

## SYMULACJA KOMPUTEROWA OBIEKTU DYNAMICZNEGO NA PRZYKŁADZIE BIOGAZOWNI

Emilian PIESIK<sup>1</sup>, Tomasz BARNERT<sup>2</sup>, Marcin ŚLIWIŃSKI<sup>3</sup>

1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk  
tel: 58 347 14 35 fax: 58 347 24 87
2. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk  
tel: 58 347 14 35 fax: 58 347 24 87
3. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk  
tel: 58 347 14 35 fax: 58 347 24 87

e-mail: e.piesik@ely.pg.gda.pl

e-mail: t.barnert@ely.pg.gda.pl

e-mail: m.sliwinski@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono symulator czasu rzeczywistego biogazowni rolniczej. Przedstawiony symulator obejmuje obiegi biomasy, biogazu, a także obieg grzewczy wraz z systemem sterowania urządzeniami układów biogazowni oraz wizualizacją procesów. Badania koncentrowały się na wykonaniu symulatora, który odzwierciedla istniejące instalacje. Oprogramowaniem służącym do symulacji jest system CFD (Computational Fluid Dynamics) dający możliwość symulacji obiegów grzewczych, przepływu medium a także systemów sterowania. Przedstawiona symulacja może posłużyć, jako narzędzie do analizy stanów awaryjnych. Wyniki symulacji pozwalają na optymalizowanie realizowanego obiektu pod względem produkcji lub optymalizowania kosztów budowy. Symulator tworzy podstawę szkoleniową dla kadry operatorskiej biogazowni.

**Słowa kluczowe:** biogazownia, modelowanie, symulacja.

### 1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

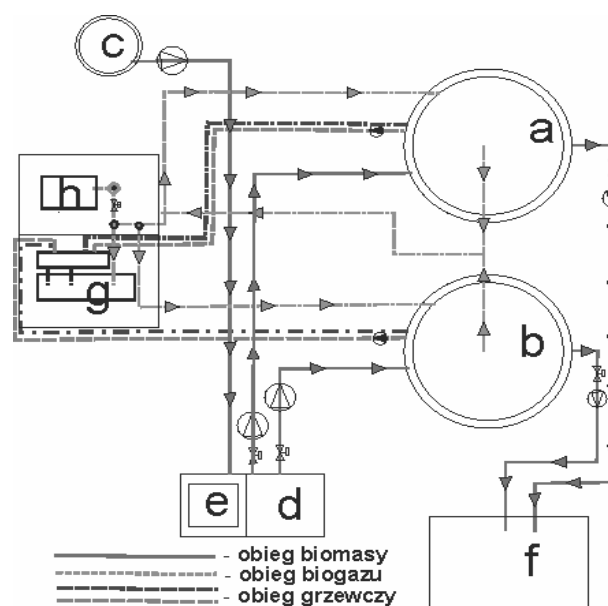
#### 1.1. Wprowadzenie

Odnawialne Źródła Energii (OZE) stają się coraz ważniejsze na arenie energetyki Polski, ale i całej Unii Europejskiej. Energia pochodząca z OZE jest alternatywą dla energetyki konwencjonalnej opierającej się na paliwach takich jak węgiel [1, 2]. Biogazownia to instalacja służąca do celowej produkcji biogazu pochodzącego z biomasy roślinnej a także odpadów zwierzęcych odpadów organicznych powstających na wysypiskach śmieci lub osadu pochodzącego z oczyszczalni [2]. Typowa biogazownia zbudowana jest z układów: biomasy, biogazu i grzewczego. Zróżnicowanie instalacji biogazowni wynika z technologii produkcji biogazu. Instalacje różnią się, co do występujących podsystemów oraz ich elementów. W zależności od materiału wsadowego służących do pozyskiwania biogazu. Biogazownie rolnicze to instalacje bazujące na najnowocześniejszych dostępnych technologiach, posiadają one rozległą infrastrukturę automatyki. Systemy sterowania biogazowni rolniczych w nowo powstających obiektach posiadają optymalizatory, które ograniczają straty energii cieplnej oraz biogazu. Biogazownie rolnicze powstają w celu produkcji energii

