

PRZEMYSŁ ROLNO-SPOŻYWCZY ŹRÓDŁEM SUBSTRATÓW DO PRODUKCJI BIOGAZU

Marta Kupryś-Caruk

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego
Zakład Technologii Fermentacji
ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa
marta.kuprys@ibprs.pl

Streszczenie

Biogaz rolniczy otrzymywany jest w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych, odpadów lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej. Stanowi odnawialne źródło energii, którego wzrost zużycia w Polsce jest obowiązkiem wynikającym zarówno z prawodawstwa unijnego, jak i krajowego. Przemysł rolno-spożywczy jest źródłem różnorodnych substratów – roślin oraz pozostałości czy odpadów roślinnych i zwierzęcych, które nadają się do produkcji biogazu. Określenie uzysku biogazu, jaki można z nich osiągnąć, a także oszacowanie lokalnej dostępności danego surowca pozwala na dobranie odpowiednich substratów gwarantujących zarówno efektywną produkcję biogazu, jak i ciągłą ich podaż do komory fermentacyjnej.

Przedstawiony artykuł obejmuje przegląd doniesień naukowych dotyczących produkcji biogazu z różnych surowców pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego.

Słowa kluczowe: biogaz, odpady z przemysłu rolno-spożywczego, rośliny energetyczne

AGRI-FOOD INDUSTRY AS THE SOURCE OF SUBSTRATES FOR BIOGAS PRODUCTION

Summary

Agricultural biogas is the gas obtained by methane fermentation of agricultural raw materials, by-products of agriculture, liquid or solid animal excrements, by-products, waste or residues from processing agricultural products or forest biomass. It is a renewable energy source whose consumption growth in Poland is obliged under EU and national legislation. The agro-food industry is the source of a variety of substrates - plants as well as residues and wastes that are suitable for the production of biogas. Understanding their biogas productivity, as well as estimating local availability, allows us to select suitable substrates to guarantee both

the efficient production of biogas and the continuous supply to the fermentation chamber.

The paper presents an overview of scientific reports on the biogas production of various raw materials from the agri-food industry.

Key words: biogas, agri-food wastes, energy plants

WSTĘP

Biogaz powstaje w wyniku fermentacji metanowej substancji organicznej pochodzenia roślinnego jak i zwierzęcego. Składa się głównie z metanu i ditlenku węgla oraz stanowi odnawialne źródło energii wykorzystywane do produkcji elektryczności i ciepła [Curkowski i in. 2009].

W Polsce 20 lutego 2015 roku została podpisana Ustawa o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. poz. 478), która w zakresie swojej regulacji wdraża dyrektywę 2009/28/WE. Określona w niej została definicja biogazu rolniczego. Zgodnie z tą regulacją biogaz rolniczy to gaz otrzymywany w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych, odpadów lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, lub biomasy roślinnej zebranej z terenów innych niż zaewidencjonowane jako rolne lub leśne. Definicja ta nie obejmuje biogazu pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów.

Biogazownie rolnicze wykorzystujące biotechnologiczne metody degradacji substancji organicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego są najbardziej przydatnymi i ekonomicznymi miejscami unieszkodliwiania odpadów rolniczych i pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego [Ledakowicz i Krzystek 2005].

Polskę charakteryzuje wysoka produkcja rolna i z tego powodu rynek biogazowy w naszym kraju ma duży potencjał rozwoju. Powierzchnia użytków rolnych przypadająca na mieszkańca wynosiła w Polsce 0,38 ha [GUS 2016], a zapotrzebowanie na biomasę rolną do celów energetycznych w 2020 roku oszacowane zostało na 4,36 mln t na rok [Grzybek 2008].

W praktyce do produkcji biogazu można wykorzystywać każdą biomasę, która ulega biodegradacji, zawiera węglowodany, tłuszcze i białka, ale warunkiem opłacalności zastosowania danego rodzaju surowca jest zawartość w nim substancji organicznej w ilości powyżej 30% s.m. [Weiland 2010].

W artykule przedstawiono charakterystykę poszczególnych rodzajów surowców pozyskiwanych z produkcji rolnej i przetwórstwa rolno-spożywczego, nadających się do produkcji biogazu rolniczego.

Ruń łąkowa

Część gospodarstw rolnych prowadzących wyłącznie produkcję roślinną posiada niewykorzystane trwale użytki zielone (TUZ) [Pawlak 2013]. Nadwyżka pasz pochodzących z TUZ wynika również ze spadku obsady zwierząt w gospodarstwach [Prochnov i in. 2009]. Przeznaczenie tych nadwyżek na potrzeby produkcji biogazu jest w tej sytuacji rozwiązaniem korzystnym, umożliwiającym utrzymanie użytków w należytej kulturze [Pawlak 2013]. O korzystnym ekonomicznie wykorzystaniu runi łąkowej do produkcji biogazu decyduje szereg czynników, między innymi: gatunek trawy (jej skład chemiczny), intensywność prowadzonych zabiegów agrotechnicznych, technologia i okres zbioru, sposób konserwacji i rozdrabniania, a także możliwość współfermentacji z innym rodzajem biomasy [Prochnov i in. 2009].

