

BIOGAZOWNIE ROLNICZE JAKO ŹRÓDŁA PRACUJĄCE W TRYBIE SEMI OFF GRID

*Rafał Wicher

Komentarz profesora-opiekuna. Niniejszy Komentarz jest ukierunkowany na ciekawą i bardzo ważną stronę merytoryczną Raportu, nie zamieszcza się natomiast w nim informacji dotyczących studiów i projektu dydaktycznego, w ramach których Raport został opracowany. Informacje te są bowiem podobne do informacji zamieszczonych w Komentarzu niżej podpisanego do Raportu inż. Szymona Fidewicza ([Wykorzystanie ciepła odpadowego w domu jednorodzinnym](#), BŻEP, Dział 1.3.15, www.klaster3x20.pl, podstrona CEP) zamieszczonego równolegle w bibliotece BŻEP, z tą różnicą, że inż. Wicher jest studentem studiów niestacjonarnych i pracuje zawodowo w pełnym wymiarze czasu, czyli ma doświadczenie umożliwiające mu lepsze wyczucie realiów gospodarczych.

Oczywiście, Raport inż. Wichra potwierdza też w pełni tezy przedstawione w Komentarzu do Raportu inż. Fidewicza dotyczące kształtowania się całkowicie nowej sytuacji w obszarze kompetencji inżynierskich. W szczególności zaś potwierdza fakt najważniejszy: spójności wymagań jakie stawia przed inżynierami energetyka EP z jednej strony oraz możliwości młodego pokolenia inżynierów wynikających z naturalnego środowiska, w którym żyją (Internet, natychmiastowy dostęp do najbardziej konkurencyjnych rynków urządzeń i usług, ...) z drugiej strony.

Pod względem merytorycznym na uwagę zasługuje przedstawiony w Raporcie przegląd zasobników biogazu (bezwzględnie nowe zagadnienie, zaprezentowany przegląd pokazuje jak szybko na pojawiające się potrzeby odpowiada konkurencyjny rynek).

Najważniejszą rzeczą, którą się tu podkreśla jest jednak podjęta w Raporcie próba opisu biogazowego źródła z zasobnikiem jako źródła bilansującego/regulacyjnego w wirtualnej wyspie (WW). W tym zakresie należy dostrzec odwagę Autora Raportu związaną z opracowaniem własnej koncepcji (obarczonej na razie wieloma wadami i brakami) sterowania/regulacji tego źródła w środowisku wyspy WW. Podkreśla się ten fakt szczególnie dlatego, że Autora koncepcji w mniejszym stopniu ograniczał brak wiedzy korporacyjnej na temat „niemożności” szybkiego rozwoju wysp WW, w większym natomiast stopniu pomagało mu doświadczenie zawodowe pochodzące z serwisowania zautomatyzowanych linii produkcyjnych w fabryce, w której pracuje.

Jan Popczyk

Cel raportu

Raport został stworzony z zamiarem poruszenia tematu funkcjonowania biogazowni rolniczych w postaci źródeł regulacyjnych pracujących w trybie *semi off grid*. Nadrzędnym celem raportu jest określenie pewnej koncepcji modelu sterowania i zarządzania biogazowni w kontekście rozwoju modelu MIREE (Model Interaktywnego Rynku Energii Elektrycznej). Prezentowana koncepcja będzie zawierała rozwiązania dotyczące sterowania procesem wytwarzania energii z biogazu z wykorzystaniem nowoczesnych rozwiązań, w kontekście pracy biogazowni w trybie *semi off grid*. Następnie zostanie poddana analizie praca

*inż. Rafał Wicher – Student II semestru studiów magisterskich, niestacjonarnych (wieczorowych) na kierunku Elektrotechnika; automatyk w Dziale wdrażania nowych projektów, Tenneco Automotive Poland.

biogazowni jako źródła bilansującego (regulacyjnego), pracującego w wyspie WW (Wirtualna wyspa) w trybie *semi off grid*. Raport ma również na celu wieloaspektową analizę biogazowni rolniczych pod kątem polityki energetycznej Polski w najbliższych latach. Analiza będzie obejmowała m.in. przegląd zasobników (magazynów) biogazu dostępnych obecnie na rynku oraz aktualny rynek biogazowni rolniczych w Polsce wraz z propozycją lokalizacji biogazowni na terenie województwa śląskiego. Omówione zostaną również aspekty ekonomiczne inwestycji w biogazownie rolnicze dużych mocy.

Wprowadzenie

W obecnych czasach na świecie, a w szczególności w krajach Unii Europejskiej, Stanach Zjednoczonych Ameryki i Chinach panuje tendencja rozwojowa dotycząca transformacji z energetyki typu WEK (szczególnie węglowej) na energetykę OZE/URE (urządzenia rozproszonej energetyki). Zachodzące zmiany w światowej energetyce wymuszają zmianę podejścia do zagadnienia, gdyż w najbliższych latach sektor energetyczny będzie się skupiał nie na produkcji energii, lecz jej zarządzaniem. W przypadku Unii Europejskiej dąży się do wyeliminowania z użytkowania paliw kopalnych do roku 2050 [3], [8]. Unia widzi w przebudowie energetyki główny czynnik swojej przewagi technologicznej i w związku z tym wprowadza programy publicznego wsparcia dla transformacji energetyki WEK w prosumencką. Jest to zatem dobra okazja dla Polski do wykorzystania szans tworzonych przez świat w obszarze restrukturyzacji krajowej energetyki, rozwoju w dziedzinie odnawialnych źródeł energii i tym samym do wykonania pewnego postępu cywilizacyjnego. Przewiduje się, że w obecnej dekadzie będzie kładziony duży nacisk na rozwój rolnictwa energetycznego, co wiąże się z dynamicznym rozwojem w wielu dziedzinach, m. in. w obszarze biogazowni rolniczych.

Założenia Programu III (RE) [6], [8] ujętego w spisie potencjalnych programów energetyczno – gospodarczych doktryny energetycznej dotyczą krajowego programu rozwoju rolnictwa energetycznego w obszarze gospodarstw wielkotowarowych. Jego celem jest racjonalne wykorzystanie polskich gruntów ornych. Za podstawę rozwoju nowoczesnego rolnictwa energetycznego uznaje się budowę biogazowni klasy 20 GWh. Roczny potencjał produkcyjny programu w horyzoncie 2050 roku wynosi około 40-80 TWh energii elektrycznej. Jednym z wymienionych w programie rozwiązań pracy biogazowni jest praca z zainstalowanymi magazynami biogazu i agregatami kogeneracyjnymi klasy 1MW, które są połączone z siecią średniego napięcia i działają w trybie źródeł regulacyjnych. Wykorzystaniem tego typu rozwiązania jest tryb pracy *semi off grid*. Jego zastosowanie w przypadku rozproszonych źródeł energii (w tym biogazowni rolniczych) oraz metody regulacji i sterowania tych źródeł są interesującymi rozwiązaniami i w najbliższych latach powinny być poddane dogłębny badaniom i praktycznym doświadczeniom. Zagadnienie biogazowni pracujących w trybie *semi off grid* tworzy nowy obszar zainteresowań, który może pobudzić polską gospodarkę i sektor energetyczny oraz daje pole do powstania wielu nowych przedsiębiorstw specjalizujących się w infrastrukturach odnawialnych źródeł energii.

Każda biogazownia wyposażona w agregat kogeneracyjny oprócz produkcji energii elektrycznej wytwarza również ciepło, którego zagospodarowanie może przynieść dodatkowe korzyści. W raporcie główny nacisk zostanie postawiony na produkcję i zarządzanie energią elektryczną, ciepło zaś uznawane jest za dodatkowy produkt, który po stworzeniu odpowiedniej infrastruktury może być wykorzystywany na potrzeby własne oraz sprzedawany, przynosząc dodatkowe profity.

1. Zasobniki biogazu

Rozpatrując działalność biogazowni rolniczej w kontekście MIREE niezwykle istotna jest kwestia magazynowania dużych ilości wytworzonego biogazu. Zasobniki biogazu mają za

zadanie kompensowanie zmian ilości biogazu w układzie zasilanie – odbiór oraz zmiany objętości gazu w wyniku wahań temperatury. Magazynowanie biogazu może mieć miejsce np. w komorze fermentacyjnej pomiędzy substratem a membraną. Może być także realizowane bezciśnieniowo w specjalnej folii np. nad laguną przeznaczoną do składowania pofermentu [1]. W prezentowanym raporcie główny nacisk jest położony na pracę biogazowni w systemie *semi off grid*, w związku z czym niezbędny jest wydajny zasobnik biogazu o dużej pojemności. Będzie on istotnym elementem układu regulacji biogazowni, zapewniając w chwilach zapotrzebowania (np. szczyty poboru mocy w KSE lub do zbilansowania mocy w węźle wyspy WW) dostęp do dużych ilości biogazu, które układ kogeneracyjny przetworzy na energię elektryczną.



Rys. 1. Zbiornik biogazu o kształcie 3/4 sfery [4]

Zasobniki biogazu są wykonane z materiałów metalowych, żelbetonowych lub specjalnych elastycznych tworzyw sztucznych. Są to zbiorniki niskociśnieniowe, w których maksymalne ciśnienie dochodzi do wartości 50 mbar. Mogą mieć różnorodną budowę i kształt. Należą do nich:

1. Formy sferyczne (półsfery i 3/4 sfery).
2. Membranowe, dachowe zbiorniki (fermentator wraz ze zbiornikiem na biogaz).
3. Przykrycia pływające.
4. Formy gazowych poduszek.

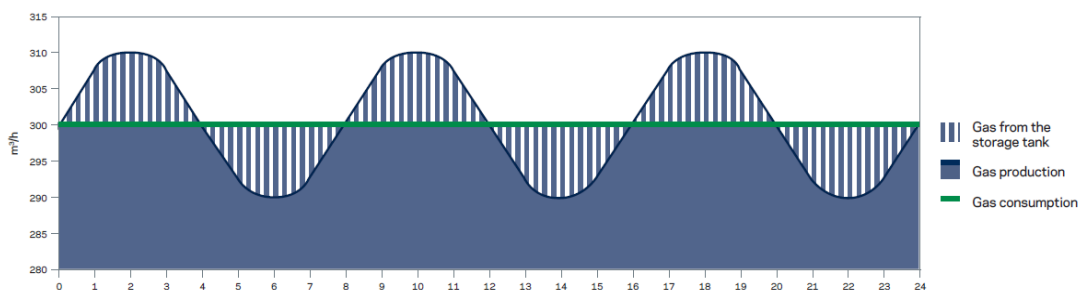
Rozróżnia się dwa podstawowe typy zbiorników na biogaz: mokre i suche. Zbiorniki mokre są instalowane bezpośrednio nad komorą fermentacyjną i są najtańszą formą magazynowania wyprodukowanego biogazu. Zbiorniki suche stanowią odrębne instalacje, powinny być usytuowane obok komory fermentacyjnej. Mogą być zbudowane z gumy lub tworzywa sztucznego przybierając dowolny kształt, w zależności od wymagań jakie stawia inwestor lub konstruktor. W zależności od pory roku, temperatura biogazu wynosi od kilkunastu do około 40 °C. Z uwagi na bezpieczeństwo eksploatacji, zbiorniki biogazu muszą być wyposażone w system pomiaru ich napelnienia oraz urządzenia zabezpieczające przed nad- lub podciśnieniem. W przypadku gdy zbiorniki magazynowe nie są w stanie przyjąć dodatkowej ilości gazu, lub niemożliwe jest zagospodarowanie gazu w zapełnionym magazynie, nadmiar gazu musi być spalony w instalacji awaryjnej nazywanej pochodnią lub świecą awaryjną. Instalacja pochodni awaryjnej daje pewność, że w przypadku nadmiaru gazu lub sytuacji awaryjnej nie zajdzie potrzeba niekontrolowanego upuszczania biogazu [4].

Ponadto systemy magazynowania biogazu muszą spełniać odpowiednie wymagania:

1. Wytrzymałość na działanie promieniowania UV.
2. Odporność na działanie pleśni.
3. Podwyższoną odporność ogniową.
4. Wewnętrzna membrana musi wykazywać odporność chemiczną na działanie składników biogazu.
5. Wyposażenie w odpowiedni system zabezpieczeń.
6. Stabilizacja ciśnienia w sieci biogazu.
7. Niedopuszczenie do zamarznięcia i kondensacji biogazu.

Zbiorniki magazynujące mogą być przeznaczone do kompensacji wahań produkcji i konsumpcji biogazu. Wynika to z charakteru funkcjonowania danej biogazowni, ponieważ można wyróżnić różne charakterystyki produkcji i konsumpcji biogazu:

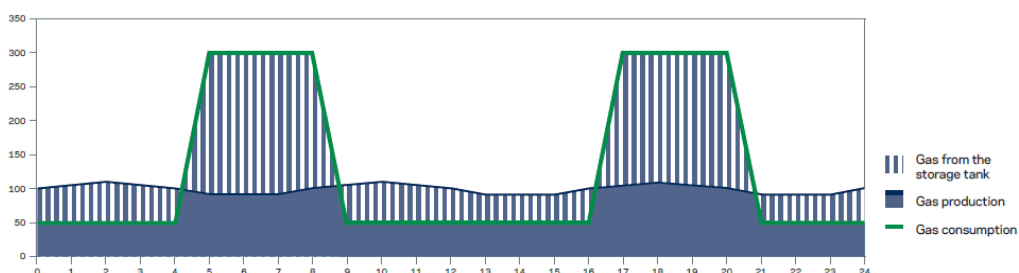
a) Stały poziom zużycia biogazu przy zmiennej produkcji



Rys. 2. Przykładowy wykres dzienny dla zmiennej produkcji i stałego zużycia biogazu [10]

Zasobniki przystosowane do takiej charakterystyki funkcjonowania pozwalają użytkownikom pracować przy dużej wydajności. Poziom konsumpcji biogazu jest stały i niezależny od wahań jego produkcji. Pobór biogazu ze zbiornika musi następować z maksymalną wydajnością, należy unikać przechowywania nadmiaru biogazu w zbiorniku przez dłuższy czas. Pojemność zbiorników tego typu najczęściej odpowiada pojemności produkowanego biogazu w czasie około 3 – 4 godzin, zatem są to głównie zbiorniki mniejszych pojemności [10].

b) Stały poziom produkcji biogazu przy zmiennym zużyciu



Rys. 3. Przykładowy wykres dzienny dla stałej produkcji i zmiennego zużycia biogazu [10]

Zbiorniki przystosowane do powyższej charakterystyki wykorzystywane są przy poborze biogazu w trakcie obciążeń szczytowych. Służą one do odpowiedniego zbilansowania zasobów biogazu przy ciągłej produkcji i nieciągłym zużyciu. Wyprodukowany biogaz magazynowany jest w zasobniku przez dłuższy okres czasu, po to aby został skonsumowany w dużej ilości, w stosunkowo niedługim okresie czasu. Aby spełnić to wymagania zasobniki tego typu muszą charakteryzować się dużą pojemnością [10].

