



BIOGAZ JAKO PALIWO OKRĘTOWE

Wojciech Zeńczak

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Techniki Morskiej i Transportu,

Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Energetyki

Zakład Systemów Energetycznych Morskich i Lądowych

Al. Piastów 41, 71-065 Szczecin

tel. +48 91 44 94 431

wojciech.zenczak@zut.edu.pl

Streszczenie

Współczesne duże statki pasażerskie typu cruiser zabierają na pokład nawet ponad 6000 pasażerów. Wiąże się to koniecznością obróbki na statku ogromnej ilości ścieków i odpadów organicznych. Sposób postępowania ze ściekami i śmieciami dokładnie określa konwencja MARPOL w załącznikach IV i V. Ogólnie ścieki i odpadki mogą być gromadzone na statku i później zdawane na lądzie do dalszej obróbki. Mogą być także obrabiane na statku i odprowadzane po oczyszczeniu do wody w określonych rejonach pływania statku dzięki czemu unika się ich gromadzenia. Odpadki organiczne i ścieki stanowią jednak bardzo cenne źródło biomasy, która może być wykorzystana na cele energetyczne, w szczególności do produkcji biogazu. Biogaz może być produkowany na lądzie w instalacjach portowych ze zdawanych przez statki odpadów organicznych i ścieków bądź perspektywnie, bezpośrednio na statku w kompaktowych biogazowniach. Niektóre z nowo budowanych statków pasażerskich zasilane są skroplonym gazem ziemnym (LNG) a więc możliwe jest jego zastąpienie biogennym odpowiednikiem tj. biometanem, będącym głównym składnikiem biogazu. W przypadku produkcji gazu już na statku możliwe będzie zwiększanie zapasu paliwa bez zawijania do portu. Aktualnie na świecie prowadzone są prace mające na celu opracowanie biogazowni na duże statki pasażerskie. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z koncepcją rozwiązania i ocenę korzyści wynikających z instalowania biogazowni na statkach pasażerskich.

Słowa kluczowe: *ochrona środowiska, statki pasażerskie, odnawialne źródła energii, biogazownie, biogaz*

1. Wstęp

Rejsy dużymi statkami wycieczkowymi stają się coraz bardziej popularne na świecie a liczba pasażerów stale rośnie. Według Niemieckiego Federalnego Urzędu Statystycznego w samym tylko 2018 roku na tego typu statkach na całym świecie spędziło wakacje 28 milionów ludzi. Największe z tych statków zabierają na pokład ponad 6000 pasażerów. Eksploatacja takiego statku, porównywanego do małego miasta i jego problemów, związana jest m.in. z powstawaniem ogromnej ilości odpadów organicznych i ścieków.

Sposób postępowania ze ściekami i śmieciami dokładnie określa konwencja MARPOL w załącznikach IV i V. Ogólnie ścieki i odpadki mogą być gromadzone na statku i później zdawane na lądzie do dalszej obróbki. Mogą być także obrabiane na statku i odprowadzane po oczyszczeniu do wody w określonych rejonach pływania statku dzięki czemu unika się ich gromadzenia. Na statkach instaluje się więc powszechnie oczyszczalnie biologiczne, które wyposażone są jednocześnie w zbiornik retencyjny i urządzenia do rozdrabniania oraz dezynfekcji. Są też spalarki, w których oprócz szlamu z wirówek paliwa i oleju spala się śmieci, odpadki organiczne a także szlam z oczyszczalni. W niektórych rejonach jak np. Morze Bałtyckie spalanie odpadów z oczyszczalni jest jednak zabronione. W takim przypadku

pozostaje tylko gromadzenie szlamu biologicznego na statku i oddawanie na lądzie. Jest to bardzo uciążliwe postępowanie gdyż suszenie szlamu na statku pochłania duże ilości energii a ponadto wiąże się z emisją nieprzyjemnych zapachów [1].

