

BURAK CUKROWY JAKO SUBSTRAT DO BIOGAZOWNI*

Małgorzata Fugol

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Krzysztof Pilarski

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W pracy określono potencjał produkcji biogazu z buraka cukrowego, a dokładnie z jego odpadów (przetwórstwa z przemysłu cukrowniczego). Oprócz wykazania, że burak cukrowy to dobrze fermentujący substrat, wskazano także problemy jakie mogą wynikać w związku z jego zastosowaniem w instalacji biogazowej. Wiąże się to przede wszystkim z nieodpowiednim przechowywaniem i przygotowaniem substratu, co skutkuje niepożądanym zaburzeniem procesu.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, biogazownia, substrat, szanse, zagrożenia

Wstęp

Burak cukrowy kojarzony jest przede wszystkim przemysłem cukrowniczym i długo nie był doceniany jako substrat do biogazowni. Pomimo wiedzy o dużym potencjale plonotwórczym z ha (największym wśród roślin uprawnych plonowaniu – ok. 70 a nawet 100 t z 1 ha przy odpowiedniej agrotechnice, według danych KWS Polska Sp. z o.o.) oraz wysokim potencjale pozyskiwania biogazu / kg s. m. buraki cukrowe wykorzystywano jak dotąd, jako wsad w nielicznych biogazowniach.

Jednak restrykcyjna unijna reforma rynku cukru i związane z nią znaczne zmniejszenie obszaru upraw buraków dla cukrownictwa zwróciły uwagę plantatorów oraz producentów biogazu na nowe możliwości wykorzystania tej rośliny – wykorzystanie energetyczne (do produkcji bioetanolu i biogazu). Tym bardziej, że za uprawą buraków cukrowych przemawiają w rolnictwie argumenty zachowania prawidłowego płodozmianu oraz wysoki stan wiedzy rolników na temat uprawy buraków. Idzie to w parze z posiadaniem w parku maszynowym części gospodarstw rolnych odpowiednich urządzeń do uprawy i zbioru tych roślin.

* *Praca wykonana w ramach projektu „Przedsiębiorczy doktorant – inwestycja w innowacyjny rozwój regionu” realizowanego przez Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego we Wrocławiu w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytetu VIII, Działania 8.2, Podziałania 8.2.2.*

Innym ważnym powodem, dla którego przychylniej patrzy się na energetyczne zastosowanie między innymi buraka cukrowego, są naciski Unii Europejskiej na kraje członkowskie w aspekcie podjęcia działań, które przyczyniłyby się do zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie energetycznym. Podyktowane jest to Unijnym Pakietem energetyczno-klimatycznym 3x20, którego istota polega nie tylko na zmniejszeniu zużycia energii pierwotnej, ograniczeniu emisji CO₂ ale także na rozwoju energetyki odnawialnej (z naciskiem na rozproszoną kogenerację lokalną) w dużej mierze z wykorzystaniem biomasy. Normatywa ta przyczynia się zatem do rozwoju sektora energetyki w Polsce i zmusza do poszukiwania alternatywnych surowców dla biogazowni, gorzelnii, itd.

Pomimo wielu niewątpliwych zalet buraka cukrowego jako surowca energetycznego istotnym powodem, dla którego nie jest powszechnie wykorzystywany w biogazowniach jest problem z długotrwałym przechowywaniem korzeni i zanieczyszczenia mineralne korzeni po zbiorze. Problem przechowywania dotyczy także odpadów z przetwórstwa buraka – z przemysłu cukrowniczego, tj.: wysłodków, melasu czy ogonków buraków. Ciągłe prace nad udoskonaleniem technologii przechowywania i zakiszania buraków i odpadów z ich przetwórstwa dają nadzieję na stosowanie ich w biogazowniach rolniczych na większą niż obecnie skalę.

