

## **EFEKTY WDROŻENIA NAWOŻENIA PLANTACJI BURAKÓW CUKROWYCH POFERMENTEM Z BIOGAZOWNI ODPADÓW CUKROWNICZYCH**

**Andrzej Baryga, Bożenna Połec**

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego,  
Zakład Cukrownictwa,  
ul. Inżynierska 4, 05-080 Leszno  
andrzej.baryga@ibprs.pl

### **Streszczenie**

Celem badań było opracowanie warunków zastąpienia tradycyjnego mineralnego nawożenia plantacji buraka cukrowego nawożeniem w postaci pofermentu z biogazowni wysłodków buraczanych.

Wdrożone rozwiązanie było efektem przeprowadzenia kompleksowych 3-letnich badań dot. optymalizacji fermentacji metanowej wysłodków buraczanych i innych odpadów organicznych z odzyskiem biogazu oraz 6-letnich badań dot. utylizacji pofermentu z biogazowni jako bionawozu w uprawie buraka cukrowego.

Wdrożenie rezultatów prac naukowo-badawczych do praktyki rolniczej nastąpiło w latach 2016 i 2017 w gospodarstwie rolnym rolnika indywidualnego w Pieckach k/ Kruszwicy. Każdy obiekt wdrożeniowy posiadał powierzchnię 1 ha.

Prace wdrożeniowe wykazały, że zarówno poferment, jak i jego frakcje: ciekła i stała mogą być wykorzystywane bez zastrzeżeń w uprawie buraka cukrowego.

W wyniku wdrożenia w 2016 r. uzyskano najwyższy plon buraków cukrowych przy nawożeniu pofermentem z mikrotechnicznej biogazowni z dodatkiem preparatu Awatar - o 8,4% wyższy niż z plantacji nawożonej tradycyjnie. Jakość surowca, w tym zawartość cukru, nie różniła się istotnie przy wszystkich sposobach nawożenia.

W 2017 r. najwyższy plon buraków cukrowych i najwyższą zawartość cukru uzyskano przy nawożeniu stałą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków z dodatkiem preparatu Awatar. Plon był wyższy o 14,8%, a zawartość cukru o 0,2% niż z plantacji nawożonej tradycyjnie.

Wdrożenie do praktyki wyników wykonanej pracy może przynieść znaczące efekty ekonomiczne, zarówno dla biogazowni (utylizacja odpadu, jakim jest poferment), rolników (obniżenie kosztów nawożenia), jak i cukrowni (niższy koszt produkcji surowca), a także

niewymierne efekty ekologiczne (ograniczenie zużycia nawozów mineralnych).

**Słowa kluczowe:** burak cukrowy, nawożenie mineralne, nawożenie pofermentem z biogazowni, efekty wdrożenia

## **EFFECTS OF IMPLEMENTING FERTILIZATION OF SUGAR BEET PLANT WITH A POFERMENT FROM SUGAR WASTE BIOGAS PLANT**

### **Summary**

The aim of the study was to develop the conditions for replacing traditional mineral fertilization of sugar beet plantations with fertilization in the form of digestate from biogas plants for sugar pulp.

The implemented solution was the result of conducting comprehensive 3-year research on optimization of methane fermentation of beet pulp and other organic waste with biogas recovery, as well as 6-year research on utilization of digestate from biogas plant as a bio-fertilizer in sugar beet cultivation.

The implementation of the results of scientific and research works in agricultural practice took place in 2016 and 2017 on the farm of an individual farmer in Piecky near Kruszwica. Each implementation facility had an area of 1 hectare.

Implementation works have shown that both digestate and its fractions: liquid and solid can be used without restrictions in the cultivation of sugar beet.

As a result of the implementation in 2016, the highest sugar beet yield was obtained with digestate from microtechnical biogas plant with the addition of the Awatar preparation - by 8.4% higher than from traditionally fertilized plantation. The quality of the raw material, including sugar content, did not differ significantly with all fertilization methods.

In 2017, the highest sugar beet yield and the highest sugar content were obtained when fertilizing with a solid digestate fraction from industrial pulp biogas plant with the addition of Awatar. The yield was higher by 14,8% and sugar content by 0,2% than from traditionally fertilized plantation.

The implementation of the results of the work carried out into practice can bring significant economic effects, both for biogas plants (utilization of digestate waste), farmers (reduction of fertilization costs) and sugar plants (lower raw material production cost), as well as immeasurable ecological effects (reduction of fertilizer consumption) mineral).

**Key words:** sugar beet, mineral fertilization, digestate fertilization from biogas plant, implementation effects.

## **WPROWADZENIE**

Przemysł cukrowniczy w Polsce jest znaczącym producentem cukru z buraka cukrowego. Roczna produkcja cukru stanowi ok. 12% globalnej produkcji w Unii Europejskiej. Zniesienie przez UE obowiązku systemu kwot w produkcji cukru, wyznaczającego limity poszczególnym państwom członkowskim, spowodowało obniżenie ceny cukru do poziomu istotnie niższego niż koszty produkcji, co zagraża stabilności finansowej gospodarstw rolnych i dochodowości sektora cukrowniczego.

Obniżenie cen cukru zmusza do poszukiwania nowatorskich sposobów doskonalenia procesu produkcji i obniżenia kosztów jego wytwarzania. Jednym ze sposobów zmniejszenia kosztów produkcji cukru może być zmniejszenie kosztu zakupu surowca, który jest największy ze wszystkich kosztów jego przerobu. Natomiast w uprawie buraka cukrowego największy koszt stanowi nawożenie plantacji (25-28% kosztów ogółem). Zatem obniżenie kosztów uprawy buraka cukrowego może być opłacalne, zarówno dla plantatora buraków cukrowych, jak i dla odbiorcy surowca - producenta cukru.

Sposobem obniżenia kosztów uprawy buraka cukrowego może być m.in. wykorzystanie do celów nawozowych pofermentów z biogazowni odpadów organicznych, jako rozwiązanie alternatywne do aktualnie stosowanego nawożenia nawozami sztucznymi.

W przemyśle cukrowniczym w ostatnich latach powstała nadwyżka wysłodków buraczanych i ten cenny produkt uboczny produkcji cukru stał się odpadem, który musi być utylizowany. Powstający nadmiar wysłodków buraczanych zmusza cukrownie do podejmowania innego niż dotychczas sposobu ich zagospodarowania.

Jednym z takich sposobów przetwarzania wysłodków może być produkcja biogazu. Technologia produkcji biogazu w procesie beztlenowej fermentacji metanowej niesie wiele korzyści zarówno ekonomicznych (produkcja biogazu i zysk energii), jak i środowiskowych (redukcja zanieczyszczeń organicznych odpadów), a także ograniczenie emisji pyłów i gazów ze spalania niekonwencjonalnych źródeł energii. Jednak oprócz biogazu po fermentacji pozostają odpady (pozostałości pofermentacyjne), złożone ze stałych jak i ciekłych składników - tzw. poferment.

Najbardziej korzystnym sposobem zagospodarowania tego odpadu z biogazowni byłoby jego rolnicze wykorzystanie z uwagi na znaczną zawartość w nim pierwiastków w formie jonowej, niezbędnych dla rozwoju roślin i łatwiej dla nich przyswajalnych. Dzięki zawartości tych związków, w niektórych przypadkach można by było całkowicie wyeliminować konieczność używania nawozów mineralnych.

