

Monografia

**Wybrane zagadnienia szeroko pojętej inżynierii
procesowej**

pod redakcją
Andrzeja Gawdzika

Opole 2015

RECENZENCI :

Dr hab. inż. Stanisław Gajda, Prof. UO

Dr hab. inż. Ryszard Janka, Prof. UO

SKŁAD I REDAKCJA TECHNICZNA:

Dr inż. Alicja Gawdzik

ISBN 978-837342-491-3

Paweł ŚWISŁOWSKI ¹⁾,
Antonina KALINICHENKO ²⁾

¹⁾ student 3 roku, kierunku – odnawialne źródła energii, Uniwersytet Opolski

²⁾ Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opolski

PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH, ŚWIATOWYCH TECHNOLOGII I (ROZWIĄZAŃ, PATENTÓW) PRODUKCJI BIOGAZU

Streszczenie:

Celem pracy było przeprowadzenie analizy, przeglądu dostępnych technologii wytwarzania biogazu. Zestawienie światowych rozwiązań obejmuje ich porównanie na podstawie wybranych kryteriów oraz ocenę wydajności wraz z ich przedstawieniem na konkretnych przykładach.

Słowa kluczowe: biogazownia, biogaz, biomasa, technologia, odnawialne źródła energii

1. Wstęp

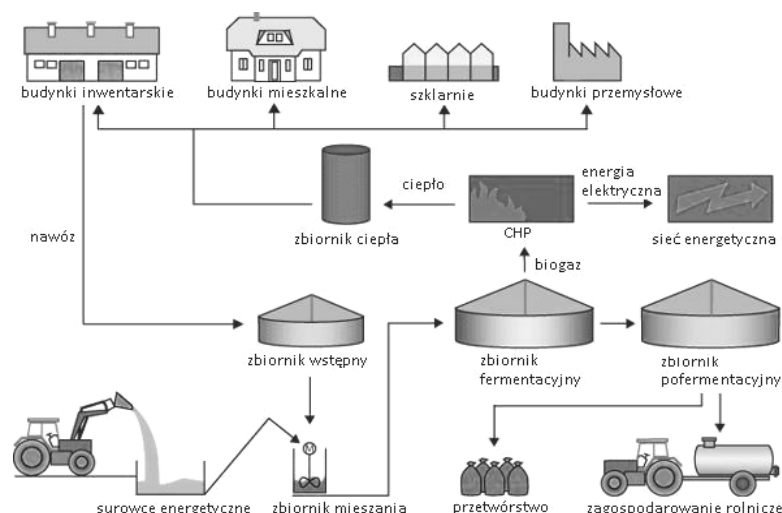
Instalacją służącą do produkcji biogazu jest biogazownia. Biogaz – gaz palny, jest produktem beztlenowej fermentacji metanowej związków pochodzenia organicznego, zawierających celulozę, białko, węglowodany, skrobię. Produkowany jest z biomasy roślinnej, odpadów komunalnych pochodzenia biologicznego, ścieków komunalnych, odpadów przemysłu rolno-spożywczego, a także odchodów (płynnych lub stałych) zwierząt (gnojowica, obornik) [1]. Definicja biogazu wprowadzona na potrzeby rozliczania energii wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii, zgodna z dyrektywą 2001/77/WE, zawarta jest w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. Definicja ta mówi, że: *biogaz to gaz pozyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów* [2].

Biogaz jest mieszaniną gazów, głównie metanu (średnio 64%) i dwutlenku węgla (34%) oraz amoniaku, siarkowodoru, pary wodnej i innych składników występujących w małych lub śladowych ilościach. Wartość opałowa biogazu zależy od zawartości metanu i mieści się w zakresie 16-26 MJ/m³, natomiast czystego metanu wynosi 35 MJ/m³. Do celów użytkowych, głównie energetycznych lub w innych procesach technologicznych, może być wykorzystywany biogaz o zawartości metanu powyżej 40% [3, 4].

Wyróżniamy trzy rodzaje biogazowni: przy oczyszczalni ścieków, do składowania odpadów (przemysłowych, komunalnych) na wysypiskach oraz rolnicza [5].

Wszelkie instalacje do produkcji biogazu posiadają własną konstrukcję dostosowaną do indywidualnego składu wsadu (substratu). W większości przypadków, ciąg technologiczny składa się z następujących elementów:

- budynku inwentarskiego (obora, chlew), gdzie pozyskiwany jest główny materiał do produkcji biogazu,
- układu podawania biomasy (surowca),
- komory fermentacyjnej,
- zbiornika magazynującego dla przefermentowanego substratu (np. silos),
- urządzenia do oczyszczania biogazu,
- zbiornika biogazu,
- agregatu do produkcji energii elektrycznej bądź cieplnej lub agregatu kogeneracyjnego (gdy występuje jednocześnie wytwarzanie energii elektrycznej i cieplnej) [6].



Rys. 1. Schemat typowej instalacji biogazowej [7].

1.1. Biogazownie na świecie

Poziom rozwoju energetycznego rynku biogazu na świecie jest zróżnicowany, zarówno pod względem ilości instalacji, stopnia ich skomplikowania oraz zastosowanych technologii i rozwiązań konstrukcyjnych, zwłaszcza dla dużych, scentralizowanych biogazowni.

Azja

Największa liczba instalacji biogazowych istnieje w Azji – szczególnie w Chinach, gdzie szacuje się, że funkcjonuje ich tam kilka milionów - sześć do siedmiu milionów. Bardzo niepewna jest informacja odnosząca się do ilości czynnych biogazowni – co dotyczy również Indii, w których szacuje się liczbę biogazowni na około jednego miliona. W większości biogazownie te zostały wykonane sposobem gospodarczym i działają w oparciu o podziemne, prymitywne, niezaizolowane komory fermentacyjne przy gospodarstwach rolnych. Są to przydomowe mikro-instalacje o bardzo prostej konstrukcji, niewielkich rozmiarach, ale tanie i efektywne. Jako surowiec w procesie fermentacji beztlenowej stosuje się w nich głównie nawóz zwierzęcy i resztki organiczne z gospodarstw domowych a następnie przerabia w trybie fermentacji periodycznej. Raz do roku komory fermentacyjne opróżnia się a przefermentowany osad wywozi się na pola jako nawóz. Magazynowany biogaz wykorzystuje się głównie na potrzeby własne do oświetlenia budynków. Raporty dotyczące produkcji biogazu w Azji

dotyczą głównie Chin oraz Indii, jednak biogazownie działają również w wielu innych krajach, m.in. w Wietnamie i Tajlandii. Mieszkańcy Azji mają ogromne doświadczenie w eksploatacji biogazowi niewymagających dużych nakładów finansowych. Ponadto, wiele azjatyckich uniwersytetów oraz instytutów badawczych poświęca część swoich prac badaniom mającym na celu udoskonalenia technologii wytwarzania biogazu. Mieszkańcy Azji należą do największych znawców biologii i chemii wytwarzania biogazu z resztek z produkcji rolnej. Jedynie brak pieniędzy jest zasadniczym czynnikiem, który utrudnia tym krajom bardziej efektywne wytwarzanie energii z odpadów organicznych. W ciągu ostatnich kilku lat rynek biogazowi dynamicznie rozwinął się w Japonii oraz Korei Południowej. Powstało tam wiele nowoczesnych biogazowi rolniczych. Ich postępowość polega na transferze technologii stosowanych w krajach europejskich (Niemcy, Dania, Austria), od których odkupiono licencje na technologie dla generalnych wykonawców inwestycji. Biogazownie te zostały wybudowane przede wszystkim do przetwarzania odpadów biologicznych (odpady organiczne oddzielane od innych odpadów domowych i restauracyjnych) oraz w celu przetwarzania gnojowicy. Podobnie jak w Niemczech czy Danii, w Japonii istnieją scentralizowane biogazownie oraz małe, lokalne biogazownie, o wielkości dostosowanej do skali gospodarstw rolnych, tzn. wykorzystujących surowce z okolicznych gospodarstw [8-10].

