.n. – różnica nieistotna – difference not significant

olbrzymiego był niższy aż o 60%. Duże różnice w plonowaniu miskantów wynikały zapewne z odmiennej biologii ich rozwoju.

Całkowity wolumen energii skumulowanej w plonie suchej masy był silnie różnicowany gatunkiem rośliny uprawnej (tab. 2). W średnich z dwóch lat wynikach badań największą wydajność energii uzyskano w plonie biomasy kukurydzy zwyczajnej (416,9 GJ·ha<sup>-1</sup>). Wartość energii w plonie sorga cukrowego była niższa o 44%, a mieszańca sorgo z trawą sudańską o 52%. Jeszcze mniejszy wolumen energii zawartej w plonie suchej masy uzyskano z roślin wieloletnich. W porównaniu do kukurydzy był on niższy od 59% (koniczyna czerwona z tymotką) do 89% (miskant olbrzymi). Bardzo mała ilość energii otrzymana z 1 ha biomasy miskanta olbrzymiego wynikała głównie z niskiego plonu suchej masy.

Nakłady energii skumulowanej poniesione w 2008 roku na uprawę wybranych gatunków roślin energetycznych były zróżnicowane (tab. 3). Najbardziej energochłonna okazała się technologia uprawy mieszańca sorgo z trawą sudańską (25,0 GJ·ha<sup>-1</sup>). Technologia uprawy najbardziej wydajnej kukurydzy była mniej energochłonna o 13% i pochłaniała na 1 ha 21,7 GJ energii. Poziom nakładów energii skumulowanej poniesiony na produkcję biomasy pozostałych roślin był niższy od 37% u sorgo do 53% u miskantów. Największy zysk energii skumulowanej (376,9 GJ·ha<sup>-1</sup>) otrzymano w plonie biomasy kukurydzy. Przewyższał on zysk energii uzyskany w plonie pozostałych roślin od 36 do 86%. Zróżnicowanie to należy ocenić jako duże. Najmniejszym jednostkowym nakładem energii produkowano 1 t biomasy koniczyny czerwonej z trawami (0,86 GJ). Wartość energii wydatkowanej na produkcję 1 t biomasy pozostałych

Tabela 2. Wydajność energii w plonie suchej masy ( $GJ \cdot ha^{-1}$ )Table 2. Energy output of yield dry matter ( $GJ \cdot ha^{-1}$ )

Gatunek – <i>Species</i>	Wartość energetyczna plonu <i>Energy value of yield</i>		Średnio <i>Mean</i>
	2007	2008	
Kukurydza zwyczajna ( <i>Zea mays</i> )	435,2	398,6	416,9
Sorgo cukrowe ( <i>Sorghum vulgare</i> ssp. <i>saccharatum</i> )	351,9	118,6	235,2
Sorgo cukrowe z trawą sudańską (Nutri honey) ( <i>Sorghum vulgare</i> ssp. <i>saccharatum</i> x ssp. <i>sudanense</i> )	235,9	164,7	200,3
Miskant cukrowy ( <i>Miscanthus sacchariflorus</i> )	44,2	154,6	99,4
Miskant olbrzymi ( <i>Miscanthus giganteus</i> )	25,8	62,9	44,3
Koniczyna czerwona z tymotką łąkową ( <i>Trifolium pratense</i> et <i>Phleum pratense</i> )	86,9	255,2	171,0
Lucerna siewna z tymotką łąkową ( <i>Medicago sativa</i> et <i>Phleum pratense</i> )	69,6	194,9	132,2
Tymotka łąkowa ( <i>Phleum pratense</i> )	75,0	126,3	100,6
Kupkówka pospolita ( <i>Dactylis glomerata</i> )	80,8	178,6	129,7

roślin była wyższa od 0,13 GJ (kukurydza) do 2,64 GJ (miskant olbrzymi). Wskaźnik efektywności energetycznej najkorzystniejszą wartość uzyskał w warunkach uprawy koniczyny czerwonej z tymotką łąkową (20,9) i kukurydzy (18,4). Oznacza to, że 1 J energii wydatkowany na uprawę koniczyny czerwonej z tymotką spowodował aż 21-krotny, a w przypadku kukurydzy ponad 18-krotny przyrost energii w plonie biomasy. Najmniejszą sprawność energetyczną produkcji biomasy w 2 roku uprawy uzyskał miskant olbrzymi. Wynika to przede wszystkim z najmniejszej wartości energetycznej plonu, pomimo najmniejszych nakładów energii skumulowanej poniesionych na produkcję biomasy.

