

Joanna Niemczewska

Institut Nafty i Gazu

Metodyka pomiarów emisji gazów ze składowisk odpadów komunalnych

Ze względu na brak referencyjnej metody pomiarowej emisji biogazu i w związku z koniecznością raportowania emisji metanu ze składowisk w wielu krajach prowadzone są badania nad wprowadzeniem skutecznych metod określania tych emisji. Jako że aktualne modele nie dają wiarygodnych narzędzi do oceny emisji metanu z pojedynczych składowisk, prace skupiają się nad wytypowaniem narzędzi oraz metod pomiarowych, które mogłyby być stosowane w tym celu. W artykule została szerzej przedstawiona metoda prowadzenia badań ilościowych przenikania metanu poprzez nienaruszoną warstwę uszczelniającą przy użyciu specjalnie do tego celu skonstruowanego urządzenia o nazwie *flux-box*.

Słowa kluczowe: biogaz, składowiska odpadów komunalnych, *flux-box*.

The methodology for the measurement of greenhouse gas emissions from municipal landfills

Due to the lack of reference methods for measuring biogas emissions and therefore the need to report methane emissions from landfills studies are being conducted in many countries for the introduction of effective methods for determining these emissions. Since the current models do not provide reliable tools to assess methane emissions from landfills, work is being focused on picking tools and measurement methods that could be used for this purpose. This article discusses the quantitative research method for the diffusion of methane through the sealing layer by using a specially constructed device called the *flux-box*.

Key words: biogas, municipality landfill site, flux box.

Wstęp

Składowanie odpadów komunalnych na składowiskach stanowi podstawową metodę ich unieszkodliwiania. Mimo rozwoju nowych technologii utylizacji odpadów główny wysiłek należy skierować na unowocześnienie techniki ich składowania tak, aby dać gwarancję bezpieczeństwa sanitarnego, zapewnić skuteczną ochronę środowiska przyrodniczego oraz w uzasadnionych ekonomicznie przypadkach wykorzystać produkowany gaz do pozyskania energii.

Składowisko odpadów komunalnych produkuje znaczne ilości gazu, który emitowany jest do atmosfery z całej powierzchni obiektu. Intensywność tej emisji jest niejednorodna. Zjawisko to ulega zasadniczej zmianie po zakończeniu eksploatacji składowiska i jego rekultywacji. Dla opracowania optymalnego sposobu odbioru gazu należy dokonać niezbędnych obliczeń zmierzających do określenia produktywności gazowej składowiska [1].

Ogólna charakterystyka składowisk odpadów komunalnych

Składowiska odpadów komunalnych, jak sama nazwa wskazuje, to obiekty budowlane, gdzie unieszkodliwiane są

odpady komunalne. Zgodnie z definicją zawartą w ustawie o odpadach – odpady komunalne to „odpady powstające

w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład wykazują podobieństwo do odpadów powstających w gospodarstwach domowych” [11].

Składowiska odpadów komunalnych, przyjmujące obecnie ok. 97,8% masy odpadów w stanie surowym, są przekształcane w obiekty przyjmujące do składowania pozostałości po wcześniejszym przetworzeniu odpadów, zwłaszcza biologicznie rozkładalnych. Składowiska są końcowymi elementami kompleksowych systemów gospodarki odpadami, a nie jedynymi obiektami unieszkodliwiania odpadów komunalnych [4].