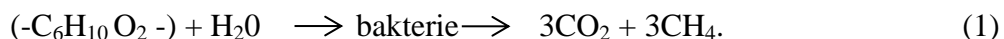
Odpadki organiczne i ścieki stanowią jednak bardzo cenne źródło biomasy, która może być wykorzystana na cele energetyczne, w szczególności do produkcji biogazu. Biogaz może być produkowany na lądzie w instalacjach portowych ze zdawanych przez statki odpadów organicznych i ścieków bądź perspektywnie bezpośrednio na statku w kompaktowych biogazowniach. Niektóre z nowo budowanych statków pasażerskich zasilane są skroplonym gazem ziemnym (LNG), a więc możliwe jest jego zastąpienie biogennym odpowiednikiem tj. biometanem, będącym głównym składnikiem biogazu. W przypadku produkcji gazu już na statku możliwe będzie zatem zwiększanie zapasu paliwa bez zawijania do portu. W szczególnych przypadkach może to mieć znaczenie ponieważ dla tych samych zasięgów statku objętość zapasu paliwa w postaci LNG jest około dwukrotnie większa niż klasycznego ciekłego paliwa okrętowego. Aktualnie na świecie prowadzone są prace mające na celu opracowanie biogazowni na duże statki pasażerskie.

2. Otrzymywanie biogazu

Biogaz powstaje w wyniku fermentacji czyli redukcyjnego procesu rozkładu substancji organicznych przebiegającego bez dostępu powietrza. Mikroorganizmy odpowiedzialne za ten proces, rozkładają substancje organiczne zawierające celulozę, skrobię, węglowodany, przechodząc przez różne postaci produktów pośrednich do dwutlenku węgla i metanu. Bakterie powodujące fermentację mają stosunkowo długi czas reprodukcji i są bardzo wrażliwe na warunki środowiskowe, z których najważniejsze to: brak dostępu tlenu i światła, odpowiednia i stała dla danego rodzaju bakterii temperatura środowiska (33÷38 °C – bakterie mezofilne, lub 55÷65 °C – bakterie termofilne), odpowiedni odczyn (lekko zasadowy – pH ok. 7,5), wilgotność oraz mała toksyczność środowiska. Zmiana parametrów nawet tylko jednego z tych czynników powoduje zwolnienie lub zahamowanie aktywności bakterii. W wyniku tego następuje zmniejszenie udziału metanu w biogazie, a w skrajnym przypadku dochodzi do zatrzymania jego wydzielania czyli następuje tzw. zakiśnięcie biomasy [2].

W procesie biorą udział w sumie trzy rodzaje bakterii tj. obok wspomnianych już bakterii mezofilnych i termofilnych są jeszcze bakterie psychrofilne, które giną poniżej temperatury 0°C i powyżej 30 °C. Anaerobowy proces termofilny jest najwydajniejszy i w jego wyniku powstaje o 20% więcej biogazu a masa pozostałości pofermentacyjnej jest o 10 do 15% mniejsza niż w procesie mezofilnym [3]. Dla ułatwienia przebiegu fermentacji metanowej zaleca się mieszanie zawartości zbiornika za pomocą mieszadeł w celu ujednoczenia temperatury. Mieszanie dodatkowo ułatwia także wydzielanie się biogazu.

Dla przykładu łączny proces powstawania biogazu z celulozy można zapisać w postaci równania [2]:

