

Joanna Zaleska-Bartosz

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Gaz składowiskowy jako źródło energii

W artykule przedstawiono polskie doświadczenia związane z energetycznym wykorzystaniem gazu składowiskowego, który zaliczany jest do odnawialnych źródeł energii (OZE). Znaczący wpływ na rozwój rynku zagospodarowania biogazu powstającego na składowiskach odpadów komunalnych miał wprowadzony w Polsce w 2005 roku system certyfikacji energii, który w bezpośredni sposób wspiera finansowo inwestycje polegające na wykorzystaniu gazu składowiskowego do produkcji energii. Ze względu na ustawowe ograniczenia dotyczące ilości materii organicznej kierowanej na składowiska, moc zainstalowana na nich obecnie będzie, według najlepszego scenariusza, utrzymywała się w kolejnych latach na niezmiennym poziomie. W dłuższej perspektywie – zmniejszająca się z roku na rok ilość wytwarzanego przez składowiska biogazu skutkować będzie spadkiem zainstalowanej mocy.

Słowa kluczowe: gaz składowiskowy, biogaz, kogeneracja, źródła energii odnawialnej (OZE).

Landfill gas as an energy source

The article presents Polish experience connected with energy projects using landfill gas which belongs to the Renewable Energy Sources (RES). The system of certification, introduced in 2005, which directly, financially supports investment for the usage of landfill gas for energy projects, has had a significant impact on the landfill gas for energy projects development in Poland. Due to the statutory limits set on the amount of organic matter directed to landfills, the power capacity currently installed in landfills will be, according to the best scenario, maintained at the same level in subsequent years. Since the amount of biogas produced by the landfill tends to decrease year after year the amount of biogas produced by the landfill will result in a decrease of the installed power capacity.

Key words: landfill gas, biogas, Combined Heat and Power (CHP), Renewable Energy Sources (RES).

Wstęp

Biogaz powstający samoczynnie na składowiskach odpadów jest istotnym źródłem zanieczyszczeń powietrza. Może jednak stanowić alternatywne źródło energii, którego wykorzystanie jest jednym z najlepszych przykładów inwestycji, które poza swym biznesowym charakterem, przyczyniają się do ochrony powietrza. Zgodnie z obowiązującym prawem składowiska odpadów muszą być wyposażone w instalacje odgazowujące, a ujęty biogaz spalony – najlepiej z wykorzystaniem energii powstałej w wyniku spalania [10]. Mechanizm generowania biogazu składowiskowego jest procesem niekontrolowanym. Reakcje zachodzące w masie odpadów uwarunkowane są wieloma czynnikami, na które operator składowiska nie ma wpływu. Należą do nich czynniki zarówno natury środowiskowej, takie jak zmienne warunki klimatyczne, jak i eksploatacyjne, w tym zmienność składu

morfologicznego odpadów, a także sposób deponowania odpadów na składowisku.

W przypadku prawidłowo prowadzonej eksploatacji składowiska, m.in. stosowania zagęszczania odpadów czy odprowadzania nadmiaru odcieków, jakość gazu oraz jego ilość (stabilna w czasie) mogą pozwolić na uruchomienie instalacji wytwarzającej energię nawet na niewielkich gminnych składowiskach odpadów komunalnych. Z technicznego punktu widzenia możliwe jest energetyczne wykorzystanie biogazu składowiskowego przy natężeniu przepływu rzędu 20 m³/h i stężeniu metanu 50% obj.¹ [13]. Przeszkodą w realizacji projektów mających na celu przetworzenie

¹Wartości katalogowe dla najmniejszego dostępnego komercyjnie agregatu kogeneracyjnego HE-EC-32/51-MG32-B.

w energię tak małych ilości biogazu jest najczęściej nieopłacalność tego typu przedsięwzięć. Zachętę stanowią może jednak odpowiedni system wsparcia uwzględniający instalacje małych mocy. Będzie on decydował o tym, czy stopień wyposażenia składowisk odpadów w aktywne systemy odgazowania nadal będzie utrzymywał się na niskim poziomie, czy też wzrośnie.