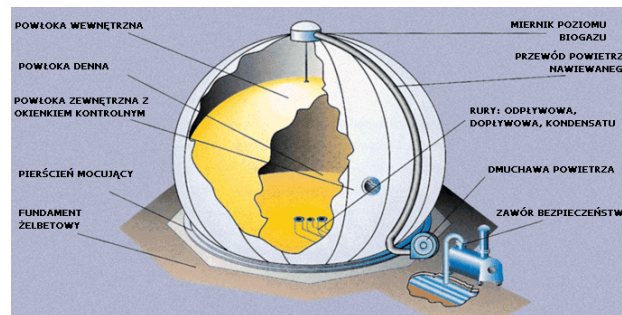
1.1 Zasobnik sferyczny

Do zrealizowania projektu biogazowni z układem kogeneracyjnym dużej mocy działającej w systemie *semi off grid* niezbędne jest zbudowanie dużego i trwałego zasobnika biogazu, spełniającego wymagania zawarte w podpunkcie „b”. Wymagania te w dużym stopniu spełnia sferyczny zbiornik biogazu. Należy do suchego typu zbiorników i może mieć kształt 1/2 lub 3/4 sfery. Wykonany jest ze specjalnych powłok poliestrowych, pokrytych materiałem PVC w postaci dwu- lub trójmembranowej. Objętość zbiornika może wynosić nawet 19000m³, maksymalna średnica 30m, a wysokość 20m. Do utrzymania prawidłowego ciśnienia w komorze międzymembranowej wykorzystuje się wentylatory, które wdmuchują powietrze do przestrzeni pomiędzy membranami, przy jednoczesnej regulacji jego odpływu. Wytworzone w ten sposób nadciśnienie służy do stabilizacji i regulacji ciśnienia gazu w zbiorniku. Ilość biogazu znajdująca się w zbiorniku jest kontrolowana przez sondę ultradźwiękową (umieszczoną na szczycie) lub za pomocą przepływomierza [4].

W skład wyposażenia zasobnika typu sferycznego wchodzi m.in.:

1. Membrany (wewnętrzna i zewnętrzna).
2. Sonda ultradźwiękowa z przetwornikiem do pomiaru napełnienia zbiornika gazem.
3. Dmuchała powietrza.
4. System rurociągów powietrza.
5. Zawór bezpieczeństwa.
6. Rury dopływu i odpływu gazu.

Na rys. 4 znajduje się schemat poglądowy przedstawiający budowę zasobnika sferycznego.



Rys. 4. Schemat budowy sferycznego zbiornika biogazu [4]

1.2 Membranowy zbiornik dachowy

Kolejnym analizowanym rodzajem zasobnika biogazu jest membranowy zbiornik dachowy, który zamontowany jest nad komorą fermentacyjną. Jest zaliczany do mokrego typu zasobników biogazu. Dzięki temu możliwe jest zgromadzenie wytworzonego biogazu bezpośrednio nad zbiornikiem. Szczelność uzyskiwana jest hydraulicznie za pomocą membrany obciążonej na obwodzie lub mechanicznie poprzez specjalne kołnierze i uszczelki. Kopuły wykonane są ze wzmocnionych materiałów poliestrowych, obustronnie pokrytych PVC lub poliuretanem. Zbiorniki wyposażone są m.in. w zawór bezpieczeństwa i czujnik wypełnienia komory. Mogą być montowane na istniejących zbiornikach betonowych, zastępując pokrycia dachowe. Dzięki zastosowaniu membranowego zasobnika biogazu można zwiększyć objętość gromadzonego gazu nad komorą fermentacyjną. Jest to rozwiązanie, które może być wykorzystane zarówno w sytuacji przedstawionych w podpunktach „a” jak i „b” punktu 1. Pojemność zasobnika jest ściśle powiązana z wymiarami komory fermentacyjnej, w związku z czym może stanowić pewne ograniczenie przy stałej produkcji i zmiennym poziomie zużycia biogazu w biogazowniach dużej mocy, przypadającym np. w szczytach

zużycia mocy KSE. Na rys. 5 przedstawiono przykładowe rozwiązanie dachowego membranowego zasobnika biogazu [1],[4].



Rys. 5. Membranowy zbiornik dachowy [4]

1.3 Pływający system magazynowania

Trzecią opcją magazynowania biogazu jest zastosowanie pływających systemów magazynowania gazu. Zasobnik jest przystosowany do gromadzenia i magazynowania biogazu przy niskim ciśnieniu (nie przekraczającym 3 mbar). Poza komorami wypełnionymi biogazem zasobnik jest wyposażony w rury wypełnione wodą, co stanowi specjalną przeciwwagę. Dzięki temu możliwe jest zabudowanie takiego systemu np. na powierzchni komory fermentacyjnej. Pływające przykrycia można montować do zewnętrznych zbiorników na biogaz, zwiększając tym samym objętość magazynowanego biogazu. Mogą być również usytuowane na otwartych przestrzeniach (np. w zagłębieniach). Ciśnienie zgromadzonego gazu jest regulowane poprzez zmianę ilości wody w rurach zasobnika. Na rys. 6 zamieszczono jedno z rozwiązań pływającego systemu magazynowania biogazu [4].



Rys. 6. Przykrycia pływające [4]

1.4. Poduszkowe systemy magazynowania

Ciekawą formą przechowywania biogazu są poduszkowe systemy magazynowania. Jest to dość innowacyjna technologia wykorzystująca zbiorniki przypominające poduszki. Poduszki są magazynami beciśnieniowymi typu suchego, które mogą być usytuowane na zewnątrz jak i wewnątrz pomieszczeń. Ilość dostępnego miejsca determinuje kształt i wielkość poduszek, które wykonane są z materiału poliestrowego, obustronnie pokrytego PVC, a zatem odpornego na warunki atmosferyczne. Rozwiązanie przedstawiające poduszkowy system magazynowania zostało zobrazowane na rys. 7. [4].



Rys. 7. Poduszka gazowa [4]

Zasobniki biogazu (w zależności od rodzaju i zapotrzebowania) posiadają w swoim wyposażeniu m.in. dmuchawy z regulatorami ciśnienia, gazomierze (rodzaj przepływomierza dla biogazu), oraz zabezpieczeniu nadciśnieniowe i podciśnieniowe zapobiegające pracy zasobnika przy niewłaściwym ciśnieniu gazu.



Rys. 8. Dmuchawa z regulatorem ciśnienia, gazomierz oraz zabezpieczenie ciśnieniowe zainstalowane za magazynach biogazu [1]

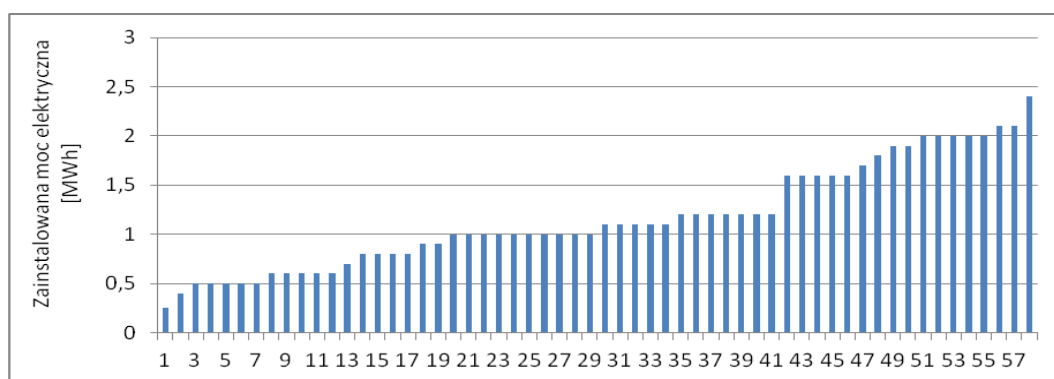
W aktualnie realizowanych i już wykonanych projektach małych, średnich i dużych biogazowni rolniczych najpopularniejszą formą magazynowania gazu są zbiorniki membranowe dachowe. Niewątpliwą zaletą tego rodzaju zasobnika jest fakt, że nie jest wymagana dodatkowa przestrzeń na zbiornik, co wydatnie zmniejsza koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Niestety, wadą zastosowania takiego zasobnika jest krótkoterminowość przechowywania wytworzonego biogazu. Konstrukcja zbiornika membranowego pozwala na magazynowanie biogazu w ilości równej dwudniowej produkcji. W koncepcji biogazowni pracującej w systemie *semi off grid* (gdzie duży nacisk kładziony jest na magazynowanie energii) takie rozwiązanie może się nie sprawdzić. Z kolei biogazownie, które nie wykorzystują na bieżąco wyprodukowanego biogazu stosują sferyczne lub poduszkowe

zasobniki. Z punktu widzenia realizowanego projektu, dla sterowania pracą biogazowni dużej mocy najbardziej korzystnym rozwiązaniem będzie budowa sferycznego zasobnika o dużej pojemności. Rozwiązanie to wiąże się ze zwiększonymi kosztami inwestycji oraz koniecznością posiadania dodatkowej powierzchni użytkowej, jednak może przynieść w przyszłości wydatne korzyści. Godną rozważenia alternatywą wydaje się również być pływający system magazynowania, którego budowa pochłania mniej kosztów, przy możliwości uzyskania dużych pojemności magazynowych. Wątpliwości budzi jedynie wytrzymałość konstrukcji w związku z polskimi warunkami atmosferycznymi, które mogą mieć wpływ na przyspieszoną degradację zasobnika.

2. Biogazownie rolnicze w Polsce

Obecnie rynek biogazowni rolniczych na terenie Polski przechodzi dynamiczny rozwój, z każdym miesiącem liczba planowanych nowych projektów rośnie i obecnie liczona jest w setkach instalacji. Aktualnie na rynku biogazowni panuje tendencja do projektowania i realizacji instalacji o zainstalowanej mocy elektrycznej przekraczającej 0,5 MW_{el} [2]. Powołując się na opinię Europejskiego Stowarzyszenia Biogazu (*European Biogas Association*) dla inwestycji o mocy poniżej 0,5 MW_{el} występuje bardzo silny wzrost nakładów jednostkowych na moc zainstalowaną ze względu m.in. na koszty przygotowania projektu, takie jak: projekt technologiczny, uzyskanie wymaganych pozwoleń oraz opracowanie właściwego biznes planu. Korzystając z danych zawartych na stronie Agencji Rynku Rolnego (ARR) opracowano wykresy opisujące rozkład wartości zainstalowanych mocy elektrycznych biogazowni rolniczych w Polsce oraz ich częstość występowania w poszczególnych województwach. Aktualnie (2015 rok) w krajowym rejestrze przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego znajduje się 57 biogazowni rolniczych, których moce wahają się w przedziale od 0,25 do 2,4 MW_{el}. Łącznie w ciągu roku wytwarzają one 256,7 mln m³ biogazu rolniczego przy sumarycznej zainstalowanej mocy elektrycznej 68,1 MW. Sumaryczna wydajność wszystkich instalacji to 539,7 GWh energii elektrycznej na rok [11].

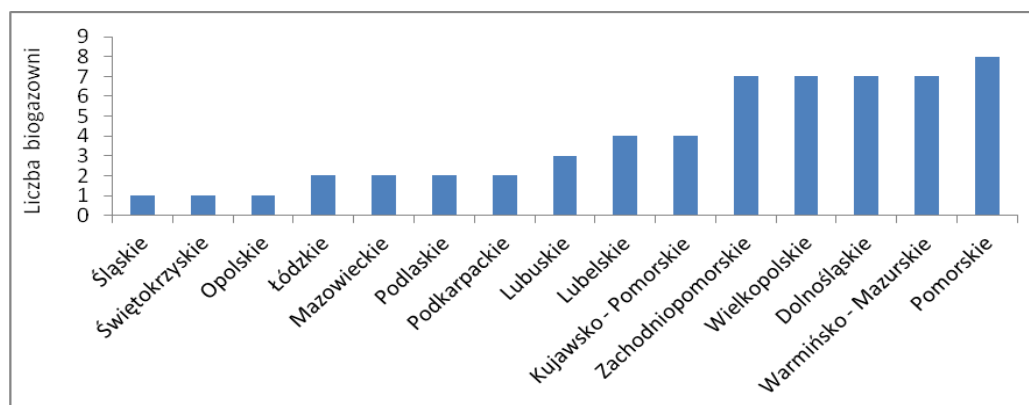
Na rys. 9 (zamieszczonym poniżej) został zobrazowany rozkład wartości mocy elektrycznych zainstalowanych biogazowni rolniczych występujących na terenie Polski (stan na maj 2015 r.).



Rys. 9. Rozkład mocy elektrycznych biogazowni w Polsce (opracowanie własne)

Z wykresu powyżej wynika, że 33 % działających obecnie biogazowni rolniczych w Polsce posiada zainstalowaną moc elektryczną poniżej 1 MW, 54 % mieści się w przedziale 1÷2 MW, a pozostałe posiadają moc równą 2 MW i większą. Z powyższego wynika, że potwierdza się teza o opłacalności budowy biogazowni rolniczych większych mocy (2/3 biogazowni ma moc powyżej 1 MW). Tym samym mniejszym jednostkowym nakładem inwestycyjnym można uzyskać większą ilość energii pochodzącej z biogazu.

Na rys. 10 znajduje się rozkład występowania biogazowni rolniczych w poszczególnych województwach. Na jego podstawie można stwierdzić, że biogazownie są rozproszone na terenie całego kraju, a przeważająca większość biogazowni jest usytuowana w północnej części. Wynika to z faktu, że w północnej części Polski rolnictwo jest znacznie bardziej rozwinięte (m. in. dzięki większemu dostępowi do dużych arealów ziemi i mniejszej industrializacji terenu, w przeciwieństwie do południa).