elektrycznej, oraz cieplnej [1, 3]. Proponowany model instalacji biogazowni rolniczej wykonany w oprogramowaniu Flownex SE (system CFD) w oparciu o wiedzę teoretyczną a także wiedzę praktyczną przedstawia symulacje systemów biogazowni [4]. Istniejące instalacje biogazowni są przewymiarowane pod względem średnicy rur a także układu pomp. Przedstawiona specyfikacja podsystemów i elementów instalacji biogazowni odzwierciedla istniejące objekty.

#### 1.2. Informacje na temat symulowanej biogazowni

Obiektem podlegającym symulacji jest biogazownia rolnicza o maksymalnej mocy elektrycznej 625 kW oraz mocy cieplnej 680 kW. Rysunek 1 przedstawia symulowaną biogazownię.



Rys. 1. Schemat szczegółowy instalacji biogazowni rolniczej – symulowanej (a) zbiornik fermentacyjny nr.1; (b) zbiornik fermentacyjny nr.2; (c,d) zbiorniki wstępne materiałów wsadowych; (e) zbiornik mieszania; (f) zbiornik pofermentacyjny; (g) kogenerator; (h) piec gazowy

Realizowana biogazownia jest instalacją mokrą oznaczającą stężenie suchej masy na poziomie >15% [3]. Temperatura, w jakiej zachodzi fermentacja wynosi ok. 40°C jest to fermentacja mezofilowa [3]. Symulowana biogazownia zawiera materiał wsadowy w postaci ciekłej oraz stałej. Wydajność biogazu z materiału wsadowego wynosi odpowiednio dla gnojowicy 35 m<sup>3</sup>/tonę, uzysk biogazu z substratu kształtuje się na poziomie 110 m<sup>3</sup>/tonę. Substrat dla przedstawionej symulacji jest to mieszanina substancji w składzie 50% gnojowica, 2% substancje oleiste, 48% kiszonka z kukurydzy. Mieszanina w takim składzie daje uzysk biogazu na poziomie 113 m<sup>3</sup>/tonę. Czas przechowywania biomasy w komorze fermentacyjnej wynosi 10 dni [3].

### 1.3. Obieg biomasy

Objętość zbiorników symulowanej biogazowni przedstawiona jest w tablicy 1.

Tablica 1. Pojemność zbiorników

Zbiornik	Powierzchnia [m <sup>3</sup> ]
substratu	1000
gnojowicy	400
fermentacyjny nr 1	3500
fermentacyjny nr 2	3500
pofermentacyjny	9000

Symulowana instalacja posiada dwa zbiorniki fermentacyjne. Przepływ biomasy jest regulowany i może być tym samym sterowany w zakresie 0-10 ton/h. Rozwiązaniem stosowanym w układach biogazowni jest zachowanie równowagi dopływów i odpływów zbiorników fermentacyjnych [3]. Wartości podawane do zbiornika mieszania zależą od parametrów pracy kogeneratora oraz zapotrzebowania biogazowni w biogaz. Poprzez zmianę składu biomasy można zwiększać bądź zmniejszać produkcję biogazu. Parametry rur zostały dobrane z bazy danych ASME B36.10M [4] wbudowanej w oprogramowanie symulacyjne. Parametry rur dobranych do obiegu biomasy odwzorowują parametry rur stosowanych w obiektach rzeczywistych. Biomasa jest tłoczona za pomocą pomp tłocznych. Ilość tłoczony biomasy jest regulowana w symulacji za pomocą ustawiania czasu pracy pompy.

