

Jerzy Dudek
Institut Nafty i Gazu, Kraków

Analiza zagrożeń emisją biogazu na terenie po zrehabilitowanym składowisku odpadów komunalnych w Krośnie

Wstęp

Produkowany w składowiskach odpadów gaz emitowany jest do atmosfery przez całą ich powierzchnię, a w przypadku składowisk nie posiadających uszczelnienia – migruje również w gruncie, stwarzając znaczne zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego oraz środowiska przyrodniczego. Skala tego zjawiska wskazuje na konieczność prowadzenia kontrolowanego procesu odgazowania składowisk i minimalizacji zagrożeń, poprzez spalanie gazu lub (jeśli to możliwe) wykorzystanie go do celów ener-

tycznych. Dla opracowania optymalnego sposobu odbioru gazu należy wykonać pomiary jego ilości i składu oraz dokonać niezbędnych obliczeń zmierzających do określenia produktywności gazowej składowiska. Po przeprowadzeniu postępowania zgodnie z opisaną wyżej procedurą należy określić skalę zagrożeń powodowanych występowaniem biogazu oraz opracować wytyczne do korzystania z badanego terenu. W artykule opisano podjęte działania zmierzające do osiągnięcia zamierzonego celu.

Pomiary terenowe

Badania stanu środowiska na terenie działek zlokalizowanych na Osiedlu Traugutta w Krośnie wykonano w celu określenia poziomu zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi, wynikającego z emisji i migracji metanu produkowanego w zdeponowanych na składowisku odpadach oraz pod

kątem możliwości wykorzystania terenu pod budownictwo lub na działalność rekreacyjną.

Zakres prac obejmował: pomiary emisji metanu z powierzchni składowiska i terenu do niego przyległego oraz podpowierzchniowe badania składu gazu.

Pomiary emisji metanu z powierzchni składowiska i terenu do niego przyległego

Pomiary emisji metanu z powierzchni składowiska i terenu do niego przyległego wykonano analizatorem PORTAFID M3K firmy SEWERIN, którego zakres pomiarowy mieści się przedziale 0÷10 000 ppm CH₄. Pomiary wykonywano stosując sondy: punktową i dywanową.

Badaniami wykonanymi za pośrednictwem sondy dywanowej objęto cały teren byłego składowiska, na którym zostało wybudowane boisko do piłki nożnej. Pomiary

z wykorzystaniem sondy punktowej prowadzono na terenie boiska i na obszarze przyległym do 20 m od jego granic, z krokiem pomiarowym równym 10 m. Wyniki pomiarów wykonane ww. sondami wykazały minimalną emisję metanu, mieszczącą się w granicach 0÷50 ppm.

Stwierdzono nierównomierny rozkład emisji na powierzchni terenu byłego składowiska. Zwiększona emisja metanu występuje w pobliżu sond pomiarowych w których zmierzono najwyższe stężenie składników biogazu.

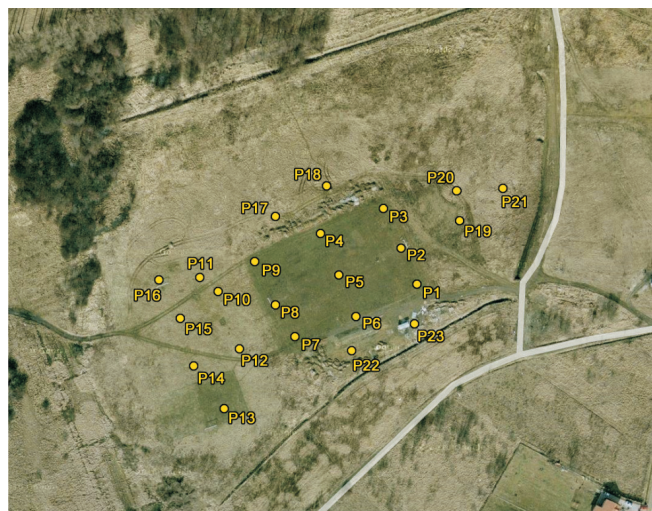
Podpowierzchniowe badania składu gazu i powietrza glebowego

Badania składu gazu wykonywano na głębokości 1,5÷3,0 m ppt., używając do tego celu sond wgłębnych, perforowanych w dolnych ich częściach. Sondy zapuszczano w warstwę odpadów przy użyciu młota spalinyowego Wacker BH-23.

