

# MOŻLIWOŚCI I BARIERY W PRODUKCJI BIOGAZU Z BIOMASY TRWAŁYCH UŻYTKÓW ZIELONYCH W POLSCE

**Jan MIKOŁAJCZAK<sup>1)</sup>, Barbara WRÓBEL<sup>2)</sup>,  
Andrzej JURKOWSKI<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Katedra Żywienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej

<sup>2)</sup> Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Łąk i Pastwisk

<sup>3)</sup> Wyższa Szkoła Informatyki i Przedsiębiorczości w Bydgoszczy

*Słowa kluczowe: biogaz, biomasa, metan, trwałe użytki zielone*

## Streszczenie

W Polsce powierzchnia trwałych użytków zielonych (TUZ) stanowi niewiele ponad 20% użytków rolnych. W ostatnich latach średnio około 20% powierzchni TUZ jest nieużytkowane, co prowadzi do procesu ich degradacji. Ewentualne nadwyżki biomasy z TUZ mogą być wykorzystywane na cele energetyczne, jako substrat do produkcji biogazu. Szacuje się, że w Polsce rocznie na cele energetyczne z TUZ można pozyskać około 2,3–3,4 mln Mg biomasy, z której można wyprodukować około 1,1–1,7 mld m<sup>3</sup>·rok<sup>-1</sup> biogazu. Wydajność produkcji zarówno biogazu, jak i metanu z biomasy użytków zielonych zmienia się w szerokim zakresie i zależy od wielu czynników, takich jak intensywność użytkowania, skład gatunkowy oraz sposób konserwacji runi łąkowej. W rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce istnieją wciąż pewne ograniczenia i trudności, z których najistotniejsze to bariery ekonomiczne, organizacyjne i prawne.

## WSTĘP

W Unii Europejskiej, w tym i w Polsce, prowadzona jest nowa polityka energetyczna, ograniczająca zużycie paliw kopalnych i promująca jak najszersze stosowanie energii ze źródeł odnawialnych. „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej”,

---

Adres do korespondencji: prof. dr hab. J. Mikołajczak, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Zootechniczny, ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz; tel. +48 (52) 374-97-33, e-mail: [zywienie@utp.edu.pl](mailto:zywienie@utp.edu.pl)

przyjęta przez Sejm RP, zakłada że udział energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym Polski w 2010 r. ma wynosić 7,5%, a w 2020 r. – 14% [Strategia..., 2000]. Wymieniane są różne źródła energii odnawialnej – woda, wiatr, promieniowanie słoneczne, geotermia i biomasa, która docelowo będzie stanowić źródło 70% energii odnawialnej w Europie, przy czym 30% biomasy będą to materiały odpadowe z rolnictwa i leśnictwa, a 70% będzie pochodzić z upraw roślin energetycznych.

Udział energii z odnawialnych źródeł w 2006 r. w Polsce wynosił 6,5% całkowitej energii pierwotnej [Energia..., 2007], choć z szacunków opartych na innej metodyce liczenia wynika, że udział ten wynosi 2,7–5,1% [SZAMAŁEK, 2008]. W UE, w warunkach obecnie funkcjonujących rozwiązań wspierających rozwój energetyki odnawialnej, ponad 14% zapotrzebowania na energię jest pokrywane ze źródeł odnawialnych [Environment..., 2007]. Dominującą pozycję w strukturze produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł zajmuje hydroenergia (70% energii jest wytwarzane w małych i dużych hydroelektrowniach). Istotny udział ma także energia wiatrowa oraz energia pochodząca ze spalania biomasy. W Polsce energia ta pochodzi głównie ze źródeł pochodzenia organicznego (95,8%). Składają się na to nośniki z biomasy stałej (91,3%), biopaliw ciekłych (3,3%) i biogazów (1,3%). Energia z energetyki wodnej (3,5%), wiatrowej (0,4%) czy geotermalnej (0,3%) ma jedynie charakter uzupełniający [SZAMAŁEK, 2008].

Za podstawowe źródło energii odnawialnej w Polsce uznawana jest biomasa [KUŚ, 2006; ŁOŚ, 2008; SZAMAŁEK, 2008]. Decyduje o tym fakt, że wyprodukowanie jednostki energii z biomasy wymaga kilkakrotnie mniejszych nakładów inwestycyjnych niż wyprodukowanie innych jej rodzajów. Rozwój upraw roślin w celu pozyskiwania biomasy może nastąpić zarówno w wyniku zmiany produkcji na obszarach rolnych, jak i wykorzystania części istniejących w Polsce odłogów i ugorów. Biomasa ta, w zależności od jej składu chemicznego, może być przeznaczana do bezpośredniego spalania, wykorzystywana do produkcji biogazu lub przetwarzana na ciekłe paliwa silnikowe (biodiesel lub bioetanol). Pod względem efektywności energetycznej produkcja energii w procesie fermentacji biomasy okazuje się jednym z najbardziej wydajnych procesów [BRAUN, 2005].

Wobec zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych, produkcja biogazu rodzi nowe perspektywy dla wykorzystania nadmiaru biomasy z trwałych użytków zielonych. Z powodu zmniejszania się liczby przeżuwaczy, będącego rezultatem postępu hodowlanego, poprawy technologii produkcji mleka i strukturalnych adaptacji w rolnictwie, tradycyjne sposoby wykorzystywania trwałych użytków zielonych do produkcji paszy mają coraz mniejsze znaczenie, co grozi ich porzucaniem i prowadzi do procesów degradacji.

Silnie rozwinięta w Polsce hodowla bydła i trzody chlewnej również może być źródłem znaczących ilości biogazu, który można uzyskać w wyniku fermentacji obornika, odpadów organicznych powstających w przetwórstwie rolno-spożywczym bądź osadów czynnych w komorach oczyszczania ścieków. Biogaz może też

powstawać w procesach przemian fermentacyjnych na przykrytych wysypiskach odpadów komunalnych [SZAMAŁEK, 2008].

Celem pracy jest wykazanie możliwości i barier wykorzystania biomasy z trwałych użytków zielonych do produkcji biogazu w biogazowniach rolniczych oraz analiza czynników kształtujących produkcję biogazu na podstawie danych literaturowych.

## **TECHNOLOGIE POZYSKIWANIA BIOGAZU**

### **ZASADA DZIAŁANIA BIOGAZOWI**

Przegląd obecnie stosowanych technologii produkcji biogazu został opracowany przez PLOCHLA i HEIERMANN [2006]. Typowa biogazownia działa na zasadzie beztlenowego rozkładu substancji organicznej w komorze fermentacyjnej (rys. 1). Bakterie powodujące fermentację są wrażliwe na zmianę odczynu, który powinien być lekko zasadowy (pH ok. 7,5). Nie znoszą tlenu i światła oraz rozwijają się w wąskim zakresie temperatur: opt. 33–38°C, min. 25°C, maks. 45°C – bakterie mezofilne i 55–65°C, min. 40°C, maks. 75°C – bakterie termofilne.

