

POLITECHNIKA WROCLAWSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA

ROZPRAWA DOKTORSKA

*Posadowienie składowiska odpadów inne niż niebezpieczne i
obojętne w warunkach niekorzystnych*

Krzysztof Ważny

Promotor:

Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Gawdzik

Wrocław 2015

I. SPIS TREŚCI.....	2
1. Wstęp - analiza rynku gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce.....	5
2. Teza i cel pracy.....	8
3. Zakres pracy.....	9
II. PRZEGLĄD I ANALIZA LITERATURY	11
4. Składowanie odpadów – aspekty prawne.....	11
4.1. Prawne podstawy systemu postępowania z odpadami-rola przepisów unijnych....	11
4.2. Wybrane zagadnienia prawne z zakresu postępowania z odpadami w Polsce.....	14
5. Charakterystyka składowisk odpadów stałych innych niż niebezpieczne.....	17
5.1. Budowa składowiska.....	17
5.2. Uszczelnienie dna składowiska.....	22
5.3. Uszczelnienie powierzchni składowiska.....	30
5.4. Uszczelnienia boczne.....	32
5.5. Kontrola wód powierzchniowych.....	32
6. Gospodarka odpadami na składowiskach odpadów komunalnych.....	33
6.1. Eksploatacja.....	33
6.2. Procesy zachodzące w odpadach.....	38
6.3. Produkcja biogazu.....	42
6.4. Gospodarka odciekami na składowiskach.....	44
6.5. Bilans wodny składowiska.....	45
6.6. Skład chemiczny odcieków.....	48
6.7. Zbieranie odcieków i ich unieszkodliwianie.....	50
6.8. Monitoring.....	53
7. Rekultywacja i odgazowanie.....	60
7.1. Rekultywacja techniczna.....	60
7.2. Rekultywacja biologiczna.....	61
7.3. Zamknięcie składowiska.....	63
8. Geotechniczne i hydrologiczne kryteria lokalizacji składowisk odpadów.....	66
8.1. Budowa geologiczna.....	67
8.2. Warunki hydrogeologiczne.....	69
9. Wpływ składowiska odpadów komunalnych na środowisko	70
9.1. Zanieczyszczenia wody.....	71
9.2. Zanieczyszczenia gleby.....	71

9.3. Zanieczyszczenia powietrza.....	77
10. Metody eliminacji zagrożeń związanych z eksploatacją składowiska	79
11. Zasadność podjęcia tematu badań.....	83
III. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA.....	88
12. Wstęp-opis podstawowych parametrów prowadzonych badań monitoringowych...88	
13. Charakterystyka otoczenia składowiska odpadów komunalnych w gminie Kędzierzyn Koźle.....91	
13.1.Lokalizacja obiektu badanego.....	91
13.2.Typ krajobrazu i jego geneza.....	93
13.3.Budowa geologiczna	94
13.4.Warunki hydrogeologiczne.....	94
13.5.Hydrografia.....	95
13.6.Gleby.....	97
13.7.Powietrze i klimat.....	97
14. Ogólna charakterystyka obiektu badań.....99	
14.1.Podstawowe dane odnoszące się do Miejskiego Składowiska Odpadów w Kędzierzynie-Koźlu.....	99
14.2. Krótka charakterystyka działalności Miejskiego Składowiska Odpadów.....	100
14.3. Charakterystyka techniczna kwatery 1.....	104
14.4. Badania fizykochemiczne kwatery nr 1 prowadzone w latach 1998-2002.....	107
14.5. Charakterystyka techniczna kwatery 2.....	108
15. Badania fizyko-chemiczne składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie – Koźlu w latach 2004-2010.....113	
15.1. Stan gruntów na terenie obiektu badanego.....	113
15.2. Podstawa prawna i zakres prowadzonych badań.....	115
15.3. Sposób poboru próbek z piezometrów wód podziemnych.....	116
15.4. Wyniki badań z piezometrów wód podziemnych.....	121
15.5. Wyniki badań z drenaży wód podfoliowych kwatery 1 w latach 2004-2010.....	140
15.6. Wyniki badań z drenaży wód podfoliowych kwatery 2 w latach 2006-2010.....	149

15.7. Wyniki badań wód odciekowych pochodzących ze zbiornika odcieków w latach 2004-2010.....	149
15.8. Zestawienie badań ze zmienności ilości opadów atmosferycznych, temperatury powietrza i odcieków odprowadzonych do unieszkodliwiania w latach 2004-2010.....	159
15.9. Zestawienie wyników badań dla porównania zmienności parametrów drenażu podfoliowego kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010.....	164
15.10. Omówienie uzyskanych wyników.....	169
15.11. Sposoby zabudowy izolacji wraz z systemem drenaży wód odciekowych w skarpie kwatery składowiska odpadów komunalnych – Aneks jako propozycja autorska do zastosowania w projektowaniu zabezpieczeń tego typu obiektów.....	171
16. Podsumowanie i wnioski.....	177
17. Piśmiennictwo.....	180
18. Załączniki – spis rysunków, tabel, wykresów, aneksów.....	196

1. Wstęp - analiza rynku gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce

Rozwój cywilizacyjny kraju w ostatnich latach spowodował burzliwy wzrost ilości wytwarzanych odpadów oraz zmianę ich składu. Obecnie w kraju wytwarzamy ok. 13,5 miliona ton odpadów komunalnych rocznie, co daje średni wskaźnik nagromadzenia 350 kg na jednego mieszkańca rocznie. Ponad 35 % masy odpadów komunalnych w Polsce stanowią odpady opakowaniowe i inne surowce wtórne, które docelowo w większości winny być wtórnie wykorzystane do ponownego przerobu.

Podstawową metodą zagospodarowania odpadów jest, jak dotychczas, ich składowanie. Jest to najstarsza, a jednocześnie najbardziej uniwersalna forma ich usuwania i unieszkodliwiania. Zgodnie z ustawą o odpadach [34] „*Odpady, których nie udało się poddać odzyskowi, powinny być tak unieszkodliwiane, aby składowane były wyłącznie te odpady, których unieszkodliwienie w inny sposób było niemożliwe z przyczyn technologicznych lub nieuzasadnione z przyczyn ekologicznych lub ekonomicznych*”. W praktyce doprowadzi to do zmniejszenia ilości odpadów trafiających na składowisko, ale nie zlikwiduje istnienia składowisk - nadal pozostaną pewne grupy odpadów, które będą musiały być składowane.[66]

Znaczna część składowisk została oddana w agencję lub prywatne władanie, ale nie zapewniono właściwej kontroli i egzekucji obowiązujących przepisów prawa. Niektóre duże zagraniczne grupy kapitałowe podejmują działania zmierzające do zmonopolizowania rynku i eliminacji konkurencji. Rola gmin do lipca 2013 roku ograniczała się do administracyjnego wydawania decyzji. Znaczna część gmin nie wykorzystywała istniejących uprawnień wynikających z zapisów prawa np. uchwalanie dobrych regulaminów porządkowych, weryfikacja wydawanych decyzji, kontrola podmiotów wywozowych itd. Od 1 lipca 2013 roku znowelizowano ustawę o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. z 2011r. Nr 152, poz. 897.), w której to gmina została zobowiązana do prowadzenia kompleksowej gospodarki odpadami komunalnymi, które pochodzą od właścicieli nieruchomości zabudowanych i niezabudowanych.[35, 36]

Przez odpady komunalne rozumieć należy odpady powstające w gospodarstwach domowych, a także odpady nie zawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych.

Źródła powstawania odpadów komunalnych są następujące:

- gospodarstwa domowe,
- obiekty infrastruktury (handel, usługi, rzemiosło, szkolnictwo, turystyka),
- obiekty budowlane (nowe i remontowane),

- ogrody i parki,
- place i ulice w miastach.

Gminy mają realizować zdania polegające na zapewnieniu budowy, utrzymania i eksploatacji regionalnych instalacji do przetworzenia odpadów komunalnych, które w swym założeniu mają posiadać składowisko odpadów do deponowania odpadów niezagospodarowanych. Zasady jakie muszą spełniać tego typu instalacje zostały przedstawione w ustawie o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku (Dz. U. z 2013r. poz.21.)[34], a przepisy regulujące wymagania dotyczące lokalizacji, budowy i prowadzenia składowisk odpadów, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk zostały zawarte w znowelizowanym rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie składowisk odpadów (Dz. U. z 2013r. poz. 523)[140]

Do 2009 roku w kraju było ok. 900 zarejestrowanych składowisk odpadów komunalnych oraz bliżej nie określona liczba wysypisk (szacowana nawet na 4000). W tej sytuacji składowaniu podlegało ok. 97 %, a obecnie 87% odpadów komunalnych wywożonych w sposób zorganizowany. Większość składowisk nie spełniała standardów i norm UE i będzie stanowiła poważny problem do rozwiązania w najbliższych latach. Pozostałe 3 % , a obecnie 13% strumienia odpadów trafia do nielicznych kompostowni i sortowni oraz do jedynej w kraju spalarni odpadów komunalnych.[182] Z uwagi na to, że istniejące kompostownie produkują kompost nie mający nic wspólnego z materiałem ogrodniczym, a sortownie próbują rozsortować wcześniej skutecznie zmieszane w śmieciarkach odpady komunalne mamy do czynienia z ciągłym zapotrzebowaniem na budowę składowisk odpadów.[181]

Ten stan rzeczy powinien się zmienić po wejściu przepisów dotyczących unormowań prawnych gospodarowania odpadami w związku z dyrektywą w sprawie odpadów Nr 2008/98/WE[31]

Nowoczesne składowiska zorganizowane powinny posiadać odpowiednią i specjalną lokalizację, z uwzględnieniem kryteriów hydrologicznych i geotechnicznych, spełniać odpowiednie wymogi techniczne i są odpowiednio eksploatowane z zachowaniem wymogów ochrony środowiska w zakresie ochrony gleb, wód gruntowych i powierzchniowych.

Winny również spełniać warunki przeciwdziałania uwalniania się odorów, niekontrolowanej emisji gazu wysypiskowego, jak również zapewniać ochronę przed hałasem.

Dlatego też obecnie obiekty te są projektowane i wykonywane z uwzględnieniem drenażu wód powierzchniowych, systemu odprowadzenia gazu wysypiskowego, przy minimalizacji infiltracji wód opadowych do złoża odpadów (uszczelnienie warstwy wierzchniej), przy stosowaniu drenażu odcieków ze składowiska oraz odpowiednim uszczelnieniu dna i boków składowiska dla przeciwdziałania migracji odcieków poza obszar składowiska.

Składowiska należą do najtrudniejszych budowli inżynierskich ze względu na następujące cechy:

- powierzchnia od kilku do kilkuset tysięcy metrów kwadratowych,
- pojemność od kilku tysięcy do kilkunastu milionów metrów sześciennych odpadów,
- miąższość składowanych odpadów od kilku do kilkudziesięciu metrów,
- okres eksploatacji do kilkudziesięciu lat,
- maksymalna szczelność i minimalne oddziaływanie na otoczenie.

Budowa bezpiecznych nowych składowisk jest obowiązkiem każdej organizacji realizującej to zadanie na szczeblu gminy, regionu czy województwa. Właściwe postępowanie przy doborze lokalizacji i zastosowanej technologii wykonania obiektu, jest niezbędnym elementem realizacji zadania na etapie przygotowania projektu jako budowli inżynierskiej, którą jest składowisko odpadów komunalnych.

W związku z tym w niniejszej pracy, autor podjął się próby wykazania, że zastosowana w przeszłości tj. w 1997 r. technologia budowy składowiska, posadowionego na gruntach o wysokim stanie wód i wysokiej przepuszczalności po dokonaniu stosownych zmian w sposobie ujmowania i odprowadzania mediów oraz zmianach w doborze właściwej izolacji dna kwatery może być realizowana na tego typu terenach bez szkody dla środowiska gruntowo-wodnego. W Polsce mamy duże trudności z lokalizacją składowisk odpadów komunalnych z uwagi na warunki gruntowo-wodne, prowadzone protesty mieszkańców stanowią kłopot przy wydawaniu decyzji więc istnieje potrzeba wykorzystania terenów o niskiej klasie bonitacji położonych na gruntach o wysokim stanie wód, do budowy tego typu obiektów, minimalizując bezpośrednio oddziaływanie na środowisko poprzez sprawdzony system zabezpieczeń dna kwater i innowacyjny system odprowadzania odcieków .

2. Teza i cel pracy

➤ Teza

Składowisko odpadów komunalnych typu inne niż niebezpieczne nie spełniające wymagań zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 61, poz. 549 z póź. zm.), a obecnie z 2009 roku[144,145] dla tego typu obiektów, przy zastosowaniu właściwego systemu zabezpieczeń i prawidłowej eksploatacji nie szkodzi środowisku, mimo skrajnie niekorzystnych warunków posadowienia.

➤ Cel pracy

W Polsce istnieje szereg składowisk odpadów komunalnych posadowionych na terenach, które nie spełniają norm i wymagań Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy odpadów [144,145]. Z faktu niekorzystnych warunków posadowienia składowisk odpadów komunalnych wynika potrzeba związana z opracowaniem na danym terenie strategii remediacyjnych oraz wykorzystania sprawdzonych zabezpieczeń izolacji i sposobów odprowadzania odcieków z kwatery składowiska.

W związku z powyższym do głównych celów pracy należy:

- ocena składu wód podziemnych z kwatery 1, pobranych z piezometrów zabudowanych na kierunku spływu wód podziemnych;
- ocena składu wód podfoliowych kwatery 1, pobranych z zabudowanych pod izolacją dna drenaży zbierających;
- określenie na podstawie charakteru zmian właściwości badanych parametrów skuteczności wprowadzonych zabezpieczeń dna kwatery i skarp;
- opracowanie na podstawie prowadzonych obserwacji eksploatacji kwatery 1 nowych sposobów zabezpieczeń dla projektowanej kwatery 2, która będzie posadowiona w warunkach niekorzystnych tj. na terenie o wysokim poziomie wód gruntowych, dużej przepuszczalności i na zbiorniku wody pitnej;
- wykazanie, że zastosowane zabezpieczenia mimo niekorzystnych warunków położenia obiektu po wprowadzeniu do projektu nowej kwatery autorskich modyfikacji izolacji dna, systemu zabudowy drenaży oraz odprowadzania odcieków minimalizują zagrożenie zanieczyszczenia środowiska w sposób znaczący;
- opracowanie modeli systemu zabezpieczeń skarp, które mogą być wykorzystane w realizowanych pracach projektowych nowych i rekultywacji starych składowisk odpadów komunalnych posadowionych w niekorzystnych warunkach.

3. Zakres pracy

Przedmiotem analizy prowadzonych w niniejszej pracy badań była kwatera nr 1 składowiska oddana do eksploatacji w 1997 roku, gdzie wykorzystano przy opracowaniu projektu budowlanego istniejące w tym okresie w Polsce *know-how*. Kwatera została przekazana do eksploatacji zakładowi pn.: Miejskie Składowisko Odpadów w Kędzierzynie-Koźlu, który otrzymał na mocy uchwały Rady Miasta grunty gminne będące w zarządzie trwałym zakładu obejmujące teren ok. **24 ha** z czego pod 1 kwaterę przeznaczono **2,5 ha**.

Kwaterę posadowiono na gruncie, w którym przeważają ropy szare, nieco zapiaszczone lub margliste, przechodzące w drobnoziarniste piaski z wkładkami martwic wapiennych o współczynniku filtracji gruntu $k \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, a dno kwatery 1 było położone ok. 1 metra nad lustrem wody gruntowej.

Grunt rodzimy został odizolowany od warstw deponowanych odpadów komunalnych folią PEHD 2 mm.[131]

Kwatera 1 w wyniku prowadzonych obserwacji i badań była dla autora swego rodzaju poligonem doświadczalnym i stanowiła podstawę do wprowadzenia zmian w projektowaniu budowie i eksploatacji kwatery 2, gdzie zastosowano zabezpieczenia wykazane w rozporządzeniu [144] oraz zmodernizowano system drenaży odcieków, które zgłoszono do urzędu patentowego.

- **W tym okresie analizowano:**

a) jeden raz na kwartał:

- skład chemiczny wód gruntowych pochodzących z drenaży podfoliowych,
- skład chemiczny odcieków z drenaży nadfoliowych,
- poziom i skład chemiczny wód z piezometrów położonych przed i za kwaterą na kierunku spływu wód gruntowych,

b) codziennie rejestrowano:

- temperaturę otoczenia,
- masę odpadów wg kodów.

Analiza chemiczna prowadzona była zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie zakresu, czasu i sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów [150,140], a dotyczyła badań fizykochemicznych opisanych poniżej:

- odczynu pH,
- przewodności elektrolitycznej właściwej,
- zawartości metali ciężkich,
- zawartości OWO (ogólny węgiel organiczny),
- WWA (wyższe węglowodory aromatyczne).

II. PRZEGLĄD I ANALIZA LITERATURY

4. Składowanie odpadów – aspekty prawne

4.1. Prawne podstawy systemu postępowania z odpadami wg przepisów unijnych

Historia prawa unijnego związanego z postępowaniem z odpadami sięga lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Przepisy unijne tworzą system aktów prawnych stopniowo realizujący pewne wytyczne zawierane w tak zwanych aktach programowych (strategie i plany działania). Strategię działań Unii w dziedzinie postępowania z odpadami wyznaczyła rezolucja Rady z 24 lutego 1997 r. w sprawie strategii Wspólnoty w gospodarowaniu odpadami, uzupełniona i rozbudowana strategią przyjętą przez Komisję w 2005 r.

Ogólne założenia strategii postępowania z odpadami to *zapobieganie ich powstawaniu jako punkt wyjścia (wraz z minimalizacją wielkości powstawania odpadów) i preferowanie ich powtórnego wykorzystania, traktując usuwanie (unieszkodliwianie) jako ostateczność, w sytuacji gdy żaden inny sposób postępowania z odpadami nie jest możliwy* [52]. Z punktu widzenia wymagań ochrony środowiska największe znaczenie mają tzw. Dyrektywy Rady (Unii Europejskiej). Są one skierowane wyłącznie do państw członkowskich Unii i nie są źródłem prawa wewnętrznego poszczególnych państw.

Państwa członkowskie UE są natomiast zobowiązane na gruncie własnych przepisów prawnych włączyć treści odpowiadające wymaganiom dyrektyw [91]. Na szczeblu prawa unijnego podstawowym aktem prawnym ustalającym cele i zadania dotyczące właściwego postępowania z odpadami jest obecnie dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy[31].

Podstawową ideą dyrektywy jest tworzenie środków prawnych promujących koncepcje „społeczeństwa recyklingu” dążącego do eliminacji wytwarzania odpadów i do wykorzystywania odpadów jako zasobu.

Uwzględniając te założenia dyrektywa ustala hierarchię postępowania, której schemat tzw. „odwróconego trójkąta” przedstawia Rys.1, który ma wskazywać kolejności priorytetów w polityce i przepisach dotyczących zapobieganiu powstawania odpadów i sposobach ich zagospodarowania, które dotyczą:

- zapobiegania,
- przygotowanie do ponownego użycia,
- recyklingu,
- innych metod odzysku, np.: odzysku energii,
- unieszkodliwiania poprzez bezpieczne składowanie,



Rys. 1. Schemat postępowania z odpadami wg dyrektywy 2008/98/WE w sprawie odpadów

Schemat postępowania jest wytyczną dla państw członkowskich przy konstruowaniu systemów gospodarki odpadami. Dyrektywa ramowa jako jeden z priorytetowych celów przewiduje wyodrębnienie z odpadów komunalnych określonego strumienia odpadów i kierowanie ich do systemów odzysku, w pierwszym rzędzie recyklingu. W dyrektywie ustanowiono także poziomy selektywnego zbierania określonych strumieni odpadów, z perspektywą ich osiągnięcia do 2020 r.

Zasady rozliczania się państw członkowskich, z tych obowiązków określa decyzja Komisji z listopada 2011 r. zakładając przede wszystkim, że rozliczenie ma być ustalane w odniesieniu do odpadów wytwarzanych [186].

Z uwagi na priorytety polityczne Państwa, w tym stowarzyszenie z Unią Europejską w maju 2004 r., należało przybliżyć szerokiemu gronu specjalistów zajmujących się problematyką gospodarki odpadami, najważniejsze z zaleceń i wymagań dotyczących składowisk odpadów zawartych w obowiązującej od 16 lipca 1999 roku dyrektywie Unii Europejskiej (w sprawie składowania odpadów 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r.).

Należało zapoznać się z implikacjami techniczno-technologicznymi ich wdrażania w warunkach krajowych w tym wymagania krajowe dot. składowania odpadów i wynikająca z nich konieczność dostosowania istniejących obiektów do spełnienia tych wymagań.[29,187]

Zgodnie z Dyrektywą 96/61/WE [30] w sprawie o zintegrowanego zapobiegania i ograniczenia (kontroli) zanieczyszczeń zwaną IPCC (*Integrated Pollution Prevention and Control*), gdzie zdefiniowano najlepszą dostępną technikę BAT- (*Best Available Technique*), a polskie przepisy prawne powinny w swoich zapisach wskazać jako najbardziej efektywny poziom rozwoju technologii i metod prowadzenia działalności co ma pomóc przy określaniu granicznych wielkości emisji dla większych zakładów przemysłowych w Unii Europejskiej. [30,184]

Nie jest natomiast konieczne, aby określony był rodzaj urządzenia, czy konkretna technologia. Celem jest raczej zaproponowanie limitów emisyjnych, które odzwierciedlają właściwe proporcje pomiędzy kosztami i korzyściami

Na podstawie BAT określone są limity emisyjne, które muszą brać pod uwagę techniczną charakterystykę instalacji, jej lokalizację geograficzną i lokalne warunki środowiskowe. Wielkości limitów emisyjnych określone w pozwoleniu zintegrowanym muszą dotyczyć tych zanieczyszczeń, które zakład będzie prawdopodobnie odprowadzał w znacznych ilościach.

Celem stosowania przez instalację BAT jest zapobieganie zanieczyszczeniom poprzez: stosowanie surowców przyjaznych środowisku, wytwarzanie produktów przyjaznych środowisku (podlegających wtórnemu wykorzystaniu, o długim okresie życia itp.), efektywne wykorzystanie zasobów (woda, energia, surowce), minimalizację ilości odpadów, ich recykling i wtórne wykorzystanie, a oczyszczanie i składowanie jest rozwiązaniem ostatecznym (przy braku innych możliwości).[30]

Ustawa Prawo ochrony środowiska [32] w art. 206 ustanawia, że dokumenty referencyjne Najlepszych Dostępnych Technik (tzw. BREF) w informacji na stronie ministra środowiska [186], które przygotowuje sewilskie biuro na stronie <http://eippcb.jrc.es>. [185]

Nowością jest natomiast zobowiązanie do przyjęcia także programu zapobiegania powstawaniu odpadów, realizującego cele określone w art. 1 (cele generalne) i art. 4 (hierarchia postępowania z odpadami) dyrektywy. [31]

Programy takie mogą mieć postać odrębnych aktów bądź być zintegrowane z innymi aktami o takim charakterze, przyjętymi przez państwo członkowskie (w szczególności planami gospodarki odpadami). W przypadku opracowania aktu kompleksowego, środki służące zapobieganiu powstawania odpadów muszą zostać wyraźnie zdefiniowane. Programy powinny być zostać przyjęte do 12 grudnia 2013 r.

W Dyrektywie Rady 1999/31/WE 99/31/z 26 kwietnia 1999 roku w sprawie składowania odpadów zostały zawarte regulacje dotyczące lokalizacji, budowy i eksploatacji składowisk odpadów. Dyrektywa ma na celu stworzenie w każdym państwie członkowskim, takich środków i procedur aby była zagwarantowana minimalizacja szkodliwych oddziaływań na wodę glebę i powietrze instalacji przeznaczonych do składowania odpadów[29].

4.1. Wybrane zagadnienia prawne z zakresu postępowania z odpadami w Polsce

Przepisy prawa polskiego dotyczące problemów związanych z lokalizacją budową eksploatacją zamknięciem i monitoringiem składowisk oparte zostały na Dyrektywie składowiskowej [29]

Celem dyrektywy, jest zmniejszenie ilości odpadów kierowanych na składowiska i wprowadzenie ostrzejszych standardów składowania odpadów. Będzie nałożony na organy państwa obowiązek ściślejszej kontroli nowych i istniejących składowisk odpadów na podstawie szczegółowej procedury udzielania pozwoleń.

Podstawę regulacji prawnych w zakresie ochrony środowiska stanowi Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [32] Ustawa ma przede wszystkim charakter ramowy, obejmując wszystkie aspekty i elementy ochrony środowiska, a w szczególności odsyła do odrębnych ustaw. Ustawa z dnia 27 lipca 2001 w zapisie o wprowadzeniu ustawy Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach, oraz zmianie niektórych ustaw [33] określa zasady pozwalające na płynne przejście od starego modelu wymagań do nowych rozwiązań w ochronie środowiska [91].

