

Biomasa

Artykuł powstał przy współpracy z Mieczysławem Grzesikiem - Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach oraz Beatą Z. Romanowską-Dudą - Uniwersytet Łódzki.

Biomasa była paliwem wykorzystywanym przez człowieka, aż do połowy XVIII wieku. W ostatnich latach obserwuje się ponowny wzrost zainteresowania energią z biomasy, jako ekologiczne źródło energii i neutralne wobec efektu cieplarnianego, bowiem rośliny w okresie wzrostu w procesie fotosyntezy (cykl C4 i C3) pobierają taką samą ilość dwutlenku węgla, jaka wydziela się podczas ich spalania. Takiego bilansu nie zapewniają paliwa kopalne. Jedna megawatogodzina (MWh) wyprodukowana przy wykorzystaniu węgla kamiennego lub brunatnego zanieczyszcza środowisko 15 kg dwutlenku siarki (SO₂) i 7 kg tlenków azotu (NO_x), a także 150 kg popiołów lotnych. Natomiast w przypadku spalania biomasy następuje znaczący stopień redukcji nie tylko SO₂, ale także zanieczyszczeń organicznych, w tym wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz lotnych związków organicznych. W wielu opracowaniach naukowych dowodzi się, że wytwarzanie energii cieplnej z biomasy jest tańsze niż w oparciu o kopaliny. Z tego powodu wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w Polsce jest coraz powszechniejsze. Niektóre obliczenia wskazują, że 38% zapotrzebowania energetycznego Polski może zostać wytworzona z biomasy, co w Europie stawia nasz kraj w czołówce potencjalnych producentów energii z surowców roślinnych.

W Rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii (Dz. U. Nr 104 poz. 971) biomasa została zdefiniowana w sposób następujący: „Biomasa to substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które podlegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej i leśnej oraz przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także inne części odpadów, które podlegają biodegradacji”. Podstawowymi składnikami biomasy są węglowodany (dwucukry i cukry proste), skrobia (amyloza ok. 20% i amylopektyny ok. 80%) i lignina (wysokocząsteczkowy biopolimer). Węglowodany i skrobia są podstawowymi składnikami roślin i stanowią źródło pokarmu dla ludzi i zwierząt. Pozostałe składniki biomasy, które nie mają właściwości odżywczych to: celuloza, hemiceluloza i lignina - są cennym surowcem energetycznym (biogaz). Zawartość tych składników zależy od rodzaju roślin i może wynosić 40-60% celulozy, 20-40% hemicelulozy i 10-25% ligniny [Piwowarczyk J. 2003]. Połączenie celulozy, hemicelulozy i ligniny w różnych kombinacjach wiązaniami niekowalencyjnymi lub kowalencyjnymi, powoduje powstanie polimerów zwanych "lignocelulozowymi". Obejmują one połowę materiału roślinnego produkowanego w procesie fotosyntezy i stanowią najbardziej wydajne źródło odnawialnych zasobów ekologicznych na Ziemi [Perez-Garcia, 2005].

Ważnym źródłem biomasy jest zagospodarowanie powierzchni gruntów niewykorzystanych rolniczo, które szacuje się w Polsce na ok. 2 mln ha. Przeznaczenie części tych terenów pod uprawy energetyczne stanowi racjonalną alternatywę dla tradycyjnej produkcji uprawowej. Wykorzystanie do celów energetycznych biomasy produkowanej na glebach słabych z zastosowaniem ekologicznych technologii, daje możliwość utworzenia nowych miejsc pracy w rolnictwie, a także w przedsiębiorstwach produkujących urządzenia do zbioru. Z kolei w kategoriach międzynarodowych upowszechnienie stosowania biomasy jako paliwa w polskiej energetyce stworzy możliwości częściowego uniezależnienia się od importu paliw kopalnych. Podstawową zaletą biomasy jest zdolność długotrwałego magazynowania energii słonecznej i możliwość wykorzystania jej w dowolnym czasie i energia potrzebna do jej wytworzenia jest bezpłatna. Ponadto w związku z ograniczonymi zasobami paliw konwencjonalnych, spodziewany