## DYSKUSJA

W pracy oceniono plonowanie i wydajność energii w plonie oraz efektywność energetyczną wybranych roślin i ich przydatność do produkcji biogazu. Michalski i Kowalik [2008] podają, że o przydatności surowca do celów energetycznych decyduje przede wszystkim ilość wyprodukowanej suchej masy, a dokładnie suchej masy organicznej, która jest substratem do produkcji biogazu.

W badaniach własnych, przeprowadzonych w latach 2007÷2008, średnie plony biomasy roślin jednorocznych były mocno zróżnicowane. Średni plon suchej masy kukurydzy kształtował się na poziomie 23,8 t·ha<sup>-1</sup>, sorga cukrowego 13,7 t·ha<sup>-1</sup>, a mieszańca sorgo z trawą sudańską 11,6 t·ha<sup>-1</sup>. W literaturze [Jeżowski 2003, Karsznicka i in. 2005, Michalski i Kowalik 2008,

Tabela 3. Niektóre wskaźniki energetycznej oceny wybranych roślin energetycznych (2008)  
 Table 3. Some indices of energy evaluation of selected energetic plants (2008)

Wyszczególnienie Specification	Kukurydza ( <i>Zea mays</i> )	Sorgo cukrowe ( <i>Sorghum vulgare</i> ssp. <i>saccharatum</i> )	Sorgo cukrowe z trawą sudańską ( <i>Sorghum vulgare</i> ssp. <i>saccharatum</i> x ssp. <i>sudanense</i> )	Miskant cukrowy ( <i>Miscanthus sacchariflorus</i> )	Miskant olbrzymi ( <i>Miscanthus giganteus</i> )	Koniczyna czerwona z tymotką ( <i>Trifolium pratense</i> et <i>Phleum pratense</i> )	Lucerna siewna z tymotką ( <i>Medicago sativa</i> et <i>Phleum pratense</i> )	Tymotka łąkowa ( <i>Phleum pratense</i> )	Kupkówka pospolita ( <i>Dactylis glomerata</i> )
Nakłady energii skumulowanej Energy value of field (GJ/ha <sup>-1</sup> )	21,7	15,8	25,0	11,8	11,9	12,2	12,2	14,7	14,9
Zysk energii skumulowanej Profit of cumulative energy (GJ/ha <sup>-1</sup> )	376,9	102,8	139,7	142,8	51,0	243,0	182,7	111,6	163,7
Energochłonność jednostkowa Energy consumption per unit (GJ/t <sup>-1</sup> )	0,99	2,36	2,78	1,40	3,50	0,86	1,09	2,13	1,57
Efektywność energetyczna Energy efficiency	18,4	7,5	6,6	13,1	5,3	20,9	16,0	8,6	12,0

Szempliński i in. 2009] podkreśla się, że do roślin najbardziej wydajnych pod względem suchej masy należy kukurydza, której plony wahają się od 15 do 30 t·ha<sup>-1</sup>. Z badań nad sorgiem [Jäger 2008, Nabi i in. 2006, Sowiński i Liszka-Podkowa 2008] wynika, że plony suchej masy wahają się od 12,5 do 20 t·ha<sup>-1</sup>. Mucha i Brzóska [1983] podają, że sorgo i mieszańce sorgo z trawą sudańską plonowały średnio na poziomie 13,1 t·ha<sup>-1</sup> suchej masy, z wahaniami między mieszańcami od 7,8 do 19,1 t·ha<sup>-1</sup>.

