

## WYDAJNOŚĆ PRODUKCJI BIOGAZU TRZECH ODMIAN BURAKA CUKROWEGO W ZALEŻNOŚCI OD NAWOŻENIA ORGANICZNEGO

ARKADIUSZ ARTYSZAK<sup>1</sup>

*Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,  
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa*

**Synopsis.** W badaniach przeprowadzonych w latach 2006–2008 oceniano wydajność produkcji biogazu trzech odmian buraka cukrowego (Esperanza, Henrike, Lubelska) przy zróżnicowanym nawożeniu organicznym (kontrola, gorczyca biała w międzyplonie ścierniskowym, nawożenie słomą). Plon metanu z liści był zbliżony we wszystkich wariantach nawożenia i wahał się od 2824 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> po stosowaniu słomy do 3099 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> na kontroli. Odmiana istotnie wpływała na wartość tej cechy. Większy plon metanu z liści uzyskano u odmian Esperanza (3072 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) i Henrike (3063 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>), a najmniejszy u odmiany Lubelska (2651 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>). Plon metanu z korzeni był blisko trzykrotnie większy niż z liści i nie zależał istotnie od badanych czynników. Największy łączny plon metanu (z korzeni + z liści), głównego składnika biogazu, uzyskano u odmiany Henrike. Zróżnicowane nawożenie organiczne nie miało istotnego wpływu na plon metanu. Plon korzeni silniej niż plon liści decydował o łącznym plonie metanu.

**Słowa kluczowe:** burak cukrowy, biogaz, nawożenie organiczne, odmiana

### WSTĘP

Burak cukrowy, obok kukurydzy i trzciny cukrowej, jest głównym surowcem do fermentacji cukrów [Renouf i in. 2008]. De Wit i Faaij [2010] oszacowali potencjał produkcji biomasy buraka cukrowego w Europie (UE-27 + Ukraina) na 2,9 EJ w 2010 r., 4,6 EJ w 2020 r. i 6,0 EJ w 2030 r. Reforma rynku cukru w Unii Europejskiej wprowadzona 1 lipca 2006 r. spowodowała znaczne ograniczenie produkcji buraka cukrowego w Polsce [Artyszak 2010]. W związku z tym zaczęto poszukiwać innych możliwości wykorzystania buraka cukrowego. Jednym z alternatywnych kierunków wykorzystania buraka cukrowego jest produkcja bioetanolu. W uprawie buraka cukrowego na bioetanol można uzyskać korzystny stosunek energii uzyskanej do włożonej, który wynosi 2,8–3,2, gdy w przypadku pszenicy 1,0–2,8, a kukurydzy 1,4–3,8 [Venturi i Venturi 2003]. Mimo to burak cukrowy jest surowcem mało konkurencyjnym jako surowiec pod tym względem w stosunku do ziarna zbóż. Świadczy o tym małe jego wykorzystanie w produkcji bioetanolu w Europie [Jary 2007]. Jak podają Maung i Gustafson [2011] w Północnej Dakocie (USA) jednym z najważniejszych czynników decydujących o przyszłości uprawy buraka cukrowego na bioetanol jest cena etanolu.

Innym alternatywnym kierunkiem wykorzystania buraka cukrowego jest produkcja biogazu, bo surowiec ten odznacza się dużą wydajnością [Trösch i Weiland 1998, Fugol i Szlachta 2010]. Martínez-Pérez i in. [2007] szacują, że w warunkach Wielkiej Brytanii z buraka cukrowego uprawianego na biogaz można uzyskać 112,624 MJ·rok·ha<sup>-1</sup> energii netto, gdy z kukurydzy na

<sup>1</sup> Adres do korespondencji – *Corresponding address:* arkadiusz\_artyszak@sggw.pl

kiszonkę 121,522 MJ·rok·ha<sup>-1</sup>. Przybył i in. [2011] twierdzą, że wykorzystanie buraka cukrowego do produkcji biogazu może być podstawą do zwiększenia jego powierzchni uprawy w Polsce, a także do zaadaptowania zamkniętych cukrowni na biogazownie. Burak cukrowy jest jednak trudnym substratem ze względu na dużą zawartość mikroflory i związaną z nią podatność na zanieczyszczenia wtórne, co skutkuje m.in. samoistnym przejściem z pożądanej fermentacji metanowej na fermentację alkoholową [Fugol i Pilarski 2011]. Jako surowiec do produkcji biogazu mogą być wykorzystywane same korzenie (surowiec pozakwotowy), liście (alternatywa dla wykorzystania nawozowego) oraz całe rośliny (uprawa na biogaz). Do tego celu można także wykorzystywać produkty uboczne przerobu buraka cukrowego, takie jak wysłodki, melaś czy ogonki korzeni [Fugol i Pilarski 2011]. Przy produkcji biogazu ważna jest odległość, na jaką trzeba transportować surowiec do biogazu, na co wskazują w warunkach Szwecji Berglund i Börjesson [2006]. Głównym składnikiem biogazu jest metan, którego zawartość waha się od 55 do 80% [Szlachta 2009]. Demirel i Scherer [2008] najwyższą wydajność produkcji biogazu z buraka uzyskali przy średniej zawartości metanu wynoszącej około 63%.