Rys.10. Gęstość występowania biogazowni rolniczych w poszczególnych województwach kraju (opracowanie własne)

Wpływ na rozmieszczenie większości biogazowni na północy ma wiele czynników, które są prostsze do uzyskania w stosunku do południa kraju:

1. Możliwość umieszczenia ich w pewnej odległości od siedzib ludzkich.
2. Dostęp do surowców rolnych i odpadów organicznych, szczególnie ciekłych (np. gnojowica).
3. Dostęp do pól uprawnych położonych w bliskiej odległości (rozwóz odpadu pofermentacyjnego).

Z powyższych rozważań wynika zasadniczy wniosek – na północy Polski znajdują się odpowiednie warunki oraz infrastruktura do powstawania biogazowni rolniczych. Z uwagi na mniejsze uprzemysłowienie tej części kraju, budowa nowych biogazowni może być szansą do rozwoju rolnictwa energetycznego w poszczególnych regionach. Konieczne jest jednak spełnienie pewnych warunków – pomoc ze strony państwa polskiego oraz różnych instytucji. Potrzebne jest także poważne zainteresowanie potencjalnych inwestorów, będących w stanie zainwestować miliony złotych. Lokalne władze wraz z operatorami energetycznymi muszą zadbać o powstanie właściwej infrastruktury przyłączeniowej do sieci energetycznej. Wymagać to będzie dużych kwot i nakładu pracy, jednak jest istotnym elementem w osiągnięciu przez Polskę celów energetycznych, stawiających na rozwój OZE, a szczególnie biogazowni do 2020 roku .

2.1 Propozycja lokalizacji biogazowni rolniczej w województwie śląskim

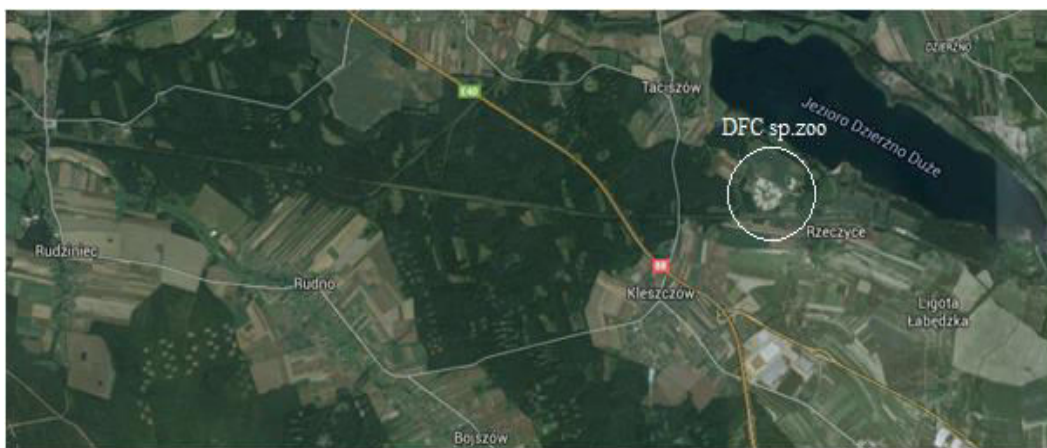
Aktualnie w województwie śląskim funkcjonuje jedna biogazownia rolnicza usytuowana w Łanach Wielkich, w gminie Sośniowice. Jest to biogazownia o mocy zainstalowanej równej 500 kW, współpracująca z gorzelnią oraz z gospodarstwem hodowlanym (hodowla bydła). Dienne zużycie substratów jest następujące:

1. wywar gorzelniany: 50 t ; ok. 18250 t/rok.
2. gnojowica z obornikiem: 40 t ; ok. 14600 t/rok.
3. kiszonka kukurydzy: 4 t ; ok. 1054 t/rok.

Moc biogazowni w pełni wystarcza na zaopatrzenie gorzelni w parę technologiczną. Obornik i wywar gorzelniany przetworzony w biogazowni pozwala poprzez układ kogeneracyjny o mocy 540 kW wytworzyć energię elektryczną o mocy 525 kW.

Na przykładzie biogazowni z Łanach Wielkich można stwierdzić, że w celu budowy biogazowni rolniczej na Śląsku potrzebna jest bliskość położenia i aktywna współpraca z gospodarstwami rolniczymi, hodowlanymi, zakładami przetwórstwa rolno-spożywczego i szeroko pojętym przemysłem. Nadrzędnym celem jest ciągłość dostaw substratów do procesu fermentacji w niemałej ilości, równej dziesiątkom ton dziennie. Niezbędna jest zatem dokładna analiza możliwości pozyskania wsadów w danej lokalizacji oraz odpowiedniej wielkości działka inwestycyjna położona możliwie daleko od siedlisk ludzkich.

Na podstawie analizy istniejących przedsiębiorstw z branży rolniczo-hodowlanej w województwie Śląskim, zaproponowano potencjalną lokalizację dla biogazowni rolniczej. Jest nią wieś Rzczyce w powiecie gliwickim, bądź okoliczne wsie (Taciszów, Kleszczów, Bycina Bojszów). Działalność potencjalnej biogazowni rolniczej może się opierać na współpracy przedsiębiorstwem „Danish Farming Consultants” (DFC sp. zoo), znajdującym się we wsi Rzczyce, specjalizującym się w hodowli trzody chlewnej (produkcja roczna – 54000 stukilowych tuczników) oraz uprawie pszenicy i kukurydzy na 1250 ha średniej klasy pól uprawnych zlokalizowanych w pobliskich wsiach. Z uprawianych zbóż produkowana jest głównie pasza dla zwierząt, co prowadzi do wniosku, że zboża nie są najwyższej klasy. W związku z tym zboża gorszej jakości mogą zostać użyte jako wsad do biogazowni. Okoliczne wiejskie tereny stanowią dobrą lokalizację, gdyż biogazownię można usytuować w pewnej odległości od budynków mieszkalnych.



Rys. 11. Lokalizacja przedsiębiorstwa DFC wraz z okolicznymi wsiami (opracowanie własne)

Roczna produkcja gnojowicy przez jednego tuczniaka wynosi około 3000 l. Przyjmując, że okres hodowli tuczniaka wynosi około 100-120 dni, otrzymujemy około 1000 l gnojowicy z jednego wyhodowanego tuczniaka [1].

Gęstość gnojowicy wynosi $1,05 \text{ g/cm}^3$, w związku z czym z 1000 l gnojowicy otrzymamy 1,05 t substratu. Przy rocznej produkcji równej 54000 świń, przedsiębiorstwo produkuje rocznie około 56700 t gnojówki. Wielkość ta posiada już pewien potencjał energetyczny. Produkcja biogazu z 1 tony gnojowicy świńskiej wnosi 20 m^3 [1], w związku z czym potencjalna ilość biogazu możliwa do wyprodukowania jest równa $1\,134\,000 \text{ m}^3$. Zakładając, że 1 m^3 można uzyskać 2,1 kWh energii elektrycznej i 2,4 kWh ciepła [1], łączna ilość energii do uzyskania wynosi 2 381,4 MWh energii elektrycznej oraz 2 721,6 MWh ciepła rocznie (wyłącznie z gnojowicy świńskiej).

Zakładając, że uda się pozyskać dodatkowe wsady (istnieją przedsiębiorstwa, które oferują ciągłość dostaw określonych substratów do biogazowni), możliwe jest stworzenie

w tym regionie biogazowni rolniczej o mocy zainstalowanej równej około 0,5 MWe, plus ciepło które może być wykorzystane np. na potrzeby przedsiębiorstwa hodowlanego lub częściowo odsprzedane. Powstanie biogazowni w tym regionie może być także bodźcem do pobudzenia w okolicy rolnictwa energetycznego, co może mieć pozytywny wpływ na zwiększenie ilości dostaw substratów.

W województwie śląskim duży stopień industrializacji oraz duża gęstość zaludnienia ogranicza działalność gospodarstw wielkotowarowych, a w związku z tym istnieje mniejsza ilość przedsiębiorstw związanych z przetwórstwem owoców, zbóż itp. Podobna sytuacja występuje w przypadku chowu trzody chlewnej lub bydła. Występują nieliczne duże przedsiębiorstwa działające w tej branży, w związku z tym należy się skupiać na lokalizowaniu potencjalnych biogazowni w pobliżu gospodarstw i przedsiębiorstw oraz opierać swoją działalność na aktywnej współpracy z nimi.

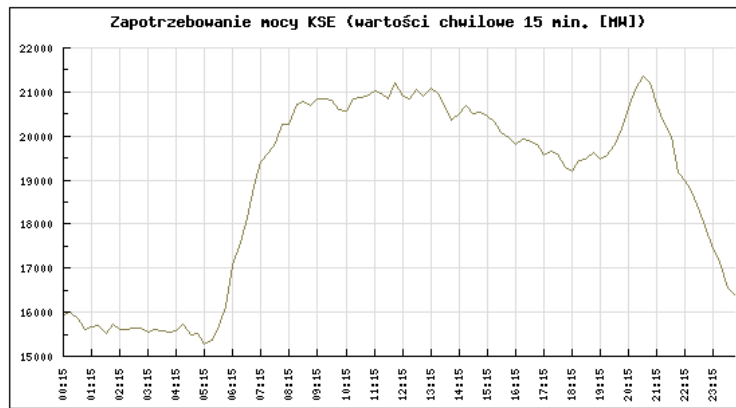
3. Praca biogazowni rolniczej w systemie *semi off grid*

Tryb pracy *semi off grid* charakteryzuje się produkcją energii elektrycznej dla operatorów w stanach zapotrzebowania lub niedoboru mocy w KSE (tzw. praca *on grid*) oraz brakiem produkcji energii elektrycznej w stanach nadpodaży, wynikającej z produkcji energii przez bloki WEK. Innym scenariuszem jest możliwość regulacji mocy np. w wyspie WW. Biogazownia pracująca w wyspie WW może być źródłem mocy bilansującej, uzupełniającej energię pobieraną przez odbiorców. Istota pracy w systemie *semi off grid* w przypadku biogazowni rolniczej polega na magazynowaniu w zasobnikach wytworzonego biogazu w stanach nadpodaży energii, celem przetworzenia go na energię elektryczną w przypadku zapotrzebowania na dodatkową moc na rynkach bilansujących. Z punktu widzenia KSE biogazownia rolnicza pracująca w tym trybie powinna być uznana za źródło regulacyjne (o zmiennej wartości przesyłanej energii elektrycznej). Konieczne jest zatem stworzenie w Polsce pewnej inteligentnej sieci energetycznej – *Smart grid*, która w momencie zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną informowałaby producenta o korzystnej cenie sprzedaży [8]. Założono, że biogazownia będzie oddawała wyprodukowaną energię do sieci średniego oraz niskiego napięcia. Niezależnie od proponowanego rozwiązania niezbędne jest utworzenie dynamicznej taryfy umożliwiającej sprzedaż energii do sieci przez producenta zarządzającego biogazownią. Jest to jeden z niezbędnych warunków do utworzenia w Polsce modelu MIREE, bazującego na pracy odnawialnych źródeł energii.

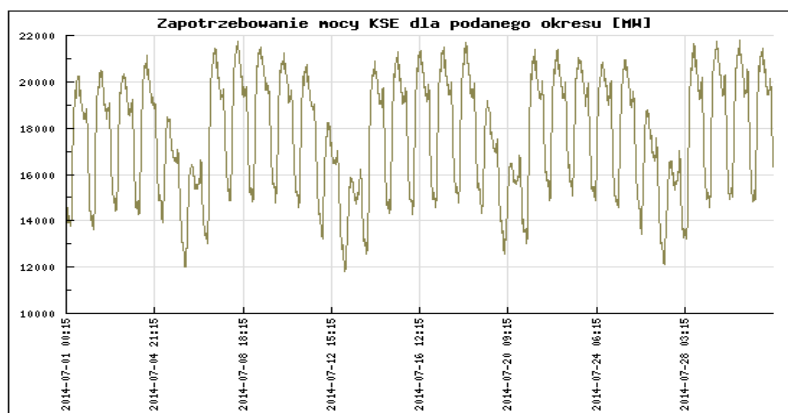
3.1 Zapotrzebowanie na moc w KSE

W celu opisanego modelu funkcjonowania biogazowni rolniczej w kontekście zarządzania wytworzoną energią elektryczną z wykorzystaniem infrastruktury *Smart Grid*, konieczna jest analiza dziennych wykresów zapotrzebowania na moc w KSE. Przykładowy wykres dzienny z dnia 6.05.2015r. został zamieszczony na rys. 12.

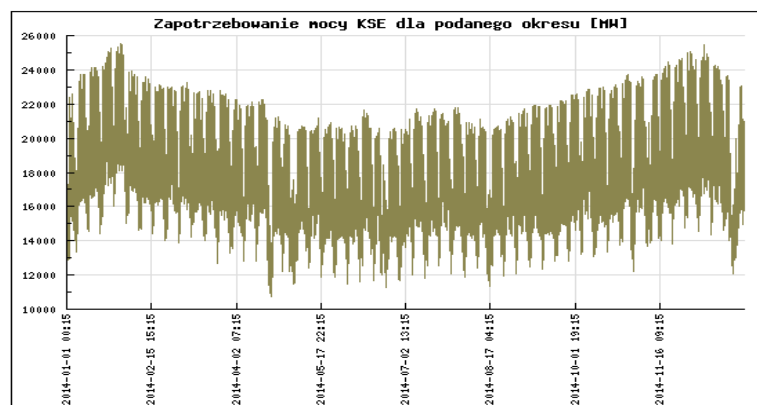
Z rysunku 12 odczytano, że gwałtowny wzrost zapotrzebowania na moc następuje około godziny 7, około godziny 14 następuje spadek (do godziny 18), po czym około godziny 21 zostaje osiągnięty szczyt zapotrzebowania. Należy mieć na uwadze, że charakterystyki zapotrzebowania na moc różnią się od siebie w zależności od dnia tygodnia (większe zapotrzebowanie w dni robocze, mniejsze w soboty i niedziele). Wpływ na charakterystyki mogą mieć również dni świąteczne ustawowo wolne od pracy.