Do produkcji biogazu wykorzystywane są użytki zielone, które nie są porośnięte jednym rodzajem trawy, lecz ich mieszanką. Stosunkowo niewiele doniesień traktuje o produkcji metanu z poszczególnych gatunków traw z runi łąkowej. Publikacje Mähnert i in. [2002] donoszą o badaniach nad fermentacją metanową życicy trwałej (*Perennial ryegrass*), kupkówki (*Dactylis glomerata*), kostrzewy wysokiej (*Tall fescue*), kostrzewy czerwonej (*Red fescue*), kostrzewy łąkowej (*Meadow fescue*), wyczyńca łąkowego (*Meadow foxtail*) i tymotki (*Plenum pratense*). Uzysk biogazu z tych traw wynosił odpowiednio: 650, 503, 566, 506, 584, 554 i 401 m³·Mg⁻¹ s.m.o. (suchej masy organicznej).

Uzysk biogazu z runi łąkowej związany jest z ilością pokosów w okresie wegetacyjnym oraz z rodzajem i dawką nawożenia. Generalnie im bardziej intensywne zabiegi agrotechniczne, tym większa produktywność biometanu z danego użytku [Prochnov i in. 2009; Prochnov i in. 2012]. Przykładowo uzysk metanu z runi łąkowej z użytku o czterech pokosach w ciągu roku wynosił 390 m³·Mg⁻¹ s.m.o., z użytku o dwóch pokosach był już o około 40% niższy w odniesieniu do poprzedniego (220 m³·Mg⁻¹ s.m.o.), natomiast z użytku o jednym pokosie w ciągu roku uzysk metanu był o ponad 60% niższy od uzysku metanu z użytku o dwóch pokosach i wynosił tylko 80 m³·Mg⁻¹ s.m.o. [Prochnov i in. 2009, za Lemmer, Oechsner 2002].

Wiele badań wskazuje na to, że oprócz liczby pokosów w roku na wydajność biogazu ma również wpływ termin zbioru traw – im późniejszy termin zbioru runi, tym mniejszy uzysk biogazu [Massé i in. 2010]. Związane jest to z tym, że biomasa z późniejszego pokosu zawiera więcej trudno rozkładalnego włókna surowego oraz mniej tłuszczu i białka, co wpływa również na mniejszą zawartość metanu w biogazie [Prochnov i in. 2009].

W badaniach Amona i in. [2007] uzysk metanu z runi łąkowej zebranej przed kwitnieniem wynosił 221–362 m³·Mg⁻¹ s.m.o., z runi zebranej w fazie kłoszenia 171 m³·Mg⁻¹ s.m.o., a z pokosu sierpniowego najmniej – 153 m³·Mg⁻¹ s.m.o.

Trawę z runi łąkowej po zbiorze konserwuje się poprzez kiszenie, w celu wykorzystywania jej przez cały rok. Udowodniono, że stosowanie do produkcji biogazu kiszzonek złej jakości, zepsutych, spleśniałych znacznie obniża uzysk metanu, dlatego o wydajności produkcji biogazu decyduje nie tylko termin zbioru czy zabiegi agrotechniczne przeprowadzane na użytkach zielonych, lecz także stosowanie dodatków kiszonkarskich i okres przechowywania kiszzonek [Pakarinen i in. 2008].

Produkty uboczne i odpady z przemysłu spożywczego

Intensywna produkcja rolnicza i hodowlana, a także przetwórstwo rolno-spożywcze niosą ze sobą problem pozostałości i odpadów organicznych, których ogromna ilość powstająca w ciągu roku stwarza zagrożenie dla środowiska. Konieczność unieszkodliwiania tego typu odpadów wymusza szukanie sposobów na ich tanią i efektywną utylizację. Przetwórstwo spożywcze jest źródłem takich odpadów jak: wywar gorzelniczny, młoto, wysłodki buraczane, pulpa ziemniaczana, wytloki z owoców (powstające przy produkcji soków), pestki z jabłek, melasa buraczana, tłuszcze odpadowe, odpady z rzeźni (krew, treść przewodu pokarmowego zwłaszcza przeżuwaczy). Ponadto do odpadów zalicza się także otręby i pozostałości z czyszczenia ziarna, odpady z młyna, śruty poekstrakcyjne, makuchy, maślanek, serwatkę, glicerynę powstającą przy produkcji estrów metylowych (biodiesła) z olejów roślinnych, tłuszcze posmażalnice, obierki ziemniaczane i odpady z ziemniaków, pozostałości z zakładów zbiorowego żywienia (stołówek) i wiele innych [Podkówka i Podkówka 2010]. Skład chemiczny odpadów oraz ich naturalne pochodzenia powoduje, że najbardziej opłacalnymi metodami ich degradacji są metody biotechnologiczne, które pozwalają na przekształcenie odpadów organicznych w cenne produkty, takie jak pasza czy nawozy. Doskonałym sposobem utylizacji odpadów z przemysłu spożywczego jest zastosowanie ich do produkcji biogazu, podczas której otrzymuje się energię [Ledakowicz i Krzystek 2005].

W sektorze rolno-spożywczym rocznie produkuje się ok. 590 000 Mg odpadów z przetwórstwa mięsa oraz ponad 377 000 Mg z przetwórstwa owoców i warzyw. Z odpadów rolno-spożywczych można uzyskać ok. 60 mln m³ biogazu rocznie [Szymańska, Łabętowicz 2009].

Odpady z przemysłu rolno-spożywczego mogą być stosowane jako kosubstraty w instalacjach wykorzystujących kofermentację, czyli fermentację mieszaniny kilku substratów, co jest najczęściej praktykowane w Polsce. Zróżnicowanie substratów sprzyja uzyskaniu lepszych parametrów biogazu oraz zwiększa bezpieczeństwo dostaw surowca [Kacprzak i in. 2009]. Z poszczególnych odpadów można uzyskać następujące ilości metanu (tabela 1).