W zbiorniku fermentacyjnym następuje sedymentacja substratu:

- w części dolnej – umieszczają się części ciężkie, jak piasek;
- w części środkowej – część ciekła;
- w części górnej (ponad połowę zbiornika) – części włókniste, np. zdrewniałe części roślinne.

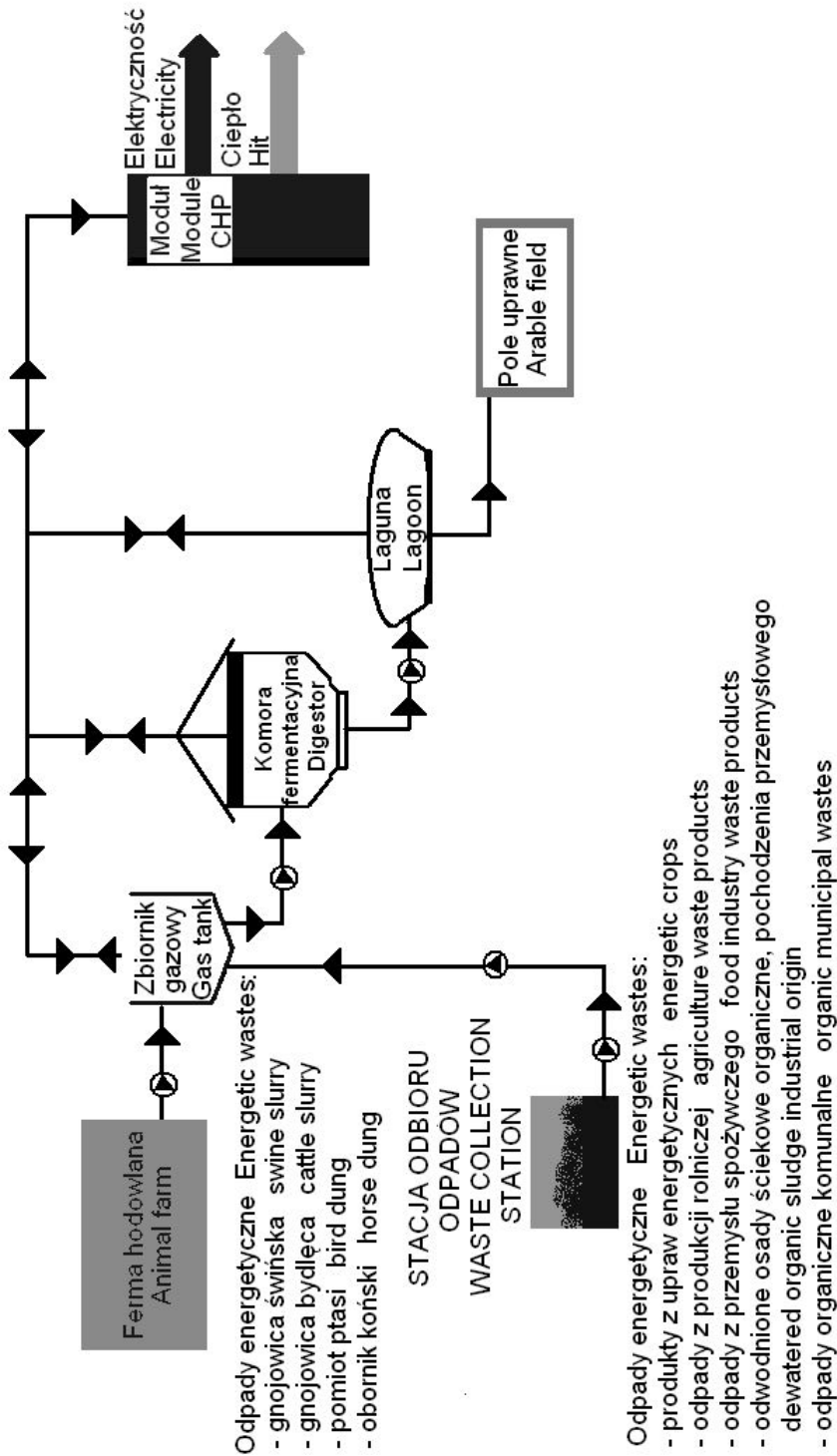
Biogaz koncentruje się w wierzchołku zbiornika, skąd zostaje przetransportowany do kopuły przeznaczonej na jego przechowywanie.

Odgazowana biomasa jest przepompowywana do lagun – przykrytych zbiorników retencyjnych z kopułą gazową (która porusza się w górę i w dół w zależności od ciśnienia powstałego gazu) i komorą na biogaz.

W skład typowej biogazowni wchodzi również:

- budynek techniczny z pomieszczeniem elektrociepłowni opalanej biogazem;
- stacja pomp – przepompowująca biomasę do komór fermentacyjnych oraz powstający biogaz do lagun;
- zbiornik na przefermentowaną biomasę – nawóz organiczny.

Wybór technologii produkcji biogazu zależy od wielu czynników, z których najważniejszą rolę odgrywa surowiec [HEIERMANN i in., 2001] oraz ekonomiczna opłacalność pozyskiwania biogazu, uwzględniająca poniesione nakłady inwestycyjne. Zwykle stosuje się łączenie masy organicznej, np. z kukurydzy w postaci kisonki z całych roślin, CCM (ang. „Corn Corb Mix”) albo słomy z różnego rodzaju odpadami, tj. gnojowicą bydłą czy świńską, co zapewnia odpowiednią ilość substancji odżywczych dla złoza bakteryjnego oraz poprawia bezpieczeństwo niezakłóconej pracy instalacji wytwarzającej biogaz. Ostatnio zwiększa się zainte-



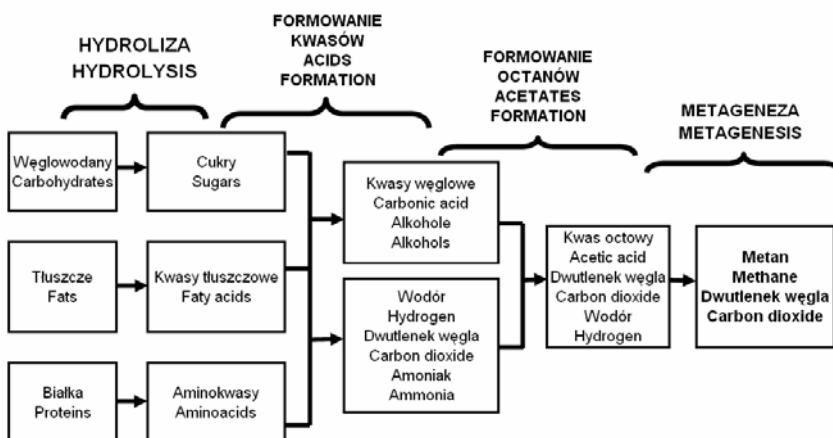
Rys. 1. Schemat działania biogazowni

Fig. 1. Operating scheme of biogas plant

resowanie technologiami „batch”, umożliwiającymi fermentację beztlenową w surowcu zawierającym 30% i więcej suchej masy. Umożliwia to wykorzystanie do produkcji biogazu samego materiału roślinnego i odpadów roślinnych [MUMME, LINKE, HEIERMANN, 2007]. Technologia ułatwiająca wykorzystanie runi łąkowej do produkcji metanu na większą skalę jest nowy proces produkcji biogazu, tzw. „up-flow leach-bed” [MUMME, LINKE, 2007]. System ten umożliwia stosowanie surowców o dużej zawartości włókna (np. runi łąkowej), które normalnie mają tendencję do tworzenia trwałej warstwy materii pływającej na powierzchni.