Rys.12. Zapotrzebowanie na moc KSE z dnia 29.04.2015 (środa) [12]



Rys.13. Miesięczne zapotrzebowanie na moc w KSE, lipiec 2014r. [12]



Rys.14. Roczne zapotrzebowanie na moc w KSE, styczeń - grudzień 2014r. [12]

Dane zawarte na rys.13 potwierdzają, że istnieje pewna powtarzalność wykresów obciążenia dla kolejnych tygodni (w sobotę niższe, w niedzielę najmniejsze zapotrzebowanie). Po wnikliwej analizie wielu dziennych wykresów można dojść do wniosku, że w ciągu doby osiągamy dwa szczyty: przedpołudniowy (w godzinach 7-13) oraz wieczorny (18-22), co jest ważną informacją dla sposobu funkcjonowania biogazowni w systemie *semi off grid*. W kontekście planowania dostaw substratów i wielkości produkcji najważniejszym wykresem jest roczny wykres zapotrzebowania na moc, zamieszczony na rys.14. Istnieje znaczna

różnica pomiędzy sezonem zimowym (większe zużycie energii) a letnim, co będzie miało również wpływ na kształtowanie się cen energii elektrycznej w określonych chwilach czasu tych sezonów.

3.2 Koncepcja sposobu funkcjonowania biogazowni rolniczej w trybie *semi off grid*

3.2.1 Produkcja biogazu

Pierwszym istotnym elementem funkcjonowania odnawialnego źródła energii działającego w tym trybie jest właściwa analiza czynników odpowiadających za poziom produkcji energii. Przykładowo w elektrowniach wiatrowych głównym czynnikiem jest siła podmuchu i kierunek wiatru, dla instalacji fotowoltaicznych ważne będzie nasłonecznienie w poszczególnych porach roku. Proces wytwarzania biogazu nie jest zależny od warunków atmosferycznych. Poziom produkcji biogazu może być dokładnie zaplanowany. Jedynym warunkiem koniecznym do spełnienia jest utrzymanie ciągłości dostaw substratów potrzebnych do procesu fermentacji na zaplanowanym poziomie i za możliwie najmniejszą cenę. Dlatego konieczna jest odpowiednia lokalizacja biogazowni, najlepiej w pobliżu dużych gospodarstw rolnych, hodowlanych, ferm lub punktów przetwórstwa owoców i warzyw. Dla biogazowni dużych mocy dzienna dostawa substratów liczona jest w dziesiątkach, setkach ton, zatem koszty transportu tak ogromnych mas z dalszych odległości mogą zniwelować potencjalne zyski. Podsumowując, wielkość produkcji biogazu może być zaplanowana przez producenta przy zapewnieniu ciągłości dostaw określonych substratów i właściwym przeliczeniom – jaka ilość biogazu może być wytworzona z danej ilości posiadanego substratu przeznaczonego do fermentacji.

Liczbę m^3 potencjalnie uzyskanego biogazu można obliczyć ze wzoru:

$$V_b = M_s \cdot W_s$$

gdzie:

V_b - objętość biogazu [m^3],

M_s - masa substratu [t],

W_s – współczynnik określający ilość biogazu możliwą do uzyskania z danej masy substratu [m^3/t].

Znając rodzaj nadchodzących dni (dzień roboczy, święto przypadające w dniu roboczym, sobota, niedziela) oraz wiedząc jaka jest obecnie pora roku i miesiąc, znając pojemność magazynu na biogaz, producent może orientacyjnie wyznaczyć poziom zapotrzebowania na produkcję biogazu w biogazowni. Tym samym z określonym wyprzedzeniem producent ma możliwość zakontraktowania niezbędnej ilości i rodzaju substratów.

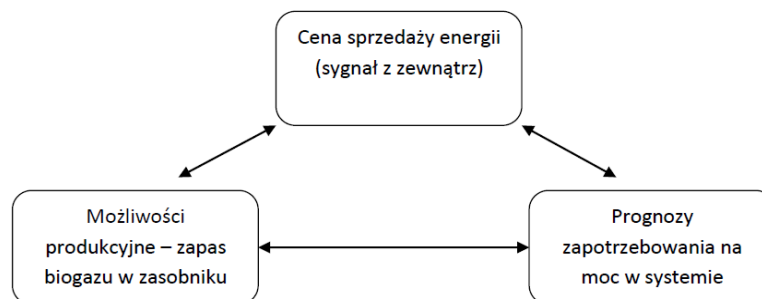
3.2.2 Planowanie momentu przetworzenia biogazu na energię elektryczną

Kolejnym elementem koncepcji modelu jest określenie momentu, w którym z biogazu będzie produkowana energia elektryczna. Produkcja energii elektrycznej będzie procesem, który zostanie poddany regulacji (sterowaniu). Dokładny moment rozpoczęcia produkcji energii elektrycznej będzie wyznaczany m.in. przez wartość liczbową sygnału, w którym będzie zawarta informacja od operatora o cenie z jaką producent może sprzedać wyprodukowaną energię. Sygnał będzie otrzymywany z instalacji *Smart grid* znajdującej się w pomieszczeniach technicznych i zostanie odpowiednio wykorzystany przez sterownik kontrolujący proces produkcji energii elektrycznej. Po otrzymaniu zgody na produkcję energii elektrycznej zostanie uruchomiony układ kogeneracyjny pobierający biogaz z komory fermentacyjnej oraz uprzednio wypełnionego zasobnika biogazu.

Znając charakterystyki zapotrzebowania na moc w KSE producent może z określoną dokładnością zaplanować moment, w którym będzie sprzedawał energię do sieci. Potrzebne informacje uzyskuje po zaimplementowaniu w określonym programie, lub tworząc bardziej

zaawansowany dedykowany algorytm wykorzystujący dane dotyczących dziennych profili zapotrzebowania na moc w KSE z poprzednich lat, korzystając głównie z informacji o szczytach zapotrzebowania na moc. Niezbędne będzie także połączenie z internetem, w celu śledzenia bieżących wykresów zapotrzebowania na moc.

Konieczne jest zatem skoordynowanie wartości ceny sprzedaży energii z możliwościami produkcyjnymi (zapasem biogazu) oraz z prognozami poziomu zapotrzebowania na moc w systemie. Producent musi sobie zdawać sprawę, przy jakiej cenie energii produkcja będzie opłacalna. Jest to jedno z głównych zadań układu sterowania i regulacji biogazowni. Konieczne jest zatem zbudowanie pewnych dedykowanych algorytmów (oraz zaimplementowanie ich do programu w odpowiednim sterowniku – „module prognozowania”), na które będzie miał wpływ również producent. Zagadnienie to obrazuje złożoność problemu regulacji procesu oddawania energii do sieci z biogazowni.



Rys.15. Wzajemne zależności istotne przy sposobie sterowania biogazownią rolniczą w trybie *semi off grid* (opracowanie własne)

3.2.3 Układ sterowania i regulacji pracy biogazowni rolniczej

W celu lepszego zobrazowania działania układu sterowania biogazowni w trybie źródła regulacyjnego utworzono schemat funkcjonalności biogazowni rolniczej przedstawionej jako obiekt zarządzania i sterowania, który znajduje się na rys. 16. Jako ważne założenie należy przyjąć stałą produkcję biogazu, którego nadwyżka jest przekazywana do zasobnika. Elementy, które są obiektami regulacji w przedstawionym układzie są: zasobnik biogazu, agregat kogeneracyjny oraz przekształtnik elektroenergetyczny. Dzięki pracy biogazowni rolniczej w trybie *semi off grid* z wykorzystaniem zaproponowanego układu sterowania, z punktu widzenia KSE, biogazownia powinna być widziana jako niezależne źródło o regulowanej mocy wydawanej do sieci.

Objaśnienia symboli wykorzystanych w rysunku 16:

1. MK – moduł komunikacji – otrzymuje informacje m.in. o cenie sprzedaży energii do sieci.
2. MS – moduł sensorów, koncentrator sygnałów z urządzeń pomiarowych.
3. M SOC – moduł kontroli stanu naładowania zasobników.
4. MP – moduł prognozowania zapotrzebowania na moc - powinien mieć możliwość pobierania danych z internetu za pośrednictwem modułu komunikacyjnego.
5. NUS – nadrzędny układ sterowania – na podstawie prognozy zapotrzebowania na moc, aktualnej produkcji biogazu, stanu naładowania zasobnika i aktualnej ceny sprzedaży energii kontroluje pracę m.in. przekształtników, zasobnika biogazu i agregatu kogeneracyjnego [7].

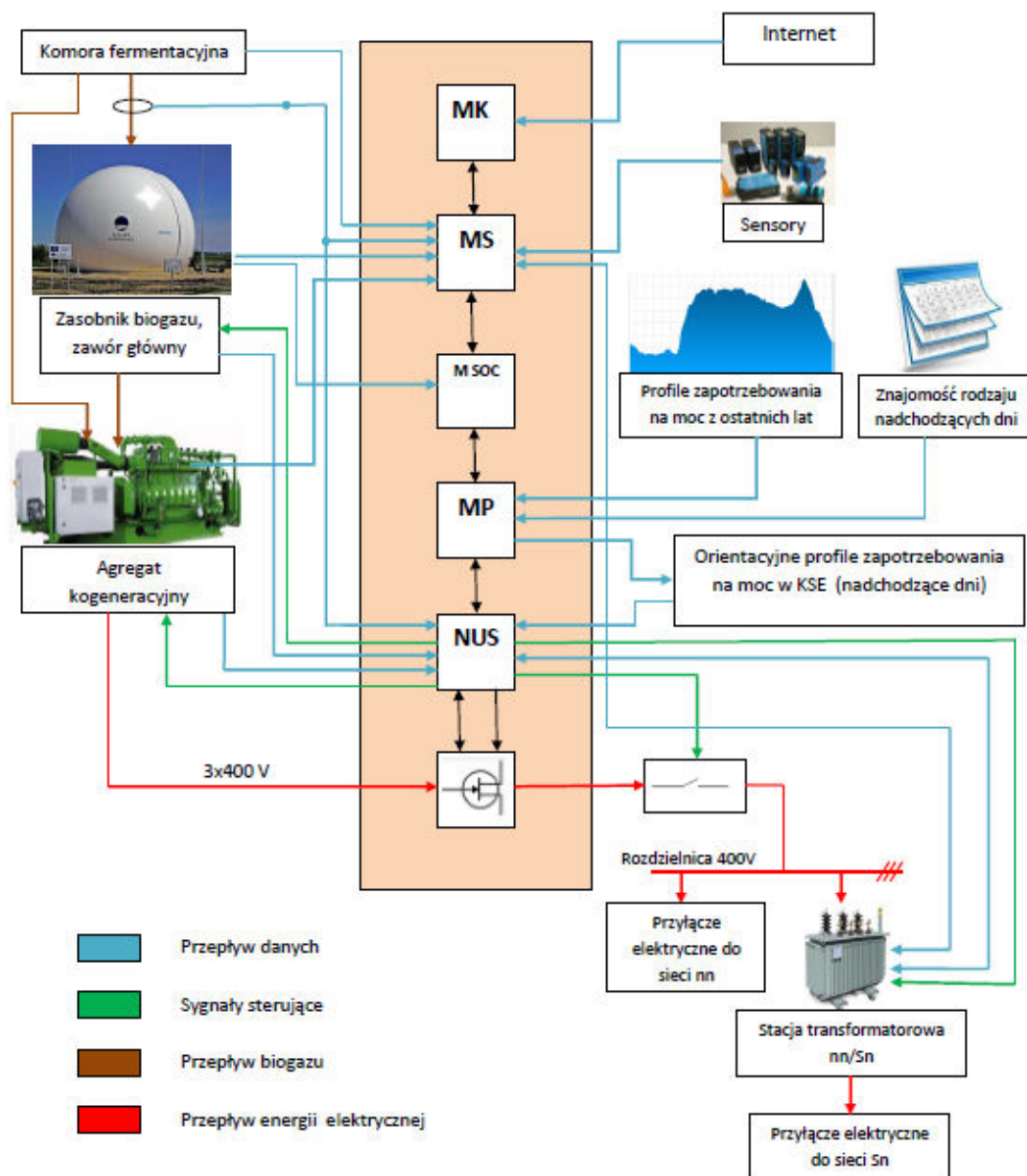
Układ sterowania biogazowni musi pracować w pętli sprzężenia zwrotnego, powinien również zawierać co najmniej dwa sterowniki: nadrzędny (tzw. Master) i obiektowy (Slave). Sterownik powinien decydować na podstawie dochodzących na wejścia sygnałów o rozpoczęciu produkcji energii elektrycznej (załączeniu układu kogeneracyjnego) z biogazu

pochodzącego z komory fermentacyjnej oraz z zapasów biogazu zgromadzonych w zasobniku, czyli m.in.:

1. Wysterować główny zawór zasobnika biogazu.
2. Załączyć pompę agregatu (wprowadzenie biogazu do komory silnika).
3. Wysterować (załączyć) agregat kogeneracyjny.
4. Wysterować przekształtniki do zwracania energii do sieci.
5. Wysłać sygnał gotowości do transformatora.

W przypadku niespełnienia określonej funkcji wymagań niezbędnych do produkcji energii elektrycznej, sterownik wysyła następujące sygnały:

1. Wyłączenia agregatu kogeneracyjnego.
2. Zamknięcia zaworu głównego zasobnika.
3. Wyłączenia pompy agregatu.



Rys.16. Adaptacja układu sterowania i regulacji [7] na potrzeby sterowania pracą biogazowni (opracowanie własne)

Sygnaly wejściowe na poszczególne moduły sterowników to m.in.:

1. Stan aktualnej produkcji biogazu.
2. Wartość przepływu biogazu między komorą fermentacyjną a zasobnikiem.
3. Stan wypełnienia zasobnika biogazu.
4. Cena sprzedaży energii elektrycznej.
5. Informacje o przewidywanym profilu zapotrzebowania na moc w KSE.
6. Moc biogazowni (w trakcie produkcji energii przez agregat).
7. Stan pracy agregatu kogeneracyjnego (potwierdzenie pracy).
8. Stan pracy pompy agregatu.
9. Informacje od pozostałych czujników zamontowanych w instalacji (np. dotyczące warunków atmosferycznych).

Przekształtnik energoelektroniczny będący jedną z integralnych części układu również powinien być urządzeniem inteligentnym, mającym na celu przede wszystkim wytworzenie energii elektrycznej o określonych parametrach i jakości. Powinien dostosować się do bieżącego zapotrzebowania na moc w systemie i jednocześnie do poziomu produkcji energii w biogazowni (i dalej w agregacie kogeneracyjnym), przy jednoczesnym bardzo dobrym współczynniku sprawności przetwarzania energii elektrycznej.