Tabela 1. Przykłady uzysku biogazu z różnych odpadów z przemysłu rolno-spożywczego

Odpad	Uzysk biogazu [m³ Mg⁻¹ s.m.o.]	Publikacja
Pulpa ziemniaczana	332	Kryvoruchko i in. 2009
Wytłoki z winogron	600 640–690	Prask i in. 2012 Romaniuk i Domasiewicz 2014
Odpady z pomidorów	712,2	Lewicki i in. 2013
Młóto	379,5	
Wytłoki z jabłek	560	Kupryś-Caruk i Kołodziejcki 2014
Wywar gorzelniany zbożowy	430–700	Romaniuk i Domasiewicz 2014
Wysłodziny browarniane	580–750	Romaniuk i Domasiewicz 2014 Curkowski i in. 2009
Melasa	360–490	Romaniuk i Domasiewicz 2014 Curkowski i in. 2009

Wywar gorzelniany jest także bardzo dobrym substratem do produkcji biometanu. Polska jest jednym z największych producentów spirytusu na świecie, dlatego też ilość produkowanego wywaru wynosi kilka milionów ton rocznie. Fermentacja metanowa wywaru melasowego jest szczególnie przydatnym sposobem jego utylizacji, gdyż ten rodzaj wywaru nie nadaje się do zagospodarowania w innej postaci, np. paszy [Adamski i in. 2009]. W Polsce wywar gorzelniany pod względem wykorzystania jest trzecim (po gnojowicy i kiszonce z kukurydzy) surowcem stosowanym do produkcji biogazu rolniczego [Chodkowska-Miszczuk, Szymańska 2013]. Z tony suchej substancji wywaru żytniego otrzymano ponad 200 m³ metanu (zawartość metanu w biogazie wynosiła ok. 68%) [Kłosowski i in. 2002].

Nawozy naturalne

Intensywna produkcja zwierzęca jest źródłem trudnej do utylizacji gnojowicy, gnojówki czy obornika, zanieczyszczających środowisko naturalne. Technologia utylizacji odpadów na drodze fermentacji metanowej jest doskonałym sposobem na ich unieszkodliwienie z jednoczesnym pozyskiwaniem energii [Marszałek i in. 2011]. Hodowla zwierzęca jest odpowiedzialna za blisko 1/5 światowej emisji gazów cieplarnianych. Emisja metanu z hodowli krów jest ponad 18 razy wyższa niż z hodowli tuczników [Dach i in. 2013]. Monofermentacja gnojowicy jest jednak mało efektywna, gdyż surowiec ten zawiera zaledwie ok. 8% suchej masy i 75% suchej masy organicznej w suchej masie. Stosunek węgla do azotu (C:N) w gnojowicy bydlęcej jest zbyt niski i wynosi 6,8:1 [Podkówka, Podkówka 2010]. Z tego względu biogazownie stosują gnojowicę jako kosubstrat z biomasą o wysokim potencjale biogazowym [El-Mashad, Zhang 2010; Fugol, Szlachta 2010]. Gnojowica należy do tzw. substratów rozcieńczających, których zadaniem jest rozrzedzenie wsadu biogazowego, oraz inokulujących, poprzez zaszczerpienie wsadu mikroflorą zapoczątkowuje fermentację metanową [Budiyono i in. 2010]. Wydajność biogazu z gnojowicy wynosi ok. $30 \text{ m}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ s.m.o.}$, przy zawartości metanu 60–70% [Fugol, Szlachta 2010; Podkówka, Podkówka 2010].

Gnojowica jest szczególnie przydatna w procesie kofermentacji z kiszonką z traw [Ahn i in. 2010; Murphy i in. 2013]. Fermentacja traw jest trudna z uwagi na to, że ten rodzaj materiału ma tendencję do flokulacji na powierzchni masy fermentacyjnej, co utrudnia uwalnianie powstającego biogazu. Ponadto trawy, jako materiał włóknisty, owijają się wokół mieszadeł oraz charakteryzują się zbyt niską zawartością mikroelementów niezbędnych dla procesu fermentacji metanowej [Prochnov i in. 2009; Lehtomaki i in. 2007]. Dodatek gnojowicy do kiszonki z traw stabilizuje pH, zmniejsza inhibujące działanie amoniaku oraz wpływa na poprawę stosunku C:N masy fermentacyjnej [Xie i in. 2011].

Najwyższy potencjał produkcji biogazu z gnojowicy mają następujące województwa: wielkopolskie, mazowieckie, kujawsko-pomorskie i podlaskie [Igliński i in. 2012]. Obliczono, że produkcja biogazu z gnojowicy bydlęcej lub świńskiej jest opłacalna w przypadku umiejscowienia biogazowni obok ferm, gdzie liczba pogłowia bydła wynosi co najmniej 100 sztuk, a świń – 500 sztuk [Curkowski i in. 2011].

Rośliny pokarmowe i paszowe

Przy uprawie roślin z przeznaczeniem do produkcji biogazu obowiązują takie same zasady, jak przy uprawie na cele żywnościowe, paszowe czy dla przetwórstwa rolno-spożywczego. Najważniejsze kryteria decydujące o wyborze danej rośliny do produkcji biogazu to: plon suchej masy z jednostki powierzchni, zawartość łatwo fermentujących składników, łatwość magazynowania po zbiorze i jej dostępność [Podkówka, Podkówka 2010]. Do produkcji biogazu nadają się takie rośliny jak: kukurydza, słonecznik, burak pastewny i cukrowy, rzepak, ziemniak, ziarna zbóż [Podkówka, Podkówka 2010]. Przeciętny uzysk metanu z ha na rok dla poszczególnych roślin wynosi: burak pastewny – 5800 m³, kukurydza – 5780 m³, pszenica – 2960 m³, kapusta pastewna – 2304 m³, ziemniak – 2280 m³ [Gołaszewski 2011].