### 1.4. Obieg grzewczy

Obieg grzewczy w instalacji jest jednocześnie obiegiem chłodzącym generatora. Pomiędzy układem generatora a układem grzewczym zainstalowany jest wymiennik ciepła. Wymiennik jest elementem wymiany ciepła pomiędzy obiegiem wewnętrznym, który jest obiegiem chłodzenia silnika a obiegiem zewnętrznym, który jest obiegiem grzewczym biogazowni. Do wymiany w instalacji posłużył wymiennik o mocy 680 kW. Układ grzewczy posiada także chłodnicę, która służy do schładzania i wytracania nadmiaru energii cieplnej. Duża część energii trafia, jako źródło ogrzewania do zbiorników fermentacyjnych. W komorach fermentacyjnych utrzymywana jest temperatura ok. 37 °C. W instalacji grzewczej zastosowano rurociąg stalowy o średnicy 100 mm grubość ścian wynosi 4,78 mm pochodzący również z bazy ASME B36.10M [4]. Parametry rur dobranych do obiegu grzewczego

odzworowują parametry rur stosowanych w obiektach rzeczywistych. Medium w układzie grzewczym jest woda.

### 1.5. Obieg biogazu

Biogaz produkowany gromadzi się pod powierzchnią kopuł zbiorników fermentacyjnych, oraz kopuły zbiornika pofermentacyjnego w zależności od stosowanej technologii. Ciężnienie panujące w zbiorniku fermentacyjnym wynosi ok. 30 mbar. Biogaz powstający w wyniku fermentacji jest biogazem zanieczyszczonym głównym problemem jest siarkowodor. Rury stalowe wykorzystane przy symulacji tego obiegu posiadają średnice 100 mm grubość ścian 4,78 mm parametry pochodzą z bazy ASME B36.10M [4]. Parametry rur dobranych do obiegu biogazu odwzorowują parametry rur stosowanych w obiektach rzeczywistych. Zawartość metanu w materiale wsadowym została przedstawiona w tablicy 2.

Tablica 2. Zawartość metanu w materiale wsadowym

Materiał wsadowy	Zawartość metanu [%]
Kiszonka z kukurydzy	50
Gnojowica	55
Substancje oleiste	60

Posiadając informacje na temat składu procentowego można obliczyć zapotrzebowanie kogeneratora na biogaz.

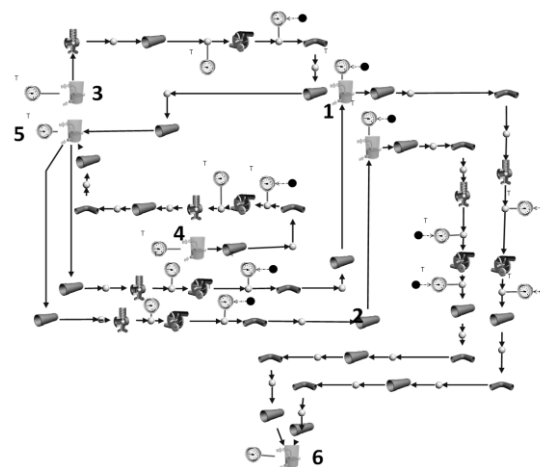
$$Zb = \frac{P}{\frac{zw}{100} \times 10 \times 0.39} [m^3] \quad (1)$$

gdzie: Zb – zużycie biogazu przez kogenerator m<sup>3</sup>, zw – zawartość metanu w biogazie, P – moc aktualna generatora kW, 39% - sprawność kogeneratora, 10 – czas produkcji (wprowadzenia) biogazu do obiegu h.

## 2. SYMULACJA OBIEKTU

### 2.1. Obieg biomasy

Obieg biomasy transportuje dwa rodzaje medium do zbiornika mieszania. W zbiornikach fermentacyjnych biomasa jest podgrzewana, co przyspiesza procesy metanogenne. Ze zbiorników fermentacyjnych biomasa trafia do zbiornika pofermentacyjnego. Model obiegu biomasy przedstawiony jest na rysunku 2.