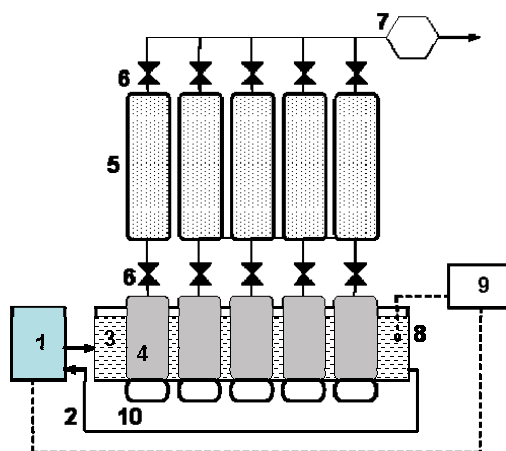
Cel pracy

Celem podjętych badań było określenie potencjału biogazowego buraka cukrowego oraz strat energetycznych wynikających ze złego przechowywania buraków cukrowych i odpadów poprodukcyjnych z przemysłu cukrowniczego – korzeni buraków, wysłodków, melasu. Ocena przydatności stosowania tych substratów do biogazowni opierała się nie tylko na wskazaniu ich szans jako dobrze fermentujących substratów, ale przede wszystkim na wskazaniu strat, które wynikają głównie z nieodpowiedniego przechowywania i przygotowania do fermentacji, co skutkuje niepożądanym zaburzeniem procesu fermentacji.

Metoda i zakres badań

Praca została wykonana w oparciu o źródła literaturowe oraz wyniki doświadczeń laboratoryjnych. Materiał badawczy stanowił burak cukrowy i odpady poprodukcyjne z przemysłu cukrowniczego – korzenie buraków, wysłodki, melasa. Materiał użyty do fermentacji pomimo, że pochodził z tego samego źródła, był podany do reaktorów w trzech postaciach: jako świeży (od razu poddany fermentacji), przechowywany przez kilka dni przed poddaniem fermentacji oraz odmrożony (po wyjęciu z chłodni). Ogonki buraków zostały użyte do doświadczeń laboratoryjnych w dwóch formach: świeżej (na wykresach mają symbol KB2) oraz jako odmrażane w temperaturze pokojowej przez ok. dobę, po wcześniejszym przechowywaniu w chłodni (o symbolu KB1). Wysłodki (na wykresach mają symbol W) również podane były do fermentora po odmrożeniu, analogicznie jak w przypadku ogon-

ków buraków. Melasa zaś została poddana fermentacji po kilkudniowym przechowywaniu w otwartym naczyniu w laboratorium (ma na wykresach symbol M). Wymienione substraty zostały poddane fermentacji statycznej w celu określenia ich przydatności do produkcji biogazu na podstawie codziennie mierzonej ilości i składu otrzymanego z nich gazu. Fermentacja prowadzona była na stanowisku (rys. 1) złożonym ze szklanych fermentorów o pojemności 2000ml (napelnienie wsadem 1200 ml) zanurzonych w łaźni wodnej, w temperaturze 38°C.



Rys. 1. Schemat stanowiska do prowadzenia fermentacji: 1 – Ogrzewacz wody z regulatorem temperatury, 2 – Izolowane przewody cieczy ogrzewającej, 3 – Płaszcz wodny o temp. 36-38°C, 4 – Fermentor z wsadem, 5 – Zbiorniki na biogaz, 6 – Zawory odcinające, 7 – Analizator biogazu (CH₄, CO₂, NH₃, H₂S, O₂), 8 – Sensor temperatury, 9 – Centrala kontrolno-pomiarowa, 10 – Mieszadła magnetyczne wsadu

Fig. 1. A schematic diagram of the research position for conducting a process of fermentation 1 – Water heater with temperature regulator, 2 – Isolated lines of heating liquid, 3 – Water jacket with temperature of 36-38°C, 4 – Fermentor with feedstock, 5 – Biogas containers, 6 – Cut-off valves, 7 – Biogas analyser (CH₄, CO₂, NH₃, H₂S, O₂), 8 – Temperature sensor, 9 – Control-measurement switchboard, 10 – Feedstock magnetic stirrer

Wydajność substratu do produkcji biogazu jest określana między innymi przy pomocy trzech parametrów: masy substratu pozyskanej z jednostki powierzchni, wydajności energetycznej w przeliczeniu na jednostkę substratu i czasu konwersji. Plon buraka cukrowego uzyskiwany z jednostki powierzchni to ok. 70 t·ha⁻¹, a zatem jest o ok. 20% większy niż w przypadku kukurydzy (55 t·ha⁻¹), tak popularnej jako substrat biogazowy (tabela 1). Burak cukrowy charakteryzuje się bardzo krótkim czasem konwersji i optymalnym stopniem rozkładu, gdyż do 75% jego masy organicznej to sacharoza a ponad 90% to cukry, które w porównaniu do białek i tłuszczu (tabela 2) rozkładają się najszybciej [Von Felde 2008].