O wysokości plonów kukurydzy, poza poziomem nakładów ponoszonych na uprawę, decyduje układ warunków pogodowych występujących w okresie wegetacji. W tym przypadku większe znaczenie ma ilość opadów niż średnia temperatura powietrza [Sulewska 2004, Szempliński i in. 2009]. W badaniach własnych plon suchej masy kukurydzy był zróżnicowany w latach i wynosił od 21,9 t·ha<sup>-1</sup> w 2008 roku do 25,6 t·ha<sup>-1</sup> w 2007 roku. Różnica w wydajności kukurydzy między latami wynosiła aż 15% na niekorzyść roku 2008, który charakteryzował się mniejszymi o 40% opadami w stosunku do sumy opadów wieloletnich. Plony sorga cukrowego w 2008 roku, ze względu na suszę glebową po siewie, były niższe aż o 68%, a mieszańca sorgo z trawą sudańską o 37% w porównaniu do roku 2007. Nie znalazła potwierdzenia opinia, że sorgo jest mniej wrażliwe na suszę niż kukurydza [Sowiński i Liszka-Podkowa 2008].

W literaturze podkreśla się, że nieżywnościowe gatunki wieloletnie, dostarczające biomasy lignocelulozowej, pozwalają osiągnąć pod względem energetycznym dużo wyższą produktywność niż typowe rośliny żywnościowe [Fiedler i in. 1998, Jeżowski 2003, Szczukowski i in. 2006]. W badaniach własnych plon suchej masy miskanta olbrzymiego w roku założenia plantacji był niski i wynosił 1,5 t·ha<sup>-1</sup>, a miskanta cukrowego 2,4 t·ha<sup>-1</sup>. W drugim roku prowadzenia plantacji plon suchej masy był wyraźnie większy: miskant cukrowy – 8,4 t·ha<sup>-1</sup>, a miskant olbrzymi – 3,4 t·ha<sup>-1</sup>. Plon suchej masy miskanta cukrowego w porównaniu z najwyższą plonującą kukurydzą był niższy, średnio z dwóch lat, o 77%, a miskanta olbrzymiego aż o 90%. Uzyskany w drugim roku po założeniu plantacji plon biomasy obu gatunków miskantów należy ocenić jako niskie, co jest zgodne z danymi zawartymi w literaturze. W badaniach Podleśnego [2005] w drugim roku uprawy miskant olbrzymi plonował na poziomie 8÷10 t·ha<sup>-1</sup>, a jego wydajność w latach następnych wynosiła 20÷30 t·ha<sup>-1</sup>. Autor podkreśla, że w pierwszym roku po założeniu plantacji nie należy wykonywać zbioru roślin, a jego maksymalny potencjał plonotwórczy utrzymuje się przez okres 10÷12 lat. W badaniach przeprowadzonych przez Kalembsę i in. [2004] diploidalne i triploidalne formy miskanta chińskiego w 2 roku po założeniu plantacji plonowały na poziomie od 5,98 do 7,86 t·ha<sup>-1</sup>. W badaniach Kościka i in. [2003] plon suchej masy miskanta cukrowego wahał się od 5 t na glebie lekkiej do 30 t·ha<sup>-1</sup> na rędzinach z intensywnym nawożeniem.

Plony roślin motylkowych z trawami oraz traw cyklu C<sub>3</sub> uprawianych w siewie czystym w roku założenia plantacji (2007 rok) były niskie i nie odbiegały mocno od plonu miskantów. W 2008 roku, w drugim roku prowadzenia plantacji, najwyższą plonowała koniczyna czerwona z tymotką (14,1 t·ha<sup>-1</sup> s.m.) oraz lucerna siewna z tymotką (11,2 t·ha<sup>-1</sup> s.m.). Plon suchej masy traw w siewie czystym były zdecydowanie mniejsze (6,9–9,5 t·ha<sup>-1</sup>) od ich uprawy w mieszance z roślinami motylkowymi. Wyniki dotyczące wydajności suchej masy traw i roślin motylkowych z trawami są zgodne z danymi podawanymi przez Bawolskiego (1982), Borowieckiego [1994, 2002] oraz Karsznicką i in. [2005]. Michalski i Kowalik [2008] podkreślają, że lucerna czy trawy łąkowe dają średnie plony suchej masy na poziomie 7÷10 t·ha<sup>-1</sup>.