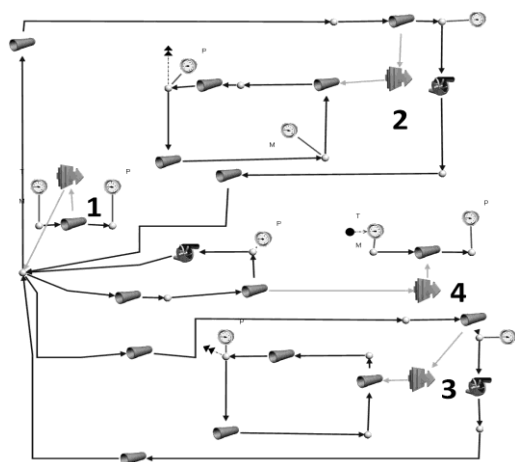


Rys. 2. Model obiegu biomasy w oprogramowaniu symulacyjnym, 1- zbiornik fermentacyjny nr 1; 2- zbiornik fermentacyjny nr 2; 3 - zbiornik gnojowicy; 4 - zbiornik substratu; 5- zbiornik mieszania ; 6 – zbiornik pofermentacyjny

Model instalacji został zbudowany zgodnie z założeniami. Objętości zbiorników, przekroje rur a także zakres pracy pomp został odpowiednio dobrany. Elementy obiegu biomasy odpowiadają obiegowi założonemu w projekcie. Układ regulacji obiegów tłocznych, został zrealizowany poprzez regulację czasu pracy pomp. Układ sterowania został zrealizowany poprzez regulację prędkości obrotowej pompy. Przyjętym rozwiązaniem jest wyłączenie pompy poniżej 250 obr/min. Praca pomp z nominalną wydajnością odbywa się na poziomie 2900 obr/min.

## 2.2. Obieg grzewczy

Obieg grzewczy posiada cztery wymienniki ciepła. Pierwszym wymiennikiem jest wymiennik główny o mocy 680 kW w zależności od temperatury medium, która zostanie podana. Temperatura głównego wymiennika pochodzi bezpośrednio od kogeneratora spalającego biogaz. Obieg grzewczy przedstawia rysunek 3. Obieg główny posiada trzy źródła odbiorcze są to układy podgrzewania zbiorników fermentacyjnych nr 1 oraz nr 2 a także układ chłodnicy nr 4, który odprowadza część niewykorzystanej energii cieplnej. Układ grzewczy przeznaczony do podgrzewania biomasy w zrealizowanej instalacji to szereg rur otokowych zainstalowanych wewnątrz zbiornika fermentacyjnego odpowiednio na zbiorniku nr 1 i nr 2.



Rys. 3. Model obiegu grzewczego w oprogramowaniu symulacyjnym. 1 - wymiennik główny płytowy; 2 - wymiennik wewnątrz zbiornika fermentacyjnego nr. 1 otokowy rurowy; 3 - wymiennik wewnątrz zbiornika fermentacyjnego nr 2 otokowy rurowy; 4 - chłodnica odprowadzająca ciepło

Zainstalowane rury wewnątrz zbiorników fermentacyjnych służą, jako wymiennik ciepła. Rury te mają średnicę 200 mm. Model układu biomasy został połączony z układem grzewczym za pomocą skryptów programowych napisanych w języku C#. Środowisko symulacyjne Flownex SE umożliwia przesyłanie rezultatów symulacji pomiędzy obiegami oraz poszczególnymi elementami [4]. Daje to szerokie możliwości programowalnych interakcji pomiędzy elementami układów.