Tabela 1. Wydajność biogazu z hektara dla różnych upraw polowych
Table 1. Biogas efficiency from one hectare for different field crops

Substrat	Plon [t·ha ⁻¹]	Metan [m ³ ·t s. m.]	Metan [m ³ ·ha ⁻¹]
Zboża	8	426	2.749
Kukurydza	60	325	5.496
Buraki cukrowe	70	442	6.757
Liście buraków	42	324	1.306
Buraki + liście	112	417	8.063

Źródło: KWS Polska Sp. z o. o.

Tabela 2. Ilość i skład biogazu otrzymywanego z różnych związków
Table 2. An amount and a composition of biogas obtained from various compounds

Substrat	Produkcja biogazu [dm ³ ·kg ⁻¹]	Zawartość metanu [%]	Zawartość CO ₂ [%]
Cukry	790	50	50
Tłuszcze	1250	68	32
Białka	700	71	29

Źródło: Cebula, Latocha, 2005

Buraki na energetyczne wykorzystanie zbiera się z główkami (liście odcinane są 3-4 cm nad powierzchnią buraka), a to powoduje, że plon z 1 ha wzrasta o 3-7%. Inną zaletą takiego zbioru jest fakt, że korzeń bez uszkodzeń przechowuje się o wiele lepiej. Ponadto substrat ten cechuje się dużą buforowością, co powoduje synergizm działania w mieszance z innymi (np. w kiszonce z kukurydzą). Może to także stanowić istotny czynnik stabilizujący proces fermentacji (co potwierdzają wartości LKT/OWO [Strachota 2008], poprzez utrzymanie optymalnego rozwoju mikroflory w fermentatorze [KWS Polska]. Burak cukrowy jest niezwykle wydajną, pod względem otrzymywane ilości biogazu (dobowa ilość to 500-700 m³·Mg⁻¹ s.m.). Wykorzystanie buraka jako monosubstratu związane by było z koniecznością częstego uzupełniania wsadu. Jednak jako kosubstrat burak sprawdza się jako przyspieszacz procesu fermentacji [Strachota 2008].

Według Malca (2007) procesy degradacji, które zachodzą w buraku podczas jego przechowywania można podzielić na:

- biofizyczne (ubytek masy przede wszystkim poprzez utratę wilgotności),
- biochemiczne (efekt działania endoenzymów),
- fizjologiczne (oddychanie, porastanie),
- mikrobiologiczne (efekt działania mikroflory).

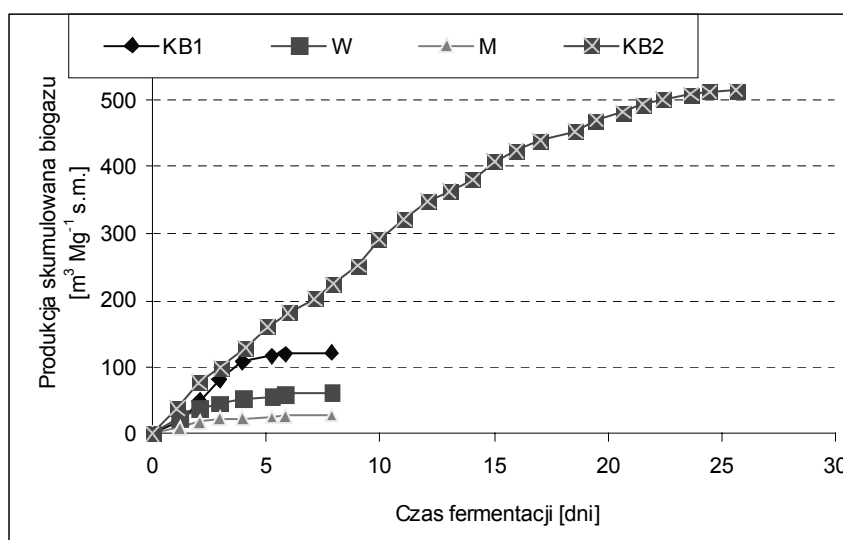
Podstawowymi czynnikami środowiska zaś, które wpływają na przebieg przechowywania są: temperatura, wilgotność, skład gazowy powietrza, w tym powietrza w przyłomie. Przy nadmiernej zawartości CO₂ i braku O₂ oddech ma charakter beztlenowy, co zwiększa straty cukru i stwarza to warunki do gnicia buraków [Dobrzycki 1988]. Burak nie był długo wykorzystywany w biogazowniach ze względu na znaczny udział zanieczyszczeń mineralnych a także brak niezawodnej metody przechowywania korzeni. W trakcie zbioru na po-

