

ANALIZA UKŁADU KOGENERACYJNEGO JAKO ŹRÓDŁA CIEPŁA I ENERGII ELEKTRYCZNEJ W MODELOWYM GOSPODARSTWIE ROLNYM

Stanisław Turowski, Rafał Nowowiejski
*Instytut Inżynierii Rolniczej, Zakład Podstaw Techniki,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę energetyczną przykładowego gospodarstwa rolnego, w którym źródłem ciepła i prądu był układ kogeneracyjny zasilany biogazem. Biogaz z przyfermowej biogazowni był w całości zużywany przez silnik spalinowy, a ciepło i energia elektryczna uzyskana w zespole spalinowo-elektrycznym przeznaczone były na zaspokojenie potrzeb gospodarstwa. Bilans energetyczny wykazał około 10% nadwyżkę ciepła uzyskanego w sytemie kogeneracyjnym ponad potrzeby analizowanego gospodarstwa.

Słowa kluczowe: kogeneracja, zespół spalinowo-energetyczny, biogazownia, systemy CHP

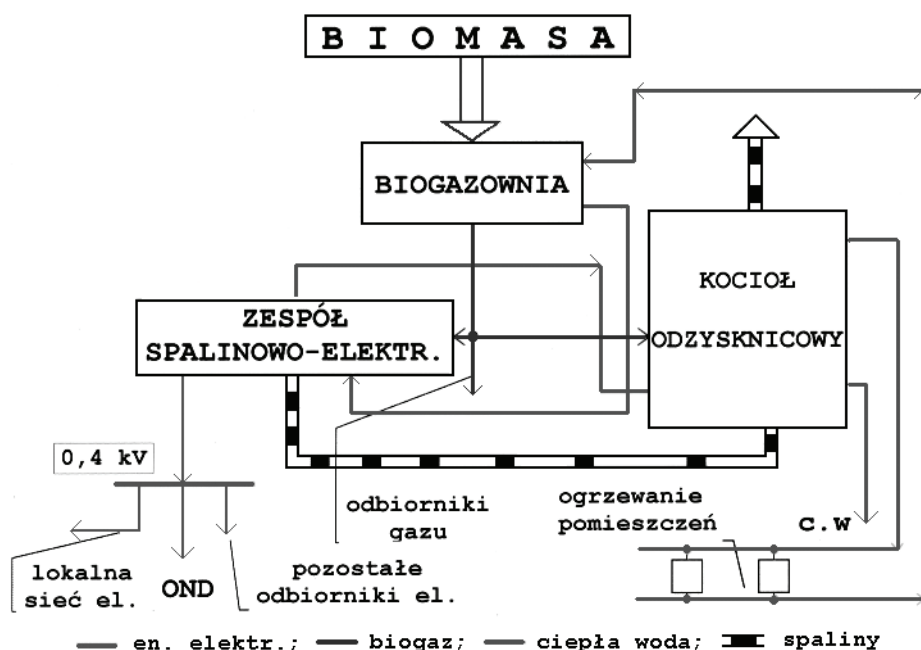
Wstęp

Celem pracy jest porównanie wydajności energetycznej biogazowni i spalinowego zespołu kogeneracyjnego z zapotrzebowaniem na energię elektryczną i ciepło modelowego gospodarstwa rolnego.

Małe wytwórnie energii cieplnej i elektrycznej wykazują wiele zalet z różnych punktów widzenia. Przykładowo, są one mniej uciążliwe dla środowiska naturalnego (mały wskaźnik emisji CO₂), poprawiają bezpieczeństwo energetyczne, stabilizują ceny energii, dają rolnikom możliwość rozszerzenia zakresu produkcji. Biogaz wytwarzany z odpadów organicznych powstających w gospodarstwach rolnych oraz ze specjalnie uprawianych roślin energetycznych jest doskonałym paliwem dla silników spalinowych. Może więc on być wykorzystywany do realizacji skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej dla potrzeb gospodarstwa rolnego z zastosowaniem do tego celu zespołu spalinowo-elektrycznego.