Rolnicze wykorzystanie pozostałości pofermentacyjnej z biogazowni, jest także istotnym czynnikiem warunkującym opłacalność działania biogazowni, w której uzyskuje się znaczącą ilość wysokoenergetycznego biogazu, a jednocześnie likwiduje się problem powstającego odpadu, którego składowanie ze względu na ilość i jakość wiąże się z kosztami i ujemnymi skutkami dla środowiska.

Wykorzystanie pozostałości po fermentacji wysłodków buraczanych jako bionawozu na plantacji buraka cukrowego wymagało konieczności sprawdzenia przydatności technologicznej surowca do przerobu na cukier. Wartość technologiczna buraków cukrowych nie może być bowiem niższa niż przy tradycyjnej uprawie i nawożeniu mineralnym, gdyż miałyby to również wpływ na obniżenie jakości cukru.

Zastąpienie tradycyjnego sposobu uprawy buraków cukrowych aplikacją pofermentu z biogazowni wysłodków buraczanych może zagwarantować obniżenie kosztów produkcji i tzw. zrównoważone rolnictwo.

## **WYNIKI PRAC BADAWCZYCH STANOWIĄCYCH PODSTAWĘ WDROŻENIA**

W latach 2009-2011 w Zakładzie Cukrownictwa IBPRS zrealizowano pracę pt.: „Badania i opracowanie technologii fermentacji metanowej wysłodków buraczanych z odzyskiem wysokoenergetycznego biogazu”. Celem pracy było opracowanie technologii wytwarzania wysokoenergetycznego biogazu (o zawartości >50% metanu) z wysłodków i innych odpadów organicznych powstających w cukrowniach takich jak: ogonki i odłamki buraczane oraz liście buraka cukrowego wraz z wytycznymi do zaprojektowania pilotażowej biogazowni.

Badania prowadzono w skali mikrotechnicznej w fermentorze typu UASB, pojemności roboczej 60 dm<sup>3</sup>. Proces ciągłej fermentacji metanowej prowadzono w warunkach mezofilowych w temperaturze 37±1°C. Wyniki wykonanych badań zostały opublikowane [Baryga 2014, Połec i in. 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2016, 2017, 2019].

W tych publikacjach zamieszczono szczegółowy opis prowadzonych badań, metodykę ich wykonania i uzyskane wyniki. W niniejszym artykule nie przedstawiano ponownie szczegółów prowadzenia badań, opisanych we wcześniejszych publikacjach. Przedstawiono tylko wybrane wskaźniki efektywności fermentacji metanowej odpadów cukrowniczych, uzyskanych w ramach realizacji wyżej zacytowanej pracy, stanowiące podstawę do wdrożenia, stanowiącego przedmiot tej publikacji.

W wyniku realizacji pracy powstała technologia okresowej, półciągłej i ciągłej fermentacji metanowej wysłodków buraczanych, a także innych odpadów cukrowniczych.

Celem pracy było opracowanie technologii wytwarzania wysokoenergetycznego biogazu

(o zawartości ponad 50% metanu) z wysłodków buraczanych i innych odpadów organicznych powstających w cukrowniach takich jak: ogonki i odłamki buraczane oraz liście buraka cukrowego wraz z wytycznymi do zaprojektowania pilotażowej biogazowni.

Produkcja biogazu z odpadów cukrowniczych okazała się bardzo dobrym i opłacalnym sposobem przetwarzania wysłodków.

W tabeli 1 zestawiono podstawowe wskaźniki efektywności fermentacji wysłodków, ogonków i odłamków buraczanych oraz liści buraka cukrowego.

**Tabela 1.** Porównanie podstawowych wskaźników efektywności fermentacji wysłodków, ogonków i odłamków buraczanych oraz liści buraka cukrowego  
*Comparison of basic indicators of fermentation efficiency of pulp, petioles and beet fragments and sugar beet leaves*

Wskaźniki efektywności fermentacji	Jednostki	Wariant fermentacji metanowej		
		Wysłodki buraczane	Ogonki i odłamki buraczane	Liście buraka cukrowego
Redukcja substancji organicznych	%	55,7	50,0	45,9
Wydajność biogazu	N m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ×d	0,572	0,495	0,310
Zawartość CH <sub>4</sub>	% obj.	56,08	51,11	51,56
Zawartość węglowodorów C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	% obj.	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zawartość CO <sub>2</sub>	% obj.	43,11	47,61	36,37
Zawartość N <sub>2</sub>	% obj.	0,81	1,28	12,07
Zawartość H <sub>2</sub>	% obj.	0	0	
Zawartość H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup>	118	177	177
Ciepło spalania	MJ/ m <sup>3</sup>	22,43	20,45	20,61
Wartość opałowa	MJ/ m <sup>3</sup>	20,17	18,38	18,53
Liczba Wobbego górna	MJ/ m <sup>3</sup>	22,70	20,22	21,06

Stwierdzono, że przy porównywalnym obciążeniu reaktora ładunkiem suchej masy, wynoszącym 4 kg sm/m<sup>3</sup> ×d, najwyższą redukcję substancji organicznej, można osiągnąć w przypadku wysłodków buraczanych, a najniższą przy fermentacji liści buraka cukrowego. Porównywalną wydajność i jakość energetyczną biogazu, wyrażoną w m<sup>3</sup> biogazu uzyskiwanego z m<sup>3</sup> reaktora w ciągu doby, można osiągnąć w procesie fermentacji ciągłej wysłodków oraz ogonków i odłamków buraczanych. W przypadku liści buraka cukrowego wydajność była ok. 20 % niższa.

W ramach omawianej pracy sprawdzono również możliwości zwiększenia wydajności biogazowni wysłodków buraczanych przez zastosowanie preparatu enzymatyczno-bakteryjnego do zakiszania wysłodków przed biogazowaniem w ilości 1 g/1 kg wysłodków, a zestawienie najważniejszych wyników zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Porównanie podstawowych wskaźników efektywności fermentacji wysłodków zakiszonych w sposób tradycyjny i zakiszonych z preparatem Lactacel–W  
*Comparison of basic indicators of fermentation efficiency of pulp fermented in a traditional way and ensiled with Lactacel-W preparation*

Wskaźniki efektywności fermentacji	Jednostki	Wariant fermentacji metanowej wysłodków buraczanych	
		zakiszonych w sposób tradycyjny	zakiszonych z preparatem Lactacel–W
Redukcja substancji organicznych	%	67,6	73,8
Wydajność biogazu	N m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ×d	0,82	0,92
Zawartość CH <sub>4</sub>	% obj.	57,61	56,66
Zawartość węglowodorów C <sub>2</sub> –C <sub>6</sub>	% obj.	< 0,001	< 0,001
Zawartość CO <sub>2</sub>	% obj.	40,36	42,52
Zawartość N <sub>2</sub>	% obj.	2,02	0,82
Zawartość H <sub>2</sub>	% obj.	0,01	0
Zawartość H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup>	205	136
Ciepło spalania	MJ/ m <sup>3</sup>	23,04	22,66
Wartość opałowa	MJ/ m <sup>3</sup>	20,71	20,37
Liczba Wobbego górna	MJ/ m <sup>3</sup>	23,58	23,00