Z ziaren zbóż wykorzystywana jest głównie pszenica ze względu na wysokie plonowanie, w mniejszym stopniu żyto i pszenżyto. Ziarno zbóż zawiera w suchej masie 65–75% łatwo fermentującej skrobi, a ponadto jest łatwe do magazynowania i transportu. Stosowane w postaci rozdrobnionej łatwo się miesza z innymi składnikami wprowadzanymi do komory fermentacyjnej [Podkówka, Podkówka 2010].

Restrykcyjna unijna reforma rynku cukru i związane z nią znaczne zmniejszenie obszaru upraw buraków dla cukrownictwa stworzyły możliwość wykorzystania uprawy buraków na potrzeby energetyczne [Fugol, Pilarski 2011]. Takie rozwiązanie może zapewnić rolnikom ciągłość upraw i dochodów. Buraki zawierają dużo łatwo fermentującego cukru, a burak cukrowy charakteryzuje się także dużym potencjałem plonotwórczym z ha, największym spośród roślin uprawnych. Przy odpowiedniej agrotechnice można uzyskać nawet 70–100 Mg buraków z ha [Fugol, Pilarski 2011], z tego względu stanowią one bardzo cenny substrat do produkcji biogazu, a stosowane jako kosubstraty przyspieszają fermentację metanową [Strachota 2008]. Z Mg s.m.o. buraków cukrowych można uzyskać ok. 430 m³ metanu [Kryvoruchko i in. 2009].

Ograniczenia w stosowaniu buraków cukrowych na potrzeby produkcji energii wynikają jedynie z trudności w ich magazynowaniu. Przechowywane w kopcach szybko porastają, co powoduje straty w zawartości suchej masy, a suszenie jest nieopłacalne. Buraki można z powodzeniem konserwować przez zakiszanie w postaci krajanki, która szybko ulega fermentacji mlekowej [Podkówka, Podkówka 2010].

Warto wspomnieć, że trwają prace hodowlane dotyczące uzyskania nowych odmian buraków cukrowych przeznaczonego do produkcji biogazu [von Felde 2008]. W hodowli takich odmian jakość soku nie jest już priorytetem, co pozwala wrócić do wyeliminowanych

wcześniej komponentów o wybitnych właściwościach plonowania i na ich bazie doprowadzić do syntezy nowych, wydajnych odmian, których najważniejszą cechą jest maksymalny plon suchej masy z ha [Strachota 2008]. W badaniach Kupryś-Caruk i in. [2014a] nad różnymi genotypami buraka cukrowego zauważono, że wzrost plonu korzeni wiąże się ze spadkiem zawartości w nich suchej masy i cukru. Autorzy wykazali jednakże, iż na biogazodochodowość korzeni buraka cukrowego decydujący wpływ ma ich plon.

Hodowcy (np. firma KWS Polska Sp. z o.o.) dążą także do podniesienia potencjału plonowania liści buraka, które również można zastosować do produkcji biogazu, a dotychczas stanowiły kłopotliwy produkt uboczny przemysłu cukrowniczego. Odmiany energetyczne buraka cukrowego selekcionowane są także w kierunku gładkiej i wyrównanej powierzchni skórki korzenia oraz zmniejszenia rozmiaru tzw. „bruzdy korzeniowej”, w której przy zbiorze gromadzi się najwięcej gleby. Umożliwi to ograniczenie zanieczyszczeń korzeni glebą, co jest ważne z punktu widzenia ograniczenia sedymentacji piasku na dnie komory fermentacyjnej biogazowni

(http://www.kws.pl/aw/KWS/poland/Produkty/Ro_347_liny_energetyczne/Burak_cukrowy_jako_substrat_do_produkcji/Burak_cukrowy_jako_substrat_do_produkcji/~dkae/Hodowla_energetycznych_odmian_buraka_cuk/ odczyt 24.04.2017).

Drugą, bardzo wydajną w produkcji biogazu rośliną jest kukurydza, jeden z najważniejszych surowców roślinnych o wszechstronnym zastosowaniu. Powszechność jej uprawy, tania i znana agrotechnika, doskonała przydatność do zakiszania oraz wysoki plon biomasy (roślina o typie fotosyntezy C4), jak też wysoka efektywność produkcji biogazu sprawiły, że kukurydza zdominowała rynek biogazowy [Szymańska, Łabętowicz 2009; Igliński i in. 2012]. W instalacjach niemieckich stanowi 70–80% wszystkich surowców stosowanych do produkcji biogazu [Michalski, Gładysiak 2012]. W Polsce kukurydza jest drugim co do ilości zużycia (po gnojowicy) substratem biogazowym [Chodkowska-Miszcuk, Szymańska 2013]. Do produkcji biogazu stosuje się zakiszoną zielonkę, ziarno wykorzystywane jest głównie do produkcji etanolu [Niedziółka, Szymanek 2003]. Według Podkówki [2006] kiszonka z kukurydzy zapewnia stabilny przebieg procesu fermentacji, z ha uprawy kukurydzy można uzyskać 4050–6750 m³ biogazu o średniej zawartości metanu 54%. Kukurydzę przeznaczoną do produkcji biogazu należy uprawiać w technologii kiszonkowej. Przygotowanie gleby, siew, nawożenie, ochrona muszą zostać przeprowadzone z taką samą starannością jak przy produkcji paszy dla bydła. O wyborze danej odmiany powinien decydować plon suchej masy z jednostki powierzchni, wysoka zawartość cukru i skrobi, a także duży plon biomasy wegetatywnej [Podkówka, Podkówka 2010]. Zbiór takich odmian