wierzchni korzeni znajduje się ziemia, piasek, który jeśli trafi do fermentora spowoduje jego niebezpieczne zanieczyszczenie. Skład mikroflory na powierzchni buraka jest tożsamy z mikroflora, bytującą w glebie, na której ta roślina rosła. W związku z tym niezbędne jest kłopotliwe mycie lub mechaniczne czyszczenie korzeni po zbiorze. Czynność ta wymaga niestety dodatkowego nakładu energii.

Buraki można wykorzystać jako wsad do biogazowni w świeżej formie (od razu po zbiorze), zmagazynowanej w przyzmach (40-60 dni) lub w kiszzonej (w rękawach, balotach). Składowanie buraków w przyzmach przykrytych wraz z pierwszymi przymrozkami agrowłókniną (chroni przed ujemną temperaturą, deszczem, jednocześnie zapewniając wentylację) jest coraz powszechniejsze i sprawia, że w dobrym stanie można je przechowywać pod warunkiem, że do przyzmy trafiają korzenie czyste, zdrowe i nieuszkodzone. Tak ważną jest ochrona buraków przed zamarznięciem lub zamrożeniem, gdyż wówczas (w temp. od -3°C w dół) i później w czasie odtajania dochodzi do uszkodzeń wewnątrzkomórkowych i utracie odporności [Chelemski, Pelc, Sapożnikowa 1981]. Towarzyszy temu intensywny rozwój bakterii, które rozkładają sacharozę. Wspomniane procesy uniemożliwiają wykorzystanie buraków do fermentacji, gdyż zaburzyłyby jej prawidłowy przebieg. Zmrożone buraki są podatne na działalność mikroorganizmów a procesy biochemiczne i mikrobiologiczne zachodzące w nim powodują ogólną utratę wartości technologicznej. Gdy temperatura powietrza utrzymuje się około i powyżej 10°C , wtedy należy zdjąć włókninę bądź chociaż odchylić. Istotny jest także sam zbiór. Powinien on być przeprowadzany w taki sposób, by zminimalizować straty w trakcie jego wykonywania. W okresie zbioru mogą powstać straty, tj. : powierzchniowe (buraki pozostałe na powierzchni pola), podpowierzchniowe (buraki nie wyorane i obłamane), straty na skutek nieprawidłowego ogłownienia (zbyt niskiego lub zbyt wysokiego), straty na skutek uszkodzeń mechanicznych korzenia [Bzowska-Bakalarz, Bieganowski 2008]. Straty mechaniczne skutkują dużą utratą cukru podczas przechowywania w wyniku zwiększonego oddychania uszkodzonej tkanki. Ponadto uszkodzona tkanka to 'drzwi otwarte' dla wszelkich grzybów, pleśni czy bakterii, które powodują na przykład gnicie. Mechaniczne uszkodzenia 3,5-krotnie przyspieszają proces oddychania [Chelemski, Pelc, Sapożnikowa 1981]. W przeciętnych warunkach pogodowych dzienna strata ilości cukru wynosi ok. 0,1% wobec całkowitej ilości cukru zawartego w przyzmię, w związku z czym należy dokładać wszelkich starań aby w trakcie przechowywania te straty były jak najmniejsze a przyzmy formować dopiero z nastaniem pierwszych przymrozków, nie wcześniej (zapobiegamy w ten sposób stratom cukru). Zahamowanie rozwoju mikroorganizmów i ich działalności biochemicznej powoduje zmniejszenie zużycia sacharozy. Straty cukru w przyzmię zachodzą również poprzez oddychanie (70% wszystkich strat cukru), które powoduje także zmniejszanie masy korzeni oraz podnoszenie temperatury w przyzmię. Sytuacja staje się jeszcze bardziej niebezpieczna, gdyż temperatura powietrza wzrasta. Wówczas oddychanie gwałtownie się wzmaga wraz z wydzielaniem ciepła a to prowadzi do przegrzewania przyzmy, porastania buraków i ich gnicia. Im przyzma bardziej zanieczyszczona ziemią, chwastami, tym sytuacja jest groźniejsza [Łepkowski 2008].