Ustawa o odpadach w tekście jednolitym z 14 grudnia 2012 [34] poświęca dużo miejsca kwestii składowania odpadów, a więc określa typy składowisk, zasady przyjmowania odpadów na składowisko, wymagania odnoszące się do prowadzenia procesów składowania, a także wymogi dotyczące przygotowania do budowy obiektu, jego budowy, zamknięcia i nadzoru nad nieczynnym składowiskiem [48].

Zgodnie z ustawą okres przygotowania do budowy oraz prowadzenia składowiska odpadów obejmuje fazy:

- **przedeksploatacyjną** – okres poprzedzający uzyskanie pierwszej ostatecznej decyzji zatwierdzającej instrukcję prowadzenia składowiska odpadów,

- **eksploatacyjną** – okres od dnia uzyskania pierwszej ostatecznej decyzji zatwierdzającej instrukcję prowadzenia składowiska odpadów do dnia zakończenia rekultywacji składowiska,
- **poeksploatacyjną** – okres 30 lat liczony od dnia zakończenia rekultywacji składowiska odpadów.

Ustawa klasyfikuje składowiska odpadów na trzy typy :

- składowiska odpadów niebezpiecznych,
- składowiska odpadów obojętnych,
- składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne.

Ustawa o odpadach wymaga ustanowienia kierownika składowiska. Zarządzający obiektem ma obowiązek zatrudnić osobę posiadającą świadectwo stwierdzające kwalifikacje w zakresie gospodarowania odpadami, odpowiednie do prowadzonych procesów przetwarzania odpadów.

Podstawy prawne w zakresie dopuszczenia budowy składowisk odpadów jako budowli inżynierskich nadają dwa rozporządzenia:

- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 roku w sprawie warunków dla przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. z 2004r. Nr 257, poz. 2573)[141].
- Rady Ministrów z dnia 10 maja 2005 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko (Dz. U. z 2005r. nr 92, poz. 769)[142].

Podstawy prawne określające kryteria i procedury dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach odpadów niebezpiecznych, obojętnych i innych niż niebezpieczne i obojętne określa rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005r. (Dz. U. z 2005r. nr 186, poz.1553)[143].

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 marca 2003 roku (Dz. U. z 2003r. Nr 61, poz.549) [144] określało szczegółowe wymagania dotyczące lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia jakim odpowiadać powinny poszczególne typy składowisk odpadów wskazywało projektantom elementy budowli jakie powinny być ujęte w przygotowywanym projekcie budowlanym. Nowe rozporządzenie z 26 lutego 2009 r . (Dz. U. z 2009r. Nr 39, poz. 320) [145]ze szczególną uwagą odnosi się do warunków technicznych i wymaganiom ochrony środowiska przy doborze lokalizacji, wskazując tereny na których nie mogą być realizowane składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne z określeniem minimalnej odległości składowiska od budynków zgodnie z wykonanym raportem o oddziaływaniu składowiska na środowisko [145] , zapisy zmieniające wprowadzono także w dniu 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów oraz warunków prowadzenia monitoringu składowiska odpadów (Dz. U. z 2013 r. poz. 523) [140]

Ustalenie lokalizacji składowiska odpadów powinno nastąpić w trybie przepisów ogólnych, przede wszystkim w oparciu o ustawę z 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U z 2012 poz. 647, z późn. zm.)[37] oraz z 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U nr 199, poz. 1227, z późn. zm).[38]

Zgodnie z założeniami ustawy o odpadach, składowisko ma charakter przedsięwzięcia mogącego niebezpiecznie oddziaływać na środowisko w tzw. grupie I czyli obligatoryjnie jest wymagane przeprowadzenie procedury oceny oddziaływania na środowisko [49].

Zarządzający składowiskiem może rozpocząć działalność polegającą na prowadzeniu obiektu po uzyskaniu kolejno: pozwolenia zintegrowanego albo zezwolenia na przetwarzanie odpadów, pozwolenia na użytkowanie składowiska oraz decyzji zatwierdzającej instrukcje jego prowadzenia. Zarządzający składowiskiem ponosi odpowiedzialność za całokształt działalności składowiska i ma obowiązek spełnienia wszystkich wymogów wynikających z przepisów i posiadanych decyzji.

Z kolei wytwórca lub posiadacz odpadów odpowiedzialny za gospodarowanie odpadami przed dostarczeniem ich na składowisko ma obowiązek przekazać zarządzającemu obiektem podstawową charakterystykę odpadów oraz testy zgodności.

Jeśli chodzi o odpady komunalne obowiązek ten spoczywa na podmiocie odpowiedzialnym za odbiór odpadów komunalnych od właścicieli nieruchomości, zgodnie z Ustawą z 13 września 1996 o utrzymaniu czystości i porządku w gminach i późniejszymi zmianami nowelizującymi, między innymi zapisanymi w treści z 2011 roku, gdzie wprowadzono tzw. „rewolucję śmieciową” [35]

Stan prawny przedstawiony powyżej pozwala realizować zadania związane z gospodarką odpadami w tym składowania ich w kwaterach odpowiednio zaprojektowanych pod względem geotechnicznym z możliwością regulacji przepływu mediów bez szkody dla środowiska. Jednak wiele elementów technologicznych i systemowych wymaga jeszcze dopracowania przez firmy wykonujące te usługi. Jednym z możliwych rozwiązań technologicznych jest przyjęcie przez autora tego opracowania założenia, że przy tym stanie prawnym i zaawansowaniu technologicznym jak i w sposobie wykonywania izolacji dna kwater oraz wykonania systemów drenaży do odprowadzenia nadmiaru wód odciekowych z istniejących składowisk odpadów, gdzie obecnie jeszcze deponujemy odpady komunalne surowe tzn. mało przetworzone do stanu mineralizacji czyli małej aktywności biologicznej można po zastosowaniu przetestowanych materiałów budować obiekty inżynierskie na terenach o wysokim stanie wód gruntowych bez szkody dla środowiska.

5. Charakterystyka składowisk odpadów stałych innych niż niebezpieczne

5.1. Budowa składowiska

Działalność inżynierska w zakresie zagospodarowania odpadów ma dwa podstawowe cele:

- regularne usuwanie odpadów z gospodarstw domowych, miast i gmin,
- takie postępowanie z nagromadzonymi odpadami, które nie będzie niekorzystnie oddziaływało na środowisko i mieszkańców [14].

Podstawową metodą usuwania, unieszkodliwiania i zagospodarowania odpadów jest w dalszym ciągu ich gromadzenie na składowiskach. Rosik-Dulewska [138] i Żygadło [194,195] powołując się na wcześniejsze źródła klasyfikuje składowiska na ich trzy rodzaje:

- niezorganizowane tj. dzikie,
- półorganizowane, nieuporządkowane: zorganizowane za zezwoleniem władz, ale ich eksploatacja nie odpowiada w pełni wymogom ochrony środowiska (np. niewłaściwa lokalizacja ze względu na ochronę wód podziemnych itp.),
- zorganizowane, uporządkowane jako obiekty inżynierskie, nie zagrażające zdrowiu publicznemu, minimalizujące zagrożenie dla środowiska, zarówno w trakcie eksploatacji jak i po jej zakończeniu, spełniający kryteria lokalizacyjne i właściwej eksploatacji.

Rezygnacja ze składowisk w najbliższym czasie nie jest możliwa. Należy więc tak projektować, budować i eksploatować składowiska, aby uciążliwości związane z nimi zmniejszyć do minimum [82,83,94].

Składowiska mogą być potencjalnym źródłem uciążliwości zapachowej i mikrobiologicznej (np. bioaerozole), a także powodują emisję zanieczyszczeń pyłowych, chemicznych i hałasu [110,111].

Poważny problem stanowią odcieki ze składowisk, stanowiące niebezpieczne źródło drobnoustrojów i związków chemicznych, stwarzając zagrożenie sanitarne przede wszystkim dla wód znajdujących się w najbliższej okolicy [111,178].

Na szkodliwość (uciążliwość) składowiska dla środowiska mają wpływ różne elementy, głównie fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości odpadów, wielkość masy odpadów, jakość gruntu, warunki hydrologiczne i położenia wysypiska, sposób zagospodarowania nadziemnego i podziemnego (głównie wód podziemnych) środowiska na terenie przyległym do wysypiska, sposób eksploatacji, rekultywacji i docelowego zagospodarowania terenu wysypiska [2,138,194,195].

Składowiska należą do najtrudniejszych budowli inżynierskich ze względu na następujące cechy:

- powierzchnia od kilku do kilkuset tysięcy metrów kwadratowych,
- pojemność od kilku tysięcy do kilkunastu milionów metrów sześciennych odpadów,
- miąższość składowanych odpadów od kilku do kilkudziesięciu metrów,
- okres eksploatacji do kilkudziesięciu lat,
- maksymalna szczelność i minimalne oddziaływanie na otoczenie [138].

Zależnie od wybranej lokalizacji i topografii terenu wyróżnić można następujące formy położenia i kształtu składowisk [138]:

- położenie wgłębne, a więc składowiska zlokalizowane w wyrobiskach poeksploatacyjnych, wąwozach, nieckach polodowcowych oraz innych obniżeniach terenu). Zaletą tej lokalizacji jest osłonowe działanie skarp, wadą natomiast nadmierne gromadzenie wód opadowych zwłaszcza przy położeniu bezodpływowym,
- położenie zboczowe (skarpowe) stanowiące fragmenty parowów, kotlin górskich, niecek i rynien polodowcowych, wyrobisk pokopalnianych, zwałowisk odpadów mineralnych, nasypów ziemnych,
- położenie na terenie płaskim.

W zależności od topografii stosuje się różne formy deponowania odpadów:

- podłużne i kombinowane na terenach o bogatej rzeźbie w zależności od wielkości spadku terenu,

- na terenach płaskich odpady gromadzi się albo przez usypywanie kopców i pryzm albo przez układanie odpadów we wcześniej przygotowanych rowach o głębokości 3 do 8 m.

Nowoczesne składowiska powinny posiadać odpowiednią i specjalną lokalizację, z uwzględnieniem kryteriów hydrologicznych i geotechnicznych, spełniać odpowiednie wymogi techniczne i być eksploatowane z zachowaniem wymogów ochrony środowiska w zakresie ochrony gleb, wód gruntowych i powierzchniowych

Winny również spełniać warunki przeciwdziałania uwalniania się odorów, niekontrolowanej emisji gazu wysypiskowego, jak również zapewniać ochronę przed hałasem.[140]

Dlatego też obecnie obiekty te są projektowane i wykonywane z uwzględnieniem **drenażu wód powierzchniowych, drenażu odprowadzania gazu wysypiskowego**, przy minimalizacji infiltracji wód opadowych do złoża odpadów (uszczelnienie warstwy wierzchniej), przy stosowaniu **drenażu odcieków** ze składowiska oraz odpowiednim uszczelnieniu dna i boków składowiska dla przeciwdziałania migracji odcieków poza obszar składowiska. Ponadto projekt każdego składowiska powinien określać następujące elementy [122]:

- powierzchnię, objętość i granice składowiska: wyznaczać obszar obecny, docelowy oraz strefę ochronną,
- drogi dojazdowe o trwałej nawierzchni oraz tymczasowe drogi do stref wyładunku odpadów,
- sposób eksploatacji na sucho lub jako reaktor biologiczny, a także metodę eksploatacji powierzchniową lub kwaterową w wykopie,
- wielkość odcieków oraz określenie sposobu ich unieszkodliwiania przed ich odprowadzeniem do oczyszczalni ścieków,
- produkcję gazu: odgazowanie aktywne oraz pasywne celem zapobieżenia migracji poza teren składowiska,
- sposób zagospodarowania odpadów komunalnych po zamknięciu składowiska,
- monitoring wód gruntowych, wód powierzchniowych oraz rozprzestrzeniania się gazu poza składowisko,
- inne elementy jak np. zagrożenie pożarowe, dobór i liczba maszyn wykorzystywanych do prac przygotowawczych i w czasie eksploatacji składowiska.

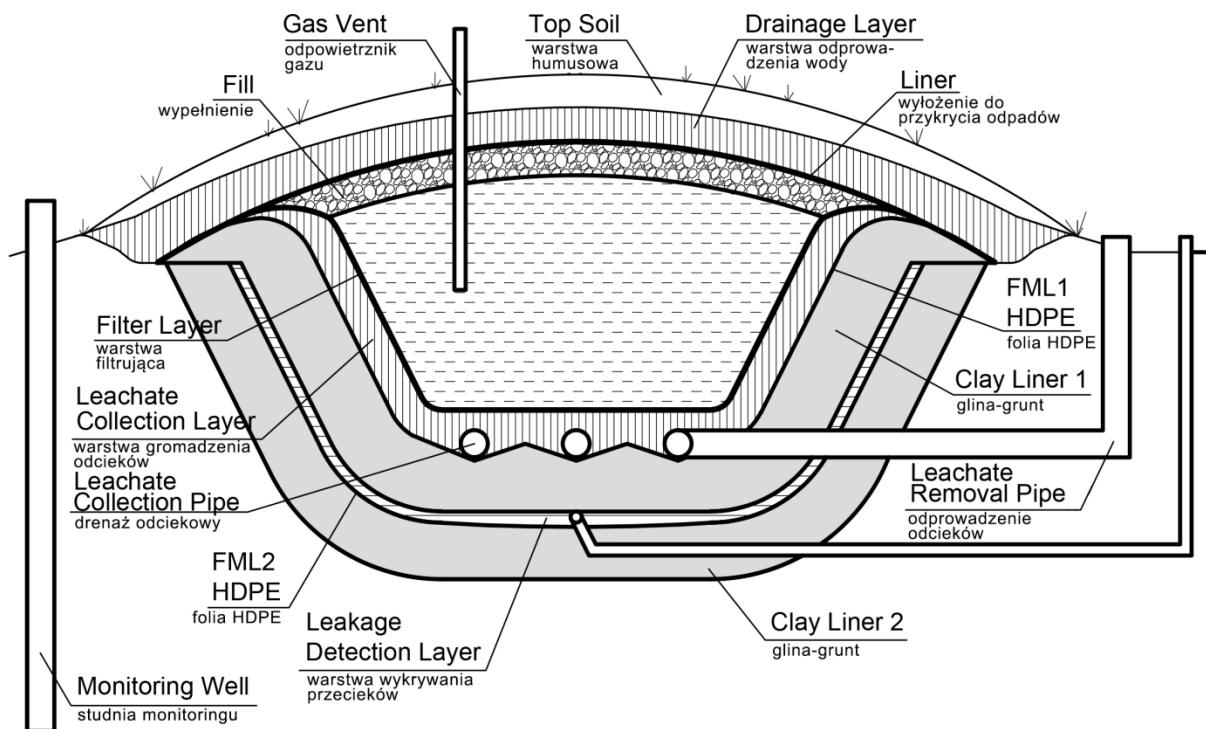
Tak więc samo projektowanie składowisk odpadów z uwzględnieniem tych wszystkich elementów oraz uwarunkowań lokalizacji i ochrony środowiska wydaje się najważniejszym elementem gospodarki odpadowej, co znalazło swój wyraz w niektórych opracowaniach [18,23,28,51,94,179]. Wota [179] przedstawia metodę AHP do optymalizacji wyboru lokalizacji składowisk przy uwzględnieniu różnych czynników. Algorytmy wyboru lokalizacji składowiska na przykładzie województwa warszawskiego przedstawia w swojej pracy Chwieduk [18]. Koncepcje Master Planu zagospodarowania i utylizacji odpadów dla miasta Wrocławia opisali w swoim opracowaniu Marcinkowski i Bartoszewski [107]

Wszystkie elementy związane z powstaniem odpadów, obecnym prawem, szczególnie sposobem lokalizacji, budowy z właściwym uszczelnieniem i drenażem dla kwater oraz uwzględnieniem organizacji całego systemu organizacji składowania odpadów, i możliwymi metodami zagospodarowania opisują w swojej pracy Łuniewski i wsp.[95].

W pracy zbiorowej pod red. Prof. Marcinkowskiego zostały przedstawione referaty z zakresu regulacji prawnych, analizy krajowego PGO, technologie MBP, unieszkodliwiania odcieków, kontrola składu powietrza i inne tematycznie związane z zarządzaniem odpadami komunalnymi [105].

W projektowaniu składowisk głównym problemem staje się zapewnienie izolacji składowiska od otaczającego gruntu oraz zapobieganie migracji zanieczyszczeń ze składowiska do środowiska przez stosowanie odpowiedniego uszczelnienia oraz systemów drenażowych. Schemat proponowanych zabezpieczeń przedstawił Lee G.F. i wsp. [88], co zostało zobrazowane na Rys 2, gdzie autor przedstawia przykładowy schemat uszczelnienia składowiska wraz z przykryciem i rekultywacją terenu.

W obecnym czasie do prac projektowania i budowy stosuje się opracowane w USA koncepcje wielokrotnych barier zabezpieczających (*Multi Barrier Concept*)[138]



Rys 2 Schemat uszczelnienia wysypiska odpadów wraz z przykryciem i rekultywacją terenu wg Lee G.F.[88]

Natomiast stosując obecne przepisy w zakresie uszczelnień stosowanych na składowiskach odpadów można je podzielić na:

- uszczelnienia podstawy.
- uszczelnienia boczne,
- uszczelnienia zewnętrzne powierzchni rekultywowanych (powierzchniowe).

5.2.Uszczelnienie dna składowiska

Przygotowanie systemu uszczelnienia składa się z następujących elementów:

- przygotowanie warstwy nośnej lub podłoża składowiska,
- uszczelnienia właściwego,
- warstwy osączającej (drenażowej),
- warstwy ochronnej (zabezpieczającej).

Wstępne prace ziemne polegają na usunięciu warstwy wierzchniej gleby i gruntu, wraz z roślinnością, oczyszczenie terenu, makroniwelacje dna składowiska i skarp bocznych,

wykonanie rowów opaskowych i wału oporowego dla obiektów naziemnych, przeniesienie cieków wodnych przecinających przekrój projektowanego składowiska poza jego obszar systemem zapór lub drenażu. Optymalizacje wymiarów i stateczności skarp bocznych (zboczy) ocenia się na podstawie różnych metod np. metodą pasków lub innymi metodami statystycznymi opisanymi przez Madeja [96] oraz Stępnia [158] na podstawie pomiarów geodezyjnych. Przedstawiony w artykule Stępnia sposób sprawdzania stateczności skarp i doboru danych określających rzeczywiste współczynniki bezpieczeństwa może być wykorzystany w projektowaniu zabezpieczeń na stromych skarpach. Obliczenia zostały wykorzystane przy wykonaniu stabilizacyjnego ukształtowania skarp na starym składowisku osadów, zlokalizowanym na zabudowanym terenie dużej oczyszczalni ścieków, stosując ich pokrycie wielkopowierzchniowymi warstwami uszczelnienia, odwadniania, zbrojenia i gleby do rekultywacji biologicznej. Ponikiewski i Bzówka [130] analizowali składowiska, w których występuje lub nie występuje niecka na odpady. Na podstawie modeli geometrycznych i obliczeń współczynnika stateczności skarp wywnioskowali, że korzystne jest projektowanie składowiska odpadów w niecce (współczynnik stateczności jest większy), gdzie na tej samej powierzchni terenu można składować większą ilość odpadów.

Po przeprowadzeniu robót ziemnych wykonuje się uszczelnienie dna składowiska przy wykorzystaniu różnych materiałów.

Zadaniem uszczelnienia postawy składowiska jest:

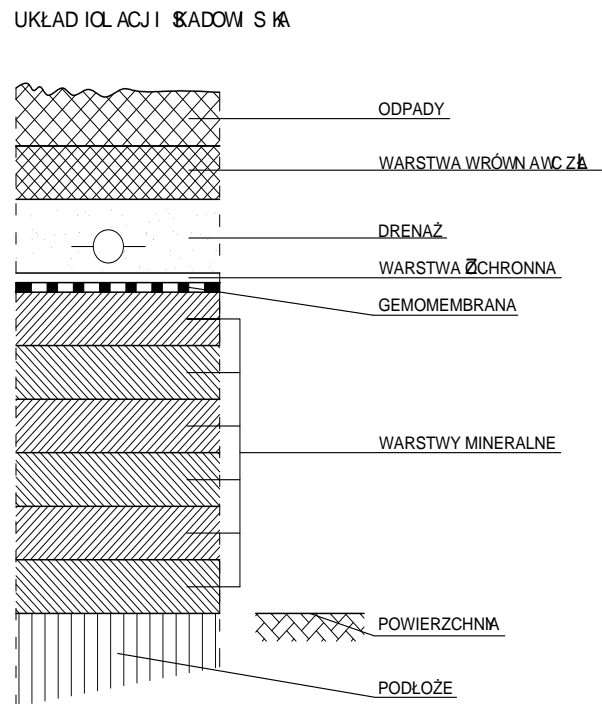
- stworzenie nieprzepuszczalnej i stabilnej w czasie warstwy uszczelniającej,
- zebranie i odprowadzenie wód infiltrujących przez składowisko, odcieków oraz powstających gazów wysypiskowych,
- niedopuszczenie do przenikania w podłoże wód i odcieków ze składowiska,
- absorpcja szkodliwych związków chemicznych,
- utworzenie pod składowiskiem wyrównanego i stabilnego podłoża.

Oleszkiewicz [122] cytując normy Instytutu Technologii Budowlanej (ITB) dzieli uszczelnienia na:

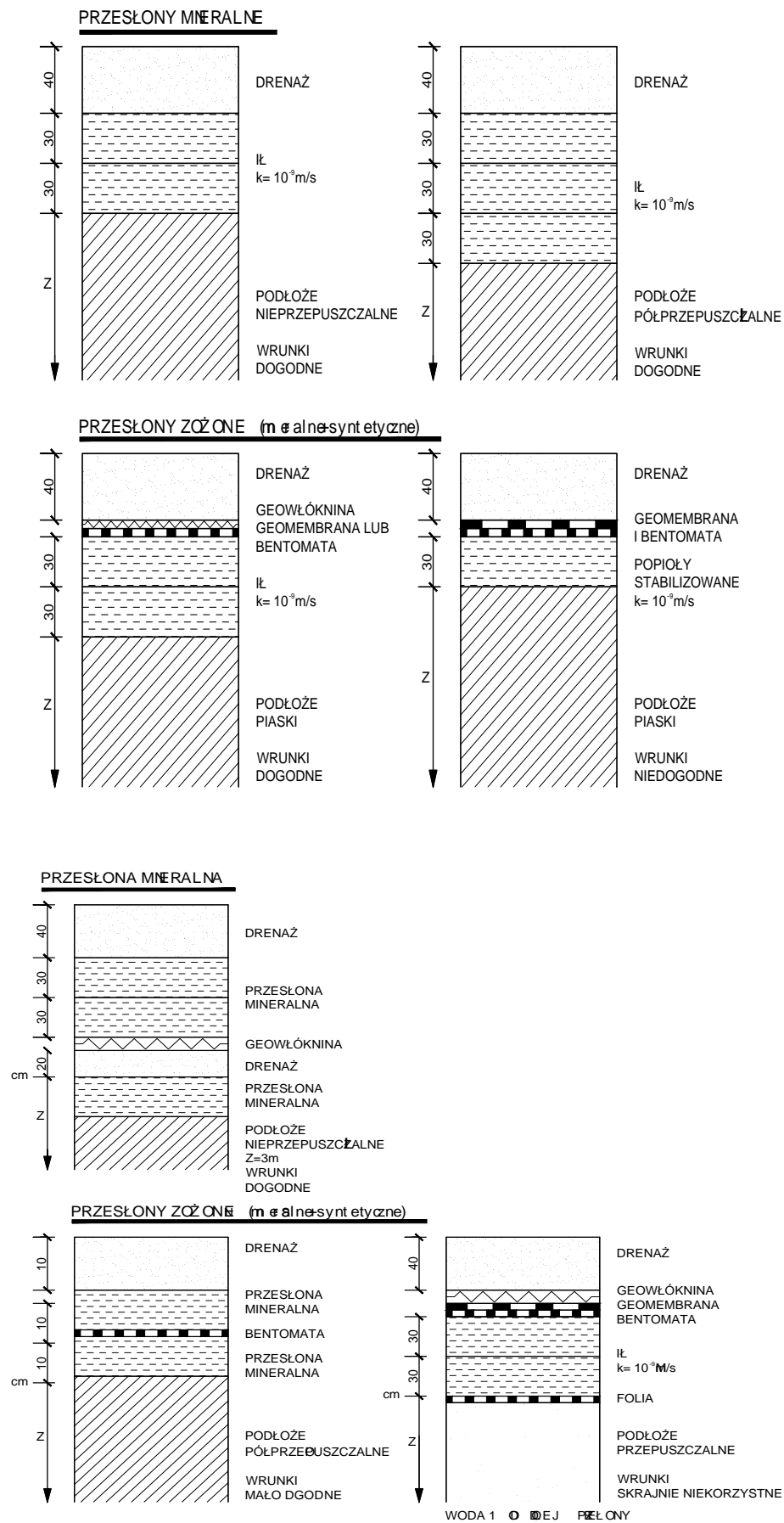
- pojedyncze (jednowarstwowe) – mineralne
- pojedyncze złożone (jednowarstwowe) – złożone z materiału syntetycznego i mineralnego (naturalnego)
- podwójne (dwuwarstwowe) – syntetyczna przesłona oddzielona od mineralnej warstwą drenażu,

- podwójnie złożone – dwie pojedyncze przesłony oddzielone warstwą drenażu.