Wydajność biomasy przekłada się na wydajność energii w niej uzyskanej. Dlatego do intensywnej uprawy na cele energetyczne nadają się wyłącznie gatunki roślin o wysokiej produktywności biomasy z jednostki powierzchni, czyli charakteryzujące się wysokim bilansem energetycznym, a więc różnicą między energią zawartą w biomasie a energią potrzebną do jej wytworzenia [Jeżowski 2001, 2003, Karsznicka i in. 2005, Szczukowski i in. 2006]. Przydat-

ność roślin do produkcji biogazu można określić ich produktywnością energetyczną. W badaniach własnych w każdym roku eksperymentu, ze względu na najwyższy plon biomasy z 1 ha, zdecydowanym liderem pod względem wolumenu energii zawartej w plonie suchej masy była kukurydza. Z porównywanych roślin wieloletnich w drugim roku badań najwięcej energii w plonie suchej masy zakumulowała koniczyna czerwona z tymotką oraz lucerna siewna z tymotką. Ich wartość energetyczna była jednak niższa od wolumenu energii zawartej w biomase kukurydzy odpowiednio o 36 i 51%. Najmniej przydatnymi do produkcji energii w plonie okazały się miskant olbrzymi i tymotka łąkowa. Należy podkreślić, że miskanty w 2 roku uprawy były mało konkurencyjne pod względem plonu biomasy i wydajności energii w porównaniu z innymi badanymi roślinami. W 2 roku uprawy najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskano w plonie biomasy koniczyny czerwonej z tymotką (20,9), a następnie kukurydzy (18,4). Najmniej sprawna energetycznie była produkcja biomasy uzyskana w plonie miskanta olbrzymiego, głównie ze względu na niski jego plon suchej masy. Należy spodziewać się, że w kolejnych latach, w miarę wzrostu plonu biomasy miskanta cukrowego i olbrzymiego, ich konkurencyjność względem innych roślin będzie wzrastać.

Unia Europejska, zakładając konieczność stabilizacji sektora rolniczego w nowo przyjętych krajach, zaleca zwiększenie limitu obszarowego pod rośliny energetyczne, z dotychczasowych 1,5 do 2,0 mln ha, i objęcie ich płatnościami obszarowymi (do 45 euro do 1 ha). Z tego względu produkcja biomasy na cele energetyczne może być w Polsce szansą dywersyfikacji produkcji roślinnej i rozwoju wielu gospodarstw rolnych [Roszkowski 2003] oraz zmniejszyć nadwyżki produkcji niektórych roślin rolniczych uprawianych na cele żywnościowe [Gradziuk 2003b, Gradziuk i Szmidt 1998, Jeżowski 2001, 2003, Majtkowski 1998). Pozwoli to zwiększyć produkcję wielu nowych gatunków roślin alternatywnych oraz dotychczas nie uprawianych i wykorzystać do przetwarzania na biogaz.

## WNIOSKI

1. W dwuletnim cyklu badań z roślin jednorocznych przydatnych do produkcji biogazu najplenniejsza była kukurydza, a z roślin wieloletnich najwyższy plon biomasy zapewniała koniczyna czerwona z tymotką łąkową. Miskant cukrowy oraz miskant olbrzymi w drugim roku uprawy wykazywały słabą dynamikę przyrostu biomasy i uzyskały niski plon suchej masy.
2. Najwyższą wydajność energii w plonie biomasy zapewniała kukurydza, która w średnich wynikach wartości energetycznej plonu przewyższała pozostałe rośliny energetyczne od 36 do 86%.
3. Najmniejszym jednostkowym nakładem energii poniesionym na produkcję 1 t biomasy oraz największą sprawnością energetyczną jej produkcji charakteryzowały się koniczyna czerwona z tymotką i kukurydza uprawiana na kiszonce z całych roślin.
4. Najmniej sprawna energetycznie, głównie ze względu na niskie plony suchej masy w dwóch pierwszych latach uprawy, była produkcja biomasy miskanta olbrzymiego. Należy przypuszczać, że w kolejnych latach, w miarę wzrostu plonowania, jego konkurencyjność względem innych roślin będzie wzrastać.