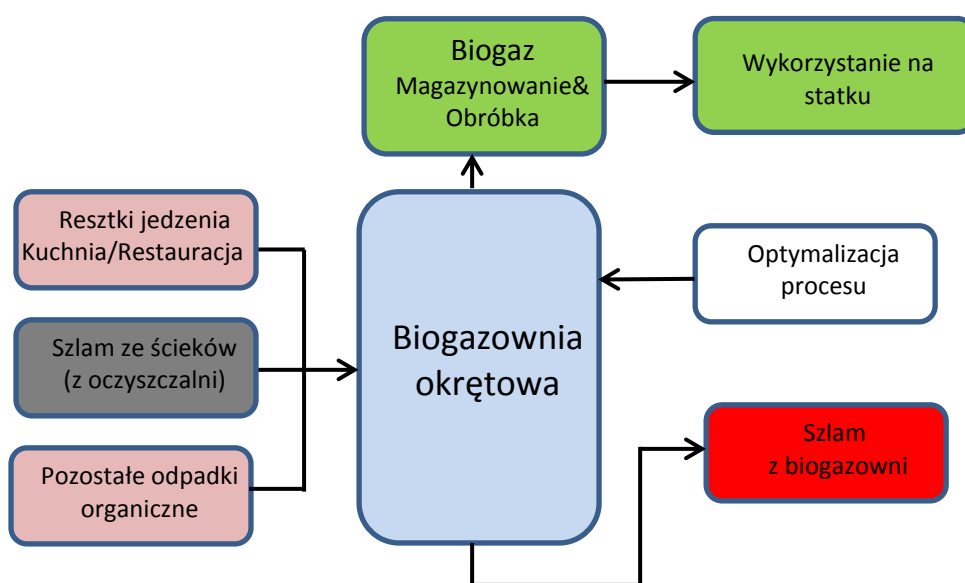


W prawidłowo prowadzonym procesie fermentacji można uzyskać biogaz, w którym do 60% stanowi metan. Resztę stanowi głównie dwutlenek węgla. Ponadto mogą znajdować się różne inne gazy stanowiące łącznie do ok. 9% jak wodór, tlen, azot i siarkowodór. Obecność tlenu i azotu związana może być z nieszczelnością zbiornika fermentacyjnego.

Z bilansu wynika, że z dobrze przeprowadzonej fermentacji z 1 kg substancji organicznej otrzymuje się ok. 0,4 m³ biogazu o wartości opałowej od 16,8 do 23 MJ/m³. Wartość opałowa biogazu jest około dwukrotnie mniejsza od wartości opałowej gazu ziemnego, która wynosi ok. 36 MJ/m³. Udział metanu w gazie ziemnym wynosi bowiem ponad 90%. Istnieją jednak technologie pozwalające na oddzielenie z biogazu CO₂ np. w płuczce wodnej (skruberze)

dzięki czemu można zwiększyć wartość opałową biogazu do poziomu jaki ma gaz ziemny tj. 35,7 MJ/m³ [3].

Należy mieć też na uwadze fakt, że obok biogazu produktem fermentacji metanowej jest bioszlam, który może być wykorzystany jako nawóz organiczny. W perspektywie budowy instalacji fermentacyjnej na statku należałoby uwzględnić ten fakt i przewidzieć zbiornik do jego gromadzenia i zdawania na lądzie do późniejszego wykorzystania w rolnictwie. Ogólny schemat procesu wytwarzania biogazu na statku przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Schemat ogólny procesu wytwarzania biogazu na statku

Obecnie na świecie znanych jest wiele rozwiązań technicznych urządzeń i instalacji do produkcji biogazu. Nim jednak biogazownie trafią na pokłady statków jako np. zmodyfikowana oczyszczalnia ścieków w kombinacji ze stopniem anaerobowym, konieczne jest jeszcze rozwiązanie wielu problemów. Jednym z kierunków prac jest opracowanie wysokoefektywnego, kompaktowego bioreaktora (fermentatora) dostosowanego do warunków okrętowych. Oprócz zagadnienia włączenia biogazowni w łańcuch procesów obróbki ścieków, odpadów organicznych i śmieci pozostają do rozwiązania także zagadnienia bezpieczeństwa związane z obecnością biogazu na statku. Te jednak w dużym stopniu są podobne do tych na statkach zasilanych LNG, które pomyślnie rozwiązano i można je adaptować w przypadku obecności biogazu.