Biogaz może być również spalany bezpośrednio w takich urządzeniach jak: kuchnia gazowa, kocioł wodny gazowy, nagrzewnica powietrza, promiennik podczerwieni, pompa ciepła absorpcyjna, itp. Może więc służyć do przygotowania posiłków, termicznej obróbki płodów rolnych, podgrzewania wody i ogrzewania pomieszczeń. Jest to wariant mniej zaawansowany technicznie w porównaniu z wariantem przedstawionym powyżej i analizowanym w niniejszej pracy.

Zespoły takie charakteryzują się wysoką sprawnością (do 97% energii paliwa silnikowego). Paliwem może być dla nich biogaz, olej roślinny lub gaz pochodzący z zagazowania drewna lub słomy. Założono, że w analizowanym gospodarstwie zespół spalinowo-energetyczny zasilany jest biogazem powstającym w biogazowni przyfermowej i prawie w całości zużywanym przez silnik tego zespołu. Wytworzone w zespole ciepło zużywa się na miejscu do ogrzewania pomieszczeń, do przygotowania ciepłej wody, ogrzewania komór fermentacyjnych biogazowni, itp. Energia elektryczna wykorzystywana jest w gospodarstwie do różnych celów, a jej nadwyżka przekazywana do sieci elektroenergetycznej i sprzedawana, zwiększając dochody gospodarstwa. Jest to układ ekologicznie zrównoważony w przypadku wykorzystania biopaliwa.



Rys. 1. Schemat układu skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej
Fig. 1. Diagram of combined heat and electric energy generating plant

Podstawowe założenia przyjęte do analizy

Analizowane gospodarstwo rolne charakteryzują następujące dane zawarte w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe dane analizowanego gospodarstwa wiejskiego

Table 1. Basic data concerning analysed farm

Liczba mieszkańców (M)	5 osób
Powierzchnia domu mieszkalnego	100 m ²
Obszar użytków rolnych	50 ha
Obsada zwierząt	50 DJP
Kierunek produkcji	chów bydła mlecznego

Dane te umożliwiają określenie:

- Zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło w gospodarstwie domowym;
- Zapotrzebowania na energię na cele produkcyjne gospodarstwa, która może być zrealizowana poprzez kogenerację ciepła i prądu;
- Ilości biogazu możliwej do uzyskania w analizowanym gospodarstwie.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną w gospodarstwie

Roczne zapotrzebowanie energii elektrycznej, składające się z potrzeb gospodarstwa domowego i produkcyjnego wynosi ok. 21,8 MWh, w tym odpowiednio 4,3 MWh i 17,5 MWh, przy dobowym zużyciu średnio ok. 60 kWh.

Do obliczenia powyższych wartości wykorzystano następujące wskaźniki jednostkowego zużycia [Sobański, Turowski 1983]:

- Zastosowania podstawowe w gosp. dom. OND (oświetlenie, napęd, dźwięk, itp.) 500 kWh·(M·a)⁻¹
- Przygotowanie posiłków 350 kWh·(M·a)⁻¹
- Potrzeby produkcyjne (oświetlenie, napędy, konserwacja i przygotowanie paszy, ciepła woda sanitarna) 350 kWh·(ha·a)⁻¹

Zapotrzebowanie ciepła w gospodarstwie

Sprowadza się ono (pomijając suszenie ziarna i trawy) głównie do przygotowania ciepłej wody dla gospodarstwa domowego i ogrzewania pomieszczeń mieszkalnych. Zapotrzebowanie to wynosi ok. 78,5 GJ·a⁻¹, w tym:

- Ogrzewanie pomieszczeń 65,0 GJ·a⁻¹
 - Ciepła woda użytkowa 13,5 GJ·a⁻¹
- Dobowe zapotrzebowanie ciepła zawiera się w granicach od 37 MJ·d⁻¹ do 817 MJ·d⁻¹.
W obliczeniach uwzględniono następujące wskaźniki [Sobański, Turowski 1983]:
- Ciepła woda użytkowa 2700 MJ·(M·a)⁻¹
 - Ogrzewanie pomieszczeń mieszkalnych 65 kWh·(m²·a)⁻¹
- Uwzględniono także czasy użytkowania mocy szczytowej:
- 3000 h·a⁻¹ dla wody ciepłej
 - 2000 h·a⁻¹ dla ogrzewania

Szczegółowe bilanse energii elektrycznej i ciepła a także produkcji i zużycia biogazu przedstawiono w dalszej części artykułu, w tabelach 3, 4 i 5.