Stwierdzono, że fermentacja wysłodków zakiszonych z preparatem enzymatyczno-bakteryjnym zapewnia wydajność biogazu, wyrażoną w m<sup>3</sup> biogazu uzyskiwanego z m<sup>3</sup> reaktora w ciągu doby, o 12% wyższą niż fermentacja wysłodków zakiszonych w sposób tradycyjny. Nie wykazano istotnych różnic w zawartości metanu w badanych biogazach. Wahala się ona w wąskich granicach 56,7 - 57,6% obj. Wykazano natomiast znaczące różnice w zawartości azotu i siarkowodoru, korzystne dla fermentacji wysłodków zakiszonych z preparatem enzymatyczno-bakteryjnym. Biogaz z fermentacji wysłodków buraczanych zakiszonych z preparatem bakteryjno-enzymatycznym zawierał o 1,2% mniej azotu i o 33,6% mniej siarkowodoru niż biogaz z fermentacji wysłodków buraczanych zakiszonych bez preparatu.

Sprawdzono również możliwości zwiększenia wydajności biogazowni wysłodków buraczanych przez zastosowanie, jako kosubstratu fermentacji, gnojowicy bydłowej, dodawanej w ilości 10% obj. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Porównanie podstawowych wskaźników efektywności fermentacji wysłodków zakiszonych w sposób tradycyjny i fermentowanych z dodatkiem gnojowicy bydłowej  
*Comparison of basic indicators of fermentation efficiency of pulp fermented in a traditional way and fermented with the addition of bovine manure*

Wskaźniki efektywności fermentacji	Jednostki	Wariant fermentacji metanowej wysłodków buraczanych	
		zakiszonych w sposób tradycyjny	zakiszonych w sposób tradycyjny, fermentowanych z dodatkiem gnojowicy bydłowej
Redukcja substancji organicznych	%	55,8	48,8
Wydajność biogazu	N m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ×d	0,733	0,770
Zawartość CH <sub>4</sub>	% obj.	57,61	57,97
Zawartość węglowodorów C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	% obj.	< 0,001	< 0,001
Zawartość CO <sub>2</sub>	% obj.	40,36	37,19
Zawartość N <sub>2</sub>	% obj.	2,02	4,84
Zawartość H <sub>2</sub>	% obj.	0,01	0
Zawartość H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup>	205	265
Ciepło spalania	MJ/ m <sup>3</sup>	23,04	23,18
Wartość opałowa	MJ/ m <sup>3</sup>	20,71	20,84
Liczba Wobbego górna	MJ/ m <sup>3</sup>	23,58	23,96

Z porównania efektów fermentacji metanowej ciągłej wysłodków buraczanych prowadzonych bez i z dodatkiem gnojowicy wynika, że można uzyskać większą o 10% wydajność biogazu, wyrażoną w m<sup>3</sup> biogazu uzyskiwanego z m<sup>3</sup> reaktora w ciągu doby, w procesie fermentacji wysłodków z gnojowicą, jednak przy zawartości metanu w obydwu badanych biogazach wahającej się w wąskich granicach (56,66 - 57,97% obj.). Dodatek gnojowicy wpłynął jednak niekorzystnie na skład biogazu w zakresie zawartości azotu i siarkowodoru. Biogaz uzyskany z fermentacji wysłodków z dodatkiem gnojowicy zawierał o 58% więcej azotu i o 23% siarkowodoru niż z fermentacji samych wysłodków buraczanych.

Analiza jakości wytwarzanego biogazu wskazała, że po usunięciu siarkowodoru może być kierowany do silnika gazowego, w którym energia chemiczna biogazu ulega konwersji na energię elektryczną oraz ciepłą lub bezpośrednio, jako paliwo, do kotłowni lub suszarni. Może być wykorzystywany również, podobnie jak gaz ziemny, np. poprzez konwersję do paliw płynnych.

Wyniki dot. badań fermentacji metanowej odpadów publikowane są przez wielu autorów, zarówno polskich [Fugol i Pilarski 2011; Sikora i Mruk 2016; Ziemiński i Kowalska-Wentel, 2015, 2017], jak i zagranicznych [Polematidis i in. 2008; Fang i in. 2011; Máca J. i in. 2012;

Suhartini i in. 2014; Montañés i in. 2013, 2014, 2015; Kryvoruchko i in. 2009; Emrah i in. 2011], a uzyskane rezultaty są porównywalne z otrzymanymi w opisywanej wyżej pracy.

Pozytywne wyniki pracy naukowo-badawczej związanej z fermentacją metanową odpadów cukrowniczych i stwierdzony problem powstawania, obok cennego biogazu, także pofermentu - odpadu wymagającego zagospodarowania, stało się bezpośrednim impulsem do rozpoczęcia dalszych kilkuletnich badań, których końcowym efektem było osiągnięcie stanowiące przedmiot wdrożenia.

W ramach pracy pt. „Opracowanie sposobu utylizacji pozostałości po fermentacji metanowej wysłodków buraczanych i innych odpadów organicznych”, zrealizowanej w latach 2012-2017, określono przydatność pozostałości z procesu fermentacji wysłodków buraczanych, powstających przy produkcji cukru, do rolniczego wykorzystania na plantacji buraka cukrowego.

Wszystkie badania prowadzone były na doświadczalnej plantacji buraka cukrowego, założonej na gruntach Zakładu Cukrownictwa w Lesznie. Do celów badawczych założono polećka doświadczalne o powierzchni 18,75 m<sup>2</sup> każde.

Materiał do doświadczeń stanowiły buraki cukrowe odmiany *Beta vulgaris Fighter*. W przeprowadzonych doświadczeniach stosowano, jako kontrolę, nawożenie mineralne, odpowiadające potrzebom pokarmowym buraka cukrowego oraz nawożenie z wykorzystaniem pofermentu, w dawkach zawierających zawartość azotu taką, jak przy nawożeniu mineralnym tj. 120 kgN/ha. Jako nawóz mineralny stosowano granulowany nawóz wieloskładnikowy o nazwie handlowej „Lubofos pod buraki”. Nawóz zawierał: 3,5% azotu (N), 10%, fosforu (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 21% potasu (K<sub>2</sub>O), 6% wapnia (CaO), 2,2% magnezu (MgO), 17% siarki (SO<sub>3</sub>) i 0,2% boru (B) oraz 8 ppm miedzi i 21 ppm manganu.

Stosowany w badaniach preparat Awatar zawierał cytrynian potasu i 18 składników odżywczych ważnych dla roślin: Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Mo, La, Ni, V, Ti, Se, Ge, Ag, Si, Ce, B w formie chelatów z di- i trikarboksylowymi kwasami organicznymi: cytrynowym, bursztynowym, jabłkowym i winowym.