przy zawartości suchej masy 28–35%, skrobi na poziomie 30% w suchej masie oraz zielonych liściach i łodydze zapewnia otrzymanie dobrej jakościowo kiszonki. Z tego względu zaleca się stosować do produkcji biogazu odmiany później dojrzewające o liczbie FAO 300–370, gdyż odmiany te zbierane przy optymalnej zawartości suchej masy ok. 30% cechują się najbardziej korzystną zawartością białka, tłuszczu, włókna surowego, skrobi i cukru. Przy plonie tych odmian wynoszącym $600 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ i zawartości suchej masy 30% można wyprodukować $6759 \text{ m}^3 \text{ CH}_4\cdot\text{ha}^{-1}$ [Podkówa, Podkówa 2010]. Istnieje ponadto zależność między produkcją biogazu a fazą wegetacji kukurydzy zbieranej na kiszonkę z przeznaczeniem na biogaz [Amon i in. 2007]. Zbierając kukurydzę w dojrzałości woskowej ziarna, uzyskuje się najwyższą wydajność biogazu, przy zawartości metanu 54% [Podkówa, Podkówa 2010]. Z tony suchej masy organicznej kiszonki kukurydzy można otrzymać 342–523 m^3 metanu w zależności od odmiany, terminu zbioru [Herrmann i in. 2011; Vervaeren i in. 2010].

Tak jak w przypadku uprawy buraka cukrowego, tak też w uprawie kukurydzy pojawiły się kierunki hodowli odmian kukurydzy „energetycznej”, czyli przeznaczonej specjalnie do produkcji biogazu. Celem nadrzędnym hodowców jest podniesienie plonu ogólnego suchej masy, bo jak dowodzą badania, celuloza dostarcza co najmniej takiej samej ilości metanu jak skrobia [Gołkowska, Greger 2013]. Oznacza to, że efektywność produkcji biogazu zależy przede wszystkim od wysokiej produkcji części wegetatywnych roślin (łodygi, liście), a nie jak w przypadku paszy dla bydła, dobrego wykształcenia kolb i wysokiej zawartości skrobi w roślinach.

Rośliny wieloletnie

Większość roślin uprawnych o wysokim potencjale biogazowym stanowi grupę tzw. surowców strategicznych i powszechniejsze ich użycie do produkcji energii może naruszyć bilans produkcji energii [Gołaszewski 2011; Rama i in. 2013]. Z tego względu coraz większego znaczenia nabierają wieloletnie rośliny energetyczne, które nie stanowią produktów żywnościowych czy paszowych, a do uprawy których można wykorzystać gleby ubogie, nieprzeznaczone pod uprawy rolnicze.

Obecnie w Europie (głównie w Niemczech) najczęściej jako substrat do produkcji biogazu stosuje się kukurydzę. Już w 2011 roku kiszonka z kukurydzy stanowiła prawie 80% wszystkich substratów kierowanych do produkcji metanu [Mast i in. 2013]. Jednak dominacja kukurydzy w uprawach na cele energetyczne budzi szereg kontrowersji i zastrzeżeń ze względu na jej negatywny wpływ na środowisko. Monokulturowa uprawa kukurydzy ma

negatywny wpływ na właściwości gleby: zwiększa ryzyko erozji gleby i wypłukiwania azotanów, zmniejsza zawartość substancji organicznej w glebie, a także zmniejsza bioróżnorodność [Möller i in. 2011; Michalski, Gładysiak 2012]. Z tego względu istnieje zapotrzebowanie na poszukiwanie nowych gatunków roślin, które charakteryzowałyby się podobną przydatnością i efektywnością produkcji biogazu jak kukurydza czy też inne rośliny jednoroczne. Rośliny wieloletnie (w przeciwieństwie do roślin jednorocznych) wymagają jednokrotnego wykonania uprawy roli w ciągu 10–15 lat przed założeniem plantacji oraz mniejszych dawek nawozów mineralnych. [Chołuj i in. 2008]. Uprawy roślin wieloletnich wpływają na zmniejszenie erozji gleb, ograniczają wymywanie składników odżywczych oraz zwiększają sekwestrację węgla i zawartość substancji organicznej w glebie [Zhang, Shahbazi 2011].

