Bernadeta Rajchel
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Pigonia w Krośnie

BADANIA MONITORINGOWE GAZÓW WYSYPISKOWYCH NA WYBRANYM SKŁADOWISKU ODPADÓW W KROŚNIE

Streszczenie

W artykule przeprowadzono dyskusję na temat emisji gazów wysypiskowych z terenu składowisk odpadów na przykładzie byłego składowiska odpadów w Krośnie. Gaz wysypiskowy zawierający metan jest nieodłącznym produktem przemian biochemicznych zachodzących w odpadach bytowych podczas ich składowania. Składowiska odpadów komunalnych posiadają systemy odbioru oraz monitoringu biogazu i odcieków. O ile odcieki są uciążliwym i niebezpiecznym dla środowiska problemem, o tyle gaz wysypiskowy ze względu na dużą zawartość metanu jest cennym źródłem energii. Wykorzystuje się go do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej na potrzeby infrastruktury składowiska, a w przypadku dużych składowisk ilości pozyskiwanego biogazu są na tyle wysokie, że energię z niego uzyskaną odsprzedaje się odbiorcom zewnętrznym. Takie składowiska nazywa się niekiedy „antropogenicznymi złożami gazu".

Gaz wysypiskowy jest problemem w przypadku starych wysypisk odpadów. Są to tykające bomby ekologiczne. Przed kilkudziesięciu laty odpady, w tym i te niebezpieczne, deponowano w przypadkowych miejscach, nie sprawdzając czy warunki gruntowe i wodne będą stanowiły jakąkolwiek barierę zabezpieczającą przed migracją zanieczyszczeń. Nie prowadzono też ewidencji ilościowo-jakościowej tych odpadów. W artykule omówiono problem tego typu wysypisk odpadów i zagrożenia związane z ich obecnością dla środowiska i ludzi.

Słowa kluczowe: gaz wysypiskowy, byłe składowiska odpadów, zagrożenie, środowisko

MONITORING STUDIES OF LANDFILL GASES IN A FORMER LANDFILL IN KROSNO

Summary

The paper discusses the issue of landfill gas emission from a landfill site based on the example of a former landfill in Krosno. Landfill gas containing methane is an inherent product of biochemical changes that take place in domestic waste during their storage. Municipal landfills have systems for biogas/leachate monitoring and collection. As opposed to leachate, which is a noxious problem posing danger to the environment, landfill gas is a valuable source of energy due to the high content of methane. It is used for heat and electrical energy generation for the purpose of landfill infrastructure. In the case of large landfills, the amounts of biogas are sufficiently high to generate energy for external recipients. Such landfills are sometimes referred to as "anthropogenic gas deposits".

Landfill gas becomes a problem in the case of old landfills, which represent ticking environmental bombs. A few decades ago, waste, including hazardous waste, was deposited at random sites without checking whether ground and water conditions would ensure any barrier pre-

venting waste migration. Also, there were no quantitative or qualitative records of this waste. In the article discusses the issue of this type of landfills as well as the threat they pose to the environment and people's health.

Keywords: landfill gas, former landfills, threat, environment

1. Wprowadzenie

Gaz wysypiskowy zawierający metan jest nieodłącznym produktem przemian biochemicznych zachodzących w odpadach bytowych podczas ich składowania. Na zjawisko powstawania gazu w zdeponowanych odpadach zwrócono pierwszy raz uwagę w okresie międzywojennym. W 1934 r. w Wielkiej Brytanii po raz pierwszy w gazie wysypiskowym zidentyfikowano metan [9].

Obecnie składowiska odpadów komunalnych już na etapie projektu posiadają systemy odbioru oraz monitoringu biogazu i odcieków. O ile odcieki są uciążliwym i niebezpiecznym dla środowiska problemem, o tyle gaz wysypiskowy ze względu na dużą zawartość metanu jest cennym źródłem energii. Wykorzystuje się go do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej na potrzeby infrastruktury składowiska, a w przypadku dużych składowisk ilości pozyskiwanego biogazu są na tyle wysokie, że energię z niego uzyskaną odsprzedaje się odbiorcom zewnętrznym. Takie składowiska nazywa się niekiedy „antropogenicznymi złożami gazu".

Gaz wysypiskowy jest problemem jedynie w przypadku starych składowisk odpadów. Są to tykające bomby ekologiczne. Przed kilkudziesięciu laty odpady, w tym i te niebezpieczne, deponowano w przypadkowych miejscach, nie sprawdzając, czy warunki gruntowe i wodne będą stanowiły jakąkolwiek barierę zabezpieczającą przed migracją zanieczyszczeń. Nie prowadzono też ewidencji ilościowo-jakościowej tych odpadów. Wiele z takich wysypisk zrekultywowano, plantując sterty odpadów i nawożąc na ich powierzchnię warstwę zwięzłego gruntu, jednak wewnątrz wysypiska nadal trwa generacja gazu i powstają toksyczne odcieki. Wystarczy niewielka zmiana warunków gruntowo-wodnych, by te zanieczyszczenia ujawniły się z dużą szkodą dla środowiska naturalnego oraz zdrowia ludzi.

Takim właśnie miejscem jest teren dawnego składowiska odpadów w Krośnie. Po około 30 latach od zamknięcia wysypiska Instytut Nafty i Gazu w Krakowie, na zlecenie Urzędu Miasta Krosna, dokonał badań kontrolnych koncentracji gazu wysypiskowego w gruncie.

Celem niniejszego opracowania jest analiza pomiarów stężenia podstawowych składników gazu wysypiskowego w powietrzu glebowym na terenie byłego wysypiska odpadów w Krośnie, określenie skali zagrożenia środowiska emisją tych gazów oraz podanie zaleceń na temat dalszego postępowania z omawianym zagrożeniem.

2. Właściwości i skład gazu wysypiskowego

Przeprowadzone w ostatnich latach badania wykazały, że metan (główny składnik gazu wysypiskowego) jest ok. 20-krotnie bardziej szkodliwy dla środowiska natu-

ralnego niż dwutlenek węgla [9]. Gaz może uchodzić ze składowiska we wszystkich kierunkach (stochastycznie).