W uprawie buraka cukrowego powszechnie stosuje się nawożenie słomą po zbiorze przedplonu oraz uprawę gorczycy białej w międzyplonach ścierniskowych na przyoranie. Jaskulska i Gałęzewski [2009] podają, że powierzchnia uprawy międzyplonów w Polsce, w ramach programu rolnośrodowiskowego, wahała się od ponad 200 tys. ha w 2005 roku do około 700 tys. ha w 2008 roku, z czego około 70% stanowiły międzyplony ścierniskowe. Wg danych ARiMR [2013] powierzchnia uprawy międzyplonów ścierniskowych w ramach programu rolnośrodowiskowego wynosiła 294,0 tys. ha w 2011 r.

Poprzednie badania dotyczące przydatności dwóch odmian buraka cukrowego uprawianych po różnych wariantach uprawy późniejszej do produkcji biogazu zostały przeprowadzone w woj. łódzkim, na glebie bielkowej, klasy bonitacyjnej IVa i przy znacznym niedoborze opadów [Artyszak i Gozdowski 2010]. Interesujące jest zatem zbadanie wpływu wariantów nawożenia organicznego oraz doboru odmiany na produkcję biogazu w korzystniejszych warunkach glebowo-klimatycznych, w jednym z głównych rejonów uprawy buraka cukrowego, jakim jest wschodnia Zamojszczyzna.

Celem doświadczenia było określenie wydajności biogazu trzech odmian buraka cukrowego w zależności od zróżnicowanego nawożenia organicznego.

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w gospodarstwie indywidualnym autora w miejscowości Sahryń, woj. lubelskie (50°41' N, 23°46' E), w latach 2006–2008 na glebie należącej do rządu gleby czarnoziemne (C), typu czarnoziem (CW), o składzie granulometrycznym gliny średniej, klasy bonitacyjnej IIIa, kompleksu przydatności rolniczej pszenicy dobrej. Odczyn gleby był obojętny. Zawartość fosforu przyswajalnego była niska w latach 2007–2008 a bardzo niska w 2006 r. Gleba odznaczała się średnią zawartością w potas przyswajalny w 2007 r., a niską w roku 2006 i 2008. Zawartość w magnez przyswajalny była średnia w 2008 r., a niska w pozostałych obu latach. Gleba charakteryzowała się średnią zawartością większości mikroelementów, niską boru przyswajalnego w 2006 r. i żelaza przyswajalnego przez cały okres badań.

Suma opadów w okresie wegetacji w każdym z lat badań przekraczała wartości optymalne dla buraka cukrowego i była największa w 2007 r. (tab. 1). Szczególnie duże opady wystąpiły w czerwcu 2007 r. (198 mm) oraz w sierpniu 2006 r. (195 mm). Rok 2006 r., w porównaniu z pozostałymi latami, odznaczał się większą średnią temperaturą dobową w lipcu (20,3°C) oraz we wrześniu (14,1°C) i w październiku (10,0°C). Rok 2007 charakteryzował się najwyższą

Tabela 1. Warunki pogodowe w okresie wegetacji w latach 2006–2008 (wg danych Cukrowni Strzyżów)  
 Table 1. Weather conditions in vegetation period during 2006–2008 (according to data from Sugar Factory Strzyzow)

Rok – Year	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Temperatura – Temperature (°C)							
2006	8,9	13,8	17,0	20,3	17,4	14,1	10,0
2007	8,0	14,7	18,7	19,2	18,7	12,8	8,4
2008	9,5	13,1	16,7	17,9	18,7	12,5	9,5
Opady – Precipitations (mm)							
2006	60,8	47,8	44,6	100,6	195,4	1,2	23,0
2007	17,7	77,5	198,4	115,5	54,5	56,7	28,0
2008	61,1	78,2	36,4	134,4	56,7	92,0	78,0
1991–2008	43,0	64,0	68,0	104,0	62,0	63,0	43,0
*	18,0	65,0	74,0	85,0	78,0	54,0	34,0

\* – Optymalny rozkład opadów wg Dzieżycza i in. [1987] – *Optimal rainfall by Dzieżyc et al. [1987]*

temperaturą w maju (14,7°C) i w czerwcu (18,7°C), a rok 2008 w kwietniu (9,5°C). Suma średniej temperatury dobowej w sezonie wegetacyjnym w latach 2006–2008 wynosiła od 2993°C w 2008 r. do 3107°C w 2006 r. i przekraczała wartości optymalne – 2400–2800°C [Wiśniewski 1991].

Było to doświadczenie dwuczynnikowe założone w 3 powtórzeniach w układzie split-plot. Pierwszym czynnikiem (A) było nawożenie organiczne:

A1 – podorywka wykonana agregatem ścierniskowym po zbiorze słomy,

A2 – zbiór słomy + podorywka wykonana agregatem ścierniskowym + uprawa gorczyicy białej odmiany Sirola (20 kg·ha<sup>-1</sup>) w międzyplonie ścierniskowym,

A3 – nawożenie pociętą słomą z dodatkiem nawozu azotowego (10 kg N·Mg<sup>-1</sup>) + podorywka wykonana agregatem ścierniskowym.