3. Oszacowanie możliwej do otrzymania ilości biogazu na statku

W ramach badań przeprowadzonych w Niemczech przez Centrum Innowacji i Kształcenia w Hohen Luckow (IBZ) wraz z armatorem największych statków wycieczkowych na świecie AIDA CRUISERS dokonano m.in. analizy odpadów biogenych pod kątem ilości możliwego do wyprodukowania biogazu. Analiza składu biomasy odpadowej wskazuje na jej bardzo dobrą podatność do mezofilnej fermentacji metanowej.

Pod uwagę brano i badano osobno następujące rodzaje odpadów:

- świeże ścieki czarne,

- świeże ścieki szare,
- rozdrobnione resztki jedzenia,
- brudny bioszlam jako mieszanina szlamu ze ścieków i resztek jedzenia,
- tłuszcze po smażeniu frytek,
- tłuszcze poflotacyjne z odtłuszczacza.

Największe ilości biogazu otrzymano z frakcji tłuszczowych, bioszlamu i resztek jedzenia. Ze ścieków czarnych i szarych, mimo ich dużej ilości na statku, pozyskiwano natomiast niewiele biogazu. Według [1] produkcja biogazu wprost z tego rodzaju ścieków jest niecelowa na statku gdyż instalacja wymagałaby zastosowania zbiorników i komór fermentacyjnych o dużych pojemnościach. Badania wykazały jednak, że z samych resztek jedzenia można otrzymać porównywalne ilości biogazu jak ze sprasowanego szlamu pościekowego. Wynika z tego to, że nie powinno się jednak tego źródła biomasy całkowicie pomijać. Jego wydajność jest porównywalna do wydajności średniej biogazowni stosowanej w rolnictwie. Dla armatorów istotna jest przy tym nie tyle produkcja energii, co alternatywne możliwości utylizacji odpadów, ogólny wzrost sprawności całego systemu energetycznego i obniżenie kosztów eksploatacji statku. Już tylko sam brak konieczności suszenia szlamu i uniknięcie kosztów utylizacji, na statku klasy Sfinks zabierającym na pokład 2500 pasażerów, dają rocznie 160 tys. Euro oszczędności. Dalsze 190 tys. Euro może dać zastąpienie biogazem pewnej ilości paliwa typu MDO. W ciągu doby na tym typie statku powstaje ok. 7 Mg resztek jedzenia [1].

W tabeli 1 podano średnie ilości generowanych resztek jedzenia oraz ścieków przypadających na jedną osobę na dzień na statkach pasażerskich według różnych źródeł [1, 4, 5, 6].

Tab.1. Średnie ilości odpadów generowanych na statkach pasażerskich

| Rodzaj odpadów | Ilość odpadów w kg na osobę na dobę |
|------------------|-------------------------------------|
| Resztki jedzenia | 2,8÷3 |
| Ścieki czarne | 30÷38 |
| Ścieki szare | 183÷266 |

Na tej podstawie można oszacować produkcję biogazu na statku. Dla uproszczenia pominięto ścieki szare. Parametrem określającym substancje organiczne w ściekach jest ChZT, czyli chemiczne zapotrzebowanie na tlen. Interpretuje się go tak, że jest to ilość tlenu potrzebna do utlenienia zawartych w ściekach związków organicznych i niektórych związków nieorganicznych [7]. Wartość tego wskaźnika dla ścieków czarnych okrętowych można przyjąć równą 36 kg ChZT/m³ [8]. Ilość ścieków czarnych przypadającą na jedną osobę na dobę przyjęto do obliczeń równą 0,035 m³. Z tego wynika ładunek chemicznego zapotrzebowania na tlen, który jest równy 1,26 kg ChZT/(osoba·24h). Przy wydajności procesu wytwarzania biogazu 0,35 m³/kg, z 1kg ładunku ChZT otrzymuje się więc 0,44 m³/(osoba ·24h) biogazu.