Australia, Nowa Zelandia i Oceania

W tej części świata jest niewiele pilotowych biogazowi, które służą do przetwarzania resztek zwierzęcych. Od pewnego czasu, biogazownie działają przy uniwersytetach w celach badawczych. Tu również na licencji wykupionej z krajów europejskich (Niemcy) ma powstać duża biogazownia do przerabiania segregowanych odpadów w miejscu ich powstawania [8-10].

Ameryka Północna i Południowa

W Ameryce Południowej działa wiele anaerobowych oczyszczalni ścieków, ale nie ma wielu informacji na temat anaerobowego uzdatniania odpadów stałych. Pomimo podjęcia akcji rządowych, mających na celu aktywowanie tego sektora energetyki, nie udało się doprowadzić do powstania takich zakładów- zakończyły się one niepowodzeniem, głównie ze względu na wysokie koszty i brak finansów [8-10].

W przeszłości, na uniwersytetach północnoamerykańskich prowadzono wiele badań nad anaerobowym przetwarzaniem odpadów. Ślady tych badań można znaleźć w wielu raportach sporządzanych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Duża awaria podczas budowy biogazowi na Florydzie w USA w latach 70. XX wieku wywarła bardzo negatywny wpływ na wszystkie planowane wówczas przedsięwzięcia w tej dziedzinie. Chociaż Stany Zjednoczone nie podpisały protokołu z Kioto, kraj ten jednak usilnie dąży do wykorzystania energii odnawialnej. Podobnie jest w Kanadzie. Dzięki wsparciu programów federalnych i stanowych ponownie odżywa sektor biogazowy – obecnie działa, co najmniej 420 instalacji wychwytyjących gaz wysypiskowy, który jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej, dodatkowo rząd federalny zachęca do korzystania z technologii odzysku metanu [8-10].

Europa

W profesjonalnym wykorzystaniu biogazu przoduje Europa – szczególnie Niemcy, Szwecja, Dania, Austria i Szwajcaria. Pomimo, że historia współczesnych konstrukcji budowanych pod klucz liczy sobie zaledwie 10 – 15 lat, są to instalacje duże i o wysokim stopniu zaawansowania technicznego. W Skandynawii popularne są duże, scentralizowane biogazownie. W Danii budowę scentralizowanych biogazowni rolniczych finansowało państwo – jako projekty pilotażowe. Z kolei w Szwecji wdraża się oczyszczanie biogazu w celu uzyskania czystego metanu i stosowania go jako paliwa (CNG) w pojazdach [11]. Obecnie z powodzeniem funkcjonuje kilka projektów obejmujących zasilanie metanem autobusów komunikacji miejskiej [12]. W planach jest także przeróbka biogazu i wtłaczanie go do rurociągów zamiast gazu ziemnego. Europejskim potentatem w wykorzystaniu technologii biogazowych są Niemcy. Według danych German Biogas Association w Niemczech w 2007 r. działało około 3700 biogazowni, podczas gdy jeszcze w 1990 r. było ich tylko 100 [13]. Trend wzrostowy utrzymuje się wciąż na wysokim poziomie, ponieważ obecnie funkcjonuje 8 tysięcy biogazowi, a łączna moc zainstalowana w niemieckich biogazowniach sięga 4.000 MW energii elektrycznej [14]. Według planów rządowych w 2020 r. przewiduje się uzyskanie efektu redukcji emisji CO₂ na poziomie 103 mln ton rocznie. Największa na świecie biogazownia o mocy 20 MW jest zlokalizowana na północy kraju w mieście Penkun, blisko polskiej granicy. Z kolei w Hiszpanii, Anglii, Irlandii, na Węgrzech i we Włoszech wzrasta zainteresowanie tego typu instalacjami. Są to kraje o znacznej dynamice rozwoju energetyki biogazowej [10, 13].



Rys. 2. Produkcja biogazu w krajach UE [15].

2. Technologie produkcji biogazu

Wybór technologii produkcji biogazu zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to surowiec, z którego ma być on produkowany oraz ekonomicz-

na opłacalność, uwzględniająca poniesione nakłady inwestycyjne. Są dwie zasadnicze koncepcje zagospodarowania biogazu. Pierwsza to spalanie go w kotle w celu wyprodukowania energii cieplnej, a druga to spalanie go w silniku wysokoprężnym napędzającym generator i wykorzystaniu zarówno energii elektrycznej, jak i ciepła pochodzącego z chłodzenia silnika i spalin (kogeneracja). Wybór koncepcji zależy od zapotrzebowania na ciepło technologiczne i socjalne oraz od odległości źródła biogazu od zakładów przemysłowych, osiedli mieszkaniowych - potencjalnych użytkowników energii cieplnej [1].

2.1. Biogaz w oczyszczalni ścieków

Jednym z najstarszych sposobów zagospodarowania biogazu w oczyszczalni ścieków jest technologia fermentacji osadów ściekowych.

W technologii tej fermentację osadu czynnego, wytraconego ze ścieków: komunalnych, przemysłu mięsnego, rybnego lub rolno-spożywczego, przeprowadza się w zamkniętych wydzielonych komorach fermentacyjnych (WKF). Wydzielone komory fermentacyjne służą do przeróbki osadów ściekowych na drodze beztlenowego rozkładu substancji organicznych, któremu towarzyszy wydzielanie gazu fermentacyjnego i wody. Głównym zadaniem WKF jest zbieranie i przetrzymywanie w warunkach beztlenowych zagęszczonych osadów biologicznych i osadów wstępnych z osadnika wstępnego. Fermentacja w WKF-ach wymaga ogrzewania, aby zachować stałą temperaturę procesu oraz mieszania zawartości komory, które zapobiega rozwarstwieniu i tworzeniu miejsc przeciążonych substancją organiczną. Komory te najczęściej są zbudowane z betonu i wymagają izolacji cieplnej i dokładnego uszczelnienia. Świeży osad jest doprowadzany rurociągiem od góry, a przefermentowany szlam opadający grawitacyjnie – przenośnikiem ślimakowym od dołu komory. Biogaz gromadzący się pod pokrywą stałą, zatopioną lub ruchomą, jest odprowadzany w sposób ciągły lub okresowy i wykorzystywany jako nośnik energii w procesie technologicznym [16-18].