### SKŁAD I WŁAŚCIWOŚCI OTRZYMANEGO BIOGAZU

Biogaz jest gazem fermentacyjnym, powstającym w wyniku aktywności metanogennych bakterii beztlenowych, powodujących rozkład substancji organicznej zawierającej celulozę, białko, węglowodany oraz skrobię (rys. 2). Gazy te, uzyskiwane w wyniku fermentacji metanowej, charakteryzują się różnym składem i właściwościami w zależności od wielu czynników, z których za najważniejsze można uznać: początkowy skład i wilgotność substancji organicznej, postać wsadu (stała, ciekła, półciekła), temperaturę, ciśnienie oraz rodzaj zastosowanej technologii i komory fermentacyjnej.



Rys. 2. Przebieg procesu fermentacji metanowej

Fig. 2. The process of methane fermentation

W prawidłowo prowadzonym procesie fermentacji powstaje biogaz, którego głównym składnikiem jest metan (CH<sub>4</sub>), resztę zaś stanowi dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>). Zawartość metanu w biogazie wynosi od 42 do 85%. Średnio przyjmuje się

65% CH<sub>4</sub> i 35% CO<sub>2</sub>. W przypadku nieszczelności komory fermentacyjnej lub fermentacji niekontrolowanej, dodatkowym składnikiem biogazu jest azot (N<sub>2</sub>) i tlen z powietrza (O<sub>2</sub>). W przypadku zakwaszenia osadu fermentacyjnego powstaje też wodór (H<sub>2</sub>) oraz śladowe ilości siarkowodoru (H<sub>2</sub>S) i amoniaku (NH<sub>3</sub>).

Biogaz najczęściej jest wykorzystywany w miejscu jego powstawania, w procesie spalania w silnikach kogeneracyjnych CHP (ang. „combined heat and power”), wytwarzających równocześnie energię elektryczną i ciepłą. Istnieje również możliwość doprowadzania go do sieci zasilania gazem ziemnym. Biometan stosowany jest też jako paliwo dla pojazdów silnikowych, pod warunkiem uprzedniego przetworzenia [KOWALCZYK-JUŚKO, 2008].

### MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA BIOMASY Z TRWAŁYCH UŻYTKÓW ZIELONYCH

Trwałe użytki zielone odgrywają ważną rolę w rolnictwie Europy. Zajmują ponad 69 mln ha w 27 krajach UE, tj. 36% użytków rolnych. Wykorzystywane są głównie w produkcji zwierzęcej [FAOSTAT, 2008]. Na podstawie wstępnych wyliczeń teoretycznych produkcji biomasy do 2020 r., 13% całkowitej powierzchni trwałych użytków zielonych, tj. 9,2 mln ha w ramach 27 państw UE, można przeznaczyć na cele alternatywne. Daje to rocznie potencjalną produkcję biomasy wynoszącą prawie 36 mln Mg s.m., co odpowiada 610,3 PJ lub 14,6 MtOE (miliony ton ekwiwalentu olejowego) [PROCHNOW i in., 2007]. Pomimo tego, że tylko część tej produkcji będzie mogła zostać wykorzystana (z powodu ograniczeń wynikających zarówno z jakości materiału, jak i problemów ekologicznych, technicznych i ekonomicznych), ruń z trwałych użytków zielonych może mieć istotny udział (16–19% wszystkich upraw energetycznych) w pokryciu zapotrzebowania na biomasę obecnie oraz w przyszłości.

W Polsce powierzchnia trwałych użytków zielonych stanowi niewiele ponad 20% użytków rolnych – w 2007 r. wynosiła 3 271 tys. ha. Szacuje się, że w ciągu ostatnich lat (2000–2006) ok. 20% użytków zielonych było niewykorzystywane gospodarczo, tj. niewykaszane lub wykaszane, lecz niezбирane. Z większości łąk (ok. 35%) zbierano dwa pokosy, z 25% – jeden pokos, a najmniej, ok. 21% – użytkowano 3-kośnie [JANKOWSKA-HUFLEJT, DOMAŃSKI, 2008].

Według ekspertyzy wykonanej w IMUZ na zlecenie MRiRW [KACA, WASILEWSKI, BARSZCZEWSKI, 2008] bez szkody dla produkcji pasz dla zwierząt (do której jak dotychczas wykorzystywane będą łąki 3-kośne na powierzchni około 1,3 mln ha) trawy na cele energetyczne można pozyskiwać z:

- I, II i III odrostu łąk dotychczas nieużytkowanych,
- II i III odrostu łąk dotychczas użytkowanych jako łąki jednokości,ne,
- III odrostu łąk użytkowanych dotychczas jako łąki dwukośne,
- koszenia niedojadów na pastwiskach.

Zakładając różną intensyfikację produkcji łąkowej na użytkach zielonych (poziom ekstensywny i intensywny), na podstawie danych statystycznych GUS wyliczono, że z trwałych użytków zielonych, bez szkody dla produkcji pasz, można rocznie pozyskać na cele energetyczne: ok. 2,3 mln Mg biomasy w wariantcie ekstensywnym (łąki trzykośne), zaś w wariantcie intensywnym (niezbędne nakłady finansowe) – ok. 3,4 mln Mg biomasy. Z biomasy tej rocznie można wyprodukować w wariantcie ekstensywnym około 1,1 mld m<sup>3</sup> biogazu, zaś w wariantcie intensywnym – ok. 1,7 mld m<sup>3</sup> biogazu (tab. 1).

Obliczenia te dotyczą przeciętnych wielkości plonowania. Założono również, że z każdego Mg suchej biomasy trawiastej można uzyskać około 500 m<sup>3</sup> biogazu. W rzeczywistości wartości te mogą zmieniać się w zależności od przebiegu warunków meteorologicznych i stosowanych zabiegów pratotechnicznych. Z tego powodu produkcja biogazu może mieć charakter sezonowy, co nie powinno przeszkadzać pracy małych lokalnych biogazowni [KACA, WASILEWSKI, BARSZCZEWSKI, 2008].

Przytoczone dane wskazują na znaczny potencjał tkwiący w biomacie z użytków zielonych. Należy jednak pamiętać, że ich priorytetową funkcją jest produkcja zdrowej, wartościowej i najtańszej paszy objętościowej dla przeżuwaczy. Na cele energetyczne powinny być przeznaczane jedynie ewentualne nadwyżki biomasy.