Na Rys. 3 przedstawiono podstawowe elementy uszczelnienia dna składowiska, a na Rys. 3a podstawowe elementy uszczelnienia składowiska dla przesłon mineralnych i złożonych wg [122]



Rys.3. Układ izolacji składowiska [122]



Rys. 3a. Podstawowe elementy uszczelnienia dna składowiska [122]

Uszczelnienia podstawy wykonuje się z reguły z wielu warstw różnych materiałów naturalnych i sztucznych, często łącząc różnego rodzaju systemy i materiały tworząc uszczelnienia złożone kompozytowe.

Możemy powiedzieć, że każda technologia uszczelnienia jest dobra jeżeli nie pozwoli niszczyć środowiska naturalnego w wyniku jej stosowania [138].

Ogólnie można wyróżnić następujące materiały do uszczelniania podłoża składowiska [19,24,44,93,98,122, 138,161,194,195]:

- materiały naturalne: ropy; gliny stosowane gdy podłoże naturalne składowiska stanowi grunt nieprzepuszczalny (współczynnik filtracji $k < 10^{-7}$) o miąższości co najmniej 3 m, muł węglowy z przeróbki węgla kamiennego, mieszanki gruntowe [24],
- materiały sztuczne (geosyntetyki): folie polietylenowe (zwłaszcza polietylen o wysokiej gęstości HDPE), folie polipropylenowe, folie PVC i in.
- materiały mieszane: gliny lub ropy z plastyfikatorami,
- materiały mieszane z dodatkiem cementu (np. maty włóknisto-cementowe uhonorowane Złotym Medalem na targach Budownictwa BUDMA 2011 [19]),
- materiały asfaltowe, kompozyty popiołowo-krzemianowe, kompozyty bentonitowo – syntetyczne,
- materiały odpadowe dopuszczone do budowy i eksploatacji składowiska [98].

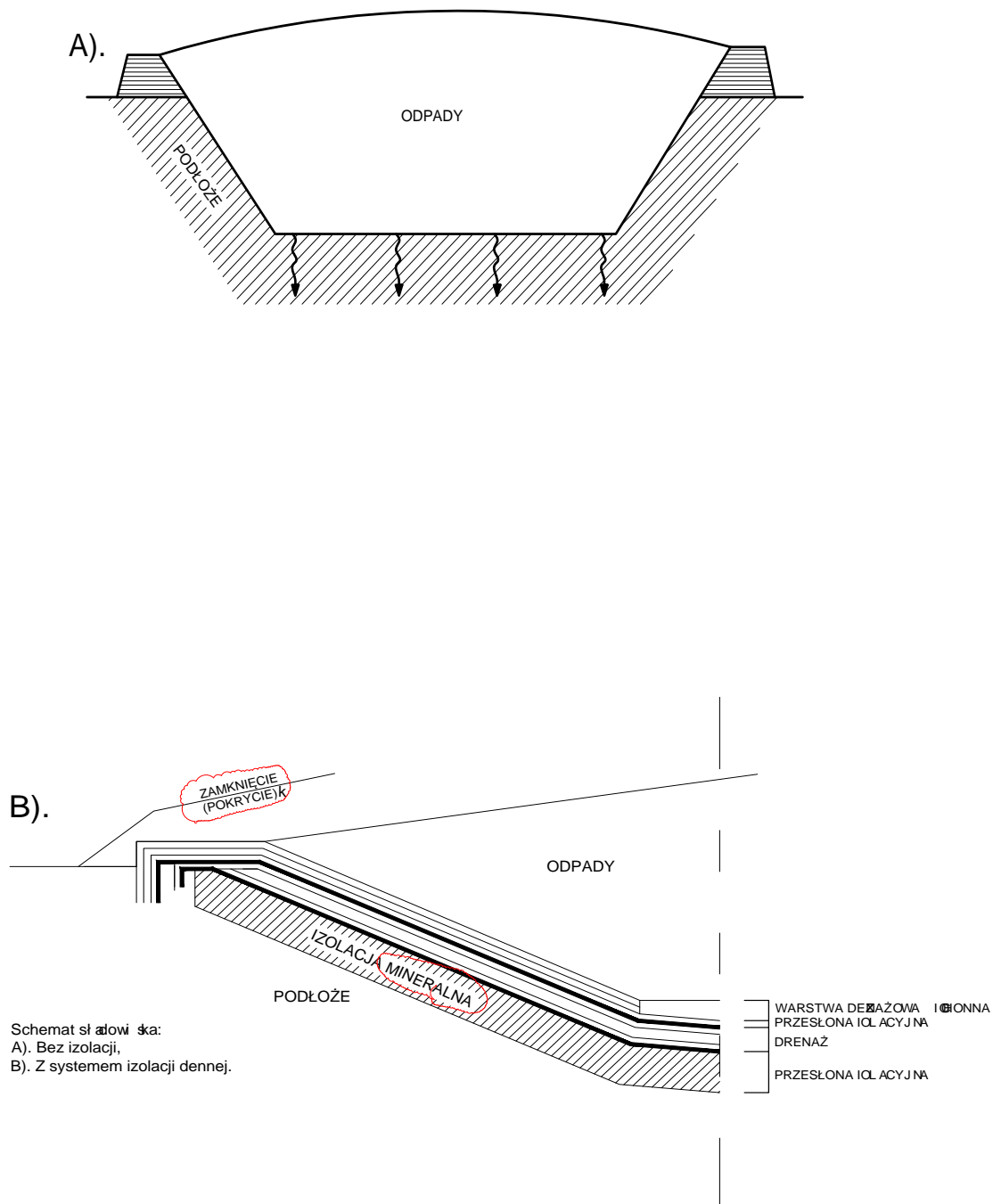
Przeprowadzone badania studialne w zakresie obserwacji terenowych z poborem próbek do badań laboratoryjnych, mają uporządkować wyniki badań terenowych i laboratoryjnych i przedstawić kartę informacyjną o przydatności surowca mineralnego do uszczelnienia składowiska odpadów. Karta ta powinna zawierać informacje o złożu, dokumentacji kartograficznej i fotograficznej oraz wyniki badań właściwości surowca. Jednolite przedstawianie danych pomocne będzie przy tworzeniu bazy danych geologicznych. Zakres bazy danych powinien ujmować wybór materiałów ilastych ze względu na ich właściwości oraz aspekty ekonomiczne i środowiskowe [92].

Obecnie dostępny jest bardzo szeroki asortyment materiałów z tworzyw sztucznych (geosyntetyków) opisywany dość dokładnie w wielu pracach [78,88,89,130,139,176,192,195] i stosowanych często w połączeniu z innymi materiałami tworząc systemy złożone o różnorodnym zastosowaniu. Podział geosyntetyków w zależności od ich przeznaczenia przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Rodzaj i przeznaczenie stosowanych geosyntetyków w konstrukcjach inżynierskich [78,122,176]

Rodzaj geosyntetyków	Charakterystyka i zastosowanie	Przeznaczenie
Geomembrany (GM)	Materiały nieprzepuszczalne: elastomery typu gum termoplastycznych, plastomery w postaci termoplastów bezpostaciowych (PVC) i półkryształicznych (polietylen o dużej – HDPE i średniej – MDPE gęstości, polietylen o niskiej – LDPE i bardzo niskiej – VLDPE gęstości, polietylen o liniowo niskiej gęstości – LLDPE), geomembrany polimerowo - bitumiczne i bitumiczne.	Stosowane jako bariery uszczelniające przed przenikaniem zanieczyszczeń ciekłych, stałych i gazowych
Geowłókniny (GT)	Ochrona geomembran przed zniszczeniem, separacja poszczególnych warstw mineralnego systemu uszczelniającego, ochrona systemów drenażowych przed kolmatacją, częściowy drenaż odcieków, zbrojenie obwałowań z gruntu słabszego, zbrojenie podłoża dróg dojazdowych do składowiska	Separacja, filtracja, zbrojenie
Geosiatki (GN)	Stosowane do konstrukcji obwałowań i dróg dojazdowych, zwiększenia wytrzymałości pokrycia powierzchniowego, zwiększenia tarcia na styku membrana grunt przy uszczelnianiu powierzchniowym i na skarpach niecki	Zbrojenie, zwiększenie wytrzymałości i tarcia
Geodreny	Stosowane jako materiały drenażowe zastępujące system drenów do zbierania odcieków, do odwodnienia skarpy pod uszczelnieniem oraz w systemach zbierających powierzchniowe wody opadowe	Drenaż, filtracja pozioma
Geomaty	Pokrywanie składowisk odpadów, zapobieganie pyleniu ze składowisk, redukcja erozji powierzchniowej	Zapobieganie erozji i pyleniu
Geokompozyty	Materiały składające się z dwóch lub więcej materiałów geosyntetycznych np. geomembrany z geosiatkami, geomembrana z bentonitem	W zależności od składu i rodzaju geokompozytu: uszczelnianie, stabilizacja

Na Rys. 4 przedstawiono dwa możliwe warianty budowy kwater składowiska, gdzie w pozycji „A” mamy dno bez izolacji sztucznej z migracją zanieczyszczeń do podłoża, a w pozycji „B” z izolacją i drenażem odprowadzającym wszelkie media wg Wysokińskiego [192]



Rys.4. Przekrój składowiska odpadów z systemem uszczelnienia [192]

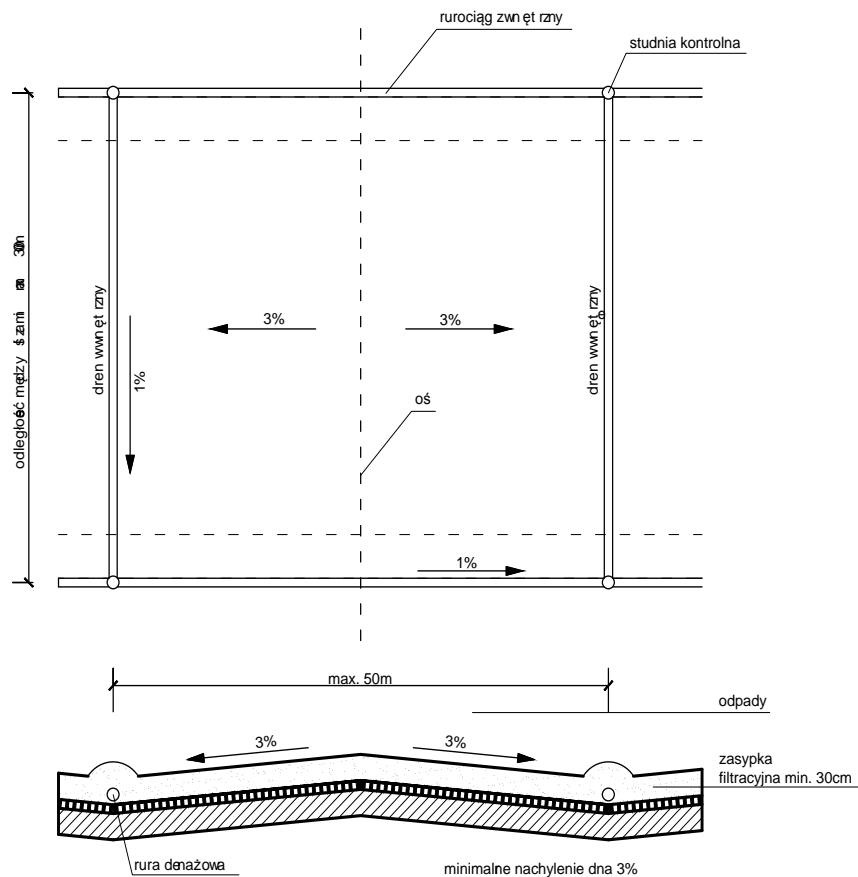
Szczegółowe wymagania dotyczące właściwości fizykochemicznych poszczególnych materiałów geosyntetycznych oraz metody ich testowania i zastosowania przedstawiono szeroko w pracy Wesołowskiego i in. [176]. Rowe [139] opisuje jakie właściwości powinny spełniać poszczególne materiały geosyntetyczne stosowane jako bariery dla przenikania toksycznych gazów i cieczy. Lemański [89] przedstawia najważniejsze zalety najbardziej popularnej i szeroko stosowanej do uszczelnień folii agru z PEHD tj.:

- absolutnie szczelna w stosunku do wszystkich cieczy,
- bardzo duża wytrzymałość mechaniczna,
- duża elastyczność, odporność na ścieranie,
- bardzo duża odporność na chemikalia,
- nie pęcznieje w wodzie,
- nie ulega przegnicciu,
- odporna na korzenie i gryzonie,
- odporna na promieniowanie ultrafioletowe,
- nieszkodliwa fizjologicznie, wolna od środków zmiękczających, nadaje się do wody pitnej,
- odporna w stosunku do mikroorganizmów,
- odporna w stosunku do agresywnych gruntów i wód,
- wykazuje wyjątkową spawalność.

Łączenie poszczególnych arkuszy folii wykonuje się różnymi metodami np. przez zgrzewanie, spawanie, termiczne łączenie taśmą uszczelniającą lub zszywanie z uszczelnieniem bitumicznym. Uszczelnienie składowiska wykonuje się po dokładnym wyprofilowaniu, zagęszczeniu i wygładzeniu podłoża.

Ułożone uszczelnienie z folii przykrywa się warstwą mineralną z drobnego kruszywa (grubości min. 40 cm), które spełnia rolę warstwy drenażowej i zabezpiecza folię przed uszkodzeniami mechanicznymi. W warstwie drenażowej na podsypce z piasku układa się rury drenarskie konwencjonalne lub plastikowe z nacięciami. Alternatywą jest wykorzystanie geosiatki strukturalnej drenującej pokrytej dla ochrony geowłókniną.

Na Rys. 5 przedstawiono koncepcję nowoczesnego drenażu składowiska wg Łuniewskiego [94].



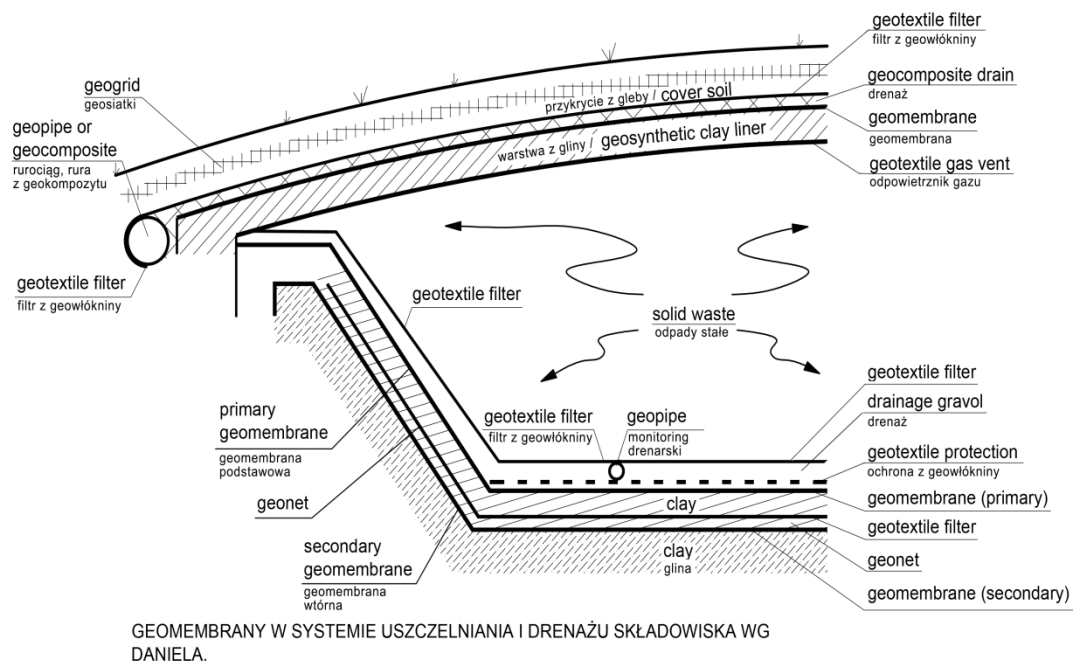
Rys. 5. Konstrukcja nowoczesnego drenażu składowiska [94]

5.3.Uszczelnianie powierzchni składowiska

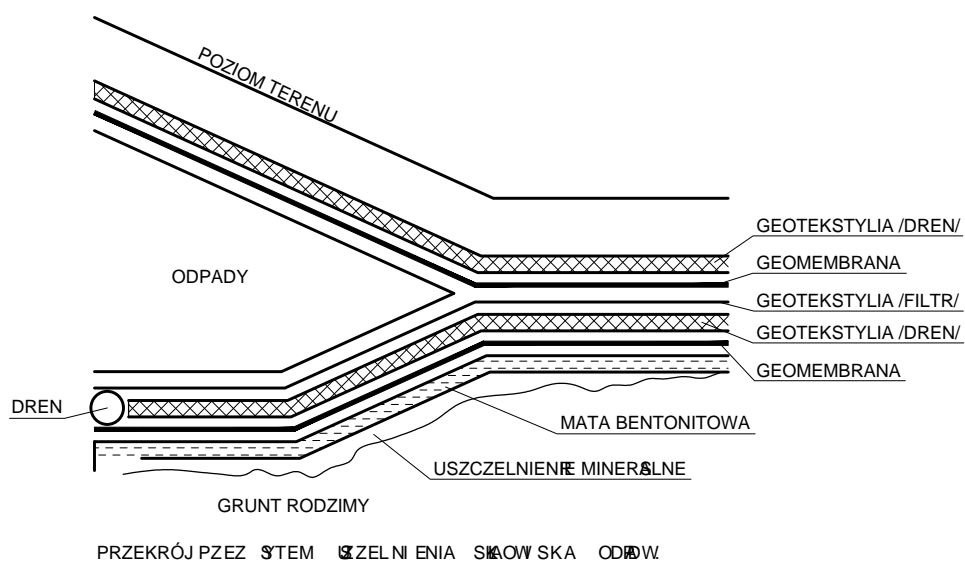
Po zakończeniu eksploatacji składowiska odpadów wykonuje się uszczelnienie powierzchni składowiska, które ma za zadanie ograniczenie dopływu wód infiltracyjnych oraz opadowych do składowiska, odprowadzenie wód opadowych, zapobieganie niekontrolowanemu wydzielaniu biogazu oraz rekultywację składowiska.

Przesłona powierzchniowa powinna się składać z co najmniej 4 warstw jak na Rys. 6 [6,44,122,181], a Wysokiński [191] proponuje rozmieszczenie izolacji w poszczególnych warstwach co przedstawiono na Rys.7. Funkcjonalność warstw jest następująca:

- warstwy podstawowej odgazowującej stanowiącej fundament uszczelnienia,
- warstwy o niskiej wodoprzepuszczalności, po której ścieka woda do drenażu opaskowego,
- warstwy filtracyjnej, w której płynie woda opadowa,
- warstwy powierzchniowej gleby, rekultywowanej poprzez zadarnienie, obsadzenie krzewami, a nawet zalesienie.



Rys. 6. Warstwy systemu przykrycia składowiska [44]



Rys. 7. Schemat przekroju systemu uszczelnienia wg Wysokińskiego [191]

Warstwa powierzchniowa (rekultywacyjna) zapewnia:

- zabezpieczenie warstwy uszczelnienia mineralnego przed zamarznięciem,
- zabezpieczenie przed erozją dzięki wprowadzonej roślinności,
- rezerwuar wody dla roślinności w okresach suszy,
- redukcję infiltracji dzięki ewapotranspiracji,
- zmniejszenie zagrożenia (powodowanego przez system korzeniowy roślin) dla warstw uszczelnienia mineralnego i sztucznego.

5.4.Uszczelnienia boczne

Uszczelnienia boczne składowiska mają na celu:

- zabezpieczenie wód gruntowych przed poziomą migracją zanieczyszczeń z wycieków ze składowiska,
- utworzenie wokół konturów składowiska zamkniętego i szczelnego koryta,
- utrzymanie niższego poziomu wód gruntowych w korycie niż na zewnątrz (przyływ wód gruntowych do wód skażonych, a nie odwrotnie),
- gromadzenie wód skażonych w korycie, a następnie ich odprowadzenie i oczyszczenie.

W praktyce stosuje się następujące rodzaje uszczelnień[138]:

- przesłony inekcyjne wysokociśnieniowe,
- przesłony wąskoszczelinowe,
- ekrany z zachodzących na siebie pali,
- ściany szczelinowe jednofazowe lub złożone.

Uszczelnienia boczne stosuje się zwykle w przypadku gdy należy chronić wody gruntowe, występujące ponad warstwami nieprzepuszczalnymi glin lub ilów, w obrębie składowiska (czyli w sytuacji gdy pod warstwa przepuszczalną gruntu rodzimego, na głębokości nie większej niż 10 m znajduje się warstwa nieprzepuszczalna o grubości większej od 3 m) lub w sytuacji gdy tereny wodonośne otaczają stare, wyeksploatowane składowisko wadliwie uszczelnione lub zupełnie pozbawione uszczelnienia.

5.5.Kontrola wód powierzchniowych

Bardzo ważnym problemem w projektowaniu i eksploatacji składowiska jest kontrola spływu wód powierzchniowych i opadów atmosferycznych.

Ponieważ odcieki ze składowiska usuwa się zwykle przez dowóz do oczyszczalni ścieków lub na terenie składowiska, należy zadbać o ochronę obiektu przed dopływem wód infiltracyjnych spoza składowiska.

Stosuje się zwykle następujące metody ochrony [6,65,122]:

- budowę otwartych rowów opaskowych lub ewentualnie drenów zamkniętych w dnie rowu opaskowego wykorzystując odwodnienie grawitacyjne,
- odprowadzenie wody do odbiornika po przetrzymaniu w zbiorniku wyrównawczym wyposażonym w osadnik, ewentualnie filtr żwirowy na wylocie,
- instalację prostych systemów przepompowywania wody,
- wykorzystanie przegród ziemnych, wałów i skarp do oddzielenia czystych spływów powierzchniowych od odcieków z czaszy wysypiska,
- stosowanie płotków zabezpieczających przed tworzeniem się zasp śniegu w czaszy składowiska.

Wody powierzchniowe gromadzone w zbiorniku mogą stanowić bardzo dobre uzupełnienie wód gaśniczych dla służb straży pożarnej w przypadku wystąpienia samozapłonów na terenie kwatery składowanych odpadów.

6. Gospodarowanie odpadami na składowiskach odpadów komunalnych

6.1. Eksploatacja

Eksploatacja składowiska odpadów powinna zapewniać:

- ograniczenie powierzchni składowanych odpadów ekspozycyjnych na oddziaływanie warunków atmosferycznych, o ile jest to konieczne dla ograniczania zanieczyszczenia powietrza, w tym rozwiewania odpadów;
- przeciwdziałanie rozwiewaniu odpadów;
- gromadzenie odcieków i poddawanie ich oczyszczaniu w stopniu umożliwiającym ich przyjęcie na oczyszczalnię ścieków lub odprowadzenie do wód lub do ziemi;
- stateczność geotechniczną składowanych odpadów.

Właściwa eksploatacja składowiska jest zespołem przedsięwzięć służącym prawidłowemu zagospodarowaniu odpadów i rozpoczyna się w momencie przyjęcia odpadów i ich wstępnej segregacji oraz rozładunku na płytę rozładowniczą. Po rozładowaniu spychaczem przesuwają się odpady w kierunku czoła kwatery roboczej.

Składowiska odpadów eksploatowane są w różny sposób, a najpowszechniej stosowany jest właśnie system kwaterowy, gdzie odpady układają się w warstwy po czym wałuje i zagęszcza kompaktorem lub spychaczem, a następnie pokrywa przesypką dzienną (warstwa inertna) w celu poprawy estetyki eksploatacji oraz ochroną przed szkodnikami. Grubość składowanych warstw odpadów powinna wynosić ok. 2 m, na co składa się w zależności od spadku terenu kilka warstw o miąższości 50-70 cm (dziennie warstwy odpadów) [138]. Na powierzchniach z nieznacznym spadkiem odpady układają się warstwami o grubości 20-30 cm [122].

Istnieje szereg metod układania odpadów na składowisku [138]:

- nasypowa i rowowa - stosowana w przypadku nadpoziomowego składowania na terenach płaskich,
- poziomowa (podłużna) - stosowana w przypadku nieznacznego spadku terenu,
- poprzeczna - stosowana przy różnicach wysokości podłoża i łagodnych stokach,
- kombinowana (złożona) - stosowana w terenie o znacznych różnicach wysokości i stromych skarpach.