Wytwarzanie biogazu

Przy przyjętych parametrach analizowanego gospodarstwa rolnego, powstaje w nim w ciągu doby ok. 3 m³ odpadów organicznych. Przetworzenie ich na biogaz wymaga zainstalowania biogazowni o parametrach jak w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry biogazowni przyfermowej
Table 2. Parameters of biogas plant located at the farm

Pojemność komór fermentacyjnych (temp. fermentacji 35°C i 20-dniowy okres retencji biomasy)	60 m ³
Pojemność zbiornika biogazu	100 m ³
Dobowa produkcja biogazu	60 m ³ ·d ⁻¹
Roczna produkcja biogazu	21000 m ³ ·a ⁻¹

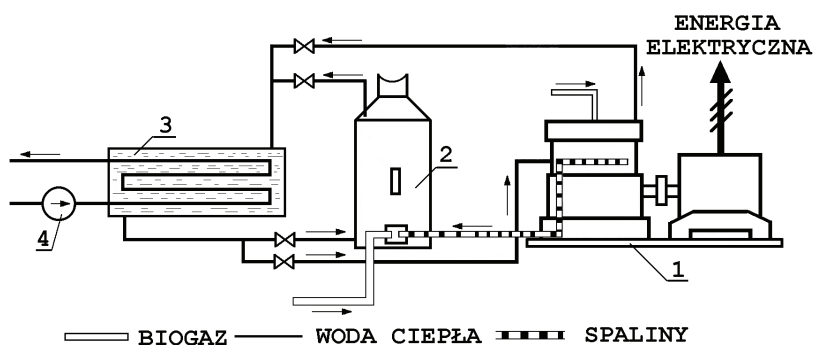
Źródło: obliczenia własne autora

Zużycie energii elektrycznej (na pompowanie biomasy i jej mieszanie w komorach) w biogazowni wynosi 33 kWh·d⁻¹, a w ciągu roku – ok. 11,6 MWh·a⁻¹.

Zapotrzebowanie ciepła na podgrzewanie biomasy wprowadzanej do komory fermentacyjnej i kompensację strat ciepła komór wynosi odpowiednio: 144,5 GJ·a⁻¹ oraz 396 MJ·d⁻¹ – średnio w ciągu roku i 471 MJ·d⁻¹ przy minimalnych temperaturach (-20°C i niższych)

Zespół spalino-elektryczny

Układem realizującym zadanie zaopatrzenia gospodarstwa w ciepło i elektryczność jest zespół spalino-elektryczny (rys. 2).



Rys. 2. Schemat analizowanego układu kogeneracji ciepła i energii elektrycznej: 1 – zespół spalino-elektryczny, 2 – kocioł odzysknicowy, 3 – wymiennik ciepła i zbiornik akumulacyjny, 4 – pompa cyrkulacyjna

Fig. 2. Diagram of an analysed cogeneration system for heat and electric energy: 1 – combustion-electric unit, 2 – waste-heat boiler, 3 – heat exchanger and storage tank, 4 – circulating pump

Podstawą do określenia jego wielkości jest ilość biogazu jaką dysponuje gospodarstwo i czas wykorzystania zespołu w ciągu doby oraz stopień pokrycia zapotrzebowania gospodarstwa na ciepło i energię elektryczną. Przyjęto, że układ skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej powinien składać się z następujących głównych elementów:

- Iskrowego silnika spalinowego chłodzonego cieczą o mocy efektywnej 20 kW oraz prądnicy 3-fazowej asynchronicznej o mocy 15 kW;
- Gazowego kotła kondensacyjnego służącego do utylizacji ciepła spalin i jako kocioł szczytowy, o mocy cieplnej ok. 15 kW;
- Zbiornika akumulacyjnego i wymienników ciepła dla utylizacji ciepła z układu chłodzenia silnika spalinowego;
- Pompy obiegowej.