Analizy stężenia głównych składników gazu składowiskowego: metanu, dwutlenku węgla i tlenu, wykonano analizatorem gazu typ GA-2000 Plus, firmy Geotechnical Instruments s/n 2765 – pobierając do analizy próbki gazu z 23 punktów zlokalizowanych na badanym terenie.

Graficzną lokalizację tych punktów przedstawiono na fotografii 1, a wyniki pomiarów składu gazu pobieranego z różnych głębokości zestawiono w tabelicy 1.

Pomiary składu powietrza glebowego, pobieranego w warunkach statycznych z sond pomiarowych na terenie



Fot. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych

Tablica 1. Skład biogazu na terenie badanego wysypiska odpadów, uzyskany dzięki analizie próbek pobranych przez sondy pomiarowe

Numer punktu pomiarowego	Głębokość poboru [m ppt.]	Skład gazu [% v/v]		
		CH ₄	CO ₂	O ₂
1	1,5	75,3	18,9	0,9
	3,0	79,1	19,5	0,2
2	1,5	48,1	18,1	4,5
	3,0	48,6	18,2	4,3
3	1,5	48,1	18,2	5,4
	3,0	49,4	18,5	4,6
4	1,5	46,9	9,4	3,9
	3,0	47,5	11,6	3,5
5	1,5	30,1	8,2	13,4
	3,0	31,0	9,5	11,6
6	1,5	30,3	8,1	12,3
	3,0	32,8	9,3	10,6
7	1,5	11,4	10,0	5,2
	3,0	12,6	11,3	4,9
8	1,5	1,1	0,9	19,2
	3,0	2,3	1,4	15,3
9	1,5	1,3	1,8	14,9
	3,0	2,5	1,4	15,2
10	1,5	0,1	0,2	20,1
	3,0	0,7	0,5	17,3
11	1,5	3,2	2,2	15,7
	3,0	4,0	2,4	13,8
12	1,5	3,6	2,9	16,6
	3,0	5,1	3,3	16,1

Numer punktu pomiarowego	Głębokość poboru [m ppt.]	Skład gazu [% v/v]		
		CH ₄	CO ₂	O ₂
13	1,5	0,7	1,2	18,3
	3,0	0,9	1,2	17,9
14	1,5	0,5	3,9	17,3
	3,0	0,8	3,8	16,2
15	1,5	0,2	3,3	18,5
	3,0	0,4	3,6	17,1
16	1,5	0,1	2,7	18,7
	3,0	0,3	4,2	18,3
17	1,5	6,4	5,3	13,3
	3,0	8,1	5,9	12,5
18	1,5	7,6	5,1	14,4
	3,0	8,4	5,4	13,9
19	1,5	9,0	5,8	15,2
	3,0	11,2	7,1	13,4
20	1,5	8,7	6,6	15,3
	3,0	9,1	6,9	14,7
21	1,5	2,9	3,2	17,2
	3,0	2,9	3,3	17,0
22	1,5	4,0	3,6	18,3
	3,0	4,2	3,7	17,9
23	1,5	5,1	3,9	17,3
	3,0	5,4	4,0	16,8

byłego składowiska odpadów, wykazały obecność gazu zawierającego metan i dwutlenek węgla. Przedstawione w tabelicy 1 wyniki pomiarów jednoznacznie wskazują, że odpady zdeponowane pod warstwą rekultywacyjną znajdują się w fazie schyłkowej metanogenezy.