Dodatkowym czynnikiem, który może zniechęcać przyszłych potencjalnych inwestorów instalacji energetycznego wykorzystania biogazu składowiskowego jest sukcesywne zmniejszanie udziału odpadów biodegradowalnych w masie składowanych odpadów, zgodnie z zaleceniami dyrektywy Rady UE 199/31/WE [3]. Realizacja tego obowiązku

przełoży się na spadek produktywności gazowej składowisk. W tej sytuacji pożądany trend, polegający na wyposażeniu kolejnych składowisk w skuteczne systemy odgazowania i wykorzystywania potencjału energetycznego składowisk (wprawdzie niedużego w porównaniu z innymi źródłami OZE), może ulec zahamowaniu. Wpłynie to negatywnie na standardy ochrony środowiska. Według danych GUS w 2012 r. spośród 430 składowisk odpadów 244 nie były wyposażone w instalacje do odgazowania. Na 144 składowiskach gaz spalany był bez odzysku energii [9]. Według najnowszych danych Urzędu Regulacji Energetyki w 2014 r. działały w kraju łącznie 104 instalacje produkujące energię elektryczną z biogazu składowiskowego [5].

Biogaz składowiskowy

Składowisko odpadów komunalnych to pewnego rodzaju „bioreaktor”, w którym na skutek zachodzących procesów biochemicznych następuje przemiana materii organicznej w składniki biogazu, w tym przede wszystkim w metan i dwutlenek węgla. Rozkład materii organicznej następuje w kilku fazach, spośród których wyróżnia się kolejno 4 fazy główne: 1) hydrolizę, 2) acydogenezę, 3) acetogenezę, 4) metanogenezę [11]. Metan powstaje w fazie czwartej w toku procesów katabolicznych metanogenów, takich jak: rozkład kwasu octowego, redukcja CO₂ z udziałem H₂, przemiany metylotroficzne.

Skład biogazu wytwarzanego z materii organicznej deponowanej na składowisku zmienia się w szerokim zakresie, zarówno podczas eksploatacji składowiska, jak i po zakończeniu składowania i przeprowadzeniu rekultywacji składowiska. Zmienna jest także intensywność wytwarzania gazu, w dużej mierze zależna od czasu, który upłynął od momentu zdeponowania odpadów. Na skład generowanego biogazu wpływ ma także budowa składowiska oraz sposób jego prowadzenia, tj. kubatura składowiska, grubość warstwy odpadów, uszczelnienie, przekładanie warstw odpadów warstwami inertnymi, zagęszczanie odpadów. Nieodpowiedni sposób prowadzenia składowiska, w tym na przykład brak kompaktowania odpadów, powoduje wydłużenie tlenowej fazy rozkładu materii organicznej, podczas której z węgla organicznego zawartego w opadach powstaje dwutlenek węgla. W efekcie podczas kolejnej beztlenowej fazy metan wytwarzany jest już tylko z materii organicznej, która pozostała po fazie tlenowej. W rezultacie potencjał energetyczny biogazu ulega obniżeniu, a właśnie skład biogazu oraz intensywność jego wytwarzania decydują o możliwości jego prawidłowego i efektywnego zagospodarowania, w tym

przede wszystkim wykorzystania go do produkcji energii elektrycznej i/lub ciepła [2].

Podstawowymi składnikami biogazu składowiskowego są metan i dwutlenek węgla, których zawartość w gazie ze składowiska odpadów waha się w granicach [7]:

- metan: 40÷65% mol/mol,
- dwutlenek węgla: 35÷60% mol/mol.

Zawartość metanu w biogazie składowiskowym determinuje sposób jego zagospodarowania. Ponadto na wybór konkretnych urządzeń ma wpływ zawartość śladowych składników biogazu, w tym przede wszystkim związków siarki oraz siloksanów.

