

Зміни якості ґрунтових вод на плантації цукрових буряків, удобрених залишками з біогазової станції, яка працює на буряковому жомі

Анджей Барига, доктор-інженер, Інститут біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості ім. проф. Вацлава Домбровського у Варшаві

Боженна Полець, доктор, Інститут біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості ім. проф. Вацлава Домбровського у Варшаві

У 2009-2011 роках в Інституті цукроваріння Інституту біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості реалізовано працю на тему: Розробка способу метанового бродіння бурякового жому та інших відходів цукроваріння з виділенням високоенергетичного біогазу. В результаті проведеної роботи була створена технологія періодичного, напівбезперервного і безперервного метанового бродіння бурякового жому та інших відходів цукроваріння [Полець і ін. 2009, 2010, 2011, 2013; Полець, Барига 2011, Барига 2014]. Виробництво біогазу виявилось дуже хорошим і рентабельним способом переробки жому.

Однак після бродіння жому залишаються відходи з твердих і рідких складників. Внаслідок великої кількості залишків від бродіння, які містять біогенні речовини, з'являється необхідність шукати можливість їх ефективного освоєння.

Польща, як член Європейського Союзу, повинна виконувати ряд правил, в яких велика увага приділяється переробці відходів, а поява все більшої кількості біогазових станцій, які виробляють великі кількості залишків від бродіння, змушує шукати методи переробки, приязні до середовища та економічно обґрунтовані.

Тому в 2013 – 2015 роках в Інституті біотехнологій сільськогосподарської та харчової промисловості реалізували науково-дослідну роботу, що включала дослідження придатності залишків від процесу бродіння бурякового жому до використання на плантаціях енергетичної верби і кукурудзи та цукрового буряка.

У межах цієї праці на дослідній плантації цукрового буряка порівнювали результати застосування залишків від процесу бродіння бурякового жому з традиційним мінеральним добривом і отримали позитивні результати [Барига і ін. 2014,

2015, 2016; Барига, Полець 2015, 2016].

З проаналізованих літературних джерел слідує, що на даний час масово проводяться дослідження найбезпечнішого і, водночас, найкориснішого способу утилізації залишків від бродіння, яким є сільськогосподарське використання.

Аналіз літературних джерел щодо сільськогосподарського використання залишків від бродіння органічних відходів підтверджує можливість їх використання на плантаціях різних рослин [Серн і ін. 2007; Гуннарссон і ін. 2011; Бахманн і ін. 2014; Чен і ін. 2012; Берруто і ін. 2013; Папрота 2012; Колодзей 2012].

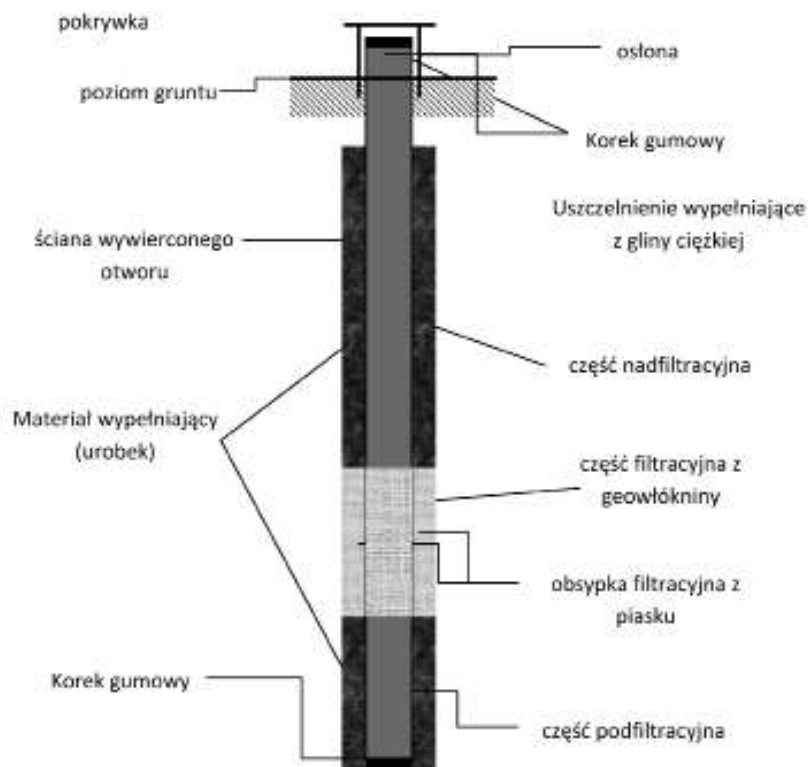
У публікаціях підкреслюється, що сільськогосподарське використання, завдяки вмісту у відходах біогенних зв'язків – азоту і фосфору – дозволяє у деяких випадках повністю усунути необхідність застосовувати мінеральні добрива на полях, що запобігає забрудненню ґрунтових вод добривами.