Knobloch i współpracownicy [20] opracowali dwuetapową technologię produkcji biogazu ze ścieków zanieczyszczonych olejami z nasion i produktami przetworstwa zbóż, w tym ściekami pochodzącymi z olejarni. Pierwszy etap opierał się na zakwaszeniu ścieku i następnie na oddzieleniu faz w wyniku flotacji, sedymentacji, filtracji, odwirowania lub w wyniku zastosowania procesów elektromagnetycznych – separacja elektryczna i magnetyczna. W drugim etapie ściek poddawano obróbce biologicznej w warunkach beztlenowych w jedno- lub wielostopniowym procesie produkcji biogazu.

Zaproponowana przez *Knobloha* i współpracowników technologia umożliwiała przetworzenie w ciągu doby nawet 40 m³ ścieku (dzienny przepływ wody od 5 do 40 m³), którego chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT wynosiło od 50 tys. do 100 tys. mg/l. Uzyskany w procesie biogaz zawierał objętościowo od 65 do 70% CH₄. Natomiast z jednego m³ ścieku uzyskiwano 7–8 m³ biogazu [19, 20].

Hoffland [21] również stosował separację ścieku, która odbywała się w osadniku. Proponowana technologia nie ograniczała się jedynie do ścieków komunalnych, gdyż autor przedstawił również rozwiązania dla przetwarzania nawozów naturalnych pochodzących od trzody chlewnej, bydła i drobiu. Według jednego z proponowanych pomysłów materiał wsadowy rozdzielany był w osadniku, skąd części stałe kierowano do reaktora anaerobowego, gdzie zachodziła fer-

mentacja beztlenowa, a uzyskany biogaz przetwarzano na energię ciepłą. Frakcja ciekła materiału wsadowego poddawana była przetwarzaniu tlenowemu, anoksyicznemu i beztlenowemu, po czym stosowano ją do nawadniania gleby lub przemywania pomieszczeń inwentarskich [19, 21].

Istotą technologii *Cambi* (Norwegia) jest termiczna hydroliza wstępna (THP- *Thermal Hydrolysis Process*) odpadów komunalnych. W tym procesie materia organiczna zanim jeszcze trafi do fermentatora, poddawana jest temperaturze 165-170°C. Wysoka temperatura i ciśnienie powodują rozkład błon komórkowych i uwolnienie związków organicznych do cieczy procesowej, która staje się łatwo przyswajalną pożywką dla bakterii metanogennych. Dodatkowo usuwa to wszelkie patogeny, co pozwala na przetworstwo odpadów poubojowych. Zespół reaktorów THP składa się z trzech zbiorników. W pierwszym, recyrkulowana para podgrzewa wstępnie zawiesinę organiczną do 97°C a zbierany gaz kierowany jest przed fermentator. W drugim podgrzewanym parą bezpośrednią z kotłów, temperatura sięga 170°C a ciśnienie 6 barów. Czas zatrzymania reaktora THP to około 20-30 minut. Ostatni zbiornik pełni funkcję przejściową, rozprężającą -102°C i 2-3 bary, z niego też zawracana jest para na początek układu. Po wyjściu z układu THP temperatura zawiesiny obniżana jest do temperatury roboczej reaktora fermentacyjnego przez wymiennik ciepła. Zestaw technologiczny obejmuje standardową obróbkę wstępną (bębny, sita, separatory) i końcową (wirówki) odpadów. Fermentat jest po procesie pasteryzacji i praktycznie może być bezpośrednio aplikowany do gleby. Proces THP jest szeroko stosowany przy przeróbce osadów ściekowych od 1995 roku na całym świecie (około 17-cie jednostek na całym świecie, 2 zakłady w Norwegii) [22, 23].



Rys. 3. Opatentowana technologia hydrolizy wstępnej THP firmy Cambi [23].

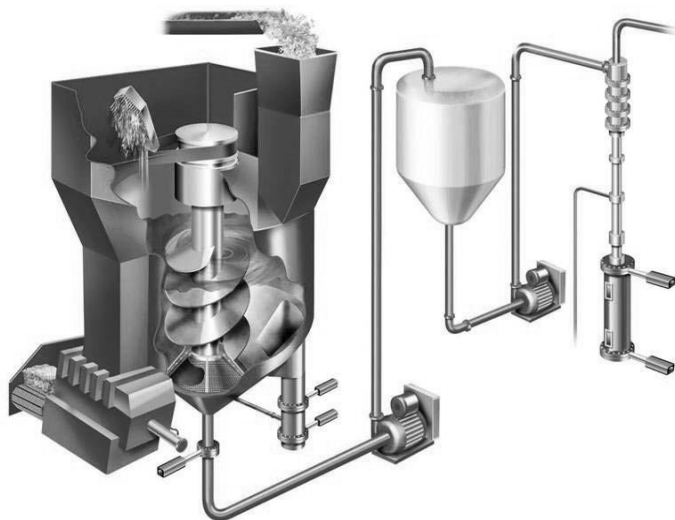
Kompogas (Szwajcaria)- jednofazowy proces prowadzony w jednym poziomym reaktorze o przepływie tłokowym oparty na suchej fermentacji odpadów organicznych w warunkach beztlenowych. Reaktor ma konstrukcję cylindryczną (opcjonalnie wykonanie stalowe albo żelbetowe) a mieszanie następuje poprzez osiowo ułożone wirniki. Dostarczane odpady po obróbce wstępnej, składowane są w magazynie pośrednim skąd są równomiernie podawane do miksera przygotowującego wsad. Po przejściu przez wymienniki ciepła, tak przygotowana masa trafia do fermentatora na okres około 14 dni. W zależności od obróbki wstępnej układ może być stosowany również do odpadów zmieszanych. Fermentacja może przebiegać mezo- jak i termofilowo. Fermentat poddawany 3-4 tygodniowemu kompostowaniu (w zamknięciu), następnie 1-2 tygodniowej

stabilizacji w pryzmach. Ponad 70 instalacji na całym świecie w tym 17 procesujące odpady organiczne pochodzenia komunalnego [23, 24].

2.2. Biogaz z wysypisk śmieci

Obecnie w Europie i na świecie funkcjonuje już kilka sprawdzonych technologicznie i opłacalnych ekonomicznie systemów odzyskiwania i zagospodarowania biogazu z wyselekcjonowanych odpadów komunalnych pochodzenia organicznego lub ze śmieci składowanych w formie hałd na wysypiskach. Do najlepiej opracowanych fermentacji beztlenowych zalicza się technologie: *BTA*, *Rottweil* (Niemcy), *Dranko* (Belgia), *SWECO* (Szwecja), *WABIO* (Finlandia), *Valorga* (Francja).