Zakres badań dot. wykorzystania rolniczego pozostałości fermentacji metanowej odpadów cukrowniczych w uprawie buraka cukrowego obejmował następujące badania:

- wykorzystania pozostałości po fermentacji wysłodków cukrowniczych, mające na celu ocenę przydatności różnych postaci pozostałości po fermentacji wysłodków (pofermentu oraz jego frakcji: ciekłej i stałej) do nawożenia buraka cukrowego i określenie wpływu terminu zbioru surowca na jego jakość,



- przydatności pofermentu do nawożenia plantacji buraka cukrowego w różnych warunkach pogodowych, przeprowadzone w 3 kolejnych sezonach wegetacyjnych (2013, 2014 i 2015 r.), różniących się miesięczną średnią temperaturą, średnią wielkością opadów i liczbą dni słonecznych,
- porównanie efektów mineralnego nawożenia buraków cukrowych z nawożeniem pozostałością pofermentacyjną z biogazowni bez i z dodatkiem mikroelementów (preparat Awatar), prowadzone w 2016 r.,
- porównanie efektów mineralnego nawożenia buraków cukrowych z nawożeniem pozostałością pofermentacyjną z biogazowni bez i z dodatkiem makroelementów (P, K, Mg i B), prowadzone w 2017 r.

Na podstawie wyników badań uzyskanych z przeprowadzonych doświadczeń dot. wykorzystania pozostałości po fermentacji odpadów cukrowniczych w uprawie buraka cukrowego sformułowano następujące wnioski:

- 1) Badane pozostałości po fermentacji odpadów cukrowniczych mogą być, zarówno pod względem zawartości metali ciężkich, jak i jakości mikrobiologicznej, wykorzystywane zgodnie z obowiązującym prawem, bez zastrzeżeń w rolnictwie.
- 2) Składniki nawozowe NPK w pozostałości po fermentacji wysłodków są przyswajalne przez burak cukrowy. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy przyswajalnością składników NPK zawartych w nawozach mineralnych, a dostarczanych w postaci różnych form pozostałości po fermentacji wysłodków.
- 3) Badania potwierdziły możliwość uzyskania wyższego plonu buraków cukrowych w przypadku zastąpienia tradycyjnego, mineralnego nawożenia plantacji buraków cukrowych aplikacją pofermentu z biogazowni wysłodków.
- 4) Badania porównawcze przydatności do nawożenia różnych form pozostałości po fermentacji wysłodków i nawożenia mineralnego na plantacji buraka cukrowego wskazały, że korzystniejsze wyniki w zakresie parametrów jakości chemicznej, w tym zawartości cukru, uzyskano w surowcu nawożonym pofermentem.
- 5) Ocena wartości przerobowej surowca, dokonana w oparciu o parametry jakości surowca, wg opracowanych kryteriów przydatności do produkcji cukru, wskazała, że zarówno surowiec z plantacji nawożonej mineralnie, jak i nawożonej pofermentem gwarantują właściwy przebieg produkcji cukru.
- 6) Aplikacja dogłębowa pofermentu z biogazowni odpadów cukrowniczych na plantacji buraka cukrowego nie powoduje kumulacji w glebie metali ciężkich w stopniu uniemożliwiającym dalsze rolnicze wykorzystanie gruntów.

- 7) Badania wód gruntowych, pobieranych na poletkach doświadczalnych nie wykazały istotnych zmian najważniejszych parametrów chemicznych wód gruntowych pod wpływem dogłębowej aplikacji pofermentu jako bionawozu.
- 8) Wyższe efekty, zwłaszcza w zakresie plonu i zawartości cukru w burakach, są możliwe do uzyskania przy aplikacji pofermentu z dodatkiem mikroelementów w postaci preparatu Awatar.
- 9) Wyższe efekty, zwłaszcza w zakresie plonu i zawartości cukru w burakach, są możliwe do uzyskania przy aplikacji pofermentu z uzupełnieniem makroelementów (P, K, Mg i B) do ilości występującej w stosowanym powszechnie nawozie „Lubofos pod buraki”.
- 10) W badaniach prowadzonych w kilku kolejnych sezonach wegetacyjnych stwierdzono istotne zróżnicowanie określanych parametrów zależnie od warunków pogodowych.

Wyniki pracy pt.: „Opracowanie sposobu utylizacji pozostałości po fermentacji metanowej wysłodków buraczanych i innych odpadów organicznych” zostały opublikowane [Baryga 2019; Baryga i in. 2016, 2017; Baryga i Połec 2016, 2017]. W niniejszym artykule nie przedstawiano ponownie szczegółów prowadzenia badań, opisanych we wcześniejszych publikacjach. Zestawiono poniżej najważniejsze, wybrane wyniki badań uzyskanych w ramach realizacji cytowanej pracy, stanowiące przedmiot wdrożenia.

**Tabela 4.** Wyniki badań wpływu sposobu nawożenia buraka cukrowego na przyrost biomasy w latach 2013-2015

*The results of the research on the impact of sugar beet fertilization on biomass growth in 2013-2015*

Nawożenie (A)	Rok (B)			Średnio (A)
	2013	2014	2015	
<b>Masa korzeni buraków (g)</b>				
Nawożenie mineralne	833,0 <sup>d</sup>	467,7 <sup>a</sup>	495,0 <sup>a</sup>	598,6
Fracja ciekła pofermentu	845,0 <sup>d</sup>	452,0 <sup>a</sup>	700,0 <sup>bc</sup>	665,7
Poferment	763,3 <sup>bc</sup>	467,0 <sup>a</sup>	670,3 <sup>b</sup>	633,6
Fracja stała pofermentu	756,7 <sup>bc</sup>	502,3 <sup>a</sup>	564,7 <sup>a</sup>	607,9
Średnio (B)	799,5 <sup>c</sup>	472,3 <sup>a</sup>	607,5 <sup>b</sup>	
<b>Masa liści buraków (g)</b>				
Nawożenie mineralne	277,7 <sup>e</sup>	222,0 <sup>cd</sup>	125,0 <sup>a</sup>	208,2 <sup>a</sup>
Fracja ciekła pofermentu	245,0 <sup>d</sup>	204,3 <sup>cd</sup>	144,7 <sup>ab</sup>	198,0 <sup>a</sup>
Poferment	230,0 <sup>d</sup>	238,7 <sup>d</sup>	205,3 <sup>cd</sup>	224,7 <sup>a</sup>
Fracja stała pofermentu	286,7 <sup>e</sup>	261,3 <sup>e</sup>	190,0 <sup>cd</sup>	246,0 <sup>b</sup>
Średnio (B)	259,8 <sup>b</sup>	231,6 <sup>b</sup>	166,3 <sup>a</sup>	
<b>Biomasa buraka (g)</b>				
Nawożenie mineralne	1110,7 <sup>d</sup>	689,7 <sup>ab</sup>	620,0 <sup>a</sup>	806,8
Fracja ciekła pofermentu	1090,0 <sup>d</sup>	656,3 <sup>ab</sup>	844,7 <sup>d</sup>	863,7
Poferment	993,3 <sup>cd</sup>	705,7 <sup>c</sup>	875,7 <sup>d</sup>	858,2
Fracja stała pofermentu	1043,3 <sup>cd</sup>	763,7 <sup>c</sup>	754,7 <sup>c</sup>	853,9
Średnio (B)	1059,3 <sup>b</sup>	703,8 <sup>a</sup>	773,8 <sup>a</sup>	

**Tabela 5.** Wyniki badań wpływu sposobu nawożenia buraka cukrowego na jakość surowca w latach 2013-2015

*Results of research on the impact of sugar beet fertilization method on raw material quality in 2013-2015*

