

Beata BIEGA*, Marta CZARNIECKA**, Adriana TROJANOWSKA-OLICHWER*, Aurelia MACIOŁ***, Grzegorz SWACHA**, Mateusz MESERSZMIT**, Zygmunt KAÇKI**

OCHRONA BIORÓŻNORODNOŚCI ŁĄK A MOŻLIWOŚCI PRODUKCJI BIOGAZU Z BIOMASY ŁĄKOWEJ

Łąki to jedne z najcenniejszych ekosystemów ze względu na bogactwo gatunkowe flory i fauny. Dużą rolę w utrzymaniu zbiorowisk łąkowych stanowią programy rolnośrodowiskowe ukierunkowane m.in. na systematyczne koszenie. Ze względu jednak na spadek pogłowia bydła pozyskane w ten sposób siano często nie jest wykorzystywane. Produkcja biogazu z odpadów organicznych to jedna z metod umożliwiających utylizację problematycznych odpadów, jak też otrzymywanie tzw. zielonej energii. Biologicznemu przetwarzaniu w biogazowniach poddaje się zarówno odpady roślinne, zieleń z pielęgnacji użytków zielonych, odpady z przetwórstwa owocowo – warzywnego, osady ściekowe, jak też odpady zwierzęce. Zastosowanie biomasy łąkowej, pozyskanej w wyniku koszenia łąk, jako substratu do produkcji biogazu w lokalnych biogazowniach to innowacyjny sposób ochrony cennych przyrodniczo siedlisk oraz możliwość dywersyfikacji źródeł dostaw energii.

1. BIORÓŻNORODNOŚĆ ŁĄK

Łąki to jedne z najcenniejszych ekosystemów ze względu na bogactwo gatunkowe flory i fauny. W celu ich właściwej ochrony konieczne jest stosowanie zabiegów takich jak koszenie i/lub prowadzenie wypasu bydła. Od roku 2005 w Polsce notuje się duży spadek powierzchni łąkowych. Są one przekształcane na pola uprawne lub też zaniecha się ich użytkowania. Aby temu zapobiec szczególnie cenne przyrodniczo

* Uniwersytet Wrocławski, Zakład Geologii Stosowanej i Geochemii, ul. Cybulskiego 30, 50 – 205 Wrocław

** Uniwersytet Wrocławski, Zakład Botaniki, ul. Kanonia 6/8, 50 – 328 Wrocław

*** Uniwersytet Wrocławski, Katedra Biogeochemii, Ekologii i Ochrony Środowiska, ul. Kanonia 6/8, 50 – 328 Wrocław

obszary zbiorowisk obejmuje się programem Natura 2000. Formę wsparcia w utrzymaniu zbiorowisk łąkowych stanowią także programy rolnośrodowiskowe ukierunkowane m.in. na systematyczne koszenie łąk. Pozyskane w wyniku tego siano bardzo często nie jest wykorzystywane.

Celem niniejszej pracy jest: 1) przypomnienie znaczenia łąk dla ochrony przyrody oraz dla rozwoju gospodarki; 2) przedstawienie sposobów użytkowania łąk jako czynnika umożliwiającego ich właściwe utrzymanie; 3) analiza wykorzystania biomasy łąkowej do produkcji biogazu.

1.1. ŁĄKI I ICH ZNACZENIE PRZYRODNICZE

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) z 2013 roku ogólna powierzchnia użytków rolnych na terenie Polski wynosi 18 770 tys. ha, z czego 12% stanowią łąki trwałe [14]. W porównaniu z rokiem 2012 powierzchnia tych terenów zmniejszyła się o ok. 6 tys. ha, natomiast w odniesieniu do roku 2005 odnotowano ich ubytek o ok. 79 tys. ha. Zmniejszenie areалу łąk może mieć negatywny wpływ na środowisko ze względu na duże znaczenie jakie odgrywają tereny trawiaste dla ochrony przyrody. Łąki są ekosystemami szczególnie istotnymi dla zachowania bioróżnorodności. Wyróżnia je wysokie bogactwo gatunkowe oraz duży udział gatunków roślin chronionych. Zbiorowiska trawiaste pełnią także ważne funkcje ekologiczne: 1) chronią glebę przed erozją, zarówno wietrzną, jak i wodną; 2) pełnią rolę filtracyjną, zatrzymując niebezpieczne związki chemiczne (np. fosforany, azotany, biocydy) przed przenikaniem do wód gruntowych; 3) zapewniają zwiększenie żyzności gleby dzięki dużej ilości rozkładającej się biomasy [10]. Łąki mają również znaczenie estetyczne, gdyż stanowią ważny element coraz bardziej cenionego krajobrazu wiejskiego [28].