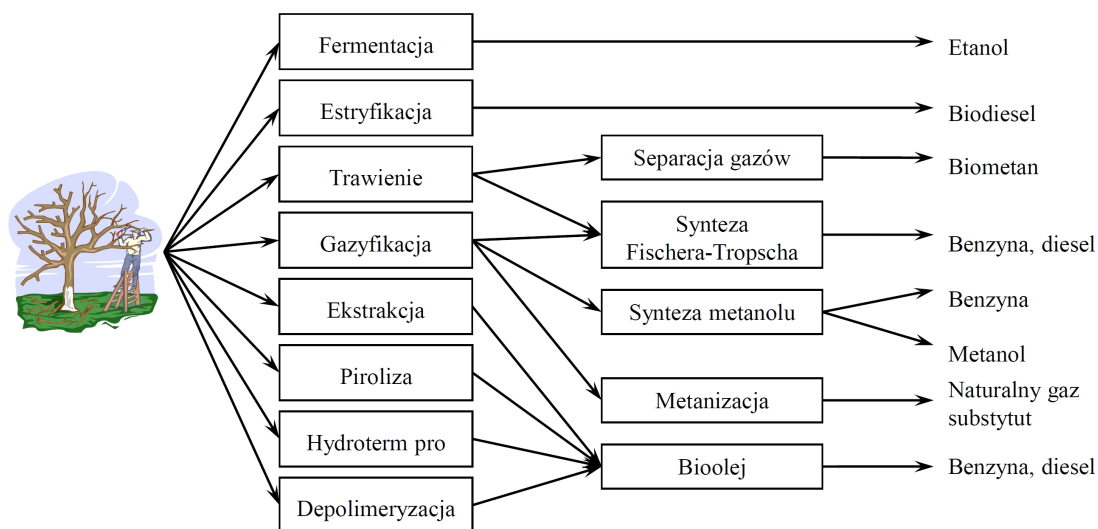
jest w niedalekiej przyszłości wzrost cen kopalin na rynkach, co jeszcze bardziej spowoduje wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii, a szczególności biomasy. Istotnym elementem jest cena rynkowa biomasy, gdyż ona decyduje o kosztach ogrzewania. Biomasa wciąż jest tańszym substratem energetycznym i z tego powodu wzrasta zainteresowanie jako substytutu konwencjonalnych nośników energii. Niebagatelnym argumentem przemawiającym za energetycznym wykorzystaniem biomasy jest pozostawienie środków finansowych na obszarze gminy lub powiatu, co wpływa korzystnie na rozwój lokalnej infrastruktury w branży rolniczo-energetycznej gmin wiejskich

Biomasa posiada również wady, do których można zaliczyć małą koncentrację energii w jednostce masy (kWh/kg; kilowatogodzina/kilogram) lub objętości (kWh/m³) w odniesieniu do konwencjonalnych nośników energii, niską wartość opałową uzależnioną od wilgotności biomasy (30-60%), podatność na biologiczny rozkład przez bakterie gnilne, małą gęstość biopaliw pochodzących z biomasy utrudniających transport i magazynowanie (np. słoma, osady ściekowe, estry oleju rzepakowego, biogaz) oraz dużą różnorodność technologii przetwarzania na nośniki energii. Poza tym najczęstszą przyczyną niepowodzeń zastosowania biomasy jako nośnika energii jest jej spalanie w kotłach do tego nieprzystosowanych (np. spalanie drewna w kotłach węglowych). Maksymalny odzysk energii skumulowanej w biomase jest możliwy tylko w urządzeniach konstrukcyjnie zmodyfikowanych. Obecnie w lokalnych kotłowniach, które w dalszym ciągu są jeszcze opalane węglem, wprowadza się modernizację urządzeń, polegającą na przystosowaniu kotłów do efektywnego wysokosprawnego spalania zrębków, granulatu drzewnego lub słomy.

Pomimo tych mankamentów, w większości krajowych i światowych opracowaniach dotyczących odnawialnych źródeł energii, biomasa jest przedstawiana jako surowiec charakteryzujący się największym potencjałem energetycznym, którego wykorzystanie będzie sukcesywnie wzrastać. Z tego powodu eksperci uważają, że polityka energetyczna naszego kraju w zakresie odnawialnych źródeł energii powinna opierać się głównie na wykorzystaniu biomasy.

MOŻLIWOŚCI PRZETWARZANIA BIOMASY NA CELE ENERGETYCZNE

Biomasa jest istotnym źródłem energii odnawialnej w Polsce i na świecie. Ponad 98% podaży energii ze źródeł energii odnawialnych w 2000 roku w Polsce pochodziło z biomasy [Wiśniewski 2001; Kowalik 2002]. Światowy potencjał energetyczny biomasy wynosi 3x10¹⁵ MJ/ha (megadżul/hektar) i jest wielkością ośmiokrotnie większą od światowego zużycia energii pochodzącej z pozostałych źródeł, jednak jest on wykorzystywany tylko w 7%, z czego 3,5% w krajach rozwijających się i 3% w krajach wysokorozwiniętych. Dla przykładu w USA istnieje 350 elektrowni na biomasę, które mają moc ok. 13 000 MW (megawat) i planowany jest ich dalszy rozwój [Igliński i wsp., 2009]. W Polsce szacuje się, że potencjał energetyczny niewykorzystywanej biomasy pochodzenia rolniczego wynosi 104 PJ/ha (petadżul/hektar; 1 PJ=34121 tpu tj. tony paliwa umownego) [Bedi E., 1996]. Z kolei całkowity potencjał biomasy wynosi ok. 407,5 PJ, w tym w rolnictwie 195 PJ, leśnictwie 101 PJ, sadownictwie 57,6 PJ i przemyśle drzewnym 53,9 PJ. Na rysunku 1 przedstawiono asortyment paliw płynnych i gazowych, które mogą być generowane z biomasy [Muradov i Veziroglu, 2008].