Oleszkiewicz [122] wyróżnia z kolei dwie metody układania odpadów najpowszechniej stosowane tj.: rowkową i obszarową.

W metodzie rowkowej odpady układa się w wykopie powiększonym w miarę postępu wypełnienia. Szerokość rowu wynika z ilości wyładowywanych naraz odpadów i wynosi zwykle 10-30 m, a materiał na przesypkę uzyskuje się wprost z rowu. Coraz częściej ze względu na wymóg uszczelnienia dna składowiska geomembraną (konieczność wcześniejszego wykonania wykopów) zaczyna dominować metoda obszarowa. W metodzie tej odpady układa się na dużej powierzchni terenu bez wykopu lub na obszarze dużego wyrobiska (posypka często pochodzi z innego wyrobiska). Stosuje się również różne techniki mieszane w zależności od ukształtowania terenu.

Jak już wspomniano poszczególne warstwy odpadów należy przykrywać warstwą izolacji dziennej grubości ok. 15 cm, następnie warstwą izolacji międzywarstwowej o grubości ok. 30 cm i warstwą izolacyjną zewnętrzną od 0,5 do 1 m. Trwałość izolacji dziennej szacuje się na ok. 7 dni, międzywarstwowej na rok, a zewnętrznej na więcej niż jeden rok. Na warstwy izolacyjne nadają się najbardziej grunt naturalny, gruz budowlany, piasek, popioły ze spalania węgla kamiennego i brunatnego, zmiotki o przewadze części mineralnych itp.

Minimalna grubość warstwy izolacyjnej zależy od stopnia wyrównania i zagęszczenia powierzchni przykrywanych odpadów.

Na składowiskach uporządkowanych typu inne niż niebezpieczne i obojętne deponujemy odpady zgodnie z Pozwoleniem zintegrowanym wydanym na podstawie ustawy o odpadach. [34]

Duże znaczenie w prawidłowej eksploatacji składowiska ma odpowiednie wałowanie i zagęszczanie mechaniczne odpadów.

Zagęszczenie składowiska odpadów ma przede wszystkim za zadanie zmniejszenie objętości zajmowanej przez odpady dzięki czemu powoduje obniżenie kosztów składowania, jednakże przez ograniczenie dostępności tlenu narzuca beztlenowe warunki rozkładu. Z kolei przyspieszenie procesu rozkładu wymaga stworzenia warunków tlenowych. Ten sposób składowania odpadów jest znacznie mniej szkodliwy dla środowiska jednakże nie jest często stosowany ze względu na duże zapotrzebowanie na tlen oraz większy koszt eksploatacji (rozdrabnianie odpadów, przesiewanie i dokładna segregacja). Badania nad składowaniem odpadów w warunkach tlenowych są rozpowszechnione i wdrażane w USA. Hudgins i współ. [58,59] w dwóch opracowaniach dotyczących modeli składowisk stanowiących bioreaktory tlenowe dostrzega wyraźne zmniejszenie uciążliwości tego sposobu składowania odpadów przez wyraźne zmniejszenie ilości gazu wysypiskowego, emisji zapachu i ilości odcieków oraz szybszą stabilizację biologiczną odpadów w stosunku do standardowych wysypisk.

Environmental Systems Control, Inc (USA) opracował rewolucyjne i trwałe rozwiązanie problemu odpadów zarówno w krajach rozwiniętych jak i rozwijających się.

Rozwiązanie dotyczy technologii tlenowych ECS korzystnych pod względem ochrony środowiska, niosących ze sobą wiele korzyści ekonomicznych [39]. Na kompleksowe podejście do problematyki odpadowej w odniesieniu do ochrony środowiska zwłaszcza w krajach arabskich zwraca uwagę Al-Yousfi [4], gdzie również ze względu na klimat i brak opadów, składowiska tlenowe wydają się optymalnym rozwiązaniem.

W artykule Suchowskiej- Kisielewicz [159] autorka przedstawia, wpływ wstępnego tlenowego przetwarzania odpadów przed ich składowaniem na wielkość emisji zanieczyszczeń usuwanych w odciekach i w metanie. Badania wykazały, że całkowity ładunek ChZT, OWO, BZT5 i LKT wymyty w całym okresie badań z odpadów przetworzonych tlenowo był niższy niż z odpadów nieprzetworzonych odpowiednio o: 21%, 18%, 6%, 23%, a produkcja metanu o 20%.

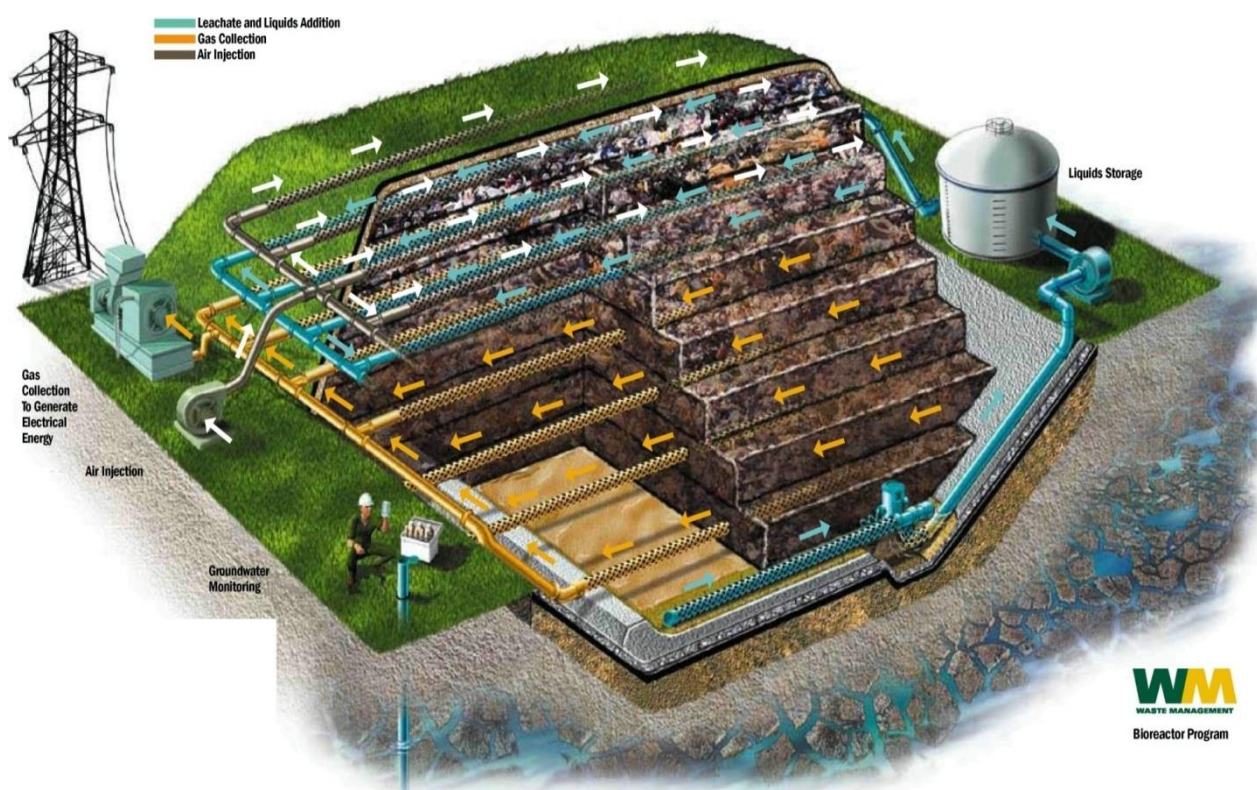
Również Read [133] uważa, że tlenowe procesy i odpowiednia eksploatacja mogą zapewnić bezpieczniejsze, ekonomicznie zrównoważone zarządzanie odpadami stałymi, jednocześnie powodując niższe obciążenia dla środowiska. Po ustabilizowaniu odpadów i zmniejszeniu ryzyka, obszar składowiska odpadów może być przebudowany na działalność handlową, lub inną, natomiast jeżeli składowisko jest eksploatowane, można go użyć ponownie jako miejsce składowania odpadów, unikając w ten sposób nowych lokalizacji składowisk.

Jeśli chodzi o kompleksowy podział możliwości składowania odpadów to Kaczorek i Ledakowicz [66] wyróżniają trzy podstawowe koncepcje eksploatacji składowiska odpadów:

- suche składowisko: nowoczesne składowisko z ograniczonym dostępem wód. Charakteryzuje się niewielkimi ilościami odcieków i biogazu, produkowanymi przez długi okres. Stabilizacja (degradacja) odpadów trwa bardzo długo i może nie przebiec do końca ze względu na małą wilgotność odpadów. Z reguły tego typu składowiska są kosztowne pod względem inwestycyjnym - wysokie koszty uszczelnień wierzchnich oraz eksploatacyjnym - wymagają monitorowania przez wiele lat. Co więcej, niosą ze sobą ryzyko ekologiczne w przypadku rozszczelnienia zabezpieczeń.
- składowisko jako bioreaktor: procesy mikrobiologiczne w składowisku są intensyfikowane do tego stopnia, aby transformacja i stabilizacja związków organicznych zawartych w odpadach, a dokładnie ich części łatwo i umiarkowanie podatnych na biodegradację, trwała nie dłużej niż od 5 do 8 lat od chwili zamknięcia składowiska.

- składowisko jako ostateczny magazyn: w tego typu składowisku mogą być składowane tylko odpady przygotowane w taki sposób, aby zawierały jak najmniej substancji organicznych, a możliwość wymywania substancji nieorganicznych była również zminimalizowana. W tym celu konieczna jest segregacja odpadów i ich wstępna utylizacja.

Trwają intensywne badania nad zastosowaniem również „składowisk tlenowych” (głównie w USA), gdzie najbardziej popularną koncepcją stało się wykorzystanie składowiska jako swoistego bioreaktora, w którym wykorzystuje się przede wszystkim beztlenowe procesy biochemiczne do rozkładu wysokocząsteczkowych związków organicznych, przy jednoczesnym oczyszczaniu powstających odcieków oraz produkcji biogazu i optymalizacji powierzchni składowiska. Na Rys. 8 przedstawiono zintegrowany model nowoczesnego składowiska odpadów eksploatowanego jako bioreaktor wg. Karthikeyana [68].



Rys. 8. Schemat składowiska jako bioreaktora [68].

Intensyfikacja i przyspieszenie procesów biochemicznych wiąże się przede wszystkim z zapewnieniem odpowiedniej wilgotności odpadów poprzez wykorzystanie recyrkulacji odcieków ale również przez dodawanie innych nietoksycznych cieczy i materiałów półpłynnych np. ścieków przemysłowych. Jako przewagę tej koncepcji składowania nad pozostałymi Kaczorek i wsp.[66] wymieniają:

- wzrost wydajności przekształcenia substancji organicznej zawartej w odpadach w energię (produkcja biogazu),
- magazynowanie lub unieszkodliwianie odcieków,
- odzyskiwanie powierzchni poprzez stabilizację odpadów i ich ewentualne kompostowanie,
- technologia przyjazna środowisku poprzez zatrzymywanie odcieków w masie odpadów oraz kontrole emisji biogazu przez co minimalizuje się wpływ na wody podziemne, powierzchniowe oraz otoczenie składowiska oraz zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych.

Zastosowanie bioreaktorów symulujących pracę składowiska tzn. lizymetrów pozwoliło określić procesy biochemiczne zachodzące w składowanych odpadach. Obecnie wyniki prac prowadzonych w skali laboratoryjnej przeniosły się już do zastosowań na rzeczywistych składowiskach co znalazło odzwierciedlenie w niektórych opracowaniach opisujących procesy i warunki stosowania składowisk-bioreaktorów np. opisane przez Karthikeyana i współ. [68,69] w Indiach gdzie dopiero powstają nowoczesne składowiska odpadów komunalnych, w Szwecji Malicka [99] i w Stanach Zjednoczonych, [87] gdzie z kolei poszczególne rejony i stany mają odmienne uwarunkowania i przepisy dot. gospodarki odpadowej. Pohland [129] w pracy przekrojowej opisuje teorię i praktykę stosowania składowisk jako bioreaktorów.

6.2. Procesy zachodzące w odpadach

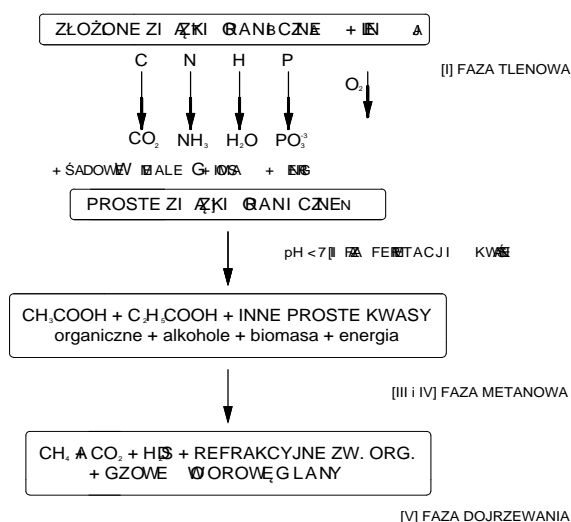
Rozkład odpadów w składowisku jest efektem działań mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych i zachodzi etapami (fazami). W każdej z tych faz obserwowane są charakterystyczne dla nich zmiany liczebności populacji określonych grup bakterii oraz tworzenie i utylizacja pewnych produktów metabolicznych. Obecna wiedza na temat reakcji, które zachodzą wewnątrz składowiska, pochodzi z obserwacji ich głównych produktów końcowych, takich jak metan, dwutlenek węgla i lotne kwasy organiczne.

W literaturze spotyka się różne alternatywne podziały faz przemian materii organicznej na składowisku [68,69,122,138,174,194,195].

Na Rys. 9 przedstawiono substraty i główne produkty przejściowe, które pojawiają się w trakcie procesów wysypiskowych oraz etapy rozkładu związków organicznych zawartych w odpadach w oparciu o opracowanie Kaczorek i Ledakowicz [66] i Żygadło [194,195].

Wg cytowanych powyżej autorów rozkład zdeponowanych na składowiskach organicznych odpadów można podzielić na pięć faz: tlenowa, faza fermentacji kwaśnej, faza metanowa niestabilna, faza metanowa stabilna i faza dojrzewania.

Na wszystkich składowiskach odpadów komunalnych w Polsce, rozkład materii organicznej zawartej w odpadach przebiega w warunkach anaerobowych (fermentacja metanowa).



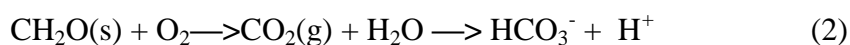
Rys. 9. Fazy rozkładu związków organicznych w odpadach [66]

➤ Faza I- (tlenowa)

Trwa zwykle krótko od 1 do kilku tygodni, do czasu wyczerpania tlenu zawartego w materiałach odpadowych oraz w porach między odpadami i biorą w niej udział bakterie z grupy względnych tlenowców. W tym czasie następuje hydroliza wielocukrów, białek i tłuszczów oraz innych spolimeryzowanych, w większości nierozpuszczalnych, związków organicznych do prostszych kwasów organicznych, alkoholi i aldehydów. Powstaje również wodór oraz dwutlenek węgla.

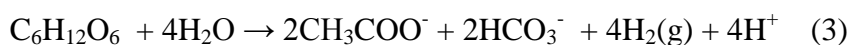
W tej fazie zmniejsza się pH odcieku i jednocześnie wzrasta temperatura odpadów co sprzyja rozwojowi bakterii mezofilnych i zapoczątkowuje procesy fermentacyjne [3,10,12,52].

Powyższe przemiany można przedstawić równaniami (1) i (2) :



➤ Faza II – (fermentacji kwaśnej)

W tej fazie środowisko w złożu odpadów zaczyna być ubogie w tlen i bakterie fakultatywne (mogące żyć w warunkach tlenowych i beztlenowych) przechodzą na metabolizm związany z fermentacją beztlenową. Ten etap charakteryzuje się dalszą hydrolizą (biodegradacją) związków organicznych. Głównymi składnikami odpadów, które mogą ulec biodegradacji są celulozy i hemicelulozy (stanowiące 90% potencjału metanogennego). Występują one w ilości od 45 do 60% suchej masy odpadów [66]. Różnorodne populacje bakterii hydrolitycznych hydrolizują powyższe polisacharydy oraz występujące w mniejszych ilościach białka i tłuszcze do odpowiednio rozpuszczalnych cukrów, aminokwasów, długołańcuchowych kwasów karboksylowych i glicerolu. Te produkty hydrolizy są następnie rozkładane dalej do krótkołańcuchowych kwasów karboksylowych (tzw. lotnych kwasów tłuszczowych), dwutlenku węgla, wodoru, octanów i alkoholi równania od (3) do (5). W efekcie produkcji kwasów maleje odczyn środowiska, co powoduje uwalnianie metali. W fazie tej obserwuje się intensywny wzrost bakterii octowych oraz gwałtowne wykorzystywanie substratów i związków biogenych. Obserwowany jest też gwałtowny wzrost obciążenia odcieków organicznymi związkami węgla, co wyraża się wzrostem ChZT.



➤ Faza III –(metanowa niestabilna)

W fazie metanowej niestabilnej odczyn odpadów zaczyna być stabilizowany w związku z wykorzystywaniem przez bakterie kwasów jako źródła węgla. Innym czynnikiem buforującym odczyn środowiska jest uwalnianie jonów metali (w wyniku reakcji kwasów z metalicznymi i nieorganicznymi odpadami), które to jony rozcieńczają jony wodorowe.

Osiągnięcie neutralnego pH pozwala składowisku na przejście do zasadniczej fazy rozkładu, która charakteryzuje się najbardziej złożonymi interakcjami między drobnoustrojami. Bakterie octowe (redukujące protony) przekształcają dalej krótkołańcuchowe kwasy karboksylowe do octanów, wodorowęglanów i wodoru (przykładowo dla kwasu propionowego reakcja opisana równaniem (9)). Reakcje te mogą przebiegać tylko, wówczas gdy wodór cząsteczkowy jest usuwany ze środowiska (równanie (10)), ponieważ utlenianie zredukowanych związków organicznych przez bakterie octowe jest niekorzystne z termodynamicznego punktu widzenia. Dlatego też bakterie produkujące kwasy zazwyczaj żyją w symbiozie z bakteriami metanowymi. Tworzą one kłaczki lub inne agregaty zapewniające im bliski kontakt z partnerem symbiotycznym.



W normalnych warunkach, w tej fazie metan jest produkowany z niskocząsteczkowych produktów bakterii produkujących kwasy poprzez redukcję dwutlenku węgla, rozszczepienie octanu lub redukcję grupy metylowej takich związków jak trimetyloamina czy metanol [66]. Reakcje te zazwyczaj przebiegają z udziałem różnych bakterii metanowych (przykłady reakcji wraz z drobnoustrojami je katalizującymi zostały zebrane w Tabeli 2).

Usuwanie niskocząsteczkowych związków przyspiesza redukcję kwasów, a przez to zwiększa dostępność substratów dla różnych szczepów metanowych.

Obserwowany jest gwałtowny wzrost produkcji biogazu, przy jednoczesnym spadku obciążeń odcieków organicznymi związkami węgla.

Produkcja metanu może zostać opóźniona lub w ogóle nie mieć miejsca, jeśli nie są zapewnione odpowiednie warunki środowiskowe dla bakterii metanowych. Rozpoczęcie metanogenezy świadczy o równowadze w ekosystemie składowiska. Jeśli aktywność bakterii fermentujących znacząco przewyższa aktywność bakterii octowych i metanowych, kwasy organiczne i wodór akumulują się, odczyn nadmiernie spada i metanogeneza ulega inhibicji. W przypadku braku zmiataczy wodoru cząsteczkowego powstają mleczań, etanol i inne zredukowane produkty bakterii fermentujących, ale nie są one dalej utleniane [194].

Warunki panujące w tej fazie - pH obojętne, bardzo niski potencjał redox, aktywność bakterii siarkowych, sprzyjają immobilizacji metali w złożu odpadów co jest istotne gdyż metale ciężkie mogą szkodliwie wpływać na populację bakterii metanogennych.

Tabela 2. Przykładowe reakcje i mikroorganizmy odpowiedzialne za produkcję metanu

Reakcje	Mikroorganizmy
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	<i>Methanobacterium soehngeni</i> <i>Methanococcus mazei</i>
$4\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 7\text{CH}_4 + 5\text{CO}_2$	<i>Methanobacterium propionicum</i> <i>Methanococcus mazei</i>
$2\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$	<i>Methanosarcina methanica</i> <i>Methanobacterium suboxydans</i>
$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ $2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{CH}_3\text{COOH}$	<i>Methanobacterium omelianskii</i>
$\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$	<i>Methanobacterium bryanti</i>

➤ **Faza IV –(metanowa stabilna)**

Szybkość produkcji metanu w tej fazie osiąga maksimum, po czym powoli maleje wraz z wykorzystaniem rozpuszczalnych substratów (kwasów karboksylowych). W tej fazie szybkość produkcji biogazu zależy od szybkości hydrolizy celuloz i hemiceluloz. Kwasy karboksylowe są wykorzystywane równie szybko, jak są produkowane [66]. Uważa się, że metan powstaje głównie w procesie redukcji dwutlenku węgla wodorem oraz metabolicznego rozkładu kwasu octowego [138]. W późniejszym okresie następuje powolna humifikacja związków organicznych zawartych w odpadach. Związki humusowe wiążą metale ciężkie [122].

➤ **Faza V (- dojrzewania)**

Faza dojrzewania (wyciszenia) rozpoczyna się z chwilą gdy związki organiczne zawarte w odpadach zostaną zdegradowane a szybkość produkcji metanu spada do zera. Wówczas szybkość dyfuzji tlenu do składowiska może stać się większa niż szybkość jego zużycia przez drobnoustroje. Stąd zakłada się, że ustabilizowane składowisko może z czasem stać się ekosystemem tlenowym [66]. Poprzednie cztery fazy zostały dobrze poznane w badaniach zarówno w skali laboratoryjnej, jak i w trakcie obserwacji składowisk. Natomiast brak jest obecnie danych doświadczalnych dotyczących procesów, które zachodzą w fazie dojrzewania i mogą trwać setki lub nawet tysiące lat.

6.3.Produkcja biogazu

Beztlenowy rozkład substancji organicznej gromadzonej na składowisku prowadzi do produkcji biogazu zawierającego przeciętnie od 45 do 65% metanu, uznawanego za gaz odpowiedzialny za efekt cieplarniany. Gaz ten na składowiskach nieuporządkowanych może gromadzić się i przemieszczać w obrębie składowiska, a nawet migrować poza jego obszar poprzez warstwy półprzepuszczalne, szczeliny i pęknięcia, systemy kanalizacyjne, szyby górnicze itp.[194]. Skład chemiczny gazu składowiskowego stabilizuje się dopiero w fazie metagenezы [195]. Oprócz metanu końcowym produktem rozkładu są następujące gazy:

- dwutlenek węgla 25-35% objętości
- azot 7-10 % objętości
- tlen <3% objętości
- pozostałe domieszki ok. 1%

Skład biogazu nie jest stały i zmienia się w zależności od warunków zewnętrznych zwłaszcza od ilości powietrza penetrującego warstwę odpadów [195].

Do głównych czynników wpływających na produkcję biogazu należą:

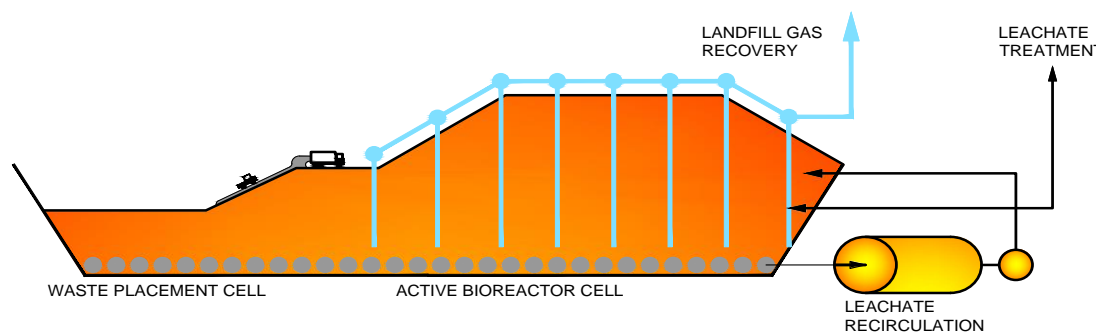
- jakość wprowadzanych odpadów i sposób ich przygotowania do biologicznego rozkładu: im składniki są bardziej rozdrobnione i jednorodne tym lepszy kontakt substratu z bakteriami prowadzącymi rozkład materii organicznej, dopuszczenie do składowania osadów ściekowych wydatnie zwiększa produkcję gazu,
- wilgotność odpadów jest najważniejszym czynnikiem poprawiającym beztlenową biologiczną gazyfikację osadów i przebiega najlepiej, gdy wilgotność przekroczy próg wodochłonności odpadów, a recyrkulacja odcieków rozprowadzi związki odżywcze i bakterie po całym składowisku,
- temperatura: wraz ze wzrostem temperatury w składowisku rośnie prędkość rozkładu materii organicznej i produkcja gazu,
- związki odżywcze i bakterie: im bardziej równomierne rozprowadzenie wody w składowisku tym lepszy kontakt bakterii z substancjami odżywczymi i większa produkcja biogazu,
- gęstość odpadów: balotowanie odpadów zmniejsza produkcję biogazu,
- wysoka zasadowość,
- pH= 6,5-8,0,
- duża zawartość kwasów tłuszczowych LKT co sprzyja tworzeniu się gazu.