## **WARTOŚĆ ENERGETYCZNA RUNI ŁAKOWEJ NA TLE RÓŻNYCH SUROWCÓW ROŚLINNYCH**

Z bilansu prawidłowo przeprowadzonej fermentacji wynika, że z 1 kg suchej masy substancji organicznej otrzymuje się około 0,4 m<sup>3</sup> biogazu o wartości opałowej 16,8–23,0 MJ·m<sup>-3</sup>. Po oddzieleniu CO<sub>2</sub> wartość opałowa biogazu zwiększa się do 35,7 MJ·m<sup>-3</sup> [LEWANDOWSKI, 2006]. Energia zawarta w 1 m<sup>3</sup> takiego biogazu odpowiada energii zawartej w: 0,93 m<sup>3</sup> gazu ziemnego, 1 dm<sup>3</sup> oleju napędowego, 1,25 kg węgla lub odpowiada 9,4 kWh energii elektrycznej.

Przydatność materiału roślinnego jako substratu do produkcji biogazu zależy od jego ilości (masy) i jakości uzyskiwanego biogazu, w tym ilości uzyskiwanego metanu (50–65% obj.). Pod tym względem najbardziej przydatnymi gatunkami roślin są gatunki zasobne w łatwo fermentujące węglowodany (tj. cukry) i substancję białkową oraz ubogie w hemicelulozy i ligniny, których zdolność do biodegradacji jest mała [EL BASSAM, 1998]. Poza tym materiał taki powinien być łatwy do składowania i przechowywania, tak aby był dostępny przez cały rok.

W wyniku fermentacji metanowej największe ilości biogazu i energii uzyskuje się z korzeni buraka cukrowego oraz z kukurydzy (tab. 2). W porównaniu z tymi surowcami uzysk biogazu z runi łąkowej jest istotnie mniejszy. Z runi łąkowej, przy założeniu plonu świeżej masy 20–40 t·ha<sup>-1</sup>, można otrzymać tylko 1500–2100 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> biogazu.

**Tabela 1.** Wykorzystanie trwałych użytków zielonych do produkcji biomasy na cele energetyczne i biogazu [KACA, WASILEWSKI, BARSZCZEWSKI, 2008]

**Table 1.** Utilisation of permanent grasslands to produce biomass for energetic purposes and biogas production [KACA, WASILEWSKI, BARSZCZEWSKI, 2008]

Miejsce produkcji biomasy Place of biomass production	Średni plon (2000–2007 r.) Mg s.m.·ha <sup>-1</sup> Mean yield (2000–2007) Mg DM·ha <sup>-1</sup>	Powierzchnia (w 2007 r.) tys. ha Area (in 2007) thous. ha	Produkcja biomasy, tys. Mg·rok <sup>-1</sup> Biomass production, thous. Mg·year <sup>-1</sup>		Produkcja biogazu <sup>1)</sup> , tys. m <sup>3</sup> ·rok <sup>-1</sup> Biogas production <sup>1)</sup> thous. m <sup>3</sup> ·year <sup>-1</sup>	
			poziom ekstensywny extensive level	poziom intensywny intensive level	poziom ekstensywny extensive level	poziom intensywny intensive level
Łąki nieżytkowane Non-used meadows	3,4	272	925	1 387	462 400	693 600
Łąki jednokośne One-cut meadows	1,6	320	512	768	256 000	384 000
Łąki dwukośne Two-cuts meadows	0,6	629	377	566	188 700	283 050
Pastwiska Pastures	0,6	774	464	697	232 200	348 300
Suma Total	–	1 995	2 279	3 418	1 139 300	1 708 950

<sup>1)</sup> Produktowność biomasy: 500 m<sup>3</sup> biogazu z Mg s.m. traw.

<sup>1)</sup> Biomass productivity: 500 m<sup>3</sup> biogas from Mg DM of grasses.



**Tabela 2.** Produkcja biogazu i energii z wybranych roślin [MICHALSKI, 2005 z modyfikacjami]**Table 2.** Biogas and energy production from selected plants [MICHALSKI, 2005 – modified]

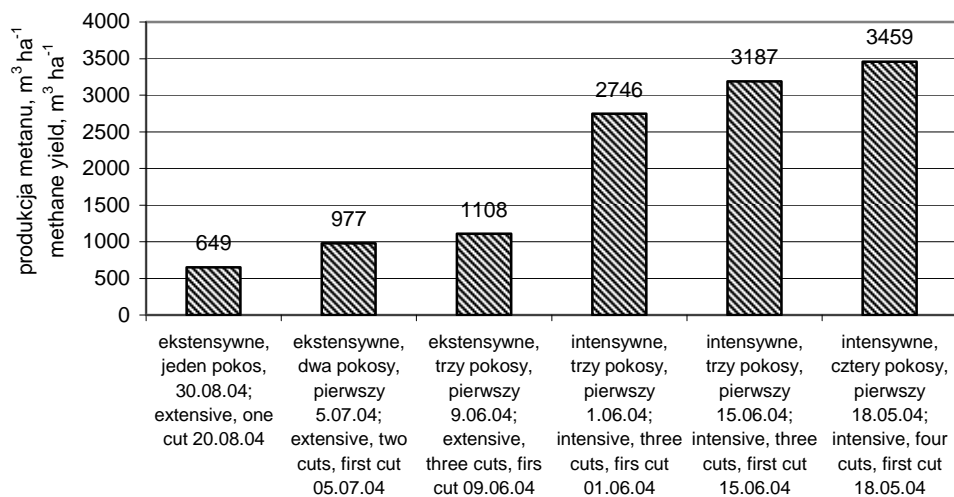
Rodzaj surowca Type of the raw material	Plon świeżej masy Fresh mass yield Mg·ha <sup>-1</sup>	Produkcja biogazu Biogas production m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	Uzysk energii Energy production GJ·ha <sup>-1</sup>
Kukurydza Mize	30–50	6 050–6 750	87–145
Lucerna Alfalfa	25–35	3 960–4 360	85–94
Żyto Rye	30–40	1 620–2 025	35–43
Pszenżyto Triticale	ok. 30	2 430	52
Burak cukrowy – korzeń Sugar beat – root	40–70	10 260	220
Burak cukrowy – liście Sugar beat – leaves	30–50	3 375	72
Słonecznik Sunflower	30–50	2 430–3 240	52–70
Rzepak Rape	20–35	1 010–1 620	22–37
Ruń łąkowa Meadow sward	20–40	1 500–2 100	30–40

Roślinami uprawnymi najczęściej wykorzystywanymi do produkcji biogazu są: kukurydza (*Zea mays* L.), niektóre gatunki zbóż, tj. żyto (*Secale cereale* L.) i pszenżyto (*Triticum x Secale*) oraz częściowo burak cukrowy (*Beta vulgaris* L.). Od pewnego czasu zainteresowanie budzi pszenica (*Triticum aestivum* L.) i jęczmień (*Hordeum vulgare* L.). Ze względu na warunki uprawy znaczącymi substratami do produkcji biogazu mogą być również konopie (*Cannabis sativa* L.) i lucerna (*Medicago sativa* L.).