Do odzysku gazu ze składowiska służą instalacje składające się z elementów odbierających gaz ze złoża odpadów (studnie pionowe, kolektory poziome) oraz stacji zbiorczej wyposażonej w odwadniacze, dmuchawę i aparaturę kontrolno-pomiarową. Pionowe studnie odgazowujące instaluje się na składowisku metodą wiercenia udarowo-obrotowego. Odwierty o średnicy 400÷460 mm sięgają spągu odpadów. Odległości pomiędzy studniami uzależnione są od indywidualnych warunków panujących na danym składowisku, z reguły wynoszą one od 30 do 50 m. W odwiertach umieszcza się perforowane filtry. Przestrzeń między nimi a ścianą odwiertu wypełnia się obsypką żwirową, a w górnej części odwiertu – uszczelnieniem ilowym. Dodatkowo strefę przyodwiertową pokrywa się geomembraną. Tak wykonane uszczelnienie strefy przyodwiertowej zapobiega infiltracji powietrza atmosferycznego do wnętrza odpadów. Gaz składowiskowy odbierany ze studni przesyłany jest do stacji zbiorczej stanowiącej integralną część instalacji do utylizacji gazu. Zadaniem stacji zbiorczej jest odbiór gazu ze składowiska, jego oczyszczenie i przesłanie do instalacji wytwarzającej energię [2].

Technologie energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego

Gaz z odgazowania składowisk może zostać wykorzystany jako paliwo do silników tłokowych lub turbinowych zasilających generatory prądotwórcze. Może być także spalany w kotłach gazowych produkujących energię cieplną lub stanowić paliwo dla jednostek kogeneracyjnych.

Najpopularniejszym sposobem wykorzystania energii zawartej w biogazie składowiskowym jest wytwarzanie energii elektrycznej. Ponad 80% przedsięwzięć energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego w Polsce ma taki właśnie cel [9].

Energię elektryczną przeznaczoną do wykorzystania na miejscu lub sprzedaży do sieci energetycznej można wytwarzać przy zastosowaniu różnych technologii, w tym:

- tłokowych silników gazowych (spalanie wewnętrzne),
- turbin gazowych,
- mikroturbin.

Do wytwarzania energii elektrycznej z gazu składowiskowego najczęściej wykorzystywane są tłokowe silniki gazowe z zapłonem iskrowym, czyli silniki spalinowe (czterosuwowe) o spalaniu wewnętrznym, powszechnie wykorzystywane w pojazdach oraz innych maszynach [2].



Fot. 1. Silnik firmy Caterpillar zasilany gazem składowiskowym (źródło: fotografia własna)

Tłokowe silniki gazowe są w zasadzie zmodyfikowanymi konstrukcjami średnio- i wysokoobrotowych silników napędzanych paliwem ciekłym. Modyfikacje polegają na zastosowaniu innych geometrii głowic i górnej części tłoków, a także – na rozbudowie silnika o instalacje zasilania w paliwo gazowe oraz chłodzenia silnika i odbioru ciepła ze spalin [2].

Silniki tłokowe stanowią również bardzo dobre rozwiązanie w przypadku skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej (CHP). Układy CHP z tłokowymi silnikami gazowymi są stosowane najczęściej do produkcji gorącej wody (fotografia 2). Ciepło odzyskuje się z wymiennika płaszczu silnika, wymiennika oleju oraz wymiennika spalin.

Podstawowy układ kogeneracyjny składa się z modułu wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej, energetycznego układu zabezpieczeń, rozdzielnic napędów pomocniczych, układu olejowego oraz układu chłodzenia.



Fot. 2. Układy CHP na składowisku odpadów komunalnych (źródło: fotografia własna)

Pracujący silnik napędza prądnicę elektryczną, w której powstaje energia elektryczna. W trakcie pracy silnik tłokowy nagrzewa się, wytwarzając ciepło, które jest częściowo odbierane przez olejowy układ chłodzenia. Znaczne ilości ciepła wydzielane są jednak do atmosfery wraz ze spalinami. Zarówno jedno, jak i drugie ciepło w układzie skojarzonym odzyskiwane jest przez układ wymienników ciepła. Ciepła te są sumowane i poprzez układ wodny lub glikolowy przekazane do odbioru na zewnątrz. Nad odpowiednimi parametrami wody lub glikolu na wejściu i wyjściu modułu CHP czuwa rozdzielnica napędów pomocniczych, która steruje zaworami i układem chłodzenia awaryjnego i nieustannie monitoruje parametry wody.