Zapobieganie wydostawaniu się gazu ze składowiska jest obowiązkiem obsługującego ze względu na groźbę wybuchu, rozprzestrzeniania się odorów oraz niekontrolowaną emisję gazów cieplarnianych.

Usuwanie gazu może odbywać się pasywnie czyli przez budowanie rowów opaskowych, przegród (barier nieprzepuszczających gazu) lub studni odgazowujących [122].

Odgazowanie aktywne jest najbardziej efektywnym sposobem zapobiegającym migracji gazu poza składowisko. Polega ono na odpompowaniu gazu z odwiertów. Uzyskany gaz można spalić lub wykorzystać m. in. dla celów energetycznych. Aktywne odgazowanie należy stosować na składowiskach o dużej głębokości i miąższości odpadów oraz na których składa się rocznie 10 tys. Mg odpadów [138].

Rys. 10 pokazuje najprostszy system aktywnego odzysku i wykorzystania gazu produkowanego w składowisku odpadów komunalnych [68]



Rys.10. Aktywne usuwanie gazu ze składowiska pompą ssącą do agregatu prądotwórczego [68]

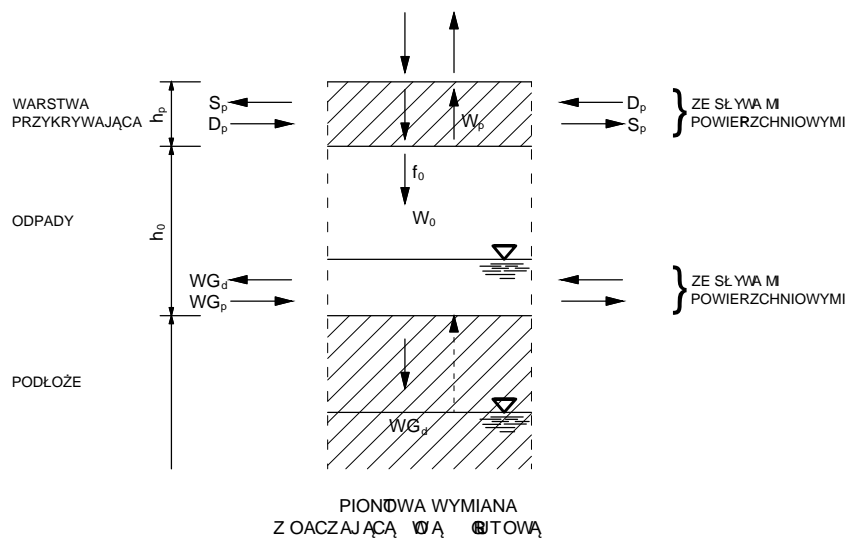
Wytwarzanie biogazu, którego głównymi składnikami są CO_2 i CH_4 , uwarunkowane jest zawartością substancji organicznej w złożu i aktywnością mikroorganizmów metagennych. Pozyskiwanie biogazu ze składowiska odpadów komunalnych winno być uwzględnione w planach jego organizacji, eksploatacji i w zagospodarowaniu przestrzennym [137,152]

6.4. Gospodarka odciekami na składowiskach

Wody opadowe penetrujące w głąb składowiska oraz produkty przemian biochemicznych substancji organicznej z materiału złoża tworzą tzw. odcieki.

Odcieki mogą przedostawać się w głąb gruntu poza obszar składowiska i stanowić poważne zagrożenie dla wód gruntowych jako źródła wody pitnej. Ilość i zawartość zanieczyszczeń w odciekach jest zależna przede wszystkim od składu odpadów oraz przemian biochemicznych zachodzących w składowisku w zależności od stosowanej technologii ich deponowania, eksploatacji, od wieku składowiska, a także warunków pogodowych [9]. Na przykład, gdy obserwowany jest wysoki poziom opadów, więcej wody przedostanie się do składowiska i będzie więcej odcieków. Innym czynnikiem jest topografia terenu składowiska odpadów, która wpływa na spływ wody.

Do zwiększenia ilości odcieków mogą przyczyniać się również wody powierzchniowe i podziemne dopływające do złoża odpadów, jeśli w projekcie składowiska nie uwzględniono drenażu dla tych wód. Schemat powstawania odcieków na składowisku odpadów przedstawiono na Rys. 11.



Rys. 11. Ilustracja graficzna powstawania odcieków [6]

6.5.. Bilans wodny składowiska

Majchajski i Olearczyk [97] w swojej pracy przedstawili postępowanie prowadzące do opracowania bilansu wodnego w obrębie składowiska odpadów innych niż niebezpieczne.

Potrzeba wykonania bilansu wodnego w obrębie składowiska wynika z planu gospodarki wodno – ściekowej jaki należy wykonać w obrębie danego obiektu.

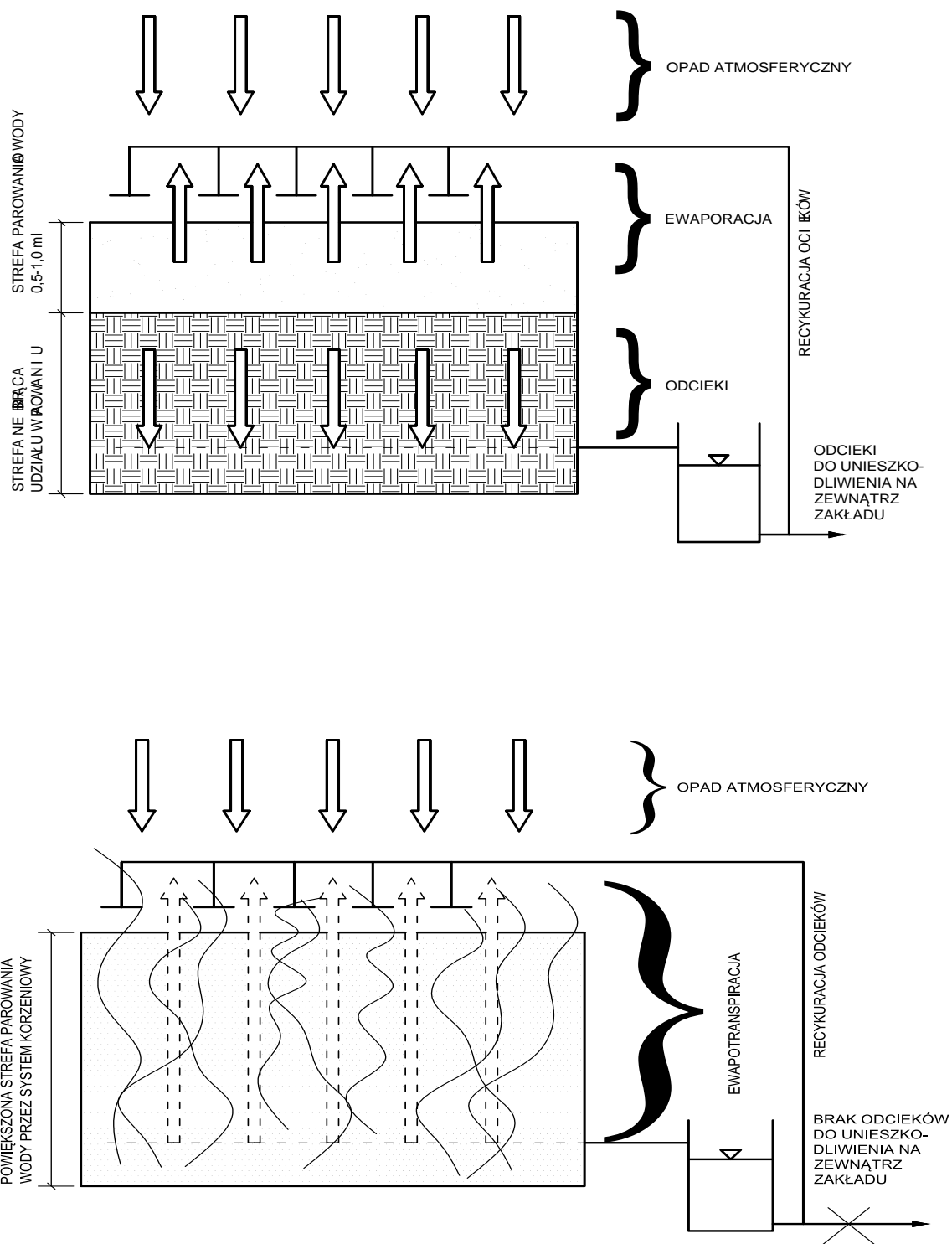
Bilans wodny składowiska ma na celu określenie rozdziału wód w jego obrębie z podziałem na wody powierzchniowe, wody opadowe i roztopowe, wody podziemne oraz wody odciekowe.

Autorzy zwrócili uwagę na problematykę zasilania składowiska przez wody opadowe (zwłaszcza na dużych powierzchniach składowisk), parowaniu zależnemu od pory roku i wilgotności powietrza oraz wymianę wilgoci w obrębie samego składowiska.

Podkreślono potrzebę uwzględnienia w bilansie wód powstających w procesie rozkładu odpadów gromadzonych na składowisku odpadów, a ponadto wykazano potrzebę rozdziału wód na wody czyste i wody zanieczyszczone.

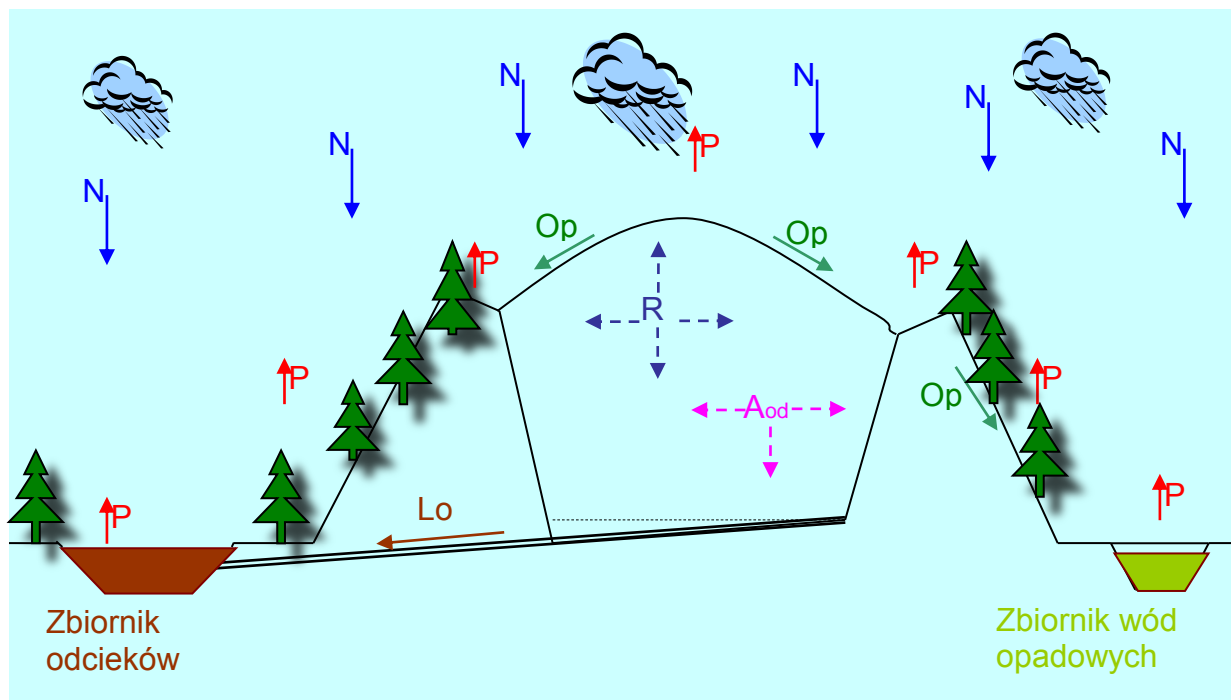
Zwrócono uwagę na zmianę w bilansie wód związaną z wypełnianiem składowiska związaną ze zmianą właściwości sorpcyjnych złoża i szybkości infiltracji wód.

Bilans wód na składowisku jest równie istotny jak i trudny do przeprowadzenia. W podejściu teoretycznym najczęściej posługujemy się uproszczonym modelem przedstawionym na Rys. 12 [97], w którym rozważa się wymianę wilgoci w kierunku pionowym i poziomym, bez drenażu i uszczelnienia dna i powierzchni górnej składowiska.



Rys.12. Bilans wodny składowiska odpadów – schemat ideowy [97]

Bardziej obrazowo sposób powstawania odcieków został przedstawiony w bilansie wodnym, który prezentowany jest na Rys. 13 [180].



Rys.13. Schemat bilansu wodnego składowiska odpadów komunalnych [180]

Oznaczenia na rysunku:

N-opad średnioroczny

Op-odpływ powierzchniowy

P-parowanie i transpiracja

Lo-odpływ odcieków

Aod- adsorpcja wody przez opady

R- woda z rozkładu odpadów

6.6.Skład chemiczny odcieków

Odcieki zawierają zanieczyszczenia które można zaliczyć do następujących grup: zanieczyszczenia organiczne, nieorganiczne makrokomponenty, metale ciężkie, ksenobiotyczne związki organiczne [73].

Skład odcieków zmienia się znacząco w czasie na co mają wpływ zarówno czynniki omówione wcześniej jak i wiek składowiska, sposób eksploatacji, i ilości wody dostającej się do składowiska [9,73]. Skład odcieków ze składowisk podali m.in. Kjeldsen [73], Fan [40] (odcieki ze składowisk w centralnym Tajwanie), a ze składowisk krajowych: Białowiec [9], Szpadt [167-169] i Szczyt [170] i Stępnia [156].

Jeśli chodzi o toksyczność odcieków podkreśla się szczególną uciążliwość metali ciężkich występujących w odciekach, które to, ze względu na swój charakter, zakłócają naturalną równowagę środowiska wodnego, hamują procesy samooczyszczania wód, a ponadto kumulują się w organizmach żywych powodując niekiedy poważne zmiany patologiczne. Paxeus [125] stwierdził w odciekach pochodzących z trzech składowisk odpadów w Göteborgu ponad 200 różnych związków organicznych w zakresach stężeń od mniej niż jednego do kilkuset mg/l. Przeciętny skład chemiczny odcieków z różnych składowisk, odzwierciedlający zmiany parametrów chemicznych wraz z wiekiem składowiska wg Szpadta [169], przedstawia tab. 3

Tabela 3 Skład i wybrane parametry fizyko-chemiczne. odcieków z różnych składowisk [169].

Parametr	Jednostka	S1		S2	S3	S4	
Wiek składowiska	Rok	1,0	12,3	2	0,5	1-3	16
Odczyn	pH	7,2-8,1	8,6-8,9	7,55	6,65	7,2	7,05
Zasadowość Ogólna	g CaCO ₃ /m ³	10600- 21500	5000- 6500		2900		
Twardość ogólna	g CaCO ₃ /m ³				3070		
ChZTdwuchr.	g O ₂ /m ³	18300- 58400	3380- 4000	4500	1834	1148	58
BZT ₅	g O ₂ /m ³	8400	300	2600			
BZT ₅ /ChZTdwuchr.		0,46	0,09	0,58			
Azot amonowy	g N/m ³	1302- 2915	224	438	155	300	25
Azot org.	g N/m ³	448- 955	90-126		7	32,2	2
Lotne kwasy tłuszczowe	g CH ₃ COOH/m ³	18686- 27214	214		3266		
Chlorki	g Cl/m ³	4500- 7000	4460- 5300	1270	810	1000	104
Siarczany	g SO ₄ ²⁻ /m ³	410- 1053	74-132		103	64	346
Miedź	g Cu/m ³	0,5-3,0	0-1,0		0,01	0,06	0,06
Ołów	g Pb/m ³	0-1,2	0,2-0,3		0,2	0,34	0,21
Cynk	g Zn/m ³	9,5-24	6,25-12	3,0	0,17	0,38	0,18

Należy podkreślić, że wskaźniki zanieczyszczeń w odciekach ze składowisk „młodych” (2-3lat) są bardzo wysokie, wielokrotnie wyższe od występujących w ściekach komunalnych a 70- 80% substancji organicznych stanowią niższe kwasy organiczne (wysoka zawartość lotnych kwasów tłuszczowych). Wraz z procesem stabilizacji przemian odpadów (metanogeneza stabilna) po ok. 8 latach następuje wzrost wskaźnika pH, zmniejszenie wskaźników BZT i ChZT co jest rezultatem rozkładu biodegradowalnych związków organicznych [160,194].

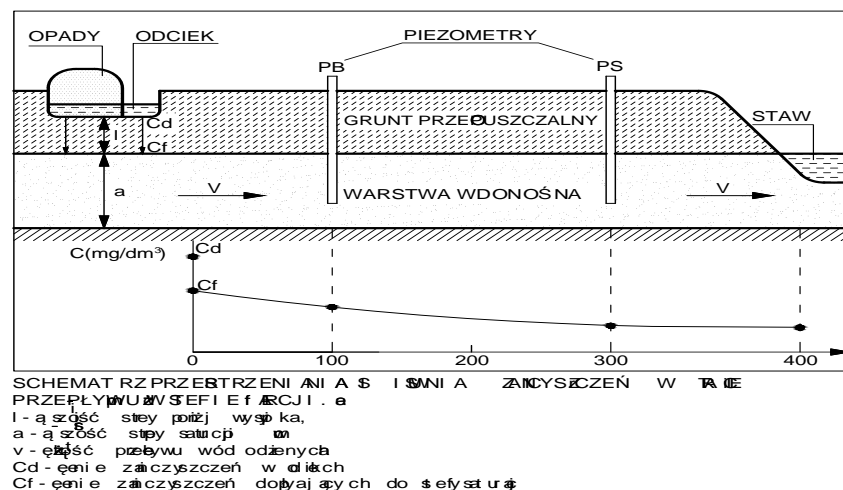
6.7.Zbieranie odcieków i ich unieszkodliwianie

Istnieją dwa główne sposoby zbierania odcieków w składowisku.

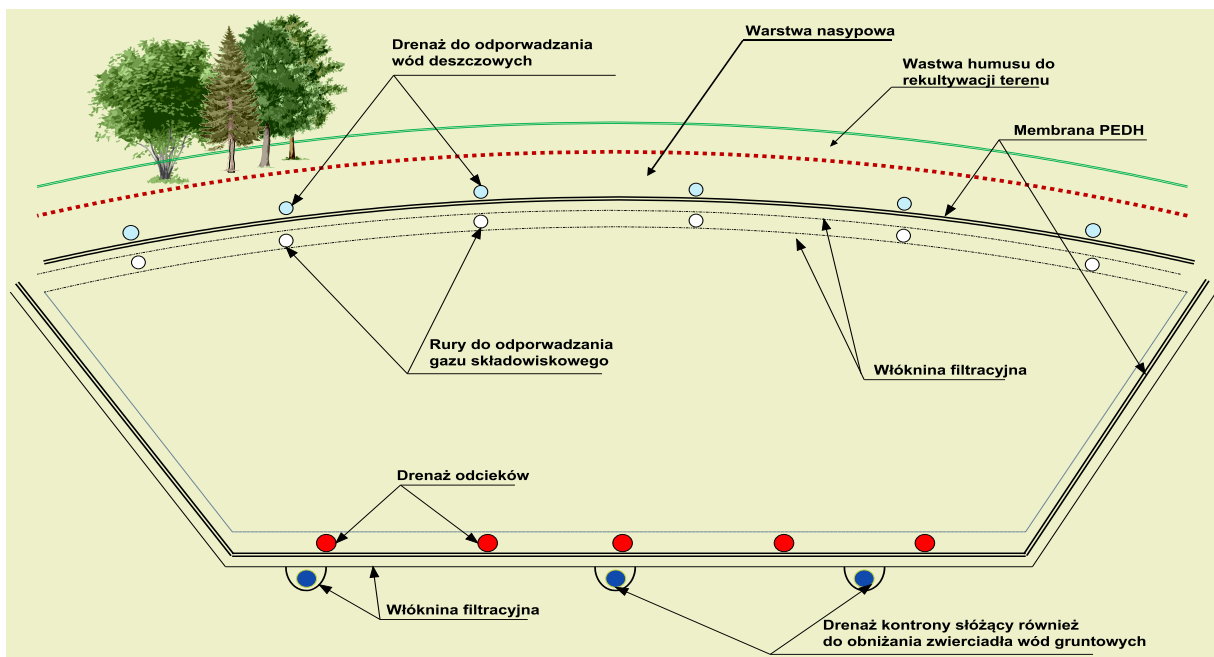
Pierwszy sposób to sprowadzenie odcieków systemem drenaży do najniższego punktu w składowisku a następnie przepompowanie ich do zbiornika wyrównawczego lub do recyrkulacji.

Drugi sposób to grawitacyjne odprowadzenie odcieku poza czaszę składowiska.

W przypadku bezpośredniego składowania odpadów na podłożu gruntowym usuwanie zanieczyszczeń z odcieków odbywa się częściowo w strefie aeracji, a następnie w strefie saturacji środowiska wodno-gruntowego. Procesy te mogą odbywać się drogą eliminacji mechanicznej, fizyko-chemicznej i biologicznej [172] (Rys. 14), a uproszczony schemat uszczelnienia i drenażu składowiska wg Żygadło [195] przedstawiono na Rys. 15.



Rys. 14. Schemat rozprzestrzeniania się i usuwania zanieczyszczeń w trakcie przepływu w strefie aeracji i saturacji [172]



Rys.15. Uproszczony schemat uszczelnienia i drenażu składowiska wraz z przykryciem i rekultywacją terenu wg Żygadło [195]

Typowe rozwiązania gospodarki odciekowej podane przez Szpadta to [166]:

- gromadzenie odcieków w zbiorniku retencyjnym (kolektorze),
- recyrkulację odcieków na złożu odpadów,
- wywóz lub odprowadzenie do oczyszczalni komunalnej,
- oczyszczanie na miejscu w oczyszczalni lokalnej (metoda odwróconej osmozy) lub w oczyszczalni typu korzeniowego.

Oleszkiewicz [122] podaje jeszcze możliwość odparowywania pasywnego lub aktywnego (przy wykorzystaniu gazu wysypiskowego jako medium grzewczego), a następnie usunięcie lub spalenie pozostałości po odparowaniu.

Reinhart i wsp. [134] opisują nowatorski system (LCS) zbierania i usuwania odcieków z dna składowiska.

W związku z trudnościami ekonomiczno-technicznymi związanymi z zagospodarowaniem odcieków należy również w pierwszym rzędzie rozważyć możliwość zmniejszenia ilości odcieków na składowisku przez zastosowanie odpowiedniej eksploatacji składowiska. Deponowanie osadów w cienkich warstwach, rozdrabnianie i zagęszczanie odpadów, dodatkowe zazielenienie nieeksploatowanych części składowiska roślinnością o dużej transpiracji oraz rekultywacja skarp pozwala na ograniczenie ilości odcieków [9,170].

Stwierdzono również, że retencja (magazynowanie) odcieków na terenie składowiska prowadzi do wyrównania wielkości przepływu, a także do poprawy ich jakości [9].

Po okresie przetrzymania odcieków można odcieki odprowadzić bezpośrednio do kanalizacji ściekowej lub też wywozić wozami asenizacyjnymi do miejskiej oczyszczalni ścieków.

Im większy zbiornik retencyjny tym większe możliwości uśrednienia stężenia odcieków i jednocześnie ochrona przed powodzią i niekontrolowanym wyciekiem poza teren składowiska.

Innym sposobem zagospodarowania odcieków jest ich recyrkulacja na składowisku opisana w szeregu pracach [9,65,135,136,168,170] .

Recyrkulacja odcieków może być wykorzystana dla zapewnienia zarówno właściwej wilgotności jak i odpowiedniego transportu wody w złożu odpadów, a przez to do optymalizacji procesów zachodzących w składowiskach. Woda jest niezbędna w przebiegu wszelkich procesów biologicznych.

