

EVALUATION OF THE ECOLOGICAL EFFECT ON THE EXAMPLE OF BIOGAS PLANT OF THE EXPERIMENTAL STATION OF NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF ANIMAL PRODUCTION IN GRODZIEC ŚLĄSKI

Summary

The aim of research was to determine the ecological effect of the energy production in the agricultural biogas plant in Kostkowice by calculating CO₂ and other greenhouse gases balance in a production process, comparing the quantity of greenhouse gases (CO₂, SO₂, NO_x) produced in the combustion process of hard bituminous coal and biogas; of exploiting heat of the cogeneration as substitute of the natural gas in heating of animal's houses; of reduction of the greenhouse gas emission from liquid and solid manures. It appears from collected data that the total CO₂ emissions reduction gained above 4 000 tons what almost 3/4 constituted methane from liquid and solid manures. Utilisation of all produced products (electric energy, heat, digestat) of biogas plant with the cogeneration is an argument for the propagation of the development of this direction which gives the possibility of reducing the greenhouse effect, also caused by an agricultural production. For the development of energetics based on biomass, such regulations which give to investors the guarantee of the assumed profitability are of great importance. The lack of stability expose and discourage for using this essential renewable energy source.

Key words: biogas, electric energy, greenhouse gases, comparison, balance

OCENA EFEKTU EKOLOGICZNEGO NA PRZYKŁADZIE AGROBIOGAZOWNI INSTYTUTU ZOOTECHNIKI PIB ZAKŁADU DOŚWIADCZALNEGO GRODZIEC ŚLĄSKI

Streszczenie

Celem badań było określenie ekologicznego efektu produkcji energii w biogazowni rolniczej w Kostkowicach poprzez obliczenie bilansu CO₂ i innych gazów cieplarnianych w procesie produkcyjnym, porównując ilości gazów cieplarnianych (CO₂, SO₂, NO_x) wytwarzanych w procesie spalania węgla kamiennego i biogazu; wykorzystania ciepła kogeneracji jako substytutu gazu ziemnego w ogrzewaniu pomieszczeń inwentarskich; ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z obornika i gnojowic. Z uzyskanych danych wynika, że łączne ograniczenie emisji CO₂ WE wyniosło ponad 4 000 ton z czego prawie 3/4 stanowił metan pochodzący z gnojowic i oborników. Zagospodarowanie wszystkich wytworzonych produktów (energia elektryczna, ciepła, dygestat) agrobiogazowni z kogeneracją jest argumentem dla propagacji rozwoju tego kierunku, który daje możliwość zmniejszenia efektu cieplarnianego, jaki jest udziałem także produkcji rolnej. Dla rozwoju energetyki opartej o biomasę istotne są takie regulacje prawne, które inwestorom dają gwarancje zakładanej rentowności produkcji. Brak stabilności naraża i zniechęca do wykorzystywania tego ważnego odnawialnego źródła energii.

Słowa kluczowe: biogaz, energia elektryczna, gazy cieplarniane, porównanie, bilans

1. Wstęp

Już w połowie ubiegłego stulecia pojawiły się naukowe dowody zależności jakie występują pomiędzy niekorzystnymi, niosącymi globalne zagrożenia zmianami klimatu, a działalnością człowieka związaną z industrializacją i urbanizacją, wzrostem liczby ludności, a także nieodpowiedzialnym korzystaniem ze środowiska. Obserwowane od kilkudziesięciu lat zmiany klimatu, oraz niepokojące anomalie przyrodnicze spowodowały wzrost zainteresowania tymi zjawiskami w kręgach naukowych oraz tworzenie uregulowań prawnych. W latach 60 – tych ubiegłego wieku rozpoczęto pomiary stężenia CO₂ i wówczas stwierdzono zawartość 310 ppm, obecnie stężenie wynosi 380 ppm a jego roczny przyrost 2 ppm. Zatem stale i z coraz większą siłą wyciskamy „śląd węglowy”. Wartość krytyczną, która szacowana jest na 450 ppm osiągniemy około 2040 – 2050 r. Światowy sektor energetyczny emituje rocznie do atmosfery 23 mld ton CO₂ i ma wśród emitentów 37 % udział [9].

Rolnictwo, w tym przede wszystkim produkcja zwierzęca odpowiada za około 36% emisji gazów cieplarnia-

nych, wśród których metan oraz związki azotowe emitowane do atmosfery w wyniku składowania obornika i gnojowic stanowią jedno z największych zagrożeń dla środowiska [3]. Efekt cieplarniany metanu 21-krotnie a tlenków azotu 310 razy przewyższa efekt cieplarniany wywołany dwutlenkiem węgla. Stąd zainteresowanie zagospodarowaniem produktów ubocznych produkcji zwierzęcej dla osiągnięcia efektu ekologicznego. Jedną z takich metod są biogazownie rolnicze, gdzie w sposób kontrolowany następuje uwalnianie metanu przede wszystkim z obornika i gnojowicy [1], a w procesie kogeneracji jego zamiana na energię elektryczną i ciepłą. Zaletą biogazowni rolniczych jest to, że świeży obornik i gnojowica, zużywane na bieżąco, nie emitują gazów oraz odorów szkodliwych dla środowiska. Wydajność energetyczna świeżych nawozów jest ponadto wyższa niż składowanych, co ma dodatkowy efekt ekonomiczny.

Dodatni bilans emisji gazów cieplarnianych w biogazowniach rolniczych polega także na tym, że produkują energię elektryczną i ciepłą z biomasy, która jest niekwestionowanym odnawialnym źródłem energii, wykorzystują-

cym dwutlenek węgla w procesach życiowych. Proekologicznym produktem jest uzyskany w wyniku fermentacji metanowej dygestat, pozbawiony odorów, nie emitujący do atmosfery, w przeciwieństwie do gnojowicy i obornika, metanu oraz szkodliwych związków azotowych, które występują w nim w formie zmineralizowanej, a mający cenne właściwości nawozowe [5, 6].

Biogazownie rolnicze wpisują się w ten obszar nowoczesnego rolnictwa, które potrafi w sposób efektywny wykorzystać wszystkie atuty swych produktów i przestrzegać wymogów środowiska, którego jest znaczącym elementem [7]. Przykładem jest Agrobiogazownia Instytutu Zootechniki Państwowego Instytutu Badawczego Grodziec Śląski w Kostkowicach.

2. Cel badań

Celem badań było potwierdzenie hipotezy ekologicznego efektu produkcji energii w biogazowniach rolniczych poprzez obliczenie bilansu CO₂ i innych gazów cieplarnianych w procesie produkcyjnym, w którym zastosowano substraty o stwierdzonej emisji gazów szkodliwych dla środowiska.

3. Materiał i metoda

Doświadczenie przeprowadzono w biogazowni rolniczej Zakładu Doświadczalnego Instytut Zootechniki Grodziec Śląski eksploatowanej od drugiej połowy 2011 roku w Kostkowicach. Substratami do produkcji biogazu są obornik, gnojowica, gnojówka, niedojady powstające w chowie bydła mlecznego oraz trzody chlewnej, których pomieszczenia znajdują się w sąsiedztwie biogazowni. Na użytkach rolnych Zakładu produkowane są pasze dla zwierząt (zboża, zielona masa z użytków zielonych, motylkowych oraz kukurydzy), a 10% powierzchni UR przeznaczonych jest pod uprawę roślin energetycznych dla potrzeb biogazowni. Przeznaczenie takiego obszaru pod uprawę roślin energetycznych dla potrzeb biogazowni wynika z konieczności efektywniejszego wykorzystania fermentacji metanowej poprzez dodatek substratów energetycznych oraz podniesienia wartości nawozowej dygestatu.

Obornik i gnojowica były na bieżąco wykorzystywane w biogazowni, dzięki czemu gazy cieplarniane, głównie metan (CH₄) nie były emitowane do atmosfery.

W badaniach wyznaczono trzy etapy ekologicznego profitu fermentacji metanowej produktów odpadowych produkcji zwierzęcej:

I etap: obliczono na podstawie analiz chemicznych:

- ilość metanu uzyskana z obornika bydlęcego w roku 2012,
- ilość metanu uzyskana z gnojowicy bydlęcej i świńskiej w roku 2012.

Dla obliczeń wykorzystano wyniki analiz chemicznych obornika i gnojowicy oraz wskaźnikowo ilość biogazu wytworzonego z jednostki suchej masy organicznej (smo).

Z tej ilości przyjęto 30% jako ilość, która składowana w okresie wegetacji oraz w okresie zakazu wywozu na pola jest emitowana do atmosfery powodując efekt cieplarniany.

II etap: obliczono produkcję energii elektrycznej i jej efekt

ekologiczny w porównaniu z tą samą ilością energii wyprodukowanej z węgla kamiennego. Efekt ekologiczny wyrażono w postaci ilości emisji CO₂, NO_x oraz SO₂, popiołów i pyłów na podstawie przyjętych wskaźników (g/GJ).

dla węgla kamiennego: 100 000 CO₂, 150 NO_x, 300 SO₂
dla biogazu: 50 000 CO₂, 50 NO_x, 3 SO₂

III etap: obliczono ilość uzyskanego ciepła kogeneracji, które wykorzystano do ogrzewania pomieszczeń inwentarskich, a które było substytutem ciepła uzyskiwanego z gazu ziemnego, który w wyniku spalania emituje do atmosfery określoną ilość gazów cieplarnianych. Ciepło to poprzez system wymienników, ciepłowodami jest doprowadzone do poszczególnych obiektów inwentarskich i biurowych i włączone do sieci centralnego ogrzewania. Medium wymiany jest woda (obieg zamknięty).

Przyjęto następujące wskaźniki emisji dla 1 m³ gazu ziemnego:

SO₂ - 0,002g

NO_x - 1,75 g

CO₂ - 2 000 g

4. Wyniki i dyskusja

Badania wykonano w roku 2012. Obornik pochodził ze ścielenia stanowisk oraz korytarzy paszowych w oborze kurtynowej na 168 krów mlecznych oraz w jałowniku i cielniku. Chów bydła prowadzony jest w cyklu zamkniętym. Chów świń także w cyklu zamkniętym prowadzony jest w technologii bezściołowej.

Gnojowice bydlęca i świńska gromadzone w zbiorniku otwartym pochodzą ze stanowisk i korytarzy gnojowo-spacerowych obory oraz z mycia poczekalni i stanowisk udojni. Zbiornik gnojowic połączony jest z biogazownią systemem rur i przepompowni, za pomocą których dozowane są one jako substrat płynny, zależnie od potrzeb procesów biochemicznych zachodzących w fermentorze.

Wykonano analizy chemiczne (zawartość suchej masy, suchej masy organicznej, białka, popiołu, włókna, tłuszczu oraz bezazotowych wyciągowych - BNW) obornika i gnojowic, a wyniki analiz przedstawiono w tab. 1. Na podstawie przyjętych wskaźników dla poszczególnych składników analizowanych substratów [4] obliczono potencjalne możliwości produkcyjne biogazu oraz metanu z odchodów zwierzęcych. Wyniki przedstawiono w tab. 2.

W przeliczeniu biogazu na biometan wykorzystano następujące wskaźniki:

497 dla białka, 850 dla tłuszczu, 395 dla włókna i BNW.

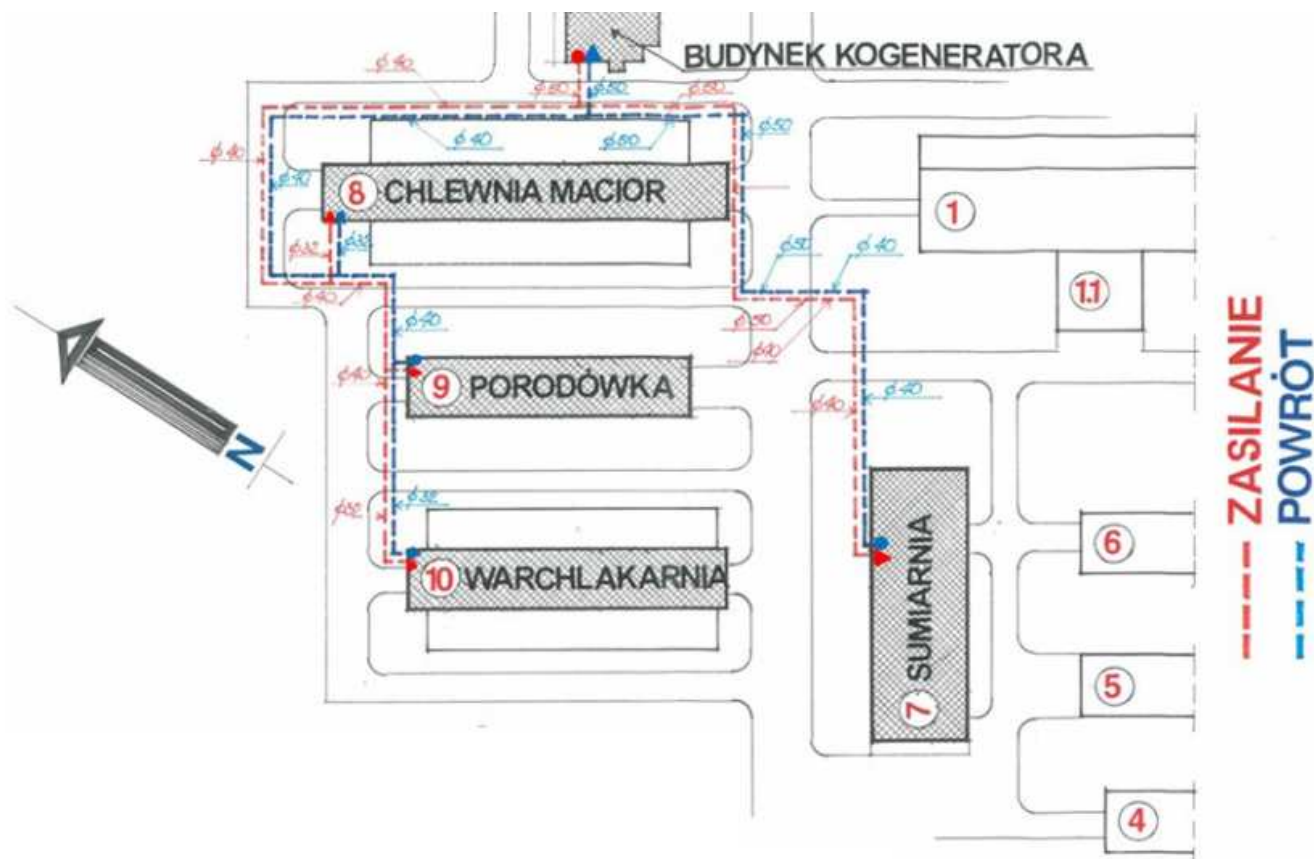
Ogółem w biogazowni w Kostkowicach wyprodukowano 1 435 934 m³ biogazu, z czego z obornika i gnojowic pochodziło 728 826 m³, co stanowi prawie 51%.

Zakładając, że składowanie odchodów zwierzęcych powoduje emisję 30% zawartego w nich metanu do środowiska, wykorzystanie świeżej masy w biogazowni obniża w konkretnym przypadku gospodarstwa Kostkowice ilość szkodliwego dla środowiska metanu o ok. 120 000 m³, co daje w przeliczeniu na masę 144 tony.

Uwzględniając potencjał efektu cieplarnianego GWP₁₀₀ oraz równoważnik CO₂ wynoszący dla metanu 21, ilość nie wyemitowanego do atmosfery CO₂ wynosi 3 024 t.

Tab. 1. Sposób wyliczeń biogazu z produktów ubocznych produkcji zwierzęcej
 Table 1. Calculation method of biogas obtained from by-products of the animal production

Składnik	Zawartość (g/kg)	Zawartość składników strawnych w kg w 1 kg SO	Współczynniki przeliczeniowe na biogaz	Wydajność biogazu w lN/kg SSO
Sucha masa	194,2	OBORNIK BYDŁĘCY		
Popiół surowy	49,1			
Substancja organiczna	145,1			
Białko ogólne	11,8	0,0081	700	5,7
Tłuszcz surowy	13,6	0,0375	1250	46,9
Włókno surowe	42,2	0,1454	790	114,9
BNW	77,5	0,2030	790	160,3
produkcja biogazu				327,8
Sucha masa	64,2	GNOJOWICE		
Popiół surowy	13,5			
Substancja organiczna	50,7			
Białko ogólne	6,05	0,036	700	23,2
Tłuszcz surowy	4,15	0,041	1250	114,5
Włókno surowe	6,5	0,051	790	133,3
BNW	34	0,268	790	30,7
produkcja biogazu				328,6



Rys. Schemat zasilania obiektów gospodarskich ciepłem kogeneratora w gospodarstwie Kostkowiec
 Fig. Outline of supply system of heat from cogenerator to farm objects in Kostkowiec farm

Tab. 2. Uzysk biogazu i metanu z odchodów zwierzęcych w roku 2012
 Table 2. Biogas and methane yield from the animal manure in 2012

Wyszczególnienie	Produkcja [kg]	Ilość biogazu [m ³]	Ilość biogazu [m ³]	Ilość metanu [m ³]
Obornik bydłęcy	1 610 000	207 922	207 922	110 071
Gnojowice	4 000 000	520 904	520 904	283 389

Biogaz uzyskany w wyniku fermentacji metanowej z odchodów zwierzęcych wspomaganą substratami roślinnymi jest przetwarzany w procesie kogeneracji na energię elektryczną i ciepłą. W roku 2012 wyprodukowano 2958,5 MWh energii elektrycznej tj. 10 650,6 GJ. Emisja szkodliwych dla środowiska gazów cieplarnianych [8] w postaci związków węgla (CO₂), azotu (Nox) czy siarki (SO₂) w porównywalnej ilości energii elektrycznej uzyskanej z biogazu jest dla wszystkich badanych gazów niższa niż z węgla

kamiennego (tab. 3). W przypadku związków siarki różnica wynosi 99%, związków azotu prawie 2/3 a związków węgla 50% na korzyść biogazu.

Porównanie dotyczy wyłącznie emisji w procesie spalania – kogeneracji. Nie uwzględnia szkodliwego dla środowiska procesu pozyskiwania węgla, transportu, pozostałości przetworczych w postaci kamieni, żużli, popiołów, itp. Biomasa nadto jako odnawialne źródło energii wykorzystuje wyemitowany dwutlenek węgla dla odbudowy w procesie fotosyntezy swego potencjału energetycznego, zaś węgiel w procesie spalania uwalnia gromadzony przez miliony lat węgiel, co narusza bilans tego pierwiastka w przyrodzie.

Tab. 3. Porównanie emisji gazów cieplarnianych w procesie spalania węgla kamiennego i biogazu

Table 3. Comparison of the greenhouse gas emission in the combustion process of hard bituminous coal and biogas

Wyszczególnienie	CO ₂ [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]
węgiel kamienny	1065060	1597,59	3195,18
biogaz	532530	532,53	31,95
różnica [kg]	532530	1065,06	3163,23
różnica [%]	50	66,7	99

Na wyprodukowanie uzyskanej w Agrobiogazowni Kostkowiec w roku 2012 energii elektrycznej należałoby zużyć 440 ton węgla kamiennego, który w procesie spalania uwolniłby do atmosfery 140 ton popiołów i pyłów, 875 ton CO₂, 15 ton związków siarki oraz 2,6 tony tlenków azotu [12]. Przyjmując te parametry ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, z uwzględnieniem równoważnika CO₂ wynosi 970 ton, bez związków siarki [10] (wg danych Inter-governmental Panel for Climate Change, skąd przyjęto dane, równoważnik dotyczy fluorowodorów siarki SF₆).

Według danych Ministerstwa Ochrony Środowiska [10] wskaźnik emisji CO₂(WE_{CO2}) dla biogazu wynosi 54,33 kg/GJ a węgla kamiennego 93,97, zaś brunatnego 109,51 kg/GJ.

W procesie kogeneracji oprócz energii elektrycznej z biogazu powstaje także energia cieplna. W roku 2012 wyprodukowano w Agrobiogazowni Kostkowiec 10 903,8 GJ energii cieplnej, z czego 762,0 GJ (średniorocznie 7%) wykorzystywane jest okresowo do ogrzewania fermentora. Największe zużycie ciepła występuje w miesiącach zimowych, latem zdarza się, że nie ma poboru energii a wymaganą temperaturę fermentora zabezpieczają zachodzące w nim procesy biochemiczne. Maksymalny udział ciepła potrzebnego do utrzymania temperatury fermentacji wyniósł w badanym okresie 30%.

Nadwyżka ciepła kogeneracji jest wykorzystywana, co ma aspekt zarówno gospodarczy jak i ekologiczny. W tym celu zmodernizowano źródło ogrzewania budynków inwentarskich (trzody chlewnej) wykorzystując ciepło kogeneracji. Ciepło z kogeneracji jest odbierane za pomocą dwóch płytowych wymienników ciepła, każdy o mocy 100 kW, umieszczonych na rozdzielaczu (budynek kogeneracji).

Z wymiennika ciepła przekazywane jest do pompy obiegowej „VILO – Stratos”. Instalacja wyposażona jest w ciepłomierz LQ/ME JS w celu opomiarowania ciepła zasilającego budynki inwentarskie (7, 8, 9, 10 na załączonym schemacie).

Potencjał produkcyjny Agrobiogazowni oraz zastosowany system wymienników pozwala na zagospodarowanie

pozostałej ilości ciepła. Przewidziano je do wykorzystania w chowie ryb ciepłolubnych. Dla realizacji tego celu przeznaczono wyeksploatowany budynek tuczarni.

Dla ogrzania budynków inwentarskich zużywano rocznie średnio 20 400 m³ gazu ziemnego, emitując do atmosfery: 40 800 kg dwutlenku węgla, 35,7 kg związków azotu i 0,04 kg związków siarki, co w przeliczeniu na CO₂ daje efekt cieplarniany w postaci emisji 52 ton gazów. Substytuując ogrzewanie gazowe odpadowym ciepłem kogeneracji zyskujemy wymierny ekologiczny efekt. I choć te cyfry może mówią niewiele, to jednak stanowią wskazówkę w jaki sposób można, wykorzystując innowacyjne technologie, wpływać na poprawę parametrów środowiska. Pozwala także na wprowadzenie nowych rozwiązań, których celem jest zagospodarowanie ciepła w całym sezonie produkcyjnym (chów ryb ciepłolubnych, krewetek, suszarnictwo, algi, hydroponica). Istnieją w tym obszarze spore niezagospodarowane obszary, które dla dobra środowiska, a także dla bezpieczeństwa energetycznego należałoby wykorzystać.

Obliczony efekt ekologiczny w postaci ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w wyniku zastosowania do produkcji energii elektrycznej biomasy wynosi około 4046 ton CO₂ (WE). Potencjał biomasy energetycznej w Polsce pozwala ograniczyć roczną emisję CO₂ o 75,8 mln ton [2], co stanowi 36,4 % przyznaną Polsce emisji. Szacuje się, że w 2010 r. łączne ograniczenie emisji CO₂ mogło wynieść 12,68 mln ton CO₂ i dotyczyło prawie wyłącznie paliw transportowych.

Z przedstawionych danych wynika, że w przypadku wykorzystania biomasy w biogazowniach, szczególnie biomasy pochodzenia zwierzęcego (oborniki, gnojowice) ograniczenie emisji gazów może być znaczące (wg naszych obliczeń ¾ ograniczeń pochodzi z tego źródła), głównie za sprawą metanu, gazu o wysokim potencjale emisyjnym.

Agrobiogazownia o mocy 0,6 MW jako jedyna, w jednej tylko gminie powoduje spadek emisji gazów cieplarnianych o ponad 4000 ton. W Polsce jest 1571 gmin wiejskich [11], gdyby spełnić postulat „biogazownia w każdej gminie”, można byłoby ograniczyć emisję CO₂ o 6 mln ton a krajowa sieć energetyczna zyskałaby spory w kontekście wymogów środowiskowych udział zielonej energii.

Dla rozwoju energetyki opartej o źródła odnawialne niezbędne są uregulowania prawne, które pozwolą na ustabilizowanie tego ważnego, z punktu widzenia także bezpieczeństwa energetycznego, rynku. Chwiejność przepisów, zwłaszcza tych, na których oparta jest rentowność przedsięwzięć, powoduje brak zaufania inwestorów a posiadaczy instalacji prowadzi na skraj bankructwa. Przykładów jest wiele, a najbardziej dotkliwym są chwiejne ceny świadectw udziałowych, które są ważnym składnikiem, decydującym o opłacalności produkcji zielonej energii. Uchwalenie tzw. małego trójpaku jest zwiastunem pozytywnych zmian a zobowiązanie Ministra Gospodarki do prowadzenia rejestrów świadectw pochodzenia pomoże w koordynacji tego, co na rynku zielonej energii się dzieje. Nie można bowiem przyjąć ze spokojem rozbieżnych informacji o ilości wyprodukowanej energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) podawanej przez dwa działające w tym obszarze podmioty Agencji Rynku Rolnego (16,8 TWh) i Urzędu Regulacji Energetyki (13,8 TWh). Ustawa o OZE, której termin wejścia w życie jest niewiadomą nadal jest nadzieją dla wszystkich, którzy w problematyce OZE widzą ekologiczny zysk i ekonomiczny potencjał.

5. Wnioski

1. Biogazownie rolnicze efektywnie wykorzystują odpadową biomasę rolniczą a bilans emisji zanieczyszczeń jest korzystny dla środowiska.
2. Wykorzystanie biomasy dla celów energetycznych pozwala na ujarzmienie emisji szkodliwych gazów cieplarnianych powstających w produkcji rolniczej, szczególnie metanu pochodzącego z oborników i gnojowic.
3. Efektywność ekologiczna produkcji energii elektrycznej w biogazowniach rolniczych wynika z zagospodarowania wszystkich wytworzonych produktów (energia elektryczna, ciepła, poferment).
4. Brak spójnych uregulowań prawnych, w tym uchwalenia ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii stanowią hamulec rozwoju tego ważnego gospodarczo i środowiskowo obszaru.

6. Bibliografia

- [1] Bohdziewicz J., Kuglarz M., 2009. Produkty uboczne produkcji zwierzęcej jako źródło energii odnawialnej, *Proceeding of ECOpole*, vol. 3, nr 2, 421-425.
- [2] Gostomczyk W., 2011 Rola i znaczenie biomasy energetycznej w rozwoju zrównoważonym. *Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Mat. konf. Wykorzystanie biomasy w energetyce- aspekty ekonomiczne i ekologiczne*, www.bioenergypromotion.w.interia.pl
- [3] Olendrzyński K., Kargulewicz I., Skośkiewicz J., Dębski B., Cieślińska J., Olecka A., Kanafa M., Kania K., Sałek P., 2007. Krajowa inwentaryzacja emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych za rok 2007, s. 20.
- [4] Węglarzy K., Podkówa W., 2010. *Agrobiogazownia, opracowanie zbiorowe*, s. 155.
- [5] Węglarzy K., Bereza M., 2012 Zielona energia z odpadów produkcji zwierzęcej 5th International Scientific Conference RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AGRICULTURE AND ENVIRONMENT PROTECTION. *Studia Regionalne i Lokalne Polski Południowej, Tom X*, s. 37-53.
- [6] Węglarzy K., Skrzyżala I., 2012 Ekologiczne i ekonomiczne aspekty produkcji energii elektrycznej z biomasy na przykładzie Agrobiogazowni w Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Zootechniki PIB Grodziec Śląski, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 1. 57(4), s. 177-182.
- [7] Węglarzy K., Bereza M., 2012 Dywersyfikacja produkcji gospodarstwa rolnego dla poprawy rentowności, *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 2 (24), s. 253-262.
- [8] Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, Instytut Ochrony Środowiska, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Warszawa, styczeń 2013, s. 8.
- [9] <http://www.mg.gov.pl/NR /Carbonfootprint.pdf> Metodyka wyliczania carbon footprint (2009).
- [10] http://ww.mos.gov.pl/g2/big/2011_11 Wartości opałowe i wskaźniki emisji CO₂ WE w roku 2009 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji na 2012 rok.
- [11] <http://www.administracja.mac.gov.pl>
- [12] <http://www.audyt-energetyczny.net>