W układach CHP jedynie 35÷40% energii pierwotnej zawartej w biogazie składowiskowym przetwarzane jest na najbardziej pożądaną energię elektryczną. Pozostałą część stanowi energia cieplna (40÷53%) i straty (5÷15%). W przypadku braku możliwości zagospodarowania ciepła wytwarzanego w układzie, sprawność układu CHP równa jest sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Pozostała część energii termicznej zawartej w biogazie składowiskowym nie jest wykorzystywana.

Tak dzieje się na większości polskich składowisk odpadów wyposażonych jedynie w instalacje do odzysku energii elektrycznej z biogazu składowiskowego. Jest to spowodowane usytuowaniem składowisk z dala od potencjalnych odbiorców energii cieplnej. O ile z każdym rokiem w latach 2003–2012 wzrastała produkcja energii elektrycznej z biogazu składowiskowego, to w tym samym okresie sukcesywnie obniżała się produkcja ciepła wytworzonego z tego odnawialnego nośnika energii (tablica 1) [4].

Tablica 1. Produkcja energii elektrycznej i ciepła z biogazu składowiskowego [4]

Rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Energia elektryczna [GWh]	53,0	63,3	75,3	92,0	113,6	148,4	174,8	219,9	233,7	236,5
Ciepło [TJ]	230	136	91	109	30	148	112	113	62	69

Energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego w Polsce

Wprowadzony w Polsce system certyfikacji energii doprowadził do wzrostu zainteresowania inwestorów projektami energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego, który zgodnie z *Ustawą z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne* zaliczany jest do odnawialnych źródeł energii [12]. Spowodowało to zwiększenie liczby instalacji wytwarzających energię z biogazu składowiskowego. W okresie od 2003 do 2012 r. sukcesywnie wzrastała łączna moc urządzeń prądowców wykorzystujących biogaz ze składowisk odpadów (tablica 2) [4].

Zgodnie z danymi Urzędu Regulacji Energetyki (URE) w czerwcu 2014 roku moc instalacji osiągnęła poziom nieco ponad 63 MWe, a w kraju pracowały łącznie 104 instalacje do produkcji energii elektrycznej z gazu składowiskowego [5].

W tablicy 3 przedstawiono podział terytorialny instalacji energetycznego zagospodarowania gazu składowiskowego w Polsce.

Analizując sytuację dotyczącą energetycznego zagospodarowania gazu składowiskowego, jaka ma miejsce w ostatnich latach w naszym kraju, można przypuszczać, że rynek jest już

Tablica 2. Osiągalne moce urządzeń prądowców wykorzystujących gaz składowiskowy w latach 2003–2014 [4]

Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014
Moc [MW]	15*	15	18	23	25	29	31	39	44	51	57	63**

* Źródło danych [8]

** Źródło danych [5]

Tablica 3. Ilość i moc instalacji energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego w Polsce (dane na dzień 30 czerwca 2014 r.)

Województwo	Liczba instalacji	Moc [MW]
Dolnośląskie	9	7,389
Kujawsko-pomorskie	7	3,743
Lubelskie	1	0,500
Lubuskie	1	0,500
Łódzkie	5	4,147
Małopolskie	6	2,928
Mazowieckie	24	12,046
Opolskie	2	0,487
Podkarpackie	3	1,806
Podlaskie	1	0,700
Pomorskie	6	4,337
Śląskie	14	12,72
Świętokrzyskie	1	0,360
Warmińsko-mazurskie	4	1,914
Wielkopolskie	10	6,062
Zachodniopomorskie	10	3,769
Suma	104	63,408

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z URE [5].

praktycznie nasycony, a wszystkie większe składowiska zostały wyposażone w instalacje do odzysku energii z biogazu. Pozostaje jednak nadal kwestia zagospodarowania biogazu z mniejszych składowisk oraz problem wykorzystania energii cieplnej wytwarzanej w układach CHP. O opłacalności tego rodzaju inwestycji zadecyduje system wsparcia i ewentualna promocja produkcji energii w mikroinstalacjach OZE, co uwzględnić ma znajdująca się obecnie w fazie projektu nowa ustawa o OZE.