Przyjmując średnią ilość resztek jedzenia przypadającą na jedną osobę na dobę równą 3 kg oraz, że jest ona równoważna ładunkowi chemicznego zapotrzebowania na tlen ChZT, to przy tej samej wydajności procesu otrzymuje się 1,05 m³/(osoba· 24h) biogazu.

Łączna ilość biogazu otrzymanego z masy organicznej w postaci resztek jedzenia oraz ze ścieków czarnych statku pasażerskim wynosi zatem w przybliżeniu ok. 1,5 m³/(osoba· 24h). Z tego wynika, że np. na statku pasażerskim Adventure of the Seas zabierającym 3114 pasażerów i 1180 członków załogi (łącznie 4294 osoby), należącym do jednego z bardziej

popularnych armatorów wycieczkowców na świecie jakim jest Royal Caribbean International, można uzyskać w ciągu doby ok. 6440 m³ biogazu. Przy założeniu średniej wartości opałowej biogazu na poziomie 20 MJ/m³ daje to ok. 35,6 MWh energii w ciągu doby.

4. Możliwości zagospodarowanie biogazu otrzymywanego odpadów okrętowych

Przytoczony wyżej dla przykładu statek wyposażony jest w siłownię spalinowo elektryczną z 6 silnikami średnioobrotowymi o łącznej mocy 86,4 MW, z czego 42 MW dostarczane jest do układu napędowego. Jednostkowe zużycie paliwa silników wynosi 0,178 kg/kWh. Przyjmując wartość opałową paliwa okrętowego typu MDO stosowanego na tym statku równą 40 MJ/kg można oszacować, że wytworzona ilość biogazu może zastąpić 3200 kg paliwa ciekłego w ciągu doby. W stosunku do dobowego zapotrzebowania paliwa w ciągu doby tylko przez układ napędowy przy jego nominalnym zapotrzebowaniu mocy, stanowi to niecałe 2%.

Moc jednego zespołu prądowórczego wynosi 14,4 MW a więc podczas pracy z nominalną mocą zużywa on w ciągu doby 61862 kg paliwa. Zakładając możliwe dostosowanie silnika do pracy na biogazie wystarczyłoby go zaledwie na 1,2 godziny jego pracy. Należałoby też wcześniej zgromadzić całodobową ilość wyprodukowanego gazu w odpowiednim zbiorniku.

Chcąc zapewnić ciągłą pracę silnika na produkowanym biogazie należałoby zredukować jego moc do ok. 750 kW. Praca silnika z tak małym obciążeniem jest jednak nieekonomiczna lub wręcz niemożliwa przy współpracy z innymi zespołami prądowórczymi obciążonymi znacznie większą mocą. Z tego względu wskazane byłoby zainstalowanie w siłowni silnika o mniejszej mocy, dobranego pod względem mocy do dobowych możliwości produkcji biogazu na statku i dedykowanego do pracy tylko na tym paliwie.

Odpowiednio do mocy generowanej przez silnik pracujący na biogazie można wówczas odciążać pozostałe silniki. Rozwiązanie z oddzielnym silnikiem przeznaczonym np. głównie do pracy podczas postoju w porcie lub w obszarach ochronnych jest szczególnie korzystne w aspekcie redukcji emisji związków toksycznych.

Duże możliwości zagospodarowania biogazu stwarza też rozwój technologii LNG w żegludzie ponieważ jak wspomniano we wstępie, może on być wykorzystany wprost do uzupełniania zapasu paliwa. Należy jednak przyjąć, że biogaz nie byłby skraplany na statku ani nie oddzielano by z niego CO₂, a raczej byłby mieszany w postaci gazowej z odparowanym już gazem ziemnym. Rozwiązanie takie nie wymagałoby szczególnej rozbudowy instalacji biogazu.