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów wykazano, że największą wydajność biogazu uzyskiwano z kukurydzy i zbóż zbieranych w fazie dojrzałości młeczonej [HEIERMANN i in., 2002]. Z wyżej wymienionych substratów w warunkach laboratoryjnych w ciągu 28 dni fermentacji, w przeliczeniu na tonę suchej masy można uzyskać od 450 do 920 m<sup>3</sup> biogazu o średniej zawartości metanu 50–60% [AMON i in., 2004; HEIERMANN, PLÖCHL, 2004; LINKE i in., 2003; OECHSNER, LEMMER, NEUBERG, 2003]. Dla porównania z gnojowicy bydłowej można uzyskać 370 m<sup>3</sup>·(Mg s.m.)<sup>-1</sup>, a z gnojowicy świńskiej – ok. 450 m<sup>3</sup>·(Mg s.m.)<sup>-1</sup> biogazu o zawartości metanu 60–65% [LINKE i in., 2003]. Natomiast z 1 Mg s.m. runi łąkowej można wyprodukować 480–540 m<sup>3</sup> biogazu, co w przeliczeniu na metan daje 300–350 m<sup>3</sup>·(Mg s.m.)<sup>-1</sup>. Wielkość produkcji biogazu i metanu z biomasy użytków zielonych jest bardzo zróżnicowana i zależy od wielu czynników.

## CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA WYDAJNOŚĆ PRODUKCJI BIOGAZU Z RUNI ŁĄKOWEJ

Podstawowym czynnikiem, od którego zależy produkcja biogazu z runi użytków zielonych jest intensywność ich użytkowania. Z intensywnie użytkowanych nizinnych użytków zielonych koszonych 3–4 razy na rok uzyskiwano 2 746–3 459 m<sup>3</sup> metanu w przeliczeniu na 1 ha użytku, natomiast z ekstensywnie wykorzystywanych górskich użytków zielonych położonych w Alpach Szwajcarskich, koszonych raz do trzech razy – zaledwie 649–1 108 m<sup>3</sup> z ha (rys. 3) [AMON i in., 2005]. W intensywnym systemie użytkowania, polegającym na kilkakrotnym koszeniu w ciągu sezonu wegetacyjnego, dominujący wpływ na całoroczną produkcję metanu ma termin koszenia. Jak podaje PROCHNOW [2008], produkcja metanu w przeliczeniu na jednostkę substratu była największa w przypadku zbioru traw, będących w fazie kłoszenia i początku kwitnienia – 221–362 l<sub>N</sub>·(kg VS)<sup>-1</sup> – i zmniejszała się w kolejnych fazach rozwojowych roślin do 171 l<sub>N</sub>·(kg VS)<sup>-1</sup> w przypadku roślin zbieranych w fazie pylenia i 153 l<sub>N</sub>·(kg VS)<sup>-1</sup> – w sierpniu. Tak więc intensywne użytkowanie z wczesnym pierwszym i kilkoma następnymi pokosami umożliwia uzyskanie dużej produkcji metanu w przeliczeniu zarówno na ilość substratu podanego fermentacji, jak i na powierzchnię użytku.

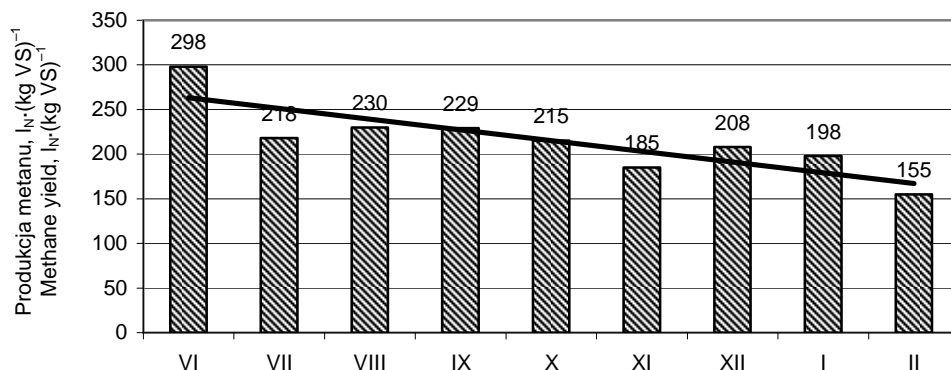


Rys. 3. Wpływ intensywności użytkowania na produkcję metanu z runi użytków zielonych położonych w Alpach [AMON i in., 2005]

Fig. 3. Area-specific methane yields of grassland with different intensity of use in the Austrian Alps [AMON *et al.*, 2005]

l<sub>N</sub> – litry normalne, VS (ang. „Volatile Solids”) – parametr określający substrat, określa w procentach ilość substancji organicznej w suchej masie.

Wytwarzanie się biogazu z traw zależy od terminu ich zbioru, zaś opóźnienie terminu koszenia runi powoduje spadek wydajności metanu zarówno w przeliczeniu na masę substratu, jak i na powierzchnię użytku. Badania przeprowadzone przez PROCHNOWA i in. [2005] wykazały, że produkcja metanu zmniejsza się liniowo z 298  $\text{l}_N \cdot (\text{kg VS})^{-1}$  w przypadku runi koszonej w czerwcu do 155  $\text{l}_N \cdot (\text{kg VS})^{-1}$  w przypadku runi koszonej w lutym (rys. 4). Największą wydajność produkcji metanu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni, wynoszącą  $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , uzyskano z runi zbieranej w sierpniu i wrześniu. Powodem tego są zmiany w składzie chemicznym biomasy następujące wraz opóźnieniem zbioru runi [HERRMANN i in., 2007]. Jest to przede wszystkim zwiększenie zawartości włókna surowego, które zawiera hemicelulozę i ligninę, frakcje trudno ulegające biorozkładowi w warunkach beztlenowych [EL BASSAM, 1998], co ogranicza maksymalną potencjalną produkcję biogazu.

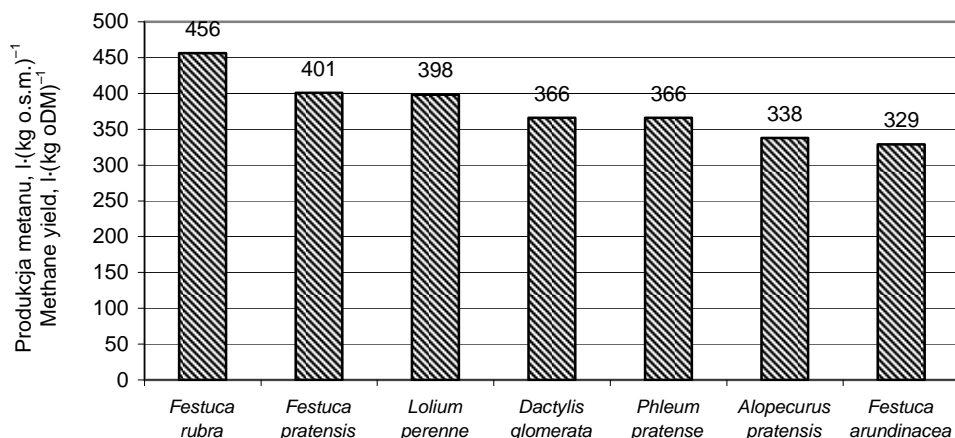


Rys. 4. Sezonowa zmienność produkcji metanu z runi łąkowej [PROCHNOW i in., 2005]