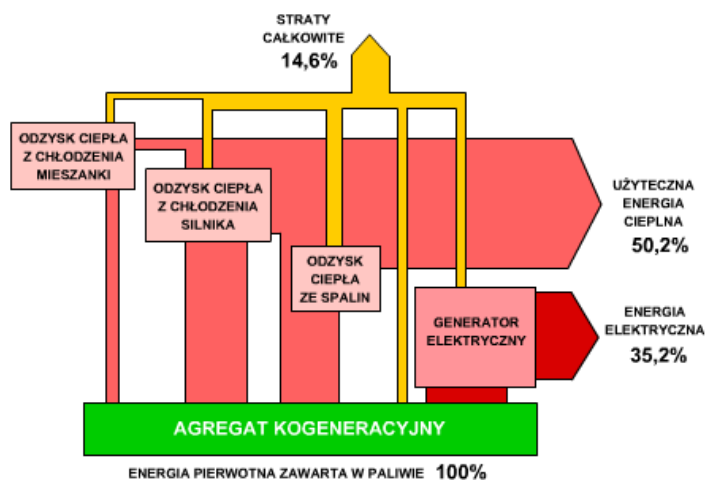
3.2.4 Regulacja wydawania mocy czynnej

W odniesieniu do podpunktu 3.2.2 praktyczną realizację momentu załączenia źródła regulacyjnego - agregatu kogeneracyjnego można uzyskać po zastosowaniu regulacji minutowej [7]. Jest ona realizowana na poziomie sterownika nadrzędnego (Mastera). Dzięki temu sterowanie pracą silnika agregatu staje się najbardziej optymalne. Należy wziąć pod uwagę, iż wadą silnika spalinowego jest brak możliwości wytworzenia samoistnego momentu obrotowego, w związku z czym konieczny jest układ rozruchu. W tym przypadku problemem jest duża moc stosowanych agregatów (setki kW) i co za tym idzie niezbędna jest duża energia do przeprowadzenia rozruchu tej maszyny. Niezbędne jest zatem zastosowanie układu rozruchowego specjalnej budowy, w skład którego będzie wchodził m.in. akumulator o dużej pojemności, dobranej do charakterystyki rozruchu silnika. W celu racjonalnego wykorzystania możliwości układu rozruchowego, uruchomienia maszyny powinny być realizowane w odstępach minutowych, bądź też kilkudziesięciosiekundowych. Zastosowanie częstszych rozruchów może niekorzystnie wpływać na żywotność akumulatora. W związku z tym sygnał wykonawczy załączenia bądź wyłączenia agregatu powinien być wysyłany z układu sterowania w wyżej wymienionych odstępach czasu.

Danymi wejściowymi do sterownika (celem właściwego sterowania agregatem) są: charakterystyki bieżącego zapotrzebowania na moc w KSE, stan wypełnienia zasobników biogazu, aktualna cena sprzedaży energii do systemu oraz prognozy zapotrzebowania na moc w KSE, pobrane z modułu prognozowania. Minimalny czas reakcji układu regulacji zmianę danych wejściowych powodujących zmianę sygnałów wykonawczych powinien być liczony w dziesiątkach sekund.

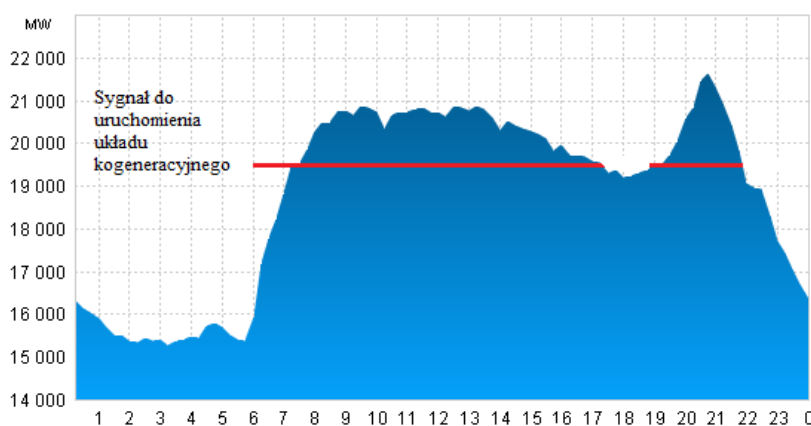
Agregat kogeneracyjny jest bardzo istotnym elementem układu sterowania biogazowni rolniczej, wytwarzającym energię elektryczną i ciepło (wodę w temperaturze ok. 90°C) z biogazu. Głównymi komponentami agregatu są: gazowy silnik spalinowy, generator prądu, system wymienników ciepła oraz układ regulacji i sterowania [3]. Obecnie producenci tego typu układów oferują je w maksymalnych mocach elektrycznych oscylujących w granicach 2MW_e. Główną zaletą procesu kogeneracji jest sprawność ogólna przemiany energii w procesie skojarzonym. Jest on dużo wyższa, niż przy rozdzielnym wytwarzaniu energii elektrycznej i cieplnej. Sprawność ogólna procesu skojarzonego przekracza 85%, zaś

procesów rozdzielonych łącznie 57%. Na rys. 17 zamieszczono schemat obrazujący wysoką sprawność procesu kogeneracji.



Rys.17. Sprawność przetwarzania w procesie Kogeneracji [1]

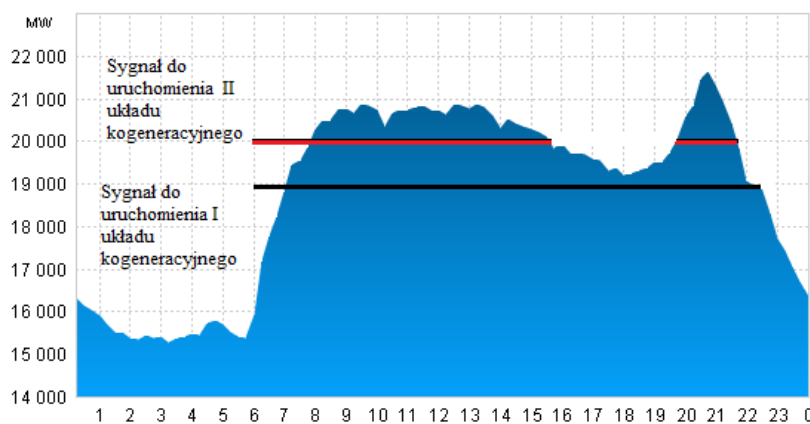
W omawianej koncepcji funkcjonowania biogazowni rolniczej można będzie wyróżnić dwie konfiguracje, w których będzie mogła pracować omawiana instalacja. Konfiguracja pierwsza wykorzystuje do przetwarzania energii biogazu w energię elektryczną jeden agregat kogeneracyjny zwymiarowany tak, aby optymalnie wykorzystał energię gromadzoną w zasobniku. Jest to rozwiązanie, które było omawiane do tej pory w raporcie. Zakładając odpowiedni poziom wypełnienia zasobnika biogazu i przyjmując jako główne kryterium pewną ustaloną wartość mocy zapotrzebowanej systemu elektroenergetycznego (z którą związek ma cena sprzedawanej energii), układ sterowania będzie załączał agregat kogeneracyjny po przekroczeniu wymaganej wartości mocy zapotrzebowanej (ceny sprzedaży, która satysfakcjonuje producenta). Jest to strategia wytwarzania energii, którą można nazwać „standardową”. Została ona zaprezentowana na rys. 18. Agregat jest uruchamiany w szczytach poboru mocy, wynikających z analizy przeprowadzonej w punkcie 3.1 raportu.



Rys.18. Strategia „standardowa” wytwarzania energii elektrycznej z biogazu (opracowanie własne)

Innym rozwiązaniem funkcjonowania biogazowni jest praca z wykorzystaniem dwóch agregatów. Wiąże to ze sobą pewną przebudowę układu sterowania i regulacji pracy biogazowni (omawianej w podpunkcie 3.2.3) oraz algorytmów zaimplementowanych w sterownikach instalacji, których stopień komplikacji będzie nieco większy od wariantu pierwszego. W omawianym układzie rozróżnia się dwa rodzaje stosowanych agregatów:

agregat główny (większej mocy) oraz pomocniczy (mniejszej mocy). Moc agregatu głównego powinna oscylować w granicach 70÷80% całkowitej mocy zainstalowanej, z kolei agregat pomocniczy jest zwymiarowany na pozostałą moc (20÷30%). Przykładowo dla biogazowni rolniczej o planowanej mocy elektrycznej równej 1 MW_e moc głównego agregatu wyniosłaby około 800 KW_e, a moc agregatu pomocniczego byłaby równa 280 KW_e. Strategię zarządzania pracą biogazowni z użyciem dwóch agregatów kogeneracyjnych można nazwać „agresywną”. Agregat większej mocy (I) będzie pracował przy mniejszej mocy zapotrzebowanej w systemie, niż agregat w strategii „standardowej” (wiąże się to z mniejszą ceną sprzedaży energii). Będzie jednak pracował przez nieco dłuższy czas. Agregat pomocniczy (II) będzie załączany w szczytach zapotrzebowania na moc systemu elektroenergetycznego, dzięki czemu przy wysokiej cenie sprzedaży energii elektrycznej zostanie jej sumarycznie więcej odsprzedane do sieci. Dzięki takiemu działaniu Nastąpi bardziej opłacalne wykorzystanie energii biogazu zakumulowanej w zasobniku.

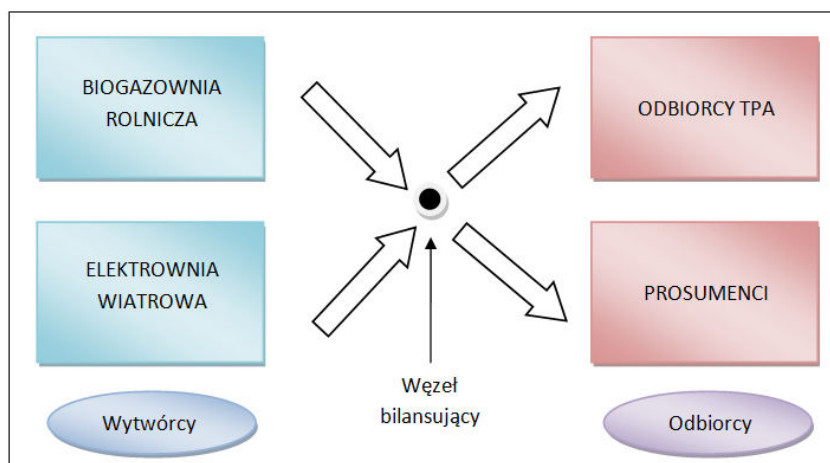


Rys.19. Strategia „agresywna” wytwarzania energii elektrycznej z biogazu (opracowanie własne)

Producent będzie miał wpływ na moment uruchomienia zarówno pierwszego jak i drugiego agregatu, ustalając swoją własną strategię pracy biogazowni. Zastosowanie tego wariantu pracy pociągnie za sobą dodatkowe koszty wynikające m.in. z potrzeby utworzenia dodatkowej infrastruktury w budynku technicznym przeznaczonym dla agregatów, z pewnością konieczne będzie także zastosowanie innego, bardziej funkcjonalnego przekształtnika energoelektronicznego.

4. Praca biogazowni rolniczej w kontekście bilansowania energii w Wirtualnej wyspie

W koncepcji Modelu MIREE istotną rolę w procesie regulacji mocy w systemie elektroenergetycznym będą pełniły wyspy WW. Głównym celem i cechą charakterystyczną ich funkcjonowania jest osiągnięcie „niewidoczności” na rynkach WEK. Wyspa WW powinna być niewidoczna dla systemów regulacji pierwotnej i wtórnej w KSE [5]. Istotą funkcjonowania wysp WW powinna być integracja źródeł wytwórczych odnawialnej energii o losowej produkcji z źródłami regulacyjnymi (wyposażonymi w zasobniki energii). Zadaniem wymienionych podmiotów wytwórczych jest bilansowanie energii zużywanej przez konsumentów i prosumentów wchodzących w skład wyspy. W poniższych rozważaniach zostanie przedstawiona koncepcja pracy biogazowni rolniczej osadzona w realiach Wyspy WW, w powiązaniu z elektrownią wiatrową (węzły bilansujące wytwórcze) wraz z odbiorcami TPA oraz prosumentami (węzły bilansujące odbiorcze).



Rys.20. Schemat poglądowy analizowanej wyspy WW (opracowanie własne)

Aby rozpatrywana wyspa WW była całkowicie niewidoczna dla KSE muszą zostać spełnione następujące kryteria [5]:

- 1) Kryterium pierwsze – uzyskanie niewidoczności na rynkach WEK poprzez pełne zbilansowanie energii w wyspie WW (energia węzła bilansującego wytwórczego musi być równa energii węzła bilansującego odbiorczego):

$$E_{WW} = 0$$

$$E_{WW} = \sum_{i=1}^k E_{br_i} + \sum_{i=1}^l E_{ew_i} - \sum_{i=1}^m E_{TPA_i} \pm \sum_{i=1}^n E_{p_i}$$

- 2) Kryterium drugie – bilansowanie mocy chwilowych, będącymi funkcjami czasu, w celu uzyskania niewidoczności wysp WW dla systemów regulacji pierwotnej i wtórnej w KSE:

$$P(t)_{WW} = 0$$

$$P(t)_{WW} = \sum_{i=1}^k P(t)_{br_i} + \sum_{i=1}^l P(t)_{ew_i} - \sum_{i=1}^m P(t)_{TPA_i} \pm \sum_{i=1}^n P(t)_{p_i}$$

gdzie:

- $P(t)_{br}$ – moc chwilowa (wydawana) biogazowni rolniczej,
- $P(t)_{ew}$ – moc chwilowa (wydawana) elektrowni wiatrowej,
- $P(t)_{TPA}$ – moc chwilowa (pobierana) odbiorców TPA,
- $P(t)_p$ – moc chwilowa instalacji prosumenckich.