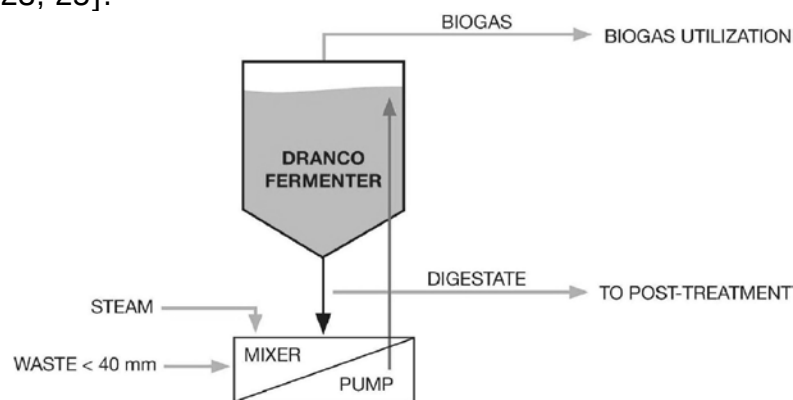
BTA to technologia wieloetapowa, oparta na wstępnej obróbce odpadów. Kluczowym elementem są urządzenia do hydromechanicznej separacji „pulper” (*BTA® Waste Pulper*) oraz system usuwania piasku (*BTA® Grit Removal System*). Według *BTA* substancje organiczne zawarte w nieprzesortowanych odpadach komunalnych, ługuje się w podwyższonej temperaturze. Zmieszane odpady wprowadzane są do wody procesowej, gdzie wykorzystując zjawisko flotacji i sedymentacji oddzielana jest frakcja lekka (plastiki, folie, tekstylia, drewno, itp.) od ciężkiej (kamienie, kości, baterie itd.). Pulper dzięki siłom tnącym rozdrabnia substancje nierozpuszczalne, tworząc zawiesinę organiczną. Kolejny etap to usunięcie piasku i drobnych zanieczyszczeń metodą hydrocyklonu. Do fermentatora, poprzez zbiornik wyrównawczy, kierowana jest już tylko zawiesina organiczna zawarta w wodzie procesowej. Opcjonalnie proces może przebiegać dwufazowo z rozszerzeniem o zbiornik do hydrolizy. Kierowane do niego są odpady wydzielone na etapie wstępnym i przetrzymywane przez 2-3 dni, w tym czasie rozpuszczeniu ulegają pozostałe związki organiczne. Po odwodnieniu, filtrat podawany jest do reaktora fermentacyjnego. Uzyskany po fermentacji roztwór, kierowany jest do ponownego ługowania i następnej fermentacji. Czynności te powtarza się od 3 do 5 razy. Woda procesowa jest recyrkulowana a nadmiar odprowadzany do oczyszczalni ścieków, fermentat poddawany stabilizacji tlenowej-kompostowaniu. Technologia zastosowana pierwszy raz w 1991 roku. [1, 23].



Rys. 4. BTA® pulper oraz system usuwania piasku [23].

Z kolei według technologii *Rottweil* biogaz produkowany jest z dokładnie wyselekcjonowanych śmieci z gospodarstw domowych, a także z odpadów gastronomicznych, kuchennych i ogrodniczych dostarczanych przez duże jednostki. Przetworzony w wyniku fermentacji materiał, staje się bogatym w substancje odżywcze nawozem organicznym, wolnym od metali ciężkich [1].

W Belgii biogaz wytwarzany według technologii *Dranco*, stanowiącej typ fermentacji suchej. Reaktor *Dranco* ma kształt pionowego cylindrycznego zbiornika. Jednakże system ten dzięki innowacyjnemu rozwiązaniu mieszania przyjmuje odpady o uwodnieniu nawet do 50% suchej masy. Przesegregowane odpady (40 mm) po stopniu obróbki wstępnej, trafiają do zbiornika pomiarowego gdzie następuje określenie proporcji do recyrkulacji (1:8, 1:6) a część kierowana jest poza układ do kompostowania (w celach technologicznych). Główny strumień kierowany jest do miksera gdzie następuje intensywnie mieszanie z recyrkulem i podgrzewanie parą. Ponadto dla upłynnienia mieszaniny dodawana jest woda procesowa i osady ściekowe. Pompa tłokowa zasila reaktor poprzez wprowadzone przez stożkowe dno szerokie, pionowe przewody (o średnicy 1000 mm dla minimalizacji tarcia) sięgające ponad powierzchnię roboczą. Cechą charakterystyczną tego systemu jest wykorzystanie przepływu grawitacyjnego do mieszania zawartości reaktora – odpływ umiejscowiony jest na zwieńczeniu stożkowego dna. Rozwiązanie takie praktycznie eliminuje zaleganie przefermentowanego materiału w zbiorniku. Wysoka wartość recyrkulacji sprawia, że wymiana zawartości fermentatora następuje po około 2-3 dniach. Fermentacja odbywa się w reaktorach w temperaturze 55°C, jako materiał wsadowy stosowane są odpady stałe lub pozostałości z fermentacji wg technologii *BTA*, które najpierw poddaje się ekstrakcji, a następnie odsacza na prasie. Czas zatrzymania układu to 21 dni. Fermentat jest mieszany ze świeżymi odpadami (strumieniem ze zbiornika pomiarowego) w stosunku 2:1 i intensywnie kompostowany 2-3 dni a następnie stabilizowany w przyzmacach. Ponadto istnieje rozszerzenie tej instalacji o pofermentacyjną separację wodną. Fermentat oczyszczany jest z piasku, włókien, inercji; odwadniany. Dzięki temu uzyskać można odzysk recyklingowalnych materiałów (do 40 %) oraz ograniczyć składowanie. Jednakże ceną jest wysokie zużycie wody i problem zagospodarowania powstałych ścieków. Pierwsza komercyjna instalacja działa już od 1993 roku [23, 25].



Rys. 5. Podstawowy system procesu *Dranco* [24].

Według szwedzkiej technologii *SWECO* gaz wysypiskowy uzyskuje się w wyniku fermentacji beztlenowej zachodzącej w pryzmach energetycznych ze szczelnym dnem i ścianami bocznymi. W warstwie torfu umieszcza się rozdrobnione odpady, a nad nimi rozciąga się system rurociągów ssących, po czym wszystko przykrywa się gliną [1, 19].

Według technologii *WABIO*, opracowanej przez firmę Outokumpu Ecoenergy Oy, śmieci poddaje się wstępnej selekcji, gdzie oddziela się wielkogabarytowe odpady metalowe, betonowe, kamienne oraz pozostałości sprzętu RTV lub AGD. Pozostałe odpady mieli się i miesza z gorącą wodą. Następnie w wyniku sedymentacji rozdziela się osad nieaktywny biologicznie, a otrzymaną zawiesinę związków organicznych miesza się z odpadami z oczyszczalni ścieków (osadem biologicznie aktywnym). Proces fermentacji przebiega w bioreaktorze przez ok. 23 dni, po czym osad poddaje się higienizacji (30 minut, 70°C), filtracji i stabilizacji biologicznej, w celu otrzymania nawozu organicznego. W metodzie tej na poprowadzenie procesu technologicznego zużywa się ok. 20-30% energii cieplnej i 5-10% energii elektrycznej, uzyskanej ze spalonego biogazu w silniku wysokoprężnym połączonym z generatorem. Resztę wytworzonej energii, to jest ok., 400-500 kWh energii cieplnej i ok. 300-400kWh energii elektrycznej na każdą tonę suchej masy (uwzględniając energię do wstępnego przygotowania wsadu), zakład utylizacji odpadów może przeznaczyć do sprzedaży [1, 19, 27].