Fig. 4. Seasonal pattern of methane yields from meadow sward [PROCHNOW *et al.*, 2005]

Mniejszy wpływ na wydajność produkcji metanu wydaje się mieć skład gatunkowy runi łąkowej (rys. 5). Do takiego wniosku doszli PROCHNOW i in. [2008] oraz MÄHNERT, HEIERMANN i LINKE [2005], badając pod kątem przydatności do produkcji biogazu różne gatunki traw – życię trwałą (*Lolium perenne* L.), kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.) i wyczyńca łąkowego (*Alopecurus pratense* L.) uprawiane w siewie czystym. Ilość metanu wyprodukowanego z poszczególnych gatunków traw wynosiła od 310 do 360  $\text{l}_N$  w przeliczeniu na kg VS substratu. Podobne wnioski wyciągnęli inni autorzy, uzyskując produkcję biogazu rzędu 480–540  $\text{l}_N$  z kg VS [BASERGA, EGGER, 1997] i metanu 300–350  $\text{l}_N$  z kg VS z różnych gatunków i odmian traw [KAISER, GRONAUER, 2007].

Świeża ruń łąkowa nie jest dobrym substratem do produkcji biogazu. Najlepsze efekty uzyskuje się, stosując mieszaninę gnojowicy bydłowej z zakonserwowaną



Rys. 5. Produkcja metanu w zależności od gatunku, I pokos, 15.05.2003 [PROCHNOW i in., 2008]

Fig. 5. Methane yield in relation to grass species, I cut, 15.05.2003 [PROCHNOW *et al.*, 2008]

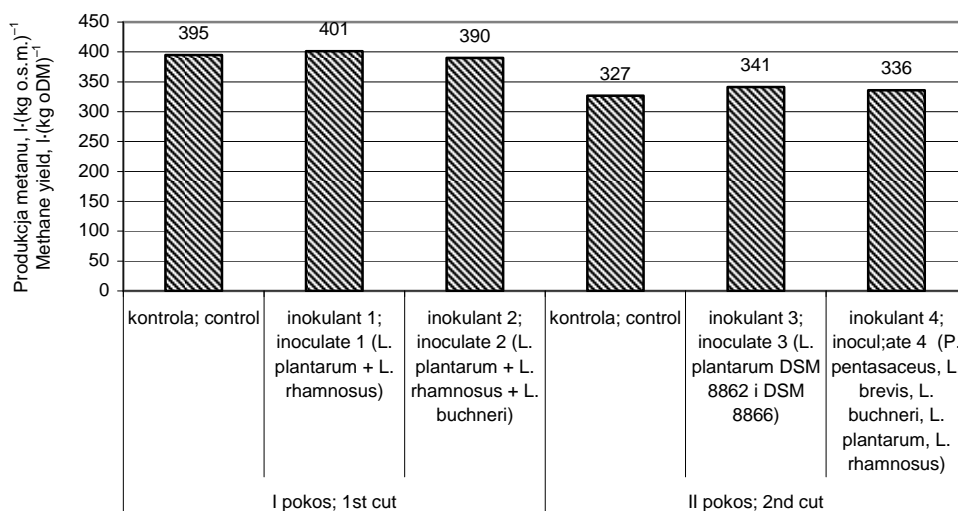
biomasą, najczęściej z gorszej jakości kiszonką. GONDA i GADUS [2007] badali różne substraty, składające się z gnojowicy bydłowej, świeżej zielonki i kiszonki z runi łąkowej w różnych proporcjach. Wraz ze wzrostem udziału kiszonki w substracie produkcja biogazu malała. Największą produkcję metanu uzyskano stosując mieszaninę zawierającą 90% gnojowicy bydłowej i 10% kiszonki z runi łąkowej (tab. 3).

**Tabela 3.** Produkcja i skład biogazu w zależności od składu substratu [GONDA, GADUS, 2007]

**Table 3.** Biogas production and its composition in relation to substrate composition [GONDA, GADUS, 2007]

Badane substraty Examined substrates	Skład biogazu Biogas composition			Produkcja biogazu $m_N^3 \cdot dzień^{-1}$
	CH <sub>4</sub> % vol.	CO <sub>2</sub> % vol.	H <sub>2</sub> S ppm vol.	Biogas production $m_N^3 \cdot day^{-1}$
Gnojowica bydłowa (100%); Cattle slurry (100%)	55,77	39,07	158,00	4,80
Gnojowica bydłowa (90%) i świeża zielonka (10%) Cattle slurry (90%) with fresh greens (10%)	56,70	43,00	338,00	3,60
Gnojowica bydłowa (90%) i kiszonka z runi łąkowej (10%); Cattle slurry (90%) with grass silage (10%)	57,09	40,49	227,50	2,64
Gnojowica bydłowa (80%) z kiszonką z runi łąkowej (20%); Cattle slurry (80%) with grass silage (20%)	54,44	45,55	81,00	1,27

Zwykle z materiału roślinnego po zakiszeniu uzyskuje się mniejszą ilość biogazu niż z materiału świeżego, ale zawartość metanu w biogazie z kiszonki jest większa. Badania dotyczące konserwacji i przechowywania runi łąkowej przeznaczonej do produkcji biogazu wciąż są w stadium początkowym. Pierwsze wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Niemczech, dotyczących wpływu dodatków biologicznych do zakiszania runi łąkowej na produkcję biogazu wykazały, że dodatek heterofermentatywnych szczepów bakterii kwasu mlekowego powoduje zwiększenie ilości lotnych kwasów tłuszczowych w kiszonce, co wzmacnia produkcję biogazu (rys. 6). Nie stwierdzono wyraźnej zależności między potencjalną produkcją biogazu a jakością kiszonki ocenioną metodami powszechnie stosowanymi w ocenie kiszonek przeznaczonych na paszę dla zwierząt. Jednoznacznie stwierdzono, że z dobrej jakości kiszonki nie można spodziewać się wysokiej produkcji biogazu [IDLER i in., 2007].



Rys. 6. Wpływ dodatków na produkcję metanu z zakiszonej runi intensywnych użytków zielonych w I i II pokosie [IDLER i in., 2007]

Fig. 6. The influence of silage additives from the first and second cut of intensive grassland on methane yield [IDLER *et. al.*, 2007]

Głównym celem obecnie prowadzonych badań jest wpływ stosowania dodatków kiszonkarskich na rozmiar strat w kiszonce podczas jej składowania. Ponadto efektywność stosowania dodatków podczas zakiszania należy poddać analizie ekonomicznej. Ważne jest również opracowanie metod oceny jakości kiszonki w aspekcie jej przydatności do produkcji biogazu.

## BARIERY ROZWOJU BIOGAZOWNI ROLNICZYCH I WYKORZYSTANIA BIOGAZU W POLSCE

W Polsce wciąż istnieją pewne ograniczenia i trudności rozwoju biogazowni rolniczych. W początkowej fazie rozwoju tej działalności są to przede wszystkim **bariery organizacyjne**, tj. brak zaplecza technicznego i merytorycznego niezbędego do ich budowy.