## PIŚMIENNICTWO

- Anuszewski R. 1987. Metody oceny energochłonności produktów rolniczych (MET). Zagadn. Ekon. Rol. 4:16–26.
- Bawolski S. 1982. Porównanie plonowania koniczyny czerwonej i jej mieszanek z trawami w zależności od poziomu nawożenia azotem i warunków siedliskowych. Pam. Puł. 78: 97–109.
- Borowiecki J. 1994. Porównanie plonowania mieszanek lucerny z trawami w zależności od sposobu siewu i nawożenia azotem. Pam. Puł. 104: 89–100.
- Borowiecki J. 2002. Mieszanki roślin motylkowatych z trawami w polowej produkcji pasz. Post. Nauk Rol. 1: 83–94.
- Ciągniki i maszyny rolnicze – budowa, przeznaczenie. 1995/96. Wyd. II, PIMR Poznań: ss. 629.
- Fiedler P., Mendaluk J., Rosler A. 1998. *Miscanthus sinensis* – biomasa i oczyszczanie ścieków. Hod. Rośl. Nas. 2: 49–53.
- Gradziuk P. 2003a. Biogaz. W: Biopaliwa. Gradziuk P. (red.). Wyd. Wieś Jutra: 138–145.
- Gradziuk P. 2003b. Produkcja biomasy na cele nieżywnościowe jako perspektywiczny kierunek działalności gospodarstw rolniczych. Wieś Jutra 6: 34–62.
- Gradziuk P., Szmidt K. 1998. Techniczne, ekonomiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania biomasy na cele energetyczne. Hod. Rośl. Nas. 2: 58–62.
- Jäger F. 2008. Sorghum, a source of renewable energy in Northern Europe? – conclusions of research and practical experience. W: Problemy agrotechniki oraz wykorzystania kukurydzy i sorgo. Michalski T. (red.). Wyd. UP Poznań: 231–234.
- Jeżowski S. 2001. Rośliny energetyczne – ogólna charakterystyka, uwarunkowania fizjologiczne i znaczenie w produkcji biopaliwa. Post. Nauk Rol. 2: 18–27.
- Jeżowski S. 2003. Rośliny energetyczne – produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i społeczny ich wykorzystania jako ekobiopaliwa. Post. Nauk Rol. 3: 61–73.
- Juchniewicz M., Kaliszewicz D., Kucka E. 1994. Energochłonność uprawy kukurydzy oraz różnych sposobów jej konserwacji. Acta Acad. Agricult. Tech. Olszt. 475, Oec. 30: 79–86.
- Kalembasa D., Malinowska E., Jaremkó D., Jeżowski S. 2004. Wpływ nawożenia NPK na strukturę plonu traw *Miscanthus* ssp. Biul. IHAR 234: 205–211.
- 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., Kowalczyk-Juško A., Kościk K. 2003. Uprawa miskanta cukrowego i spartiny preriowej. W: Ogniwa paliwowe i biomasa lignocelulozowa szansą rozwoju wsi i miast. Ciechanowicz W., Szczukowski S. (red.). Wyd. WSISiZ, Warszawa: 51–54.
- Kościk B., Kowalczyk-Juško A. 2004. Uprawa i wykorzystanie roślin wieloletnich na cele energetyczne. Pam. Puł. 132: 203–210.
- Majtkowski W. 1998. Przydatność wybranych gatunków traw typu C<sub>4</sub> do upraw alternatywnych. Hod. Rośl. Nas. 2: 41–44.
- Michalski T., Kowalik I. 2008. Planowanie bazy surowcowej na potrzeby gminnej biogazowni w warunkach Wielkopolski. [W:] Problemy agrotechniki oraz wykorzystania kukurydzy i sorgo (red. Michalski T.). Wyd. UP Poznań: 203–209.
- Mucha S., Brzóska F. 1983. Wstępne wyniki badań plonowania i składu chemicznego amerykańskich mieszańców sorga z trawą sudańską uprawianych w 1979 roku w Polsce. Roczn. Nauk Zoot. 10(1): 113–124.
- Nabi C.G., Riazq M., Ahmad. G. 2006. Comparison of some advanced lines of *Sorghum bicolor* (L.) Moench for green/dry matter yields and morpho-economic parameters. J. Agric. Res. 44: 191–196.
- Pawlak J. 1989. Organizacyjne i ekonomiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej w indywidualnych gospodarstwach rolniczych. PWRiL Warszawa: ss. 108.
- Podleśny J. 2005. Trawa *Miscanthus x giganteus* – jej charakterystyka oraz możliwości wykorzystania. Post. Nauk Rol. 2: 41–52.
- Roszkowski A. 2003. Biomasa roślinna jako szansa dywersyfikacji produkcji roślinnej. Pam. Puł. 132: 371–379.