Są przykłady na to, że ze starych i dawno zamkniętych wysypisk gaz rozchodził się aż do oddalonych o kilkadziesiąt, a nawet kilkaset metrów domów mieszkalnych. Na nieprawidłowo eksploatowanych wysypiskach zdarzają się mniejsze lub większe wybuchy gazu. Niebezpieczeństwo takie grozi także przy odsysaniu gazu z wysypiska, jego przygotowywaniu (oddzielenie kondensatu, siarkowodoru, odorów i dwutlenku węgla, jeśli gaz ma być przeznaczony do celów opałowych) i wreszcie termicznej utylizacji. Właściwe odgazowanie złoża, ujmowanie i unieszkodliwianie lub wykorzystanie gazu powinno być częścią każdego nowego projektu składowiska.

Prawo budowlane wielu krajów pozwala budować inne obiekty na dawnych terenach składowania odpadów po 20 latach od zamknięcia wysypiska. W świetle najnowszych badań powinno to jednak być obwarowane pewnymi ograniczeniami. Zgodnie z zaleceniami Unii Europejskiej składowiska o rocznej masie składowanych odpadów wynoszącej powyżej 10 tys. Mg powinny posiadać instalacje odgazowujące. W Polsce w 2014 r. było 342 składowisk posiadających instalacje do odgazowywania, co stanowiło 86,8% ogółu czynnych składowisk, na których deponowano odpady komunalne [8].

Gazy powstające na składowisku są zbliżone składem do gazu pofermentacyjnego, a więc składają się głównie z metanu i dwutlenku węgla. Końcowym produktem beztlenowego rozkładu odpadów organicznych są: metan 45–65% objętości, dwutlenek węgla 25–35% objętości, azot 7–10% objętości, tlen < 3% objętości oraz pozostałe domieszki ok. 1% objętości [5]. Skład gazu w pionowym przekroju złoża nie jest stały. Odzwierciedla on wpływ warunków zewnętrznych, zwłaszcza że penetracja powietrza w głąb złoża powoduje obecność tlenu, azotu i w niewielkim stopniu innych składników.

Metan jest beztlenowym i bezbarwnym gazem, lżejszym od powietrza, zbiera się zatem w górnej części urządzeń. Temperatura wrzenia metanu wynosi -165˚C. Z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową. Dolna granica wybuchowości to 5%, a górna 15%. Średnia wartość opałowa wynosi ok. 21,54 MJ/m^3 [4]. Jest gazem nietrującym, ale pogarsza skład powietrza. Nie wykazuje działania toksycznego, jeżeli tylko stężenie tlenu jest wystarczające do oddychania. Pozostałe składniki biogazu stanowią niewielką ilość. Spośród 200–400 gazów towarzyszących tylko niewielka liczba należy do grupy gazów o istotnym znaczeniu dla środowiska.

W literaturze [7] wymienia się najczęściej występujące pozostałe składniki biogazu, m.in.: siarkowodór 0–100 ppm, amoniak 0–100 ppm, merkaptan etylowy 0–120 ppm, aldehyd octowy 0–150 ppm, aceton 0–100 ppm, węglowodory C_2–C_{11} 0–50 ppm, związki chloroorganiczne 0–100 ppm. Gazami o bardzo intensywnym i odrażającym zapachu są, m.in. merkaptany, siarkowodór, aldehyd octowy. Ich próg wyczuwalności węchowej jest bardzo niski i wynosi 0,0007 mg/m^3 dla siarkowodoru i 0,0005 mg/m^3 dla merkaptanu etylowego.

Z gazów towarzyszących szczególnie niepożądany jest siarkowodór, który w połączeniu ze skondensowaną parą prowadzi do korozji urządzeń. Z tego względu już przy zawartości około 40 mg/m^3 siarkowodoru przeprowadza się odsiarczanie gazu.

3. Zagrożenia związane z obecnością gazu wysypiskowego

W składowisku gaz może migrować we wszystkich kierunkach, zgodnie z prawami przepływu. Może przenikać przez warstwy przepuszczalne w kierunkach poziomych i ukośnych, pionowo w górę i w dół, wzdłuż szczelin, pęknięć, a także na styku warstw odpadów i czaszy składowiska, wszędzie tam, gdzie są mniejsze opory ruchu. Wędruje również drogami stworzonymi przez człowieka, takimi jak: szyby górnicze, otwory wiertnicze, systemy kanalizacyjne i drenażowe, miejsca prowadzenia przewodów elektrycznych i rur. Może gromadzić się też pod pokryciami drogowymi, w fundamentach i piwnicach zabudowań oraz w naturalnych kawernach. Możliwe jest więc tworzenie się poduszek gazowych, stanowiących naturalne zbiorniki gazu. Poduszki takie są przyczyną erupcji gazu w przypadku wzrostu jego ciśnienia złożowego lub znalezienia przez gaz ujścia o niewielkiej średnicy [9]. Biogaz może także rozpuszczać się w odciekach lub wodach podziemnych i migrować wraz z nimi na znaczne odległości, wydzielając się z roztworu w sprzyjających warunkach w najbardziej nieoczekiwanych miejscach.

Gaz wysypiskowy może stanowić zagrożenie dla:

- roślin – degradacja strefy ukorzenienia,
- budowli – osiadanie, wybuchy, pożary,
- ludzi – nieprzyjemny zapach, niedotlenienie, działanie toksyczne, wybuchy lub pożary,
- wód gruntowych,
- atmosfery – zanieczyszczenie powietrza.