Rys. 1. Biopaliwa wytwarzane z biomasy. [wg Muradov i Veziroglu, 2008].

Porównując właściwości energetyczne wybranych nośników energii (Tab. 1). wynika, że najwyższą wartość opałową mają zrębki leśne, kora, wierzba i drewno odpadowe. Spalanie odpadów drzewnych cechuje powstawanie mniejszej ilości pyłów lotnych oraz popiołu, gdyż przeciętne zawartości części niepalnych – popiołu w zrębkach drzewnych (0,5–3%) oraz w innych odpadach drzewnych są niższe niż w słomie (4%) oraz węglu (12%) [Guzek, Pisarek 2002].

Tab. 1 Wartość opałowa wybranych biopaliw stałych [Gradziuk i in. 2002; Guzek, Pisarek 2002]

Nośnik energii	Wartość opałowa [MJ/ kg]
Zrębki drzewne	10,4
Słoma żółta	14,3
Słoma szara	15,2
Drewno odpadowe	16,0
Wierzba	18,6 ÷ 19,3
Kora	18, 5 ÷ 20,0
Zrębki leśne	19,2 ÷ 20,0

WYKORZYSTANIE ENERGETYCZNE BIOMASY W PROCESIE PRODUKCJI BIOGAZU

Niezbyt rozpowszechnioną dziedziną odnawialnych źródeł energii w Polsce jest pozyskiwanie biogazu z odpadów organicznych, a szczególnie w gospodarstwach rolnych, gdzie powstają ogromne ilości gnojowicy i obornika [Bal, Piechocki 2002]. Rocznie uzyskujemy ponad 140 mln ton odchodów, które podczas składowania przenikając do gleb i cieków wodnych, powodują skażenie wód powierzchniowych. Tradycyjne odpady rolnicze są używane jako nawóz, a niekiedy składowane na wysypiskach. Obydwie te metody najczęściej powodują, zagrożenie dla środowiska

oraz zdrowia i życia ludzkiego, co wynika z obecności w odpadach: bakterii, wirusów, pasożytów i grzybów. Najlepszą metodą utylizacji odpadów rolniczych i pochodzących z gospodarki komunalnej jest przetworzenie biomasy z jednoczesną produkcją biogazu w procesie fermentacji metanowej. Produktem ubocznym tego procesu są odpady pofermentacyjne, które mogą być stosowane, jako pełnowartościowy nawóz, co redukuje koszty i ilość stosowanych nawozów sztucznych. (Tab.2)[Dobkowski].

Tab. 2. Wydajność biogazu w m³/dt ś.m. z wybranych substratów biomasy

Substrat	Ilość biogazu [m ³ /dt ś.m]
Wytłoki z nasion rzepaku -10% tłuszczu	70,0
Pszenica (ziarno)	64,9
Kukurydza (kiszonka)	19,8
Trawa (kiszonka)	15,8
Buraki cukrowe	14,5
Ziemniaki	13,4
Miskant	10,9
Liście buraków cukrowych (kiszonka)	8,6

BIOMASA Z UPRAW POLOWYCH

Istotnym elementem w doborze roślin do produkcji biogazu jest wydajność suchej masy (na jednostkę powierzchni) i udział w niej łatwo fermentujących komponentów, a także możliwość sprawnego magazynowania zebranej biomasy. W przypadku upraw polowych, żeby produkcja biogazu była opłacalna należy uzyskać 80-165 dt/ha (decytyna/hektar; 1dt = 100kg) kukurydzy o zawartości 32% suchej masy; 85-115 dt/ha całych dojrzałych roślin zbożowych; 60-100 dt/ha traw, lub koniczyny z trawami; 40-90 dt/ha porostu z użytków zielonych lub 50-85 dt/ha ziarna zboża. W Niemczech biogazownie rolnicze wykorzystują różnorodne produkty, w tym biomasę roślinną (45%), gnojowicę (24%) i odpady pochodzące z przerobu roślin na żywność (15%). Najbardziej popularne są kiszonki z całych roślin kukurydzy (97%), ziaren zbóż - głównie pszenicy, pszenżyta i żyta (50%), z roślin zbożowych (49%), z traw (35%), zielonka z traw (8%), ziarno z kukurydzy (3%) oraz 1% - inne surowce (kiszonka ze słonecznika, ziemniaki, buraki, siano, słoma, wywar gorzelniany). Popularnym substratem w biogazowniach rolniczych (93%) jest sama gnojowica lub w mieszaninie z kiszunkami i innymi surowcami.