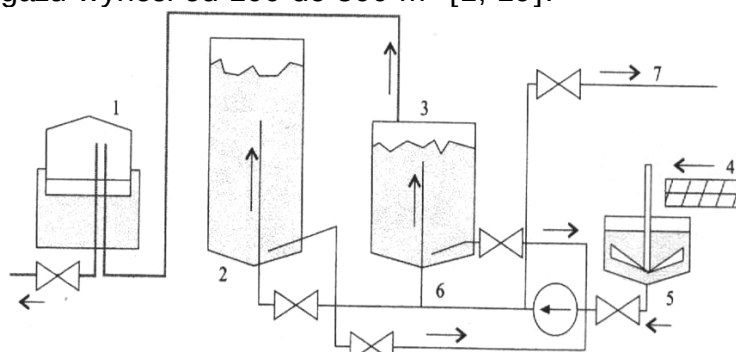
Technologia *Valorga* została opracowana początkowo we Francji, a później przez Steinmüller Valorga Sarl, filię niemieckiej firmy Steinmüller Rompf Wassertechnik GmbH. Firma specjalizująca się w budowie instalacji biologicznego przetwarzania odpadów opracowała nowy proces usuwania śmieci z gospodarstw domowych. *Valorga* to jednofazowa technologia o przepływie tłokowym. Przychodzące odpadki są najpierw sproszkowywane. Nieorganiczne materiały, nadają się do recyklingu (np. szkło, metal) i są oddzielane. Materiał organiczny poddaje się beztlenowej fermentacji w cylindrycznych zbiornikach. Reaktor to cylindryczny pionowy zbiornik ze ścianą działową (2/3 średnicy), która spełnia zadanie deflektora -ma wymusić przepływ mieszaniny w zadanym kierunku. Odpady po przesortowaniu trafiają do miksera, gdzie następuje podgrzewanie parą oraz mieszanie z recyrkuletem, dodawana jest również woda procesowa, aby uzyskać gęstość umożliwiającą przepływ (35% suchej masy). Dopływ w fermentatorze jest wprowadzany z jednej strony deflektora natomiast odpływ z drugiej wymuszając przepływ przez całą objętość. Fermentację prowadzi się w warunkach beztlenowych przy temperaturze ok. 37°C. Mieszanie następuje przy pomocy pulsacyjnych (co 15 minut) wtrysków recyrkulowanego sprężonego biogazu. Czas zatrzymania to około 20 dni. Fermentat odwadniany jest w prasach śrubowych, zagęszczany wibracyjnie, a następnie kierowany do dwustopniowych wirówek. Finalnie, stabilizowany tlenowo-kompostowany (2 tygodnie przy 40°C), odciek kierowany jest do recyrkulacji a nadmiar do oczyszczalni [23, 28-30].

2.3. Biogaz w rolnictwie

Niemcy już od lat są krajem- liderem w dziedzinie przetwarzania odpadów rolnych w energię elektryczną i ciepło ze względu na największe doświadczenie w tej dziedzinie. Wszystkie z przedstawionych poniżej technologie są pochodzenia niemieckiego, a najbardziej znane technologie pozyskiwania biogazu

z obornika to: technologia *Schmidta-Eggerglüssa*, *Ducelliera-Ismana* oraz technologia *Reinholda-Darmstadt*.

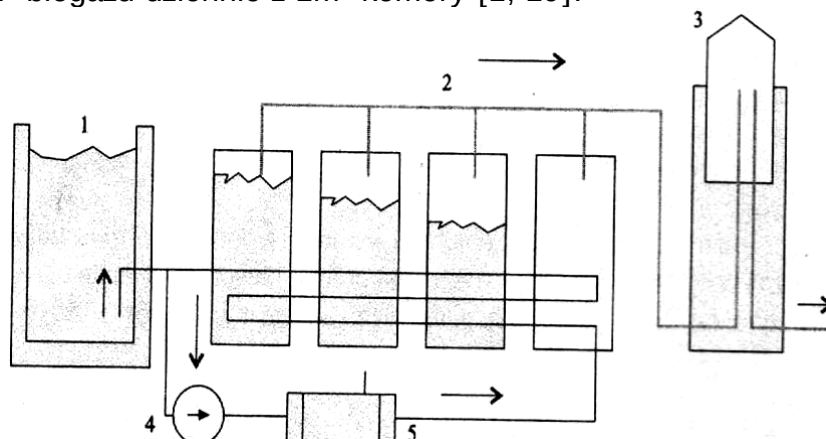
W pierwszej z wymienionych technologii, fermentacji poddawana jest zawiesina obornika, sieczki (paszy) i rozdrobnionych odpadów organicznych w wodzie. Otrzymany biogaz wykorzystuje się do ogrzewania kotła, z którego wydobywa się para ogrzewająca komory fermentacyjne. Z 1m³ komory fermentacyjnej można uzyskać 0,75m³ biogazu na dobę. Metoda ta sprawdza się pod względem opłacalności, tylko dla dużych gospodarstw rolnych, których dzienna produkcja biogazu wynosi od 100 do 300 m³ [1, 19].



Rys. 6. Schemat produkcji biogazu technologią Schmidta-Eggerglüssa:

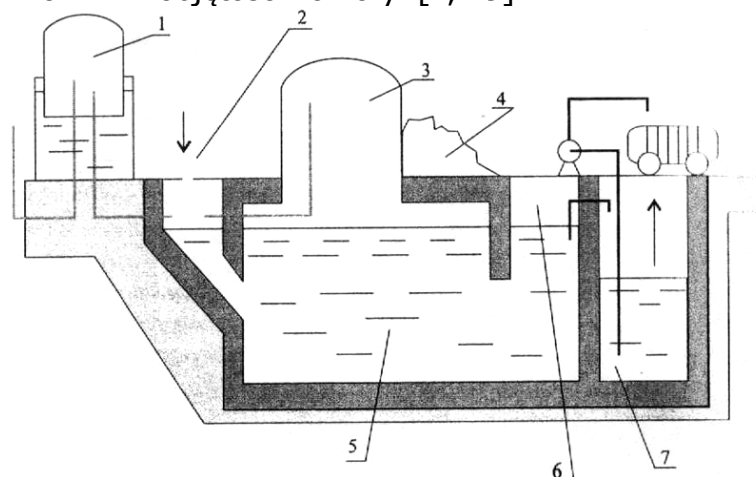
- 1 – zbiornik biogazu, 2 – zbiornik bioszlamu,
- 3 – komora fermentacyjna, 4 – transporter,
- 5 – mieszalnik, 6 – zawiesina,
- 7 – bioszlam na pole [1].

W technologii *Ducelliera-Ismana* przetwarzanym surowcem jest obornik przechowywany przez 14–50 dni w betonowych zbiornikach. Proces fermentacji prowadzony jest w czterech komorach fermentacyjnych, które napełniają się w zależności od dostępności surowca. W momencie napełniania jednej komory, proces fermentacji trwa już w dwóch innych komorach, natomiast komora czwarta jest opróżniana i dezynfekowana. Komory fermentacyjne są ogrzewane krążącą w wymienniku ciekłą frakcją fermentacyjną oraz ciepłą gnojowicą dostarczaną rurociągiem bezpośrednio z chlewni lub obory. Wydajność takiej instalacji wynosi 2 m³ biogazu na 100 kg obornika, a wykorzystanie komory wynosi 1m³ biogazu dziennie z 1m³ komory [1, 19].