W polskich warunkach klimatycznych mogą być uprawiane takie rośliny wieloletnie jak: rośliny drzewiaste i krzewiaste szybko odrastające po ścięciu i przeznaczone do spalania (wierzba, topola, robinia akacjowa), byliny wieloletnie (ślazowiec pensylwański, topinambur, rdestowiec) oraz wieloletnie trawy (typ fotosyntezy C3 jak i C4) [Kuś, Matyka 2010]. Spośród traw największe zainteresowanie budzą trawy o typie fotosyntezy C4 (miskant, palczatka Gerarda, proso różgowate, spartina preriowa). Rośliny te charakteryzują się wyższą produktywnością niż rośliny C3, szybszą fotosyntezą i większą wydajnością biomasy przy relatywnie niższym zapotrzebowaniu na wodę [Gołaszewski 2011]. Są to rośliny typowe dla krajów o klimacie tropikalnym i subtropikalnym, ale dające także dość duży plon biomasy w umiarkowanym klimacie Europy [Mast i in. 2013]. Obserwacje prowadzone w Ogrodzie Botanicznym Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Bydgoszczy potwierdziły możliwość uprawy wieloletnich gatunków traw typu C4 fotosyntezy w warunkach klimatycznych Polski [Majtkowski, Majtkowska 2005]. W praktyce dobór gatunków roślin wieloletnich o przeznaczeniu do produkcji biogazu będzie uzależniony od warunków glebowo-klimatycznych, wymagań odnośnie jakości biomasy, a także uwarunkowań organizacyjno-ekonomicznych (koszty założenia i prowadzenia plantacji, mechanizacja zbioru, sposób transportu) [Kuś, Matyka 2010].

W badaniach Chołuj i in. [2010] rośliną wieloletnią, bardzo odporną na suszę był rdestowiec sachaliński i prawdopodobnie jest on najbardziej przydatny do upraw na glebach słabych, charakteryzujących się deficytem wody. Kupryś-Caruk i in. [2014b] wykazali przydatność rdestowca czeskiego do produkcji biogazu z uwagi na wysoki plon biomasy, która może być zbierana dwa razy w ciągu roku. W badaniach tych wykazano także podatność biomasy rdestowca na zakiszenie oraz przydatność do kofermentacji z biomasą

odpadową taką jak wytloki z jabłek.

Inną rośliną wieloletnią stosunkowo tolerancyjną na niedobory wody jest słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus*), zwany topinamburem [Chołuj i in. 2008 za Condein i in. 1999]. Topinambur jako roślina energetyczna może być wykorzystywany zarówno do produkcji etanolu (bulwy), do produkcji biogazu (pędy, bulwy), jak i do spalania. Plon nadziemnej części biomasy topinamburu w badaniach Michalskiego i Gładysiaka [2012] ustępował znacząco kukurydzy, jednak wydajność produkcji biogazu była wysoka i w badaniach Kacprzak i in. [2010] wyniosła aż $812 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$ s.m.o. Wysoki uzysk biogazu z topinamburu uzyskali także Kupryś-Caruk i in. [2014c], wykazując przy tym przydatność topinambura do konserwacji poprzez kiszenie. Założenie plantacji topinambura jest droższe od założenia plantacji kukurydzy o 33%, jednak już w drugim roku uprawy prowadzenie plantacji topinambura jest znacznie tańsze niż ponowne założenie plantacji jednorocznej kukurydzy [Piskier 2006].

Mało znanymi jeszcze w Polsce roślinami wieloletnimi są takie gatunki traw, jak: proso różgowate, spartina preriowa, palczatka Gerarda. Trawy te o typie fotosyntezy C4 pochodzą z Ameryki Północnej, gdzie użytkowane są jako rośliny paszowe i energetyczne. Charakteryzują je duże zdolności plonotwórcze i pozytywny wpływ na środowisko dzięki zdolności do znacznej sekwestracji węgla w glebie, ograniczeniu erozji gleby, zmniejszeniu skali wymywania składników pokarmowych oraz podwyższeniu aktywności mikrobiologicznej podłoża [Mc Laughlin i in. 2002]. Cechą wspólną spartiny, prosa i palczatki są także małe wymagania agrotechniczne (gleba, nawożenie), tolerancja na suszę i zasolenie, duża trwałość plantacji (10–15 lat użytkowania) [Lisowki 2010 red.]. Dużą zaletą tych gatunków roślin, podobnie jak miskanta olbrzymiego, jest aktualny brak w naszym kraju niszczących je chorób czy szkodników [Cichorz i in. 2014].

Przedstawione powyżej wyniki badań nad przydatnością wieloletnich roślin do produkcji biogazu dają szansę na odnalezienie większej liczby gatunków, które mogą stanowić alternatywę dla roślin jednorocznych, zwłaszcza takich, które wykorzystuje się także jako żywność i pasze.

PODSUMOWANIE

Przemysł rolno-spożywczy jest źródłem ogromnej ilości różnorodnych substratów, charakteryzujących się wysokim potencjałem biogazowym, jednak o ich praktycznym zastosowaniu decyduje ich dostępność, łatwość magazynowania oraz przede wszystkim aspekty ekonomiczne. W przypadku biogazowni rolniczych, zwłaszcza tych, które kupują substraty, ponad 50% kosztów produkcji biogazu stanowią koszty pozyskania surowca [Urban i in. 2009]. W tej sytuacji najbardziej przydatnymi surowcami wykorzystywanymi w biogazowniach rolniczych są pozostałości i odpady z przemysłu rolno-spożywczego, które mogą być pozyskane za darmo lub często jedynie za koszty transportu. Dla funkcjonowania biogazowni rolniczej ważne jest takie dobranie lokalnie dostępnych surowców, aby zapewnić ciągłość dostarczania substratów do komory fermentacyjnej (tzw. „zielona taśma”). Sposobem na zabezpieczenie się biogazowni przed brakiem substratów może być na przykład wykorzystywanie do produkcji biogazu zakonserwowanych w formie kiszonek roślin jednorocznych czy wieloletnich, co pozwoli na podaż surowca do komory fermentacyjnej w momencie sezonowej niedostępności podstawowego surowca odpadowego.