Nawożenie (A)	Rok (B)			Średnio (A)
	2013	2014	2015	
<b>Zawartość cukru (sacharozy) - Ck %</b>				
Nawożenie mineralne	19,0 <sup>c</sup>	16,8 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	17,6 <sup>a</sup>
Fracja ciekła pofermentu	18,9 <sup>c</sup>	16,8 <sup>a</sup>	17,8 <sup>b</sup>	17,8 <sup>ab</sup>
Poferment	18,6 <sup>bc</sup>	17,3 <sup>a</sup>	18,5 <sup>bc</sup>	18,1 <sup>b</sup>
Fracja stała pofermentu	18,0 <sup>b</sup>	17,2 <sup>a</sup>	18,5 <sup>bc</sup>	17,9 <sup>ab</sup>
Średnio (B)	18,6 <sup>c</sup>	17,0 <sup>a</sup>	18,0 <sup>b</sup>	
<b>Zawartość suchej masy %</b>				
Nawożenie mineralne	23,5 <sup>bc</sup>	21,7 <sup>a</sup>	22,7 <sup>ab</sup>	22,6 <sup>a</sup>
Fracja ciekła pofermentu	23,8 <sup>bc</sup>	22,3 <sup>ab</sup>	22,6 <sup>ab</sup>	22,9 <sup>ab</sup>
Poferment	23,2 <sup>bc</sup>	22,3 <sup>ab</sup>	24,2 <sup>d</sup>	23,2 <sup>bc</sup>
Fracja stała pofermentu	23,3 <sup>bc</sup>	22,5 <sup>ab</sup>	24,8 <sup>d</sup>	23,5 <sup>c</sup>
Średnio (B)	23,5 <sup>b</sup>	22,2 <sup>a</sup>	23,6 <sup>b</sup>	
<b>Zawartość miąższu %</b>				
Nawożenie mineralne	2,8 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>f</sup>	4,1 <sup>d</sup>	4,4 <sup>c</sup>
Fracja ciekła pofermentu	3,8 <sup>c</sup>	2,5 <sup>a</sup>	3,2 <sup>b</sup>	3,2 <sup>a</sup>
Poferment	3,1 <sup>b</sup>	4,7 <sup>de</sup>	4,3 <sup>d</sup>	4,0 <sup>b</sup>
Fracja stała pofermentu	2,9 <sup>ab</sup>	4,8 <sup>de</sup>	5,2 <sup>de</sup>	4,3 <sup>c</sup>
Średnio (B)	3,2 <sup>a</sup>	4,5 <sup>c</sup>	4,2 <sup>b</sup>	
<b>Zawartość popiołu rozpuszczalnego %</b>				
Nawożenie mineralne	0,32 <sup>ab</sup>	0,40 <sup>d</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,34 <sup>b</sup>
Fracja ciekła pofermentu	0,30 <sup>a</sup>	0,40 <sup>d</sup>	0,35 <sup>cd</sup>	0,35 <sup>b</sup>
Poferment	0,28 <sup>a</sup>	0,35 <sup>cd</sup>	0,33 <sup>bc</sup>	0,32 <sup>a</sup>
Fracja stała pofermentu	0,28 <sup>a</sup>	0,37 <sup>cd</sup>	0,31 <sup>ab</sup>	0,32 <sup>a</sup>
Średnio (B)	0,30 <sup>a</sup>	<b>0,38<sup>c</sup></b>	0,33 <sup>b</sup>	
<b>Zawartość inwertu %</b>				
Nawożenie mineralne	0,073 <sup>c</sup>	0,097 <sup>d</sup>	0,033 <sup>ab</sup>	0,060 <sup>a</sup>
Fracja ciekła pofermentu	0,117 <sup>d</sup>	0,117 <sup>d</sup>	0,043 <sup>ab</sup>	0,092 <sup>b</sup>
Poferment	0,103 <sup>d</sup>	0,073 <sup>c</sup>	0,047 <sup>b</sup>	0,072 <sup>a</sup>
Fracja stała pofermentu	0,073 <sup>c</sup>	0,083 <sup>c</sup>	0,023 <sup>a</sup>	0,070 <sup>a</sup>
Średnio (B)	0,098 <sup>b</sup>	0,087 <sup>b</sup>	0,037 <sup>a</sup>	
<b>Zawartość azotu α -aminokwasowego %</b>				
Nawożenie mineralne	0,009 <sup>bc</sup>	0,008 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,005
Fracja ciekła pofermentu	0,010 <sup>c</sup>	0,005 <sup>ab</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,006
Poferment	0,009 <sup>bc</sup>	0,008 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,006
Fracja stała pofermentu	0,007 <sup>b</sup>	0,008 <sup>b</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,006
Średnio (B)	0,009 <sup>c</sup>	0,007 <sup>b</sup>	0,002 <sup>a</sup>	

**cd. Tabela 5.** Wyniki badań wpływu sposobu nawożenia buraka cukrowego na jakość surowca w latach 2013-2015

*Results of research on the impact of sugar beet fertilization method on raw material quality in 2013-2015*

Nawożenie (A)	Rok (B)			Średnio (A)
	2013	2014	2015	
<b>Zawartość azotu amidowego %</b>				
Nawożenie mineralne	0,012 <sup>bc</sup>	0,014 <sup>e</sup>	0,009 <sup>b</sup>	0,012 <sup>b</sup>
Fracja ciekła pofermentu	0,011 <sup>cd</sup>	0,010 <sup>c</sup>	0,009 <sup>b</sup>	0,010 <sup>a</sup>
Poferment	0,012 <sup>cd</sup>	0,011 <sup>cd</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,010 <sup>a</sup>
Fracja stała pofermentu	0,013 <sup>d</sup>	0,012 <sup>cd</sup>	0,011 <sup>cd</sup>	0,012 <sup>b</sup>
Średnio (B)	0,012 <sup>b</sup>	0,012 <sup>b</sup>	0,009 <sup>a</sup>	
<b>Zawartość sodu %</b>				
Nawożenie mineralne	0,012 <sup>a</sup>	0,164 <sup>f</sup>	0,103 <sup>d</sup>	0,093 <sup>c</sup>
Fracja ciekła pofermentu	0,015 <sup>a</sup>	0,181 <sup>g</sup>	0,105 <sup>d</sup>	0,100 <sup>d</sup>
Poferment	0,008 <sup>a</sup>	0,144 <sup>e</sup>	0,093 <sup>c</sup>	0,082 <sup>b</sup>
Fracja stała pofermentu	0,008 <sup>a</sup>	0,076 <sup>b</sup>	0,101 <sup>cd</sup>	0,062 <sup>a</sup>
Średnio (B)	0,011 <sup>a</sup>	0,141 <sup>c</sup>	0,101 <sup>b</sup>	
<b>Zawartość potasu %</b>				
Nawożenie mineralne	0,123 <sup>c</sup>	0,191 <sup>f</sup>	0,098 <sup>a</sup>	0,138 <sup>c</sup>
Fracja ciekła pofermentu	0,120 <sup>c</sup>	0,155 <sup>e</sup>	0,127 <sup>d</sup>	0,134 <sup>bc</sup>
Poferment	0,108 <sup>bc</sup>	0,154 <sup>e</sup>	0,124 <sup>d</sup>	0,129 <sup>b</sup>
Fracja stała pofermentu	0,097 <sup>a</sup>	0,130 <sup>d</sup>	0,127 <sup>d</sup>	0,118 <sup>a</sup>
Średnio (B)	0,112 <sup>a</sup>	0,158 <sup>b</sup>	0,119 <sup>a</sup>	