Aktualnie składowiska powinny być zlokalizowane tak, aby posiadały naturalną barierę geologiczną, uszczelniającą podłoże i ściany boczne [12]. Minimalna miąższość naturalnej bariery geologicznej wynosi 1 m, a współczynnik filtracji $k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s. W miejscach, w których naturalna bariera geologiczna nie spełnia określonych warunków, stosuje się

sztucznie wykonaną barierę geologiczną o minimalnej miąższości 0,5 m, zapewniającą przepuszczalność nie większą niż 10^{-9} m/s, którą wykonuje się w taki sposób, by procesy osiadania na składowisku odpadów nie mogły spowodować jej zniszczenia. Uzupełnieniem naturalnej lub sztucznej bariery geologicznej jest izolacja syntetyczna, zaprojektowana z uwzględnieniem składu chemicznego odpadów i geotechnicznych warunków składowania. Izolacja syntetyczna nie może stanowić elementu stabilizacji zboczy składowiska. Powyżej izolacji syntetycznej obiekty takie wyposaża się w system drenażu. Składa się on z warstwy drenażowej wykonanej z materiału żwirowo-piaszczystego lub innych materiałów o podobnych właściwościach o wartości współczynnika filtracji $k > 1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s i miąższości rzeczywistej nie mniejszej niż 0,5 m. W warstwie drenażowej umieszcza się system drenażu głównego, odprowadzającego wody odciekowe do głównego kolektora [12]. Istniejące składowiska należy odpowiednio zmodernizować lub zamknąć i zrehabilitować.

Emisje gazów ze składowisk odpadów

Gaz produkowany na składowisku odpadów emitowany jest do atmosfery całą powierzchnią, a w przypadku obiektów nieposiadających uszczelnienia migruje w gruncie, stwarzając znaczne zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego oraz środowiska przyrodniczego. Skala tych zagrożeń wskazuje na konieczność prowadzenia procesu odgazowania składowisk i minimalizacji zagrożeń poprzez spalanie gazu lub wykorzystanie go do celów energetycznych [2].

Składowiska odpadów komunalnych są źródłem emisji znaczących ilości metanu (CH_4) oraz dwutlenku węgla (CO_2). Ponadto w mniejszych ilościach uwalniane są również niemetanowe lotne związki organiczne (NMVOC), podtlenek azotu (N_2O), tlenek węgla (CO) oraz amoniak (NH_3), tlenki siarki (SO_x) i tlenki azotu (NO_x). Dodatkowo rozładunek odpadów oraz eksploatacja maszyn na składowisku stanowią źródło emisji pyłów (PM). W ostatnich latach polityka gospodarowania odpadami skierowana została w stronę redukcji ilości powstających odpadów oraz zmniejszania ich oddziaływania na środowisko, tym samym konieczny stał się odzysk (ewentualnie unieszkodliwienie) biogazu na składowiskach, jako metoda redukcji emisji metanu [4].

Procentową zawartość składników biogazu przedstawia tabela 1.

Przepływ gazu składowiskowego przez podłoże wokół składowiska zależy od wielu czynników: składu odpadów, warunków atmosferycznych, przepuszczalności gruntu, jego budowy strukturalnej oraz stopnia zawilgocenia składowanych odpadów (optymalna wilgotność wynosi 50%). Woda w procesie powstawania biogazu ma znaczenie w pierwszym etapie biodegradacji, wpływa ona na hydrolizę biopolimerów i jest środkiem transportu dla pożywek bakteryjnych. Powstający gaz jest nasycony parą wodną w ilości odpowiadającej ciśnieniu cząsteczkowemu pary nasyconej w temperaturze gazu [4].

Tabela 1. Procentowa zawartość składników biogazu [6]

Skład biogazu	Stężenie
Metan (CH_4)	45÷70%
Dwutlenek węgla (CO_2)	25÷55%
Azot (N_2)	0,01÷5%
Tlen (O_2)	0,01÷2%
Siarkowódór (H_2S)	10÷30 000 mg/m ³
Amoniak (NH_3)	0,01÷2,5 mg/m ³
BTX	< 0,1÷5 mg/m ³
Siloksany	< 0,1÷5 mg/m ³
Para wodna (w 25°C i 1013 mbar)	3,1%