Необхідно підкреслити, що вивчені публікації однак не стосуються використання залишків від бродіння бурякового жому як добрива на плантаціях цукрового буряка.

На даний момент в Польщі у технічному масштабі працюють 2 станції виробництва біогазу з жому та інших відходів цукроваріння: у м. Гліноєцьк і Стшелін.

Поява нових біогазових станцій призведе до виробництва великої кількості залишків від бродіння, які, згідно з чинним законодавством, не можна складувати, а можна тільки утилізувати.

З економічної та логістичної точки зору найкращим рішенням буде сільськогосподарське використання залишків від бродіння бурякового жому на плантаціях цукрового буряка; на ділянках, що знаходяться неподалік від цукрового заводу і біогазової станції.



Кришка	Кожух
Рівень ґрунту	Гумова пробка
Стінка вищвердленого отвору	Наповнювач - ущільнення з важкої глини
Наповнювач (гірнична маса)	Надфільтруюча частина
Гумова пробка	Фільтруюча частина з геотекстилю
	Фільтруюча обсыпка з піску
	Підфільтруюча частина

Рис. 1. Схема п'езометру для забору ґрунтових вод

При використанні сільськогосподарських відходів необхідно виконувати багато вимог, що стосуються якості відходів та їх дозування, а також якості ґрунту, на якому вони застосовуються. Вони також не можуть впливати на погіршення якості підземних вод. У цій сфері у Польщі діють наступні правові акти:

1. Закон про відходи (Законодавчий збірник 2010 № 185 п.1243).

2. Закон Про захист довкілля (Законодавчий збірник 2008 № 25 п. 150, з пізн. зм.).

3. Закон про добриво і удобрення (Законодавчий збірник № 119, п. 765).

4. Постанова міністра довкілля з 1 серпня 2002 року про комунальні осади стічних вод (Законодавчий збірник № 134, п. 1140 і зм. Законодавчий збірник № 155/2002, п. 1299).

5. Постанова міністра довкілля від 6 лютого 2015 року про комунальні осади стічних вод (Законодавчий збірник 2015 № 0 п. 257).

6. Постанова міністра довкілля від 20 січня 2015 року про процес переробки R10 у справі процесу переробки R10 (Законодавчий збірник з 2015 року п. 132).

7. Постанова міністра сільського господарства і розвитку села від 18 червня 2008 року про виконання деяких постанов законів про добриво і удоб-

рення (Законодавчий збірник № 119, п. 765).

8. Закон від 10 липня 2007 року про добрива і удобрення (Законодавчий збірник № 147, п. 1033).

9. Постанова міністра довкілля від 21 грудня 2015 року про критерії та способи оцінки стану однорідних частин підземних вод (Законодавчий збірник 2016, № 0, п. 85)

10. Директива Ради 86/278/ЄЕС від 12 червня 1986 року про захист довкілля, особливо ґрунту, у випадку використання стічного осаду у сільському господарстві (Законодавчий збірник ЄС L № 181., Законодавчий збірник ЄС L 1991 № 377, Законодавчий збірник ЄС L 1995 № 90, Законодавчий збірник ЄС L 2003 № 122, Законодавчий збірник ЄС L 2009 № 87).

Дослідження проводилися у вегетаційний період 2016 р. на дослідних ділянках, що знаходяться на землі Інституту цукроваріння Інституту біотехнологій сільськогосподарської і харчової промисловості у м. Лешно.

Для вирощування вибрали цукрові буряки сорту «Beta vulgaris Fighter».

Для удобрення плантації застосовували залишки після бродіння бурякового жому з промислової біогазової станції на цукровому заводі у м. Гліноецьк у кількості, що відповідала дозі азоту у розмірі 120 кг N/га.