Poza wartościami przyrodniczymi zbiorowiska trawiaste posiadają wartość gospodarczą. Stanowią one źródło paszy dla zwierząt. Według danych GUS 2006-2010 zawartych w artykule Wasilewskiego i Barszczewskiego [33] użytki zielone stanowią 80% powierzchni paszowej, z czego 57% przypada na łąki, a zaledwie 23% na pastwiska. Wynika to między innymi z dużej zawartości ziół w runi łąkowej, które są ważnym elementem diety przeżuwaczy. Innym sposobem wykorzystania łąk jest przeznaczenie biomasy otrzymanej w wyniku ich użytkowania na cele energetyczne min. do spalania lub produkcji biogazu [12, 21].

1.2. METODY OCHRONY BIORÓŻNORODNOŚCI ŁĄK

Powstanie większości zbiorowisk łąkowych jest skutkiem działalności człowieka, a ich utrzymanie wymaga czynnika antropogenicznego jakim jest użytkowanie kośne lub pastwiskowe. Obecnie dużym problemem w ochronie łąk jest zaprzestanie sianokosów oraz wypasu zwierząt. Zjawisko to spowodowane jest w dużej mierze spad-

kiem pogłowia bydła, a w konsekwencji brakiem zapotrzebowania na biomasę łąkową. Zaprzeszanie gospodarki na łąkach powoduje, że ulegają one sukcesji wtórnej i ekspansji gatunków obcych. W efekcie ubożeje ich skład gatunkowy i ostatecznie zanikają z krajobrazu rolniczego naszego kraju. Równie często dochodzi do usuwania łąk z krajobrazu poprzez przemianę ich na grunty orne lub poprzez ich zalesianie. Zagrożeniem dla łąk może być także zbyt intensywna gospodarka kośna, mająca na celu utrzymanie w runi łąkowej traw o wysokiej wartości paszowej oraz eliminacji tzw. chwastów łąkowych.

Potrzeba zachowania łąk postulowana jest przez wielu badaczy, a na ich ochronę przeznaczane są specjalne fundusze pochodzące z budżetu państwa lub Unii Europejskiej. W Polsce łąki objęte są wieloma formami ochrony. Jedną z nich jest ochrona w ramach programu Natura 2000. Wyróżnia się 4 rodzaje łąk stanowiących siedliska przyrodnicze Natura 2000, są to: łąki selernicowe (kod siedliska przyrodniczego: 6440), zmiennowilgotne łąki trzęślicowe (kod siedliska przyrodniczego: 6410), niżowe i górskie świeże łąki użytkowe ekstensywnie (kod siedliska przyrodniczego: 6510) oraz górskie łąki konietlicowe użytkowane ekstensywnie (kod siedliska przyrodniczego: 6520) [15]. Niestety ich właściwa ochrona możliwa jest jedynie na wyznaczonych Obszarach Specjalnej Ochrony Siedlisk, gdzie realizowane są Plany Zadań Ochronnych. Duże znaczenie w ochronie bioróżnorodności ekosystemów łąkowych mają również tzw. programy rolnośrodowiskowe ukierunkowane na ochronę środowiska oraz zachowanie walorów przyrodniczych i kulturowych obszarów wiejskich. Głównym celem programów rolnośrodowiskowych jest udzielanie wsparcia finansowego właścicielom użytków zielonych na rzecz ekstensywnie prowadzonej gospodarki kośnej lub pastwiskowej. Ochrona zagrożonych siedlisk realizowana jest w 2 pakietach [20]. Pierwszy z nich zakłada ochronę ptaków i siedlisk przyrodniczych poza obszarami Natura 2000, natomiast drugi realizuje te same zadania na obszarach Natura 2000. Łącznie 5 typów łąk jest objętych systemem dopłat dla rolników za stosowanie korzystnych dla przyrody, tradycyjnych metod użytkowania. Ochroną objęte są łąki wymienione jako siedliska przyrodnicze w sieci programu Natura 2000 oraz dodatkowo łąki wilgotne ze związku *Calthion*.

Przedstawione formy ochrony zbiorowisk łąkowych w dużym stopniu przyczyniają się do zachowania ekosystemów łąkowych w przyrodzie, mimo to wciąż obserwuje się zanikanie łąk, szczególnie tych o najwyższych wartościach przyrodniczych. Konieczne jest, więc poszukiwanie takich rozwiązań, które umożliwią połączenie ochrony cennych siedlisk przyrodniczych i zagospodarowania wyprodukowanej biomasy przynoszącej korzyści ekonomiczne.