PIŚMIENNICTWO

1. Adamski M., Pilarski K., Dach J. (2009). Possibilities of usage of the distillery residua as a substrate for agricultural biogas plant. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 54 (3), 10-16
2. Ahn H., Smith M., Kondrad S., White J. (2010). Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass–animal manure mixtures. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 160, 965–975
3. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mauer K., Gruber L. (2007). Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 118, 173-182
4. Budiyo I., Widiya N., Johari S., Sunarso (2010). The kinetic of biogas production rate from cattle manure in batch mode. *Int. J. Chem. Biol. Eng.*, 3 (1), 39-44
5. Chodkowska-Miszczuk J., Szymańska D. (2013). Agricultural biogas plants – A chance for diversification of agriculture in Poland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 514-518
6. Chołuj D., Podlaski S., Wiśniewski G., Szmałec J. (2008). Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11, 81-98

7. Chołuj D., Podlaski S., Pietkiewicz S., Wiśniewski G. (2010). Parametry fizjologiczne determinujące plon biomasy roślin energetycznych. Monografia. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Warszawa: Instytut Energetyki, 69-88
8. Cichorz S., Gośka M., Litwiniec A. (2014). Trawy wieloletnie z rodzaju *Miscanthus* – potencjalne źródło energii odnawialnej. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 274, 133-151
9. Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G. (2009). Biogaz rolniczy-produkcja i wykorzystanie. Warszawa: Mazowiecka Agencja Energetyczna
10. Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Mroczkowski P., Owsik M., Wiśniewski G. (2011). Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych. Warszawa: Instytut Energii Odnawialnej
11. Dach J., Przybył J., Zbytek Z., Lewicki A., Janczak D., Cieślik M. (2013). Emisja metanu z produkcji zwierzęcej w Polsce: skala oraz potencjalne koszty. J. Res. Appl. Agric. Eng., 58 (2), 25-28
12. El-Mashad H., Zhang R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. Bioresource Technol., 101, 4021-4028
13. von Felde A. 2008. Innowacyjne wykorzystanie buraka cukrowego w fermentacji biogazowej – punkt widzenia hodowcy. Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego, 4, 36-38
14. Fugol M., Pilarski K. (2011). Burak cukrowy jako substrat do biogazowni. Inż. Rol., 5 (130), 63-71
15. Fugol M., Szlachta J. (2010). Zasadność używania kiszonki z kukurydzy i gnojowicy świńskiej do produkcji biogazu. Inż. Rol., 1 (119), 169-173
16. Gołaszewski J. (2011). Wykorzystanie substratów pochodzenia rolniczego w biogazowniach w Polsce. Post. Nauk Rol., 2, 69-94
17. Gołkowska K., Greger M. (2013). Anaerobic digestion of maize and cellulose under thermophilic and mesophilic conditions – A comparative study. Biomass and Bioenergy, 56, 545-554
18. Grzybek A. (2008). Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania. Studia i Raporty IUNG-PIB, 11, 9-24
19. GUS 2016. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2015 r., Warszawa

20. Herrmann C., Heiermann M., Idler C. (2011). Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technol.*, 102, 5153-5161
21. Igliński B., Buczkowski R., Glińska A., Cichocz M., Piechota G. (2012). Agricultural biogas plants in Poland: Investment process, economical and environmental aspects, biogas potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4890-4900
22. Kacprzak A., Krzystek L., Ledakowicz S. (2009). Anaerobic co-digestion of agricultural products and industrial wastes. *Environ. Protect. Eng.*, 35 (3), 215-224
23. Kacprzak A., Krzystek L., Ledakowicz S. (2010). Badania biochemicznego potencjału metanogenego wybranych roślin energetycznych. *Inż. Ap. Chem.*, 49 (4), 32-33
24. Kłosowski G., Czupryński B., Sieliwanowicz B., Kotarska K., Wolska M. (2002). Próby wykorzystania żytniego wywaru gorzelniczego do produkcji biogazu. *Pr. Inst. Lab. Bad. Przem. Spoż.*, 57, 50-69
25. Kryvoruchko V., Machmüller A., Bodiroza V., Amon B., Amon T. (2009). Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing. *Biomass and Bioenergy*, 33, 620-627
26. Kupryś-Caruk M., Kołodziejcki R. (2014). Przydatność kiszonych wyłoków z jabłek do produkcji biogazu. *Post. Nauki Technol. Przem. Rol.-Spoż.*, 69 (1), 5-13
27. Kupryś-Caruk M., Podlaski S., Wiśniewski G., Chomontowski Ch. (2014a). Przydatność wysłoków i korzeni buraka cukrowego do produkcji biogazu. Konferencja pt. „Burak Cukrowy, Cukier, Energia”, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, 26-27.06.2014
28. Kupryś-Caruk M., Podlaski S., Wiśniewski G. (2014b). Przydatność rdestowca czeskiego (*Reynoutria x Bohemia* Chrtek&Chrtkova) do produkcji biogazu rolniczego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 579, 27-36
29. Kupryś-Caruk M., Podlaski S., Wiśniewski G. (2014c). Ocena przydatności słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.) do produkcji biogazu. *Episteme Czasopismo Naukowo-Kulturalne*, II (22), 265-273
30. Kuś J., Matyka M. (2010). Wybrane elementy agrotechniki roślin uprawianych na cele energetyczne. Monografia. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Warszawa: Instytut Energetyki, 101-120
31. Ledakowicz S., Krzystek L. (2005). Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów z przemysłu rolno-spożywczego. *Biotechnologia*, 3 (70), 165-183