Problemem jest również konieczność odbioru ciepła z biogazowni przez cały rok, nawet latem. Inwestor budujący biogazownię musi zatem poszukiwać możliwości zagospodarowania ciepła, np. na cele komunalne, suszarnictwo itp. Należy się również liczyć ze słabą dostępnością i przepustowością sieci elektroenergetycznej na terenach wiejskich.

Nie bez znaczenia są również **ograniczenia ekonomiczne** – wysokie nakłady inwestycyjne, trudności w uzyskaniu dodatkowego dofinansowania, zwłaszcza małych biogazowni, i bardzo długi okres zwrotu poniesionych nakładów. System wsparcia dotacyjnego inwestycji biogazowych jest słaby. Inwestycje te powinny otrzymywać wsparcie w systemie funduszy ekologicznych, gdyż mogą przyczynić się m.in. do rozwiązania problemu zanieczyszczenia środowiska gnojowicą, czy problemu osadów ściekowych.

Decydującą rolę odgrywają jednak **bariery prawne**. Produkcja biogazu rolniczego nie jest ujęta w „Polskiej klasyfikacji działalności” oraz nie figuruje w spisie działalności tzw. „Działów specjalnych produkcji rolnej”. W wyniku tego jest uznawana za produkcję przemysłową, a odpadów z niej nie można przekazać osobom fizycznym, np. rolnikom jako nawóz. Osad pofermentacyjny z biogazowni rolniczych, dla których substratami są nawozy naturalne i ziemiopłody, powinien być traktowany jako nawóz organiczny, co powinno zostać uregulowane rozporządzeniem Ministra Rolnictwa. Natomiast każda biogazownia wykorzystująca odpady przemysłu rolno-spożywczego musi posiadać indywidualne świadectwo dopuszczenia osadów do rolniczego wykorzystania. Jest to istotne, bo wykorzystanie biogazu będzie opłacalne tylko w połączeniu z funkcją utylizacyjną odpadów z produkcji zwierzęcej, roślinnej i spożywczej.

Istotny jest również brak spójności w prawodawstwie, rozproszenie legislacyjne zagadnień związanych z instalacją i funkcjonowaniem biogazowni oraz brak jednoznacznej interpretacji przepisów o uzyskaniu świadectw pochodzenia energii z odnawialnych źródeł i energii wytworzonej w wysokosprawnej kogeneracji.

Obecne relacje między ceną energii a kosztami surowców rolniczych nie są jednoznacznie zachęcające do produkcji biogazu wyłącznie w oparciu o produkty pochodzące z celowych upraw [KOWALCZYK-JUŚKO, 2008]. Dalszy rozwój biogazowni w Polsce będzie zależeć nie tylko od kosztów produkcji biogazu, lecz także od wzajemnego stosunku cen poszczególnych paliw kopalnych. Istotne znaczenie mogą mieć nieprzewidywalne uwarunkowania polityczne [ŁOŚ, 2008].

## PODSUMOWANIE

Jedną z alternatywnych form zagospodarowania ewentualnych nadwyżek biomasy z trwałych użytków zielonych jest przeznaczenie jej do produkcji biogazu. Może to nie tylko dawać korzyści w postaci uzyskania taniej energii, ale i przyczynić się do ochrony tych gruntów przed degradacją.

Uzysk biogazu z 1 ha użytków zielonych w porównaniu z uzyskiem z upraw na gruntach ornych, np. z kukurydzy, jest istotnie mniejszy i wynosi tylko 1500–2100 m<sup>3</sup>. Natomiast wydajność produkcji biogazu z 1 Mg s.m. traw łąkowych szacuje się przeciętnie na około 500 m<sup>3</sup>, co jest wydajnością zaledwie o 13–19% mniejszą od wydajności produkcji biogazu z kiszonki z kukurydzy.

Wydajność produkcji zarówno biogazu, jak i metanu z biomasy użytków zielonych jest bardzo zróżnicowana i zależy od wielu czynników, takich jak intensywność użytkowania, skład gatunkowy runi oraz sposób jej konserwacji.

Podstawowym czynnikiem, od którego zależy produkcja biogazu z runi użytków zielonych jest intensywność użytkowania. Z intensywnych użytków zielonych (3–4-kośne) można uzyskać 2–3-krotnie więcej metanu niż z użytków ekstensywnych. Drugorzędne znaczenie dla ilości uzyskiwanego metanu odgrywa skład gatunkowy runi.

Ze względu na nierównomierne rozmieszczenie użytków zielonych w przestrzeni rolniczej, duże zróżnicowanie warunków siedliskowych łąk i pastwisk, warunkujące zróżnicowanie wielkości i wierności plonowania w latach, biomasa z trwałych użytków zielonych powinna być stosowana głównie w małych biogazowniach rolniczych.

Energia biogazu jest to energia odnawialna, przyjazna dla środowiska naturalnego, łatwo dostępna i po opanowaniu technologii jej produkcji może być energią tania. Wykorzystanie biogazu z biogazowni rolniczych w przyszłości może się stać jedną z gałęzi krajowej energetyki rozproszonej. Aktualnie jednak udział biogazu w ogólnej ilości biopaliw uzyskiwanych z biomasy jest niewielki. Przyczyną takiego stanu w Polsce są wciąż istniejące ograniczenia i trudności, z których najistotniejsze to bariery ekonomiczne, organizacyjne i prawne.

## LITERATURA

- AMON T., KRYVORUCHKO V., AMON B., BODIROZA V., ZOLLITSCH W., BOXBERGER J., 2005. Biogaserzeugung aus Grünlandbiomasse im Alpenraum. *Landtechnik* 60 s. 336–337.
- AMON T., KRYVORUCHKO V., AMON B., BUGA S., AMID A., ZOLLITSCH W., MAYER K., PÖTSCH E., 2004. Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. W: Proc. 10. Alpenländisches Expertenforum, 18<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> March, 2004. *Irdning (A)* s. 1–6.
- BASERGA U., EGGER K., 1997. Vergärung von energiegras zur Biogasgewinnung. *Tänikon: Bundesamt für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm Biomasse* ss. 41.