2. PRODUKCJA ENERGII Z BIOMASY

2.1. ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Rosnące zapotrzebowanie na energię, wymusza konieczność podjęcia działań ukierunkowanych na dywersyfikację źródeł dostaw energii. Ponadto, kraje członkowskie Unii Europejskiej są zobligowane przez tzw. Pakiet 3×20 do zwiększenia udziału energii z odnawialnych źródeł (OZE) do 20% wartości całkowitego zużycia energii finalnej do roku 2020. Zasadnym zatem staje się promowanie i rozwijanie energetyki odnawialnej oraz zwiększanie udziału biomasy w strukturze surowcowej.

OZE są doskonałą alternatywą dla tradycyjnych pierwotnych i nieodnawialnych źródeł energii. Ich zasoby uzupełniają się w naturalnych procesach, co praktycznie pozwala traktować je jako niewyczerpalne. Są także bardziej przyjazne środowisku naturalnemu w porównaniu do tradycyjnych źródeł energii, ze względu na mniejszą emisję pyłów, związków siarki, związków azotu, tlenu węgla i gazów cieplarnianych do atmosfery [18]. Zgodnie z art. 3 *Ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 roku. – Prawo energetyczne* [38] pod pojęciem odnawialnych źródeł energii należy rozumieć „*źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątek roślinnych i zwierzęcych*”.

2.2. BIOGAZ I BIOGAZOWNIE ROLNICZE

Produkcja biogazu w procesie fermentacji metanowej biomasy jest jedną z najbardziej obiecujących technologii produkcji bioenergii [34]. Jest też ważna w kontekście spełnienia obowiązujących przepisów prawa, w szczególności Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Jednym z kierunków działań, jaki został nakreślony w tym dokumencie, jest zwiększenie produkcji energii uzyskiwanej z surowców rolnych [5]. Dokument pt. „Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020”, przygotowany przez Ministerstwo Gospodarki (2010) zakłada powstanie do roku 2020, średnio w każdej polskiej gminie, jednej biogazowni rolniczej, w której produkcja biogazu oparta będzie o biomasę pochodzenia rolniczego, przy założeniu, że dana gmina posiada ku temu odpowiednie warunki [24]. Według danych Agencji Rynku Rolnego z dnia 05.02.2014 r. obecnie na terenie Polski funkcjonuje 38 biogazowni rolniczych, w tym na Dolnym Śląsku 4 tego typu instalacje [37]. W wielu krajach obserwuje się rozwój sektora biogazowego. W Centralnej Europie dominującym substratem do produkcji biogazu, ze względu na wysoki potencjał biogazowy jest

kiszonka z kukurydzy [1]. Konkurencja między produkcją bioenergii kukurydzy i jej wykorzystaniem w przemyśle spożywczym powoduje wzrost cen żywności i negatywne konsekwencje dla światowego zaopatrzenia w żywność [31].

Obecnie w wielu biogazowniach rolniczych poddaje się fermentacji odchody świń, krów, drobiu z dodatkowym kosubstratem w celu zwiększenia zawartości materii organicznej i osiągnięcia wyższej biogazodochodowości. Typowymi kosubstratami są pozostałości ze zniw (np. liście buraków cukrowych), odpady organiczne z rolnictwa, resztki żywności, zbierane selektywnie bioodpady komunalne z gospodarstw domowych i upraw energetycznych. Biogazodochodowość poszczególnych substratów różni się znacznie i zależy od źródła ich pochodzenia, zawartości substancji organicznej i składu [18, 34].

Najpowszechniej stosowanymi substratami w polskich biogazowniach rolniczych są: gnojowica, kiszonka z kukurydzy, wywar pogorzelniany, obornik oraz pozostałości z warzyw i owoców [37]. Wynika to w głównej mierze z ich dużej dostępności, łatwości transportu, stosunkowo niskich kosztów ich pozyskania oraz posiadania przez daną instalację odpowiedniej technologii pozwalającej na produkcję biogazu na bazie danego typu surowca. Według dostępnych danych Polska posiada duży potencjał biogazowy, porównywalny z potencjałem Niemiec [17].

W Polsce, realnie dostępny potencjał surowcowy do produkcji biogazu (surowce pochodzenia rolniczego i odpady spożywcze), jest oceniany na około $1,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ biogazu na rok, a po uwzględnieniu upraw roślin energetycznych na $6,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ biogazu na rok [4].