**Tabela 6.** Wyniki badań wpływu sposobu nawożenia buraka cukrowego z suplementacją mikroelementów na przyrost biomasy

*The results of research on the impact of sugar beet fertilization with microelement supplementation on biomass growth*

Sposób nawożenia	Masa korzenia [g]
Nawóz mineralny	549
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków	560
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	569
Nawóz mineralny i preparat Awatar	555
<b>NIR (P&lt; 0,05) n.i.</b>	

**Tabela 7.** Wyniki badań wpływu sposobu nawożenia buraka cukrowego z suplementacją mikroelementów na jakość chemiczną surowca  
*The results of the research on the impact of sugar beet fertilization with micronutrient supplementation on the chemical quality of the raw material*

Sposób nawożenia	Parametry jakości chemicznej korzeni buraków cukrowych [%]								
	Cukier	Sucha masa	Miąśsz	Popiół	Inwert	Azot $\alpha$ -aminowy	Azot amidowy	Sód	Potas
Nawóz mineralny	15,4	20,3	3,5	0,50	0,170	0,007	0,020	0,044	0,165
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków	15,7	21,4	3,4	0,47	0,113	0,007	0,013	0,037	0,176
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	16,4	22,4	3,6	0,48	0,200	0,007	0,010	0,030	0,171
Nawóz mineralny i preparat Awatar	15,5	21,0	3,6	0,51	0,165	0,007	0,015	0,040	0,170
<b>NIR (P &lt; 0,05)</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>	<b>n.i.</b>	<b>n.i.</b>	<b>n.i.</b>	<b>n.i.</b>	<b>n.i.</b>	<b>n.i.</b>	<b>n.i.</b>

Podsumowując wszystkie uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że cel prac badawczo-rozwojowych został osiągnięty. Pozytywne wyniki badań wskazały, że możliwe jest zastosowanie w praktyce rolniczej pozostałości po fermentacji odpadów cukrowniczych, zamiast stosowanego tradycyjnie nawożenia mineralnego i stały się podstawą prac wdrożeniowych.

W piśmiennictwie brak jest danych dotyczących rolniczego wykorzystania pofermentu na plantacji buraka cukrowego i w tym zakresie przedstawione badania mają charakter nowatorski. Z wielu pozycji literaturowych, ale z innymi rodzajami pofermentu wynika, że wpływ pofermentu na plon roślin nie jest ostatecznie ustalony [Albuquerque i in. 2012; [Gissèn i in. 2014; Gunnarsson i in. 2011; Bueno i in. 2014; Hupfauf i in. 2016; Vaneckhaute i in. 2013]. Poza tym cytowani powyżej autorzy ograniczali swoje badania tylko do określania

wpływu aplikacji pofermentu na wzrost i plon roślin, nie badali wpływu na jakość roślin.

### **WYNIKI WDROŻENIA**

Wdrożenie rezultatów prac naukowo-badawczych, omówionych w rozdziale 3 do praktyki rolniczej nastąpiło w latach 2016 i 2017 w gospodarstwie rolnym rolnika indywidualnego w Pieckach k/ Kruszwicy. Właściciel gospodarstwa jest plantatorem Krajowej Spółki Cukrowej S.A, Oddział „Cukrownia Kruszwica”.

Przedmiotem wdrożenia w 2016 r. były wyniki pracy badawczo-rozwojowej pt. „Opracowanie sposobu utylizacji pozostałości po fermentacji metanowej z biogazowni mikrotechnicznej wysłodków buraczanych i innych odpadów organicznych”.

Przedmiotem wdrożenia w 2017 r. były wyniki pracy badawczo-rozwojowej pt. „Sprawdzenie przydatności pozostałości po fermentacji metanowej wysłodków buraczanych z biogazowni przemysłowej do wykorzystania jako bionawozu w uprawie buraka cukrowego”.

Wdrożenia odbywały się na podstawie umów o wdrożenie wyników prac badawczo-rozwojowych zawartych pomiędzy gospodarstwem rolnym a Instytutem Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Waława Dąbrowskiego.

Każdy obiekt wdrożeniowy posiadał powierzchnię 1 ha.

Wdrożenie w roku 2016 dotyczyło wykorzystania pozostałości z mikrotechnicznej biogazowni odpadów cukrowniczych, w 2017 r. wykorzystania pozostałości z przemysłowej biogazowni odpadów cukrowniczych jako bionawozu na plantacji buraka cukrowego.

**Tabela 8.** Wyniki prac wdrożeniowych - wpływ nawożenia pofermentem na wzrost korzeni i liści

*Results of implementation works - the effect of digestate fertilization on root and leaf growth*

Sposób nawożenia	Masa jednego korzenia [g]	Masa liści z jednej rośliny [g]	Masa biomasy jednej rośliny [g]	Stosunek masy korzenia do masy liści
<b>Plantacja wdrożeniowa - 2016 r.</b>				
Nawóz mineralny	928	360	1288	2,58
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków	987	380	1317	2,59
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	1013	388	1411	2,61
Nawóz mineralny i preparat Awatar	1005	392	1397	2,56
<b>Plantacja wdrożeniowa - 2017 r.</b>				
Nawóz mineralny	900	641	1541	1,40
Fracja ciekła pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków	910	641	1551	1,41
Fracja stała pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków	1018	708	1726	1,44
Fracją ciekłą pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	925	648	1573	1,43
Fracja stała pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	1056	723	1779	1,46
Nawóz mineralny i preparat Awatar	908	645	1553	1,41

**Tabela 9.** Wyniki prac wdrożeniowych - wpływ nawożenia pofermentem na jakość chemiczną buraków cukrowych  
*Results of implementation works - the effect of digestate fertilization on the chemical quality of sugar beet*

Sposób nawożenia	Parametry jakości chemicznej korzeni buraków cukrowych								
	%								
	Cukier	Sucha pozosta- łość	Miaższ	Popiół	Inwert	Azot α- aminowy	Azot amidowy	Sód	Potas
<b>Plantacja wdrożeniowa - 2016 r.</b>									
Nawóz mineralny	17,5	23,7	3,7	0,42	0,93	0,07	0,03	0,05	0,17
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków	17,5	24,4	3,8	0,39	0,84	0,06	0,02	0,05	0,14
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	17,5	24,4	3,9	0,49	0,93	0,09	0,03	0,04	0,18
Nawóz mineralny i preparat Awatar	17,4	23,9	3,9	0,39	0,97	0,05	0,03	0,04	0,16
<b>Plantacja wdrożeniowa - 2017 r.</b>									
Nawóz mineralny	16,9	21,0	3,0	0,2	0,06	0,02	0,01	0,02	0,12
Fracja ciepla pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków	16,9	21,0	1,9	0,3	0,06	0,07	0,02	0,02	0,17
Fracja stała pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków	16,9	21,6	2,8	0,4	0,07	0,06	0,01	0,04	0,14
Fracją ciepla pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	17,0	21,4	2,5	0,3	0,04	0,09	0,02	0,02	0,18
Fracja stała pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	17,1	21,9	2,9	0,4	0,10	0,05	0,02	0,02	0,16
Nawóz mineralny i preparat Awatar	16,9	21,4	3,1	0,2	0,05	0,01	0,01	0,02	0,12

### PODSUMOWANIE PRAC WDROŻENIOWYCH

W umowach dot. obydwu wdrożeń założono uzyskanie następujących wskaźników techniczno-ekonomicznych: plonu co najmniej równego jak przy nawożeniu tradycyjnym, jakości surowca o wskaźnikach co najmniej takich jak przy nawożeniu tradycyjnym,



obniżenie kosztów nawożenia buraka cukrowego, niewymierne efekty ekologiczne.