Drugim czynnikiem (B) była odmiana buraka cukrowego: B1 – Esperanza, B2 – Henrike, B3 – Lubelska.

Na całym doświadczeniu w III. dekadzie października wykonano głęboką orkę przedzimową. Przedplonem dla buraka cukrowego w każdym z lat badań była pszenica ozima. Dawki nawozów fosforowych i potasowych ustalono zgodnie z zaleceniami uwzględniającymi zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie i oczekiwany plonem korzeni co najmniej 50 Mg·ha<sup>-1</sup> [Gutmański 1991]. Przed wykonaniem orki przedzimowej na całym doświadczeniu zastosowano nawozy potasowe w formie soli wysokoprocentowej w dawce: 250 kg·ha<sup>-1</sup> K (2005, 2007 r.) oraz 170 kg·ha<sup>-1</sup> K (2006 r.). Wiosną wysiano nawozy mineralne w postaci fosforanu amonu (45 kg·ha<sup>-1</sup> N i 50 kg·ha<sup>-1</sup> P w 2006 r. i 36 kg·ha<sup>-1</sup> N i 40 kg·ha<sup>-1</sup> P w 2007 i 2008 r.) i saletrzaku (54 kg·ha<sup>-1</sup> N), które wymieszano z glebą za pomocą agregatu uprawowego. Saletrę amonową zastosowano pogłównie (54 kg N·ha<sup>-1</sup>), gdy rośliny buraka miały 2–4 liście (BBCH 12–14). Łączne nawożenie mineralne azotem wyniosło: 133 kg·ha<sup>-1</sup> w 2006 r. i 126 kg·ha<sup>-1</sup> w 2007 i 2008 r. Siew wykonano siewnikiem Pneumasem w 2006 r. 27 IV, w 2007 r. – 4 IV,

a w 2008 r. – 1 IV. Rozstawa rzędów wynosiła 0,45 m, rozstawa w rzędzie 0,18 m, głębokość siewu – 2-2,5 cm. Ochronę roślin prowadzono zgodnie z zaleceniami Instytutu Ochrony Roślin. Najwcześniej zbiór buraka przeprowadzono w 2008 r. (28 IX) a najpóźniej w 2007 r. (6 X).

Na części doświadczenia, na której przyorano słomę (wariant A3) przed zbiorem pszenicy ozimej pobrano reprezentatywne próby roślin z 1 m<sup>2</sup> celem określenia plonu słomy w 3 powtórzeniach. W 2005 r. plon słomy wyniósł 8,00 Mg·ha<sup>-1</sup>, w 2006 r. – 7,00 Mg·ha<sup>-1</sup> i 2007 r. – 7,00 Mg·ha<sup>-1</sup>. Przed wykonaniem głębokiej orki przedzimowej na poletkach, na których uprawiano międzyplon ścierniskowy pobierano w 3 powtórzeniach reprezentatywne próby gorczycy białej z 1 m<sup>2</sup> w celu określenia plonu świeżej masy części nadziemnej. Następnie określono zawartość suchej masy metodą suszarkowo-wagową w laboratorium Katedry Agronomii SGGW w Warszawie. Na podstawie plonu świeżej masy i zawartości w niej suchej masy wyliczono plon suchej masy części nadziemnej. W 2005 r. plon świeżej masy nadziemnej gorczycy wyniósł 35,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, w 2006 r. – 45,0 Mg·ha<sup>-1</sup> i w 2007 r. – 40,0 Mg·ha<sup>-1</sup>. Plon suchej masy kształtował się odpowiednio: 3,50; 4,50 i 4,00 Mg·ha<sup>-1</sup>. Powierzchnia pojedynczego poletka wynosiła 43 m<sup>2</sup> a powierzchnia poletka do zbioru – 21,6 m<sup>2</sup>. Tuż przed zbiorem na każdym poletku pobierano losowo kolejno 4 rośliny buraka celem określenia ich cech biometrycznych. Dla każdej rośliny określono świeżą masę blaszek liściowych, ogonków liściowych i korzenia, a także całej rośliny. Następnie z blaszek liściowych, ogonków liściowych i korzenia pobrano po 100 g świeżej masy celem określenia zawartości suchej masy, co posłużyło następnie do wyliczenia suchej masy blaszek liściowych, ogonków liściowych, korzenia i całej rośliny. Liście ogłowiono ręcznie przy pomocy ogławiaczy, a następnie zważono. Następnie policzono korzenie, wykopano je ręcznie, oczyszczono i zważono. Określono plon korzeni i liści oraz % udział suchej masy w liściach i korzeniach. Plon s. m. korzeni i liści wyliczono jako iloczyn średniej ważonej s. m. (z uwzględnieniem udziału korzeni, blaszek liściowych i ogonków w całkowitej biomacie) oraz plonu korzeni i liści. Wykorzystując wydajność suchej masy liści (1 t s.m. liści = 473 m<sup>3</sup> metanu) i korzeni (1 t s.m. korzeni = 436 m<sup>3</sup> metanu) wyliczono produkcję metanu [Trösch i Weiland 1998].