Dzięki recyrkulacji możliwe jest przyspieszenie osiadania odpadów, co pozwala na osiągnięcie ich objętości zbliżonej do ostatecznej i położenia ostatecznego przykrycia wierzchniego bez ryzyka, że zostanie ono z czasem uszkodzone z powodu zmian geologicznych w złożu. Recyrkulacja może również prowadzić do zwiększenia gęstości nasypowej odpadów w złożu, a przez to złożenia większej ich ilości (lepszego wykorzystania powierzchni składowiska).

Białowiec [9] zwrócił również uwagę na możliwość recyrkulacji odcieków na składowisku pokrytym roślinnością przez co zwiększa się strefę parowania wody przez pobranie jej przez korzenie jak i przez transpirację poprzez liście, a tym samym możliwe jest znaczne zmniejszenie ilości odcieków, a nawet przy odpowiednim bilansie wodnym pozbycie się odcieków bez potrzeby ich usuwania poza składowisko.

Recyrkulacja jest również metodą oczyszczania odcieków - *in situ*. Odcieki zostają częściowo odparowane przy czym proces ten jest uzależniony od stosowanej techniki recyrkulacji. Oczyszczanie odcieków wewnątrz składowiska zachodzi dopiero w fazie metanowej, zanieczyszczenia organiczne są wykorzystywane do produkcji biogazu, natomiast metale ciężkie immobilizowane. Recyrkulacja odcieków wydaje się być najbardziej efektywnym rozwiązaniem w usuwaniu substancji organicznych i amoniaku. Stwierdzono również, że recyrkulacja jest bardziej skuteczna przy beztlenowym rozkładzie odpadów niż przy rozkładzie tlenowym.

Przyspieszając przebieg procesów zachodzących w składowanych odpadach recyrkulacja skraca czas ich stabilizacji, co może prowadzić do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych składowiska - skrócenia czasu, w którym niezbędne jest monitorowanie składowiska.

Z reguły ze względu na duży ładunek zanieczyszczeń surowe odcieki zwłaszcza z młodych składowisk (por. Tab. 3) nie nadają się do bezpośredniego dostarczenia do miejskiej kanalizacji i oczyszczalni ścieków bez wstępnego podczyszczenia lub rozcieńczenia.

Odciek nieoczyszczony ma bardzo negatywny wpływ na procesy biologicznego oczyszczania ścieków i pogorszenie jakości osadów ściekowych przez nagromadzenie metali ciężkich [108].

W związku z powyższym stosuje się ich podczyszczenie biologiczne lub fizyko - chemiczne. Oczyszczanie biologiczne (zwłaszcza procesy beztlenowe) ma uzasadnienie w przypadku składowisk młodych gdzie osady są składowane maksymalnie 4 lata, stosunek BZT/ChZT kształtuje się na poziomie 0,5-0,7, a lotne kwasy organiczne stanowią 56-90 % ogólnej ilości związków organicznych. W późniejszym okresie w starzejącym składowisku powstają związki humusowe słabo podatne na oczyszczanie biologiczne [1,9,108,160,162].

W związku z tym, że oczyszczanie biologiczne odcieków oznacza głównie redukcję zanieczyszczeń organicznych (BZT), natomiast nadal pozostają zanieczyszczenia chemiczne oznaczane jako ChZT, zasolenie, metale ciężkie i związki chlorowcopochodne do oczyszczania odcieków wykorzystuje się różnorodne metody fizykochemiczne oraz kombinowane metody oczyszczania.

Do najważniejszych metod fizykochemicznych stosowanych w oczyszczaniu odcieków należą procesy membranowe, a więc przede wszystkim odwrócona osmoza [1,57,79, 157,162,165], odwrócona osmoza połączona z wysalaniem opisana przez Linde [90] i Petersa [126], ultrafiltracja i nanofiltracja [1,57,127], adsorpcja, koagulacja, ekstrakcja, utlenianie chemiczne i kombinacja metod biologicznych i fizykochemicznych [1,72,84,86,109,151, 171,175]. Dla przykładu Kulikowska [86] stwierdziła, że przy zastosowaniu metody osadu czynnego (reaktor SBR- 1 stopień oczyszczania) oraz adsorpcję na węglu aktywnym (2 stopień) przy czasie zatrzymania 3h uzyskano ponad 98% efektywności usuwania związków organicznych (wyrażonych jako BZT₅) oraz 75% efektywność usuwania ChZT.

Jak podaje Rosik-Dulewska [138] m.in. w Niemczech zalecane są kombinowane metody oczyszczania odcieków np. oczyszczanie biologiczne z nitrifikacją/denitrifikacją, połączone z jedno lub dwustopniową odwróconą osmozą, odparowaniem koncentratu oraz obróbką oparów i kondensatu.

Również w ostatnich latach podejmowane są próby zastosowania naturalnych systemów glebowo-roślinnych do oczyszczania odcieków przede wszystkim w USA, krajach skandynawskich i w zachodniej Europie.

Znane są doświadczenia z wykorzystaniem plantacji wierzby (*Salix aquatica*, *Salix viminalis*) oraz stosowanie do oczyszczania odcieków złóż hydrofitowych z wykorzystaniem trzciny (*Phragmites australis*). Skuteczność tego typu systemów oczyszczania stwierdzono głównie dla słabo stężonych odcieków o niskim stężeniu związków organicznych i niskim zasoleniu [120,167].

6.8. Monitoring składowiska

Składowiska odpadów mogą wywierać niekorzystny wpływ na różne elementy środowiska:

- powierzchnię ziemi,
- wody powierzchniowe i podziemne,
- powietrze,
- klimat akustyczny,
- walory przyrodnicze i krajobrazowe.

Zabezpieczenia związane z budową składowiska jak również prawidłowa eksploatacja pozwalają do minimum ograniczyć szkodliwe oddziaływanie składowiska na środowisko [102]. Monitoring oznacza śledzenie zmian składu powietrza, odcieków, spływów powierzchniowych, zanieczyszczenia gleby i roślinności oraz innych czynników (np. naprężeń skarp składowiska) na składowisku i wokół niego [91].

Oleszkiewicz [122] wymienia jako przedmioty monitoringu:

- strefę nienasyconą gruntu,
- wodę gruntową,
- powietrze w rejonie składowiska,
- wody powierzchniowe spływające z terenu składowiska,
- powierzchnie zamknięte składowiska oraz drogi wewnątrz składowiska,
- ogrodzenie oraz płoty do zatrzymywania śmieci,
- drogi dojazdowe.

Innym elementem monitoringu składowiska odpadów jako obiektu inżynierskiego jest na przykład monitoring deformacji i przemieszczeń poziomych gruntu czy też konstrukcji podłoża i niecki składowiska w trakcie eksploatacji i po zamknięciu składowiska.

Monitoring na składowisku odpadów powinien być prowadzony w zakresie zgodnym z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu i sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów [150], rozporządzenie to przenosi wymagania określone w dyrektywie 99/31/EC do przepisów krajowych.

Zgodnie z rozporządzeniem monitoring składowiska odpadów obejmuje [54,77,195]:

- monitoring w fazie przed eksploatacyjnej – w okresie do dnia uzyskania pozwolenia na użytkowanie składowiska odpadów,
- monitoring w fazie eksploatacji – prowadzony od dnia uzyskania pozwolenia na użytkowanie składowiska odpadów do dnia uzyskania zgody na zamknięcie składowiska,
- monitoring w fazie poeksploatacyjnej – obejmuje okres 30 lat od dnia uzyskania decyzji o zamknięciu składowiska odpadów

Monitoring w fazie przed eksploatacyjnej ma na celu określenie stanu wyjściowego składników środowiska i polega na:

- określenie średnich danych meteorologicznych właściwych dla lokalizacji składowiska,
- kontroli poprawności wykonania elementów składowiska służących do monitoringu środowiska w szczególności poprawności wykonania otworów obserwacyjnych dla wód podziemnych oraz ustabilizowania reperów geodezyjnych,
- wyznaczeniu w instrukcji eksploatacji miejsc poboru próbek dla gazu składowiskowego oraz substancji pobieranych do badań (obligatoryjnie oznacza się w gazie składowiskowym metan, dwutlenek węgla i tlen),
- wyznaczeniu w instrukcji eksploatacji składowiska odpadów miejsc poboru prób wód powierzchniowych, wód podziemnych i odcieków, zgodnie z przewidywanym rodzajem składowanych odpadów,
- określeniu parametrów wód powierzchniowych i podziemnych przed rozpoczęciem eksploatacji oraz składu odcieków, w przypadku składowisk odpadów niebezpiecznych oraz składowisk odpadów innych niż niebezpieczne wymagane jest dla wód powierzchniowych i odcieków oznaczenie odczynu (pH) oraz przewodności właściwej,
- wyznaczeniu tła geochemicznego dla wód powierzchniowych i podziemnych w miejscach, które według zatwierdzonej instrukcji eksploatacji składowiska odpadów są wskazane do monitoringu w dalszych fazach.

Dla składowisk przyjmujących odpady komunalne obligatoryjny jest monitoring następujących parametrów wskaźnikowych wód (oprócz przewodności właściwej oraz odczynu pH):

- ogólny węgiel organiczny (OWO)
- zawartość metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr⁺⁶, Hg)
- suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Wszystkie dodatkowe parametry wskaźnikowe oznaczane dla wód powierzchniowych i odciekowych muszą być zgodne z listą określoną w załączniku I Rozporządzenia Ministra Środowiska z 11 lutego 2004 r. niej ustalonych w sprawie klasyfikacji do prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód.

Monitoring w fazie eksploatacji polega na:

- badaniu wielkości opadu atmosferycznego z pomiarów prowadzonych na terenie składowiska odpadów lub poza nim jeśli w trakcie oceny stanu wyjściowego wskazano stację meteorologiczną o lokalizacji adekwatnej do rejonu składowiska,
- badanie wcześniej ustalonych substancji występujących w gazie składowiskowym w miejscu poboru próbek wyznaczonych w instrukcji eksploatacji składowiska, o ile gaz będzie występował na składowisku,
- badaniu wcześniej ustalonych w fazie przedeksploatacyjnej parametrów wskaźnikowych dla wód podziemnych i powierzchniowych i odciekowych, w miejscach poboru próbek wyznaczonych w instrukcji eksploatacji składowiska,
- pomiarze poziomu wód podziemnych w otworach obserwacyjnych,
- kontroli struktury i składu masy składowiska odpadów pod kątem zgodności z pozwoleniem na budowę składowiska odpadów oraz instrukcją eksploatacji składowiska odpadów.

Monitoring w fazie poeksploatacyjnej polega na:

- badaniu wielkości opadu atmosferycznego z pomiarów prowadzonych na terenie składowiska odpadów lub poza nim jeśli w trakcie oceny stanu wyjściowego lub procedury zamknięcia składowiska wskazano stację meteorologiczną o lokalizacji adekwatnej do rejonu składowiska,

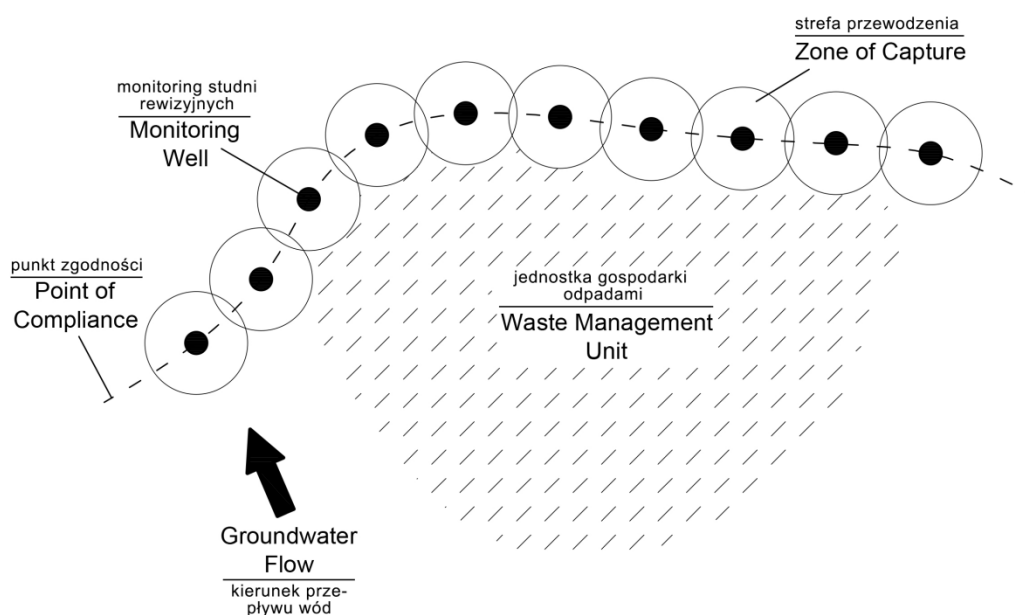
- pomiary poziomu wód podziemnych,
- kontroli osiadania powierzchni składowiska odpadów,
- pomiary wcześniej ustalonych w fazie przedeksploatacyjnej parametrów dla gazu składowiskowego, osobno dla wód powierzchniowych, podziemnych i odciekowych.

Zakres parametrów wskaźnikowych oraz minimalną częstotliwość badań wód powierzchniowych, odciekowych, podziemnych oraz gazu wysypiskowego w poszczególnych fazach eksploatacji podaje załącznik do rozporządzenia [54].

W ramach monitoringu środowiska wokół składowiska odpadów komunalnych pobiera się próby manualnie oraz automatycznie.

Istnieją również urządzenia (czujniki) do automatycznego rejestrowania danych – pracujące bez poboru prób np. rejestrujące niektóre dane fizykochemiczne (pH, przewodnictwo właściwe itd.). Osprzęt do monitoringu warstw pod składowiskiem zakłada się przed położeniem uszczelnienia dna czaszy.

Na rys. 16 przedstawiono schemat monitoringu odcieków i emisji gazowych wg Lee [88].



Rys.16. Przykład instrumentacji monitoringu odcieków oraz emisji gazowych[88].

Oleszkiewicz [122] podaje również, że monitoring powinien objąć także strefę nienasyconą gruntu a więc wodę i gazy znajdujące się w porach gruntu powyżej strefy ssania kapilarnego.

Monitoring przecieków w strefie nienasyconej polega na wykrywaniu przecieków poza uszczelnieniem czaszy, to znaczy dna i boków składowiska, oraz infiltrujących wód powierzchniowych spływających z otwartych i zamkniętych sektorów składowiska. Przecieki do strefy nienasyconej można łatwo rejestrować w piezometrach wyposażonych w różnej dokładności czujniki [122].

Jeśli z wyników monitoringu, prowadzonego przez 5 lat od zamknięcia składowiska odpadów wynika, że składowisko nie oddziałuje na środowisko, to właściwy organ może zmniejszyć częstotliwość badań poszczególnych parametrów wskaźnikowych, o których jest mowa w fazie poeksploatacyjnej w zakresie dotyczącym gazu składowiskowego oraz wód powierzchniowych, podziemnych i odciekowych, nie rzadziej jednak niż raz na dwa lata, a dla przewodności elektrolitycznej właściwej nie rzadziej niż raz na rok.

Pomiar wielkości przepływu i składu płynących wód powierzchniowych, o ile występują one w bezpośrednim otoczeniu składowiska odpadów, odbywa się w nie mniej niż dwóch punktach: jeden w górnym biegu każdego ciek, powyżej składowiska odpadów, drugi w dolnym biegu, poniżej składowiska odpadów.

Pomiar objętości i składu wód odciekowych odbywa się w każdym miejscu ich gromadzenia, przed ich oczyszczeniem.

Jeśli składowisko odpadów jest wyposażone w instalację oczyszczającą wody odciekowe, to w każdym miejscu odprowadzania oczyszczonych wód odciekowych dokonuje się pomiaru składu wód odciekowych oczyszczonych w celu kontroli skuteczności procesu oczyszczania.

Pomiar emisji gazu składowiskowego odbywa się w reprezentatywnych częściach składowiska odpadów, ustalonych w instrukcji eksploatacji składowiska odpadów, w miejscach jego gromadzenia, przed wlotem do instalacji oczyszczania i wykorzystania lub unieszkodliwiania gazu składowiskowego.

Niemiec i Zamorska [115] podkreślają znaczenie monitoringu stanu atmosfery wokół składowisk odpadów co jest związane z poznaniem wiedzy dotyczącej przemian odpadów, zakresie i zasięgu emisji substancji przenoszonych z wiatrem, wpływu zanieczyszczeń gazowych na zdrowie pracowników składowiska i mieszkańców pobliskich siedlisk, a także faunę. Zwracają oni uwagę na konieczność monitorowania bioaerozoli (zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza), związków mutagennych i kancerogennych (pochodne ropy naftowej i tworzyw sztucznych jak dioksyny, furany i WWA) oraz związków powodujących odory (siarkowodór, merkaptany) w atmosferze wokół składowiska odpadów. Nowakowski [118] również podkreślił problem odorów wokół składowisk, który dotyka zarówno obsługę jak i otoczenie składowiska. Do usuwania odorów na stacjach przeładunkowych, sortowniach, kompostowniach najlepiej nadają się biofiltry. Oleszkiewicz [122] powołując się na dane ze

składowisk amerykańskich podkreśla, że monitoring gazu ze składowisk powinien uwzględniać oprócz metanu zawartość lotnych związków organicznych (LZO). Zwraca również uwagę na kontrolę takich elementów składowiska jak kurz, rozwiewane śmieci, szkodniki i ptaki, które składają się na estetykę eksploatacji składowiska.

Stępnia [155] opisuje problem punktowych spiętrzeń reakcji cieplnych związanych z przyspieszonym rozkładem biologicznym oraz dodatkowym naciskiem masy odpadów w składowisku. Te zjawiska związane są z ciągłym ugniataniem masy odpadów ciężkim sprzętem i mogą sprzyjać często poważnym uszkodzeniom konstrukcji podłoża i niecki składowiska, a zwłaszcza systemów drenarskich. Dlatego też mimo właściwych rozwiązań materiałowo-ochronnych, konieczne staje się lokalne monitorowanie i nadzorowanie przebiegu reakcji termicznych, mechanicznych i biochemicznych zwłaszcza w odniesieniu do dużych składowisk odpadów komunalnych. Monitoring powinien być kontynuowany także po zamknięciu składowiska aż do czasu gdy składowisko przejdzie do stanu nie wywołującego zagrożenia dla otaczającego środowiska [81].

Banasiak [7] do powyższych elementów dodaje jeszcze oddziaływanie akustyczne pojazdów i innego sprzętu pracującego na składowisku oraz strukturę i skład odpadu w trakcie eksploatacji składowiska.

Z kolei Naborczyk i Wolski wskazują na znaczenie jakie ma przy budowie i eksploatacji składowiska odpadów monitoring geotechniczny i geodezyjny oraz monitoring deformacji i przemieszczeń obiektów składowiska [113,114]. Monitoring ten ma na celu zapobieganiu skutkom niekorzystnych zjawisk zachodzącym w podłożu gruntowym, jak również gromadzeniu danych przy diagnozowaniu konstrukcji zagłębionych w gruncie. W zakresie narzędzi pomiarowych szczególnie przydatne są metody geodezyjne i inklinometryczne pozwalające określić przemieszczenia i deformacje konstrukcji i podłoża oraz sondy statyczne wciskane (CPT), piezometry zamknięte i badania dylatometryczne. Monitoring geotechniczny i identyfikacje potencjalnych zagrożeń dla budowli hydrotechnicznych opisują w swojej pracy Nowak i Strzelecki [117].

Augustyńska i Dulińska zwracają uwagę na coraz większe zainteresowanie badaniami wpływu wstrząsów górniczych na obiekty inżynieryjne (szczególnie składowiska odpadów poflotacyjnych) posadowione na terenach aktywności górniczej [5]. Badania wstrząsów sejsmicznych w obrębie składowisk opisuje w swojej pracy Feng [41].

7. Rekultywacja i odgazowanie

Rekultywacja składowisk odpadów polega na odtworzeniu starych lub stworzeniu nowych walorów użytkowych terenu zajętego uprzednio pod deponowanie odpadów. Projekt rekultywacji stanowiący integralną część projektu składowiska powinien uwzględniać wszystkie fazy budowy, eksploatacji i zamknięcia składowiska. Obowiązek rekultywacji terenu składowiska spoczywa na inwestorze. Należy podkreślić, że rekultywacja składowiska to nie tylko realizacja zamierzonych zabiegów technicznych i biologicznych, które kończą się z chwilą opuszczenia przez wykonawcę obiektu, lecz również ciągła kontynuacja różnych działań przez okres nawet kilkunastu lat, aż do momentu uznania że teren może być trwale i bezpiecznie zagospodarowany zgodnie z kolejnym przeznaczeniem [154].

Przy projekcie rekultywacji można uwzględnić pewne fazy prac projektowych, które warunkują prawidłowe rozwiązanie problemu:

- ocenę stanu eksploatacji lub stanu poeksploatacyjnego terenu,
- ocenę wpływu składowiska na środowisko,
- projekt rekultywacji technicznej,
- projekt rekultywacji biologicznej.

Ocena wpływu składowanych odpadów na środowisko, a zwłaszcza skażeń, jakie mogą wystąpić w związku z ich składowaniem jest elementem niezbędnym dla określenia właściwych metod ich redukcji [54].

7.1.Rekultywacja techniczna

Rekultywacja techniczna musi jako punkt wyjścia przyjąć aktualny stan środowiska i rekultywowanego terenu. Kierunek rekultywacji musi być zgodny ze szczegółowym planem zagospodarowania przestrzennego. Zaproponowane techniczne przedsięwzięcia powinny zmierzać do ochrony takich elementów jak:

- ochrona wód gruntowych i gleby,
- ochrona powietrza,
- ochrona krajobrazu.

Ochronę wód gruntowych realizuje się przez:

- ograniczenie dopływu do składowanych odpadów wód pochodzących z opadów atmosferycznych, powodujących powstawanie szkodliwych odcieków,

- ograniczenie dopływu wód gruntowych do składowiska, w przypadku gdy odpady zalegają poniżej zwierciadła wody i są to odpady, z których mogą być wypłukiwane substancje toksyczne.

Ochrona powietrza zapewniana jest zasadniczo przez odgazowanie korpusu składowiska, zapewniające ujęcie gazu wysypiskowego, a także przez przykrycie warstwy odpadów warstwą izolacyjną uniemożliwiającą emisję odorów, bioaerozoli a także rozwiewanie frakcji lekkich odpadów.

Ochrona krajobrazu realizowana jest przez odpowiednie ukształtowanie czaszy składowiska, nawiązujące do wcześniejszej budowy terenu lub stworzenia nowej formy, wkomponowanej harmonijnie w krajobraz. Dodatkowym elementem podnoszącym walory krajobrazowe będzie zielen, stanowiąca element rekultywacji biologicznej.

Ostateczna powierzchnia wierzchołku składowiska powinna mieć wypukły kształt, ze spadkami na zewnątrz, co spowoduje przewagę spływu powierzchniowego nad infiltracją wód opadowych w głąb warstwy odpadów.

Odpady deponowane w ostatniej warstwie powinny być wystarczająco zagęszczone, a powierzchnia ich wyrównana.

7.2.Rekultywacja biologiczna

Rekultywacja biologiczna terenu składowiska polega na odtworzeniu lub ukształtowaniu nowych biologicznych wartości użytkowych gruntu. Rekultywacja biologiczna rozpoczyna się z chwilą ukształtowania skarp oraz czaszy składowiska i trwać powinna do czasu przejęcia terenu przez przyszłego użytkownika.

W zależności od warunków lokalnych oraz stanu zagospodarowania terenu w pobliżu składowiska możliwe jest ustalenie następujących kierunków rekultywacji [54,191]:

- kierunek rolny, z przeznaczeniem pod roślinność pastewną, ze szczególnym uwzględnieniem traw, preferowany dla składowisk o płaskiej czaszy, ewentualnie będący etapem użytkowania terenu przy docelowym leśnym i rekreacyjnym.
- kierunek leśny jest mało efektywny w pierwszym dziesięcioleciu rekultywacji, kiedy warunki gruntowe nie sprzyjają rozwojowi systemu korzeniowego drzew. Ten sposób zagospodarowania może być uznany za celowy po ukształtowaniu się gleby w wyniku wieloletniego użytkowania łąkowego. Składowiska nasypowe są mniej wilgotne i

szybciej ulegają przemianom biochemicznym stwarzając korzystniejsze warunki do rozwoju systemu korzeniowego drzew i krzewów.

- kierunek rekreacyjny stosowany jest dla składowisk położonych na obszarach zurbanizowanych lub położonych w pobliżu miast. Najbardziej przydatne do tego celu są składowiska wysokie o suchym i statecznym podłożu.
- kierunek budowlany stosowany przede wszystkim na terenach składowisk gdzie składowane były odpady budowlane. Budownictwo na tych terenach jest bardzo ograniczone do lekkich konstrukcji.

Wpływ składowanych odpadów na stan gleby i roślin warstwy rekultywacyjnej może trwać dość długo po zakończeniu prac rekultywacyjnych.