На кожній ділянці установили п'езометри (Ø 50 мм) для забору вільних (гравітаційних) ґрунтових вод, виконані згідно із схемою, представленою на малюнку 1. Фільтруючий шар знаходився на глибині 1 м.

Забір п'езометричної води для дослідження відбувався за допомогою вакуумного насоса перед удобренням плантації (у квітні), а потім періодично під час вегетації буряків та після їх збирання (у червні, липні, серпні і вересні).

Застосовували наступні методи досліджень: рН - потенціометричний, ХСК_{Cr} – біхроматний, провідність – кондуктометричний, кальцій - титрометричний, магній - титрометричний, хлориди – титрометричний, сульфати – спектрофотометричний метод, нітратний азот - спектрофотометричний, нітритний азот – спектрофотометричний, іон амонію - титрометричний, фосфати – спектрофотометричний метод, легкі метали (Na, K) – атомно-абсорбційна полум'яна спектрометрія (FAAS), ХСК_{Cr} – біхроматний і карбонатна твердість – титрометричний.

Результати дослідження ґрунтових вод, взятих на дослідній плантації цукрового буряка, удобреної залишками від бродіння бурякового жому, перед внесенням добрив та посівом буряків та в період вегетації, наведені у **таблиці 1**.

У **таблиці 2** представлені результати дослідження ґрунтових вод, взятих на дослідній плантації цукрового буряка, удобреної залишками від

бродіння бурякового жому, перед внесенням добрив і посівом буряків, а також середні результати за весь вегетаційний період.

У цій таблиці також представлені граничні значення для ґрунтових вод і класу якості води на дослідній плантації цукрового буряка, удобреного залишками від бродіння жому.

Граничні значення для ґрунтових вод і класу якості води визначені на підставі Постанови міністра довкілля від 21 грудня 2015 р. про критерії та спосіб оцінки стану однорідних частин підземних вод (Законодавчий збірник 2016, № 0, п. 85).

На підставі результатів досліджень, наведених у **таблицях 1 і 2**, можна стверджувати, що залишки від бродіння з біогазової станції не викликали значної зміни реакції вод, а також вмісту аміачного азоту, натрію і калію у п'езометричних водах, у порівнянні з водами, взятими у п'езометрах з контрольних ділянок, де застосовувалося мінеральне добриво. Вищевказані показники коливалися у нормативно визначених межах для ґрунтових вод чистоти I класу.

Один з найважливіших показників, що свідчить про суму розчинених солей, тобто провідність зібраних на ділянках вод, не виявляв суттєвої різниці між станами до внесення добрив. Провідність вод коливалася у межах, законодавчо визначених для ґрунтових вод II класу чистоти.

Аналогічно вміст іонів SO₄²⁻ не перевищував нор-

Таблиця 1

Результати дослідження ґрунтових вод на дослідній плантації цукрових буряків, удобрених залишками від бродіння бурякового жому з біогазової станції

Показник	Одиниці вимірювання	Значення показника у взятих водах:				
		перед внесенням добрив	після внесення добрив, у період вегетації буряка, у місяці:			
		квітень	червень	липень	серпень	вересень
Реакція	рН	7,88	7,68	7,67	7,67	7,60
Провідність	мкS/см	1048,00	1303,33	1347,78	1534,29	1031,67
Кальцій	мг Са/л	207,20	262,67	332,57	329,33	298,00
Магній	мг Mg/л	39,86	37,01	52,77	70,73	67,74
Хлориди	мг Cl/л	93,90	147,75	172,86	272,14	73,00
Сульфати	мг SO ₄ /л	85,90	113,13	105,14	86,67	75,00
Нітрати	мг NO ₃ /л	148,51	191,76	148,30	80,44	100,70
Нітрити	мг NO ₂ /л	0,35	0,68	0,49	0,39	0,36
Іон амонію	мг NH ₄ /л	0,24	0,00	ślad	ślad	0,00
Фосфати	мг PO ₄ /л	3,12	3,09	1,86	1,92	3,45
Натрій	мг Na/л	14,56	13,39	9,45	9,69	22,14
Калій	мг K/л	4,57	5,13	6,13	4,30	2,69
ХСК	мг O ₂ /л	68,80	63,89	102,00	68,57	50,00
Карбонатна твердість	мг СаО/л	2,34	3,08	3,19	4,29	4,97