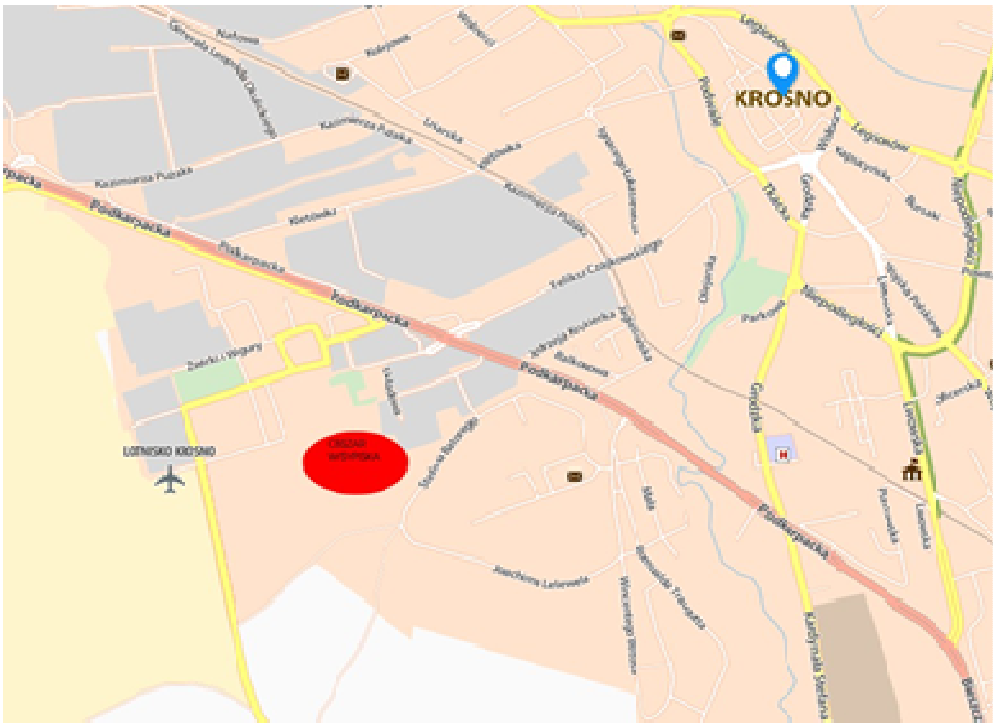
Zagrożenia te mogą obejmować teren wysypiska, jak i jego otoczenie.

Główne zagrożenie środowiska powodowane gazem wysypiskowym związane jest z jego zdolnościami do tworzenia mieszanin wybuchowych z powietrzem i łatwością migracji ze składowiska do obszarów przyległych. Metan staje się gazem wybuchowym przy stężeniu od 5 do 15%, siarkowodór – od 4,3 do 45,5%, natomiast tlenek węgla od 12,5 do 74,2% [3]. Zagrożenie metanem staje się duże, gdy gaz nie może przedostać się w sposób naturalny do atmosfery lub nie jest odzyskiwany.

4. Teren badań

Obszar, na którym znajdowało się składowisko odpadów, zlokalizowany jest w Krośnie przy ul. Batorego (ryc. 1). Jego powierzchnia wynosi 7,65 ha, z czego obszar byłego wysypiska o najwyższej emisji gazu wysypiskowego to ok. 0,7 ha.

Ryc. 1. Lokalizacja byłego wysypiska odpadów



Źródło: www.google.pl (dostęp: 10.09.2016)

Wysypisko utworzono w wyrobisku będącym pozostałością po istniejącej dawnej w tym miejscu cegielni. W okresie od 1970 do 1984 r. składowano na nim odpady komunalne i przemysłowe. Nie prowadzono ewidencji ilości i rodzaju składowanych odpadów. Po tym czasie teren został uporządkowany i poddany rekultywacji z zamiarem wykorzystania go na cele rekreacyjne. W latach dziewięćdziesiątych zrezygnowano z tych planów. Powstało tu jedynie boisko do gry w piłkę nożną. Obecnie teren ten jest zaniedbany, porośnięty wysoką trawą i krzakami. Miejscami przybrało formę „dzikiego" wysypiska (fot. 1).

a)

b)

Fot. 1a, 1b. Obecny wygląd byłego wysypiska odpadów
Źródło: fot. B. Rajchel

5. Pomiary gazów wysypiskowych – etap I

W 2010 r. Instytut Nafty i Gazu w Krakowie na obszarze dawnego wysypiska i terenów przyległych przeprowadził badania emisji i migracji gazu wysypiskowego. Podczas badań dokonano pomiaru wielkości emisji metanu na powierzchni terenu, zawartości metanu i składu powietrza glebowego oraz testów aktywnego odbioru gazu z terenu wysypiska. Dodatkowo opracowano prognozę wielkości emisji gazu wysypiskowego na opisywanym terenie w ciągu najbliższych dwudziestu lat [2].

Wykonane pomiary wykazały niewielką emisję metanu z powierzchni terenu wahającą się od 0 do maks. 50 ppm. Obszar największej emisji znajdował się w południowo-wschodniej części boiska. Na rycinie 2 zaznaczono, jak zmienia się zawartość emisji metanu na powierzchni badanego terenu. Kolejne bloki oznaczają zakresy emisji od największej w przedziale od 15 do 50 ppm – blok najmniejszy, poprzez zakres 5–15 ppm – blok średni, po emisję < 5 ppm w obrębie bloku największego.

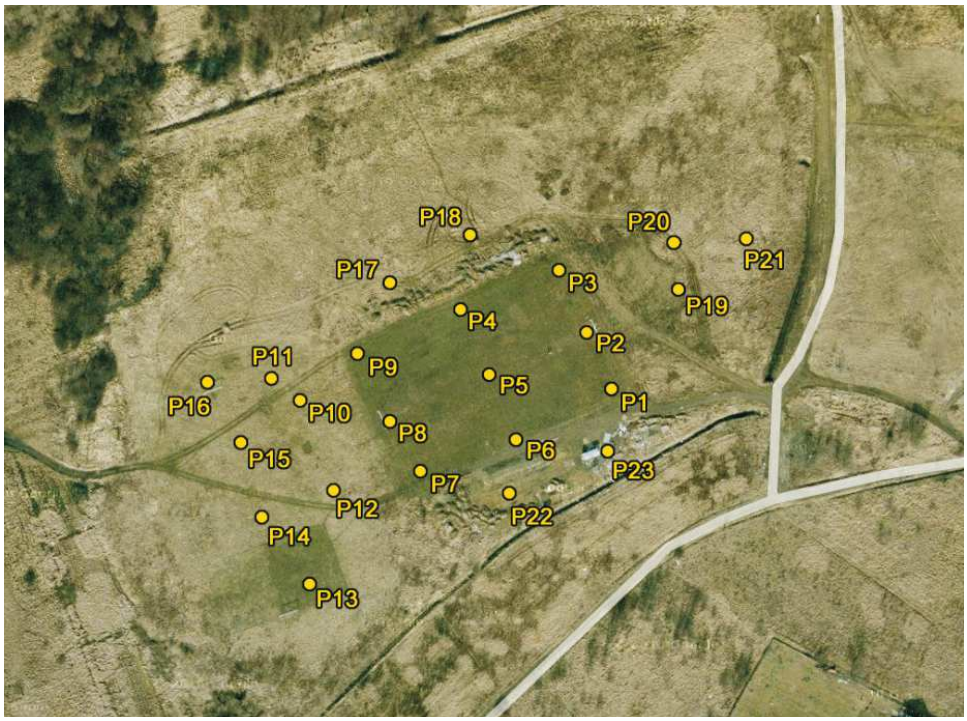
Ryc. 2. Koncentracja metanu na terenie wysypiska

Źródło: Instytut Nafty i Gazu w Krakowie, Projekt odgazowania i użytkowania terenu po zrekultywowanym wysypisku odpadów na terenie osiedla Traugutta; Kraków, grudzień 2010 r.