Założone efekty wdrożenia zostały uzyskane.

W wyniku wdrożenia w 2016 r. uzyskano:

- 1) plon korzeni wyższy niż przy nawożeniu tradycyjnym wynoszący:
  - o 8,4% przy nawożeniu pofermentem z mikrotechnicznej biogazowni z dodatkiem preparatu Awatar,
  - o 6,0% przy nawożeniu samym pofermentem z mikrotechnicznej z biogazowni wysłodków,
  - o 7,7% przy nawożeniu mineralnym z dodatkiem preparatu Awatar.
- 2) jakość surowca, w tym zawartość cukru o wskaźnikach nie różniących się istotnie przy wszystkich sposobach nawożenia,
- 3) zwiększenie przychodów rolnika wynikające z uzyskania wyższego o kilka % plonu korzeni,
- 4) efekty ekologiczne, wynikające z wykorzystania odpadu z biogazowni wysłodków jako nawozu, zamiast kosztownego jego unieszkodliwiania.

W wyniku wdrożenia w 2017 r. uzyskano:

- 1) plon korzeni wyższy niż przy tradycyjnym nawożeniu mineralnym wynoszący:
  - 0,9 % przy nawożeniu mineralnym z dodatkiem preparatu Awatar,
  - 1,1 % przy nawożeniu ciekłą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków bez dodatku preparatu Awatar,
  - 2,7% przy nawożeniu ciekłą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków z dodatkiem preparatu Awatar,
  - 11,6 % przy nawożeniu stałą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków bez dodatku preparatu Awatar,
  - 14,8 % przy nawożeniu stałą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków z dodatkiem preparatu Awatar.
- 2) jakość surowca o wskaźnikach nie różniących się istotnie przy wszystkich sposobach nawożenia, w tym:
  - zawartość cukru taką samą jak przy tradycyjnym nawożeniu mineralnym uzyskano przy nawożeniu płynną i suchą pozostałością z przemysłowej biogazowni wysłodków bez dodatku preparatu Awatar oraz nawozami mineralnymi z preparatem Awatar,
  - zawartość cukru wyższą o 0,1% niż przy tradycyjnym nawożeniu mineralnym uzyskano przy nawożeniu ciekłą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków

- z dodatkiem preparatu Awatar,
- zawartość cukru wyższą o 0,2% niż przy tradycyjnym nawożeniu mineralnym uzyskano przy nawożeniu stałą frakcją pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków z dodatkiem preparatu Awatar.
- 3) zwiększenie przychodów rolnika wynikające przede wszystkim z uzyskania wyższego plonu korzeni i zawartości cukru,
- 4) efekty ekologiczne, wynikające z wykorzystania odpadu z biogazowni wysłodków jako nawozu, zamiast kosztownego jego unieszkodliwiania.

W oparciu o: uzyskane wymierne efekty wdrożenia oraz system opłat za dostarczony surowiec, obowiązujący w latach 2016 i 2017 w Krajowej Spółce Cukrowej S.A. (której plantatorem był właściciel gospodarstwa rolnego, u którego realizowano wdrożenie), obliczono wielkość zysku plantatora wynikającego z zastosowania nawożenia plantacji buraka cukrowego z wykorzystaniem pofermentu z biogazowni wysłodków buraczanych zamiast tradycyjnego nawożenia mineralnego.

**Tabela 10.** Wyniki prac wdrożeniowych - efekty ekonomiczne  
*Results of implementation works - economic effects*

Sposób nawożenia	Plon Mg/ha	Zawartość cukru %	Zapłata dla plantatora zł/ ha	Zysk plantatora z wdrożenia zł/ha
<b>Plantacja wdrożeniowa - 2016 r.</b>				
Nawóz mineralny	64,96	17,5	9 585	-
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków	69,09	17,5	10 194	609
Poferment z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	70,91	17,5	10 464	879
Nawóz mineralny i preparat Awatar	70,35	17,4	10 298	713
<b>Plantacja wdrożeniowa - 2017 r.</b>				
Nawóz mineralny	63,00	16,9	8 853	-
Frakcja ciekła pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków	63,70	16,9	8 952	99
Frakcja stała pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków	71,26	16,9	10 014	1 161
Frakcją ciekłą pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	64,75	17,0	9 175	322
Frakcja stała pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparat Awatar	73,92	17,1	10 561	1 708
Nawóz mineralny i preparat Awatar	63,56	16,9	8 932	79

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 10, niezależnie od formy zastosowanego nawożenia z wykorzystaniem pozostałości pofermentacyjnych, uzyskano zysk dla plantatora w stosunku do opłaty za surowiec nawożony mineralnie.

W 2016 r. największy zysk dla plantatora zapewniło nawożenie pofermentem z mikrotechnicznej biogazowni wysłodków i preparatem Awatar, a w 2017 r. frakcją stałą pofermentu z przemysłowej biogazowni wysłodków i preparatem Awatar.

***Informacja dot. Nagrody Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi przyznanej w 2019 r. za osiągnięcie w zakresie wdrażania postępu w rolnictwie***

Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2019 roku, w uznaniu wybitnych osiągnięć we wdrażaniu wyników badań naukowych do praktyki rolniczej, przynoszących wymierne efekty ekonomiczne i społeczne, przyznał Instytutowi Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego w Warszawie nagrodę resortową za wdrożenie do praktyki rolniczej osiągnięcia pt.: „Zastąpienie tradycyjnego nawożenia plantacji buraka cukrowego w postaci pozostałości po fermentacji wysłodków buraczanych”.

Zespół autorski: dr hab. inż. Andrzej Baryga, dr Bożenna Połec, dr inż. Edmund Waleriańczyk, dr inż. Tomasz Szymański, Wanda Wołyńska, Jadwiga Słupecka [<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/nagrody-za-osiagniecia-w-zakresie-wdrazania-postepu>].