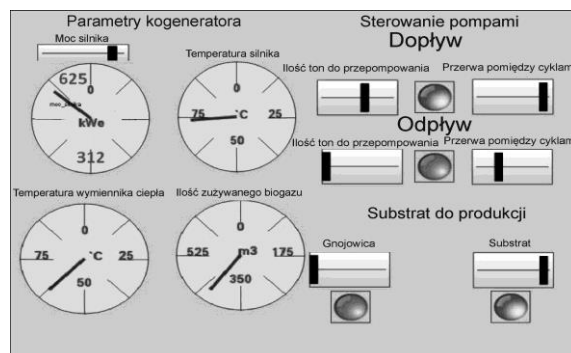
## 2.3. Obieg biogazu

Model przeliczenia ilości produkowanego biogazu został zrealizowany za pomocą programu w języku C# daje on możliwość przeliczenia produkcji biogazu

produkowanego w instalacji. Oprogramowanie symulacyjne umożliwia symulację bardzo różnorodnych urządzeń. W przypadku zrealizowanego modelu proces obliczeń polegał na przeliczeniu ilości medium na uzysk biogazu.

## 2.4. Wizualizacja procesu

Do celów sterowania procesem zastosowano interfejs graficzny, który daje możliwość sterowania opisanymi powyżej obiegami. Wizualizacja została przedstawiona na rysunku 4.

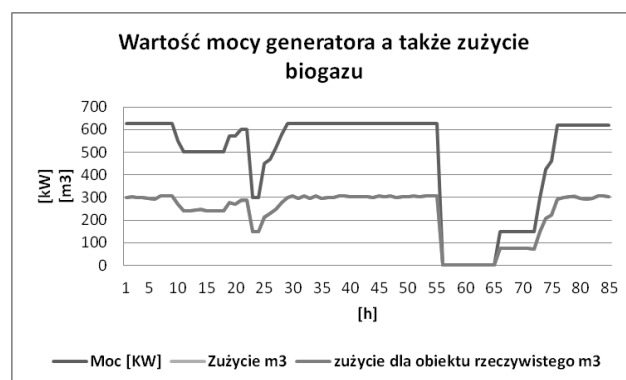


Rys. 4. Fragment interfejsu graficznego symulatora biogazowni wykonany w środowisku Flownex SE

Podstawowymi parametrami, które podlegają regulacji są ilość materiału wsadowego pompowanego ze zbiorników, czyli zbiornika gnojowicy oraz zbiornika substratu. Interfejs daje także możliwość regulacji czasu odstępu pomiędzy kolejnymi włączeniami pompy. Praca pompy sygnalizowana jest kolorem zielonym, wyłączenie pompy oznacza kolor czerwony. Dopływy do zbiorników fermentacyjnych oraz odpływy posiadają takie same opcje regulacji z poziomu wizualizacji, jak układ podawania materiału wsadowego. Elementem, który podlega regulacji jest moc silnika generatora istnieje tutaj możliwość zmiany parametrów mocy. Zmiana ta jest przedstawiana na zegarze. Zmiana jest możliwa do wykonania za pomocą suwaka. Podczas zmian parametrów pracy generatora zmianie ulega także temperatura pracy generatora, temperatura chłodnicy, oraz ilość gazu zużywanego przez generator. Parametry pracy przedstawione zostały za pomocą odpowiednio opisanych wskaźników zegarowych.

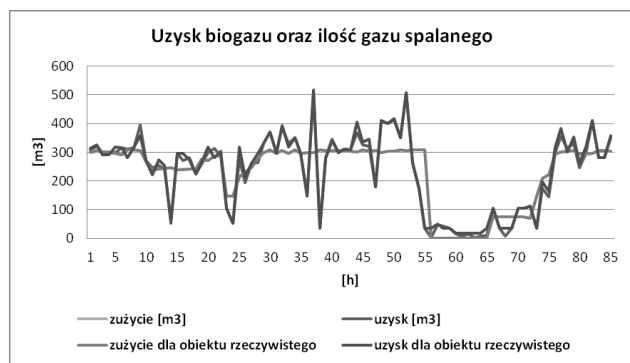
## 2.5. Otrzymane wyniki

Wyniki symulacji potwierdzają poprawność zbudowanego modelu.