W Polsce do produkcji biogazu zaleca się: kukurydzę, zboża i ich mieszanki, zboża i strączkowe w mieszance, słonecznik, topinambur (słonecznik bulwiasty), czyste trawy i trawy w mieszance z koniczyną lub lucerną, lucernę i mieszanki lucerny, a także liście buraków cukrowych. Stosując zieloną biomasę do produkcji biogazu i chcąc uzyskać najwyższą wydajność tego procesu, należy zapewnić stabilny proces fermentacji poprzez ciągły wsad surowcowy do komory fermentacyjnej, zbiór roślin w optymalnej fazie wegetacji i konserwację ich przez zakiszenie. Proces suszenia (produkcja siana) nie jest zalecany, ponieważ zasuszone rośliny są gorzej fermentowane przez bakterie metanowe. Ilość uzyskanego biogazu z kiszunki jest mniejsza niż z biomasy zielonej, ale wyższa niż z siana. Wydajność biogazu z zielonego porostu łąkowego wynosi 0,283 do 0,438 Nm³/

kg SSO (Nm³ - znormalizowana jednostka objętości gazu w m³ w warunkach normalnych – ciśnienie = 1013,25 mbar; SSO - sucha substancja organiczna), natomiast z kiszonki z porostu łąkowego 0,250 - 0,436 Nm³ CH₄/kg SSO (CH₄ – metan), zaś z siana tylko 0,250 – 0,310 Nm³ CH₄/kg SSO. W procesie zakiszania zielonej biomasy bakterie kwasu mlekowego w warunkach beztlenowych, przy odpowiedniej zawartości cukru, wytwarzają głównie kwas mlekowy, który jest czynnikiem konserwującym, kwas octowy i inne lotne kwasy tłuszczowe (propionowy, mrówkowy, kapronowy, walerianowy) oraz alkohole (etanol, metanol, propanol). Produkty te są wykorzystywane przez bakterie metanowe jako składnik do produkcji biometanu. Kiszonka z biomasy zielonej do produkcji biogazu może być wykorzystywana w ciągu całego roku i powinna cechować się stabilnością tlenową. Można zastosować tu preparaty mikrobiologiczne (zwane inokulantami), a zwłaszcza te, które zawierają szczepy bakterii mlekowych hetero-fermentacyjnych. Nie należy stosować kiszonek spleśniałych z uwagi na niską wydajność procesu pozyskiwania biogazu (hamowanie rozwoju bakterii metanogennych) oraz występowanie mykotoksyn.

ROŚLINY ENERGETYCZNE ZASTOSOWANE DO PRODUKCJI BIOGAZU

Kukurydza - należy uprawiać w technologii kiszonkowej. Roślina ta powinna cechować się wysokim plonem suchej masy oraz dużą zawartością cukru i skrobi. Zdrowe zielone liście i łodygi są szybciej rozkładane w procesie metanogenezy, natomiast porażone grzybami i zaschnięte są mniej wartościowym substratem do produkcji biogazu. Kukurydza przeznaczona na kiszonkę (całe rośliny) jako substrat do produkcji biogazu powinna mieć zielone liście i łodygi oraz zawierać 28-35% suchej masy (nie więcej niż 40%) i 30% skrobi. Optymalny termin zbioru to stadium tworzenia kolb, kiedy jest wysoka zawartość: białka, tłuszczu, włókna surowego i jego składników (celulozy, hemicelulozy, ligniny), jak również skrobi i cukru, które są najefektywniej wykorzystywane w produkcji biometanu. Sorgo - roślina ta dobrze znosi suszę. Zbiór należy prowadzić w czasie dojrzałości mleczno-woskowej ziarna. Plon dochodzi do 600-800 dt/ha, przy zawartości 20% suchej masy. Biomase sorgo można zakiszać razem z kukurydzą. Topinambur - plon około 600 dt/ha zielonki o zawartości 30% suchej masy. Biomase należy dokładnie rozdrobnić. Trawy - zaleca się uprawiać następujące gatunki traw: rajgras wyniosły (*Arrhenatherum elatius* L.), wyczyniec łąkowy (*Alopecurus pratensis* L.), tymotka łąkowa (*Phleum pratense* L.), życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* L.), życica trwała (*Lolium perenne* L.), stokłosa bezostna (*Bromus intermis* Leyss.), kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), mietlica biała (*Agrostis alba* L.), mieszaniec międzygatunkowy *Festulolium*. Trawy należy kosić w fazie tworzenia wiech lub kłoszenia, kiedy sucha masa wynosi 20%. W celu lepszej wydajności należy biomase traw podsuszyć do 30-40% i poddać procesowi kiszenia. Jednym z nowych gatunków uprawianych w Polsce jest ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby), miskant olbrzymi (*Miscanthus sinensis giganteus*), miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*), a także konopie włókniste. Rośliny zbożowe i ziarno - mogą tu być wykorzystane same zboża ozime (pszenica, żyto, pszenżyto) lub jare (jęczmień, owies), albo w mieszance z roślinami strączkowymi. Zboża zawierają 25% suchej masy i nie należy ich podsuszać. Żyto uprawiane na glebach słabych, może być cennym surowcem do produkcji biogazu. Według danych uzyskanych w Niemczech wydajność procesu wynosi 4330 Nm³CH₄/ha. Ziarno zbóż - posiada dużą ilość skrobi (65-75%) w suchej biomase, która jest łatwo fermentowana przez bakterie metanowe. Ziarno zbóż jest łatwe do transportu i magazynowania.