Rys. 7. Schemat produkcji biogazu technologią Ducelliera-Ismana:
1 – zbiornik obornika, 2 – komory fermentacyjne, 3 – zbiornik biogazu,
4 – pompa, 5 – wymiennik ciepła [1].

Technologią opracowaną specjalnie na potrzeby małych i średnich gospodarstw rolnych jest technologia *Reinholda-Darmstadta*. Instalacja składa się z betonowej komory fermentacyjnej, dwóch zbiorników biogazu, zbiornika gnojowicy, który jest surowcem wkładowym oraz układ pomp. Okres fermentacji wynosi kilka tygodni, po czym przetworzony osad wywożony jest na pole, natomiast komora napełniana jest zgromadzoną w zbiorniku gnojowicą. Dzienna produkcja biogazu wynosi maksymalnie 10 m³ przy obciążeniu 0,3-0,5 m³ biogazu dziennie z 1m³ objętości komory. [1, 19].



Rys. 8. Instalacja produkcji biogazu technologią Reinholda-Darmstadta:
1 – zbiornik dzwonowy biogazu, 2 – doprowadzenie gnojowicy,
3 – komora biogazu, 4 – kompost, 5 – komora fermentacyjna,
6 – odprowadzenie kompostu, 7 – zbiornik obornika [1].

Znane są jeszcze inne technologie oraz metody, które służą pozyskaniu biogazu w rolnictwie, czy to z nawozów naturalnych oraz odpadów pochodzenia zwierzęcego, czy to z surowców roślinnych.

Metoda *Strella-Liebermana-Gotza*, w której świeży obornik jest poddawany w dwuczęściowej komorze fermentacyjnej wstępnej fermentacji tlenowej, w trakcie której się ogrzewa, a następnie po spuszczeniu do drugiej części komory rozpoczyna się fermentacja właściwa- beztlenowa [1].

Inna metoda wykorzystująca również dwuczęściowe komory to metoda *Poetscha*. W górnej części komory gromadzi się rozcieńczony obornik, który stanowi zamknięcie hydrauliczne biogazu wytwarzanego w komorze dolnej. W metodzie tej nie jest potrzebny zbiornik biogazu [1].

Z kolei w Szwecji istnieje 18 biogazowni opartych na procesie kofermentacji (model szwedzki). Mieszanie różnych rodzajów odpadów zwykle przyczynia się do zwiększenia zawartości metanu w biogazie w porównaniu do technologii, w których wykorzystuje się poszczególne substraty oddzielnie. Surowcami w tych procesach mogą być: gnojowica, posortowane odpady żywnościowe z gospodarstw domowych, sklepów i restauracji, zboża i odpady z przemysłu spożywczego (np.: odpady z ubojni i wody procesowe różnego pochodzenia) [31].

Zagadnieniem produkcji biogazu z gnojowicy zajmowali się również *Bonde*

i współpracownicy [32], którzy opracowali również związaną z tym koncepcję separacji nawozu naturalnego. Dodatkowo opracowana technologia zawiera metodę przetwarzania zwłok zwierzęcych oraz m.in. mięsa i mączki kostnej. Zapewnia alternatywny sposób przetwarzania odpadów pochodzenia zwierzęcego, w wyniku czego uzyskuje się nawóz stosowany na gruntach rolnych. Otrzymany w procesie fermentacji biogaz może być skutecznie zastosowany do ogrzewania pomieszczeń inwentarskich lub zasilania elektrowni [19, 32].

Produkcję biogazu z produktów ubocznych z rzeźni badali *Hejnfelt* i *Angelidaki* [33]. W tym celu stosowali mączkę mięsno-kostną, mączkę kostną, mięso, krew, włosy, żebra, tłuszcz w ilości 225, 497, 575, 561, 582, 359, 487 dm³/kg odpowiednio, w stosunku do 50 do 100% obliczonego teoretycznego potencjału metanu. Naukowcy zaobserwowali, że stężenia lotnych kwasów tłuszczowych powyżej 5 g lipidów/dm³ oraz amoniaku powyżej 7 g N/dm³ w materiale zwierzęcym powodowały obniżenie wydajności produkcji biogazu na skutek hamowania procesu. *Hejnfelt* i *Angelidaki* wykazali, że odpady zwierzęce stanowią wydajne podłoże do produkcji biogazu, gdyż przy ich zmieszaniu uzyskuje się wysoki potencjał produkcji metanu, który wynosi 619 dm³/kg CH₄. Wartość ta znacznie przekracza potencjał produkcji metanu uzyskiwany podczas fermentacji nawozów naturalnych, mieszczący się w granicach od 20 do 30 dm³/kg CH₄. Wykazano również, że jednoczesna fermentacja obornika świńskiego i odpadów wieprzowych w ilości 5%, prowadzona w temperaturze 37°C skutkowała zwiększeniem produkcji metanu o 40% w stosunku do procesu fermentacji samego obornika [19].

Halfter [34] opracował technologię produkcji biogazu z odchodów zwierzęcych oraz ciekłego nawozu. Uzyskany na drodze fermentacji beztlenowej biogaz zasilал lokalną elektrownię [19].

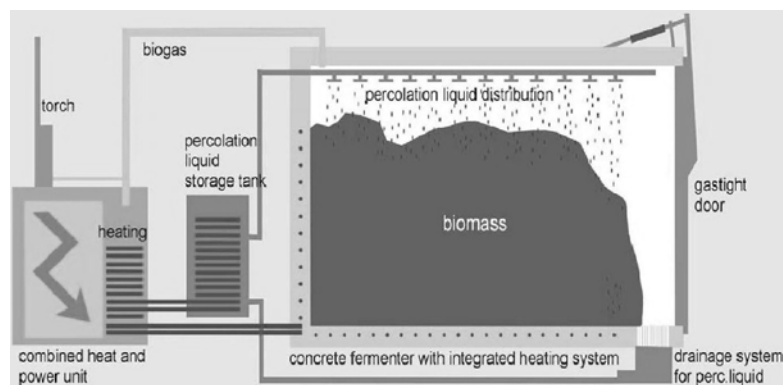
W 2009 roku *Schlottter* [35] opatentował technologię produkcji biogazu i nawozu z roślin hodowlanych o obniżonej zawartości ligniny w stosunku do roślin dziko rosnących. Jako substrat zastosował kiszonkę (paszę soczystą zakonserwowaną naturalnie), słomę, siano, koncentrat paszowy i inne części roślin, pochodzące od brązowo-żyłkowych (BMR) odmian kukurydzy, sorga i prosa, otrzymywanych m.in. w wyniku naturalnej mutacji genetycznej. Proces produkcji biogazu składa się z dwóch etapów. W pierwszym z nich materiał roślinny suszy się w komorach suszenia przez 48 godzin w temperaturze 50–60°C. Następnie za pomocą młyna tnącego, zmniejsza się wielkość cząstek surowca do rozmiarów ok. 1 mm, co umożliwia jego homogenizację i zwiększa efektywność fermentacji. Fermentacja substratów zachodzi przy udziale szczepów bakterii. Kultury bakterii mogą być otrzymywane w bioreaktorach lub ich źródłem może być kompost oraz gnojowica i obornik. Proces fermentacji prowadzony jest w fermentatorach różnego typu, np. przepływowych komorach fermentacyjnych, reaktorze hybrydowym z pełnym wymieszaniem (CSTR), reaktorze hybrydowym (STR), reaktorze periodycznym lub reaktorze zbiornikowym z ciągłym mieszaniem. Zawartość metanu w biogazie wynosiła zazwyczaj od 45 do 55% całkowitej objętości biogazu, natomiast w najlepszym przypadku ilość CH₄ wyniosła od 65 do 70% całkowitej objętości biogazu [19].