### **Piśmiennictwo**

1. Alburquerque J.A., De La Fuente C., Campoy M., Carrasco L., Nájera I., Baixauli C., Caravaca F., Roldán A., Cegarra J., Bernal M.P. (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *Eur. J. Agron.* 43: 119-128.
2. Baryga A. (2014). Cukrownie wytwarzające gaz?. *Харчовик* 11-12, 1-5
3. Baryga A. (2019). Monografia pt. *Studia nad wartością technologiczną buraka cukrowego i jakością cukru w aspekcie wykorzystania w uprawie pofermentu z biogazowni*, ISBN 1121978-83-8100-178-6, wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego Olsztyn
4. Baryga A., Połec B. (2016). Studies on technological quality of sugar beets and soil parameters in relation to method of soil fertilization. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* 2, 42-53
5. Baryga A., Połec B. (2016). Вплив удобрення ґрунту залишками ферментації бурякового жому на ріст цукрових буряків, енергетичної кукурудзи та верби,

- ЦУКОР УКРАЇНИ , 2016, 4 (124), 4-8
6. Baryga A., Połec B. (2017). Зміни якості ґрунтових вод на плантації цукрового буряка, удобреної залишками з біогазової станції, що працює на буряковому жомі. Цукор України 138-139 (8), 16-20
  7. Baryga A., Połec B. (2017). Переваги заміни традиційного удобрення цукрового буряка залишками органічних відходів цукроваріння з біогазової станції Цукор України 136 (4), 32-39
  8. Baryga A., Połec B., Małczak E. (2017). Technological value of raw materials from sugar beet growing area fertilized with digestate from sugar beet pulp biogas plant. Plant Soil Environ. 63(5), 207-212
  9. Baryga A., Połec B., Skibniewska K., Seciu E., Grabara J. (2016). Utilisation of residual waste from sugar beet. Journal of Environmental Protection and Ecology 17 (3), 1048-1057
  10. Baryga A., Połec B., Szymański T., Słupecka J. (2016). Wpływ nawożenia buraka cukrowego pozostałościami po fermentacji wysłodków buraczanych na wzrost biomasy i zawartość cukru Post. Nauki Technol. Przem. Rol.-Spoż. 71(4), 20-34
  11. Bueno Piaz Barbosa D., Nabel M., Jablonowski N.D., (2014): Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. Energy Procedia ,59 120 – 126
  12. Butwilowicz A. 1997. Metody analityczne kontroli produkcji w cukrowniach. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa
  13. Emrah A., Göksel D. (2011). Anaerobic mesophilic co-digestion of sugar-beet processing wastewater and beet-pulp in batch reactors. Renew. Energ. 36(3): 971-975
  14. Fang C., Boe K., Angelidaki I. (2011). Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. Water Res. 45: 3473-3480
  15. Fugol M., Pilarski K. (2011). Burak cukrowy jako substrat do biogazowni. Inżynieria Roln. 130: 63-71
  16. Gissén C., Prade T., Kreuger E., Nges I.A., Rosenqvist H., Svensson S.-E., Lantz M., Mattsson J.E., Börjesson P., Björnsson L. (2014). Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation. Biomass Bioenerg. 64: 199-210
  17. Gunnarsson A., Lindén B., Gertsson U. (2011). Biodigestion of Plant Material Can Improve Nitrogen Use Efficiency in a Red Beet Crop Sequence. HortScience. 46:765-775
  18. <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/nagrody-za-osiagniecie-w-zakresie-wdrazania-postepu>

(dostęp 20,12,2019)

19. Hupfaut S., Bachmann S., Fernández-Delgado Juárez M., Insam H., Eichler-Löbermann B. (2016). Biogas digestates affect crop P uptake and soil microbial community composition. *Sci. Total Environ.* 542: 1144-1154
20. Kryvoruchko V., Machmüller A., Bodiroza V., Amon B., Amon T. (2009). Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing. *Biomass Bioenerg.* 33: 620-627
21. Máca J., Záborská J., Jeníček P. (2012). Anaerobic Digestion of Sugar Beet Pulp. *Listy Cukrov. Repar.* 128: 66-69
22. Montañés R., Pérez M., Solera R. (2013). Mesophilic anaerobic co-digestion of sewage sludge and a lixiviation of sugar beet pulp: Optimisation of the semi-continuous process. *Bioresour. Technol.* 142: 655-662
23. Montañés R., Pérez M., Solera R. (2014). Anaerobic mesophilic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of pH control. *Chem. Eng. J.* 255: 492-499
24. Montañés R., Solera R., Pérez M. (2015). Anaerobic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of temperature. *Bioresour. Technol.* 180: 177-184
25. Polematidis I., Koppa A., Pullammanappallil P., Seaborn S. (2008). Biogasification of sugarbeet processing by-products. *Sugar Ind. - Zuckerindustrie.* 133: 323-329
26. Połec B., Baryga A. (2016). Methanový fermentační proces cukrovarnických odpadů. *Listy Cukrovarnicke a Reparske* 132 (7/8), 246-252
27. Połec B., Baryga A., Szymański T. (2014). Можливості підвищення ефективності біогазових установок для бурякової маси. *Цукор України* 3, 55 – 62
28. Połec B., Baryga A., Szymański T. (2019). Monografia pt. Fermentacja metanowa organicznych odpadów cukrowniczych, jako źródło energii odnawialnej i bionawozu, 2019, ISBN 978-83-7583-902-9, wydawnictwo SGGW Warszawa
29. Połec B., Baryga A., Szymański T., Kowalska M. (2013). Wpływ preparatu bakteryjno - enzymatycznego Lactacel-W na procesy zakiszania i fermentacji metanowej wysłodków buraczanych. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 2, 46-69
30. Połec B., Baryga A., Szymański T., Małczak E. (2017) Methanová fermentace vyslazených cukrovarnických řízků s přidáním hovězí kejdy. *Listy Cukrovarnicke a Reparske*, 133 (11), 352-359
31. Połec B., Baryga A., Szymański T., Wołyńska W., Tobała A. (2010). Możliwość

- wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłoków buraczanych. Cz. II. Fermentacja półciągła wysłoków buraczanych *Gazeta Cukrownicza*, 5, 120 – 125
32. Połec B., Baryga A., Szymański T., Wołyńska W., Toboła A. (2011). Możliwość wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłoków buraczanych. Cz. III. Fermentacja ciągła wysłoków buraczanych *Gazeta Cukrownicza*, 4, 107-112
33. Połec B., Gozdek K., Baryga A., Szymański T. (2009). Możliwość wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłoków buraczanych. Część I: Fermentacja statyczna wysłoków buraczanych *Gazeta Cukrownicza*, 11-12, 278 - 283, 289, 293 i 305
34. Sikora J., Mruk B. (2016). Analiza ilościowa i jakościowa biogazu wydzielanego z wsadów skomponowanych na bazie dostępnych frakcji w gospodarstwie rolnym. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. nr III/2
35. Suhartini S., Heaven S., Banks C.J. (2014). Comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of sugar beet pulp: Performance, dewaterability and foam control. *Bioresour. Technol.* 152: 202-211
36. Vaneckhaute C., Meers E., Michels E., Ghekiere G., Accoe F., Tack F.M.G. (2013). Closing the nutrient cycle by using bio-digestion waste derivatives as synthetic fertilizer substitutes: A field experiment. *Biomass Bioenerg.* 55: 175-189
37. Ziemiński K., Kowalska-Wentel M. (2015). Effect of enzymatic pretreatment on anaerobic co-digestion of sugar beet pulp silage and vinasse. *Bioresour. Technol.* 180: 274-280
38. Ziemiński K., Kowalska-Wentel M. (2017). Effect of Different Sugar Beet Pulp Pretreatments on Biogas Production Efficiency. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 181: 1211-1227