- Sowiński J., Liszka-Podkowa A. 2008. Wysokość i jakość plonu kukurydzy i sorga cukrowego na glebie lekkiej w zależności od dawki azotu. W: Problemy agrotechniki oraz wykorzystania kukurydzy i sorgo. Michalski T. (red.). Wyd. UP Poznań: 250–252.
- Sulewska H. 2004. Wymagania środowiskowe kukurydzy i możliwości jej uprawy w Polsce. W: Technologia produkcji kukurydzy. Dubas A. (red.). Wyd. Wieś Jutra Warszawa: 16–23.
- Szczukowski S., Kościak B., Kowalczyk-Juško A., Tworowski J. 2006. Uprawa i wykorzystanie roślin alternatywnych na cele energetyczne. *Fragm. Agron.* 23(3): 300–315.
- Szempliński W., Bogucka B., Wróbel E. 2009. Przydatność mieszańców kukurydzy o zróżnicowanej wczesności do uprawy na kiszonkę w warunkach województwa warmińsko-mazurskiego. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 8(1): 57–68.
- Wielicki W. 1989. Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. *Post. Nauk Rol.* 1: 69–86.
- Wójcicki Z. 1981. Energochłonność produkcji rolniczej. *Rocz. Nauk Rol. C* 75(1): 165–197.
- Zaremba W. 1986. Energetyka w systemie eksploatacji sprzętu rolniczego. PWRiL Warszawa: ss. 202.

W. SZEMPLIŃSKI, B. DUBIS

**PRELIMINARY STUDIES ON YIELDING AND ENERGETICAL EFFICIENCY  
OF SELECTED CROPS GROWN FOR BIOGAS GENERATION**

**Summary**

In the period 2007–2008 field and laboratory studies were performed to evaluate some annual and perennial crops grown for energy purposes in terms of biogas generation ability. Yield of biomass and yield of energy given from unit of the production area were registered and than energy efficiency was calculated. It was found that in two years cycle of production from studied annual crops maize shown the highest biomass yield as well the best suitability for biogas production (ranged from 21.9 to 25.6 Mg of dry matter per ha<sup>-1</sup>). Among perennial crops grown in the first full season (in 2008) the highest yield was found for red clover in mixture with timothy grass (14.1 Mg·ha<sup>-1</sup>). Both studied forms of *Miscanthus giganteus* and *M. sacchariflorus* showed rather low dynamics of biomass yield increment during the growing period and gave relatively low dry matter yields (ranged from 3.4 to 8.4 Mg·ha<sup>-1</sup>). The highest energy efficiency in the yield was found in maize biomass which at the average yield level was superior to the other studied crops by 36 to 86%. The lowest energy input for production of 1 Mg of biomass and so the highest effectiveness in terms of energy production was found for red clover in mixture with timothy grass and maize grown for silage from whole plants. The lowest index of energy efficiency during two seasons of growth was found for two studied forms of *Miscanthus giganteus* grown for biomass. It can be assumed their competition ability of this species against other studied crops will increase in the next seasons of growth.