Wyniki i ich omówienie

Z przeprowadzonych badań wynika, iż produkcja biogazu z jednostki suchej masy w przypadku ogonków buraków poddanych fermentacji w świeżej formie wynosi ponad $500 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \text{ s.m.}$, w tym zawiera ok. $300 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1} \text{ s.m.}$ metanu. Stanowi to naprawdę wysoki wynik wśród innych substratów pochodzenia roślinnego. Szczyt fermentacji nastąpił w 25 dniu. Niestety fermentacja pozostałych substratów użytych w doświadczeniu nie przebiegła tak imponująco. Co prawda fermentacja wszystkich substratów została zapoczątkowana prawidłowo, jednak po kilkudziesięciu godzinach załamała się przez co zostało zahamowane wytwarzanie biogazu.

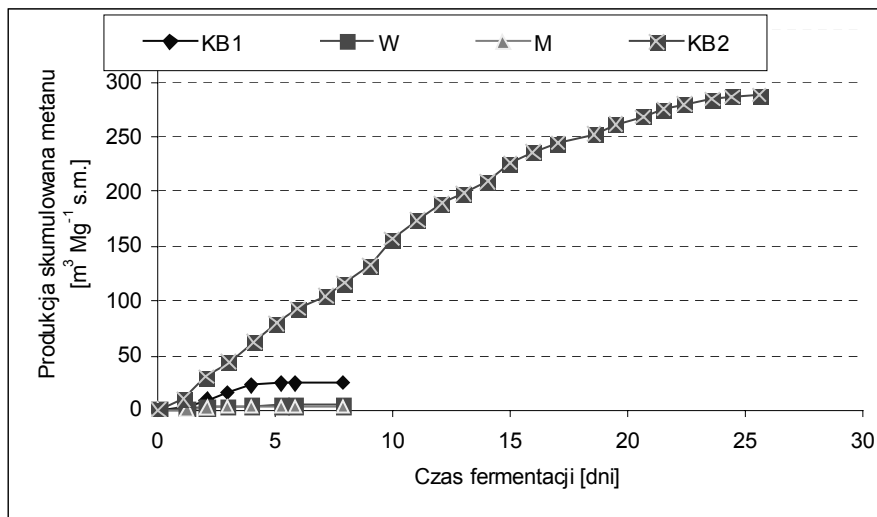


Rys. 2. Produkcja skumulowana biogazu w przeliczeniu na jednostkę suchej masy: KB1 – korzenie buraków 1; W – wysłodki; M – melasa; KB2 – korzenie buraków 2

Fig. 2. Cumulated biogas production expressed in a dry mass unit KB1 – sugar beet roots 1, W – beet pulp, M – beet molasses, KB2 – sugar beet roots 2