Najprostszym jednak sposobem użytkowania biogazu jest jego wykorzystanie do wytwarzania pary w kotle na cele grzewcze ogólnookrętowe i siłowniane a także do podgrzewania biomasy w komorze fermentacyjnej.

Armatorzy jednak nie zawsze są chętni na wprowadzanie nowych technologii na statki, które wymagałyby odpowiednio wyszkolonych załóg i dodatkowych nakładów związanych z ich obsługą i konserwacją. Można zatem przyjąć, że preferowane byłyby rozwiązania polegające na zdawaniu odpadów na lądzie i produkcja biogazu w biogazowniach portowych. Stąd też oprócz prac związanych z rozwojem biogazowni okrętowych prowadzi się prace nad rozwojem takich portowych biogazowni, w których przyjmowane byłyby nie tylko odpady ze statków pełnomorskich ale także ze luksusowych wycieczkowców rzecznych czy nawet z przetwórci ryb i z przemysłu spożywczego. Produkcję biogazu z odpadów rybnych podjęła już np. Norwegia, która ma ich pod dostatkiem. Produkowany gaz jest przeznaczony głównie do zasilania promów z napędem hybrydowym spalinowo- elektrycznym a docelowo także statków pasażerskich [9].

5. Podsumowanie

Wykorzystanie ścieków czarnych i resztek jedzenia do produkcji biogazu bezpośrednio na statku może być jednym ze sposobów poprawy efektywności energetycznej statku. Możliwe do uzyskania dobowe ilości biogazu nie są jednak duże w stosunku do zużycia dobowego paliwa przez siłownie dużych statków pasażerskich. Trzeba mieć jednak na uwadze fakt, że faktyczne prędkości pływania tych statków są mniejsze od nominalnej i nie jest wykorzystywana pełna moc siłowni. Wówczas udział ilości produkowanego gazu do zużycia paliwa będzie korzystniejszy. Sam biogaz w żadnym razie nie jest w stanie zapewnić wszystkich potrzeb energetycznych statku dlatego konieczne jest rozwijanie napędów hybrydowych opartych na wykorzystaniu biogazu, LNG oraz wysokowydajnych baterii elektrycznych.

Przetwarzania bioodpadów przez fermentację beztlenową w biogazowni w porcie zamiast energochłonnego suszenia odpadów biologicznych na pokładzie jest także alternatywnym sposobem na poprawę efektywności energetycznej statku. Większe możliwości zagospodarowania biogazu pojawią się z chwilą powszechniejszego wykorzystywania LNG jako paliwa, szczególnie na statkach pasażerskich.

References

- [1] Hudde J., Orth M., Seibicke T., *Reststoffpotenziale zur Biogaserzeugung schlummern im Rumpf*, Biogas Journal, 1/2017.
- [2] Mikielwicz J., Ciesliński J.T., *Niekonwencjonalne urządzenia i systemy konwersji energii*, Wydawnictwo PAN, Wrocław 1999.
- [3] Lewandowski W. M., Ryms M., *Biopaliwa*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2013.
- [4] Meier-Peter H, Bernhard F., *Handbuch Schiffbetriebstechnik*, Seehafen Verlag, Hamburg 2006.
- [5] EMSA/OP/02/2016, *The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships*, www.emsa.europa.eu/component, dostęp 03.05.2019.
- [6] *Contamination by cruise ships*, Oceana 2004, <https://oceana.org/reports/contamination-cruise-ships>, dostęp 03.05. 2019.
- [7] Sikora J., Żabnicka K., *Ilość wytworzonego biogazu podczas fermentacji beztlenowej w zależności od wysokości CHZTw ściekach surowych wybranego browaru*, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr I/1/2015 PAN, Oddział w Krakowie
- [8] Lopez A.C., *The application of biogas energy as auxiliary source of energy on a luxury cruise*, Bachelor thesis, Szczecin 2017.
- [9] <https://aiomag.de/hurtigruten-biogas-aus-fischabfall-18123>, dostęp 03.05. 2019.