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej wykorzystując analizę wariancji i porównania wielokrotne procedurą Tukey'a. Do porównania średnich przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Obliczenia wykonano w programie SAS 9.1 przy użyciu procedury GLM. Ocenę współzależności między badanymi cechami wykonano na podstawie wartości współczynników korelacji prostej Pearsona. Istotność współzależności oceniano przy  $p \leq 0,05$  oraz  $p \leq 0,01$ . Dla wybranych par cech wykonano analizę regresji prostej liniowej w celu określenia zależności przyczynowo-skutkowej między nimi.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Zgodnie z założeniami programu rozwoju biogazowni rolniczych, przygotowanego przez MRiRW planowano osiągnięcie do 2013 r. produkcji biogazu nie mniejszej niż 1 mld m<sup>3</sup> rocznie a do 2020 r. – co najmniej 2 mld m<sup>3</sup> rocznie [MRiRW 2009]. Do końca 2012 r. nie udało się tych planów wykonać.

Technologia produkcji buraka cukrowego na biogaz jest nowym zagadnieniem, którego wymaga wielu badań. Głównym celem jest maksymalizacja plonu suchej masy, a znacznie mniejsze znaczenie ma jakość korzeni. Z czynników agrotechnicznych zwraca się uwagę na wyższe ogławianie korzeni podczas zbioru (gdy biogaz jest pozyskiwany tylko z korzeni) i intensywniejsze nawożenie azotem. Zwiększone dawki azotu powodują jednak wzrost kosztów produkcji i większe zagrożenie dla środowiska.

W badaniach własnych średnie plony korzeni i liści były większe niż w podobnych badaniach Artyszaka i Gozdowskiego [2010], ale przeprowadzonych w gorszych warunkach glebowych i przy niedoborze opadów. Również Mercik i in. [2009] uzyskali plony korzeni wyraźnie większe i mniej zróżnicowane na poszczególnych kombinacjach na piasku gliniastym niż na glebie lekkiej.

Przeciętnie za cały okres badań plony liści były największe po przyoraniu gorczycy ( $51,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i na kontroli ( $49,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), a istotnie mniejsze po nawożeniu słomą ( $44,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Największy plon liści uzyskano u odmiany Henrike ( $51,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), a istotnie mniejsze u odmian Esperanza ( $48,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i Lubelska ( $45,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Średnio w latach 2006–2008 plony korzeni wynosiły:  $85,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  przy stosowaniu gorczycy,  $84,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  przy nawożeniu słomą i  $90,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na kontroli. Odmiana Esperanza charakteryzowała się istotnie większym plonem korzeni ( $95,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) niż odmiany Lubelska ( $85,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i Henrike ( $83,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). W badaniach Kuca i Tendziagolskiej [2011] zastosowane systemy uprawy roli oraz nawozy naturalne i organiczne nie różnicowały istotnie średnich plonów korzeni i liści buraka cukrowego. Plon suchej masy liści był zbliżony we wszystkich wariantach nawożenia i wahał się od  $6,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (nawożenie słomą) do  $6,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (kontrola) (tab. 2). Największe plony suchej masy liści

Tabela 2. Plon suchej masy liści, korzeni i łączny w zależności od nawożenia organicznego i odmiany (średnie z lat 2006–2008) ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Table 2. Yield of dry matter of leaves, roots and total depending on organic fertilization and variety (means from years 2006–2008) ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Nawożenie – Fertilization (A)	Odmiana – Variety (B)			Średnia Mean
	Esperanza (B1)	Henrike (B2)	Lubelska (B3)	
Liście – Leaves				
Kontrola – Control (A1)	7,0	6,7	6,0	6,6
Gorczyca – Mustard (A2)	6,1	6,7	5,3	6,0
Słoma – Straw (A3)	6,4	6,1	5,5	6,0
Średnia – Mean	6,5	6,5	5,6	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> : A – r.n.; B – 0,6; AxB – r.n.; BxA – 1,1				
Korzenie – Roots				
Kontrola – Control (A1)	19,2	20,2	19,8	19,7
Gorczyca – Mustard (A2)	18,2	20,5	18,6	19,1
Słoma – Straw (A3)	18,5	18,7	18,7	18,6
Średnia – Mean	18,7	19,8	19,0	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> : A – r.n.; B – r.n.; AxB – r.n.; BxA – 2,1				
Liście + Korzenie – Leaves + Roots				
Kontrola – Control (A1)	26,2	26,9	25,8	26,3
Gorczyca – Mustard (A2)	24,4	27,2	24,0	25,2
Słoma – Straw (A3)	24,9	24,8	24,1	24,6
Średnia – Mean	25,1	26,3	24,6	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> : A – r.n.; B – 1,4; AxB – r.n.; BxA – 2,5				