Dawniej fermentacja metanowa związana była głównie z unieszkodliwianiem odpadów takich jak: obornik zwierzęcy czy też osady pościekowe z oczyszczalni ścieków. Prawdopodobnie po raz pierwszy biogaz został wykorzystany do celów gospodarczych 3000 lat temu w Chinach, natomiast pierwsza polska biogazownia powstała w 1928 r. w Poznaniu [17].

2.3. FERMENTACJA METANOWA

Fermentacja metanowa to proces beztlenowego rozkładu wysokocząsteczkowych związków organicznych w wyniku, którego powstają: poferment oraz biogaz. Poferment zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów [32], jest klasyfikowany jako odpady o kodach: 19 06 06 (odpady z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych) oraz 19 06 05 (ciecze z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych). W trakcie procesu fermentacji metanowej, substrat dozowany do komory podlega biochemicznym przekształceniom. We wsadzie fermentacyjnym następuje zmniejszenie zawartości materii organicznej, dochodzi do rozkładu związków odorotwórczych, rozdrobnienia cząstek stałych, poprawia się zdolność do odwodnienia, a także ma miejsce częściowa lub całkowita higienizacja przy stosunkowo małych stratach sub-

stancji nawozowych [18]. Natomiast biogaz stanowi mieszaninę metanu (zawartość 40-75%) oraz dwutlenku węgla (zawartość 25-60%) oraz gazów takich jak azot (< 2%), amoniak (0-450 mg·m⁻³) oraz siarkowodor (0-3500 mg·m⁻³) [18]. Wpływ na skład i jakość powstającego biogazu mają: chemizm substratów, zastosowane rozwiązania technologiczne w komorach fermentacyjnych, a także parametry technologiczne prowadzenia procesu [18].

Za konwersję biomasy w biogaz odpowiadają zróżnicowane konsorcja mikrobiologiczne, złożone m.in. z bakterii hydrolizujących i fermentujących, redukujących wodor, bakterii homoacetogennych i metanowych. Kluczowe znaczenie dla procesu fermentacji metanowej ma kilka czynników, takich jak: obciążenie komory fermentacyjnej (OLR), czas hydraulicznego zatrzymania (HRT), odczyn pH, zawartość amoniaku oraz lotnych kwasów tłuszczowych, temperatura, a także prędkość mieszania wsadu w komorze fermentacyjnej, uwodnienie i zawartość substancji toksycznych [30, 34, 11, 18, 22]. Badania dowodzą, że wpływ na przebieg procesu fermentacji metanowej oraz produkcję biogazu i na jego skład ma stosunek węgla do azotu we wsadzie fermentacyjnym [29, 25]. Według danych literaturowych optymalny iloraz C:N wynosi od 25 do 30 [6, 16, 36]. Jeżeli stosunek C:N jest zbyt wysoki, wówczas węgiel nie ulega w pełni konwersji w biogaz (metan i dwutlenek węgla), co oznacza, że pozostaje on w cieczy pofermentacyjnej. Natomiast w odwrotnym przypadku, tj. gdy zawartość węgla jest zbyt mała w stosunku do zawartości azotu, w fermentującym wsadzie obserwuje się wzrost stężenia toksycznego amoniaku [26].

Produkcja biogazu jest determinowana zarówno, zawartością inhibitorów, takich jak amoniak, jak również szybkością wzrostu mikroorganizmów, odczynem pH, temperaturą i innymi czynnikami. Istotnymi parametrami są odczyn pH oraz temperatura, ponieważ wpływają one m.in. na ilość uwalnianego w układzie amoniaku [30].

Teoretycznie każdy rodzaj biomasy może być użyty jako substrat do produkcji biogazu pod warunkiem, że zawiera węglowodany, białka, tłuszcze, celulozę i hemicelulozę jako główny komponent. Zależnie od warunków prowadzenia i czasu trwania procesu fermentacji, najczęściej ulega rozkładowi od 30 do 60% suchej masy organicznej, w biogaz zostaje natomiast przekształconych około 80% substancji ulegających biodegradacji, 10% w związki rozpuszczalne, które przechodzą do cieczy, zaś 10% - w nowe związki, które są stabilne biologicznie [18].