Zastosowany gazowy kocioł kondensacyjny umożliwia schładzanie spalin poniżej punktu rosy, dzięki czemu znacznie wzrasta sprawność ogólna całego systemu odzysku ciepła. Ciepła woda z układu chłodzenia silnika wykorzystywana jest do ogrzewania komór fermentacyjnych biogazowni oraz do ogrzewania wody dla potrzeb gospodarstwa domowego. Spełnia on również rolę kotła szczytowego.

Bilans energetyczny rozpatrywanego układu

Dobowy bilans energetyczny skojarzonego układu wytwarzania ciepła i energii elektrycznej opracowano przyjmując następujące założenia:

- | | |
|--|-------------------------|
| – Jednostkowe zużycie biogazu na wytworzenie 1 kWh | – 0,65 m ³ |
| – Czas pracy zespołu spalinowo-elektrycznego | – 10 h·d ⁻¹ |
| – Wartość opałowa biogazu | – 22 MJ·m ⁻³ |
| – Obciążenie prądnicy (średnie) | – 9 kW |

Szczegółowe bilanse dobowe i roczne energii elektrycznej, ciepła oraz produkcji i zużycia biogazu przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 3. Bilans energii elektrycznej w gospodarstwie

Table 3. Electric energy balance in the farm

Wyszczególnienie	Jednostki	Ilość
Energia wytworzona przez zespół spalinowo-energetyczny		
- dobowa	kWh·d ⁻¹	90
- roczna	MWh·a ⁻¹	31,5
Potrzeby własne biogazowni		
- dobowe	kWh·d ⁻¹	30
- roczne*	MWh·a ⁻¹	10,5
Zużycie energii w gospodarstwie		
- dobowe	kWh·d ⁻¹	53
- roczne*	MWh·a ⁻¹	21,8
Niedobór energii	MWh·a⁻¹	0,8

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 4. Bilans ciepła w gospodarstwie
Table 4. Heat balance in the farm

Wyszczególnienie	Jednostki	Ilość
Produkcja ciepła przez zespół spaliniowo-energetyczny		
- dobowa	MJ·d ⁻¹	870
- roczna	GJ·a ⁻¹	304,6
Potrzeby własne biogazowni		
- dobowe (średnio)	MJ·d ⁻¹	396
- dobowe (t. min)	MJ·d ⁻¹	472
- roczne*	GJ·a ⁻¹	144,5
Zapotrzebowanie ciepła w gospodarstwie		
- dobowe (średnio)	MJ·d ⁻¹	398
- dobowe (t. min)	MJ·d ⁻¹	817
- roczne	GJ·a ⁻¹	78,5
Saldo ciepła		
- dobowe (średnio)	MJ·d ⁻¹	+76
- dobowe (t. min)	MJ·d ⁻¹	-418*
- roczne	GJ·a ⁻¹	+81,6

*- deficyt ciepła

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 5. Produkcja i zużycie biogazu w gospodarstwie
Table 5. Production and consumption of biogas in the analysed farm

Wyszczególnienie	Jednostki	Ilość
Produkcja biogazowni		
- dobowa	m ³ ·d ⁻¹	60
- roczna	m ³ ·a ⁻¹	21000
Zużycie biogazu przez zespół spaliniowo-elektryczny		
- godzinowe	m ³ ·h ⁻¹	5,9
- dobowe	m ³ ·d ⁻¹	59
- roczne*	m ³ ·a ⁻¹	20650
Nadwyżka	m ³ ·a ⁻¹	350