Przedstawione powyżej kryteria są zasadniczymi kryteriami sterowania/regulacji energii w głównym węźle wyspy WW. Poprzez spełnienie kryteriów wyspa będzie dążyła do uzyskania pełnej autonomii i niezależności od KSE. Aby w wystarczającym stopniu spełnić wymienione warunki, konieczne jest zmaksymalizowanie efektywności wykorzystania energii pochodzącej z zasobników (w analizowanym przypadku energii biogazu rolniczego), ponieważ właśnie energia zasobników będzie odpowiadała za „wyzerowanie” bilansu energii i mocy w głównym węźle wyspy WW. Współpraca w węźle wytwórczym będzie dotyczyła elektrowni wiatrowej klasy 2MW oraz biogazowni rolniczej klasy 1MW [5]. W analizie przyjęto, że instalacje prosumenckie z punktu widzenia wyspy WW będą wyłącznie odbiorcami energii. Wypadkowa energia oddana przez prosumentów do sieci może być stosunkowo niewielka i tym samym pominięta.

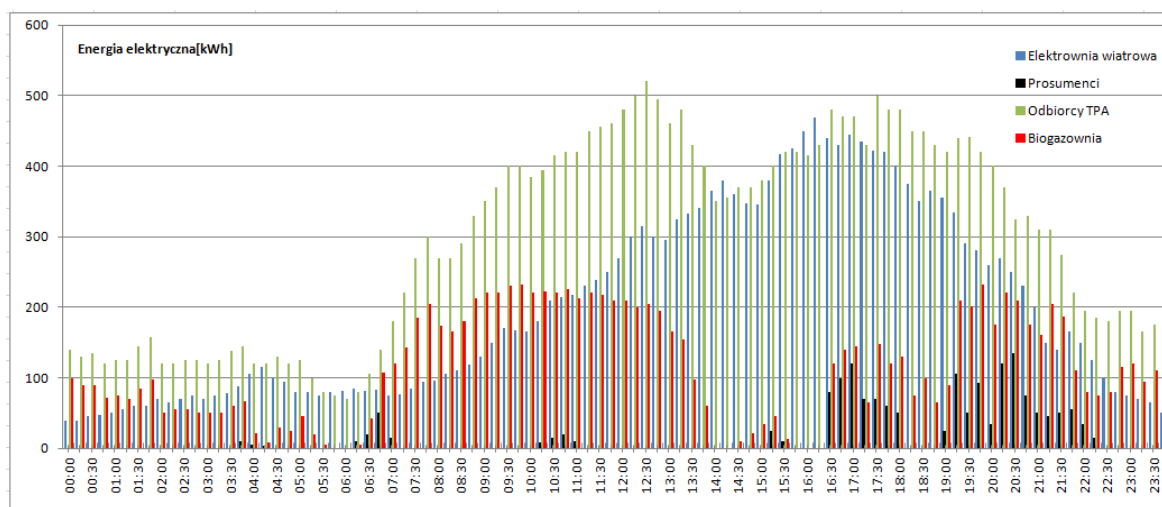
4.1 Biogazownia rolnicza w warstwie bilansowania energii

Na potrzeby opracowywanego tematu utworzono modele reprezentujące produkcję energii elektrycznej w elektrowni wiatrowej klasy 2 MW oraz w biogazowni rolniczej klasy 1 MW, a także modele odbiorców: prosumentów oraz odbiorców TPA. Modelując wykresy produkcji energii elektrycznej przez turbiny wiatrowe należy mieć na uwadze fakt, że wytwarzana moc jest zależna od wielu czynników (m.in. od pory roku, klimatu, miejsca usytuowania turbiny wiatrowej). Istotnym elementem funkcjonowania rynku bilansującego są prognozy pogody, mające duży wpływ na planowaną produkcję energii w źródłach wytwórczych. Charakterystyka zapotrzebowania na energię odbiorców TPA będzie dotyczyła zakładów przemysłowych, w których praca odbywa się w trybie zmianowym (całodobowa produkcja). Szczytowe zapotrzebowanie na moc odbiorców TPA będzie oscylowało w granicach 2 MW (występują dwa szczyty: południowy – około godziny 12.00 i popołudniowy – około godziny 17.30). Model charakteryzujący prosumentów będzie obejmował 50 instalacji prosumenckich o zainstalowanej mocy sumarycznej źródeł energii odnawialnej wynoszącej 400 kW. Dla uproszczenia jako interwał czasowy pomiędzy kolejnymi wartościami (energii, mocy) w charakterystykach modeli przyjęto 15 minut (15-to minutowe zużycie energii).

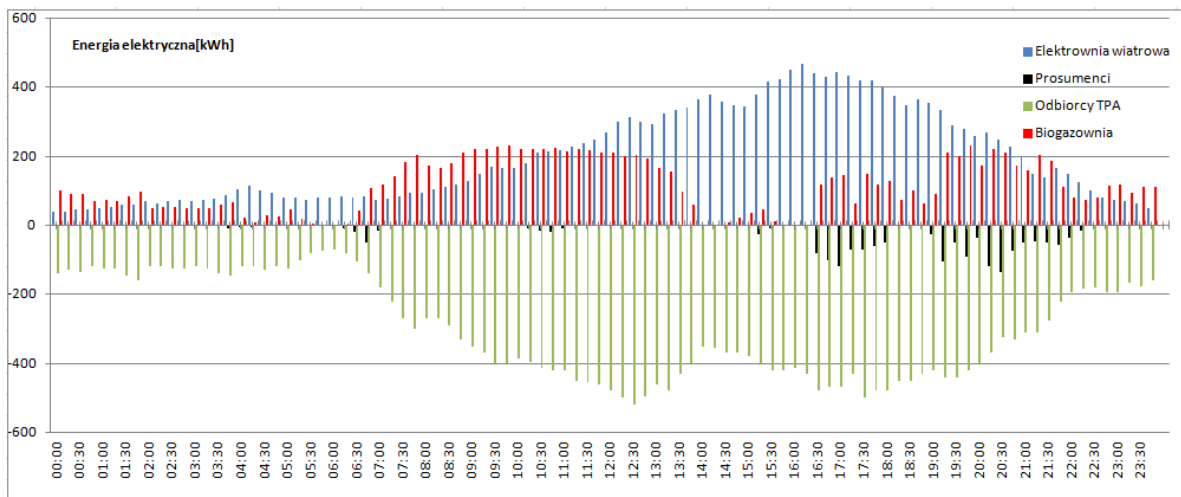
Po utworzeniu w arkuszu kalkulacyjnym modeli Odbiorców TPA, prosumentów oraz elektrowni wiatrowej obliczono wartości energii elektrycznej, która powinna być oddawana do węzła wyspy WW przez biogazownię rolniczą. Dla kolejnych chwil czasu energię obliczono stosując następujący wzór:

$$E_{br15} = (E_{TPA15} + E_{p15}) - E_{ew15}$$

Powyższy wzór powinien być zaimplementowany w inteligentnym układzie sterowania (*Smart grid*) wyspy WW, ponieważ dzięki temu możliwe będzie właściwe obliczenie energii bilansującej, którą musi wytworzyć układ kogeneracyjny biogazowni. Po obliczeniu poszczególnych wartości energii wydawanej przez biogazownię utworzono charakterystykę, na której zostały zamieszczone wszystkie cztery omawiane modele. Poniżej zamieszczono charakterystyki przedstawiające modele elementów wchodzące w skład wyspy WW. Rysunek 21 przedstawia profile energetyczne elementów wchodzących w skład wyspy, natomiast na rys.22 zaprezentowano bilans energetyczny elementów, w którym zadaniem biogazowni byłoby bieżące bilansowanie zużywanej energii, w taki sposób, by wyspa była niewidoczna dla KSE (brak poboru energii z KSE).

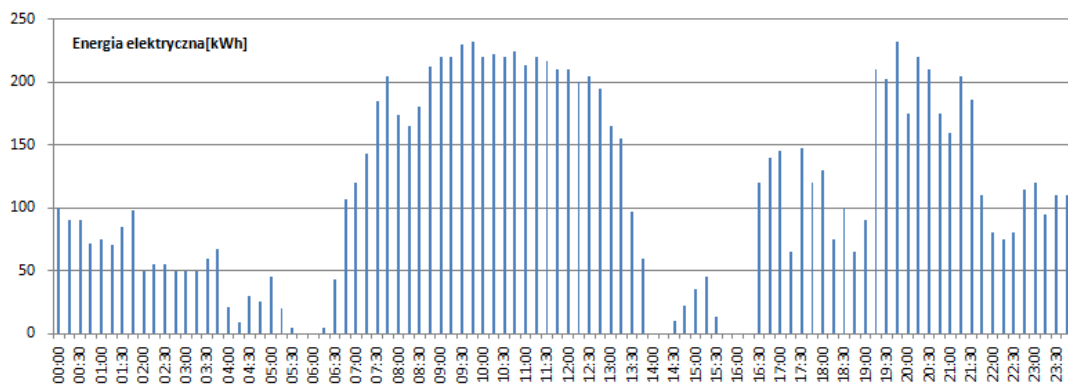


Rys.21. Dobowy profil wytwarzania / poboru energii elektrycznej modeli pracujących w wyspie WW (opracowanie własne)



Rys.22. Dobowy bilans energii elektrycznej utworzonych modeli pracujących w wyspie WW; wartość dodatnia – produkcja energii, wartość ujemna – pobór energii z głównego węzła wyspy (opracowanie własne)

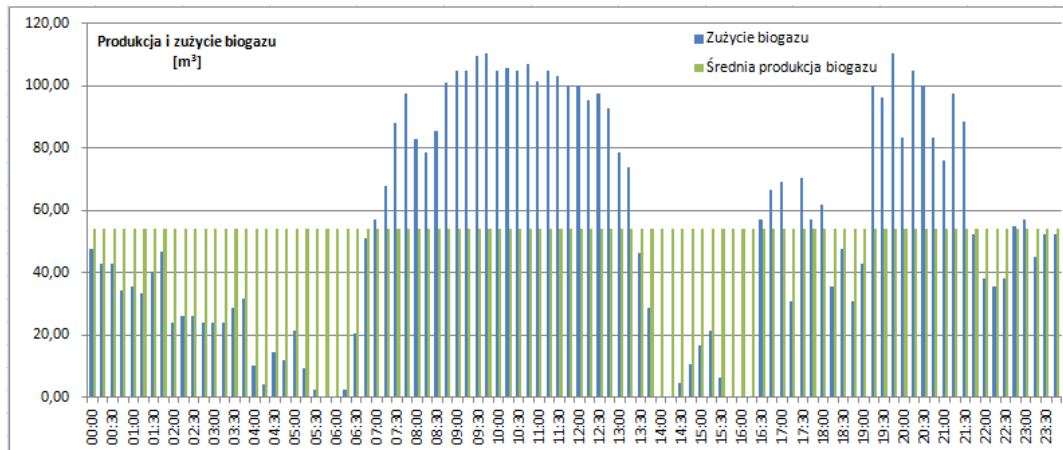
Dzięki pracy biogazowni rolniczej w trybie *semi off grid* możliwe jest bieżące bilansowanie energii zużywanej przez prosumentów i odbiorców TPA. Uniezależnienie ilości generowanej energii od warunków atmosferycznych umożliwia natychmiastowe pokrywanie energii brakującej w węźle poprzez wykorzystanie energii zgromadzonej w zasobnikach biogazowni, która jest magazynowana w okresach mniejszego zużycia energii przez odbiorców. Z punktu widzenia KSE zamodelowana wyspa WW jest zatem „niewidoczna”, ponieważ nie ma potrzeby importu energii z zewnątrz. W razie potrzeby dodatkowa (niewykorzystana) energia wytworzona przez elektrownię wiatrową w chwilach mniejszego zapotrzebowania i zwiększonej produkcji może być oddawana do zewnętrznej sieci elektroenergetycznej (przełączenie do pracy na sieć), bądź też może być magazynowana w akumulatorowym zasobniku elektrowni wiatrowej celem oddania do węzła odbiorczego z stanach zwiększonego zapotrzebowania na energię w wyspie. W prezentowanym modelu, w charakterystyce pracy biogazowni rolniczej występują dwa okresy o mniejszym zapotrzebowaniu na energię elektryczną.



Rys.23. Dobowa charakterystyka wytwarzanej energii w biogazowni rolniczej pracującej jako źródło bilansujące (opracowanie własne)

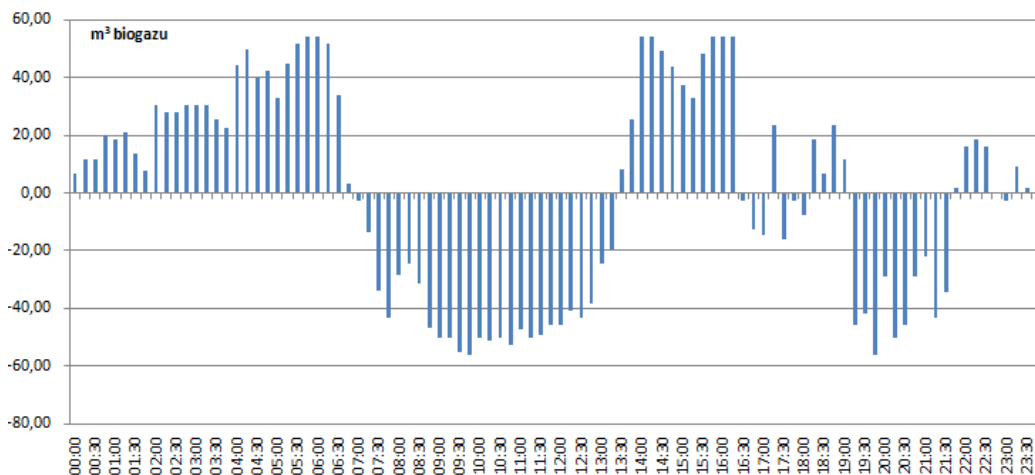
W tym czasie możliwe jest gromadzenie biogazu w zasobniku, celem późniejszego przetworzenia na energię elektryczną. Koniecznym zatem wydaje się być opracowanie na bazie istniejącego modelu charakterystyki pracy zasobnika biogazu użytego w wyspie. Stworzenie wspomnianej charakterystyki pozwoli m.in. na odpowiedni dobór pojemności zasobnika biogazu do pracy w prezentowanym układzie. Obliczenia dotyczące opisywanej charakterystyki wykonano przyjmując, że z jednego metra sześciennego biogazu można uzyskać średnio 2,1 kWh energii elektrycznej [1] oraz zakładając, że produkcja biogazu

przekazywanego do zasobnika jest na stałym poziomie. Efekt obliczeń z wykorzystaniem utworzonego modelu zaprezentowano na rys. 24.