2.4. CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA BIOGAZODOCHODOWOŚĆ SUBSTRATÓW ROŚLINNYCH

Biogazodochodowość to ilość biogazu, którą można uzyskać z 1 kg suchej masy organicznej (s.m.o.) danego substratu¹. Biogazodochodowość poszczególnych substrata-

¹ Jednostka biogazodochodowości: NL kg_{ODM}⁻¹ lub NL kg_{s.m.o.}⁻¹ (gdzie: NL – litr gazu w warunkach normalnych, ODM /s.m.o.- sucha masa organiczna)

tów różni się znacznie i zależy od źródła ich pochodzenia, zawartości substancji organicznej, składu. Wszystkie substraty do produkcji biogazu powinny być wolne od patogenów i innych organizmów [34, 18, 3]. Badania laboratoryjne pozwalają na dokładną analizę jakości substratu. Do oznaczeń podstawowych, umożliwiających uzyskanie wstępnej charakterystyki substratu zalicza się analizy: zawartości suchej masy i suchej masy organicznej; zawartości węgla i azotu wyrażane jako stosunek C/N; pH substratu; chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT) oraz zawartości makro i mikroelementów zakumulowanych w substracie [26]. Na przebieg procesu fermentacji mają wpływ kationy metali (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+), które w zależności od stężenia mogą mieć charakter stymulujący lub hamujący [7]. Metale ciężkie takie jak np.: Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni są inhibitorami produkcji biogazu, gdyż ulegają akumulacji w komórkach baterii i powodują ich dysfunkcję. Po ich dostaniu się do organizmów żywych akumulują się w organach, przyczyniając się do wielu dysfunkcji [26].

Nadmierna akumulacja metali ciężkich w warstwie powierzchniowej gleb stanowi jedną z przyczyn degradacji chemicznej gleb. Nagromadzone metale ciężkie w glebach, szczególnie w formie łatwo dostępnej dla roślin, mogą być bezpośrednią przyczyną nadmiernego nagromadzenia tych pierwiastków w tkankach roślin, w konsekwencji stanowiąc zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt podczas ich spożywczego wykorzystania [9]. O dostępności opisywanych mikroelementów dla roślin decydują następujące czynniki środowiska przyrodniczego: skład granulometryczny gleb, odczyn oraz zasobność gleb w próchnicę [35]. Analiza zawartości pierwiastków w roślinach odzwierciedla skład chemiczny środowiska ich wzrostu [19], dlatego też badania biogeochemiczne środowiska substratu oraz samego substratu dają kompleksowe informacje na temat czynników wpływających na biogazodochodowość.

3. PRODUKCJA BIOGAZU Z SUBSTRATÓW ROŚLINNYCH

Proces fermentacji metanowej jest dobrym przykładem praktycznego zagospodarowania, zarówno produktów ubocznych, jak i biomasy surowców dedykowanych do produkcji energii. Spośród surowców energetycznych, najszerzej wykorzystuje się biomasę kukurydzy, ze względu na dużą produktyjność tej rośliny, opanowaną technologię uprawy i przechowywania pozyskanego materiału. Zastosowanie w biogazowniach rolniczych znajdują również trawy oraz rośliny bobowe w uprawach czystych i mieszankach z trawami. Zazwyczaj w uprawach dedykowanych dla biogazowni wykorzystuje się rośliny zaliczane do tzw. żywnościowych surowców strategicznych [13], jednak wymagania dotyczące jakości biomasy wykorzystywanej do produkcji biogazu są inne aniżeli biomasy przeznaczonej np. do karmienia bydła [1].

3.1. PRODUKCJA BIOGAZU Z TRAW

Spośród dostępnych sposobów konwersji biomasy łąkowej w energię, produkcja biogazu jest obecnie najszerzej rozpowszechnioną praktyką w Europie. W Niemczech i Austrii kiszonki traw są wykorzystywane jako substrat w ponad 50% biogazowniach, są także drugim po kiszonce z kukurydzy najczęściej stosowany surowcem roślinnym. Według danych, także w Belgii i Szwecji trawy stanowią ważny komponent wsadów fermentacyjnych [28]. Dotychczasowe dane literaturowe wskazują na zróżnicowaną produkcję biogazu z traw w zależności od okresu pozyskania biomasy, liczby koszeń biomasy, sposobu przygotowania i konserwacji biomasy, intensywności użytkowania łąk, typu i poziomu nawożenia łąk, z których pozyskano biomasę. Istotnym zagadnieniem w kwestii wykorzystania surowców roślinnych do produkcji biogazu jest osiągnięcie jak najwyższej produkcji biogazu/metanu w przeliczeniu na hektar upraw [28].