Zależy to zasadniczo od składu morfologicznego odpadów, stopnia rozkładu substancji organicznej, dopływu powietrza do zreaktywowanej gleby i górnej warstwy składowanych odpadów, grubości i właściwości fizycznych warstw przykrywających odpady.

W procesie rekultywacji biologicznej istnieje wiele zmiennych czynników niezależnych od technologii składowania i rekultywacji technicznej, a zależnych od pory roku i zmian pogodowych. Z tych powodów dobór roślin powinien być elastyczny. Największą tolerancję mają trawy, zwłaszcza mieszanki wielogatunkowe. Wielogatunkowy skład traw gwarantuje, że nawet przy dużej zmienności podłoża na terenie składowiska, wystąpi zgodność wymagań gatunkowych.

Jak już wspomniano wyżej częścią procesu rekultywacji zapewniającą ponadto ochronę atmosfery wokół składowiska jest ujmowanie biogazu (odgazowywanie składowiska).

Powodem odgazowywania rekultywowanych składowisk oprócz korzyści ekologicznych związanych z ochroną atmosfery jest [94]:

- wyeliminowanie zagrożenia wybuchem metanu,
- przerwanie ekranów utrudniających przepływ, odprowadzanie ciepła z wnętrza korpusu składowiska oraz ukierunkowanie przepływu gazów,
- wyeliminowanie możliwości blokowania dostępu powietrza do korzeni roślin rekultywacyjnych,
- ograniczenie uciążliwości zapachowej.

Zgodnie z przepisami międzynarodowymi oraz zapisami prawa polskiego składowisko odpadów na którym przewiduje się oraz deponuje odpady ulegające biodegradacji wyposaża się w instalację do odprowadzania gazu składowiskowego [103].

W celu weryfikacji tezy o konieczności wykonania odgazowania wysypiska należy przeprowadzić skróconą analizę składu gazu wysypiskowego, który powinien być pobrany z otworów wykonanych w centralnej części składowiska i poddany analizie zawartość metanu i dwutlenku węgla [94].

Ujęcia biogazu wykonuje się w trakcie lub po zakończeniu eksploatacji składowiska. Stosuje się odgazowywanie aktywne (odpompowywanie gazu) i bierne (wypływ gazu pod własnym ciśnieniem). Po zakończeniu eksploatacji składowiska ujęcia biogazu wykonywane są zwykle metodą wierceń jako studnie pionowe. Odległość między pionowymi studniami odgazującymi zależna jest od charakterystyki technologicznej samego składowiska (głębokość, stopień komprymacji, wilgotność odpadów itp.) i w praktyce wynosi od 30 do 60 m. Ujęty biogaz odprowadzany jest do atmosfery za pośrednictwem biofiltrów.

7.3.Zamknięcie składowiska

Przepisy prawa polskiego dotyczące problemów związanych z lokalizacją, budową, eksploatacją, zamknięciem i monitoringiem składowisk oparte zostały we znacznej mierze na Dyrektywie Rady 1999/31/WE 99/31/z 26 kwietnia 1999 roku w sprawie składowisk odpadów [29].

Zasady zamykania składowisk regulują w pierwszym rzędzie przepisy ustawy o odpadach [34], uzupełnione postanowieniami Rozporządzenia 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. nr 61 poz. 549) z uwzględnieniem zapisów z dnia 26 lutego 2009 r. Zastosowanie w tym zakresie mają również niektóre przepisy ustawy z dnia 21 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. nr 25, poz. 150 z póź. zm.)[32], związane z zabezpieczeniem środowiska od skutków negatywnego oddziaływania składowiska i roszczeniami z tego tytułu [50] . Zgoda na zamknięcie składowiska jest wydawana na podstawie wniosku złożonego przez zarządzającego składowiskiem, przy spełnieniu wymagań określonych w art. 54 ust. 3 ustawy o odpadach. Zgoda na zamknięcie składowiska jest wydawana przez odpowiedni organ administracji państwowej (marszałka województwa albo starostę) po przeprowadzeniu kontroli składowiska odpadów przez wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska, z wyjątkiem sytuacji, gdy potrzeba jego zamknięcia wynika z zarządzenia pokontrolnego wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska.

Wymagania dotyczące zamknięcia składowiska ze strony właściciela sprowadzają się do przedstawienia technicznych szczegółów zamknięcia składowiska odpadów lub jego części,

daty zaprzestania przyjmowania odpadów do deponowania oraz harmonogramu działań związanych z rekultywacją obiektu. Ustawa z 22 stycznia 2010 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw dokonuje nowelizacji przepisów o składowaniu odpadów, obejmującej zmiany dotyczące zamknięcia składowiska odpadów m.in.

wprowadza możliwość zamknięcia składowiska odpadów z urzędu[188]. Zgodnie z tą ustawą zamknięcie składowiska może mieć miejsce w przypadku gdy składowisko odpadów lub jego wydzielona część nie spełniają wymogów technicznych lub formalnych określonych przepisami prawa lub w wyniku przeprowadzonej kontroli wojewódzki inspektor ochrony środowiska stwierdzi, że na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, na którym są składowane odpady komunalne, co najmniej od roku nie są przyjmowane odpady, lub określona w decyzjach administracyjnych pojemność składowiska odpadów została zapelniona, a zarządzający składowiskiem nie wystąpił z wnioskiem o zgodę na zamknięcie składowiska odpadów [76].

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w procesie zamknięcia składowiska odpadów lub jego części wykonuje się prace rekultywacyjne w sposób zabezpieczający składowisko odpadów przed jego szkodliwym oddziaływaniem na wody powierzchniowe i podziemne oraz powietrze, integrujący obszar składowiska odpadów z otaczającym środowiskiem oraz umożliwiający obserwację wpływu składowiska odpadów na środowisko (monitoring poeksploatacyjny).

W praktyce oznacza to zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń powierzchni składowiska poczynając od warstwy ekranującej złożonej z warstwy mineralnej o wartości współczynnika filtracji k nie większej niż 1×10^{-9} m/s oraz izolacji syntetycznej. Miąższość warstwy ekranującej powinna wynosić co najmniej 0,5 m;

Wierzchnią warstwę stanowi warstwa drenażowa, żwirowo-piaszczysta o wartości współczynnika filtracji k większej niż 1×10^{-4} m/s, z systemem drenów, o miąższości nie mniejszej niż 0,5 m i wierzchnia warstwa ziemna o miąższości nie mniejszej niż 1,0 m, z żyzną warstwą gleby pozwalającą na vegetację roślin rekultywacyjnych [54].

Zastosowanie warstwy przykrywającej o odpowiednim współczynniku infiltracji, właściwe ukształtowanie czaszy i korony składowiska oraz rozwój systemu korzeniowego roślinności rekultywacji biologicznej powinno spowodować z upływem czasu ograniczenie infiltracji wód opadowych w głąb składowiska oraz zanik wód odciekowych.

W praktyce ujęcie czystych wód opadowych najkorzystniej jest realizować przez zastosowanie drenażu okólnego z odprowadzaniem do lokalnego odbiornika, a w szczególnych wypadkach (brak odbiornika, zanieczyszczenie wód opadowych) konieczne jest wykonanie drenażu z systemem studni zbiorczych [75].

Szczegółowy projekt rekultywacji jest proponowany przez zarządzającego składowiskiem we wniosku o zgodę na zamknięcie składowiska i zatwierdzony przez właściwy organ.

Rozporządzeniami Ministra Środowiska z 2009 roku poddaje również czas, po jakim można wchodzić na teren składowiska z inwestycjami budowlanymi, oraz warunki, pod jakimi okres ten może zostać skrócony. Zasadniczymi uwarunkowaniami są tutaj warunki geotechniczne (stateczności warstwy odpadów) oraz warunki sanitarne (składowisko jako reaktor biologiczny) [145].

Składowisko odpadów jako obiekt potencjalnie zagrażający czystości środowiska naturalnego w najbliższym otoczeniu jego powinno podlegać systemowi lokalnego monitoringu. Monitorowaniem powinny być objęte przede wszystkim wody gruntowe i powierzchniowe w okolicy składowiska. Badania muszą być przeprowadzane przez cały okres eksploatacji składowiska i przez okres 30 lat po jego zamknięciu [140]

Oprócz tych elementów przepisy prawa przewidują wymóg stosowania instalacji do ujmowania biogazu z każdego składowiska, na którym deponowane były odpady biologicznie rozkładalne. Gaz ten może być wykorzystany np. w produkcji energii lub gdy jest to nieopłacalne lub ilość gazu jest niewielka należy go unieszkodliwić np. spalając w pochodni albo stosować inny sposób odgazowywania składowiska bezpieczny dla otoczenia [102].

Kavazanjian [70] podkreśla korzystny aspekt zrównoważonej przebudowy byłych, opuszczonych składowisk odpadów ze względów ekologicznych, ekonomicznych i społecznych. W procesach przekształcenia termicznego biomasy i odpadów komunalnych Szczepaniak [164], wskazuje na frakcjonowanie metali zawartych w składzie chemicznym, a szczególnie na uwagę zasługują metale ciężkie, które stanowią główne źródło zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Korzyści dla środowiska mogą obejmować izolację odpadów od środowiska, ograniczanie skutków ekologicznych, wpływu na wody gruntowe, oraz rekultywację gleby. Korzyści ekonomiczne mogą obejmować eliminację kosztów wynikających z opieki długoterminowej nad byłym składowiskiem odpadów i pośrednie korzyści ekonomiczne dla danej społeczności. Korzyści społeczne to optymalna lokalizacja obiektów, które dostarczają pożądanych usług lub udogodnień dla społeczności, tworzenia miejsc pracy, pośrednie korzyści ekonomiczne i podniesione wartości estetyczne.

8. Geotechniczne i hydrologiczne kryteria lokalizacji składowisk odpadów

Zagadnienie lokalizacji składowisk odpadów komunalnych w Polsce, po negatywnych doświadczeniach ostatnich lat, nabiera obecnie coraz większego znaczenia [179]. Wynika to przede wszystkim z potrzeby respektowania Dyrektywy 99/31/WE w sprawie składowania odpadów, która do prawa polskiego została wdrożona przez Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. [145] Cele jakie wynikają bezpośrednio z Dyrektywy są następujące:

- ochrona zdrowia lokalnej społeczności, zagrożonej bliskością składowisk odpadów,
- zminimalizowanie ujemnego wpływu składowisk na otaczające środowisko,
- bezpieczne składowanie odpadów.

Zasadniczym problemem związanym z właściwą lokalizacją składowiska odpadów jest przeznaczenie pod ten obiekt terenów o naturalnie trudno przepuszczalnym podłożu. Ten wymóg (obligatoryjny w przypadku wyboru lokalizacji składowisk odpadów niebezpiecznych) wynika z dwóch przesłanek, a mianowicie z możliwości uniknięcia konieczności dodatkowego uszczelnienia podłoża oraz z założenia, że uszczelnienie podłoża materiałami sztucznymi nie daje gwarancji absolutnej szczelności na zawsze i w przypadku uszkodzenia membrany materiał naturalny stanowi barierę na drodze rozprzestrzeniania się odcieków [44]. W przypadku składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne miąższość naturalnej bariery powinna być nie mniejsza niż 1 m , a współczynnik filtracji $1,0 \times 10^{-9}$ [27].

Dotychczasowa praktyka wskazuje, że część składowisk odpadów komunalnych lokalizowana była w sposób przypadkowy (np. w zapadliskach, dołach wyrobiskach poeksploatacyjnych). Obiekty te bardzo często pozbawione należytych zabezpieczeń, powodowały nieodwracalne szkody dla środowiska [179].

Projektowanie i zarządzanie terenami składowania odpadów musi być dostosowane do warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Dla wybranych nowych terenów, wybranych zgodnie z przepisami państwowymi w zakresie składowisk odpadów bardzo istotne są szczegółowe badania geologiczne, hydrogeologiczne i geotechniczne [108].

Na zakres i rodzaj badań terenowych wpływ mają następujące czynniki [56, 163]:

- topografia i budowa obszaru,
- rodzaj i właściwości odpadów,
- warunki geologiczne i hydrogeologiczne,
- wymagania projektowe,
- ogólny plan bezpieczeństwa.

8.1. Budowa geologiczna

W celu określenia i oceny właściwości gruntów jako podłoża składowania odpadów ważne jest rozpoznanie lokalnych ogólnych warunków geologicznych terenu, do których zalicza się:

- morfologię gruntu,
- budowę, zasięg wiek geologiczny wychodni warstw,
- tektonikę,
- głębsze podłoże w przypadku występowania kawern lub skał rozpuszczalnych,
- warstwy wodonośne i przepływ wody gruntowej,
- zagrożenie trzęsieniem ziemi i innymi naturalnymi niebezpieczeństwami.

W celu oceny podłoża pod składowisko odpadów należy rozpoznać:

- skład, fizyczne i chemiczne właściwości oraz układ warstw,
- ciągłość poziomą i pionową warstw oraz ich rozkład,
- porowatość,
- przepuszczalność (wody i odcieków),
- odporność na erozję i wypłukiwanie drobnych cząstek,
- charakterystyki naprężeniowo – odkształceniowe,
- budowę i układ głębszych skał litych [44,94].

Dla przykładu analiza budowy geologicznej województwa wielkopolskiego pod kątem wyboru obszarów preferowanych do lokalizacji składowisk odpadów pozwoliła na wyróżnienie 4 typów obszarów. Podstawą ich wydzielenia były litologia i miąższość warstwy izolacyjnej, warunkujące lokalizację różnych typów odpadów. Najbardziej korzystne do lokalizacji składowisk odpadów K i N (typ I i II) występują w części środkowej i południowo-wschodniej województwa [55].

Drągowski [27] twierdzi, że szczególną uwagę należy zwrócić na procesy geodynamiczne zachodzące w strefie składowiska. Szczególnie istotne są ruchy masowe (osuwiska, obrywy spęływania), zjawiska krasowe, deformacje powierzchni terenu związane z eksploatacją górnictw, deformacje filtracyjne podłoża i jego wypieranie. Nieprzestrzeganie rozwijających się czynnych procesów geodynamicznych może stanowić przyczynę zaburzeń pracy składowiska a nawet wystąpienia poważnych awarii.

Izdebska-Mucha i Korzeniowska-Rejmer [62] stwierdziły niekorzystny wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na właściwości fizyczne gruntów stosowanych do budowy mineralnych materiałów uszczelniających co może w konsekwencji zmniejszyć lub nawet wykluczyć ich przydatność jako nieprzepuszczalnej bariery ochronnej.

Badania terenowe i geotechniczne powinny być poprzedzone szczegółowymi pracami kameralnymi pozwalającymi opracować program badań terenowych i laboratoryjnych.

Prace kameralne polegają na zebraniu dostępnych danych z archiwów, map geologicznych i topograficznych, danych meteorologicznych, fotografii naziemnych i lotniczych. Ponadto powinno być przeanalizowane ukształtowanie terenu i poprzednie jego wykorzystanie, dane dotyczące zaopatrzenia i rozprowadzenia wody oraz wyniki wierceń [94].

Najprostszymi i jednocześnie najczęstszymi metodami prac terenowych są otwory wiertnicze i odkrywki oraz w specjalnych przypadkach szybiki i tunele badawcze. Oprócz tego stosuje się niekiedy w specjalnych warunkach sondowania statyczne, otwory penetracyjne, badania mikrosejsmiczne do określenia miąższości warstw i granic pomiędzy litą skałą a warstwami powierzchniowymi.

Badania terenowe dostarczają bezpośrednich danych o podłożu składowiska. Techniki geofizyczne mogą być pomocne jako pośrednie metody badawcze, zwłaszcza dla dużych obszarów.

Najpowszechniej stosowanymi metodami geofizycznymi są:

- metoda oporności elektrycznej,
- metody indukcji elektromagnetycznej,
- elektromagnetyzm odbiciowy (REM),
- sejsmologia refrakcyjna,
- otworowe badania geofizyczne.

Badania laboratoryjne próbek z otworów wiertniczych lub próbnych wykopów i odkrywek pozwalają na klasyfikacje gruntów i skał, określenie przepuszczalności i charakterystykę odkształceń, możliwości pęcznienia i wodochłonności.

Oprócz tego wykonuje się również badania geochemiczne dla określenia zawartości zanieczyszczeń wody w poszczególnych poziomach oraz warstwach gruntu [94].

Łuczak -Wilamowska [92] w odniesieniu do wymagań ustawowych dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne składowiska odpadów, przedstawiła tok postępowania istotny dla wstępnego określenia przydatności różnych surowców ilastych do formowania mineralnych barier izolacyjnych. W artykule omówiono zakres prac studialnych, badań i obserwacji terenowych z poborem próbek do badań laboratoryjnych, badań laboratoryjnych cech identyfikacyjnych istotnych do formowania barier mineralnych oraz prac kameralnych prowadzących do uporządkowania wyników badań terenowych i laboratoryjnych, a także wstępnej oceny przydatności gruntów i tworzenia karty informacyjnej.

8.2. Warunki hydrogeologiczne

Teren pod składowiskiem musi być zabezpieczony przed niedopuszczalnym oddziaływaniem na wody podziemne, wody powierzchniowe i szczególnie na ujęcia wody. W związku z tym wymagane jest obszerne rozpoznanie warunków przepływu wód i takich czynników jak [44]:

- warunki przepływu wody gruntowej, jego kierunki, spadki hydrauliczne i prędkość przepływu z uwzględnieniem długotrwałych i sezonowych wahań,
- przepuszczalność (pozioma i pionowa) lub przewodność warstw w porównaniu z wartościami maksymalnymi i minimalnymi,
- rozmieszczenie, miąższość i głębokość warstw wodonośnych, słabo przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych z rozmieszczeniem wszystkich źródeł,
- poziomy wody gruntowej określające spadki hydrauliczne i efektywną prędkość przepływu w poszczególnych warstwach,
- chemizm wody gruntowej,
- strefy ochronne wody gruntowej,
- ujęcia wody gruntowej i ich wpływ,
- stan prawny ujęć, opady, spływ powierzchniowy, prędkość wsiąkania, parowanie,
- wpływ krótko lub długotrwałego obniżenia zwierciadła wody, odnawialność i pobór lub zasilanie wody gruntowej w przyszłości,
- wpływ pobliskich wód powierzchniowych i powiązanie z wodami gruntowymi,
- położenie w stosunku do odbiorników, wpływ powodzi i pływów, zasilanie wód gruntowych.

9. Wpływ składowiska odpadów komunalnych na środowisko

Nowoczesne składowiska odpadów muszą spełniać wymogi ochrony środowiska w zakresie ochrony gleb, wód gruntowych i powierzchniowych. Powinny także spełniać warunki przeciwdziałania uwalnianiu się odorów oraz niekontrolowanej emisji gazu składowiskowego. Zasięg uciążliwości składowiska odpadów komunalnych zależy w głównej mierze od warunków fizjograficznych terenu, techniki i technologii budowy oraz sposobu jego eksploatacji [53].

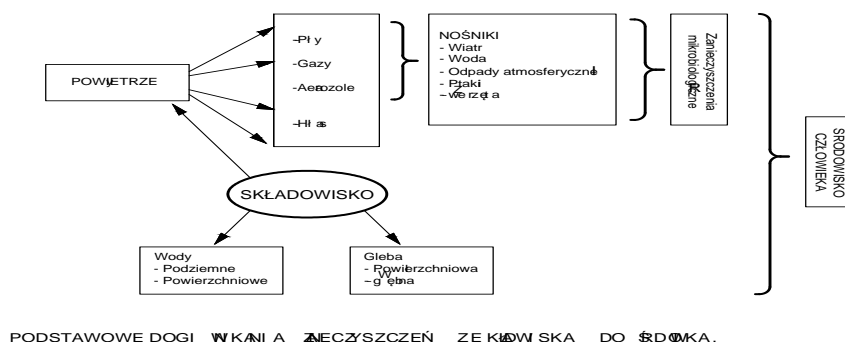
W związku z tym składowiska muszą być obiektami technicznymi, dla których zaprojektowano i wykonano odpowiednie zabezpieczenia gwarantujące minimalizację niekorzystnego wpływu na środowisko takie jak właściwy drenaż wód powierzchniowych oraz uszczelnienie dna i boków składowiska.

Zaniedbania w tym zakresie mogą skutkować negatywnym oddziaływaniem składowiska na środowisko przyrodnicze nawet po wielu latach po jego zamknięciu i rekultywacji [81,195].

Obowiązującym w Polsce środkiem prawnym gwarantującym właściwą decyzję dotyczącą eksploatacji składowisk jak również maksymalną ochronę środowiska przed negatywnymi skutkami oddziaływania składowisk są Przeglądy Ekologiczne(PE) [101].

Tak więc zasadniczym celem przeglądu ekologicznego składowisk odpadów jest określenie oddziaływania tego obiektu (instalacji) na środowisko i ocena czy poprzez to oddziaływanie nie zostanie spowodowane zagrożenie dla poszczególnych elementów środowiska oraz zdrowia ludzi.

Na Rys. 17 pokazano podstawowe drogi wnikania zanieczyszczeń ze składowiska do poszczególnych komponentów środowiska[115]



Rys.17. Podstawowe drogi wnikania zanieczyszczeń ze składowiska do poszczególnych komponentów środowiska [115]

9.1. Zanieczyszczenia wody

Stosunkowo najlepiej rozpoznane jest oddziaływanie składowisk na środowisko wodne. Badania hydrogeologiczne terenu wykonywane przed rozpoczęciem inwestycji, oceniające zarówno warunki gruntowe, poziom wód podziemnych i kierunek spływu jak i ich czystość pozwalają na wybór odpowiedniej metody uszczelnienia czaszy składowiska i zabezpieczenie poziomów wodonośnych przed skażeniem. Wykonywane podczas eksploatacji składowiska badania wód z otworów piezometrycznych, pozwalają na ocenę szczelności podłoża składowiska. Badanie takie wykonywane są rutynowo i często - 4 razy w roku.

Zanieczyszczenia wody dotyczą przede wszystkim wód gruntowych oraz powierzchniowych leżących w obrębie oddziaływania składowiska narażonych na związki toksyczne zawarte w odciekach ze składowisk [101].

Oleszkiewicz [122] podaje przykłady parametrów wody gruntowej w analizie wpływu składowiska odpadów komunalnych na środowisko.

Zwraca on uwagę na pospolite zanieczyszczenia wód gruntowych wokół składowiska przez związki organiczne takie jak TCE (trójchloroetylen), TCA (kwas trójchlorooctowy) i CW (chlorek winylu). Sibelska i Sidelko [153] wśród substancji obecnych w odciekach wysypiskowych stwierdziły obecność węglowodorów aromatycznych. Związki aromatyczne należą do grupy substancji hydrofobowych, są słabo rozpuszczalne w wodzie ale ich rozpuszczalność znacząco rośnie w odcieku wysypiskowym, ze względu na obecność różnych związków organicznych działających jak rozpuszczalniki. Zjawisko to wpływa na większą mobilność tych związków w środowisku wodno-gruntowym i stwarza potencjalne zagrożenie przenikania związków aromatycznych do wód gruntowych.

Celem pracy Szymańskiej – Pulikowskiej [172] było określenie zmian właściwości wód podziemnych i odcieków składowiskowych w trakcie eksploatacji i po zamknięciu składowiska. Do wykonania zadania przyjęto modelowanie zależności pomiędzy właściwościami wód podziemnych oraz odcieków za pomocą ogólnych modeli regresji wielorakiej oraz zależności pomiędzy wskaźnikami zanieczyszczeń i prognozowanie zmian jakości wody.

W pracy Motyki i in. [112] przedstawiono analizę wpływu składowiska odpadów w Ujkowie na jakość wód piętra triasowego i jego otoczeniu. Brak izolacji dna odkrywki „Ujków” sprawia, że odcieki ze składowanych odpadów komunalnych mają możliwość przenikania do podłoża zbudowanego ze spękanych i skrasowiałych wapieni i dolomitów triasowych i przemieszczania się w strumieniu wód podziemnych. Badania monitoringowe składu chemicznego próbek wody z 4 piezometrów położonych w rejonie składowiska wskazują na

znaczące zanieczyszczenie wód piętra triasowego. Związane jest ono ze wzrostem mineralizacji tych wód oraz zwiększeniem się stężeń wskaźników charakterystycznych dla odcieków ze składowisk odpadów komunalnych: chlorków, siarczanów, sodu, potasu i boru.

Na toksyczność odcieków w stosunku do organizmów wodnych zwrócił uwagę Alkassasbeh [3]. Badając toksyczność związków organicznych i nieorganicznych dla narybku karpia (*Cyprinus carpio* L.) stwierdził, że w odciekach komunalnych występuje ponad 200 związków organicznych z czego ponad 35 może stwarzać zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi. Dalsze badania z zastosowaniem innych gatunków ryb mogą być bardzo przydatne przy ocenie możliwego zagrożenia ze strony odcieków dla środowiska.