INNE SUROWCE ROŚLINNE DO PRODUKCJI BIOGAZU

Zielona biomasa łąkowa - optymalny termin zbioru z przeznaczeniem na kiszonkę przypada na fazę wykształcania wiech przez trawy wysokie (I pokos), kiedy zawartość suchej masy wynosi 17-22%. Kiszeniu poddaje się pokost podsuszony do 30-40% suchej masy, pocięty na sieczkę o długości 4-8 mm. Zbiór II i III pokosu określa się według dni wegetacji. Liście buraczane – o zawartości suchej

masy ok. 15%, wydzielają dużo soku kiszonkowego, który można wykorzystać jako substrat do produkcji biogazu wraz z innymi surowcami. Okopowe – to ziemniaki, buraki cukrowe i buraki pastewne o zawartości suchej masy 15-20%. Do grupy tej należą też bulwy topinamburu, zawierające ok. 20% suchej masy, w tym cukier i skrobię, które są łatwo fermentowane. Wydajność uzyskiwania biogazu i biometanu zależy od plonowania. Głównym składnikiem bulw ziemniaka jest skrobia (65-80%), a zawartość suchej masy wynosi ok. 18-22%. Surowe ziemniaki nie nadają się do zakiszania, a proces ich parowania jest kosztowny. Buraki cukrowe i pastewne – zawierają dużo cukru i są cennym surowcem do produkcji biogazu. Ich stosowanie w produkcji biogazu ograniczają trudności w magazynowaniu. Makrofity wodne i glony - glony z rodzaju *Ulva* sp. stanowią mogą cenny surowiec do produkcji biogazu. Badania prowadzone we Francji wykazały 83% biometanu w biogazie z nich uzyskanym. Popularnym źródłem materii organicznej są także makrofity wodne z rodziny Lemnaceae charakteryzujące się wysoką zawartością białka.

PRODUKTY UBOCZNE I ODPADY

Gnojowica - zawartość suchej masy w gnojowicy bydlęcej wynosi ok. 6,82%, produkowanej przez krowy mleczne - 6,88%, opasy - 6,58%, cielęta - 7,13%, trzodę chlewną – 4,52%. Zawartość substancji organicznych w suchej masie gnojowicy świńskiej wynosi średnio 78%, w bydlęcej 80%. Z 1m³ gnojowicy można uzyskać średnio 20m³, a z obornika 30m³ biogazu. Odpady z przemysłu rolno-spożywczego i komunalne: wysłodki buraczane – dostępne tylko podczas kampanii cukrowniczej, są dobrym surowcem do produkcji biogazu i zakiszone mogą być przechowywane 2-3 lata. Doskonałym substratem do produkcji biogazu jest serwatka, która zawiera 5% suchej masy. Z 1 tony serwatki można uzyskać 40-55m³ biogazu o 77% zawartości biometanu. Udział odpadów z przemysłu mięsnego wynosi ok. 10% w produkcji biogazu i jest uzależniony od zawartości suchej masy. Odpady te posiadają wysoką zawartość białka, a niską węglowodanów. Pozostałości poubojowe mogą być wykorzystywane do produkcji biogazu podobnie jak osady ściekowe z komunalnych oczyszczalni ścieków oraz frakcje organiczne odpadów komunalnych. Zastosowanie w produkcji biogazu może mieć także sok kiszonkowy, który jest zbliżony składem do gnojowicy i może być stosowany na tych samych zasadach. Odpady komunalne mają ograniczoną przydatność do produkcji biogazu, ze względu na obecność metali ciężkich i substancji trudno degradowanych.