Pierwsze badania porównawcze, dotyczące produkcji biogazu z upraw jednorodnych wykonane dla kilku gatunków traw, zostały przeprowadzone w Szwajcarii. Stwierdzono niewielkie różnice wskaźnika biogazodochodowości dla tymotki, kupkówki i mozgi trzcinowej. Wskaźnik ten mieścił się w zakresie od 490–540 NL kg_{ODM}⁻¹. Spośród badanych gatunków, jedynie wyczyńiec łąkowy charakteryzował się niższym wskaźnikiem biogazodochodowości (420 NL kg_{ODM}⁻¹) [2, 28].

Badaniami dotyczącymi zróżnicowania produkcji biogazu w zależności od składu gatunkowego traw wykorzystanych jako substrat zajmował się także i Mähnert i inni [23, 28]. Autorzy ci wykonali analizy biogazodochodowości dla biomasy pozyskanej z 7 gatunków traw (życica trwała, kupkówka pospolita, kostrzewa trzcinowa, kostrzewa czerwona, kostrzewa łąkowa, wyczyńiec łąkowy, tymotka) pochodzącej z pierwszego pokosu (połowa maja), zarówno świeżej, jak i zakiszonej. Rezultaty badań wykazały bardzo zróżnicowaną biogazodochodowość poszczególnych gatunków traw: od 800 NL kg_{ODM}⁻¹ (kupkówka pospolita) do 909 NL kg_{ODM}⁻¹ (kostrzewa łąkowa) w przypadku biomasy świeżej oraz od 591 NL kg_{ODM}⁻¹ (tymotka) do 929 NL kg_{ODM}⁻¹ (życica trwała) w przypadku kiszonek; przy czym różnice pomiędzy dwoma powtórzeniami były większe aniżeli pomiędzy poszczególnymi gatunkami.

Istotne znaczenie dla ilości uzyskiwanego biogazu w wyniku fermentacji metanowej ma również okres zbioru biomasy, co zostało potwierdzone przez kilka eksperymentów fermentacyjnych. Dowiedziono, że metanowość substratu maleje wraz z stadium zaawansowania wegetacji na skutek wzrostu zawartości hemicelulozy i ligniny we włóknie surowym, które zaliczane są do związków trudno rozkładalnych w warunkach beztlenowych [34, 28]. Ponadto, w późnych okresach zbioru biomasy obserwuje się także niższe stężenia metanu w biogazie ze względu na niższą zawartość białka surowego oraz tłuszczu [34].

Wpływ na biogazodochodowość traw ma również termin zbioru biomasy. Trzyletnie badania prowadzone w Niemczech wykazały, że biogazodochodowość maleje w sposób liniowy w trakcie sezonu, tj. od czerwca do lutego, z 541 NL kg_{ODM}⁻¹ do 299 NL kg_{ODM}⁻¹ [28]. Praca Amon`a i współautorów [1] również potwierdzają spadek metanowości traw w późnym okresie zbioru biomasy. Generalnie, na podstawie danych literaturowych można stwierdzić, że biogazodochodowość/metanowość traw maleje w późniejszym okresie wegetacji [28].

Sposób zarządzania użytkami trwałymi, częstotliwość, termin zbioru oraz poziom nawożenia, tak jak prowadzona gospodarka wodna, ponowne sadzenie czy też stosowane zabiegi mechaniczne wpływają na uzysk biogazu z biomasy łąkowej. Badania fermentacyjne przeprowadzone przez Amon`a i innych [1], z wykorzystaniem biomasy łąkowej pozyskanej z alpejskich łąk w Austrii, różniących się między sobą sposobem użytkowania (łąki użytkowane intensywnie i ekstensywnie), wykazały 3-4 krotnie wyższą produkcję metanu w przypadku biomasy z terenów użytkowanych intensywnie. Ponadto, dowiodły, że metanowość badanych substratów wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości wykaszania [28].

Biogazodochodowość substratu jest też determinowana warunkami uprawy traw. Badania przeprowadzone przez Oleszek i współautorów [27], dotyczące porównania potencjału metanowego mozgi trzcinowej uprawnej i dzikorosnącej, oceny jej przydatności do produkcji biogazu, wykazały, że badane gatunki mozgi trzcinowej istotnie różniły się między sobą właściwościami fizykochemicznym (zawartością suchej masy, suchej masy organicznej, białka, tłuszczu, włókien surowych oraz makro- i mikroelementów). Odmiany uprawne charakteryzowały się ponad 3 krotnie wyższym wskaźnikiem biogazodochodowości w porównaniu z gatunkami dzikorosnącymi. Przymuszczalnie dzikorosnąca mozga trzcinowa może okazać się tanim źródłem biomasy dla biogazowni w przypadku zastosowania odpowiednich zabiegów, jak częste koszenie i nawożenie [27].