Następnie przeprowadzono analizę powietrza glebowego. Pomiary wykonano na dwóch głębokościach, tj. na głębokości 1,5 m oraz 3 m p.p.t. Zastosowano sondy wgłębne wykonane z perforowanych rur stalowych, wbijane za pomocą młota spalinowego. Łącznie na badanym obszarze rozmieszczono 23 sondy (ryc. 3). Do analizy wykorzystano analizator biogazu GA – 2000 Plus produkcji Geotechnical Instrument.

Zastosowany analizator biogazu służy w standardzie do pomiaru zawartości sześciu składników biogazu w warunkach terenowych. Są to: CH_4, CO_2, O_2, NH_3, CO, i H_2S.

Ryc. 3. Rozmieszczenie sond wgłębnych na terenie wysypiska



Źródło: J. Dudek, Analiza zagrożeń emisją biogazu na terenie po zrekultywowanym składowisku odpadów komunalnych w Krośnie, Nafta – Gaz, sierpień 8/2011.

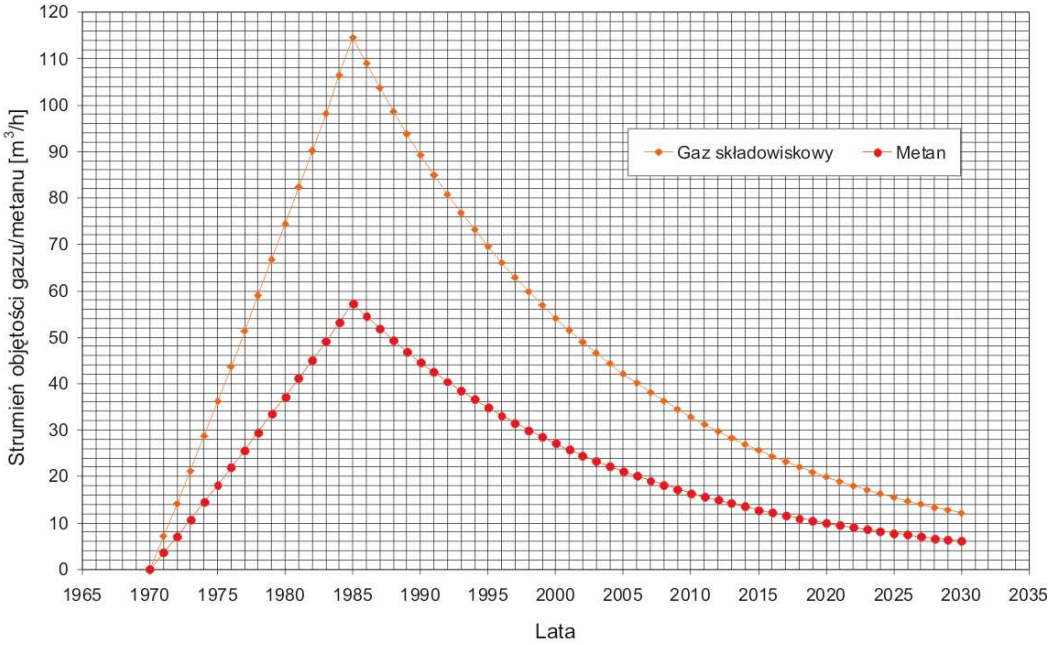
Największe stężenie CH_4 zanotowano w sondzie nr 1, gdzie na głębokości 1,5 m wynosiło ono 75,3%, a na głębokości 3 m – 79,1%. Zmierzona zawartość CO_2 wynosiła odpowiednio 18,9% i 19,5%. W przypadku sond 2, 3, 4 stężenie metanu sięgało blisko 50%, w sondach 5, 6 sięgało 30%. W pozostałych sondach wynosiło do 10%. Najniższe stężenie metanu odnotowano w sondzie 16, gdzie wyniosło ono 0,1% na głębokości 1,5 m oraz 0,3% na głębokości 3 m. Zawartość CO_2 w sondach 2 i 3 sięgała prawie 20%, w pozostałych odwiertach wynosiła poniżej 10%. Zawartość O_2 jest proporcjonalna do zawartości CO_2. Gdy stężenie CO_2 zbliża się do 20%, to stężenie O_2 maleje w okolice zera. Spadek stężenia CO_2 poniżej 1% jest związany ze wzrostem zawartości tlenu do blisko 20%.

Ocenę stadium dojrzałości, w jakim znajduje się wysypisko oraz prognozę emisji przez nie gazu wysypiskowego, wykonano za pomocą symulacji komputerowej, w oparciu o model matematyczny opracowany przez Instytut Nafty i Gazu w Krakowie. Model ten jest funkcją uwzględniającą połowiczne czasy rozpadu substancji organicznej podzielonej na cztery kategorie i ilości zdeponowanych odpadów. Model Instytutu pozwala z dużą dokładnością obliczyć wielkość emisji metanu, jeśli zna się ilość i rodzaj

zdeponowanych na składowisku odpadów. Do analizy użyto danych statystycznych, ponieważ nie prowadzono ewidencji ilości i rodzaju składowanych tutaj odpadów.

W oparciu o obliczone dane dotyczące masy wytworzonych odpadów oszacowano emisję gazu wysypiskowego oraz biogennego metanu do roku 2030. Symulację emisji gazów od 1970 do 2030 roku przedstawiono na rycinie 4. Wynika z niej, że odpady organiczne zdeponowane na składowisku obecnie znajdują się w końcowej fazie rozkładu i proces generowania gazu wysypiskowego zamiera. Ze względu jednak na to, że do wykonania prognozy użyto dane szacunkowe, prognoza ta została dodatkowo zweryfikowana poprzez testy aktywnego odbioru gazu.