Rys. 5. Wartość mocy generatora a także zużycie biogazu w biogazowni

Wartości otrzymywane z wyników symulacji są wartościami uzyskiwanymi w obiektach rzeczywistych podobnej klasy, co widać na rysunku 5. Czas przeprowadzanej symulacji i badania wyników to 85 godzin. Moc, jaką wytwarza kogenerator wpływa bezpośrednio na ilość biogazu spalane. Zależność tych parametrów została przedstawiona na rysunku 5. Wyniki dla tych parametrów są porównywalne z wynikami dla obiektów rzeczywistych. Wartość biogazu produkowanego oraz zużywanego jest przedstawiona na rysunku 6. Zauważyć można, iż uzysk sumaryczny biogazu przerasta zapotrzebowanie kogeneracji.



Rys. 6. Uzysk biogazu oraz ilość gazu spalane

Wyniki takie powodowane są przestojami kogeneracji. A także zmianami, w co godzinnych cyklach „karmienia” bakterii metanogennych. Zapewnienie ciągłości dostaw materiałów wsadowych jest elementem koniecznym do utrzymania procesów metanogennych.



Rys. 7. Zadana wartość gnojowicy oraz substratu

Ilość materiałów wsadowych trafiających do zbiornika mieszania jest istotnym elementem.

Na podstawie tych parametrów można szacować jak będzie postępowała fermentacja a tym samym produkcja biogazu. Na rysunku 7 można zauważyć medium w postaci gnojowicy oraz substratu. Zmiany wartości medium są regulowane od wartości 0 ton do 10 ton jak widać podczas symulacji testowej. Przerwa czasowa daje możliwość zadawania odpowiedniej ilości materiału wsadowego w cyklach pracy godzinnej.

### 3. PODSUMOWANIE

W niniejszym referacie przedstawiono symulację biogazowni rolniczej. Wyniki symulacji zgodnie z założeniami odwzorowują obiekty istniejące. Otrzymane rezultaty dają wartości porównywalne do tych występujących na obiektach rzeczywistych. Proces symulacji jest trzykrotnie szybszy od rzeczywistego czasu procesu, co daje możliwość symulowania uzysku biogazu, poziomów medium w zbiornikach. Daje to możliwość szkolenia personelu obsługującego biogazownię. Symulator może być bazą dla projektantów, którzy na podstawie przeprowadzonych symulacji mogą zoptymalizować proces. Przeprowadzone testy na modelu przyniosły oczekiwane wyniki. Co potwierdza poprawność działania zbudowanych modeli.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Igliński B., Buczkowski R., Iglińska A., Cichosz M., Piechota G., Kujawski W.: Agricultural biogas plants In Poland: Investment process, economical and environmental aspects, biogas potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 16, Elsevier 2012 s. 4890-4900
2. Bocian P., Golec T., Rakowski J.: Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy, Warszawa 2010, ISBN 978-83-9259-246-4
3. Głuszczka A., Wandal W.J., Romaniuk W., Domasiewicz T.: Biogazownie rolnicze, Warszawa 2010, ISBN 978-83-7073-432-9.
4. M-Tech Industrial: Flownex SE General User Manual, Potchefstroom, M-Tech Industrial 2012.

## COMPUTER SIMULATION OF A DYNAMIC OBJECT, BASED ON A BIOGAS PLANT EXAMPLE

**Key-words:** biogas plant, modelling, simulation

In this article a simulator of agricultural biogas plant is described. The simulator of agricultural plant has been made by analyzing and simulating particular circuits such as: biogas and biomass circulation system. In addition the simulator contains internal heating system and the whole plant control system and visualization system. The tool that has been used to built the simulation project is called CFD system. The simulation results provide opportunity to eliminate critical undesirable situations by modifying system parameters. The simulation project can be also used to optimize production and exploitation costs. What is more the simulation itself is valuable and practical training material for agricultural plant staff.