4. PODSUMOWANIE

1. Istnieje uzasadniona potrzeba ochrony cennych przyrodniczo łąk. Jednym ze sposobów jest ich ekstensywne użytkowanie, nie mniej jednak wiąże się to z koniecznością zagospodarowania pozyskanej w wyniku koszenia biomasy łąkowej.
2. Rozwój lokalnych biogazowni rolniczych, w których jako kosubstrat wykorzystywana byłaby biomasa łąkowa, wydaje się być zasadny z punktu widzenia polityki energetycznej kraju, jak i ochrony bioróżnorodności łąk.
3. Wykorzystanie biomasy łąkowej do produkcji biogazu jest warunkowane wieloma czynnikami, wśród których kluczową rolę odgrywa jakość substratu. Bio-

gazodochodowość biomasy łąkowej może być bardzo zróżnicowana, stąd ważne jest prowadzenie badań nad indywidualnym doborem surowców do biogazowni.

LITERATURA

- [1] AMON T., AMON B., KRYVORUCHKO V., MACHMÜLLER A., HOPFNER-SIXT K., BODIROZA V., HRBEK R., FRIEDEL J., PÖTSCH E., WAGENTRISTL H., SCHREINER M., ZOLLITSCH W., *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations*. *Bioresource Technology*, 2007, 98: 3204-3212.
- [2] BASERGA U., EGGER K., *Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung (Anaerobic digestion of energy grass for biogas production)*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm Biomasse, Tänikon, 1997.
- [3] BIEGA B., *Substraty do produkcji biogazu na przykładzie wybranych biogazowni rolniczych* [w:] Młodzi naukowcy dla Polskiej Nauki 5., pod red. Kuczera M., CreativeTime, 2012, 22–31.
- [4] BUDZIANOWSKI W.M. *Sustainable biogas energy in Poland: prospects and challenges*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2012, 16 (1), 342–349.
- [5] CEBULA J., WIDZIEWICZ K., LOSKA K., KORUS I., *Oznaczanie zawartości wybranych metali w substratach fermentowanych w mikrobiogazowni rolniczej* [w:] *Ekoenergetyka – biogaz. Wyniki badań, technologie, prawo i ekonomika w rejonie Morza Bałtyckiego*, pod red. Cenian A., Gołaszewski J., Noch T., Wydawnictwo Wyższej Szkoły Gdańskiej, Gdańsk, 2012, 28–37.
- [6] DOERR B., LEHMKUHL N., *Methane digesters*, *Eco Technical Note*, 2001, (<http://c.ygcdn.com>);
- [7] DYMACZEWSKI Z., SOZAŃSKI M.M., OLESZKIEWICZ J.A., *Poradnik eksploratora oczyszczalni ścieków*, PZITS Poznań, 1995.
- [8] EASTMAN J. A., FERGUSON J. F., *Solubility of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion*. *J. Wat. Poll. Control. Fed.*, 1981, 53: 352–366.
- [9] EURPIDOU E., MURRAY V., *Public health impacts of floods and chemical contamination*. *J. of Public Health*, 2004, 26, 4: 376–383.
- [10] FUKSA P., HAKL J., HREVOŠOVÁ Z., ŠANTRŮČEK J., GERNDTOVÁ I., HABART J. *Utilization of permanent grassland for biogas production*. In: ARZU ŞENCAN ŞAHİN (red.). *Modeling and optimization of renewable energy systems*. 2012, 171–196.
- [11] GŁASZCZKA A., WARDAL W. J., ROMANIUK W., DOMASIEWICZ T., *Biogazownie rolnicze*. MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2010.
- [12] GOLIŃSKI P., JOKŚ W. *Właściwości chemiczne i biologiczne traw a produkcja biogazu*. *Łąkarstwo w Polsce*, 2007, 10: 37-47.
- [13] GOŁASZEWSKI J., *Biogazownia rolnicza* [w:] *Eko-energetyka – zagadnienia technologii, ochrony środowiska i ekonomiki*, pod red. Cenian A., Noch T., Wyd. Gdańskiej Szkoły Administracyjnej, Gdańsk, 2010
- [14] GÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY. *Rocznik statystyczny 2013*.
- [15] HERBICH J., *Murawy, łąki, ziołorośla, wrzosowiska, zarośla. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – podręcznik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2004, T. 3, 101.
- [16] HUANG, G.F., WONG, J.W.C., WU, Q.T., NAGAR, B.B., *Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust*. *Waste Manage.*, 2004, 24, 805–813.
- [17] IGLIŃSKI B., BUCZKOWSKI R., IGLIŃSKA A., CICHOSZ M., PIECHOTA G., KUJAWSKI W., *Agricultural biogas plants in Poland: investment process, economical and environmental aspects, biogas potential*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16 (7), 4890–4900.
- [18] JĘDRCZAK A., *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2007, 80–113.