Rys.24. Charakterystyka dziennego zużycia biogazu przy stałej produkcji (opracowanie własne)

Całodobowe zużycie biogazu przez agregat kogeneracyjny biogazowni bilansującej jest równe ponad 5200 m³, dzięki czemu zostało uzyskane około 11 MWh energii elektrycznej. Przy założeniu, że produkcja biogazu jest stała, średnia 15-to minutowa wartość produkowanego biogazu, który w całości pokryje energię bilansowania wyspy WW wynosi 54, 27 m³. Z rysunku 24 wyraźnie można odczytać 15- to minutowe wartości objętości biogazu, który nie jest zużywany na bieżącą produkcję energii bilansującej i który pozostaje w zasobniku (zielony kolor na białym tle). W omawianym modelu najdłuższa czasowo nadwyżka produkcji biogazu ponad produkcję energii elektrycznej znajduje się w przedziale od 23:15 do 6:45. W tym czasie w zasobniku zgromadzi się 853 m³ biogazu, który zostanie skonsumowany w kolejnych godzinach o zwiększonej produkcji energii. Obliczona objętość zmagazynowanego biogazu może posłużyć przy wyznaczaniu orientacyjnej pojemności zasobnika, należy jednak zachować dość spory zapas tej pojemności, gdyż produkcja głównego źródła energii elektrycznej w wyspie (elektrowni wiatrowej) jest silnie powiązana z warunkami atmosferycznymi. Niezbędne jest zatem korzystanie z dokładnych prognoz pogody, które wydatnie mogą pomóc zaplanować orientacyjną wielkość produkcji gazu w biogazowni, celem zbilansowania potrzebnej energii. Na zamieszczonym poniżej rys. 14 zostało przedstawione „rozwiniecie” istoty zawartej na poprzednim wykresie, tzn. została przedstawiona praca zasobnika energii bilansującego energię w wyspie WW.

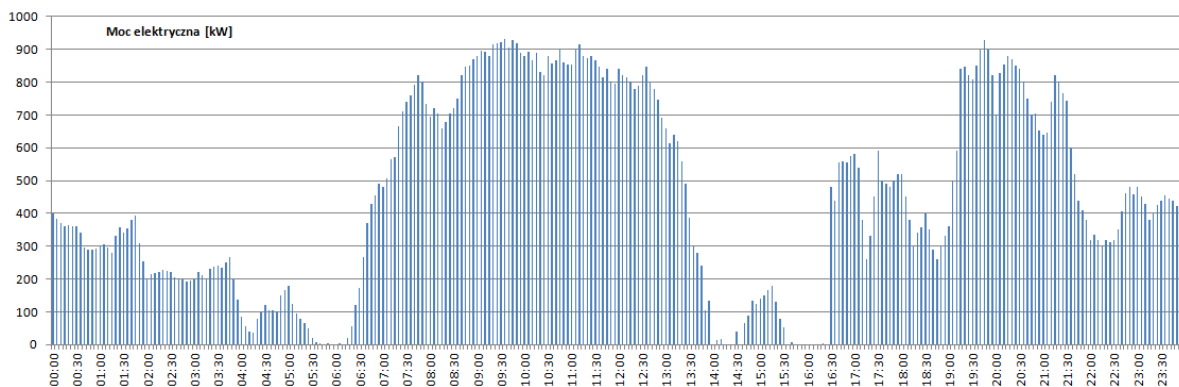


Rys.25. Praca zasobnika energii (gromadzenie i wydawanie biogazu) w biogazowni rolniczej (opracowanie własne)

Rysunek 25 przedstawia 15-to minutowe wartości przyjmowanej (magazynowanej) i wydawanej nadwyżki biogazu. Dodatkowo wartości objętości oznaczają gromadzenie, a ujemne wydawanie biogazu. Na podstawie rys.25 można określić dwa zasadnicze przedziały czasu: przedział w którym nadwyżka biogazu jest gromadzona w zasobniku (od 00:00 do 06:45 oraz od 13:30 do 16:15), a także przedział w którym następuje przekazanie biogazu do układu kogeneracyjnego (od 07:00 do 13:15 oraz od 19:15 do 21:30). Charakterystyka pracy zasobnika biogazu może być pomocna np. przy doborze parametrów pomp włączających, bądź pobierających gaz z zasobnika. W rzeczywistym układzie należy mieć na uwadze fakt, że produkcja biogazu może mieć charakter delikatnie falujący (jest to zależne od specyfiki procesu wytwarzania biogazu), co może mieć niewielki wpływ na objętość gromadzonego gazu. Niezaprzeczną zaletą biogazowni rolniczej wchodzącej w skład wyspy WW jest fakt, że przy odpowiednim planowaniu i organizacji biogazownia staje się bardzo dobrym źródłem regulacyjnym, kompensującym bieżące braki energii w głównym węźle wyspy.

4.2 Biogazownia rolnicza w warstwie regulacji mocy

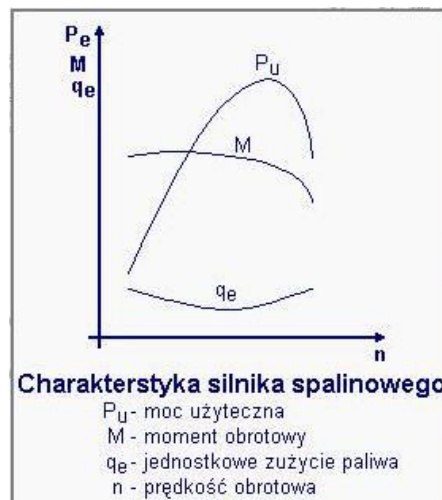
Posługując się danymi wykorzystanymi przy tworzeniu charakterystyki znajdującej się na rys. 23 sporządzono charakterystykę mocy elektrycznej wytwarzanej przez prądnicę agregatu kogeneracyjnego biogazowni zawartej w omawianym modelu. W celu opracowania charakterystyki mocy wytwarzanej obliczono wartości mocy odpowiadające wytworzonej energii, a następnie nieco rozbudowano model (wykorzystany w punkcie 4.1 raportu), stosując większą rozdzielczość danych. W wyniku przeprowadzonych operacji otrzymano charakterystykę z 5-cio minutowymi wartościami wytwarzanej mocy bilansującej. Otrzymane wyniki umożliwią dokładniejsze zbadanie właściwości regulacyjnych biogazowni rolniczych. Zamodelowana charakterystyka została przedstawiona na rys.26.



Rys.26. Charakterystyka mocy wytwarzanej przez biogazownię, wartości 5-cio minutowe (opracowanie własne)

Z powyższej charakterystyki można odczytać, że szczytowe wartości wytwarzanych mocy wynoszą około 900 kW. Analizowana biogazownia rolnicza wytwarza energię w bardzo szerokim zakresie (0÷900 kW), konieczny jest zatem odpowiedni sposób regulacji źródła energii elektrycznej – agregatu kogeneracyjnego, zdolnego do dynamicznych zmian mocy wydawanej przez prądnicę sprzężoną z silnikiem spalinowym w dużym zakresie (od mocy minimalnej do mocy chwilowo przekraczającej moc znamionową). W omawianym przypadku niezbędne jest zastosowanie w agregacie silnika spalinowego o szerokim zakresie regulowanej prędkości obrotowej. Regulacja działania układu wtryskowego agregatu powinna zachodzić zatem pod wpływem sygnału (np. analogowego – sterowanie wartością napięcia) pochodzącego ze sterownika pracującego w instalacji *Smart grid* biogazowni. W celu sprawnego sterowania mocą źródła wytwórczego konieczna jest także odpowiednia znajomość m.in. charakterystyki mocy w funkcji prędkości obrotowej zastosowanego agregatu, a także charakterystyki zużycia paliwa. Możliwe jest przy tym uwzględnienie np.

charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa, tak aby zoptymalizować ilość spalonego biogazu.

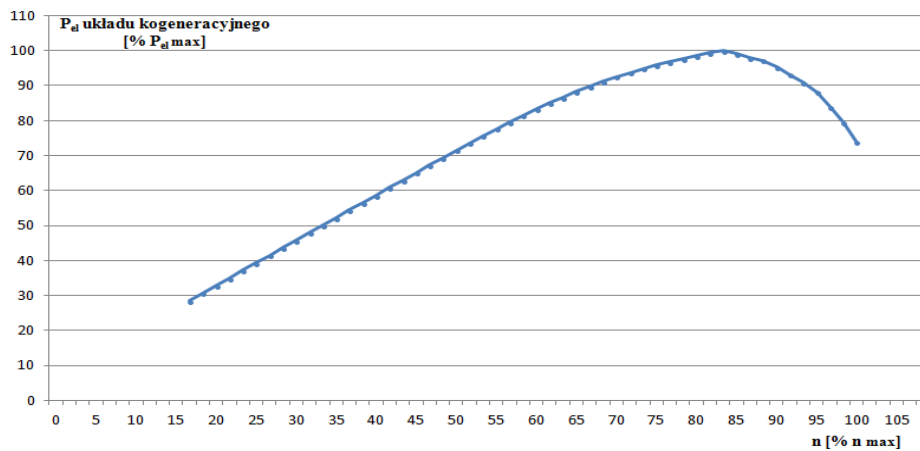


Rys.27. Charakterystyki mocy, momentu i zużycia paliwa silnika spalinowego

Podobne charakterystyki (właściwe dla użytkowanego agregatu kogeneracyjnego) powinny być zaimplementowane w pamięci sterownika instalacji *Smart grid*. Sterownik powinien tak regulować wartość sygnału wyjściowego, aby wartość mocy zadanej była równa wartości mocy chwilowej, która musi być zbilansowana w węzle wyspy WW. W jednej z charakterystyk modelu zaprezentowanej na rys.26 przyjęto jako odstęp czasu wartość pięciu minut. W rozwiązaniach praktycznych, które mogą zostać zaimplementowane w instalacji biogazowni pracującej na rzecz wyspy, w stosunku do silnika spalinowego powinna być zastosowana regulacja sekundowa, z płynną regulacją mocy silnika agregatu. Część wiadomości dotycząca regulacji mocy została opisana w punkcie 3.2.4 raportu. Wartość mocy koniecznej do zbilansowania w węzle powinna być zadawana w kilku- kilkadziesiąt sekundowych odstępach czasu. Przy dużych zmianach mocy silnika konieczne będzie uwzględnienie czasu na osiągnięcie zadanej prędkości obrotowej przez silnik agregatu. Istotną kwestią w pracy agregatu jest również fakt, że silnik spalinowy może płynnie pracować przy pewnej minimalnej wartości prędkości obrotowej n_{min} . W związku z tym konieczna jest znajomość wartości prędkości i mocy minimalnej, aby w przypadku gdy moc zapotrzebowana odpowiada pracy silnika przy $n < n_{min}$, praca agregatu odbywała się przy prędkości równej lub niewiele większej od minimalnej prędkości obrotowej. Jeżeli wypadkowa moc w węzle wyspy WW będzie równa lub większa od zera (np. przy produkcji energii przez elektrownię wiatrową w ilości większej od energii zapotrzebowanej przez konsumentów) konieczne jest także wzięcie pod uwagę faktu, iż silnik dużej mocy przy zbyt częstych rozruchach może powodować szybsze zużycie (wyładowanie) akumulatora rozruchowego. W związku z tym mogą zaistnieć przypadki, w których przy zerowej mocy zadanej korzystne będzie utrzymywanie agregatu w zakresie niewielkiej mocy wydawanej (niskich prędkości obrotowych). Ewentualna energia uzyskana w ten sposób może zostać sprzedana do KSE (koniecznym będzie wtedy dokonanie odpowiedniego przełączenia z pracy wyspowej do pracy na sieć).

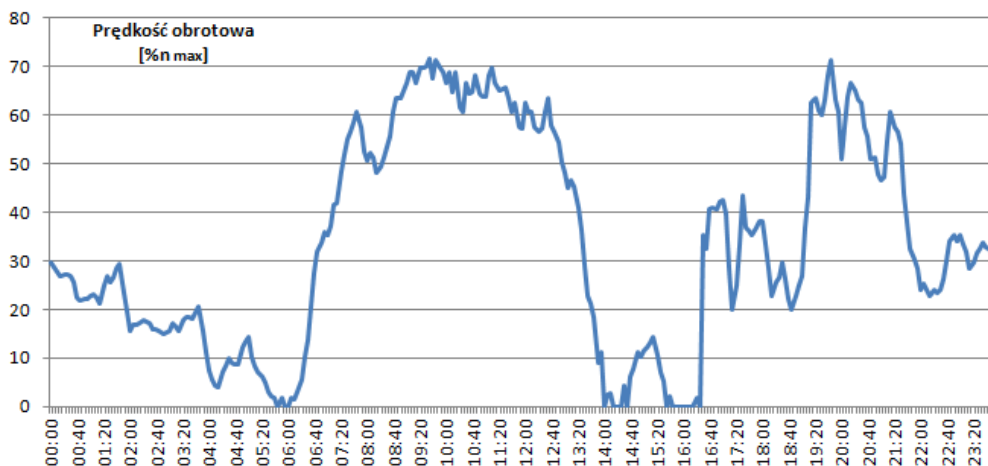
Wzorując się na charakterystyce silnika spalinowego zamieszczonej na rys.27 utworzono podobną charakterystykę opisującą uproszczony model układu kogeneracyjnego pracującego w biogazowni rolniczej. Charakterystyka modelu opisuje procentową zależność pomiędzy prędkością obrotową silnika spalinowego, a wyjściową mocą elektryczną układu. Uproszczenia dotyczą m.in. braku uwzględnienia prądnicy w układzie. Przyjęto, że maksymalna wyjściowa moc elektryczna układu wynosi 1100 kW_e (100%) i jest uzyskiwana

przy około 1000 obrotach na minutę, przy czym maksymalny zakres obrotów wynosi 1200 obr/min (100%). Zamodelowana Charakterystyka silnika agregatu została umieszczona na rys.28.



Rys.28. Charakterystyka mocy elektrycznej wydawanej przez agregat kogeneracyjny (opracowanie własne)

Z kolei charakterystyka zamieszczona na rys.29 pozwala m.in. na teoretyczne wyznaczenie wartości prędkości obrotowej, którą silnik będzie musiał osiągnąć, aby agregat wydawał zadaną (bilansującą) moc elektryczną w funkcji czasu. Dzięki temu nieco łatwiej zostanie zobrazowany proces regulacji mocy agregatu. Celem rozwiązania zagadnienia posłużono się charakterystyką zamieszczoną na rys.26. Podane wartości prędkości obrotowych będą wartościami osiąganymi przez agregat po zadaniu określonej mocy przez układ sterowania co 5 minut (jest to kolejne uproszczenie, gdyż w rzeczywistości regulacja mocy powinna się odbywać z mniejszym interwałem czasowym - sekundowym). Wspomniana charakterystyka wartości procentowej prędkości obrotowej (względem prędkości maksymalnej silnika) w funkcji czasu została zaprezentowana na rys.29.