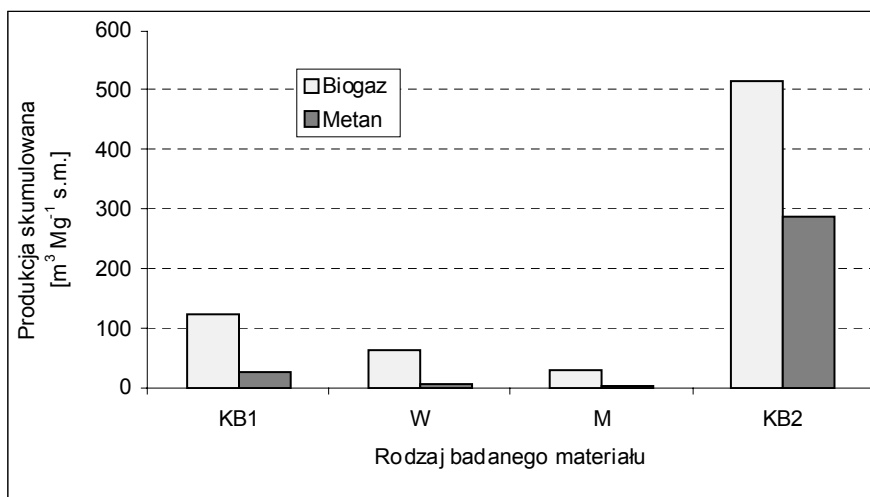
Najdłużej, bo przez 4 dni, prawidłowo przebiegała fermentacja z odmrożonych ogonków buraków (KB1) z tym, że produkcja metanu była marginalna. Wytwarzała się za to duża ilość CO_2 . Jeśli zaś chodzi o melasę i wysłodki to ich fermentacje załamały się już po 1-2 dniach, a metan się w ogóle nie wytworzył. Za to w składzie biogazu dominował CO_2 .

Powstała wątpliwość dlaczego fermentacja metanowa trzech substratów w zasadzie nie zaszła. Postawiono zatem hipotezę, że skoro została zahamowana na początku pożądana fermentacja to znaczy, że substraty nie były odpowiednio przygotowane i uległy wtórnemu zakażeniu przed fermentacją. Nadal jednak zastanawiająca była duża zawartość CO_2 w otrzymanym gazie z trzech substratów. I tu nasunął się wniosek, iż prawdopodobnie zaszła w sposób niekontrolowany fermentacja alkoholowa. Aby zweryfikować przypuszczenia przebadano wysłodki i ogonki buraków (KB1) na chromatografii cieczowym, co wykazało zawartość etanolu (tabela 3) i produktów ubocznych w tych substratach



Rys. 3. Produkcja skumulowana metanu w przeliczeniu na jednostkę suchej masy: KB1 – ogonki buraków 1, KB2 – ogonki 2, W – wysłodki, M – melasa

Fig. 3. Cumulated methane production expressed in a dry mass unit: KB1 – sugar beets stalks, KB2 – sugar beets stalks2, W – beet pulp, M – beet molasses



Rys. 4. Łączna produkcja skumulowana biogazu i metanu w przeliczeniu na jednostkę suchej masy: KB1 – ogonki buraków 1, KB2 – ogonki 2, W – wysłodki, M – melasa

Fig. 4. Total cumulated biogas and methane production expressed in a dry mass unit KB1 – sugar beet roots 1, KB2 – sugar beet roots 2, W – beet pulp, M - beet molasses

Tabela 3. Zawartość etanolu w ogonkach buraków (KB1) oraz wysłodkach
 Table 3. Ethanol content in beet stems (KB1) and in beet pulp

Substrat	Etanol	Kwas bursztynowy	Kwas Mlekowy	Kwas octowy
	[g·l ⁻¹]			
ogonki buraków (KB 1)	14,28 –17,22	0,61 – 0,74	0,01 - 0,02	56,89 -88,88
wysłodki buraków (W)	9,91 -12,13	0,42 -0,75	0	23,14 - 33,54

Źródło: opracowanie własne

Badanie chromatografem potwierdziło zawartość etanolu w dwóch substratach. Ponadto wykryto także dużą zawartość kwasu octowego. Mogą być co najmniej dwa różne powody wykrycia jego zawartości w tych substratach, tj.;

- w fazie octanogenezy fermentacji ‘metanowej’ zawsze produkowany jest kwas octowy,
- w wyniku nieodpowiedniego przechowywania buraków może się w nich wytworzyć kwas octowy w związku z procesami jakie w nim zaszły, jednym z procesów jest fermentacja alkoholowa (przy której powstaje szereg produktów ubocznych, między innymi: gliceryna, kwas bursztynowy i kwas octowy).