r.n. – różnice nieistotne – no significant differences

uzyskano u odmiany Esperanza ( $6,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i Henrike ( $6,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a istotnie mniejszy u odmiany Lubelska ( $5,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Plon suchej masy korzeni kształtował się podobnie jak plon suchej masy liści i wynosił od  $18,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  przy nawożeniu słomą do  $19,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na kontroli. Badane odmiany odznaczały się zbliżonym plonem suchej masy korzeni, z tym że był on najmniejszy u odmiany Esperanza ( $18,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a największy u odmiany Henrike ( $19,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Łączny plon suchej masy był najmniejszy po nawożeniu słomą ( $24,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a największy na kontroli ( $26,3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Odmiana istotnie kształtowała wartość ocenianej cechy. Największy łączny plon suchej masy uzyskano u odmiany Henrike ( $26,3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), a najmniejszy u odmiany Lubelska ( $24,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Plon metanu z liści był zbliżony we wszystkich wariantach nawożenia i wahał się od  $2824 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  po stosowaniu słomy do  $3099 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$  na kontroli (tab. 3). Odmiana istotnie wpływała na wartość tej cechy. Większy plon metanu z liści uzyskano u odmian Esperanza ( $3072 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Tabela 3. Plon metanu z liści, korzeni i łączny w zależności od nawożenia organicznego i odmiany (średnie z lat 2006–2008) ( $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Table 3. Methane yield from leaves, roots and total yield depending on organic fertilization and variety (means from years 2006–2008) ( $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Nawożenie – Fertilization (A)	Odmiana – Variety (B)			Średnia Mean
	Esperanza (B1)	Henrike (B2)	Lubelska (B3)	
Liście – Leaves				
Kontrola – Control (A1)	3307	3151	2839	3099
Gorzycza – Mustard (A2)	2895	3169	2526	2863
Słoma – Straw (A3)	3013	2870	2588	2824
Średnia – Mean	3072	3063	2651	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> : A – r.n.; B – 300; AxB – r.n.; BxA – 513				
Korzenie – Roots				
Kontrola – Control (A1)	8375	8820	8628	8608
Gorzycza – Mustard (A2)	7948	8932	8124	8335
Słoma – Straw (A3)	8075	8166	8138	8126
Średnia – Mean	8133	8639	8297	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> : A – r.n.; B – r.n.; AxB – r.n.; BxA – 930				
Liście + Korzenie – Leaves + Roots				
Kontrola – Control (A3)	11682	11971	11467	11706
Gorzycza – Mustard (A1)	10843	12101	10650	11198
Słoma – Straw (A2)	11088	11036	10726	10950
Średnia – Mean	11204	11702	10947	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> : A – r.n.; B – 635; AxB – r.n.; BxA – 1085				

r.n. – różnice nieistotne – no significant differences

i Henrike ( $3063 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ), a najmniejszy u odmiany Lubelska ( $2651 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Plon metanu z korzeni był blisko trzykrotnie większy niż z liści i nie zależał istotnie od badanych czynników. Łączny plon metanu z liści i z korzeni był niezależny od zastosowanego wariantu nawożenia i wyniósł od  $10950 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  przy stosowaniu słomy do  $11706 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  na kontroli. W doświadczeniu Artyszaka i Gozdowskiego [2010] prowadzonych w woj. łódzkim, na glebie bielcowej, klasy bonitacyjnej IVa i przy niedoborze opadów największy łączny plon metanu uzyskano po przyoraniu gorczycy uprawianej w międzyplonie ścierniskowym. W badaniach własnych wykonanych w woj. lubelskim na glebie średniej, klasy bonitacyjnej IIIa i przy opadach większych od potrzeb buraka cukrowego plon metanu (z liści, z korzeni i łączny) był zbliżony.

Odmiana istotnie modyfikowała łączny plon metanu, który był najmniejszy u odmiany Lubelska ( $10947 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a największy u odmiany Henrike ( $11702 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Oceniane w badaniach własnych odmiany buraka cukrowego należą do różnych typów użytkowych; Esperanza reprezentuje typ normalno-plenny (N-P), Henrike – typ cukrowy (C), a Lubelska – typ normalno-cukrowy (N-C) [Siódmiak i Heimann 2002, 2003, 2004]. Największy łączny plon metanu uzyskano u odmiany Esperanza, co było spowodowane przede wszystkim największym plonem suchej masy korzeni. Artyszak i Gozdowski [2010] badając odmiany Esperanza i Henrike w latach 2006–2008 nie uzyskali znaczących różnic, zarówno pod względem plonu metanu z liści, z korzeni oraz łącznego plonu.

Łączny plon metanu był silniej dodatnio skorelowany z plonem metanu z korzeni niż z plonem metanu z liści (tab. 4). Jednocześnie związek łącznego plonu metanu i plonu korzeni był silniejszy niż łącznego plonu metanu i plonu liści. Funkcje regresji prostej liniowej opisujące ww. zależności miały postać:

- plonu metanu z liści od plonu liści:  $y = 55,159x + 259,22$ ,  $R^2 = 0,63$ ;
- plonu metanu z korzeni od plonu korzeni:  $y = 73,147x + 2062,9$ ,  $R^2 = 0,63$ ;
- łącznego plonu metanu od plonu liści:  $y = 122,37x + 5362,5$ ,  $R^2 = 0,51$ ;
- łącznego plonu metanu od plonu korzeni:  $y = 99,401x + 2732,9$ ,  $R^2 = 0,72$ .