Stwierdzono, że zawartość głównych składników gazu (CH_4 i CO_2) na badanym terenie jest zróżnicowana. Naj-

większe stężenie tych składników występuje w rejonie punktów pomiarowych o numerach 1÷7 oraz 17÷20, zlokalizowanych od strony południowo-wschodniej. W pozostałych zainstalowanych sondach stwierdzono obecność biogazu o niższej zawartości CH_4 i CO_2 . W warunkach swobodnego wypływu natężenie gazu ze wszystkich otworów badawczych jest minimalne i praktycznie niemierzalne [1].

Prognoza produktywności gazowej

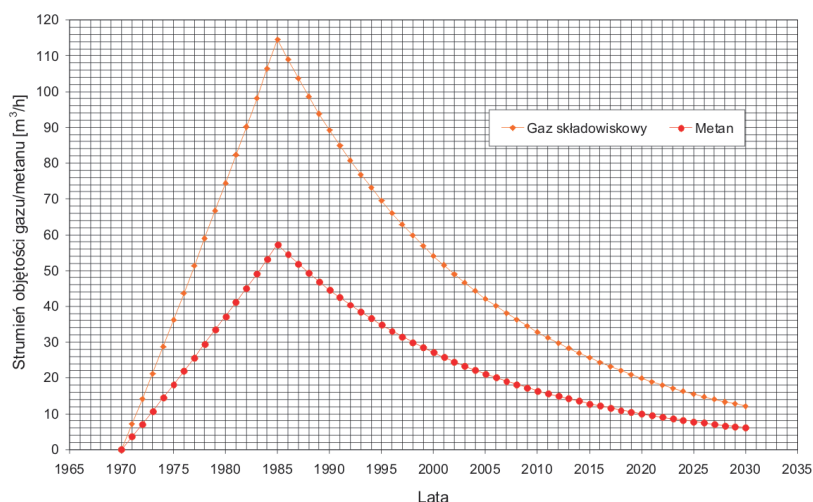
Wyznaczenie produktywności gazowej złoża, tj. zgromadzonych pod powierzchnią terenu odpadów, ma znaczący wpływ na postępowanie związane z opracowaniem wytycznych do bezpiecznego wykorzystania terenu, zagrożonego emisją i migracją biogazu.

Produktywność gazową składowiska odpadów obliczono na podstawie opracowanego w Instytucie Nafty i Gazu modelu rozkładu substancji organicznej [2]. Program ten służy do prognozowania produktywności gazowej oraz szacowania emisji metanu i dwutlenku węgla ze składowisk odpadów komunalnych. Ze względu na brak informacji związanych z eksploatacją badanego obiektu, do obliczeń modelowych przyjęto założenia dotyczące masy, morfologii i ilości złożonych odpadów w okresie funkcjonowania składowiska (w latach 1970–1984), zebrane na podstawie danych statystycznych i literaturowych.

Prognozę produktywności gazowej badanego składowiska przedstawiono w tabelicy 2 oraz na rysunku 1.

Tabela 2. Prognoza produktywności gazowej badanego składowiska w latach 2005–2015

Rok	Wartość strumienia objętości gazu wytwarzanego przez składowisko [Nm^3/h]	Wartość strumienia objętości metanu wytwarzanego przez składowisko [Nm^3/h]
2005	42,1	21,1
2006	40,1	20,1
2007	38,1	19,1
2008	36,3	18,2
2009	34,5	17,3
2010	32,8	16,4
2011	31,2	15,6
2012	29,7	14,9
2013	28,3	14,2
2014	26,9	13,5
2015	25,6	12,8



Rys. 1. Prognoza produktywności gazowej składowiska (lata 1970–2030)