BIOGAZ OGÓLNIE

Biogaz jest gazem palnym i produktem fermentacji anaerobowej związków pochodzenia organicznego. Głównym składnikiem biogazu jest metan. Zajmuje on drugie miejsce wśród gazów powodujących efekt cieplarniany wskutek wzrastającego stężenia w atmosferze. Metan jest najprostszym węglowodorem nasyconym. Jest bezbarwnym gazem, bez zapachu, pali się niebieskim płomieniem. W mieszaninie z powietrzem atmosferycznym w stosunku objętościowym 5-15% ma właściwości wybuchowe. Wartość opałowa biogazu waha się w granicach 17-27 MJ/m³ i zależy głównie od zawartości metanu. Drugim składnikiem biogazu pod względem ilościowym jest dwutlenek węgla, będący bezbarwnym, bezwonnym i niepalnym gazem. Jest on podobnie jak metan zaliczany do gazów cieplarnianych. Jego zdolność do pochłaniania promieniowania podczerwonego jest mniejsza niż metanu, ale wpływ CO₂ na efekt cieplarniany jest większy ze względu na jego wyższą zawartość w atmosferze. W biogazie jest gazem balastowym, mającym negatywny wpływ na sprawność konwersji oraz na koszty przesyłu do odbiorcy. Biogaz zawiera również siarkowodor, przy czym jego ilość jest bezpośrednio uzależniona od rodzaju wykorzystywanego substratu. Z biomasy pochodzenia roślinnego wydziela się bardzo mała ilość H₂S, podczas gdy fermentacja odpadów białkowych i melas powoduje wzrost jego zawartości do 3%. Biogaz może zawierać również azot (>7,5%), wodę (2-7%) tlen (<2%) i wodór (<1%), a także inne składniki występujące w śladowych ilościach, m.in. związki odpowiedzialne za silną woń.

Tabela 1. Skład chemiczny i wybrane parametry fizyczne biogazu rolniczego i gazu ziemnego

Składnik	Biogaz rolniczy	Gaz ziemny
Metan (CH ₄)	40-85	90-91
Dwutlenek węgla (CO ₂)	16-48	0,61-1,0
Azot (N ₂)	0,6-7,5	0,32-10,0
Siarkowodór (H ₂ S)	0-3	0-4
Gęstość	1,05-1,20	0,72
Wartość energetyczna MJ/m ³	17-27	33,5

- Energię chemiczną biogazu można przetworzyć w:
- Energię cieplną przez spalanie go w kotle lub palniku
 - Energię elektryczną bezpośrednio w ogniowach paliwowych lub pośrednio w generatorach napędzanych silnikiem spalinowym
 - Energię mechaniczną w silniku spalinowym
 - Energię chemiczną innych związków np.: paliw lub tworzyw sztucznych

Dodatkowo zagospodarować można ciepło odpadowe pochodzące z konwersji biogazu. W celu zwiększenia wartości opałowej biogaz przed konwersją można przekształcić w gaz ziemny. Na proces ten składa się oczyszczanie i wzbogacanie biogazu m.in. poprzez eliminację CO₂. Osiąga się to stosując absorpcję z wykorzystaniem wody (usuwa również H₂S), chemisorpcję z użyciem amin, wodorotlenku sodu czy wodorotlenku potasu, adsorpcję na złożu, separację membranową lub wykraplanie. Podczas usuwania CO₂ zachodzi jednocześnie oczyszczanie biogazu ze śladowych zanieczyszczeń, które osadzają się na złożu adsorpcyjnym lub są wypłukiwane przez płyn absorpcyjny w trakcie usuwania CO₂ z biogazu. Jednocześnie z jego odpylaniem odbywa się osuszanie. W przypadku metod mokrych usuwany jest również pył, przy czym zawartość wilgoci w biogazie wzrasta. Do jej usunięcia można zastosować m.in. filtry z pochłaniaczami wody czy kondensatory. Usunięcie związków siarki (desulfuryzacja) głównie siarkowodoru w zależności od jego zawartości następuje wraz z usunięciem CO₂ w metodach mokrych (w przypadku niewielkiej ilości) lub z zastosowaniem złoż stałych z roztworem alkaicznym, metod mikrobiologicznych lub chemicznych typu redoks, gdy stężenie H₂S jest wysokie. Ostatnim procesem nie mającym wpływu na wartość opałową i stosowanym, ze względu na wysokie koszty, jedynie w dużych instalacjach, jest dezodoryzacja (odwanianie) [Lin S.H. Shyu C.T. 1999; Hagewiesche, 1995; Schulz W. 2004].

Budowie biogazowi sprzyja zarówno wzrost cen energii elektrycznej i ciepła oraz wymuszona przepisami konieczność utylizacji odpadów i wzrost jej kosztów. Wybór technologii produkcji biogazu jest uzależniony od wielu czynników. Najważniejszy jest surowiec, z którego biogaz ma być produkowany oraz ekonomiczna opłacalność, uwzględniająca poniesione nakłady inwestycyjne. Przykładem może być wspólna fermentacja osadów ściekowych i odpadów komunalnych. Jest ona korzystna nie tylko ze względów ekonomicznych (niższe koszty

inwestycyjne i eksploatacyjne niż w przypadku prowadzenia procesów oddzielnie), ale również wpływa na większą wydajność procesu. Dowiedziono wyższy stopień rozkładu substancji organicznej niż w przypadku osobnej fermentacji oraz nawet pięciokrotny wzrost produkcji gazu fermentacyjnego. Materiał pofermentacyjny z tego procesu charakteryzuje się mniejszym zanieczyszczeniem oraz lepszą przyswajalnością dla roślin i korzystniejszym stosunkiem substancji nawozowych. [Jędrzak, 2004; Jędrzak i Machalski, 2003].