Ryc. 4. Prognoza produktywności gazowej składowiska (lata 1970–2030)

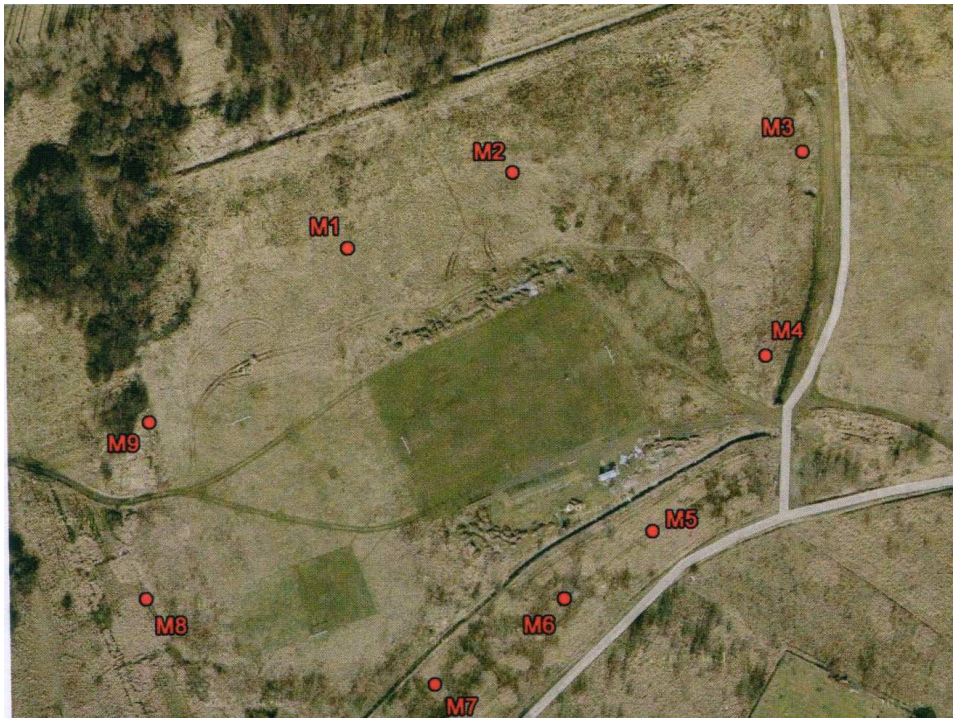


Źródło: Instytut Nafty i Gazu w Krakowie, Projekt odgazowania i użytkowania terenu po zrekultywowanym wysypisku odpadów na terenie osiedla Traugutta; Kraków, grudzień 2010 r.

6. Pomiary gazów wysypiskowych – etap II

W drugim etapie badań emisji biogazu na terenie składowiska odpadów prowadzono monitoring zmian składu i kierunku migracji gazu wysypiskowego przez okres trzech lat we wskazanych przez Instytut dziewięciu punktach. Punkty w terenie wyznaczono przy użyciu odbiornika GPS typu Trimble R6-2 z wykorzystaniem systemu ASG – EUROPOS. Lokalizację sond pomiarowych przedstawiono na rycinie 5. W niniejszym artykule zostały omówione wyniki pomiarów z pierwszego roku prowadzenia monitoringu.

Ryc. 5. Lokalizacja sond pomiarowych na terenie składowiska



Źródło: Instytut Nafty i Gazu w Krakowie, Projekt odgazowania i użytkowania terenu po zrekultywowanym wysypisku odpadów na terenie osiedla Traugutta; Kraków, grudzień 2010 r.

W wyznaczonych miejscach zespół osób pod kierownictwem doc. dr inż. Stanisława Rymara zainstalował sondy pomiarowe (fot. 2) w następujący sposób:

- wywiercono otwór o średnicy 80 mm przy pomocy wiertnicy typu KHD DEUTZ Nr 0417 przez warstwę rekultywacyjną i zagłębiono go na ok. 30 cm w nawiercone odpady,
- wprowadzono do otworu rurę PCV o średnicy 75 mm i długości 2 m z wykonaną w dolnej części perforacją,
- w części przypowierzchniowej uszczelniono iłem przestrzeń wokół rury,
- zamontowano kołpak ochronny na wierzchołku rury.

Fot. 2. Montaż sondy pomiarowej
Źródło: fot. J. Puchyrska

Charakterystyka poszczególnych otworów przedstawiała się następująco:

- Punkt/sonda 1: głębokość wiercenia 1,80 m – pod warstwą rekultywacyjną, którą stanowi glina ilasta, stwierdzono suche odpady budowlane typu gruz ceglany, szkło, gruz betonowy – otwór suchy.
- Punkt/sonda 2: głębokość wiercenia 1,13 m – pod warstwą rekultywacyjną jw. stwierdzono odpady stałe typu budowlanego mocno nasycone wodą o zabarwieniu ciemnym (odcieki) – otwór mokry.
- Punkt/sonda 3: głębokość wiercenia 1,50 m – pod warstwą rekultywacyjną jw. stwierdzono odpady stałe typu gruz budowlany – otwór suchy.
- Punkt/sonda 4: głębokość wiercenia 0,80 m – pod warstwą rekultywacyjną jw. stwierdzono odpady typu komunalnego (śmieci) na głębokość 0,5 m – otwór suchy.
- Punkt/sonda 5: głębokość wiercenia 2,55 m – pod warstwą rekultywacyjną stwierdzono odpady komunalne (typu śmieci) przemieszane z gruzem budowlanym – otwór suchy.
- Punkt/sonda 6: głębokość wiercenia 2,50 m – pod warstwą rekultywacyjną stwierdzono odpady tego samego rodzaju co w otworze nr 5 – otwór suchy.
- Punkt/sonda 7: głębokość wiercenia 1,80 m – pod warstwą rekultywacyjną odpady stałe typu komunalnego (śmieci) – otwór suchy.
- Punkt/sonda 8: głębokość wiercenia 1,40 m – rodzaj odpadów jw. – otwór suchy.

- Punkt/sonda 9: głębokość wiercenia 2,0 m – odpady budowlane typu gruz budowlany, rumosz – otwór suchy.

6.1. Metodyka pomiarów

Po zamontowaniu sieci piezometrów rozpoczęto regularne pomiary stężenia gazu wysypiskowego w odstępie dwutygodniowym. Monitoring stężenia gazu prowadzony był przez pracowników i studentów PWSZ w Krośnie w latach 2011–2014.