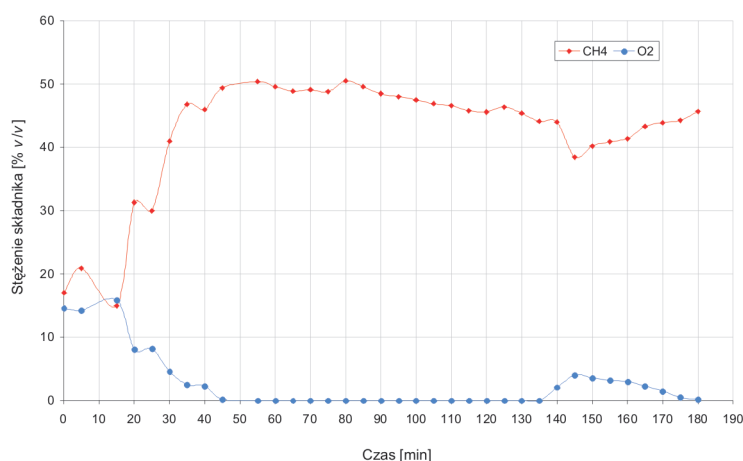
Testy aktywnego odbioru gazu

Prognozowanie produktywności gazowej składowiska bazuje na zestawie założeń, które mogą odbiegać od panu-

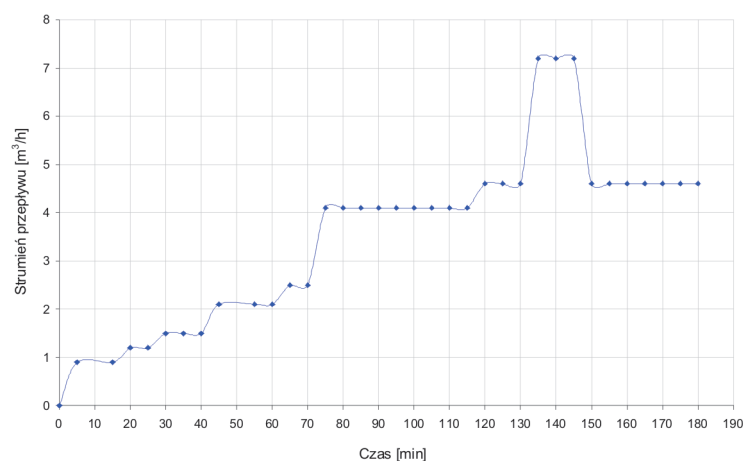
jących na nim warunków rzeczywistych; wyniki prognozy przedstawiają jedynie potencjalną zdolność składowiska

do wyprodukowania, w pewnych warunkach, określonej ilości gazu. W celu weryfikacji obliczeń stosuje się metodę polegającą na określeniu produktywności gazowej składowiska na podstawie pomiarów wydajności gazowej odwiertów testowych (w tym przypadku sond pomiarowych) – rozmieszczonych na terenie składowiska w poszczególnych jego sektorach. Badania polegają na pomiarze natężenia wypływu gazu z odwiertu oraz określeniu jego składu i ciśnienia. Dokładność oszacowania zależy głównie od dwóch czynników: właściwego usytuowania otworów testowych (by możliwie wiernie uchwycić różnice w aktywności poszczególnych części składowiska) oraz precyzji pomiarów, zmierzających do wyznaczenia promieni oddziaływania otworów testowych.

Weryfikację prognozy produktywności gazowej przeprowadzono wykonując pomiary ilości gazu wypływającego w warunkach dynamicznych z pięciu wykonanych otworów testowych, w których zainstalowano sondy pomiarowe. Wyniki pomiarów z testu odsysania gazu z sondy nr 1 przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Wyniki testu aktywnego odbioru gazu z sondy nr 1



Rys. 3. Wyniki testu aktywnego odbioru gazu z sondy nr 1

Analiza wyników badań

Pomiary wykonane sondą dywanową wykazały na powierzchni składowiska minimalną emisję metanu – w przedziale 0–50 ppm. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że składowisko to jest dobrze uszczelnione warstwą rekultywacyjną i produkuje niewielkie ilości gazu. Pomiar emisji metanu wykazał jej nierównomierny rozkład na powierzchni terenu byłego składowiska. Stwierdzono, że we wgłębnych sondach pomiarowych, zlokalizowanych na obszarze objętym zwiększoną emisją powierzchniową metanu, występują również wyższe stężenia tego gazu oraz dwutlenku węgla.