- BRAUN R., 2005. Biogas and bio-energy system developments towards bio-refineries, trends in a central European context Baltic Biorefinery Symposium BBS, 26–28.05.2005. Esbjerg: Aalborg University, Denmark.
- EL BASSAM N., 1998. Energy plant species – their use and impact on environment. London: James & James (Sci. Publ.) Ltd. ss. 200.
- Environment and energy, 2007. Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- FAOSTAT. ResourceSTAT. 2008. <http://faostat.fao.org/site/348/default.aspx>
- GONDA L., GADUS J., 2007. An alternative use of biomass from non-utilised grassland areas. *Grassl. Sci. in Eur.* vol. 12 s. 576–579.
- Energia ze źródeł odnawialnych w 2006 roku, 2007. GUS [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)
- HEIERMANN M., PLÖCHL M., 2004. Biogas aus Pflanzen – Ergebnisse von Gärversuchen. W: Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Proc. 10. Internationale Tagung, Freiberg: TU Bergakademie s. 79–84.
- HEIERMANN M., PLOCHL M., LINKE B., SCHELLE H., 2001. Biogas production in agriculture by co-fermentation of energy crops. *Biomass and energy crops. Proc. 2nd Conf. Aspects of applied biology series vol. 65* s. 65–70.
- HEIERMANN M., PLÖCHL M., LINKE B., SCHELLE H., 2002. Preliminary evaluation of some cereals as energy crops for biogas production. W: Renewable energy: renewables world's best energy option. Pr. zbior. Red: A.A.M. Sayigh. Proc. of the World Renewable Energy Congr. 7<sup>th</sup>, 29 June – 05 July 2002, Cologne (D) s. 5 (CD-Version).
- HERRMANN, C., HEIERMANN, M., IDLER, C., SCHOLZ V., 2007. Parameters influencing substrate quality and biogas yield. W: From research to market deployment. Proc. 15th Euro. Biomass Conf. & Exhibition, 7–11 May 2007, Berlin, s. 809–819.
- JANKOWSKA-HUFLEJT H., DOMAŃSKI P. J., 2008. Aktualne i możliwe kierunki wykorzystania trwałych użytków zielonych w Polsce. *Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 8 z. 2b(24)* s. 31–49.
- IDLER C., HECKEL M., HERRMANN C., HEIERMANN M., 2007. Influence of additives in grass silages on the biogas yield. *Res. Papers IAG Eng LUA & LU Ag vol. 39 no 4* s. 69–82.
- KACA E., WASILEWSKI R., BARSZCZEWSKI J., 2008. Potencjał energetyczny trwałych użytków zielonych (wg IMUZ). *Opinia opracowana dla MRiRW. Falenty: IMUZ maszynopis.*
- KAISER F., GRONAUER A., 2007. Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: [http://www.ifl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_27455.pdf](http://www.ifl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_27455.pdf)
- KOWALCZYK-JUŚKO A., 2008. Biogaz w Polsce – znaczenie oraz możliwości rozwoju. W: *Kukurydza w produkcji bioenergii. Mater. konf. 10. Kraj. Dzień Kukurydzy. Wieszczyce, 14 września 2008 r.* s. 27–35.
- KUŚ J., 2006. Możliwości produkcji i wykorzystania biomasy na cele energetyczne. *Probl. Ekol.* vol. 10 nr 1 s. 29–34.
- LEWANDOWSKI W.M., 2006. *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, Warszawa: WNT ss. 432.
- LINKE B., HEIERMANN M., GRUNDMANN P., HERTWIG F., 2003. Grundlagen, Verfahren und Potenzial der Biogasgewinnung im Land Brandenburg. W: *Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg*, 2. überarbeitete Auflage. Pr. zbior. Red. M. Heiermann, M. Plöchl. Brandenburg, Potsdam Mini. Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes s. 10–23.
- ŁOŚ M.J., 2008. Perspektywy rozwoju melioracji i łąkarstwa w warunkach nowej polityki energetycznej. *Wiad. Melior.* nr 1 s. 42–45.
- MÄHNERT P. HEIERMANN M. LINKE B., 2005. Batch- and semi-continuous biogas production from different grass species. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript EE 05 010. Vol. 7. December, 2005: <http://cigr-ejournal.tamu.edu/volume7.html>
- MICHALSKI T., 2005. Z pola dla przemysłu. *Kukurydza rośliną przyszłości. Agro Serwis* s. 7–13.
- Strategia rozwoju energetyki odnawialnej, 2000. Warszawa: MŚ maszyn.



- MUMME J., LINKE B., 2007. New biogas reactor for energy crops. press release 27.07.2007: <http://www.atb-potsdam.de/Hauptseite-englisch/what-is-new/press/press-release/>
- MUMME J., LINKE B., HEIERMANN M., 2007. Trockenfermentation nachwachsender Rohstoffe – Stand der Forschung und Entwicklung. Energiepflanzen im Aufwind – Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz: Proc. 12. /13. Juni 2007, Potsdam/ Bornimer Agrartechnische Berichte, 2007, Heft 61 s. 100–106.
- OECHSNER H., LEMMER A., NEUBERG C., 2003. Feldfrüchte als Gärsubstrat. Landtechnik nr 58 s. 146–147.
- PLOCHL M., HEIERMANN M., 2006. Biogas farming in Central and Northern Europe: A strategy for developing countries? Agricultural engineering international: The CIGR Ejournal. Invited Overview No. 8. vol. 7. March 2006: <http://cigr-ejournal.tamu.edu>
- PROCHNOW A., HEIERMANN M., DRENCKHAN A., SCHELLE H., 2005. Seasonal pattern of biomethanisation of grass from landscape management. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Manuscript EE 05 011. Vol. VII. December, 2005: <http://cigr-ejournal.tamu.edu/volume7.html>
- PROCHNOW A., HEIERMANN M., IDLER C., LINKE B., PLOCHL M., AMON T., LANGEVELD H., HOBBS P., 2008. Biogas yields from grassland. Grassl. Sci. Eur. vol. 13 s. 727–729.
- PROCHNOW A., PLOCHL M., JACOBS H., HEIERMANN M., IDLER C., 2007. Potential of grasslands in the EU to renewable resources. W: Production and Utilization of Crops for Energy: NJF seminar 405, 25–26 September, Vilnius, 2007. <http://www.njf.nu/site/seminarRedirect.asp/intSeminarID=405&p=1004>
- SZAMALEK K., 2008. Energia odnawialna – stan obecny i perspektywy. W: Kukurydza w produkcji bioenergii. Mater. konf. 10 Kraj. Dzień kukurydzy. Wieszczyce, 14 września 2008 r. s. 9–16.

*Jan MIKOŁAJCZAK, Barbara WRÓBEL, Andrzej JURKOWSKI*

**POSSIBILITIES AND LIMITATIONS IN BIOGAS PRODUCTION  
FROM PERMANENT GRASSLAND BIOMASS IN POLAND**

*Key words: biogas, biomass, methane, permanent grasslands*

**S u m m a r y**

Grassland area in Poland constitutes a little over 20% of agriculture lands. In the last years c. 20% of permanent grasslands have remained unused, which have led to their degradation. Possible surpluses of the biomass from unexploited grasslands can be used for energetic purposes as a co-substrate for biogas production. It is assumed that in Poland c. 2.3–3.4 million Mg of biomass can be obtained annually for energetic purposes from grasslands from which about 1.1–1.7 billion m<sup>3</sup> of biogas can be produced. The efficiency of biogas production from grassland biomass varies largely and depends on many factors such as the intensity of utilisation, botanical composition and the methods of preservation of meadow sward. The development of biogas plants in Poland is limited mainly by economic, organizational and legal barriers.

---

Recenzenci:

*doc. dr hab. Sergiusz Jurczuk*

*prof. dr hab. Jan Kuś*

Praca wpłynęła do Redakcji 31.10.2008 r.