

Wpłynęło 13.03.2012 r.
Zrecenzowano 04.04.2012 r.
Zaakceptowano 16.04.2012 r.

Perspektywy rozwoju rolniczych elektrociepłowni biogazowych w Polsce i Europie

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Krzysztof BUTLEWSKI^{ABEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Poznaniu

Streszczenie

W artykule omówiono podstawowe zagadnienia, dotyczące budowy rolniczych elektrociepłowni biogazowych. Przedstawiono możliwości zwiększenia efektywności elektrycznej elektrociepłowni przez zastosowanie obiegów ORC oraz Kalina. Wskazano na możliwości stosowania różnorodnych urządzeń do zamiany energii chemicznej biogazu na pracę mechaniczną, wśród których przedstawiono turbinę parową, silnik spalinowy oraz wysokotemperaturowe węglanowe ogniwo paliwowe. Stwierdzono, że na obszarach wiejskich należy spodziewać się zapotrzebowania na elektrociepłownie biogazowe o mocy 0,25–2,0 MWe oraz pracujące w systemie pozasieciowym instalacje o mocy 15–150 kWe. Projektowane elektrociepłownie powinny mieć możliwość jak największej produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem ciepła użytkowego i odpadowego. Wskazano na pilną potrzebę prowadzenia badań, wynikającą z zapotrzebowania rynku w Polsce i Europie na budowę nowoczesnych rolniczych elektrociepłowni biogazowych, o wysokiej efektywności.

Słowa kluczowe: rolnicza elektrociepłownia biogazowa, obieg ORC, ogniwo paliwowe

Wstęp

W ciągu ostatnich lat zostały określone kierunki rozwoju energetycznego w świecie. Od dziesiątków lat zastanawiano się, w jaki sposób wyczerpujące się złoża paliw kopalnych można będzie zastąpić innymi źródłami energii. Rozwiązaniem staje się energetyka termojądrowa w połączeniu z ogniwami paliwowymi oraz odnawialnymi źródłami energii (rys. 1). Mechanizm powstawania energii na Słońcu, który polega na syntezie izotopów wodoru – deuteru i trytu – wydaje się przyszłość-



PRZYSZŁOŚĆ ENERGETYCZNA ŚWIATA

ENERGETIC FUTURE OF THE WORLD

ROZWÓJ DEVELOPMENT

Energia plazmowa Plasma Energy

- energia dla dużych miast i fabryk energy for big towns and factories
- tani prąd cheap electricity
- produkcja wodoru hydrogen production

Odnawialne źródła energii Renewable Energy Sources

- energia Słońca Sun's energy
 - fotowoltaika photovoltaics
 - panele słoneczne solar panels
- energia wiatru wind energy
 - farmy wiatrowe wind farms
 - małe wiatraki o osi pionowej small, vertical axis wind turbines
- biomasa biomass
 - spalanie biomasy biomass combustion
 - fermentacja biomasy biomass fermentation
- ciepło wód geotermalnych i powierzchni Ziemi geothermal water and Earth surface heat
- energia potencjalna i kinetyczna rzek, mórz i oceanów, wykorzystanie spadku wód oraz przemieszczania się mas wody – fale, przyływy i odpływy – zapory i pławy
potential and kinetic energy of the rivers, seas and oceans, use of the water gradient and water mass discharge – waves, high and low tides – dams, buoys

Ogniwa paliwowe – wszechstronne zastosowanie przede wszystkim do napędu samochodów i pojazdów, a także w zdecentralizowanym systemie produkcji energii. Produkcja wodoru w oparciu o tani prąd pochodzący z elektrowni plazmowych.

Fuel Cells – versatile application mainly for cars and vehicles as well as for decentralized energy production system. Hydrogen production based on the cheap energy coming from the plasma power plants

ZANIK DISAPPEARANCE

- Stopniowy zanik konwencjonalnych elektrowni wykorzystujących paliwa kopalne, takie jak: węgiel, gaz, ropa naftowa
Gradual disappearance of the power plants using fossil fuels like coal, oil, gas
- Ograniczony rozwój energetyki jądrowej i stopniowe zamykanie elektrowni jądrowych
Limited development of the nuclear power industry and gradual closing down of nuclear power plants