Wysokie stężenia CH₄ i CO₂ zmierzone w kilku sondach pomiarowych (przy braku lub minimalnym wypływie gazu w warunkach statycznych) potwierdzają, że odpady znajdują się w fazie schyłkowej metanogenezy, o niskiej produktywności gazowej [1].

Przeprowadzone pod powierzchnią warstwy rekultywacyjnej pomiary składu gazu wykazały, że składowisko

wytwarza gaz o typowym składzie, będącym wynikiem rozkładu substancji organicznej. Ilość powstającego gazu na terenie byłego składowiska oszacowano na podstawie opracowanego w Instytucie Nafty i Gazu modelu matematycznego. Z wyliczonej prognozy wynika, że najwyższa produktywność gazowa tego składowiska przypadła na lata 1984–1987 i wynosiła około 100 Nm³/h. Począwszy od roku 1985 rozpoczął się spadek produkcji gazu, która obecnie wynosi niewiele ponad 30 Nm³/h. Na podstawie obliczeń przewiduje się, że w roku 2030 produkcja biogazu spadnie do około 12 Nm³/h (czyli około 6 Nm³/h metanu). W celu uwiarygodnienia danych uzyskanych z wyliczonej prognozy, przeprowadzono testy aktywnego odsysania gazu gruntowego z terenu po byłym składowisku.

Podczas aktywnego odbioru gazu z pięciu otworów testowych uzyskano zróżnicowane wyniki pomiarów stężeń metanu i dwutlenku węgla. Największe wydajności

gazowe: $0,65 \div 7,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (przy stężeniu metanu w zakresie $6 \div 50\%$ obj. i dwutlenku węgla $4 \div 17\%$ obj.) uzyskano w sondach o numerach P1, P6 i P8, natomiast w sondach P15 i P21 przy odbiorze około $0,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ gazu stężenie metanu wynosiło około 2% objętości.

Pozyskanie w warunkach dynamicznych z trzech sond pomiarowych – w zakresie bardzo niskiego podciśnienia

(od -100 do -350 Pa) – łącznie około $8,5 \text{ m}^3$ gazu na godzinę pozwala z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że wyliczona prognoza produktywności obciążona jest stosunkowo niewielkim błędem.

Do dalszych rozważań przyjęto, że aktualna produktywność gazowa terenu po byłym składowisku odpadów na terenie Krosna wynosi około $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Wytyczne do bezpiecznego użytkowania terenu po byłym składowisku

Bezpieczne użytkowanie terenu po byłym składowisku odpadów zależy od przewidywanego sposobu jego wykorzystania. W pierwszej kolejności należy podjąć działania zmierzające do ograniczenia migracji gazu oraz prace mające na celu bezpośrednie zabezpieczenie obiektów usytuowanych na terenie przyległym do byłego składowiska.

W celu likwidacji zagrożeń wynikających z emisji i migracji gazu należy opracować projekt odgazowania oraz program monitoringu terenu po byłym składowisku. Na wypadek podjęcia decyzji o wykorzystaniu terenu na cele budowlane należy opracować „Instrukcję bezpiecznego prowadzenia prac budowlanych na terenie po składowisku odpadów komunalnych położonym na terenie Osiedla Traugutta w Krośnie”.

Badania wykonane w warunkach statycznych i dynamicznych wykazały, że pobierany do analizy z zainstalowanych sond pomiarowych gaz gruntowy zawiera składniki charakterystyczne dla produktów rozkładu odpadów – tj. metan i dwutlenek węgla. Proporcje stężenia tych składników w gazie wskazują, że proces rozkładu odpadów osiągnął fazę schyłkowej metanogenezy. Z danych literaturowych oraz doświadczeń autora wynika, że w warunkach polskich ten etap procesu rozkładu substancji organicznej osiągany jest po około 30 latach od rozpoczęcia składowania. Z całą pewnością jednak wytwarzanie metanu będzie trwało – z zanikającą intensywnością – przez szereg kolejnych lat.