* - czas pracy zespołu spaliniowo-elektrycznego 3500 h·a⁻¹

Źródło: obliczenia własne autora

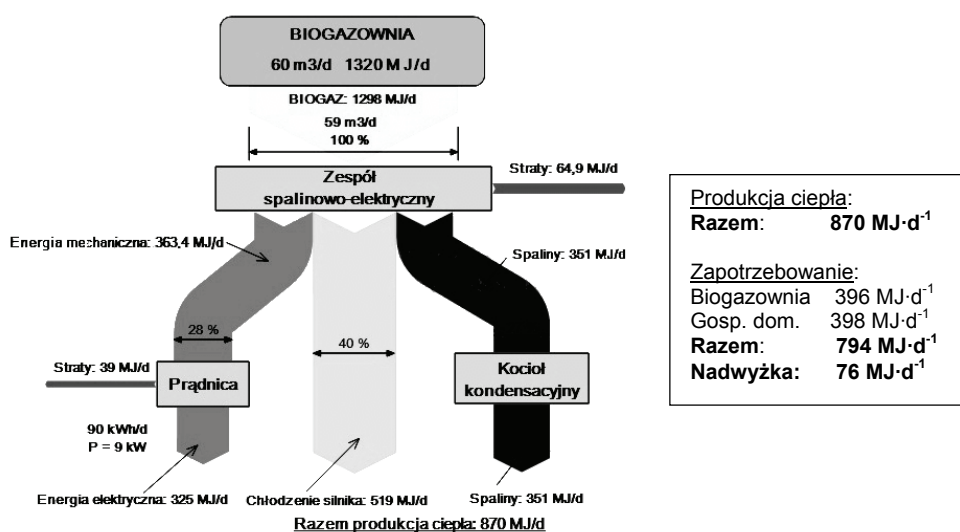
Podsumowanie i wnioski

Dobowy bilans energetyczny analizowanego gospodarstwa przedstawia wykres Sankey'a na rys. 3.

Dokonana analiza wykazała, że nawet średniej wielkości gospodarstwa rolne mogą być samowystarczalne pod względem zaopatrzenia w energię elektryczną i ciepło. Mała elektrociepłownia zainstalowana w gospodarstwie rolnym poza tym, że umożliwia efektywne wykorzystanie paliwa ekologicznego (biogaz, olej roślinny, itp.) pozwala również, przy

Analiza układu kogeneracyjnego...

odpowiedniej organizacji współpracy z lokalną siecią elektroenergetyczną, na poprawę panujących w niej warunków napięciowych oraz ograniczenie strat przesyłu energii elektrycznej do odbiorców wiejskich. Wydaje się, że wobec niewątpliwych korzyści ekologicznych i możliwych do uzyskania korzyści ekonomicznych omawianych systemów wykorzystania biogazu dla potrzeb energetycznych gospodarstw rolnych, a w szczególności kogeneracji ciepła i energii elektrycznej, są godne szerokiego upowszechnienia.



Rys. 3. Wykres Sankey'a dla analizowanego układu kogeneracyjnego

Fig. 3. The Sankey's diagram of the analyzed CHP system

Przeprowadzony bilans wykazał że, zastosowany układ kogeneracji jest w stanie zapewnić zapotrzebowanie ciepła w rozpatrywanej farmie z około 10% nadwyżką.

Bibliografia

- Baader W., Dohne E., Brenndorfer M.** 1979. Biogas in Theorie und Praxis. KTBL-Schrift 229, Darmstadt.
- Sobański R., Turowski S.** 1983. Opracowanie wskaźników jednostkowego zużycia paliw i energii w sektorze bytowo-komunalnym – strefa wiejska. Politechnika Szczecińska, Katedra Technika Ciepłej, maszynopis powielony, Szczecin.
- Wenzlaff R., Jankanski F.** 1984. Biogas. Rationaliserungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL). Kiel.

ANALYSIS OF COGENERATION SYSTEM AS A SOURCE OF HEAT AND ELECTRIC ENERGY IN A MODEL FARM

Abstract. The article presents energy analysis for a model farm using a cogeneration system supplied with gas as a source of heat and electric current. Biogas from biogas plant located at the farm was consumed entirely by a combustion engine, while heat and electric energy generated in the combustion-electric unit were intended to satisfy farm needs. Energy balance shown approximately 10% surplus of heat obtained in the cogeneration system over the needs of the analysed farm.

Key words: cogeneration, combustion-energy unit, biogas plant, CHP systems

Adres do korespondencji:

Stanisław Turowski; e-mail: Rafal.Nowowiejski@zut.edu.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
ul. Papieża Pawła VI/1
71-442 Szczecin