Następną kwestią, która może wkrótce wpłynąć na ilość generowanego na składowiskach biogazu, a w konsekwencji – na wykorzystanie mocy umiejscowionych na składowiskach instalacji energetycznych, jest zmiana systemu gospodarowania odpadami komunalnymi. Składowanie odpadów jest w coraz większym stopniu zastępowane procesami mechaniczno-biologicznego ich przetwarzania. W konsekwencji, na składowiskach zmniejsza się ilość deponowanych odpadów biodegradowalnych. Zmianom podlega także rodzaj odpadów. Obecnie na składowiskach deponowane są w przewadze odpady obojętne biologicznie oraz balast pochodzący z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Prowadzi to do minimalizacji beztlenowego procesu rozkładu substancji organicznych i w konsekwencji – zmniejszenia ilości gazu składowiskowego generowanego w złożu odpadów. Można przypuszczać,

że następstwem tych zmian będzie nieuchronny spadek mocy w instalacjach na składowiskach.

Potwierdzeniem nasycenia rynku energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego w Polsce jest porównanie ilości instalacji oraz zainstalowanej w nich mocy w 2012 roku z analogicznymi danymi z roku 2014. W tabelicy 4 zestawiono informacje dotyczące liczby instalacji oraz ich mocy, z uwzględnieniem podziału na województwa.

Analizując dane z tabelicy 4, możemy zauważyć, że w większości województw nie zmieniła się liczba instalacji energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego i ich zainstalowanej mocy. Ze względu na liczbę nowych instalacji wyróżniają się jedynie województwa: dolnośląskie, mazowieckie oraz wielkopolskie. W województwie dolnośląskim uruchomiono 4 nowe instalacje, a przyrost mocy wyniósł ponad 3 MW_e. W województwie wielkopolskim powstały 3 nowe instalacje, co spowodowało przyrost mocy

o około 1 MW_e. Natomiast w województwie mazowieckim, w którym również uruchomiono 3 nowe instalacje, sumaryczna moc wszystkich instalacji praktycznie nie uległa zmianie. Świadczyć to może o wspomnianej powyżej tendencji, zgodnie z którą moc instalacji będzie ulegała stopniowemu obniżaniu. Potwierdzeniem tego zjawiska są województwa: kujawsko-pomorskie oraz łódzkie, gdzie zanotowano spadek zainstalowanej mocy. Ciekawy przypadek zanotowano w województwach: podkarpackim, śląskim i zachodniopomorskim. Pomimo niezmiennego ilości instalacji nastąpił wzrost mocy o około 1 MW_e – dla każdego z wymienionych województw. Może to świadczyć o wspomnianej wcześniej optymalizacji instalacji odbioru gazu ze składowiska, polegającej np. na wykonaniu nowych studni odgazowujących, poprawie drożności kolektorów itp. Drugim powodem zaistniałej sytuacji może być zamykanie nierentownych instalacji, z jednoczesnym otwieraniem nowych na innych obiektach.

Tablica 4. Liczba instalacji energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego i ich moc w latach: 2012 i 2014 (stan na dzień 30 czerwca 2014 r.)

Województwo	Liczba instalacji			Moc [MW _e]		
	2012	2014	różnica [szt.]	2012	2014	różnica [MW]
Dolnośląskie	5	9	4	4,345	7,389	3,044
Kujawsko-pomorskie	8	7	-1	3,814	3,743	-0,071
Lubelskie	1	1	0	0,500	0,500	0,000
Lubuskie	1	1	0	0,500	0,500	0,000
Łódzkie	4	5	1	4,206	4,147	-0,059
Małopolskie	6	6	0	2,928	2,928	0,000
Mazowieckie	21	24	3	11,956	12,046	0,090
Opolskie	1	2	1	0,450	0,453	0,003
Podkarpackie	3	3	0	1,029	1,806	0,777
Podlaskie	1	1	0	0,700	0,700	0,000
Pomorskie	4	6	2	3,557	4,337	0,780
Śląskie	14	14	0	11,188	12,720	1,532
Świętokrzyskie	1	1	0	0,360	0,360	0,000
Warmińsko-mazurskie	2	4	2	1,142	1,914	0,772
Wielkopolskie	7	10	3	5,090	6,062	0,972
Zachodniopomorskie	10	10	0	2,825	3,769	0,944
Suma	89	104		54,590	63,408	8,818

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych URE [5].