Holm i współpracownicy [36] pozyskiwali biogaz z materii organicznej, którą określali jako materię zieloną, którą stanowiły rośliny takie jak lucerna, trawa i koniczyna, a także rzepak, kukurydza, słonecznik, buraki cukrowe, rzepa, ka-

pusta, ziemniaki, groch, fasola, soczewica, len i łubin. Stosowano również produkty rolne, takie jak kiszonka, słoma, ziarna zbóż oraz wyroby zbożowe. Zieloną materię poddawano suszeniu do momentu osiągnięcia 50% (wagowo) zawartości suchej masy. Następnie materiał był granulowany i mieszany z cieczą w celu uzyskania konsystencji szlamu. Proces fermentacji beztlenowej prowadzono w gazoszczelnym reaktorze, z którego odprowadzano uzyskany biogaz i przefermentowany osad [19, 36].

System angielski *Organic Power Maltin System* jako wsad wykorzystuje przede wszystkim rośliny energetyczne oraz pozostałości przetwórstwa żywności i zawiesin rolnych. Elementem kluczowym tego rozwiązania jest zestaw reaktorów w formie ergonomicznych zbiorników. Mieszanie następuje na skutek recyrkulacji gazu oraz poprzez dostarczane centralnie ciepło, które konwekcyjnie wspomaga cyrkulację wewnątrz zbiornika. Proces fermentacji prowadzony jest z rozdziałem faz, na poszczególne zbiorniki. Substancje organiczne ulegają rozkładowi przy udziale naturalnie występujących bakterii tlenowych i beztlenowych. Naturalnie występujące bakterie stosowane są do trawienia w szerokim zakresie materiałów organicznych, które obejmują: większość odpadów organicznych oraz rośliny energetyczne. Przepływ tłokowy jest łatwy w regulacji i daje pewność, że czas każdej fazy będzie wystarczający. Ze względów konstrukcyjnych zestaw zbiorników zanurzony jest w stawie. Wystarczająco długi czas zatrzymania sprawia, że fermentat po odwodnieniu jest na tyle ustabilizowany, że nie potrzebuje dalszej obróbki. Od 2002 r. zbiorniki *Maltin System* zainstalowane są w siedzibie spółki, gdzie ta technologia jest sukcesywnie rozwijana [23, 37].

Na szczególną uwagę zasługuje stosunkowo nowa technologia *BEKON* (Niemcy) oparta na procesie perkolacji -ciąglego wymywania, używanego m.in. w farmacji. Technologia *BEKON* stanowi rozwiązanie umożliwiające pełne wykorzystanie potencjału odpadów organicznych i biomasy pochodzącej ze źródeł komunalnych i rolnych. W tym przypadku reaktor to żelbetowy prostopadłościan z dużą, gazoszczelną bramą do załadunku. Funkcję mieszania przejmuje cyrkulacja cieczy procesowej, którą spryskiwane są odpady. Ciecz ta umożliwia rozprzestrzenienie się flory bakteryjnej, rozpuszcza związki organiczne przyspieszając ich rozkład. System wyposażony jest w dwa źródła ciepła: wymiennik w zbiorniku cieczy oraz wbudowaną instalację w konstrukcję boksu. Intensywność nawadniania steruje mikroprocesor - w zależności od jakości odpadów możliwa jest kalibracja układu (przez zmianę zadanych parametrów bądź też przez dodatek środków chemicznych do np. zmiany pH). Innowacyjna technologia – pierwszy zakład pilotażowy w obszarze „Agro Energia” został ukończony w 2009 roku [23, 38].



Rys. 9. Schemat procesu [21].

3. Podsumowanie i wnioski

Przegląd światowych technologii, rozwiązań technicznych oraz sposobów uzyskiwania biogazu pokazuje, iż na całym świecie stosowane są zróżnicowane formy, jeżeli chodzi o stopień zaawansowania pozyskiwania biogazu, jak również są to zindywidualizowane formy innowacyjności dla poszczególnych, konkretnych przykładów biogazowni. Bez wątpienia Europa, szczególnie Niemcy, to światowy lider, jeżeli chodzi o produkcję biogazu oraz ilość technologii jakie zostały stworzone dla potrzeb zagospodarowania różnego rodzaju odpadów, których utylizacja pozwoliła na wytworzenie biogazu.

Oprócz wsadu (surowca, substratu), rozrachunku ekonomicznego, rodzaju wytwarzanej energii istnieje wiele czynników, które determinują wybór technologii. Do nich będą należeć następujące kryteria: zawartość suchej masy w komorze fermentacji, temperatura procesu, ilość stopni procesu, stopień rozdzielania poszczególnych faz procesu fermentacji jak również sposób dozowania substratów. W oparciu o te wytyczne będzie można dobrać odpowiednią technologię: czy to fermentację moką, czy suchą, proces w temperaturze mezo- czy też termofilnej, proces jedno- lub wieloetapowy [39].

W zależności od rodzaju biogazowni istnieje wiele technologii i sposobów zagospodarowania odpadów, pół-substratów w oczyszczalni ścieków z wysypisk śmieci czy w rolnictwie. Powyżej prezentowane rozwiązania w rozdziale 2 przedstawiają kompleksowy obraz sposobów, pomysłów i patentów na wytworzenie biogazu. Spośród wszystkich, najwięcej technologii wywodzi się z Niemiec, ale nie brakuje również rozwiązań z innych krajów europejskich czy koncepcji z Oceanu Atlantyckiego.