- [19] KABATA – PENDIAS A., PENDIAS H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.
- [20] KAŃCKI Z., STYPIŃSKI S., *Ochrona zagrożonych siedlisk przyrodniczych w programie rolnośrodowiskowym*. [w:] Biblioteczka programu rolnośrodowiskowego 2007-2013, Warszawa, 2011.
- [21] KASZAK M., *Efektywność energetyczna produkcji nośników energii z biomasy. Praca dyplomowa-inżynierska*. Akademia Techniczno-Rolnicza im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, 2006, 85.
- [22] MAGREL L., *Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych i gnojowicy*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok, 2004, 28.
- [23] MÄHNERT P., HEIERMANN, M. PÖCHL, H. SCHELLE, B. LINKE, *Alternative use for grassland cuts – forage grasses as biogas co-substrates*, Landtechnik, 2002, 57, 260–261
- [24] MINISTERSTWO GOSPODARKI, *Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020*, Warszawa; 2010, 3–23.
- [25] MIQUELETO A.P., DOLOSIC C. C., POZZI E., FORESTI E., ZAIAT M., *Influence of carbon sources and C/N ratio on EPS production in anaerobic sequencing batch biofilm reactors for wastewater treatment*, Bioresource Technology, 2010, 101(4):1324-1330.
- [26] OLESIENKIEWICZ A., *Interpretacja wyników badań laboratoryjnych i ich przełożenie na parametry biotechnologiczne fermentacji metanowej*. Biogaz Zeneris, 2010.
- [27] OLESZEK M., KRÓL A., TYS J., MATYKA M., KULIK M., *Comparison of biogas production from wild and cultivated varieties of reed canary grass*, Bioresource Technology, 2014, Vo.156: 303–306.
- [28] PROCHNOW A., HEIERMANN M., PLOCHL M., LINKE B., IDLER C., AMON T., HOBBS P.J., *Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas*. Bioresource Technology, 2009, 100:4931-4944.
- [29] PUŃAŁ A., TREVISAN M., ROZZI A., LEMA, J.M., *Influence of C:N ratio on the start-up of up-flow anaerobic filter reactors*, Water Research, 2000, Vo 34 (9):2614-2619.
- [30] RAJENDRAN, K., KANKANALA, H.R., LUNDIN, M., TAHERZADEH, M.J., *A Novel Process Simulation Model (PSM) for Anaerobic Digestion Using Aspen Plus*, Bioresource Technology, 2014 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.051>
- [31] RITTMANN, B. E., *Opportunities for renewable bioenergy using microorganisms*. Biotechnology and Bioengineering. 2008, 100 (2), 203–212.
- [32] ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2001 nr 112 poz. 1206).
- [33] WASILEWSKI Z., BARSZCZEWSKI J., *Stan trwałych użytków zielonych i możliwość ich wykorzystania do produkcji biogazu*. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2011. 2: 149-156.
- [34] WEILAND P., *Biogas production: current state and perspectives*, Appl Microbiol Biotechnol, 2010, 85: 849– 860.
- [35] ZAWADZKI S., 1999. *Gleboznawstwo*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- [36] ZHU N., *Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw*, Bioresource Technology, 2007, 98, 9–13.
- [37] <http://www.arr.gov.pl>
- [38] <http://isap.sejm.gov.pl>

PROTECTION OF MEADOWS BIODIVERSITY VERSUS POSSIBILITY OF MEADOWS BIOMASS USAGE FOR BIOGAS PRODUCTION

Meadows play an important role in the agricultural landscape. They are one of the most valuable ecosystems, essential for maintaining biodiversity, despite their primarily usage in animal husbandry. Unfortunately this function becomes less important in recent times due to the livestock decrease. Therefore,

many meadows have been converted into arable lands, afforested or abandoned. In order to prevent further disappearance of grasslands an alternative ways of biomass usage should be implemented.

The biogas production from organic waste is one of the useful methods for utilization of organic waste and production of so called "green energy". The meadows biomass is considered as a feedstock for biogas production in local biogas plants. In this paper the main factors affecting methane fermentation and biogas yield from grass biomass have been discussed.