Określenie wielkości emisji gazów ze składowisk odpadów

Określanie emisji metanu ze składowisk na drodze pomiarów nie jest zadaniem łatwym ze względu na to, że skła-

dowiska są źródłami rozproszonymi. Określanie emisji na drodze obliczeń szacunkowych napotyka wiele trudności

związanych ze specyfiką poszczególnych składowisk (m.in. różną ilością deponowanych odpadów, ich zróżnicowanym składem morfologicznym, sposobem składowania itp.), a także podejściem metodycznym, polegającym na przyjęciu koniecznych założeń. Najpowszechniejsze typy modeli wykorzystują jedno- i wielofazową kinetykę pierwszego rzędu, która opisuje rozkład odpadów pod działaniem mikroorganizmów oraz wytwarzanie gazu składowiskowego. Uzyskane w ten sposób dane dotyczące wytwarzania biogazu (produktywności gazowej składowiska) pozwalają na wyliczenie emisji po uwzględnieniu ilości gazu możliwego do odzyskania (odciągnięcia) oraz ulegającego utlenianiu w warstwie powierzchniowej. Tak więc, w oparciu o prognozę wytwarzania metanu, jego szacowana emisja ze składowiska wyliczana jest według prostego rachunku [10]:

$$\text{Emisja CH}_4 [\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{ h}^{-1}] = \text{produkcja CH}_4 - \text{odzysk CH}_4 - \text{utlenianie CH}_4$$

W szacunkowych obliczeniach wykorzystywane są różne modele kinetyczne rozkładu substancji organicznych, a algorytmy, ze względu na trudności uzyskania odpowiednich informacji, zawierają zwykle znaczną ilość założeń upraszczających [10]. Niektóre modele do obliczeń ilości emitowanego ze składowisk metanu zakładają często także

skuteczność instalacji odciągania, dobieraną np. w zależności od rodzaju i jakości przykrycia (we francuskim modelu EPER-ADEME – skuteczność odciągania od 0% do 90%), lub wręcz przyjmują stałą ilość gazu możliwego do odzyskania (np. 85% gazu odzyskiwanego w metodzie EPA).

Jako że aktualnie w wielu krajach UE wymagana jest ocena i składanie sprawozdań na temat niezorganizowanej emisji metanu ze składowisk, opracowywane są tam własne modele, w oparciu o które wyliczane są emisje. I tak, np.:

- we Francji oficjalną metodą jest model ADEME,
- w Wielkiej Brytanii stosowana jest metoda oparta na oprogramowaniu GasSim,
- w USA obowiązuje metoda US EPA wykorzystująca oprogramowanie LandGEM,
- w wielu krajach stosowana jest międzynarodowa metoda opisana w wytycznych IPCC (wytycznych Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmian Klimatu),
- w Holandii stosowany jest wielofazowy model NV Afvalzorg.

Najczęściej modele obliczeniowe stosowane są do szacowania emisji. Służyć mogą one jednak także do wyliczenia produktywności gazowej składowisk, której znajomość pozwala podejmować prawidłowe decyzje odnośnie do energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego [1, 9].

Określenie metodyki pomiaru emisji

Określanie produktywności gazowej składowisk wykonuje się przede wszystkim w celu oszacowania zdolności obiektu do tworzenia metanu, który powinien zostać poddany utylizacji poprzez jego energetyczne wykorzystanie.

Określanie produktywności gazowej jedynie na podstawie wyliczeń modelowych nie jest metodą wystarczającą. Otrzymane w ten sposób wyniki z reguły różnią się

między sobą znacznie w zależności od modelu przyjętego do obliczeń. Pomiary przeprowadzone za pomocą testu aktywnego odsysania gazu składowiskowego pozwalają na weryfikację produktywności uzyskanej przez modelowanie i w konsekwencji umożliwiają podjęcie właściwej decyzji odnośnie do zagospodarowania powstałego gazu składowiskowego [1].

Zakres przeprowadzanych prac

Monitoring emisji metanu z warstwy uszczelniającej pokrywającej składowisko realizowany jest w dwóch fazach [3].