Obecnie fermentacja metanowa jest bardzo rozpowszechniona na świecie i stosuje się ją głównie do produkcji biogazu, który wykorzystywany jest w celach energetycznych. Mamy do czynienia z ciągłym rozwojem poszczególnych elementów technologicznych fermentacji metanowej i wprowadzaniem coraz skuteczniejszych innowacyjnych rozwiązań oraz z optymalizacją warunków prowadzenia procesu. Wszystko to skutkuje zwiększeniem wydajności i efektywności procesu oraz pozwala go lepiej kontrolować.

MECHANIZM POWSTAWANIA BIOGAZU

Fermentacja metanowa przebiegająca w fermentatorze jest porównywalna z procesem trawiennymi zachodzącymi w żwaczu krowy. Przebiegają one w ten sam sposób do momentu wytworzenia krótkołańcuchowych lotnych kwasów tłuszczowych, takich jak kwas metanowy czy etanowy. Na tym etapie następuje zróżnicowanie przemian. W fermentatorze anaerobowym następuje produkcja metanu, a w żwaczu procesy zachodzą w kierunku syntezy nowej cząsteczki glukozy. Proces produkcji biogazu w wyniku fermentacji metanowej zależy od wielu czynników biologicznych, chemicznych, fizycznych i środowiskowych. Ilość pozyskiwanego biogazu i zawartość w nim metanu uzależniona jest przede wszystkim od:

- Kondycji bakterii metanowych
- Dostępności substratu
- Temperatury
- Odczynu (pH)
- Obecności tlenu i światła
- Inhibitorów powstających w procesie fermentacji (lotne kwasy tłuszczowe, NH_3 , H_2S) oraz dostarczanych wraz z biomasą (metale ciężkie)

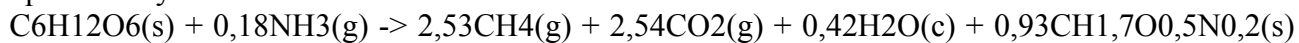
W procesie fermentacji metanowej można wyróżnić fazy przeprowadzane przez dwie grupy drobnoustrojów. Bakterie saprofityczne hydrolizują złożone substancje organiczne takie jak węglowodany, tłuszcze i białka do substancji prostszych rozpuszczalnych w wodzie, a bakterie metanowe zużywają produkty hydrolizy w procesie metanogenezy. Bakterie metanogenne zarówno hetero jak i autotroficzne wykorzystują jony octanowe, tlenek węgla(IV) oraz wodór do produkcji metanu. Podczas procesu fermentacji metanowej węgiel organiczny przechodzi przez kolejne etapy utleniania i redukcji do jego najniższego stopnia utlenienia w CH_4 i najwyższego w CO_2 . Dla celów technologicznych wyróżnia się cztery podstawowe fazy fermentacji metanowej prowadzone przez różne grupy bakterii metanogennych i wymagające odpowiednich warunków środowiska:

- 1) Hydroliza – rozkład związków organicznych przy udziale enzymów hydrolitycznych bakterii beztlenowych do rozpuszczalnych monomerów i dimerów. Przeprowadzana jest przez takie organizmy anaerobowe jak: *Clostridium*, *Fibrobacter*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*.
- 2) Kwasogeneza – produkty hydrolizy są metabolizowane do krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (C_1 - C_6), alkoholi, aldehydów, CO_2 , H_2 , H_2S
- 3) Acetogeneza – bakterie przetwarzają kwasy tłuszczowe (C_3 - C_6) i etanol do octanów, CO_2 i H_2

4) Metanogeneza – produkcja metanu przez bakterie metanowe z kwasu octowego, H₂, CO₂ i mrówczanów, metanolu metyloaminy i siarczku dimetylowego.

Każdy z wymienionych etapów uzależniony jest od ilości substratów dostarczonych z etapu poprzedzającego. Poza tym istnieje wiele zależności pomiędzy poszczególnymi procesami, które mają wpływ na ogólną wydajność fermentacji metanowej. Bazując na etapach procesu fermentacyjnego możliwa jest symulacja procesu fermentacji metanowej oraz prognoza składu i pozyskiwania biogazu, opierająca się na różnicach w zastosowanej biomase. Bakterie metanogenne należą do domeny Archea głównie do jednego z ośmiu rodzajów: *Methanobacterium*, *Ethanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium*, *Methanogenium*, *Methanospirillum*, *Methano-Sarcina*, *Methanothrix*.