Tabela 4. Współczynniki korelacji między plonem metanu a plonem korzeni i liści w zależności od nawożenia organicznego

Table 4. Correlation coefficients between yield of methane and yield of roots and leaves depending on organic fertilization

Zmienne – Variables	Plon metanu z liści <i>Methane yield from leaves</i>	Plon metanu z korzeni <i>Methane yield from roots</i>	Łączny plon metanu (liście + korzenie) <i>Total methane yield (leaves + roots)</i>	Plon korzeni <i>Yield of roots</i>
Kontrola – Control (A1)				
Plon metanu z korzeni <i>Methane yield from roots</i>	0,22			
Łączny plon metanu <i>Total methane yield</i>	0,67**	0,87**		
Plon korzeni <i>Yield of roots</i>	0,58**	0,70**	0,82**	
Plon liści <i>Yield of leaves</i>	0,81**	0,51**	0,79**	0,58**

Tabela 4. cd.  
Table 4. cont.

Gorzycyca – Mustard (A2)				
Plon metanu z korzeni <i>Methane yield from roots</i>	0,41*			
Łączny plon metanu <i>Total methane yield</i>	0,69**	0,95**		
Plon korzeni <i>Yield of roots</i>	0,63**	0,85**	0,90**	
Plon liści <i>Yield of leaves</i>	0,78**	0,45*	0,64**	0,38*
Słoma – Straw (A3)				
Plon metanu z korzeni <i>Methane yield from roots</i>	0,37*			
Łączny plon metanu <i>Total methane yield</i>	0,67**	0,94**		
Plon korzeni <i>Yield of roots</i>	0,42*	0,80**	0,80**	
Plon liści <i>Yield of leaves</i>	0,87**	0,54**	0,76**	0,35*

\*, \*\* – istotne współzależności przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  i  $0,01$  – *significant effects at probability level  $\alpha = 0.05$  and  $0.01$ .*

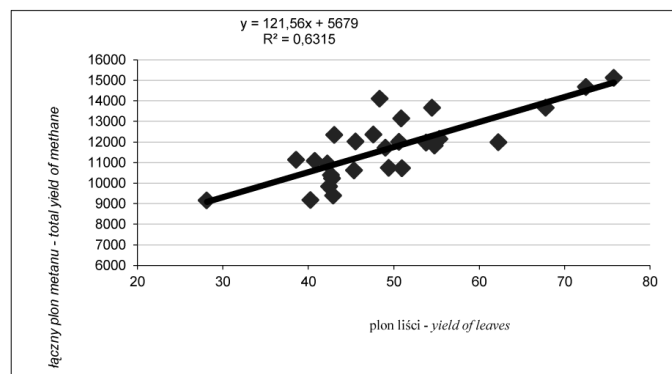
Związek łącznego plonu metanu od plonu korzeni był najsilniejszy przy stosowaniu gorzycy ( $r = 0,90^{**}$ ). Jednocześnie przy tym wariacie nawożenia wystąpiła najsłabsza zależność łącznego plonu metanu od plonu liści ( $r = 0,64^{**}$ ). Zarówno na kontroli, jak i przy nawożeniu słomą zależności te miały podobny charakter.

Zależność łącznego plonu metanu od plonu liści przedstawiono na rys. 1, a od plonu korzeni na rys. 2. Łączny plon metanu był najsilniej zdeterminowany przez plon liści ( $R^2 = 0,63$ ) na kontroli i po nawożeniu słomą ( $R^2 = 0,58$ ), a przez plon korzeni po przyoranej gorzycy ( $R^2 = 0,82$ ).

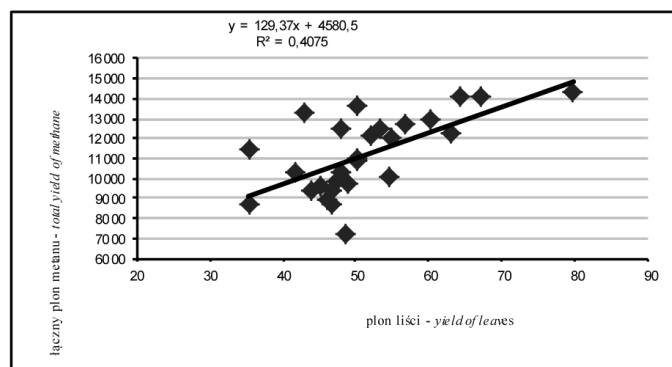
## WNIOSKI

1. Plon korzeni w większym stopniu niż plon liści decyduje o łącznym plonie metanu.
2. Przy produkcji metanu z buraka cukrowego należy zwrócić szczególną uwagę na dobór odmiany, znacznie mniejsze znaczenie ma natomiast nawożenie organiczne.