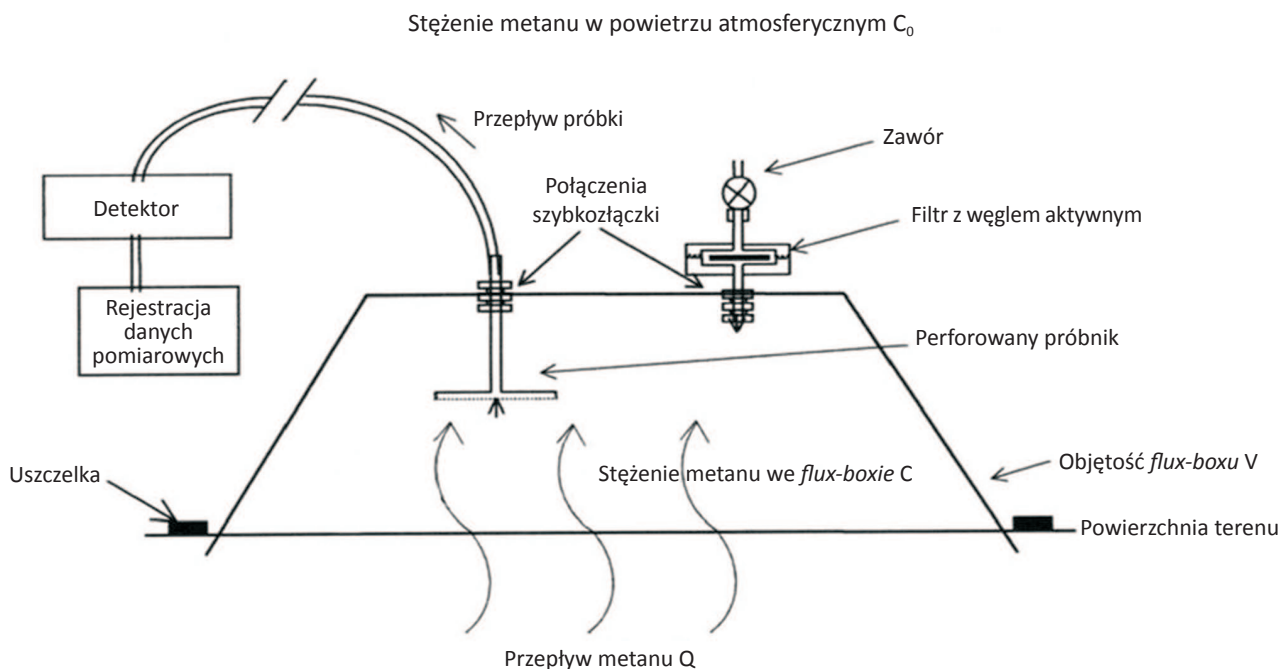
Pomiary wstępne

W fazie wstępnej dokonuje się pomiarów stężenia metanu tuż nad powierzchnią składowiska. Ta faza monitoringu obejmuje analizę dostępnych materiałów, np. istniejących raportów z badań, dokumentacji składowiska itp. Następnie przeprowadza się badania za pomocą aparatu wyposażonego w detektor FID. Badania mają na celu „zeskanowanie” pokrytej warstwą uszczelniającą powierzchni składowiska pod kątem stwierdzenia występujących ponad nią znaczących stężeń metanu.

Pomiary zasadnicze

Podczas prowadzenia badań ilościowych mierzy się przenikanie metanu przez nienaruszoną warstwę uszczelniającą przy użyciu specjalnie do tego celu skonstruowanego i przetestowanego stanowiska badawczego zwanego *flux-boxem*, stanowiącego w istocie komorę dyfuzyjną. Badania te pozwalają określić całkowitą ilość metanu przenikającą do środowiska z uszczelnionej powierzchni składowiska i zidentyfikować miejsca, w których emisja metanu przekracza określone standardy.