Literatura

- [1] Lewandowski W. *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007;
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (**Dz.U.** Nr 261, poz. 2187, z późn. zm.): <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20052612187> [dostęp: 20 sierpnia 2015];

- [3] Suszanowicz D. *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w budownictwie*, Wyd. Świętego Krzyża, Opole 2014;
- [4] Podkówka W. *Biogaz rolniczy. Odnawialne źródło energii. Teoria, praktyczne zastosowanie*, Powszechnie Wyd. Rolnicze i Leśne, Warszawa 2012;
- [5] Romaniuk W., Głazczka A. *Utylizacja odpadów i pozyskanie energii w biogazowniach rolniczych*, [w:] *Ekopartner*, nr 9, Warszawa 1999, str. 8-9;
- [6] Oniszak- Popławska A., Zowsik M., Wiśniewski G. *Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego*, Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO)/ IBMER, Warszawa 2003;
- [7] <http://www.argoxee.com.pl/biogazownie.php> [dostęp: 18.08.2015];
- [8] Fischer T., Krieg A. *Biogazownie rolnicze – przegląd sytuacji na świecie*, Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, <http://www.kriegfischer.de/fileadmin/kriegfischer/public/docs/texte/biogazownie%20rolnicze.pdf> [dostęp: 19.08.2015];
- [9] <http://ioze.pl/energetyka-biogazowa/biogazownie-na-swiecie> [dostęp: 19.08.2015];
- [10] <http://www.rp.pl/artukul/436523.html> [dostęp: 19.08.2015];
- [11] Persson M. *Biogas upgrading and utilization as vehicle fuel*, European Biogas Workshop – The Future of Biogas in Europe III, Esbjerg- Dania 2007, źródło: http://vbn.aau.dk/files/32974668/Probiogas_III_2007.pdf#page=60 [dostęp: 10.10.2015];
- [12] Hallgren, L. *The introduction of biogas buses in Stockholm*, Baltic Biogas Bus – Seminar, St. Petersburg, Rosja 2011;
- [13] Brochure of German Biogas Association: http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/10/broschre_2011_en_versandversion.pdf [dostęp: 20.08.2015];
- [14] Fachverband Biogas 2015 [http://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Produktuebersicht/\\$file/Biogas%20Wissen%20kompakt.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Produktuebersicht/$file/Biogas%20Wissen%20kompakt.pdf) [dostęp: 20.08.2015];
- [15] Produkcja biogazu w krajach UE źródło: <http://www.biogazownie.fwie.pl/images/biogazownie/europa%20mapa%20produkcji%20biogazu.png> [dostęp: 14.09.2015];
- [16] Buraczewski G., Bartoszek B. *Biogaz, wytwarzanie i wykorzystanie*, PWN, Warszawa 1990;
- [17] <http://www.ogrzewnictwo.pl/artykuly/produkcja-biogazu-w-oczyszczalni-sciekow.pdf>, źródło: <http://www.peosa.pl> [dostęp: 20 sierpnia 2015];
- [18] <http://www.gwda.pl/new/index.php/oczyszczalnia/charakterystyka> [dostęp: 20.08.2015];
- [19] Kwaśny J., Banach M., Kowalski Z. *Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia*, [w:] *Czasopismo techniczne. Chemia*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2-Ch/2012 zeszyt 17 rok 109, str.83-102, źródło: https://suw.Biblos.pk.edu.pl/resources/i4/i4/i0/i8/i6/r44086/KwasnyJ_PrzeglądTechnologii.pdf [dostęp: 25.08.2015];
- [20] Patent nr US 6391202 B1, USA;
- [21] Patent nr US 7005068 B2, USA;
- [22] Cambi® <http://www.cambi.com/Products/CambiTHP> [dostęp: 26.08.2015];

- [23] Początek M., Janik M. *Fermentacja metanowa- Technologie, urządzenia, przykłady*, źródło: http://www.en4.pl/documents/Fermentacja_metanowa.pdf [dostęp: 26.08.2015];
- [24] <http://www.axpo.com/axpo/kompogas/en/axpo-kompogas/kompogassystem.html> [dostęp: 26.08.2015];
- [25] http://www.ows.be/household_waste/dranco/ [dostęp: 26.08.2015];
- [26] Baere de L. *The Dranco technology: A unique digestion technology for solid organic waste*, Organic Waste Systems, źródło: <http://www.ows.be/wp-content/uploads/2013/02/The-DRANCO-technology-2012.pdf> [dostęp: 14.09.2015];
- [27] Bogdanowicz R. *Ekotechnologie. Zeszyty Zielonej Akademii*, Wyd. Okręgu Wschodnio-Pomorskiego Polskiego Klubu Ekologicznego, Gdańsk 1998;
- [28] Valorga Internation: <http://www.valorgainternational.fr/en/pag19-TECHNICAL-SOLUTIONS.html> [dostęp: 25.08.2015 r.];
- [29] Putzmeister Solid Pumps GmbH: http://www.pmsolid.com/psp/data/IP_1419_GB.pdf [dostęp: 25.08.2015];
- [30] Shefali Verma *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes*, Columbia University 2002, źródło: <http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf> [dostęp: 25.08.2015];
- [31] Held J., Mathiasson A., Nylander A. Raport: *Biogaz z nawozu i odpadów szwedzkie stadium przypadku*, Sztokholm 2008;
- [32] Patent nr US 7883884 B2, USA;
- [33] Hejnfelt A., Angelidaki I. *Anaerobic digestion of slaughterhouse by-products*, Biomass and bioenergy 33, 2009, 1046-1054;
- [34] Patent nr US 5616163 A, USA;
- [35] Zgłoszenie patentowe nr US 2009/0017487 A1, USA;
- [36] Zgłoszenie patentowe nr US 2006/0006111 A1, USA;
- [37] Organic Power: <http://www.organic-power.co.uk/home.aspx> [dostęp: 26.08.2015];
- [38] BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG: <http://www.bekon.eu/dry-fermentation.html> [dostęp: 26.08.2015];
- [39] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2006) Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung, Institut für Energetyk und Umwelt gGmbH, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Gülzow, Niemcy.

¹ student 3 roku, kierunek – odnawialne źródła energii, Uniwersytet Opolski (Polska), starosta.oze@gmail.com

² dr hab. prof.UO, Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opolski (Polska), akalinichenko@uni.opole.pl

adres: Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, ul. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole, Polska, tel.: +48 77 401 67 00

SPIS TREŚCI

Mariusz ŚLEZIAK	
KSZTAŁCENIE ZAWODOWE W EDUKACJI TECHNICZNO – INFORMATYCZNEJ.....	5
Mariusz ŚLEZIAK	
MECHATRONIKA W KSZTAŁCENIU ZAWODOWYM	17
Izabela PIETKUN-GREBER, Marzena WIENER	
BIOMASA GLONÓW – WARUNKI I SYSTEMY HODOWLI.....	27
Izabela PIETKUN-GREBER, Marzena WIENER	
GLONY JAKO ŹRÓDŁO BIOPALIW.....	39
Tadeusz MEDERSKI, Piotr WOŹNIAK	
PRAKTYCZNE SPOSOBY WDRAŻANIA SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ – CZĘŚĆ PIERWSZA.....	51
Paweł ŚWISŁOWSKI, Antonina KALINICHENKO	
PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH, ŚWIATOWYCH TECHNOLOGII (ROZWIĄZAŃ, PATENTÓW) PRODUKCJI BIOGAZU.....	63
С.П. ГОДОВАНЮК	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ И УЧЁТ ДРЕЙФА СУДНА С ЗАСТОПОРЕННЫМИ МАШИНАМИ.....	79
В.Н. ГУСЕВ, С.Е. СЕЛИВАНОВ	
АМПЛИТУДА ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЧТЫ.....	95
А.О. ЯРОШЕНКО, Alicja GAWDZIK	
ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В СОЦИАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ ТРУДЯЩИХСЯ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	102