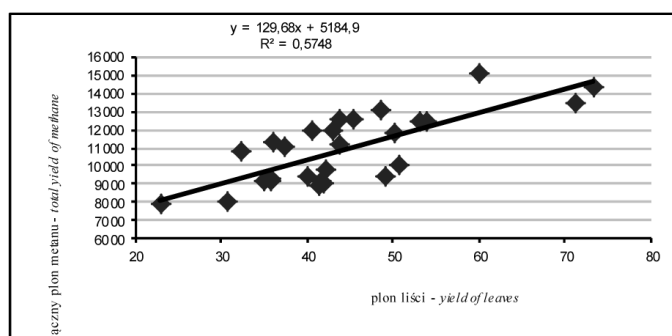




Kontrola – Control



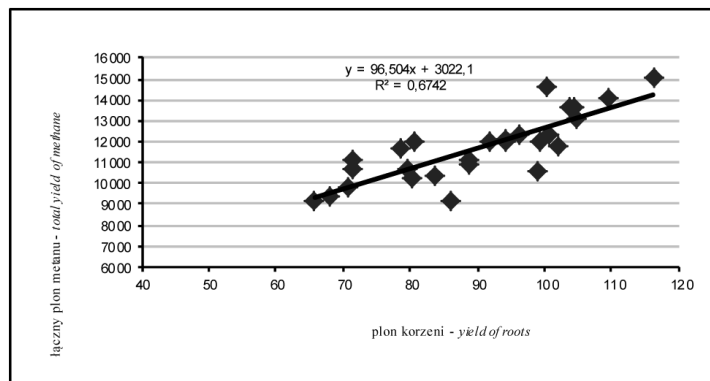
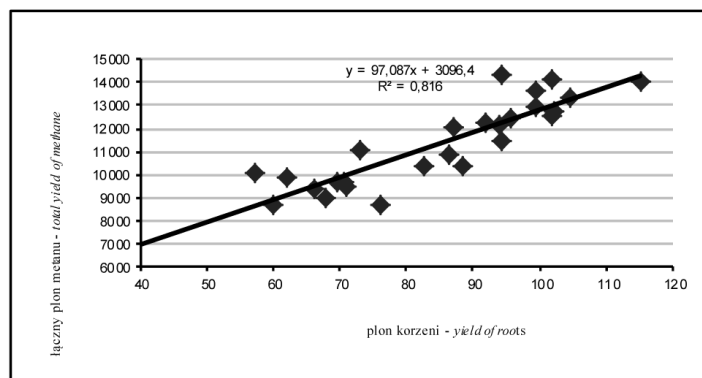
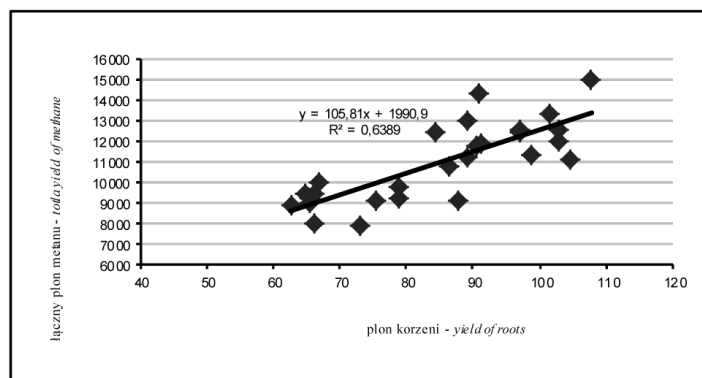
Gorzycza – Mustard



Słoma – Straw

Rys. 1. Funkcje regresji przedstawiające zależność łącznego plonu metanu w zależności od plonu liści w poszczególnych wariantach nawożenia w latach 2006–2008

Fig. 1. Regression functions presented relationships between total yield of methane and yield of leaves for examined variants of fertilization in years 2006–2008

Kontrola – *Control*Gorczyca – *Mustard*Słoma – *Straw*

Rys. 2. Funkcje regresji przedstawiające zależność łącznego plonu metanu w zależności od plonu korzeni w poszczególnych wariantach nawożenia w latach 2006–2008

Fig. 2. Regression functions presented relationships between total yield of methane and yield of roots for examined variants of fertilization in years 2006–2008