Zakładając, że około 90% biomasy poddawanej procesowi fermentacji stanowią polimery glukozy (celulozy, hemicelulozy, skrobia), a pozostałe nie biodegradowalne węglowodory to skład glukozy może zostać przyjęty jako reprezentatywny dla materii organicznej poddawanej biologicznemu zgazowaniu. W takim wypadku cały proces w obecności amoniaku można scharakteryzować uproszczonym równaniem:



Powyższa reakcja przedstawia całkowity proces zachodzący podczas beztlenowego wykorzystania materii organicznej (C₆H₁₂O₆) zawartej w odpadach organicznych, do syntezy masy komórki bakteryjnej (CH_{1,7}O_{0,5}N_{0,2}) i produktów ubocznych metabolizmu bakteryjnego (CH₄, CO₂, H₂O).

Podsumowanie

Obecnie szacuje się, że w Polsce potencjał energetyczny biomasy jest duży, ale brakuje działań administracyjnych, na szczeblu rządowym, które zachęciłyby hodowców do jej produkcji. Ponadto brak jest świadomości społecznej w zakresie utylizacji odpadów rolniczych i komunalnych oraz wykorzystania ich do wytwarzania biogazu. Brak wsparcia ekonomicznego ze strony państwa, generuje wysokie koszty produkcji i magazynowania biomasy. Biorąc pod uwagę znowelizowaną Ustawę – Prawa energetycznego należy mieć nadzieje, że wyjaśni ona wiele wątpliwości i zachęci ludność do produkcji biomasy i biogazu.

Literatura

1. Bal R., Piechocki J. 2002. Biogaz jako przykład biopaliwa pochodzenia rolniczego. „Inżynieria Rolnicza” 7a(40), s. 171–176.
2. Bedi E. 1996. W kierunku odnawialnych źródeł energii. Nowe wiadomości dla Europy Środkowo-Wschodniej. Wyd. Z. G. Polskiego Klubu Ekologicznego, Kraków 1996, t. 12.
3. Dobkowski G. 2000. Ochrona środowiska a przechowywanie odchodów zwierzęcych. „Przegląd Komunalny” 3(102), s. 36–38.
4. Ekotechnika 3(31) 2004. Wrocław. s. 43÷48.
5. Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościak B. 2002. Biopaliwa. Wyd. „Wieś Jutra”. Warszawa.
6. Guzek K., Pisarek M. 2002. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w Polsce. „Czysta Energia” 2(6), s. 6–7.
7. Hagewiesche D.P., Ashour S.S., Al-Ghawwas A., Sandall O.C. 1995, Absorption of carbon dioxide into aqueous blends of monoethanolamine and N-methyldiethanolamine, Chemical Engineering Science, 7 (50), 1071-1079.
8. Igliński B., R. Buczkowski, M. Cichosz 2009. Technologie bioenergetyczne. Wyd. Naukowe UMK, Toruń.
9. Jędrzak A. 2004. Rozwój technologii fermentacji odpadów komunalnych w Europie.

9. Jędrzak A., Machalski G. 2003. Wspólna fermentacja osadów i odpadów komunalnych. Produkcja i wykorzystanie gazu. II Międzynarodowa i XII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt.: „Nowe spojrzenie na osady ściekowe. Odnawialne źródła energii.” Tom 1. Org. Politechnika Częstochowska. Częstochowa 2003. s. 103÷116.
10. Kowalik P. 2002. Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego. „Czysta Energia” 10(14), s. 22–23a.
11. Lin S.H. Shyu C.T. 1999, Performance characteristics and modeling of carbon dioxide absorption by amines in a packed column. Waste management, 19, 255-262.
12. Muradov NZ, Veziroglu TN. 2008. “Green” path from fossil-based to hydrogen economy: An overview of carbon-neutral technologies. International Journal of Hydrogen Energy 2008;33:6804–39.
13. Perez-Garcia J, Lipke B, Commick J, Marniquez C. 2005. An assessment of karbon pools, storage and wood products market substitution using life-cycle analysis results. Wood Fiber Science 2005;37:140–8 (Corrim Special Issue).
14. Piwowarczyk J. 2003. Energetyczne użytkowanie biomasy roślinnej, GLOBEnergy, 2003, nr 0,2-0,3, s. 32-38.
15. Schulz W. 2004, From feedstock to feed – In Processing biogas for natural gas networks, Renewable Energy World, 7 (3), 116-125.
16. Wiśniewski G. 2001. Dylematy wdrażania krajowej strategii rozwoju energii odnawialnej. Materiały Konferencyjne Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku. IBMER. Warszawa, s. 42–49.