Podsumowanie

Analizując polskie doświadczenia związane z energetycznym wykorzystaniem gazu składowiskowego, należy zaznaczyć, że wprowadzenie po 2005 roku mechanizmów wsparcia w postaci certyfikacji energii pozwoliło na znaczny

wzrost liczby elektrowni biogazowych oraz mocy w instalacjach wytwarzających energię z gazu na składowiskach odpadów. W dużej mierze wykorzystana została więc szansa na zagospodarowanie paliwa, które bez podjęcia jakichkolwiek

działań byłoby w najlepszym przypadku bezproduktywnie spalane w pochodniach. Obecnie przed projektantami instalacji energetycznego wykorzystania gazu w Polsce stoi niełatwe zadanie, polegające na optymalizacji pracy instalacji w sposób, który pozwoli na wydłużenie ich eksploatacji przy

zmieniającym się systemie składowania odpadów. Osobną kwestią jest też zagospodarowanie biogazu na mniejszych składowiskach, co przy odpowiednim systemie wsparcia tego typu inwestycji powinno przynieść wymierne korzyści, istotne przede wszystkim ze względu na ochronę środowiska.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 932–937

Artykuł nadesłano do Redakcji 3.09.2014 r. Zatwierdzono do druku 25.10.2014 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy pt. *Polskie konsorcjum energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego jako platforma wspomagająca transfer wiedzy oraz rozwój projektów* (Polish landfill gas to energy consortium as a platform for capacity building and projects development) – praca INiG na zlecenie U.S. Environmental Protection Agency; nr zlecenia: 6027/SN/13, nr archiwalny: DK-620-2/13.

Literatura

- [1] Dudek J., Klimek P., Flak K.: *Optymalizacja procesu wytwarzania energii odnawialnej na składowisku odpadów komunalnych Barycz w Krakowie – modernizacja stacji przesyłowej biogazu*. Nafta-Gaz 2011, nr 8, s. 568–571.
- [2] Dudek J., Klimek P., Kolodziejak G., Niemczewska J., Zaleska-Bartosz J.: *Technologie energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego*. Prace Naukowe INiG nr 174. Kraków 2010.
- [3] *Dyrektywa Rady nr 199/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów*. Dz.U. UE L 182 z 16.07.1999.
- [4] *Energia ze źródeł odnawialnych w 2012 r.*, GUS, Warszawa 2013.
- [5] <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html> (dostęp: 20.06.2014).
- [6] Klimek P.: *Ocena potencjału energetycznego odpadów komunalnych w zależności od zastosowanej technologii ich utylizacji*. Nafta-Gaz 2013, nr 12, s. 909–914.
- [7] Klimek P.: *Zatlaczanie gazu składowiskowego do sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego*. Nafta-Gaz 2009, nr 5, s. 415–418.
- [8] *Obwieszczenie Ministra Gospodarki w sprawie ogłoszenia raportu zawierającego analizę realizacji celów ilościowych i osiągniętych wyników w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii*. M.P.06.31.343.
- [9] *Ochrona środowiska 2013*, GUS, Warszawa 2013, s. 357.
- [10] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów*. Dz.U. z 2013 roku, poz. 523.
- [11] Stepniwska Z., Przywara G., Bennicelli R. P.: *Reakcja roślin w warunkach anaerobiozy*. Instytut Agrofizyki PAN. Acta Agrophysica 2004, nr 113.
- [12] *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne*. Dz.U. z 2012 roku, poz. 1059 z późn. zm.
- [13] www.horus-energia.pl (dostęp: 31.07.2014).



Mgr inż. Joanna ZALESKA-BARTOSZ
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie
Ocen Środowiskowych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: zaleska-bartosz@inig.pl