## PIŚMIENNICTWO

- ARiMR Departament Programowania i Sprawozdawczości. 2013.
- Artyszak A. 2010: Produkcja buraków cukrowych w Polsce po wejściu do UE na tle pozostałych krajów członkowskich. *Rocz. Nauk. SERiA* 12(4): 9–13.
- Artyszak A., Gozdowski D. 2010. Wpływ zróżnicowanej uprawy późniwej na przydatność dwóch odmian buraka cukrowego do produkcji biogazu. *Fragm. Agron.* 27(4): 7–18.
- Berglund M., Börjesson P. 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass Bioenergy* 30: 254–266.
- De Wit M., Faaij A. 2010. European biomass resource potential and costs. *Biomass Bioenergy* 34: 188–202.
- Demirel B., Scherer P. 2008. Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process. *Biomass Bioenergy* 32: 203–209.
- Dzieżyc J., Nowak L., Panek K. 1987: Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 314: 11–32.
- Fugol M., Pilarski K. 2011. Burak cukrowy jako substrat dla biogazowni. *Inż. Rol.* 5: 63–71.
- Fugol M., Szlachta J. 2010. The usability of substrates from agriculture and agricultural and food industry wastes in the light of literature data. *Inż. Rol.* 6: 45–50.
- Gutmański I. 1991. Agrochemiczna ocena gleby. W: *Produkcja buraka cukrowego*. Gutmański I. (red.). PWRiL Poznań: 197–215.
- Jary E. 2007. Südzucker a produkcja bioetanolu z buraków cukrowych w Polsce i w Europie. W: *Alternatywne wykorzystanie buraka cukrowego w świetle reformy rynku cukru*. Artyszak A., Wyszyński Z. (red.). Wyd. Wieś Jutra Warszawa: 62–64.
- Jaskulska I., Gałęzowski L. 2009. Aktualna rola międzyplonów międzyplonów w produkcji roślinnej i środowisku. *Fragm. Agron.* 26(3): 48–57.
- Kuc P., Tendziągolska E. 2011. Plonowanie buraka cukrowego w różnych wariantach uprawy roli. *Fragm. Agron.* 28(3): 63–69.
- Martínez-Pérez N., Cherryman S.J., Premier G.C., Dinsdale R.M., Hawkes D.L., Hawkes F.R., Kyazze G., Guwy A.J. 2007: The potential for hydrogen-enriched biogas production from crops: Scenarios in the UK. *Biomass Bioenergy* 31: 95–104.
- Maung T.A., Gustafson C.R. 2011. The economic feasibility of sugar beet biofuel production in central North Dakota. *Biomass Bioenergy* 35: 3737–3747.
- Mercik S., Urbanowski S., Lenart S. 2009. Plonowanie i cechy jakościowe buraków cukrowych w zależności od nawożenia w wieloletnich doświadczeniach. *Fragm. Agron.* 26(1): 67–75.
- Przybył J., Mioduszewska N., Dach J., Pilarski K. 2011. Sugar beets used for traditional purpose and for energy. An economic comparison. *Inż. Rol.* 7: 131–140.
- Renouf M.A., Wegener M.K., Nielsen L.K. 2008. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet a producers of sugars for fermentation. *Biomass Bioenergy* 32: 1144–1155.
- Siódmiak J., Heimann H. 2002: Rośliny okopowe. Burak cukrowy. W: *Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze. Zbożowe, okopowe, strączkowe, oleiste*. COBORU Słupia Wielka: 150–162.
- Siódmiak J., Heimann H. 2003: Rośliny okopowe. Burak cukrowy. W: *Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze. Zbożowe, okopowe, strączkowe, oleiste*. COBORU Słupia Wielka: 162–175.
- Siódmiak J., Heimann H. 2004: Rośliny okopowe. Burak cukrowy. W: *Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze. Cz. 2. Okopowe, strączkowe*. COBORU Słupia Wielka: 43–56.
- Szlachta J. 2009. Ekspertyza Możliwości pozyskiwania biogazu rolniczego jako odnawialnego źródła energii. *AgEndPol*: ss. 34.
- Trösch W., Weiland P. 1998. *Kofermentation*. Darmstadt: KTBL-Schriften-Vetrieb im Landwirtschaftsverl. (KTBL-Arbeitspapier 249): 9–16.
- Venturi P., Venturi G. 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agriculture systems. *Biomass and Bioenergy* 25: 235–255.
- Wiśniewski 1991. Wymagania klimatyczne. W: *Produkcja buraka cukrowego*. Gutmański I. (red.). PWRiL Poznań: 71–83.
- Założenia Programu rozwoju biogazowni rolniczych. 2009. MRiRW: ss. 26.

A. ARTYSZAK

**PRODUCTION OF BIOGAS OF THREE SUGAR BEET VARIETIES DEPENDING ON ORGANIC FERTILIZATION****Summary**

Studies were conducted in 2006–2008 to estimate biogas yield of three cultivars of sugar beet (Esperanza, Henrike, Lubelska) with different organic fertilization (control, mustard in stubble catch crops, straw fertilization). Yield of methane from leaves, the main component of biogas, was similar in all variants of fertilization and ranged from 2824 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> after application of straw to 3099 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> to control. Variety had significant effect on the value of this feature. Higher yield of methane obtained from leaves of the cultivars Esperanza (3072 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) and Henrike (3063 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) and the lowest in a variety of Lubelska (2651 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>). Yield of methane from roots was almost three times higher than in leaves and was not depended significantly on examined factors. The highest total yield of methane (from roots + leaves) was obtained for variety Henrike. The different organic fertilization had no significant effect on the total yield of methane. Root yield had a greater influence for a total yield of methane than the yield of leaves.

**Key words:** sugar beet, biogas, organic fertilization, variety

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 18.10.2013

Do cytowania – *For citation*:

Artyszak A. 2013. Wydajność produkcji biogazu trzech odmian buraka cukrowego w zależności od nawożenia organicznego. *Fragm. Agron.* 30(4): 11–22.