32. Lehtomaki A., Huttunen S., Lehtinen T., Rintala J. (2007). Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect on crop to manure ratio. *Resources, Conservation and Recycling*, 51, 591-609
33. Lewicki A., Dach J., Janczak D., Czekala W., Rodriguez Carmona P. (2013). Dynamics of methane fermentation process and retention time for different agricultural substrates. *J. Res. Agric. Eng.*, 58 (2), 98-102
34. Lisowski A. (red.) (2010). *Technologie zbioru roślin energetycznych*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW
35. Majtkowska G., Majtkowski W. (2005). Trawy źródłem energii. W: *Trawy i rośliny motylkowe*. Warszawa: Wydawnictwo Biznes-Press Sp. z o.o., 94-97
36. Massé D., Gilbert Y., Savoie P., Bélanger G., Parent G., Babineau D. (2010). Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. *Bioresource Technol.*, 101, 9536–9541
37. Mast B., Claupein W., Graeff-Honninger S. (2013). Perennial crops as alternative biogas substrate – yield performance and optimal harvest date. *Materiały konferencyjne. 21st European Biomass Conference and Exhibition, Kopenhaga, 3-7.06.2013*, 295-298
38. Marszałek M., Banach M., Kowalski Z. (2011). Utylizacja gnojowicy na drodze fermentacji metanowej i tlenowej – produkcja biogazu i kompostu. *Czasopismo Techniczne*, 10 (108), 143-158
39. Mähnert P., Heiermann M., Pöchl M., Schelle H., Linke B. (2002). Alternative use of grasslands cuts-forage grasses as biogas co-substrates. *Landtechnik*, 57, 260-261
40. McLaughlin, S., De La Torre Ugarte D., Garten Jr., Lynd L., Sanderson M., Tolbert V, Wolf D. (2002). High-value renewable energy from prairie grasses. *Environ. Sci. Technol.*, 36, 2122-2129
41. Michalski T, Gładysiak S. (2012). Porównanie wydajności kukurydzy i topinamburu uprawianych na potrzeby biogazowni. *Materiały konferencyjne. Kukurydza i sorgo – Produkcja, Wykorzystanie, Rynek. Poznań-Dymaczewo Nowe, 9-11 maja*
42. Möller K., Schulz R., Müller T. (2011). Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89, 303-312
43. Murphy J., Wall D., O’Kiely P. (2013). Second generation biofuel: biomethane from co-digestion of grass and slurry. *Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland federation, Akureyri, Iceland, 23-26.06.2013*, 505-513

44. Niedziółka I., Szymanek M. (2003). Przemysłowe i energetyczne wykorzystanie ziarna kukurydzy. *Motor. i Energ. Rol.*, 5, 119-125
45. Pakarinen O., Lehtomäki A., Rissanen S., Rintala J. (2008). Storing energy crops for methane production: effects of solids content and biological additive. *Bioresource Technol.*, 99 (15), 7074-7082
46. Pawlak J. (2013). Biogaz z rolnictwa – korzyści i bariery. *Probl. Inż. Rol.*, 3 (81), 99-108
47. Piskier T. (2006). Nakłady robocizny i koszty uprawy topinamburu. *Inż. Rol.*, 11, 359-365
48. Podkówka W. (2006). Kukurydza jako substrat do produkcji biogazu. *Kukurydza*, 12, 26-29
49. Podkówka Z., Podkówka W. (2010). Substraty dla biogazowni rolniczych. Warszawa: Redakcja Agro Serwis
50. Prask H., Fugol M., Szlachta J. (2012). Biogaz z wyłoków z białych i czerwonych winogron. *Przem. Ferm. Owoc.-Warz.*, 5-6, 45-46
51. Prochnov A., Heiermann M., Plochl M. (2012). Permanent grassland for Bioenergy: factors management and conversion efficiency. *Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland federation, Akureyri, Iceland, 23-26.06.2012*, 515-519
52. Prochnow A., Heiermann M., Plochl M., Linke B., Idler C., Amon T., Hobbs P. (2009). Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. *Biogas. Bioresource Technol.*, 100, 4931-4944
53. Rama R., Borowski S., Dulcet E., (2013). Biogazownie rolnicze konkurencją dla rynku żywności *Inż. Ap. Chem.*, 52 (2), 60-61
54. Romaniuk W., Domasiewicz T. (2014). Substraty dla biogazowni rolniczych. Warszawa: Hortpress Sp. z o.o.
55. Strachota R. (2008). Czas na biogaz. *Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego*, 3, 30-32
56. Szymańska M., Łabętowicz J. (2009). Dostępność i zasoby substratów do produkcji biogazu w Polsce. *Czysta Energia*, 5 (93), 48
57. Urban W., Girod K., Lohmann H. (2009). Technologies and costs of biogas processing and feeding into the natural gas network. *Ergebnisse der Markterhebung 2007–2008*. Oberhausen: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, 123
58. Vervaeren H., Hostyn K., Ghekiere K., Willems G. (2010). Biological ensilage additives as pretreatment for maize to increase the biogas production. *Renew. Energy*, 35, 2089-2093

59. Weiland P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 85, 849-860
60. Xie S., Lawrol P., Frost J., Hu Z., Zhan X. (2011). Effect on pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage. *Bioresource Technol.*, 102, 5728-5733
61. Zhang B., Shahbazi A. (2011). Recent developments in pretreatment technologies for production of lignocellulosic biofuels. *J. Pet. Environ. Biotechnol.*, 2 (2), 1