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Koncepcja przyszłości energetycznej świata
Fig. 1. The conception of world energetic future

ciowym źródłem taniej i czystej energii na Ziemi. W wysokiej temperaturze rzędu milionów stopni Celsjusza atomy tracą swoje elektrony, tworząc materię naładowanych cząstek, zwanych plazmą. Na Ziemi syntezę jądrową przeprowadza się w komorze w kształcie torusa, utrzymując plazmę w pewnej odległości od jej ścian za pomocą pola magnetycznego. Produktem syntezy jądrowej są neutrony i jądra atomu helu – nośniki znacznej ilości energii. Pochodząca z syntezy jądrowej energia będzie przeznaczona głównie do zaspokojenia potrzeb energetycznych dużych miast oraz do wytwarzania wodoru, przeznaczonego do zasilania ogniw paliwowych, które zastąpią silniki spalinowe w pojazdach oraz staną się częścią zdwywersyfikowanego systemu energetycznego [BUTLEWSKI 2011].

Oprócz rozwoju energetyki termojądrowej (plazmowej) oraz ogniw paliwowych, trzecim podstawowym źródłem energii stają się źródła odnawialne, które pełnią szczególnie ważną rolę w systemie zrównoważonych, rozproszonych źródeł energii. Do źródeł tych zalicza się energię promieniowania Słońca, ciepło Ziemi, energię wiatru i wód geologicznych, potencjał i energię kinetyczną rzek, mórz i oceanów oraz energię zawartą w biomasie oraz odpadach organicznych.

Szczególnie ważnym źródłem energii w obszarach wiejskich jest wykorzystanie energii biomasy przez spalanie lub wytwarzanie biogazu w procesie fermentacji metanowej w obiektach, zwanych biogazowniami [MYCZKO 2011; MYCZKO i in. 2011]. Otrzymany biogaz, po oczyszczeniu i uszlachetnieniu, jest kierowany do urządzenia zamieniającego energię chemiczną gazu na energię mechaniczną. Najpopularniejszym obecnie urządzeniem, stosowanym do tej zamiany, jest silnik spalinowy oraz – zdobywający coraz większe uznanie – silnik Stirlinga.

Budowa rolniczej elektrociepłowni biogazowej

Elektrociepłownia biogazowa składa się z następujących elementów: komory fermentacyjnej, układu oczyszczania i uszlachetniania biogazu, urządzenia do zamiany energii chemicznej gazu na energię elektryczną lub ciepło czynnika roboczego oraz dodatkowych urządzeń, służących do zwiększenia sprawności elektrycznej elektrociepłowni, takich jak: obiegi ORC i Kalina. Wśród urządzeń, służących do zamiany energii chemicznej biogazu na pracę mechaniczną, można wymienić między innymi silnik spalinowy i silnik Stirlinga, natomiast na ciepło czynnika roboczego – różnego rodzaju kotły spalania. W ogniwie paliwowym następuje bezpośrednia zamiana energii chemicznej biogazu – po wcześniejszym reformingu – na prąd elektryczny.

Komora fermentacyjna. Obecnie budowane komory do beztlenowej fermentacji organicznych substratów wejściowych można podzielić na trzy grupy:

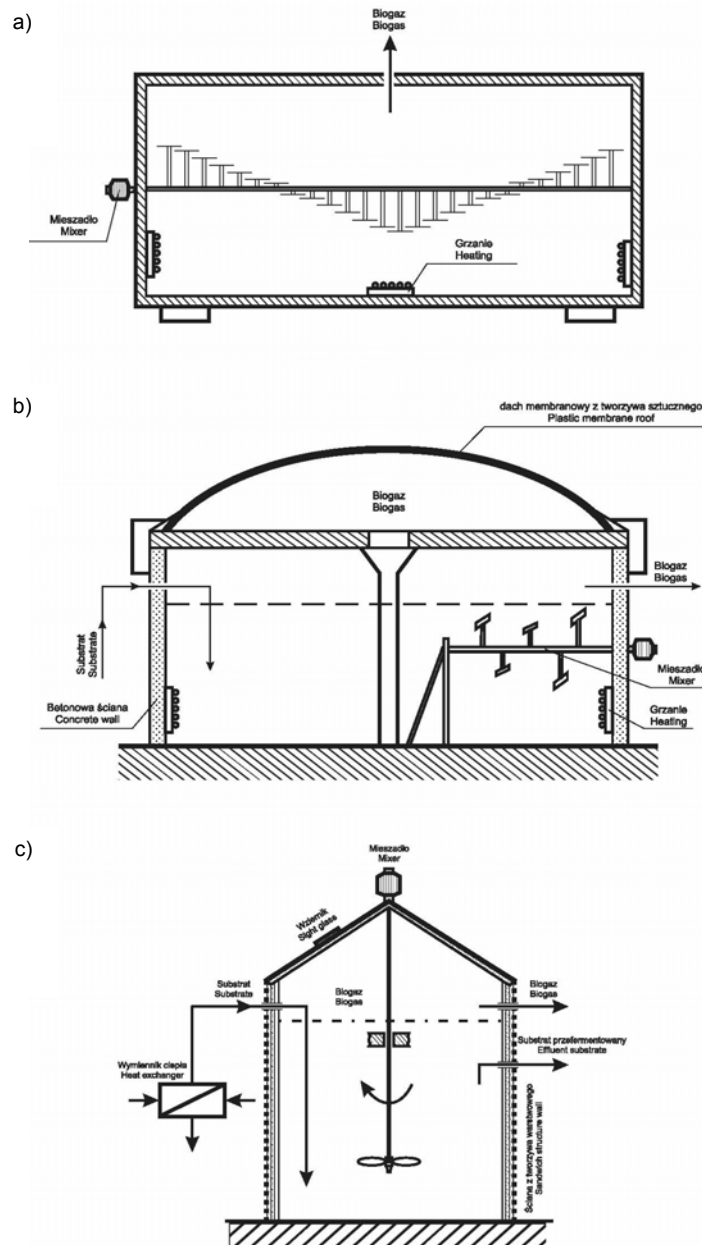
- małe, poziome komory stalowe i kontenerowe,
- średniej wielkości pionowe komory betonowe,
- duże pionowe komory stalowe, betonowe lub z tworzywa warstwowego.

Budowa przykładowej, małej komory fermentacyjnej jest przedstawiona na rysunku 2a. Objętość tego typu komory wynosi zwykle od 50 do 150 m³ i służy do fermentacji głównie obornika i nawozu kurzego ze względu na panujące w niej dobre warunki mieszania nawet odpadów stałych. Średnia komora fermentacyjna (rys. 2b) ma objętość zwykle od 500 do 1500 m³ i jest wyposażona w system rur grzewczych, zamocowanych wzdłuż ścian. Zbiornik ma dwa lub więcej mieszadła. U góry zbiornika znajduje się dach z membraną, stanowiący zbiornik gazu. Duża komora fermentacyjna ma objętość od 1500 do 5000 m³ (rys. 2c). Mieszanie następuje najczęściej za pomocą mieszadła, działającego w sposób ciągły i umieszczonego osiowo w dachu. Substrat wejściowy, przed podaniem do komory, jest coraz częściej wstępnie podgrzewany, dzięki czemu skraca się czas potrzebny do fermentacji do ok. 20 dni. Zwykle duże biogazownie mają dwa lub trzy zbiorniki fermentacyjne [GŁASZCZKA i in. 2010].

Układy oczyszczania i uszlachetniania biogazu. Biogaz zawiera zwykle 50–70% metanu, 30–40% dwutlenku węgla oraz niewielkie ilości wodoru, azotu, siarkowodoru, amoniaku oraz pary wodnej. Istnieje wiele metod fizycznych i chemicznych, umożliwiających uzyskanie biogazu o określonej zawartości poszczególnych składników biogazu. Wybór metod zależy od technologii konwersji gazu. W przypadku spalania gazu w silniku spalinowym istotna jest zawartość siarkowodoru ze względu na jego agresywne działanie w stosunku do części metalowych. Spalanie gazu w palniku nie wymaga już takiego rygorystycznego oczyszczania, natomiast korzystna jest jak najmniejsza zawartość dwutlenku węgla w stosunku do metanu ze względu na większą wartość opałową biogazu. Gdy biogaz stosuje się w węglanowym ogniwie paliwowym, duża zawartość dwutlenku węgla jest wręcz zjawiskiem korzystnym, wynikającym z dużego zapotrzebowania na ten gaz w procesach reakcji elektrochemicznych, występujących w ogniwie. Wśród technologii uszlachetniania biogazu można wymienić: absorpcję zmiennociśnieniową, separację membranową, separację kriogeniczną i płuczkę wodną [LECHWACKA 2009].

Rozwój biogazowni w Polsce

Teoretyczny potencjał surowcowy w Polsce szacuje się na wystarczający do wytworzenia 5 mld m³ biogazu [Ministerstwo Gospodarki 2010]. Zakłada się wykorzystanie w pierwszej kolejności produktów ubocznych rolnictwa, płynnych i stałych odchodów zwierzęcych oraz produktów ubocznych i pozostałości przemysłu rolno-spożywczego. W drugiej kolejności przewiduje się prowadzenie upraw roślinnych z przeznaczeniem na substrat do biogazowni. Ocenia się, że jest to możliwe na ok. 700 tys. ha. W Polsce zużywa się ok. 14 mld m³ gazu ziemnego, w tym odbiorcy indywidualni z terenów wiejskich wykorzystują ok. 500 mln m³ gazu. Biogaz mógłby w znacznym stopniu pokryć zapotrzebowanie kraju na gaz oraz w całości zaspokoić potrzeby odbiorców z terenów wiejskich oraz dodatkowo dostarczyć 125 tys. MW_{he} (energii elektrycznej) i 200 tys. MW_{hc} (energii cieplnej). W Polsce istnieje potrzeba budowy rolniczych elektrociepłowni biogazowych, na co wskazują dokumenty opracowane przez Ministerstwo Gospodarki, a także przez prywatne i państwowe instytucje badawcze i społeczne [KRZAK 2009; Ministerstwo Gospodarki 2010].



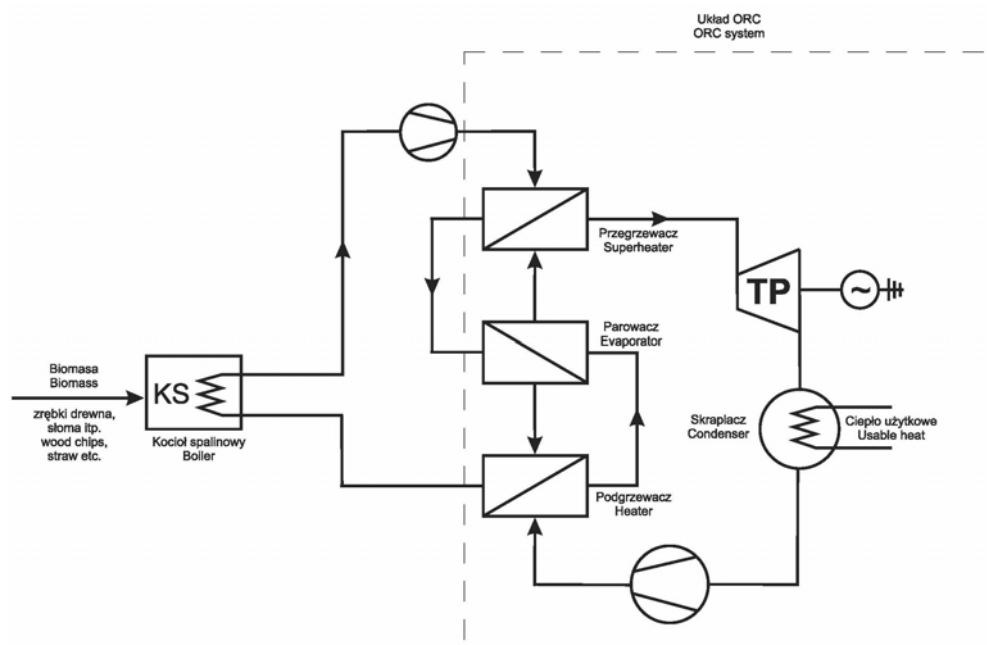
Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 2. Przykładowe komory fermentacyjne: a) mała, pozioma komora kontenerowa; b) średniej wielkości, pionowa komora betonowa z dachem membranowym; c) duża, pionowa komora z tworzywa warstwowego
 Fig. 2. Examples of anaerobic digesters: a) small, horizontal container digester; b) upright, standard-size, concrete digester with membrane roof; c) upright, large-size, sandwich-structured digester

Koncepcja budowy rolniczych elektrociepłowni biogazowych

W ostatnich latach w związku z potrzebą rozwoju energetyki rozproszonej, w której energia pochodzi ze źródeł odnawialnych, takich jak: wiatr, promieniowanie słoneczne, potencjał przyływu i ruchu wody, biomasa, ciepło wód podziemnych i powierzchni Ziemi, oraz ze względu na potrzebę zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych – przede wszystkim dwutlenku węgla i metanu, prowadzone są badania, dotyczące budowy i eksploatacji małych i średnich elektrowni i elektrociepłowni, które umożliwiają uniezależnienie indywidualnych oraz małych i średnich odbiorców od dostaw energii, pochodzącej z dużych linii przesyłowych.

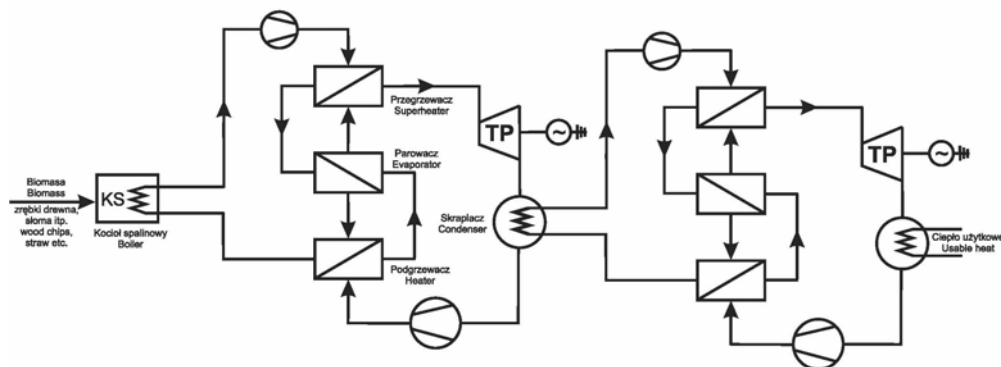
Szczególnie ważnym kierunkiem rozwoju energetyki w Polsce i Europie jest budowa elektrociepłowni, wykorzystujących biomasę jako źródło energii. Biomasa może być bezpośrednio spalana w kotle lub może służyć do wytwarzania biogazu. Schemat elektrociepłowni, w której biomasa (np. zrębki drewna, rośliny energetyczne itp.) jest spalana w kotle, w którym spaliny ogrzewają olej termalny, stanowiący nośnik energii i służący do ogrzewania czynnika roboczego w obiegu ORC (ang. „organic rankine cycle”), zamieszczono na rysunku 3.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3. Schemat elektrociepłowni z kotłem spalinyowym na biomasę oraz układem ORC
 Fig. 3. Schematic diagram of heat and power plant with biomass-fired boiler and ORC unit

Obieg ten składa się z wymiennika ciepła (podgrzewacz, parowacz, przegrzewacz), turbogeneratora, skraplacza i pompy. W parowniku następuje produkcja pary czynnika roboczego, którym jest organiczna ciecz niskowrząca, np. izobenzen czy izobutan. Przegrzana para rozpręża się w turbinie i trafia do kondensatora, w którym oddaje ciepło wodzie użytkowej. Przykładem tego typu rozwiązania jest elektrociepłownia w Ostrowie Wielkopolskim. Moduł siłowni ORC o mocy cieplnej 7,3 MWc i mocy elektrycznej 1,5 MWe jest zasilany olejowym nośnikiem ciepła o temperaturze na wyjściu i wejściu odpowiednio 310 i 250°C. Olej ten ogrzewany jest w kotle cieplnym o mocy cieplnej 9 MW i sprawności 79%, opalanym zrębkami drewna [NOWAK 2011]. W celu zwiększenia sprawności elektrycznej przedstawionego układu ciepło użytkowe, pochodzące z kondensatora, można częściowo zamienić na energię elektryczną za pomocą dodatkowego układu ORC lub Kalina (rys. 4).

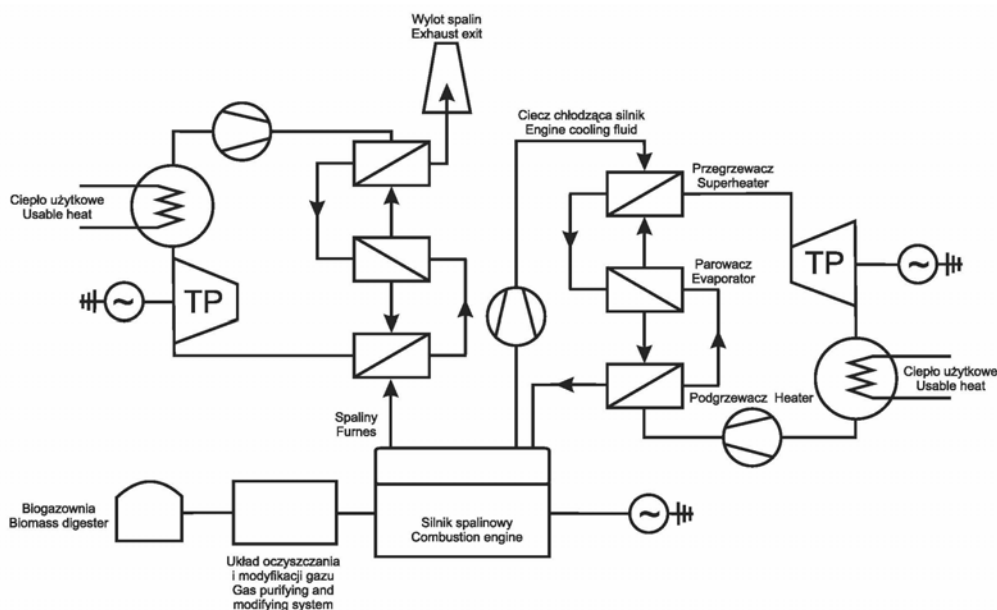


Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 4. Schemat elektrociepłowni z kotłem spalinywym na biomasę i obiegiem ORC oraz z dodatkowym układem ORC w celu zwiększenia sprawności elektrycznej elektrociepłowni

Fig. 4. Schematic diagram of the heat and power plant with biomass-fired boiler and ORC system, with an additional ORC unit to increase electric efficiency of the plant

Obecnie w rolniczych elektrociepłowniach biogazowych najczęściej stosuje się silnik spalinowy. Sprawność elektryczna elektrociepłowni z silnikiem spalinowym wynosi ok. 35–45%. W celu zwiększenia sprawności elektrycznej kosztem ciepła użytkowego, pochodzącego z układu chłodzenia, silnik spalinowy może zostać nadbudowany obiegiem parowym ORC. W ten sposób można zwiększyć sprawność elektryczną elektrociepłowni o kilka procent. Dodatkowym źródłem ciepła, możliwym do zamiany na energię elektryczną w silniku i uzyskania dodatkowych kilku procent sprawności elektrycznej elektrociepłowni, jest ciepło spalin, które w wymienniku ciepła jest zamieniane na energię niskowrzącego czynnika roboczego rozprężanego w turbogeneratorze. Schemat elektrociepłowni z silnikiem spalinowym, w której założono uzyskanie najwyższej możliwej sprawności elektrycznej z wykorzystaniem obiegów ORC, przedstawiono na rysunku 5.

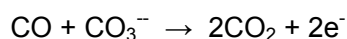
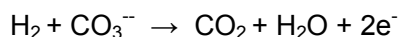


Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

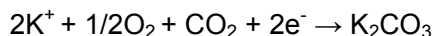
Rys. 5. Schemat biogazowej elektrociepłowni z silnikiem spalinowym z nadbudowami ORC zasilanymi ciepłem spalin oraz cieczy chłodzącej silnika

Fig. 5. Schematic diagram of heat and power plant with the combustion engine and ORC units supplied with heat from combustion gases and engine cooling liquid

Innym ważnym rozwiązaniem, dotyczącym rolniczych elektrociepłowni biogazowych, jest zastosowanie ogniwa paliwowego. W przypadku biogazu najefektywniejszym rozwiązaniem jest wykorzystanie węglanowego ogniwa paliwowego, które pracuje w temperaturze 600–700°C. W ogniwie węglanowym ujemne jony CO_3^- wędrują do anody, na której oddają elektrony i reagują z paliwem według reakcji [SURGAŁA 2008; SZARGUT, ZIĘBIK 2007]:

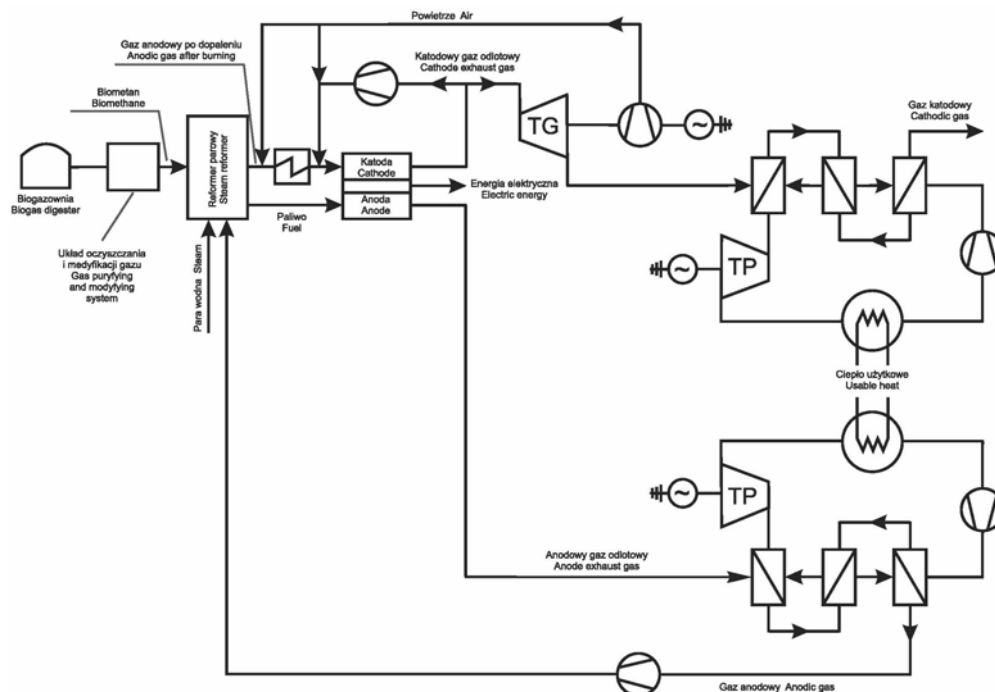
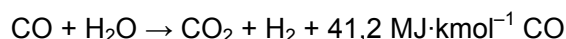
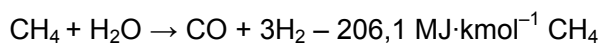


Jony K^+ lub Li^+ wędrują do katody, na której reagują z tlenem i dwutlenkiem węgla, tworząc węglan:



Do katody należy doprowadzić, oprócz powietrza, także dwutlenek węgla. Energia elektryczna ogniwa powstaje wskutek przepływu elektronów z katody do anody. Powstawaniu tej energii w węglanowym ogniwie paliwowym towarzyszy wydzielanie się katodowego i anodowego gazu odlotowego o dużej entalpii, która

w przedstawionym schemacie (rys. 6) jest wykorzystywana do wytwarzania energii elektrycznej za pomocą obiegów ORC. Konwersję biometanu do wodoru przeprowadza się w reformerze, do którego dostarcza się nadmiar pary wodnej:



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 6. Schemat biogazowej elektrociepłowni z ogniwem paliwowym z obwodami ORC zasilanymi odłotowym gazem anodowym i katodowym

Fig. 6. Schematic diagram of biogas heat and power plant with the fuel cell and ORC units supplied with anode and cathode tail gas

Ogniwo działa w warunkach podwyższonego ciśnienia. Sprężarka powietrza jest napędzana turbiną gazową, zasilaną gorącym gazem katodowym. Nadmiar mocy turbiny jest zużywany do produkcji elektryczności w generatorze.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie zebranej literatury można stwierdzić, że w Polsce i Europie energetyka będzie rozwijać się w dwóch kierunkach. Pierwszy dotyczy rozwoju dużych siłowni plazmowych, które szczególnie mocno są wspierane przez Unię Europejską w ramach dwóch wielkich projektów – ITER i DEMO. Europejskie

efekty gospodarcze, wynikające z prac w ramach obu projektów, mogą okazać się spóźnione wobec znacznego przyśpieszenia badań w zakresie energetyki plazmowej, podjętych przez Stany Zjednoczone. Drugi kierunek dotyczy rozwoju rozproszonej, odnawialnej, małej i średniej energetyki, w której ważną rolę odgrywają rolnicze elektrociepłownie biogazowe.

Na podstawie dotychczasowych osiągnięć w zakresie budowy urządzeń energetycznych i ciepłowniczych oraz obiektów i urządzeń do wytwarzania biogazu możliwe staje się zaprojektowanie efektywnych pod względem wytwarzania energii rolniczych elektrociepłowni biogazowych, jeśli uwzględni się niżej podane wnioski.

1. Na obszarach wiejskich należy spodziewać się zapotrzebowania na elektrociepłownie biogazowe o mocy ok. 0,25–2,0 MWe. Ponadto można oczekiwać zapotrzebowania na małe, pracujące w systemie pozasieciowym instalacje o mocy w zakresie 15–150 kWe.
2. Należy projektować elektrociepłownie z możliwością jak największej produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem powstającego ciepła użytkowego i odpadowego.
3. Istnieje duża gama możliwości projektowania rolniczych elektrociepłowni biogazowych. Największą efektywność energii elektrycznej uzyska się, stosując ogniwa paliwowe z obiegami ORC.
4. Należy prowadzić prace projektowe, dotyczące unifikacji rozwiązań w zakresie budowy rolniczych elektrociepłowni biogazowych.

Praca została wykonana w ramach zadania badawczego nr 12.07.1979/2011, realizowanego w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, Oddział w Poznaniu.

Bibliografia

BUTLEWSKI K. 2011. Perspektywy rozwoju nowych źródeł energii w Polsce i Europie. W: Popularyzacja prac badawczo-rozwojowych z zakresu odnawialnych źródeł energii. Seminarium naukowe. 19.09.2011. Poznań. Koszalin. Ekspert-Sitr Sp z o.o. s. 15–24.

GŁASZCZKA A., WARDAL W.J., ROMANIUK W., DOMASIEWICZ T. 2010. Biogazownie rolnicze. Warszawa. MULTICO. ISBN 978-83-7073-432-9 ss. 75.

KRZAK J. 2009. Biogazownie w Polsce – niedocenione źródło energii. Infos. Nr 4 (51) s.1–4.

LECHWACKA M. 2009. Technologie uszlachetniania biogazu do jakości gazu ziemnego. Czysta Energia. Nr 12 (100) s. 26–27.

Ministerstwo Gospodarki 2010. Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020. Warszawa [online]. [Dostęp 30.04.2012]. Dostępny w Internecie: http://www.mg.gov.pl/files/upload/11898/Kierunki%20rozwoju%20biogazowni%20rolniczych%20w%20Polsce%20dokument%20przyjety%20przez%20Rade%20Ministrow_13.07.2010.pdf

MYCZKO A. 2011. Agro-energetic systems for synergistic effect in production and energy use in agricultural plants. W: Building – Energy – Environment. Oder Partnership Workshop, 15.09.2010. Zielona Góra. UZ s. 33–39.

MYCZKO A., MYCZKO R., KOŁODZIEJCZYK T., GOLIMOWSKA R., LENARCZYK J., JANAS Z., KLIBER A., KARŁOWSKI J., DOLSKA M. 2011. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Warszawa Poznań. ITP. ISBN 978-83-62416-23-3 ss.140.

NOWAK W. 2011. Energia elektryczna ze źródeł geotermalnych – siłownie ORC. *Czysta Energia*. Nr 2 (114) s. 32–35.

SURYGAŁA J. 2008. *Wodór jako paliwo*. Warszawa. WNT. ISBN 978-83-204-3457-6 ss.177.

SZARGUT J., ZIĘBIK A. 2007. *Skojarzone wytwarzanie ciepła i elektryczności – elektrociepłownie*. Katowice. PAN. ISBN 978-83-60716-17-5 ss. 217.

Krzysztof Butlewski

**DEVELOPMENT PROSPECTS FOR AGRICULTURAL BIOGAS HEAT
AND POWER GENERATION PLANTS IN POLAND AND EUROPE**

Summary

Paper discussed the main issues regarding agricultural biogas power and heat generation plants. The possibilities of increasing electric energy efficiency of heat and power plants by additional application of the ORC and Kalina cycles, were presented. The chances of using different kinds of installations for converting biogas chemical energy into mechanical work were indicated. Among them, the steam turbine, combustion engine and high-temperature carbonate fuel cell were described. It was stated that on the rural areas the demand for biogas heat and power plants of 0.25–2.0 MWe, as well as for the installations working in outside-network system of 15–150 kWe, should be expected. Designed heat and power plants ought to be able to generate as much as possible electric energy, with the use of usable and waste heat, either. Paper emphasized an urgent necessity of carrying out the research works concerning development of agricultural biogas heat and power plants of high efficiency, as resulted from the Polish and European market demands.

Key words: agricultural biogas heat and power plant, ORC cycle, fuel cell

Adres do korespondencji:

dr inż. Krzysztof Butlewski
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Oddział w Poznaniu
ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań
tel. 61 820-33-31; e-mail: k.butlewski@itep.edu.pl