Przy planowanym wykorzystaniu terenu, istotną informacją dla wytypowania odpowiednich środków bezpieczeństwa jest określenie ilości powstającego gazu składowego.

Na obecnym etapie jedynym rozwiązaniem było posłużenie się prognozą szacunkową. Zakładając, że składowanie odpadów zakończono około 25 lat temu, obecnie ilość produkowanego metanu wynosi około $15 \text{ m}^3/\text{h}$. Krótkotrwałe badania odsysania otworów testowych nie wykluczyły, że taka ilość metanu może powstawać, ponieważ z najbardziej aktywnych otworów uzyskiwano jego wydajności rzędu $0,5 \div 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Z uwagi na to, że nie wszystkie otwory testowe były aktywne, można szacować, iż faktyczna ilość metanu jest o około 20% niższa niż prognozowana. Dla celów projektowania należy jednak przyjąć zakres $15 \div 30 \text{ m}^3/\text{h}$ metanu lub $30 \div 60 \text{ m}^3/\text{h}$ biogazu – zawierającego około 50% metanu, 20% dwutlenku węgla i 30% azotu. Jedynym sposobem weryfikacji prognozowanych wartości było określenie aktualnej produktywności składowiska, metodą aktywnego odbioru gazu poprzez zainstalowane sondy pomiarowe. Sprawdzenie zgodności wartości zmierzonej z prognozowaną pozwoliło z dużym prawdopodobieństwem określić aktualną i przyszłą aktywność gazową odpadów.

Na podstawie uzyskanych informacji o składowisku oraz w oparciu o uzyskane wyniki obliczeń i pomiarów proponuje się następujący sposób odgazowania badanego terenu:

- wykonanie drenażu pod powierzchnią terenu o największym zagazowaniu,
- wykonanie barier zapobiegających migracji wytwarzanego biogazu,
- połączenie drenażu z barierami zapobiegającymi migracji.

Podsumowanie

W celu wyeliminowania zagrożeń spowodowanych emisją i migracją gazu, teren byłego składowiska należy odgazować według przedstawionych propozycji. Taki sposób odgazowania nie wymaga dużych nakładów inwestycyjnych, czy też specjalistycznego dozoru (niezbędnego w przypadku stosowania instalacji aktywnego odsysania wysypiska). Dla

zapewnienia bezpieczeństwa budynków zlokalizowanych w sąsiedztwie terenu po byłym składowisku wskazane jest opracowanie programu monitoringu, a także prowadzenie pomiarów składu gazu gruntowego – po uprzednim zainstalowaniu sond monitoringowych, mających na celu określenie zasięgu oraz intensywności migracji gazu.

Artykuł nadesłano do Redakcji 26.01.2011 r. Przyjęto do druku 28.04.2011 r.

Recenzent: dr inż. Andrzej Froński, prof. INiG

Literatura

- [1] Dudek J. i in.: *Wykonanie projektu odgazowania i użytkowania terenu po zrehabilitowanym wysypisku odpadów na terenie Osiedla Traugutta*. INiG, Kraków 2010.
- [2] Rachwański J., Dudek J., Schuster T.: *Minimalizacja zagrożeń środowiska, spowodowanych przez odpady i ścieki wytwarzane przez branżę górnictwa naftowego i gazownictwa oraz branże pokrewne*. Praca IGNiG, Kraków 1994.



Mgr inż. Jerzy DUDEK – absolwent AGH w Krakowie, Wydział Wiertniczo-Naftowy. Kierownik Zakładu Technologii Energii Odnawialnych Instytutu Nafty i Gazu. Obecnie zajmuje się realizacją prac badawczych związanych z produkcją energii ze źródeł odnawialnych.

ZAKŁAD TECHNOLOGII ENERGII ODNAWIALNYCH

- 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 oraz 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 oraz 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