Pomiar stężenia gazu gromadzącego się w sondach prowadzono przy użyciu analizatora biogazu typu GEM 2000 firmy Tusnovics Instruments Polska (fot. 3,). GEM 2000 jest przenośnym urządzeniem dedykowanym do mierzenia i monitorowania gazu wysypiskowego na składowiskach odpadów. Dokonuje on pomiaru stężenia trzech podstawowych składników gazu wysypiskowego, tj. metanu, tlenu i dwutlenku węgla. Dodatkowo podłączając zewnętrzne sondy, można zwiększyć jego zakres pomiarowy o inne składniki biogazu. Pomiar stężenia metanu i dwutlenku węgla odbywa się metodą adsorpcji w podczerwieni, pomiar stężenia tlenu odbywa się przy użyciu celki elektrochemicznej. Dokładność pomiaru CH_4 i CO_2 w zależności od stężenia gazu wynosi (+ /-) 0,5% dla stężenia 0–15% i (+/ -) 3% dla stężenia powyżej 15%. Dokładność pomiaru stężenia O_2 wynosi (+/-) 1%. Aparat umożliwia również rejestrację temperatury powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego w chwili pomiaru. Dane pomiarowe są zapisywane w pamięci urządzenia. Można je kopiować, przetwarzać i archiwizować na komputerze za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Aparat jest bezpiecznym urządzeniem, które może być stosowane w strefie zagrożenia wybuchem.

a) b)

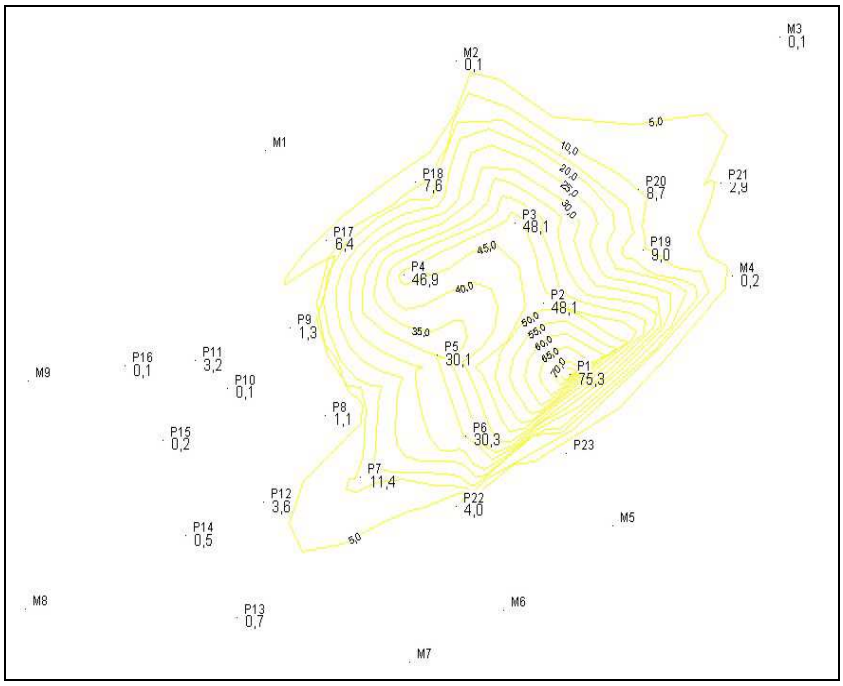
Fot. 3a, 3b. Pomiary na wysypisku w okresie zimowym i letnim analizatorem biogazu GEM 2000
Źródło: fot. B. Rajchel

6.2. Wyniki pomiarów i ich interpretacja

W okresie od 27 lipca 2011 r. do 19 października 2011 r. prowadzono pomiary wstępne, które miały na celu przetestowanie prawidłowego zamontowania sond oraz działania aparatury pomiarowej. Od 2 listopada 2011 r. prowadzono pomiary właściwe, które wykonywano z częstotliwością co 1–2 tygodnie. Oznaczano metan, dwutlenek węgla oraz tlen w dziewięciu punktach usytuowanych wokół byłego wysypiska.

Regularna obserwacja zmian składu gazu wysypiskowego na byłym wysypisku odpadów w Krośnie przyniosła informacje o zmianach dotyczących migracji i składu tego gazu w czasie. Szczególnie w przypadku obserwacji stężenia metanu widać wyraźnie, że jego zasięg zmienia się sezonowo zgodnie z porami roku. W pierwszym miesiącu prowadzenia monitoringu, w listopadzie 2011 r., obecność metanu zauważono jedynie w trzech otworach M2, M3, M4 położonych we wschodniej części badanego terenu. W sondach M2 i M3 stężenie metanu wyniosło 0,1%, a w sondzie M4 0,2%. W pozostałych otworach obecności metanu nie stwierdzono. Stan początkowy przedstawiono na mapie (ryc. 6), gdzie w oparciu o pomiary przeprowadzone przez INiG w październiku 2010 r. oraz pierwsze pomiary monitoringowe w listopadzie 2011 r. metodą interpolacji wykreślono szacowany rozkład stężenia metanu pod spągiem warstwy rekultywacyjnej na analizowanym obszarze.

Ryc. 6. Mapa stężenia metanu w [%] na obszarze byłego wysypiska odpadów w Krośnie na koniec 2011 r.