Таблиця 2

Середні результати дослідження ґрунтових вод на дослідній плантації цукрового буряка, удобреної залишками від бродіння бурякового жому з біогазової станції, та граничні значення для ґрунтової води і класу води

Показник	Одиниці вимірювання	Значення показника і класу води					
		перед удобренням залишками від бродіння з біогазової станції			після удобрення залишками від бродіння з біогазової станції і збору сировини		
		значення дослідного показника	граничне значення для ґрунтової води	клас води, взятої з ділянок	значення дослідного показника	граничне значення для ґрунтової води	клас води, взятої з ділянок
Реакція	pH	7,88	6,5–9,0	I	7,66	6,5–9,0	I
Провідність	мкS/см	1048,00	2500	II	1304,27	2500	II
Кальцій	мг Ca/л	207,20	300	IV	305,64	>300	V
Магній	мг Mg/л	39,86	50	II	57,06	100	III
Хлориди	мг Cl/л	93,90	150	II	166,44	250	III
Сульфати	мг SO ₄ /л	85,90	250/	II	94,99	250	II
Нітрати	мг NO ₃ /л	148,51	>100/	V	130,30	>100	V
Нітрити	мг NO ₂ /л	0,35	0,5/	III	0,48	0,5	III
Іон амонію	мг NH ₄ /л	0,24	0,5/	I	0,00	0,5	I
Фосфати	мг PO ₄ /л	3,12	5/	IV	2,58	5	IV
Натрій	мг Na/л	14,56	60/	I	13,67	60	I
Калій	мг K/л	4,57	10/	I	4,56	10	I
ХСК	мг O ₂ /л	68,80	Ненормований показник		71,12	Ненормований показник	
Карбонатна твердість	мг CaO/л	2,34	Ненормований показник		2,88	Ненормований показник	

ми, визначеної для вод II класу чистоти.

Аналіз вмісту кальцію у п'езометричних водах, взятих з ділянок як перед внесенням добрив, так і після збору сировини, виявив відсутність впливу мінерального добрива на суттєву зміну рівня цього елемента. В обох випадках підтверджено якість, що відповідала IV класу чистоти.

Натомість встановлено, що вміст кальцію у п'езометричних водах, взятих з ділянок після удобрення залишками від бродіння з біогазової станції, був вищим, ніж у водах після удобрення, взятих після збору сировини, що викликало зниження класу чистоти з IV на V.

Вміст нітритів у п'езометричних водах, взятих з ділянок після удобрення залишками від бродіння, суттєво відрізнявся від виявленого у водах перед внесенням добрива. Води з ділянок перед внесенням добрив продемонстрували якість, що відповідає III класу чистоти. Води, взяті з ділянок, удобрених залишками від бродіння з біогазової станції, характеризувалися V класом чистоти.

Вміст хлоридів у п'езометричних водах у дослідний період для вод, взятих на ділянках, удобрених залишками від бродіння, відрізнявся від

вод, взятих перед внесенням добрив на плантації. При удобренні залишками від бродіння якість ґрунтових вод погіршилася з II до III класу чистоти у період вегетації буряків відносно стану перед застосуванням добрива.

У випадку фосфатів і нітратів, які становлять предмет найбільшого зацікавлення у зв'язку з їх значенням як основних чинників, що викликають евтрофікацію вод, суттєвого впливу застосованого добрива не виявлено. Ці показники в обидвох випадках (фосфатів і нітратів) наближались до визначених перед внесенням добрив. Для фосфатів в обох випадках якість води відповідала IV класу чистоти, а для нітратів – V.

Різниця у значеннях показника ХСК, який відображає присутність у водах органічних речовин, була незначною. Також не виявлено значного впливу способу внесення добрив на якість ґрунтових вод відносно показника загальної твердості. Ці показники законодавчо нормовані в аспекті чистоти ґрунтових вод.

Висновки

Підсумовуючи, п'езометричні води, взяті на дослідних ділянках, не виявили суттєвих змін в облас-

ті найважливіших хімічних параметрів під впливом внесення у ґрунт залишків від бродіння бурякового жому з біогазової станції у дослідних дозах.