Rys.29. Charakterystyka wartości prędkości obrotowych osiągniętych przez silnik agregatu w funkcji czasu (opracowanie własne)

Charakterystyka kształtem przypomina charakterystykę mocy wytwarzanej przez biogazownię (rys.26). Nieznaczne różnice wynikają z faktu, że charakterystyka mocy w funkcji prędkości w obszarze mocy maksymalnych staje się wyraźnie nieliniowa. Przy znacznych zmianach prędkości obrotowych konieczne będzie m.in. uwzględnienie pewnych stałych czasowych układu kogeneracyjnego. Maksymalna prędkość obrotowa silnika spalinowego w trakcie regulacji mocy elektrycznej w prezentowanym modelu wyniosła 858 obrotów na minutę, co stanowi niespełna 72% prędkości obrotowej maksymalnej.

5. Jakościowa analiza inwestycji w biogazownię rolniczą

Nowoczesna biogazownia rolnicza jest skomplikowaną instalacją, wymagającą odpowiedniego projektu technicznego oraz wykonania przez wyspecjalizowane firmy zajmujące się tworzeniem podobnych instalacji na co dzień. Sumaryczne koszty inwestycji w budowę biogazowni są uzależnione od wielu czynników. Przykładowo dla średniej wielkości instalacji o mocy 500 kW koszty inwestycji oscylują w granicach 1,6 ÷ 2 mln € [3]. Korzystając z danych znajdujących się w internecie można stwierdzić, że średni koszt budowy biogazowni rolniczej przeliczeniu na jeden MW mocy zainstalowanej wynosi nawet do 3,5 ÷ 4 mln €. Kwota 4 mln € wydaje się stosunkowo duża, np. w porównaniu do kosztu budowy elektrowni wiatrowej (około 1,3 mln €/1 MW), jednak biorąc pod uwagę możliwości produkcyjne sytuacja prezentuje się nieco inaczej. Średnia produkcja energii w trakcie całego roku w biogazowni rolniczej o mocy 1 MW wynosi około 7500 MWh, z kolei elektrownia wiatrowa tej samej mocy jest w stanie wyprodukować około 2500 MWh energii. Porównując stosunek kosztów inwestycji do spodziewanej produkcji energii w przeciągu roku korzystniej wypada biogazownia rolnicza (467 €/MWh – biogazownia; 520 €/MWh – elektrownia wiatrowa). Przy uwzględnianiu kosztów funkcjonowania biogazowni rolniczej należy jednak wziąć pod uwagę, że do prawidłowej i optymalnej pracy biogazowni powinno się zapewnić stały dostęp odpowiednich substratów, których ceny różnią się w zależności od jednostkowej wydajności (m³ biogazu na tonę substratu). Do kosztów budowy i wyposażenia odnawialnych źródeł energii działających w systemie *semi off grid* należy doliczyć dodatkowe koszty związane z utworzeniem większej ilości pomieszczeń, zakupem inteligentnej infrastruktury, dodatkowych elementów układu sterowania i specjalistycznego oprogramowania do optymalnego sterowania pracą biogazowni. Z pewnością cena pierwszych innowacyjnych instalacji będzie stosunkowo duża, jednak z biegiem czasu i wzrostem popularności instalacji *semi off grid* w odnawialnych źródłach energii dużych mocy, ich cena powinna się ustabilizować na rozsądnym poziomie (koszt wyżej wymienionej infrastruktury orientacyjnie będzie liczony w dziesiątkach tysięcy €).

Przy analizie ekonomicznej opłacalności inwestycji w biogazownię rolniczą należy brać pod uwagę następujące czynniki [3]:

1. Koszt zastosowanej technologii.
2. Koszt pozyskania substratów na potrzeby fermentacji.
3. Koszty związane z rozwożeniem płynu pofermentacyjnego.
4. Koszty kapitału finansującego inwestycję.
5. Kształtowanie się cen na rynku odnawialnej energii elektrycznej, a w przyszłości przy sprzedaży energii w taryfach dynamicznych.
6. Możliwość i poziom przychodów ze sprzedaży ciepła powstającego podczas pracy agregatu kogeneracyjnego.

Są to fundamentalne (ale nie jedyne) kwestie, które należy rozważyć przed rozpoczęciem inwestycji. Dokładna kalkulacja w tym przypadku jest niezbędna i może uchronić przed potencjalną upadłością przedsięwzięcia.

Obecnie istnieje wiele możliwości pozyskania kapitału inwestycyjnego niezbędnego do budowy biogazowni rolniczej dużej mocy. Najczęściej stosowanym sposobem finansowania inwestycji biogazowych jest korzystanie ze źródeł zewnętrznych zarówno krajowych jak i unijnych. Dużą popularnością finansowania nowych biogazowni rolniczych jest program Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej pt. „System Zielonych Inwestycji”. W ramach tego programu możliwe jest uzyskanie preferencyjnej pożyczki w wysokości 45% wartości projektu oraz bezzwrotnej dotacji wynoszącej 30 % wartości projektu. Dodatkowe źródło finansowania mogą stanowić programy Wojewódzkich

Funduszy Ochrony środowiska i Gospodarki wodnej, które oferują korzystne pożyczki (z dopłatami do oprocentowania) oraz dotacje. Jedną z możliwości są próby poszukiwania zewnętrznego inwestora z wystarczająco dużym kapitałem, gotowego na długofalową inwestycję. Wraz z wdrożeniem do powszechnego stosowania trybu pracy *semi off grid* w instalacjach biogazowni dużej mocy powinny pojawić się dodatkowe programy wspomagania finansowania realizowane przez Unię Europejską, bądź państwo polskie (województwa) w ramach wdrażania nowych technologii w odnawialnych źródłach energii.

Ważnym problemem do rozwiązania pozostaje cena sprzedawanej energii. Zgodnie z nowowprowadzoną ustawą o OZE biogazownie o mocy powyżej 1 MW będą od 2016 roku konkurowały w systemie aukcyjnym m.in. z instalacjami spalania wielopaliwowego i siłowniami wiatrowymi [9], co z góry skazuje je na porażkę. Biogazownie są instalacjami OZE wytwarzającymi energię elektryczną po najwyższych kosztach, ze względu na zakup surowca do produkcji, a także kosztów budowy nowych instalacji. Z drugiej strony są stabilnym źródłem produkcji energii elektrycznej, mają duże znaczenie dla rozwoju polskiego rolnictwa poprzez utylizację odpadów rolno-spożywczych oraz wykorzystanie masy pofermentacyjnej do nawożenia pól. W związku z tym biogazownie powinny otrzymywać większe wsparcie ze strony państwa, m.in. przez wprowadzenie korzystnych dla nich nowelizacji w ustawie o OZE. Bez koniecznych zmian w prawie ekonomicznie opłacalne będą jedynie biogazownie o mocy do 1MW, które zagospodarują całe wytworzone ciepło, bądź będą miały dostęp do tańszych substratów.

Rozważając kwestię wynagrodzenia finansowego za wyprodukowaną energię elektryczną przez źródła pracujące w węźle wytwórczym wyspy WW (punkt 4), należy wziąć pod uwagę koszty zmienne generowane przez źródła. W przypadku elektrowni wiatrowej koszty zmienne wynoszą zero, ponieważ energia elektryczna jest pozyskiwana z energii wiatru. Z kolei zasadnicze koszty zmienne biogazowni rolniczej są równe kosztom zakupu odpowiedniego substratu, niezbędnego do stabilnej i wydajnej produkcji energii elektrycznej. Z tego tytułu biogazownia rolnicza pracująca na rzecz węzła odbiorczego wyspy powinna otrzymać większe wynagrodzenie za produkowaną energię. Kolejną kwestią jest związek wynagrodzenia za produkcję energii z charakterem pracy źródeł wytwórczych wyspy WW. Biogazownia rolnicza pracuje jako źródło regulacyjne, bilansujące energię w węźle wyspy. Natomiast produkcja energii w elektrowni wiatrowej jest wymuszona przez siłę i kierunek podmuchów wiatru (charakter losowy). Z uwagi na „regulacyjny” charakter pracy biogazowni należy się pewne dodatkowe wynagrodzenie, zaś elektrownia wiatrowa powinna ponieść określoną opłatę („karę”). System wynagrodzeń i kar powinien być tak skonstruowany, aby działalność obu źródeł wytwórczych była opłacalna dla ich właścicieli.

W celu zagwarantowania wyrównanej konkurencji, instalacje biogazowni o mocy powyżej 1MW pracujące w systemie *semi off grid* powinny być w początkowym okresie (np. w trakcie spłacania zaciągniętego kredytu) bardziej uprzywilejowane w stosunku do pozostałych instalacji typu WEK i innych źródeł energii odnawialnej o dużych mocach zainstalowanych. Powinno być to realizowane za pomocą ulg podatkowych, bądź też poprzez dopłaty do ceny sprzedaży produkowanej energii. Rząd musi się zatroszczyć o stworzenie odpowiedniej ustawy regulującej pracę rozproszonych źródeł energii odnawialnej wykorzystujących infrastrukturę *Smart grid*. Aby zmaksymalizować potencjalne dochody, konieczna jest również bliska współpraca gospodarstwami rolnymi lub punktami przetwórstwa produktów rolnych.

Podsumowanie

Omawiany w raporcie tryb pracy *semi off grid* z wykorzystaniem zasobników biogazu jest perspektywicznym rozwiązaniem, na którym powinny w niedalekiej przyszłości opierać swoją pracę zarówno małe (prosumenckie) jak i duże biogazownie. Biogazownia rolnicza

pracująca w tym trybie jako źródło regulacyjne w wyspie WW wykazuje doskonałe właściwości bilansujące. W celu wdrożenia omawianych systemów do codziennego użytkowania z pewnością niezbędne będą dodatkowe badania, symulacje, udoskonalenia oraz budowy pilotażowych instalacji wykorzystujących to rozwiązanie. Wiąże się to wysokimi kwotami inwestycji, które jednak z pewnością przyniosą w przyszłości wiele profitów oraz przyczynią się do rozwoju inteligentnej infrastruktury nowoczesnego rynku energii elektrycznej w Polsce. Zaproponowany w raporcie układ sterownia pracą dużych biogazowni oraz system zarządzania wytworzoną energią mogą wymagać pewnego rozwinięcia i dopracowania, jednak z pewnością stanowią pewne rozwiązania, które mogą zostać wykorzystane w praktyce. Powstawanie nowoczesnych biogazowni jest także szansą dla rozwoju polskiego rolnictwa energetycznego. Nowe biogazownie powinny znajdować się w jaknajwiększej liczbie gmin wiejskich, dzięki czemu obszary wiejskie mogą stać się bardziej atrakcyjne dla potencjalnych inwestorów. Powstaną realne szanse na utworzenie nowych miejsc pracy i pobudzenie gospodarki (np. poprzez powstawanie firm usługowych, specjalizujących się w budowie tego typu instalacji). Korzyści wynikające z przedstawionych rozwiązań mogą dotyczyć wielu podmiotów, przyczynią się także do realizacji polityki energetycznej Polski, zakładającej rozwój rolnictwa energetycznego i ograniczenie produkcji energii z bloków WEK. Nie ulega jednak wątpliwości, że aby osiągnąć wyznaczone cele konieczna jest pomoc państwa w zakresie uregulowań prawnych oraz dofinansowań dla wymienionych przedsięwzięć, gdyż bez żadnych zmian rentowność istniejących biogazowni dużej mocy stoi pod znakiem zapytania. Temat biogazowni rolniczych dużej mocy działających w systemie *semi off grid* jako regulacyjne źródła wymaga pilnego ukształtowania w celu sprawnego wdrożenia po ukształtowaniu interaktywnego rynku energii elektrycznej w Polsce. Dzięki temu w przyszłości technologia oparta na biogazowniach może okazać się jednym z filarów nowoczesnego, energetycznego rolnictwa.

Literatura:

- [1] Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Zowsik M., Wiśniewski G.: Mała biogazownia rolnicza. www.ine-isd.org.pl (Dział publikacje INE, broszury).
- [2] Kosiński P., Lussa M.: [Biogaz 2012. Rynek biogazowni rolniczych w Polsce](http://www.klaster3x20.pl). www.klaster3x20.pl (Podstrona CEP, BŻEP, Dział 1.4.02).
- [3] Józwiak M.: Biogazownie rolnicze – mity i fakty. www.fdpa.org.pl (Dział biblioteka).
- [4] Fleszar J., Kalinowska K.: Rodzaje zbiorników do magazynowania biogazu stosowanych w biogazowniach. www.pimr.poznan.pl (Dział publikacje, Czasopismo Technika rolnicza ogrodnicza leśna nr 2/2013).
- [5] Popczyk J.: [Model interaktywnego rynku energii elektrycznej](http://www.klaster3x20.pl). www.klaster3x20.pl (Podstrona CEP, BŻEP, Dział 1.1.06).
- [6] Popczyk J.: [Doktryna energetyczna](http://www.klaster3x20.pl). www.klaster3x20.pl (Podstrona CEP, BŻEP, Dział 1.1.06).
- [7] Fice M.: [Prosumencka mikroinfrastruktura energetyczna jako obiekt regulacji/sterowania](http://www.klaster3x20.pl). www.klaster3x20.pl (Podstrona CEP, BŻEP, Dział 1.1.06).
- [8] Popczyk J.: Wykłady prof. J. Popczyka z przedmiotu Energetyka Rynkowa.
- [9] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. www.dziennikustaw.gov.pl (Dziennik ustaw 2015, poz. 478 tom 1)
- [10] Broszura informacyjna firmy Sattler w języku angielskim. www.sattler-global.com/biogas (Podstrona Company, Dział Download)
- [11] Rejestr wytwórców biogazu rolniczego, maj 2015r. www.arr.gov.pl (Podstrona Pozostałe działania, Dział Biogaz rolniczy)
- [12] Wykresy zapotrzebowania na moc w KSE. www.energetyka.wnp.pl (Odnośnik Zapotrzebowanie mocy KSE)

Datowanie RAPORTU (wersja oryginalna) – 4.07.2015 r.