Źródło: Badania INiG w Krakowie i PWSZ w Krośnie

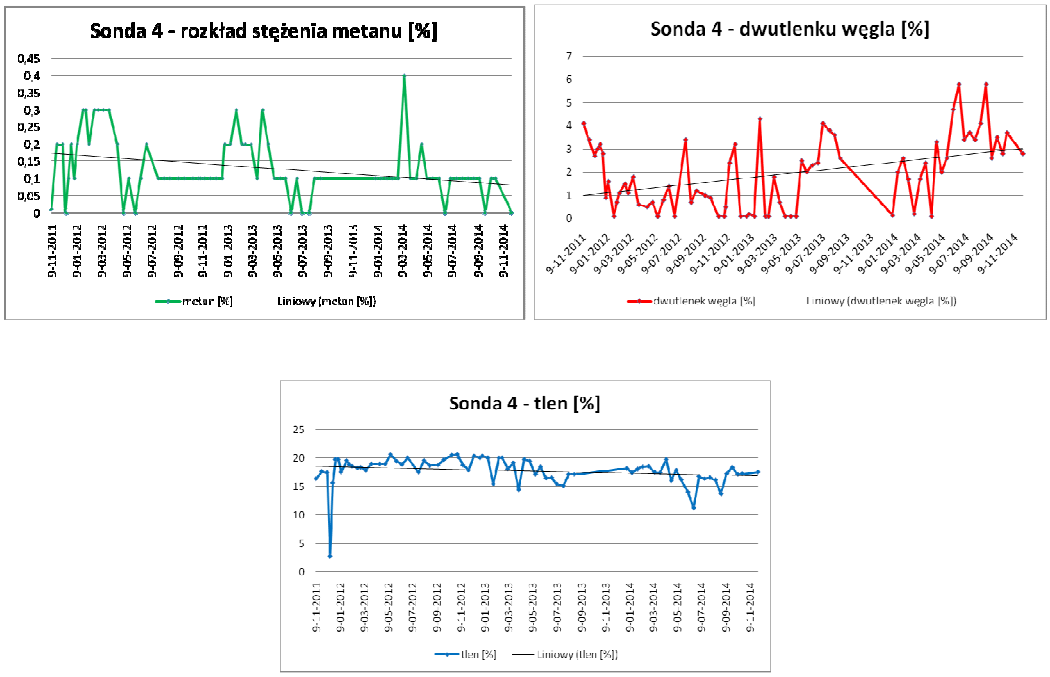
Okresem, kiedy miała miejsce najbardziej intensywna migracja metanu, był przełom zima/wiosna 2012 r. Najwyższy wynik stężenia metanu, jaki zanotowano, wynosił 12,1% (sonda nr 9). Na podstawie wszystkich wyników można stwierdzić, że ten pomiar znacznie odbiegał od pozostałych, ale taki zapis miał miejsce – nie był to błąd aparatury pomiarowej. Pozostałe wyniki mieściły się w granicach od 0,0% do 0,4%. Stężenie metanu zależy od warunków atmosferycznych. W okresie od lata do początku zimy stężenie CH_4 wahało się od 0,0% do 0,2%, czasem 0,3%, natomiast wiosną wzrosło do 0,4%. Było to niewielkie stężenie metanu, które nie stwarzało zagrożenia wybuchu. Wybuch metanu następuje przy stężeniu od 5% do 15%, natomiast najsilniejszy wybuch ma miejsce przy 9%. Przedstawiając dane z pomiaru stężenia metanu z poszczególnych sond na wykresach (ryc. 7 i 8) i obliczając dla nich linię trendu, zauważono, że mimo licznych skoków stężenie metanu w analizowanym gazie maleje, choć tempo zmian nie jest jednakowe dla wszystkich otworów pomiarowych.

Najmniejsze stężenie tlenu, jakie zostało odnotowane, wynosiło 2,8%, natomiast największe 21,0%. Małe wartości, jak np.: 2,8% lub 3,1% występowały sporadycznie, wyniki pomiarów utrzymywały się przeważnie w granicach między 15,0–20,0%. Obecność tlenu w gazie składowiskowym świadczy o tym, że obok procesów beztlenowych występują procesy tlenowe. Jeżeli zawartość tlenu wynosiła więcej niż 20,0%, oznaczało to, że warunki tlenowe zbliżone były do naturalnych warunków atmosferycznych. Zauważyć należy, że wartości stężenia tlenu były niższe (poniżej 19,0%) i bardziej zróżnicowane w przypadku pomiarów monitoringowych w sondach o numerach: 1, 2, 3 i 9, natomiast stabilniejsze i wyższe stężenia tlenu (ok. 20,0%) zanotowano w sondach numer: 4, 5, 6, 7 i 8. Stabilność wyników wskazywała na niewielką, a nawet brak aktywności gazowej zdeponowanych odpadów w tej części byłego składowiska. Niższe stężenia tlenu spowodowane były podwyższoną koncentracją dwutlenku węgla w odpadach.

Stężenie dwutlenku węgla wynosiło w zakresie od 0,1 do 10,9%, średnio ok. 4,5%. Najwyższe wartości CO_2 zanotowano w sondzie numer 3, nieco mniejsze w sondzie numer 9, 1 i 2. W pozostałych sondach wartości CO_2 mieściły się w granicach dokładności sprzętu pomiarowego. Mimo nietoksyczności CO_2 posiada niską wartość progową wynoszącą tylko 0,5% obj. (5000 ppm), a próg ekspozycji krótkotrwałej wynosi zaledwie 1,5%. Przebywanie w miejscu, gdzie stężenie CO_2, wynosi ponad 5% obj., stanowi poważne zagrożenie dla życia. Objawy zatrucia dwutlenkiem węgla to mdłości i osłabienie.

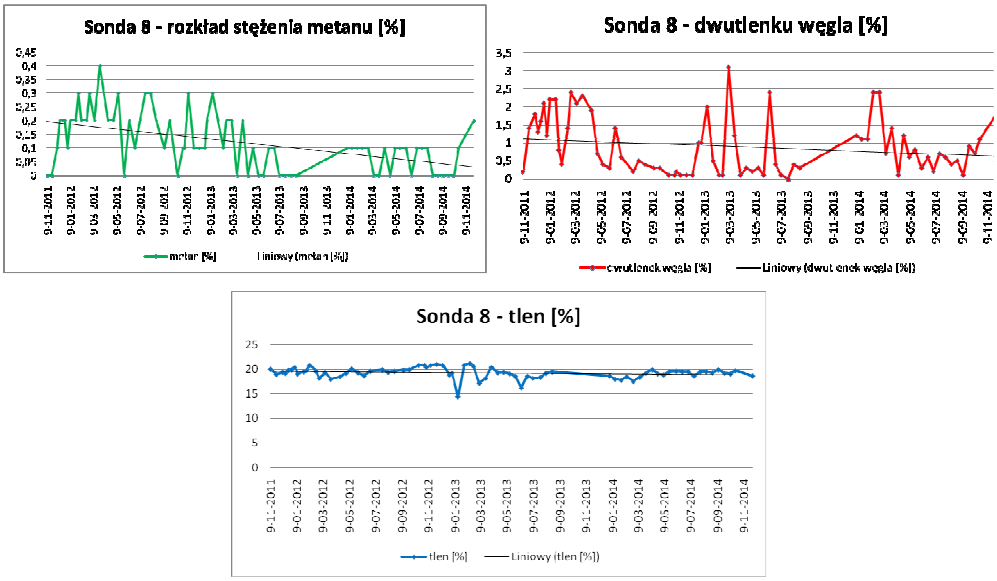
Na rycinach 7, 8 przedstawiono rozkłady stężeń składników gazu wysypiskowego dla dwóch wybranych sond pomiarowych: nr 4 i nr 8. Sonda nr 4 (ryc. 7) obrazuje sytuację, gdzie spadkowi średniego stężenia metanu towarzyszy wzrost stężenia dwutlenku węgla. Druga sonda nr 8 (ryc. 8) jest przedstawicielem liczniejszej grupy pomiarowej, w której trend stężenia metanu oraz dwutlenku węgla jest malejący.