Najbardziej logiczne jednak jest uzasadnienie zajścia fermentacji alkoholowej. Zawartość kwasu octowego potwierdza zainicjowanie tej fermentacji w fermentorach z trzema substratami (wysłodki, melasa i ogonki buraków KB1). Wniosek ten niepodważalnie łączy się z przypuszczeniem, iż substrat był nieodpowiednio przygotowany, a raczej przechowywany. Jak się okazuje przechowywanie źle przygotowanego substratu niesie ze sobą ogromne ryzyko utraty kontroli nad procesem fermentacji i jej zatrzymania. Należy pamiętać, iż burak cukrowy stanowi doskonałą pożywkę dla mikroorganizmów i właśnie w tym przypadku doszło najprawdopodobniej do zakażenia wtórnego substratów w trakcie przechowywania (w przypadku melasy) i odmrażania w przypadku ogonków buraków (KB1) i wysłodków.

Podsumowanie i wnioski

Doświadczenie laboratoryjne oraz przytoczone dane literaturowe uzmysławiają jak wydajna może być fermentacja buraków oraz odpadów z ich przetwórstwa, ale także jak istotne jest opanowanie odpowiedniego przechowywania substratu przed podaniem go do fermentora w celu uniknięcia zajścia negatywnych procesów m.in. przemarzania, zakażeń, które rzutują negatywnie na przebieg fermentacji. Przytoczona analiza wskazuje, że:

1. Burak cukrowy jako substrat jest rośliną o dużym potencjale biogazowym.
2. Burak cukrowy jest 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.

3. Przed podaniem buraków cukrowych do fermentora niekiedy trzeba poddać go obróbce termicznej w celu wyeliminowania czynników biologicznych, zaburzających przebieg fermentacji.
4. Należy udoskonalać metody konserwujące buraki cukrowe (np. kiszenie w przyzmacz), dzięki czemu będą substratem dostępnym niemal przez cały rok dla instalacji biogazowych.

Bibliografia

- Bzowska-Bakalarz M., Bieganowski A.** 2008. Kodeks dobrych praktyk w produkcji buraków cukrowych. Wyd. Instytutu Agrofizyki PAN, Lublin. s. 36.
- Cebula J., Latocha L.** 2005. Biogazownie rolnicze elementem gospodarczego wykorzystania pozostałości z produkcji rolniczej oraz rozwoju rozproszonej energetyki odnawialnej. Mat. Sem. „Biogazownie rolnicze elementem gospodarczego wykorzystania biomasy z produkcji rolniczej, ochrony środowiska naturalnego oraz rozwoju rozproszonej energetyki odnawialnej”. Mikołów.
- Chelemski M. Z., Pelc M. Ł., Sapożnikowa I. P.** 1981. Biochemia w cukrownictwie. Wyd. Naukowo-Techniczne. Warszawa.
- Dobrzycki J.** 1988. Poradnik Inżyniera Cukrownictwa. Wyd. Naukowo-Techniczne. Warszawa. s. 94.
- Łepkowski P.** 2008. Cukier w przyźmie. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego. Nr 4. s. 14-17,
- Malec. J.** 2007. Przechowywanie buraków cukrowych. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego. Nr 4. s. 37-38.
- Strachota R.** 2008. Czas na biogaz. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego. Nr 3. s. 30-32.
- Von Felde. A.** 2008. Innowacyjne wykorzystanie buraka cukrowego w fermentacji biogazowej. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego. Nr 4. s. 36-38.
- KWS Polska Sp. z o.o. Burak cukrowy wydajny substrat energetyczny do produkcji biogazu.pdf. Materiał z internetu: www.kws.pl.

SUGAR BEET AS A SUBSTRATE FOR BIOGAS PLANTS

Abstract. The potential of sugar beet biogas production was determined in the study, particularly its food processing waste from the sugar industry. Apart from indicating that sugar beet constitutes a well fermenting substrate, problems which may result from using this source in the biogas installation were also indicated. First of all, it is connected with improper storage and preparation of the substrate, which results in an undesired disturbance of the process.

Key words: sugar beet, biogas plants, substrate, chances, dangers

Adres do korespondencji:

Małgorzata Fugol; e-mail: malgorzata.fugol@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław