

MOŻLIWOŚCI POPRAWY BILANSU ENERGETYCZNEGO I EKONOMICZNEGO BIOGAZOWNI ROLNICZEJ

Streszczenie

Rozwój instalacji odnawialnych źródeł energii, w tym instalacji biogazowych, wpływa na zmniejszenie zagrożeń związanych z wykorzystaniem konwencjonalnych systemów produkcji energii elektrycznej i ciepła. Problemy wynikające z niekorzystnej sytuacji na rynku świadectw pochodzenia sprawiają, że opłacalność funkcjonowania biogazowni w Polsce w oparciu o kiszonkę z kukurydzy jest nieuzasadniona ekonomicznie. Celem pracy było określenie potencjału energetycznego i ekonomicznego bioodpadów mogących stanowić alternatywny wsad do biogazowni. Na podstawie wyników badań oraz analizy ekonomicznej stwierdzono, że przyszłość nisko dofinansowanego rynku Odnawialnych Źródeł Energii w Polsce należy oprzeć na wykorzystaniu bioodpadów z przemysłu rolno-spożywczego. Wynika to z faktu, że substraty te charakteryzują się wysokim potencjałem energetycznym i ekonomicznym.

Słowa kluczowe: bioodpady, biogaz, fermentacja metanowa, odnawialne źródła energii

Wstęp

Zmiany klimatu oraz zagrożenia wynikające ze stosowania konwencjonalnych systemów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła powodują zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w krajowych systemach energetycznych [18]. W ostatnim czasie obserwuje się znaczący wzrost zainteresowania instalacjami umożliwiającymi produkowanie tzw. czystej energii także w Polsce [26]. Do instalacji tych zaliczane są między innymi biogazownie pozwalające na jednoczesną produkcję energii elektrycznej i ciepła z metanu wytworzonego w wyniku fermentacji. Sam proces fermentacji metanowej jest procesem mikrobiologicznym, w wyniku którego z materii organicznej, w warunkach beztlenowych, powstaje metan, dwutlenek węgla oraz inne gazy w śladowych ilościach [8, 14, 15].

Niestety, jak wynika z Rejestru Wytwórców Biogazu Rolniczego sporządzonego przez Agencję Rynku Rolnego (na dzień 10.06.2016 r.), w Polsce funkcjonuje tylko 90 biogazowni rolniczych [1]. Jest to niewielka ilość w porównaniu chociażby z liczbą ponad 7 tys. instalacji w Niemczech [11, 12, 20]. Różnica ta wynika przede wszystkim z zastosowania w tym kraju korzystniejszego systemu wsparcia OZE [7]. W związku z tym należy pamiętać, że wykorzystanie niemieckich technologii, opierających się w głównej mierze na fermentacji kiszonki z kukurydzy, jest w Polsce nieopłacalne.

Nowe technologie poprawiające efektywność ekonomiczną biogazowni

Planując budowę biogazowni w Polsce należy pamiętać o wykorzystaniu nowych technologii poprawiających wydajność energetyczną instalacji, a zarazem bilans ekonomiczny całej inwestycji [5, 28]. Najpopularniejszą metodą wykorzystania biogazu jest skojarzona produkcja energii elektrycznej i ciepła w kogeneracji (CHP) [22, 27]. Rozwiązaniem poprawiającym znacząco efektywność ekonomiczną inwestycji biogazowej jest całkowite zagospodarowanie produkowanego ciepła. Może być ono wykorzystane np. do ogrzania okolicznych gospodarstw i domów oraz w suszarniach.

Na świecie obserwuje się także rosnące zainteresowanie wykorzystaniem metanu odseparowanego z biogazu w ogniwach paliwowych [27].

Produktem procesu fermentacji jest także pulpa pofermentacyjna, która może być wykorzystana jako wartościowy nawóz lub materiał do produkcji brykietów i/lub pelletów [5, 6]. Kolejnym produktem procesu, który może być dodatkowo zagospodarowany np. w szklarniach, jest dwutlenek węgla (CO₂) [3, 19]. Jego procentowy udział w produkowanej mieszance gazów mieści się w granicach od 30 do 50% w zależności od stosowanego substratu wsadowego. W ostatnich latach powstało wiele technologii odseparowywania CO₂ z biogazu [2, 10, 11, 23].

Należy jednak podkreślić, że najlepszym i najprostszym sposobem poprawy efektywności ekonomicznej instalacji jest zastąpienie kiszonki z kukurydzy (popularnie stosowanej jako materiał wsadowy) różnego rodzaju bioodpadami, za użycie których uzyskuje się dodatkowy przychód [13].

Bioodpady - alternatywny substrat do biogazowni

Mając na uwadze fakt, że zastosowanie kiszonki z kukurydzy jako wsadu do biogazowni w warunkach polskich jest nieuzasadnione ekonomicznie, koniecznością staje się poszukiwanie materiałów mogących stanowić alternatywny substrat lub kosustrat w procesie fermentacji metanowej [9, 13].

Rozwiązaniem może być wykorzystanie powstających w dużych ilościach bioodpadów [14]. Do najpopularniejszych substratów z tej grupy zalicza się m.in. wywary gorzelniane, odpady z produkcji skrobi (wycierka ziemniaczana), odpady z produkcji cukru (wysłodki, melasa), odpady rybne oraz odpady z przetwórstwa rolno-spożywczego (przeterminowana żywność, resztki pożywienia i wytloki owocowe).

Cel pracy

Celem pracy było określenie potencjału energetycznego i ekonomicznego bioodpadów mogących stanowić alternatywny wsad do biogazowni.

Metodyka i metody

Metodyka badań wydajności biogazowej

Badania wydajności metanowej substratów w technologii *batch culture* przeprowadzono w Pracowni Ekotechnologii Instytutu Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu na podstawie procedur wewnętrznych, bazujących na zaadoptowanej normie DIN 38 414-S8 oraz VDI 4630, normach powszechnie stosowanych w Europie. Szczegółową metodykę wykonanych badań przedstawiła Cieślak i in. [4].

Metodyka obliczeń ekonomicznych

Znając objętość metanu możliwą do uzyskania z 1 Mg substratu, można wyliczyć możliwą do uzyskania ilość energii elektrycznej oraz ciepła. Metr sześcienny metanu w warunkach normalnych ma wartość energetyczną 9,17 kWh. Dlatego do obliczenia ilości wytworzonej energii konieczne jest wprowadzenie współczynnika wydajności energetycznej metanu równego 0,00917 MWh·m⁻³ (9,17 kWh·m⁻³). Wyrażenie współczynnika wydajności w MWh energii wynika z faktu, że to właśnie megawatogodzina jest podstawową jednostką rozliczeniową producentów energii z OZE w Polsce.

Wykorzystane do obliczeń wzory przedstawiono poniżej:

Ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w kogeneracji:

$$E_E = V_{CH_4} \cdot We_{CH_4} \cdot \eta_e \quad (1)$$

gdzie:

E_E - ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w kogeneracji [MWh·Mg⁻¹ św.m.],

V_{CH_4} - objętość metanu [m³·Mg⁻¹ św.m.],

We_{CH_4} - współczynnik wydajności energetycznej metanu [0,00917 MWh·m⁻³],

η_e - sprawność elektryczna agregatu kogeneracyjnego [-] (na potrzeby obliczeń przyjęto sprawność na poziomie 40%).

Ilość ciepła wyprodukowanego w kogeneracji:

$$E_T = V_{CH_4} \cdot We_{CH_4} \cdot \eta_t \quad (2)$$

gdzie:

E_T - ilość ciepła wyprodukowanego w kogeneracji [MWh·Mg⁻¹ św.m.],

V_{CH_4} - objętość metanu [m³·Mg⁻¹ św.m.],

We_{CH_4} - współczynnik wydajności energetycznej metanu [0,00917 MWh·m⁻³],

η_t - sprawność termiczna agregatu kogeneracyjnego [-] (na potrzeby obliczeń przyjęto sprawność na poziomie 45%).

W praktyce ilość wyprodukowanego ciepła podaje się w gigadżulach (GJ). Wiedząc, że 1 GJ równy jest 0,274 MWh, wytworzone ciepło wyrażone w MWh można przeliczyć według następującego równania:

$$E_{T(GJ)} = E_{T(MWh)} \cdot 0,274^{-1} \quad (3)$$

gdzie:

$E_{T(GJ)}$ - ilość wytworzonej w kogeneracji energii termicznej [GJ·Mg⁻¹ św.m.], $E_{T(MWh)}$ - ilość wytworzonej w kogeneracji energii termicznej [MWh·Mg⁻¹ św.m.].

Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła wyprodukowanego w kogeneracji z 1 Mg św.m. substratu obliczono w następujący sposób:

$$PRZ_k = PRZ_{ec} \cdot PRZ_{ct} \quad (4)$$

gdzie:

PRZ_k - przychód całkowity ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła wyprodukowanego w kogeneracji [PLN·Mg⁻¹ św.m.],

PRZ_{ec} - przychód ze sprzedaży energii elektrycznej,

PRZ_{ct} - przychód ze sprzedaży ciepła [PLN·Mg⁻¹ św.m.].

Przychód uzyskany ze sprzedaży energii elektrycznej jest uzależniony od ilości wyprodukowanej energii (pomniejszonej o ok. 5% zużycia na potrzeby własne instalacji), ceny za

sprzedaży energii elektrycznej oraz ceny zielonego i żółtego certyfikatu.

Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej można obliczyć z następujących wzorów:

$$PRZ_{ec} = E_E \cdot C_E \cdot 0,95, \quad (5)$$

gdzie:

PRZ_{ec} - przychód ze sprzedaży energii elektrycznej,

E_E - ilość wytworzonej energii elektrycznej [MWh·Mg⁻¹ św.m.],

C_E - cena sprzedaży energii elektrycznej [PLN·MWh⁻¹],

0,95 - współczynnik sprzedaży energii elektrycznej pomniejszony o ilość energii wykorzystanej na potrzeby własne instalacji.

Całkowita cena sprzedaży energii elektrycznej:

$$C_E = C_{ec} + C_{zc} + C_{zc}, \quad (6)$$

gdzie:

C_E - całkowita cena sprzedaży energii elektrycznej [PLN·MWh⁻¹],

C_{ec} - cena sprzedaży energii elektrycznej [PLN·MWh⁻¹],

C_{zc} - cena sprzedaży zielonego certyfikatu [PLN·MWh⁻¹],

C_{zc} - cena sprzedaży żółtego certyfikatu [PLN·MWh⁻¹].

Przychód ze sprzedaży ciepła:

$$PRZ_{ct} = E_T \cdot C_T, \quad (7)$$

gdzie:

PRZ_{ct} - przychód ze sprzedaży ciepła [PLN],

E_T - ilość wytworzonego ciepła [GJ],

C_T - cena energii cieplnej [PLN·GJ⁻¹].

Bilans ekonomiczny wynikający z wykorzystania substratu:

$$Z = PRZ_k - K_s, \quad (8)$$

Z - zysk roczny z tytułu wykorzystania Mg substratu [PLN·Mg⁻¹ św.m.],

PRZ_k - przychód całkowity ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła wyprodukowanego w kogeneracji [PLN·Mg⁻¹ św.m.],

K_s - koszt substratu [PLN·Mg⁻¹ św.m.].

Przyjęte do obliczeń ceny świadectw pochodzenia, sprzedaży energii elektrycznej oraz ciepła ustalono na podstawie danych z Towarowej Giełdy Energii oraz Urzędu Regulacji Energetyki na dzień 14.06.2016 r., stąd cena energii elektrycznej wyniosła 171,87 PLN·MWh⁻¹, zielonego certyfikatu - 94,10 PLN·MWh⁻¹, natomiast żółtego certyfikatu - 125,00 PLN·MWh⁻¹. Dane zebrano w tab. 1.

Tab. 1. Ceny świadectw pochodzenia, sprzedaży energii elektrycznej oraz ciepła [24, 25]

Table 1. Prices of the Certificates of origin and sale of electricity and heat [24, 25]

	Cena	Jednostka
Energia elektryczna	171,87	PLN·MWh ⁻¹
Zielony certyfikat	94,10	PLN·MWh ⁻¹
Żółty certyfikat	125,00	PLN·MWh ⁻¹
GJ ciepła	25,00	PLN·GJ ⁻¹

W obliczeniach ekonomicznych nie uwzględniono kosztów amortyzacji oraz obsługi instalacji.

Wyniki i dyskusja

Wyniki analiz podstawowych parametrów fizykochemicznych substratów przedstawiono w tab. 2.

Najwyższą procentową zawartością suchej masy i jednocześnie najniższym udziałem suchej masy organicznej wśród badanych substratów charakteryzował się pomiot drobiowy. Należy pamiętać, że substrat ten cechuje się wysoką zawartością azotu organicznego i niskim stosunkiem C:N, co powoduje problemy w jego praktycznym zastosowaniu jako wsadu do instalacji biogazowej [20].

Tab. 2. Parametry fizykochemiczne substratów
Table 2. Physical and chemical parameters of the substrates

Substrat	Sucha masa	Sucha masa organiczna
	[%]	[% s.m.]
Wywar gorzelniany	7	95
Wycierka ziemniaczana	12	98
Wytłoki jabłkowe	28	98
Wysłodki buraczane	16	92
Odpady rybne	34	90
Pomiot kurzy	67	61
Odpady restauracyjne	21	95
Kiszonka z kukurydzy	33	95

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Najniższą zawartością suchej masy charakteryzował się natomiast wywar gorzelniany. Sucha masa organiczna wszystkich materiałów, poza pomiotem drobiowym, wyniosła ponad 90% suchej masy, co może świadczyć o zdatności poszczególnych materiałów do procesu fermentacji. Należy zaznaczyć, że biogaz w procesie fermentacji metanowej produkowany jest tylko z masy organicznej.

W tab. 3 przedstawiono wyniki wydajności biogazowych badanych substratów.

Tab. 3. Wydajność biogazowa substratów
Table 3. Biogas efficiency of the substrates

Substrat	Wydajność biogazowa		Zawartość metanu
	[m ³ ·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]	[m ³ ·Mg ⁻¹ ·s.m.o.]	[%]
Wywar gorzelniany	48	725	55
Wycierka ziemniaczana	82	700	50
Wytłoki jabłkowe	168	614	55
Wysłodki buraczane	110	750	50
Odpady rybne	300	980	68
Pomiot kurzy	175	426	52
Odpady restauracyjne	175	887	61
Kiszonka z kukurydzy	220	715	53

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

W praktyce biogazowej przyjmuje się jednak określać potencjał energetyczny substratów w oparciu o świeżą masę materiału. Pozwala to przyszłym inwestorom na proste określenie ilości energii elektrycznej i ciepła możliwych do uzyskania z dostępnej masy substratu.

W tab. 4 i 5 przedstawiono potencjał energetyczny bioodpadów oraz zestawienie możliwego do uzyskania przychodu z tytułu wykorzystania w procesie fermentacji z kosztami ich pozyskania.

Tab. 4. Potencjał energetyczny bioodpadów
Table 4. The energy potential of biowaste

Substrat	Energia elektryczna wytworzona w kogeneracji	Ciepło wytworzone w kogeneracji	
	[MWh·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]	[MWh·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]	[GJ·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]
Wywar gorzelniany	0,097	0,109	0,398
Wycierka ziemniaczana	0,150	0,169	0,617
Wytłoki jabłkowe	0,339	0,381	1,392
Wysłodki buraczane	0,202	0,227	0,828
Odpady rybne	0,748	0,842	3,072
Pomiot kurzy	0,334	0,376	1,370
Odpady restauracyjne	0,392	0,441	1,608
Kiszonka z kukurydzy	0,428	0,481	1,756

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Tab. 5. Wyniki obliczeń energetyczno-ekonomicznych dla badanych substratów

Table 5. The results of energy and economic calculation for analyzed substrates

Substrat	Przychód z produkcji energii	Koszty pozyskania substratu	Bilans ekonomiczny
	[PLN·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]	[PLN·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]	[PLN·Mg ⁻¹ ·ś.w.m.]
Wywar gorzelniany	45,91	15,00	30,91
Wycierka ziemniaczana	71,29	50,00	21,29
Wytłoki jabłkowe	160,67	55,00	105,67
Wysłodki buraczane	95,64	40,00	55,64
Odpady rybne	354,73	60,00	294,73
Pomiot kurzy	158,24	20,00	138,24
Odpady restauracyjne	185,63	-50,00	235,63
Kiszonka z kukurydzy	202,75	120,00	82,75

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Z obliczeń dotyczących potencjału energetycznego substratów wynika, że bioodpady są bardzo dobrym substratem do biogazowni, przewyższając w niektórych przypadkach najczęściej stosowaną w Europie Środkowo-Wschodniej - kiszonkę z kukurydzy [7].

Spośród przebadanych substratów najkorzystniejsze ekonomicznie wydaje się być zastosowanie jako wsadu do biogazowni odpadów rybnych, co pozwala na osiągnięcie zysku na poziomie ok. 295 zł z jednego Mg świeżej masy. Niewiele niższy zysk jest również możliwy przy wykorzystaniu na cele biogazowe odpadów restauracyjnych. Ich wysoki potencjał energetyczny oraz ekonomiczny dla polskich warunków na rynku biogazu wykazał również Lewicki i in. [17].

Wykorzystanie wywaru gorzelnianego oraz wycierki ziemniaczanej jako wsadu do biogazowni uzasadnione jest w przypadku funkcjonowania instalacji w pobliżu zakładu produkcyjnego wytwarzającego duże ilości tego odpadu. Rozwiązanie to pozwoli wyeliminować koszty transportu, które mogą wpłynąć na niekorzystny bilans ekonomiczny [13].

W przypadku zastosowania w celach biogazowych pomiotu kurzego lub innych materiałów o wysokiej zawartości białka, należy zwrócić szczególną uwagę na utrzymanie odpowiedniego stosunku C/N [15]. Wykorzystanie tego rodzaju substratów może prowadzić do zwiększenia stężenia amoniaku w pulpie fermentacyjnej oraz w konsekwencji do inhibicji procesu [16].

Podsumowanie

Uwzględnienie w obliczeniach bilansu ekonomicznego dodatkowego kosztu pozyskania substratu udowadnia, że przy obecnym systemie wsparcia opieranie pracy biogazowni na kiszonce z kukurydzy, której cena mieści się w przedziale 100-150 PLN·Mg⁻¹, jest nieuzasadnione ekonomicznie. Można jednoznacznie stwierdzić, że przyszłość nisko dofinansowanego rynku Odnawialnych Źródeł Energii leży w komercyjnych rozwiązaniach przetwarzania bioodpadów na energię. Większość tych substratów charakteryzuje się wyższą wydajnością energetyczną i efektywnością fermentacji niż powszechnie stosowana jako wsad do biogazowni kiszonka z kukurydzy.

Bibliografia

- [1] Agencja Rynku Rolnego: Rejestr wytwórców biogazu rolniczego z dnia 10.06.2016 r.
- [2] Basu S., Khan A.L., Cano-Odena A., Liu C.Q., Vankelcom I.F.J.: Membrane-based technologies for biogas separations. Chem. Soc. Rev., 2010, 39, 750-768.

- [3] Besford R.T.: The greenhouse effect: acclimation of tomato plants growing in high CO₂, photosynthesis and ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase protein. *J. Exp. Bot.*, 1990, 41, 925-931.
- [4] Cieślak M., Dach J., Lewicki A., Smurzyńska A., Janczak D., Pawlicka-Kaczorowska J., Boniecki P., Cyplik P., Czekala W., Józwiakowski K.: Methane fermentation of the maize straw silage under meso- and thermophilic conditions. *Energy*, 2016, 115, 1495-1502.
- [5] Czekala W., Bartnikowska S., Lewicka A., Bugala A., Zbytek Z., Lewicki A.: Economic and energy efficiency of the solid biofuels produced from digested pulp. *MATEC Web Conf*, 2016, 60, 04005, DOI: 10.1051/mateconf/20166004005.
- [6] Czekala W., Pilarski K., Dach J., Janczak D., Szymańska M.: Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, 4.
- [7] Dach J., Boniecki P., Przybył J., Janczak D., Lewicki A., Czekala W., Witaszek K., Rodriguez Carmona P.C., Cieślak M.: Energetic efficiency analysis of the agricultural biogas plant in 250 kW(e) experimental installation. *Energy*, 2014, 69, 34-38.
- [8] Dach J., Koszela K., Boniecki P., Zaborowicz M., Lewicki A., Czekala W., Skwarcz J., Wei Q., Piekarska-Boniecka H., Białobrzewski I.: The use of neural modelling to estimate the methane production from slurry fermentation processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 56, 603-610.
- [9] Dach J., Zbytek Z., Pilarski K., Adamski M.: Badania efektywności wykorzystania odpadów z produkcji biopaliw jako substratu w biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2009, 6.
- [10] Deng L.Y., Hägg M.B.: Techno-economic evaluation of biogas upgrading process using CO₂ facilitated transport membrane. *Int. J. Greenh. Gas Control*, 2010, 4, 638-646.
- [11] Grande C.A., Rodrigues A.E.: Layered vacuum pressure-swing adsorption for biogas upgrading. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2007, 46, 7844-7848.
- [12] Guenther-Lübbers W., Bergmann H., Theuvsen L.: Potential analysis of the biogas production - as measured by effects of added value and employment. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 129 (15), 556-564.
- [13] Janczak D., Kozłowski K., Zbytek Z., Cieślak M., Bugala A., Czekala W.: Energetic efficiency of the vegetable waste used as substrate for biogas production. *MATEC Web Conf.*, 2016, 60, 06002, DOI: 10.1051/mateconf/20166406002.
- [14] Koszela K., Pilarski K., Dach J., Boniecki P., Jędrus A.: Koncepcja wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania zawartości metanu w substratach. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, 4.
- [15] Kozłowski K., Dach J., Lewicki A., Cieślak M., Czekala W., Janczak D.: Parametry środowiskowe oraz procesowe fermentacji metanowej prowadzonej w trybie ciągłym (CSTR). *Inżynieria Ekologiczna*, 2016, 50, 153-160.
- [16] Lewicki A., Kozłowski K., Pietrowski A., Zbytek Z.: Fermentacja metanowa pomiotu kurzego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2016, 61(4), 28-30.
- [17] Lewicki A., Rodriguez Carmona P.C., Dach J., Boniecki P., Janczak D., Czekala W., Cieślak M., Przybył J.: Energetic aspects of food waste used as an alternative substrates for biogas plant. *ICEE International Conference on Energy & Environment, 2nd International Conference on Energy and Environment: Bringing together Engineering and Economics: 18-19 June 2015, Guimarães, Portugal, Proceedings, 2015, 714-720.*
- [18] Mesarić P., Krajcar S.: Home demand side management integrated with electric vehicles and renewable energy sources. *Energy and Buildings*, 2015, 108, 1-9.
- [19] Moreton O.R., Rowley P.N.: The feasibility of biomass CHP as an energy and CO₂ source for commercial glasshouses. *Applied Energy*, 2012, 96, 339-346.
- [20] Nie H., Jacobi H.F., Strach K., Xu C., Zhou H., Liebetrau J.: Monofementation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. *Bioresource Technology*, 2015, 178, 238-246.
- [21] Piwowar A., Dzikuc M., Adamczyk J.: Agricultural biogas plants in Poland - selected technological, market and environmental aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58, 69-74.
- [22] Szulc R., Dach J.: Kierunki rozwoju ekoenergetyki w polskim rolnictwie. *Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, Kraków, 2014, 72-86.
- [23] Tippayawong N., Thanompongchart P.: Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor. *Energy*, 2010, 35, 4531-4535.
- [24] Towarowa Giełda Energii: Maj na Towarowej Giełdzie Energii z dnia 3 czerwca 2016. <https://www.tge.pl/pl/27/aktualnosci/6/2016/> - dostęp 14.06.2016.
- [25] Urząd Regulacji Energetyki: Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki nr 2/2016 w sprawie średniej kwartalnej ceny energii elektrycznej sprzedanej na zasadach innych niż wynikające z art. 49a ust. 1 i 2 ustawy - Prawo energetyczne z dnia 13 stycznia 2016 r.
- [26] Urząd Regulacji Energetyki: Potencjał krajowy w liczbach: moc zainstalowana OZE (MW) - stan na 31.03.2016 r.
- [27] Wu B, Zhang X., Shang D., Bao D., Zhang S., Zheng T.: Energetic-environmental-economic assessment of the biogas system with three utilization pathways: Combined heat and power, biomethane and fuel cell. *Bioresource Technology*, 2016, 214, 722-728.
- [28] Zbytek Z., Dach J., Pawłowski T., Smurzyńska A., Czekala W., Janczak D.: Energy and economic potential of maize straw used for biofuels production. *MATEC Web Conf*, 2016, 60, 04008, DOI: 10.1051/mateconf/20166004008.

THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE ENERGY AND ECONOMIC BALANCE OF AGRICULTURAL BIOGAS PLANT

Summary

Development of Renewable Energy Sources installations, including biogas plants, reduces the risks with the use of conventional electricity and heat systems. Problems on the energy market with price of certificates of origin (green certificates) make the profitability of the biogas plants in Poland operating based on the maize silage economically unjustified. The aim of this study was to determine the energy and economic potential of biowaste that may be an alternative feedstock for the biogas plant. Based on the research and economic analysis, it was found that the future of low-subsidized Renewable Energy Sources market in Poland should be focused on the use of biowaste from the agri-food industry. This is due to the fact that these substrates are characterized by a high energy and economic potential.

Key words: biowaste, biogas, methane fermentation, renewable energy sources