Ryc. 7. Wykres stężenia metanu, dwutlenku węgla i tlenu w sondzie M4; stężenie gazu w %



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 8. Wykres stężenia metanu, dwutlenku węgla i tlenu w sondzie M8; stężenie gazu w %



Źródło: Opracowanie własne

7. Pomiary georadarowe

Na terenie byłego składowiska odpadów przeprowadzono dodatkowo pomiary georadarowe w celu próby ustalenia wielkości poszczególnych warstw: warstwy odpadów i warstwy rekultywacyjnej gruntu. Do pomiarów został użyty georadar Detektor Duo włoskiej firmy IDS. Georadar współpracuje z dwoma antenami o częstotliwościach: 250 MHz i 700 MHz.

Po wykonaniu badań stwierdzono, że głębokość deponowanych odpadów w zależności od miejsca wykonanego badania była różna i wahała się od 1,50 m do 3,50 m. Miąższość warstwy rekultywacyjnej gruntu wynosiła od 0,10 do 0,50 m. Mniejsza grubość tej warstwy znajdowała się na utwardzonej ścieżce biegnącej wzdłuż boiska sportowego, gdzie warstwa gruntu została zagęszczona, natomiast większą jej grubość obserwowano na terenie samego boiska [6].

Metoda georadarowa może być stosowana do wstępnego rozpoznania stref zdegradowanych, biorąc pod uwagę panujące w danym terenie czynniki środowiskowe. Interpretacja pomiarów georadarowych, oparta na analizie echogramów, pokazuje, że za pomocą tej techniki geofizycznej można określić miąższość warstwy rekultywacyjnej, głębokość deponowanych odpadów, strefy występowania zarówno gruntu zmienionego antropogenicznie, jak i gruntu naturalnego, granicę między poszczególnymi strefami, bez możliwości określenia rodzaju deponowanych odpadów.

8. Podsumowanie

Zlikwidowane składowisko odpadów w Krośnie znajduje się w schyłkowej fazie procesów metanogenezy. Obecnie produkuje ono około 25 Nm^3 gazu wysypiskowego zawierającego około 13 Nm^3 metanu. Gaz ten na niewielką skalę rozprzestrzenia się w powietrzu glebowym otuliny składowiska odpadów.

Na podstawie wykonanych pomiarów monitoringowych można stwierdzić niską aktywność zdeponowanych odpadów. Powtarzalność wyników wskazuje na brak aktywności gazowej zdeponowanych odpadów. Pomimo tego teren składowiska w obecnym stanie nie nadaje się do zagospodarowania. Chcąc przyśpieszyć proces rekultywacji, należałoby zbudować system wentylacyjny składowiska. Istnieje też ryzyko, że uruchamiając system odgazowania składowiska, doprowadzi się do uwolnienia odorów, co przy dominującym dla Krosna kierunku wiatrów południowych wiosną i jesienią oraz wschodnich i zachodnich latem i zimą, przy niewielkim udziale wiatrów północnych, będzie uciążliwe dla okolicznych mieszkańców.

Proponuje się, jeśli nie było wcześniej wykonane, zbadanie parametrów fizykochemicznych gleby i wód, głównie zawartości metali ciężkich w profilach glebowych oraz w wodach podziemnych i w wodzie gromadzącej się w rowie opaskowym, a także dalsze monitorowanie emisji gazów wysypiskowych, mimo że od ostatnio wykonanych badań minęło 5 lat, to gaz wysypiskowy jest stale obecny, w celu potwierdzenia końcowej fazy rozkładu odpadów organicznych zdeponowanych na składowisku i zakończenia procesu generowania gazu wysypiskowego.

Bibliografia

1. Dudek J., *Analiza zagrożeń emisją biogazu na terenie po zrekultywowanym składowisku odpadów komunalnych w Krośnie*, Nafta – Gaz, sierpień 8/2011, s. 562–567.
2. Instytut Nafty i Gazu w Krakowie, *Projekt odgazowania i użytkowania terenu po zrekultywowanym wysypisku odpadów na terenie osiedla Traugutta*; Kraków, grudzień 2010 r.
3. Kasprzyk A., *Wykorzystanie gospodarcze gazu wysypiskowego*, Praca niepublikowana, Kraków 2002.
4. Kowalczyk-Juśko A., *Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska,* Wydawnictwo Fundacja na Rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa 2013, s. 18.
5. Ocieczek L., Mniszek W., *Analiza możliwości energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego ze składowiska odpadów komunalnych w Dąbrowie Górniczej,* Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach, nr 1(6)/2010, s. 82.
6. Rajchel B., Chmielowski K., *Próba zastosowania georadaru do lokalizacji stref zdegradowanych*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA, t. XXXII, z. 62 (3/15), lipiec–wrzesień 2015, s. 345–355.
7. Wołoszyn T., O*dgazowanie wysypisk i gospodarcze wykorzystanie biogazu,* materiały konferencyjne „Najnowsze rozwiązania organizacyjne, techniczne i technologiczne w zakresie odzysku, unieszkodliwiania i składowania odpadów komunalnych", Towarzystwo na rzecz Ziemi, Oświęcim 2000.
8. www.stat.gov.pl (dostęp: 9.02.2017), publikacja: Adamczyk I., Różańska B., Sobczyk M., *Infrastruktura komunalna w 1014 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2015, s. 30.
9. www.znamibezpiecznie.pl/praca/bezpieczenstwo-i-higiena-pracy/771-gaz-wysypiskowy-zagrozenia (dostęp: 9.02.2017).