Badania należy prowadzić przy użyciu stanowiska badawczego zaprojektowanego specjalnie dla potrzeb monitoringu emisji powierzchniowej. Uproszczony schemat takiego sta-



Rys. 1. Urządzenie do badania wielkości emisji powierzchniowej [3]

nowiska, którego zasadniczą częścią jest komora dyfuzyjna, przedstawiono na rysunku 1.

Flux-box składa się z obudowy o znanej objętości i posiada dwa porty zainstalowane na górze. Otwór wlotowy jest używany do równoważenia ciśnienia, a otwór wylotowy do usuwania próbek. Taki układ ułatwia pobieranie próbek gazów bez zakłócania ciśnienia w komorze.

Pomiar stężenia metanu wewnątrz urządzenia rejestruje się za pomocą przenośnego detektora gazu, takiego jak detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID), lub urządzeń z podobną czułością i czasem reakcji [3]. Główne elementy *flux-boxu* to:

- prosta obudowa, otwarta podstawa, która może pokryć powierzchnię około $0,33 \pm 1 \text{ m}^2$,

- dwa kontrolowane otwory na górnej powierzchni *flux-boxu*,
- linia pobierania próbek,
- detektor gazu z opcjonalnym rejestratorem.

Procedura pomiaru emisji za pomocą *flux-boxu* obejmuje następujące etapy stosowane w każdym miejscu pobierania próbek:

- uszczelnienie krawędzi *flux-boxu* do powierzchni składowiska,
- pomiar stężenia metanu w krótkich odstępach czasu przez okres do jednej godziny,
- określenie stężenia metanu (w mg/m^3),
- obliczanie emisji powierzchniowej ($\text{mg/m}^2/\text{s}$).

Procedura pomiaru emisji powierzchniowej ze składowiska odpadów komunalnych za pomocą *flux-boxu*

Urządzenie pomiarowe stosowane do badań zawiera:

- zestaw *flux-boxów* z odpowiednimi łącznikami,
- narzędzia do oczyszczania powierzchni,
- GPS do zapisu położenia poszczególnych *flux-boxów*,
- łopatę do uszczelniania *flux-boxów*,
- analizator stężenia metanu z detektorem FID (lub podobne urządzenie),

- stoper,
- markery do oznaczenia każdej lokalizacji *flux-boxów*.

Liczba wykorzystywanych do badań *flux-boxów* będzie zależeć od tempa zmian stężeń metanu zaobserwowanych w poszczególnych *flux-boxach*. Generalnie nie praktykuje się prowadzenia badań jednocześnie w więcej niż 20 *flux-boxach* w ciągu jednej serii badawczej [3, 10].

Tablica 2. Etapy pomiaru emisji gazów ze składowiska odpadów komunalnych za pomocą urządzenia *flux-box* [3]

Etap 1: Potwierdzenie lokalizacji

- Należy sprawdzić proponowane lokalizacje pobierania próbek, aby zapewnić funkcjonalność i bezpieczeństwo.
- Na podstawie informacji zebranych w trakcie badania wstępnego należy ustalić optymalne rozmieszczenie dostępnych *flux-boxów*.
- Należy przypisać identyfikator dla każdej lokalizacji i zaznaczyć go na planie terenu.