Після закінчення вегетаційного сезону і збору буряків для жодного параметру якості води не стверджено погіршення до значень, визначених для позакласових вод.

Отже, можна стверджувати, що застосування залишків від бродіння бурякового жому з біогазової станції виявилось заходом безпечним для довкілля. ■

Список використаних джерел

1. Bachmann S., Gropp M., Eichler-Löbermann B. (2014): Phosphorus availability and soil microbial activity in a 3 year field experiment amended with digested dairy slurry *Biomass and Bioenergy* 70, 429-439.
2. Baryga A. (2014): Cukrownie wytwarzające gaz. *Харчовик (Прzemysł Spożywczy)* 2014, 11-12, 1-5.
3. Baryga A., Połec B. (2015): Wpływ nawożenia plantacji buraka cukrowego odpadami powstałymi podczas fermentacji miazgi na jakość surowców i gleby. *Cukier Ukrainy*, nr 2 (110), s. 43 – 50.
4. Baryga A., Połec B., Skibniewska K., Klasa A. (2014): Możliwości wykorzystania pozostałości po fermentacji metanowej odpadów cukrowniczych w rolnictwie (poster na konferencję naukową „Burak cukrowy, Cukier, Energia”, 2014, Warszawa, SGGW).
5. Baryga A., Połec B., Szymański T., Wołyńska W. (2015): Wpływ nawożenia kukurydzy pozostałościami po fermentacji wysłodków buraczanych na przyrost biomasy i wartość energetyczną. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego* t. 70 (2), 36-52.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Berruto R., Busato P., Bochtis D.D., Sørensen C., G. (2013): Comparison of distribution systems for biogas plant residual. *Biomass and Bioenergy* 52, 139-150.
10. Chen R., Blagodatskaya E., Senbayram M., Blagodatsky S., Myachina o., Dittert K., Kuzyakov Y. (2012): Decomposition of biogas residues in soil and their effects on microbial growth kinetics and enzyme activities *Biomass and Bioenergy* 45, 221-229.
11. Cirne D.G., Lehtomäki A., Björnsson L., Blackall L.L. (2007): Hydrolysis and microbial community analyses in two-stage anaerobic digestion of energy crops *Journal of Applied Microbiology* 103, 516–527
12. Gunnarsson A., Lindén B., Gertsson U. (2011): Biodigestion of Plant Material Can Improve Nitrogen Use Efficiency in a Red Beet Crop Sequence. *HORT SCIENCE*, 46 (5) s. 765–775.
13. Kołodziej A.U. (2012): Przetwarzanie i nawozowe wykorzystanie masy pofermentacyjnej z biogazowni rolniczej. *Bałtyckie forum biogazu Ekoenergetyka –Biogaz* 17-18 września 2012 s. 235-253.
14. Paprota E. (2012): Proces fermentacji metanowej sposobem otrzymywania pełnowartościowego nawozu organicznego. *Seminarium Naukowe “Popularyzacja prac badawczo-rozwojowych z zakresu odnawialnych źródeł energii”*, Lublin, 1.02.2012 r.
15. Połec B., Gozdek K., Baryga A., Szymański T. (2009): Możliwość wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłodków buraczanych. Część I: Fermentacja statyczna wysłodków buraczanych *Gazeta Cukrownicza*, nr 11-12, s. 278 - 283, 289, 293 i 305.
16. Połec B., Baryga A., Szymański T., Wołyńska W., Toboła A. (2010): Możliwość wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłodków buraczanych. Cz. II. Fermentacja półciągła wysłodków buraczanych *Gazeta Cukrownicza*, nr 5, s. 120 - 125.
17. Połec B., Baryga A., Szymański T., Wołyńska W., Toboła A. (2011): Możliwość wytwarzania biogazu w procesie fermentacji metanowej wysłodków buraczanych. Cz. III. Fermentacja ciągła wysłodków buraczanych *Gazeta Cukrownicza*, nr 4, s. 107-112.
18. Połec B., Baryga A. (2011): Warunki i efekty procesu biogazowania wysłodków buraczanych. *Materiały z Konferencji Międzynarodowej „Rozwój przemysłu cukrowniczego w aspekcie wdrażania systemów jakości oraz doskonalenia jakości żywności, pasz i ochrony środowiska”*, Leszno, 2011.
19. 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.