cd. Tablica 2

Etap 2: Opisanie warunków atmosferycznych w trakcie wykonywania pomiarów
<ul style="list-style-type: none"> Należy zapisać warunki pogodowe, tj. prędkość wiatru, temperaturę i jakość wykonanej powierzchni uszczelniającej na badanym składowisku, i opisać źródło wszelkich informacji meteorologicznych.
Etap 3: Przygotowanie urządzenia do pomiaru
<ul style="list-style-type: none"> Należy uruchomić analizator stężenia metanu z detektorem FID, stosując procedury opisane w instrukcji obsługi dostarczonej przez producenta. Należy pozostawić analizator stężenia metanu z detektorem FID do czasu stabilizacji. W tym czasie należy umieścić odwrócony <i>flux-box</i> w pobliżu wybranej pozycji do analizy. Nie należy uszczelniać <i>flux-boxu</i> aż do zakończenia wszelkich przygotowań do pomiarów stężenia. Należy wykonać kalibrację analizatora stężenia metanu z detektorem FID. Podczas wykonywania pomiarów należy rejestrować czas i stężenie metanu w każdym kolejnym pomiarze. Może to być wykonane ręcznie lub za pomocą rejestratora danych.
Etap 4: Pomiar początkowego stężenia gazu
<ul style="list-style-type: none"> Należy uszczelnić krawędzie <i>flux-boxu</i> do powierzchni składowiska. Należy połączyć analizator gazu do komory <i>flux-box</i> na minimalny okres wymagany do uzyskania stabilnego odczytu. Zazwyczaj jest to 30 sekund. Po upływie czasu potrzebnego na stabilizację odczytu należy rejestrować dziesięć odczytów w odstępach 20-sekundowych i następnie obliczyć średnią z tych dziesięciu wartości.
Etap 5: Pomiary podczas pierwszych pięciu minut wykonywania badań
<ul style="list-style-type: none"> Wstępne pomiary należy wykonywać w regularnych odstępach, nie więcej niż jeden na minutę. Następnie przedział może być zwiększony do pięciu minut, w zależności od stwierdzonej zmiany stężenia metanu.
Etap 6: Przeprowadzenie pomiarów zasadniczych
<ul style="list-style-type: none"> <i>Miejsca o bardzo niskiej emisji powierzchniowej:</i> W celu zapewnienia dokładności pomiarów niezbędne jest uzyskanie wzrostu stężenia metanu o 5 ppmv w ciągu maksymalnie 30 minut prowadzenia badań. Jeśli nie wykryto wzrostu stężenia po 30 minutach, należy zapisać poziom emisji jako poziom poniżej wartości dolnej granicy wykrywalności, która wynosi $5 \cdot 10^{-5}$ mg/m²/s. <i>Miejsca o umiarkowanej emisji powierzchniowej:</i> W obszarach o umiarkowanej emisji powierzchniowej występują większe zmiany stężenia metanu. Zazwyczaj 10÷20 wykonanych punktów pomiarowych w ciągu 30 minut wystarcza do obliczenia prędkości zmian stężenia metanu. <i>Miejsca o wysokiej emisji powierzchniowej:</i> W obszarach o wysokiej emisji powierzchniowej stężenie metanu we <i>flux-boxie</i> może się szybko zmieniać. <i>Miejsca o bardzo wysokiej emisji powierzchniowej:</i> Jeżeli górna granica wykrywalności analizatora stężenia metanu z detektorem FID (czyli zazwyczaj jeden procent v/v metanu) jest przekroczona w badanym <i>flux-boxie</i> w ciągu pięciu minut, należy założyć, że w miejscu wykonywania badań emisja powierzchniowa przekracza standardy. Powierzchnia składowiska będzie zatem wymagać działań naprawczych.

Podsumowanie

Podstawą do przeprowadzania w Polsce badań emisji metanu i dwutlenku węgla ze składowisk są przepisy zawarte w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów*. Wynika z nich, że badania, obejmujące pomiar emisji gazu składowiskowego oraz monitoring zawartych w nim trzech składników: CH₄, CO₂ i O₂, powinny być przeprowadzane w reprezentatywnych częściach składowiska ustalonych w instrukcji eksploatacji składowiska, w miejscach jego gromadzenia,

przed wlotem do instalacji oczyszczania i wykorzystania lub unieszkodliwiania gazu [7]. Chociaż istnieje obowiązek prowadzenia badań biogazu i jego składników, nie ma ustaleń prawnych ani opracowanej normy regulującej sposób i zakres przeprowadzania pomiarów wielkości emisji gazów ze składowisk. Uzyskiwane wyniki badań monitoringowych biogazu oraz zawartych w nim metanu i dwutlenku węgla dają jedynie informację o wielkości emisji z kilku wybranych punktów pomiarowych i nie mogą być podstawą do określenia wielkości całkowitej emisji rocznej dla danego składowiska.

Prosimy cytować jako: *Nafta-Gaz* 2013, nr 8, s. 613–618

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Opracowanie metodyki pomiarów emisji gazów ze składowisk odpadów komunalnych*. Praca INiG na zlecenie MNiSW, nr archiwalny DK-4100-61/12, nr zlecenia 61/SN/12.

Literatura

- [1] Dudek J., Klimek P., Kołodziejak G. i in.: *Technologie energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego*. Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu 2010, nr 174.
- [2] Dudek J.: *Analiza zagrożeń emisją biogazu na terenie po zrehabilitowanym składowisku odpadów komunalnych w Krośnie*. Nafta-Gaz 2011, nr 8, s. 562–567.
- [3] Environment Agency Wales: *Guidance on Monitoring Landfill Gas Surface Emissions*. Environment Agency, 2010.
- [4] Klimek A., Wysokiński L.: *Poradnik metodyczny w zakresie PRTR dla składowisk odpadów komunalnych*. Warszawa 2010.
- [5] Ministerstwo Środowiska: *Wytyczne w zakresie kontroli i monitoringu gazu składowiskowego*. Warszawa 2010.
- [6] Project: Big-East: *Biogas purification and assessment of the natural gas grid in Southern and Eastern Europe*. Austria 2008.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów* (Dz.U. z 2003 r. Nr 61, poz. 549 z późn. zm.).
- [8] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów* (Dz.U. z 2002 r. Nr 220, poz. 1858 z późn. zm.).
- [9] Scharff H., Jacobs J.: *Comparison of Methane Emission Models and Measurements*. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2005.
- [10] Scharff H.: *Landfill Gas Production and Emission on Former Landfills*. NV Afvalzorg 2005.
- [11] Smith K. A., Bogner J.: *Measurement and Modeling of Methane Fluxes from Landfills*. IGAC Core Project Office, Cambridge 1997.
- [12] *Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach* (Dz.U. z 2013 r. Nr 0, poz. 21).



Mgr Joanna NIEMCZEWSKA
 Asystent w Zakładzie Technologii Energii Odnawialnych.
 Instytut Nafty i Gazu
 ul. Lubicz 25A
 31-503 Kraków
 E-mail: niemczewska@inig.pl

**ZAKŁAD TECHNOLOGII ENERGII
 ODNAWIALNYCH**

Zakres działania:

- prognozowanie produktywności gazowej składowisk odpadów komunalnych i ich weryfikacja poprzez testy aktywnego odgazowania;
- opracowanie koncepcji technologicznych instalacji do odgazowania składowisk i utylizacji biogazu wraz z doradztwem technicznym i oceną ekonomiczną energetycznego wykorzystania gazu;
- projektowanie i wykonawstwo instalacji odgazowania składowisk odpadów komunalnych;
- prowadzenie monitoringu składowisk odpadów;
- ocena zagrożeń powodowanych ekshalacjami metanu (złoża węglowodorów, składowiska odpadów);
- projektowanie instalacji automatycznego monitoringu powietrza glebowego;
- opracowanie raportów o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięć: branży górnictwa nafty i gazu, gazownictwa i gospodarki odpadami;
- przygotowywanie wniosków o pozwolenia zintegrowane dla składowisk odpadów oraz instalacji objętych obowiązkiem uzyskania tych pozwoleń.

Kierownik: mgr inż. Jerzy Dudek

Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków

Telefon: 12 660-36-07, 12 653-25-12 w. 127

Fax: 12 650-77-50, 12 653-16-65

E-mail: jerzy.dudek@inig.pl