Baun A. i wsp. [8] określili w testach toksyczności oraz poprzez analizę chemiczną skład ksenobiotyków w wodach podziemnych znajdujących się w strefie oddziaływania składowisk odpadów w Danii. Niininen i in. [116] stwierdzili występowanie mutagennych związków organicznych w wodach podziemnych strefy oddziaływania składowisk odpadów w Finlandii. Ich toksyczność potwierdziły testy przeprowadzone na rozwielitkach. Svensson i in. [163] opisali badania toksyczności ostrej odcieków ze składowisk komunalnych w stosunku do larw solowca (*Artemia salina*). Ocenę toksyczności niektórych związków pochodzących z odcieków ze składowisk odpadów podjął w swojej pracy Isidori [61]. Daniszewski i Draszawka-Bołzan [21,22] w latach 2005-2007 badali wpływ składowiska odpadów na środowisko naturalne uzdrowiska Międzyzdroje i nie stwierdzili zagrożenia chemicznego wód powierzchniowych i podziemnych, a podwyższone wartości przewodnictwa właściwego oraz ogólnego węgla organicznego wynikają z naturalnego składu fizykochemicznego wody gruntowej w tym rejonie. Grygorczuk-Patersons i Wiater [56] wykazały natomiast negatywny wpływ uszczelnionej geomembraną składowiska odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych w pobliżu składowiska. Według autorek tej pracy przyczyną uwolnień zanieczyszczeń do wód podziemnych może być nieszczelność geomembrany, wynikająca z niedokładności wykonanych połączeń lub jej uszkodzenia w trakcie eksploatacji, brak rowów opaskowych oraz niesystematyczny wywóz odcieków, co powoduje wypływanie odcieków ze zbiornika przez górną pokrywą na tereny w otoczeniu składowiska. Koszelnik i Filipek [80] przedstawili analizę wpływu nieczynnego składowiska odpadów w Jarosławiu na jakość wód pobliskiej rzeki San. Zidentyfikowano wyższe stężenia azotu amonowego oraz wartości $ChZT_{Mn}$, BZT5 i przewodności w wodach rzeki poniżej składowiska, co może sugerować dopływ odcieków. Nie stwierdzono jednak istotnego pogorszenia się jakości wód rzeki.

Plotkin S. i Ram N. M.[128] badali toksyczność odcieków ze składowisk komunalnych dla 4 grup zwierząt wodnych: ryb *Pimephales promelas*, zooplanktonu *Daphnia magna*, glonów *Selenastrum capricornutum* i tlenowych bakterii luminescencyjnych *Photobacterium*

phosphoreum . Ocieki były wysoce toksyczne dla bakterii, umiarkowanie toksycznie dla dafnii, lekko toksyczne dla ryb. Znaczne różnice między wynikami badań toksyczności z zastosowaniem czterech organizmów testowych, wskazuje jak istotne jest prowadzenia kilku takich testów toksyczności przy użyciu organizmów z różnych poziomów troficznych dla oceny potencjalnego wpływu zanieczyszczeń w odniesieniu do całego ekosystemu wodnego. Kryza [85] opisała oddziaływanie wysypiska odpadów komunalnych w Szymiszowie na wody podziemne głównego zbiornika wód podziemnych nr 333 Opole-Zawadzkie. W wyniku przeprowadzonych 2,5 letnich badań stwierdzono silne zanieczyszczenie wód odciekami bezpośrednio pod składowiskiem. Mineralizacja wody osiągała wartości 2700 mg/l, a stężenia m.in. chlorków, siarczanów, azotanów, magnezu i metali ciężkich znacznie przekraczały obowiązujące normy dla wód pitnych. Chlorki przekraczały również normy dla ścieków. Wraz ze wzrostem odległości od składowiska maleje jego negatywne oddziaływanie, by w odległości 1000 m zaniknąć. Za wysokie stężenia azotanów odpowiedzialne jest zwłaszcza rolnictwo, głównie przez intensywne stosowanie sztucznych nawozów azotowych. Zmiany składu chemicznego odcieków i środowiska wodnego w czasie składowania odpadów szczególnie przemysłowych stwierdziła Kłojzy-Karczmarczyk [74]. Stąd konieczność prowadzenia szczegółowego monitoringu składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Szymański [173] zwraca uwagę na konieczność zastosowania piezometrów jako elementu monitoringu skażenia i migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych w obrębie ujęć wody pitnej. Za najbardziej uciążliwy rodzaj zanieczyszczeń zawartych w odciekach mogących migrować do wód podziemnych uznał on metale ciężkie. Ze względu na swój toksyczny charakter zakłócają naturalną równowagę biologiczną środowiska wodnego i hamują procesy samooczyszczania się wód. Metale te wykazują zdolność do bioakumulacji w organizmach żywych, wywołując w nich niekiedy poważne zmiany patologiczne. Jednocześnie w odciekach mogą pojawić się związki organiczne związane z procesami biodegradacji składowanych odpadów. Należą do nich między innymi alkohole, aldehydy, kwasy karboksylowe i związki aromatyczne [173]. Substancje te zanim ulegną całkowitej mineralizacji mogą infiltrować do wód podziemnych. Adamek [2] określa następujące czynniki, które wpływają na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w obrębie strefy skażonych wód podziemnych:

- długość czasu emisji zanieczyszczeń do środowiska glebowego,
- prędkość przepływu wód podziemnych,
- spadek hydrauliczny wód,
- współczynnik filtracji utworów wodonośnych,

- ilość zanieczyszczeń,
- stężenia i właściwości substancji zanieczyszczających,
- zawartości tlenu,
- zdolności sorpcyjnych ośrodka gruntowego.

Na odległość do 100 m od składowiska mogą przenikać zawiesiny oraz zanieczyszczenia bakteriologiczne. Zasięg przenikania bakterii uzależniony jest od okresu ich przeżywalności w warstwie wodonośnej i od drogi przepływu wody podziemnej w tym czasie. Na większe odległości przemieszczają się natomiast zanieczyszczenia chemiczne w postaci jonowej, a ich obecność stwierdza się nawet w odległości kilku kilometrów od składowisk. [2]

9.2.Zanieczyszczenia gleby i roślin

Oddziaływanie składowiska na gleby oraz roślinność wiąże się z wpływem zanieczyszczeń gazowych, pyłowych i mikrobiologicznych na wszystkie składniki środowiska glebowego, a także na zakłóceniu procesu asymilacji roślin. Zasadniczą rolę w przenoszeniu zanieczyszczeń pyłowych i gazowych ma forma składowiska, sposób eksploatacji, a także funkcjonalność izolacji składowiska pasem zieleni. Dużą rolę odgrywa także codzienne przykrywanie odpadów warstwą izolacyjną ograniczającą ich kontakt z powietrzem [53]. Szymański [173] uwzględnia również oddziaływanie toksyczne związków chemicznych (szczególnie metali ciężkich) zawartych w odciekach na środowisko glebowe, zwłaszcza na podłożach przepuszczalnych. W glebach zwięzłych o dobrze rozwiniętym kompleksie sorpcyjnym następuje wiązanie metali ciężkich (przede wszystkim ołowiu) i ograniczenie ich migracji do wód podziemnych.

Dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń gruntów substancjami chemicznymi ilustruje Tabela 4 [173].

Tabela 4. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń gruntu [173]

DOPUSZCZALNE STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ GRUNTÓW ŚCIEKAMI CHEMICZNYMI													
L.p.	Związek	Obszar A	Obszar B				Obszar C						
			głębokość [p]										
			0±0,3	0,3±15		>15		0±2	2±15		>15		
			wodoprzepuszczalność gruntów [ra]										
				do	poniżej	do	poniżej		do	poniżej			
			10										
dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń [mg / dm ³]													
1.	Benzen	0,05	0,10	0,20	25	3	50	100	3	150	*		
2.	Ksylen	0,05	0,10	1,00	35	5	75	100	5	150	*		
3.	Fenol	0,05	0,10	0,50	20	3	40	50	3	100	*		
4.	Naftalen	0,10	0,10	5	20	10	40	50	10	40	*		
5.	Olej	30	50	200	1000	1000	5000	3000	1000	5000	*		
6.	Benzyna	20	20	50	100	200	800	500	200	800	*		
7.	Węglowodory aromat. suma	0,10	0,10	1,00	150	10	250	300	20	270	*		

Wiater [177] na podstawie badań przeprowadzonych na dwóch składowiskach odpadów (Suwałki i Czerwony Bór) różniących się składem deponowanych odpadów nie stwierdziła wyraźnego wpływu składowisk na wzrost zawartości metali ciężkich w pobliskich glebach (nieznaczny wzrost ilości cynku i miedzi), a na przemieszczanie metali w głąb gleby zależała przede wszystkim od odczynu i składu granulometrycznego gleb. Bielińska i Mocek-Płociniak [13] badały wpływ niekontrolowanych wysypisk wokół Lublina na właściwości chemiczne i biochemiczne gleb (aktywność enzymatyczną) i stwierdziły brak negatywnych oddziaływań na grunty rolne wokół wysypisk przy zwiększonej aktywności enzymatycznej na składowiskach młodych (do 5 lat).

Frączek [43] na podstawie wyników badań środowiska glebowego wokół składowiska Barycz w Krakowie wskazuje na konieczność stałego monitorowania składowisk odpadów komunalnych pod kątem mikrobiologicznych wskaźników sanitarnych (dobry stan sanitarny gleby stwierdzono dopiero w miejscu odległym więcej niż 1000 m na północ od składowiska).

Na podstawie badań mikroflory gleb wokół składowiska odpadów komunalnych w Łęczycy k. Stargardu Szczecińskiego Przybulewska i in. [132] stwierdzili, że mikroorganizmy (głównie bakterie, mniej liczne promieniowce i grzyby) występują najliczniej w najbliższym sąsiedztwie składowiska odpadów, zwłaszcza w powierzchniowej warstwie gleby.

Największe zawartości biomasy żywych drobnoustrojów stwierdzano w glebie tuż przy składowisku (20 m), najmniejsze natomiast – w odległości 400 m (koniec strefy ochronnej).

Białowiec [11,12] opisuje wpływ odcieków i odpadów ze składowisk na wierzbę i hydrofity, a więc rośliny pochodzące z naturalnych ekosystemów podmokłych jak np. trzcina, tatarak i pałka szerokolistna. Zastosowanie hydrofitów wymienia jako jeden z elementów i sposobów unieszkodliwiania odcieków. Jest to metoda fitoremediacji, a więc wykorzystywania transpiracji roślin i zużywania substancji zawartych w odciekach. Z kolei wierzba stanowi przykład rośliny o dużej odporności na toksyczne związki znajdujące się w odciekach, co znalazło zastosowanie w systemach gruntowo-roślinnych do ich unieszkodliwiania [11].

Badania cytogenetycznego wpływu odcieków garbarskich na komórki somatyczne bobu (*Vicia faba*) opisali Chandra i in. [17].

Natomiast Obidoska i Jasińska [121] przedstawiły w swojej publikacji badania dotyczące fitotoksyczności i potencjalnym zmianom genetycznym roślinności pod wpływem oddziaływania odcieków z miejskiego składowiska Radiowo. Fitotoksyczność została oszacowana za pomocą testu elongacji korzeni cebuli (*Allium cepa*) natomiast genotoksyczność testami wzrostów stożków korzeni u cebuli i wyki zwyczajnej (*Vicia faba*). Zastosowane testy wykazały wysoką fitotoksyczność i potencjalną genotoksyczność odcieku. Zastosowano proces oczyszczania odcieku poprzez filtrację przez zeolit co pozwoliło znacząco obniżyć jego fitotoksyczność ale nie wpłynęło znacząco na potencjał genotoksyczności. Wykorzystanie testu mikrojądrowego do oceny genotoksyczności odcieków z dwóch składowisk odpadów komunalnych zlokalizowanych na terenie GOP przedstawiły Kalka i in. [67]. Test z wykorzystaniem komórek stożka wzrostu korzenia wyki zwyczajnej pozwala na obserwację zmiany indeksu mitotycznego oraz częstości występowania mikrojąder pod wpływem ekspozycji roślin na odcieki.

Olivero -Verbel [123] rozpatruje w swojej pracy zależność między niektórymi parametrami fizykochemicznymi odcieków z miejskich składowisk a ich toksycznością.

Poważny problem dla środowiska stanowią opisane przez Czarnomskiego i Izak [20] trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO). Zalicza się do nich takie związki jak polichlorowane dibenzo-p-dioksyny, dibenzofurany, heksachlorobenzen (HCB), polichlorowane bifenyle (PCB), wielocykliczne węglowodory aromatyczne (WWA). Związki te powstają np. w produkcji nawozów sztucznych, jako konserwanty do drewna i tkanin, plastyfikatory w produkcji farb i lakierów i innych wyrobach przemysłu chemicznego. Chociaż produkcja tych związków jest już obecnie bardzo ograniczona to ze względu na trwałość w środowisku i odporność na biodegradację, mogą stanowić zagrożenie dla gleb i roślin poprzez emisję gazów i pyłów na duże odległości oraz odpady i ścieki.

Wykorzystując wielkości parametrów hydrogeologicznych w badaniach geotechnicznych można wykazać jak przyjęte założenia dotyczące infiltracji wpływają na przestrzenny model

przepływu wód podziemnych w obrębie składowiska odpadów oraz w jaki sposób filtracja wód podziemnych wpływa na obiekt. Konieczność prowadzenia dalszych prac w zakresie symulacji komputerowej dla złożonych procesów geotechnicznych pozwoli zwiększyć bezpieczeństwo składowisk odpadów [117].

9.3.Zanieczyszczenie powietrza

Przy ocenie oddziaływania składowisk na środowisko uwzględnia się także wpływ na powietrze atmosferyczne i związane z tym pylenie składowisk, emisję gazu wysypiskowego, odorów i bioaerozoli [53].

W celach przeglądów ekologicznych jest również opis działań mających służyć zapobieganiu i ograniczeniu oddziaływania składowiska na powietrze i klimat, a więc odpowiedni system odgazowania oraz gospodarka biogazem, sposób eksploatacji oraz zastosowanie izolacyjnych pasów zieleni [101]. Stępnia [155] podkreśla rolę monitoringu składowisk odpadów w kontekście ochrony powietrza.

Zarówno skład gazu wysypiskowego, jak i rodzaj pyłów powstających w trakcie eksploatacji składowisk został w toku wielu badań dość dobrze określony.

Manczarski [104] jako główne zagrożenia dla zdrowia ludzi zwierząt i niekorzystnego oddziaływania biogazu na środowisko wymienia następujące czynniki:

- efekt cieplarniany wywołany przez emisję metanu (ok. 20-25 razy większy niż przy emisji dwutlenku węgla),
- możliwość eksplozji poprzez tworzenie z powietrzem mieszaniny wybuchowej,
- emisja biogazu pogarszająca jakość powietrza i mogąca spowodować trudności w oddychaniu lub nawet zagrożenie uduszenia się zwierząt i ludzi, zwłaszcza w obniżeniach terenu i innych miejscach gromadzenia się gazu,
- zagrożenie zdrowotne poprzez zawarte w biogazie substancje kancerogenne,
- uciążliwość składowisk przez emisję związków odorowych,
- niekorzystny wpływ na korzenie roślin (blokowanie dostępu tlenu) zwłaszcza przy rekultywacji składowisk,
- gaz wysypiskowy wywołuje niekorzystny wpływ na infiltrującą wodę (odcieki) zwiększając ich kwasowy odczyn.

Z tego względu konieczna jest aktywna kontrola migracji gazu i monitorowanie składu atmosfery wokół składowisk oraz system aktywnego lub pasywnego ujmowania gazu.

Zgodnie z zapisami dyrektywy 1999/31/WE [29], składowisko odpadów, na którym przewiduje się składowanie odpadów ulegających biodegradacji musi być wyposażone w instalacje do odprowadzania gazu składowiskowego. Gaz składowiskowy po oczyszczeniu powinien być wykorzystany do celów energetycznych, a jeśli jest to niemożliwe spala się w pochodni.

Z analizy przedstawionej przez Nowakowskiego [118] wynika, że optymalnym rozwiązaniem w aspekcie wykorzystania biogazu jest produkcja energii.

Problemem trudnym do pomiaru i oszacowania są odory, które ze względu na szereg związków powodujących nieprzyjemne zapachy takich jak stosunkowo łatwy do zmierzenia siarkowodór, ale także uciążliwe zapachowo i trudne do zmierzenia merkaptany i kwas masłowy [114].

Uciążliwość odorów potwierdziła w swoich badaniach Bojanowicz-Bablok przeprowadzając ankiety wśród mieszkańców miejscowości wokół składowiska odpadów we Włocławku [15].

Jeszcze trudniej określić zasięg odorów zależny od takich czynników jak pora roku, nasłonecznienie, wilgotność i temperatura oraz siła i kierunek wiatru. Najlepszym sposobem na ograniczenie nieprzyjemnych zapachów jest ich likwidacja na składowisku przez przesypkę dzienną, zagęszczanie lub zastosowanie filtrów, przez które przepuszczane są gazy ze zlokalizowanego źródła zapachów [122].

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza wokół składowisk odpadów komunalnych występują w postaci bioaerozoli. Składają się one z bardzo drobnych kropelek cieczy lub cząsteczki substancji stałych zawierające w stanie dyspersyjnym komórki mikroorganizmów [115]. Aerozol biologiczny może występować w postaci czterech faz w zależności od wielkości cząsteczek: od fazy gruboziarnistej – średnica cząsteczki $> 100 \mu\text{m}$ - $50 \mu\text{m}$ do fazy pyłu bakteryjnego (ultradrobiny) – średnica cząsteczek $< 50 \mu\text{m}$ - $0,2 \mu\text{m}$. Wszystkie fazy bioaerozolu spotykamy w powietrzu wokół wysypisk komunalnych, a wielkość cząsteczek decyduje o zasięgu emisji bioaerozolu. Na rozprzestrzenianie się mikroorganizmów w powietrzu mają wpływ takie zjawiska biometeorologiczne i biomikroklimatyczne jak temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne, promieniowanie (przede wszystkim słoneczne), opady atmosferyczne i zjawiska elektryczne [42].

Z punktu widzenia zdrowia człowieka największe niebezpieczeństwo stanowią te organizmy, dla których drogami zakażenia są drogi oddechowe ludzi. Na podstawie testów liczebności mikroorganizmów wskaźnikowych takich jak: bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, bakterie hemolizujące, drożdże i grzyby drożdżopodobne można oszacować potencjalne ryzyko wynikające z obecności w powietrzu bakterii chorobotwórczych, a jednocześnie wskazujące na źródło skażenia mikrobiologicznego [71].

Zgodnie z danymi uzyskanymi z badań mikrobiologicznych powietrza atmosferycznego wokół kilku wysypisk w Polsce stwierdzono następujące grupy mikroorganizmów: bakterie saprofityczne, sporowce, gronkowce hemolizujące, bakterie beztlenowe, promieniowce oraz różne gatunki grzybów. Wykryte w powietrzu grzyby w przeważającej liczbie należały do gatunków saprofitycznych, chociaż stwierdzono również florę patogenną [42].

Głównym sposobem rozprzestrzeniania się bioaerozoli są prądy konwekcyjne powietrza oraz wiatr przenoszący te zanieczyszczenia. Również istotny wpływ na rozprzestrzenianie się i zasięg tych zanieczyszczeń mają zabiegi techniczne prowadzone na składowiskach odpadów. W celu ograniczenia powstawania i rozprzestrzeniania się aerozoli konieczne jest racjonalne przestrzeganie założonej technologii przez pokrywanie dziennych działek eksploatacyjnych warstwą izolacyjną, ograniczenie deszczowania odpadów i ewentualnie stosowanie na powierzchni odpadów środków dyżenfekcyjnych [53,64].

Zasadniczą rolę w przenoszeniu zanieczyszczeń gazowych i pyłów ma forma, sposób eksploatacji i funkcjonalność strefy izolacyjnej. Zarówno codzienne przykrywanie składowiska warstwą mineralną jak i otoczenie składowiska pasem zieleni może w znacznym stopniu ograniczyć unoszenie pyłów i aerozoli poza teren składowiska [53]. Pył ze składowisk można także likwidować częstym polewaniem dróg niewielką ilością wody, obniżeniem szybkości pojazdów i zastosowaniem środków pochłaniających [122]. Rozwiewanie śmieci można w znacznym stopniu ograniczyć przez zastosowanie płotów siatkowych lub wiatrochronów oraz odpowiednie zagęszczenie odpadów.

10. Metody eliminacji zagrożeń związanych z eksploatacją składowiska

Z punktu widzenia społeczeństwa, jak też ochrony środowiska, składowiska odpadów komunalnych stanowią potencjalne zagrożenie dla zdrowia i elementów przyrody a także ze względów estetycznych i sanitarnych.

Wpływ na zmniejszenie tych zagrożeń jak i ich ewentualną eliminację mają następujące czynniki:

- sposób eksploatacji składowiska odpadów,
- aktywne metody monitoringu składowiska,
- kontrola ewentualnych emisji zanieczyszczeń,
- strefa ochronna oddzielająca składowisko od najbliższych osiedli.

W czasie eksploatacji składowisk możliwe jest zmniejszenie ich uciążliwości dla środowiska poprzez [138]:

- ograniczenie do minimum kontaktu aktualnie użytkowanej powierzchni roboczej składowiska z czynnikami atmosferycznymi (opady, wiatr, słońce) oraz ograniczenie żerowania ptaków, gryzoni i innych zwierząt,
- systematyczne zagęszczanie i przykrywanie warstwą izolacyjną kolejnych fragmentów warstwy odpadów (podsypka dzienna) przez co ogranicza się w znacznym stopniu zanieczyszczenie powietrza oraz rozwiewanie opadów,
- systematyczne pokrywanie ukształtowanych skarp i tarasów warstwą ziemi oraz wprowadzanie roślinności,
- ujmowanie i odprowadzanie nadmiaru wód opadowych i ewentualnych spływów powierzchniowych w przypadku nieprzepuszczalnego lub uszczelnionego podłoża.

Malina [100] przedstawia możliwość likwidacji lub ograniczenia zagrożenia dla środowiska gruntowo-wodnego na terenach zanieczyszczonych przez prowadzenie remediacji zrównoważonej. W dyrektywach UE (2006/118/WE, 2000/60/WE)[184], mówi się o zrównoważonym podejściu do remediacji zanieczyszczonego środowiska gruntowo-wodnego, a realizowane projekty badawcze w tym zakresie w ramach 7PR UE oraz sesje na konferencji CONSoil, 2010 w Salzburgu wskazują o pełnym zainteresowaniu przy zachowaniu tzw. „zasady proporcjonalności”, która określa celowość zastosowanych metod do osiągnięcia efektów w stosunku do poniesionych kosztów.

Ważną koncepcją ograniczenia oddziaływania składowiska na środowisko jest jego eksploatacja jako bioreaktora co jak stwierdzają niektórzy badacze niesie również korzyści w postaci ograniczenia emisji odorów, gazu wysypiskowego oraz odcieków [58,59].

Ponadto istotną kwestią jest zrównoważone zarządzanie składowiskiem-bioreaktorem w tym właściwe wykorzystanie recyrkulacji odcieków co jest opisane w pracach Jones-Lee i wsp. [64]. Read A., [133] przedstawia koncepcję sukcesywnego tlenowego składowania-prowadzącego w kierunku zrównoważonego podejścia do zarządzania odpadami. Zestawione razem, tlenowe procesy i odpowiednia eksploatacja mogą zapewnić bezpieczniejsze, ekonomiczne zrównoważone opcje zarządzania odpadami stałymi, jednocześnie powodując niższe obciążenia dla środowiska.

Innowacyjną metodę budowy bezemisyjnych składowisk odpadów opisuje w materiałach konferencyjnych Gościński [46].

Innym środkiem służącym ochronie środowiska są odpowiednie kierunki zagospodarowania powstających odpadów takie jak: kompostowanie, termiczne przekształcanie odpadów (spalanie, piroliza) oraz technologie kompleksowego i zintegrowanego przerobu odpadów komunalnych (np. przerób odpadów na paliwo stałe) [138,194]. Białowiec [10] wskazuje, że zarówno bioreaktory jak i tradycyjne składowiska po rozkopaniu i usunięciu odpadów mogą być źródłem surowców wtórnych jak materiały do kompostowania i materiały palne (tworzywa i tekstylia). Marcinkowski [106] omawia strategię odzysku i unieszkodliwienia komunalnych osadów ściekowych poprzez kondycjonowanie osadów wapnem w wyniku czego otrzymuje się kompozyty wapienno-osadowe o właściwościach nawozowych.

Szczególne znaczenie dla ochrony środowiska ma kompostowanie odpadów, które umożliwia wg Rosik-Dulewskiej[138]:

- ✓ eliminację zagrożeń sanitarnych związanych z usuwaniem odpadów,
- ✓ eliminację uciążliwych odorów wydzielanych przez rozkładającą się materię organiczną,
- ✓ znaczne zmniejszenie masy i objętości odpadów,
- ✓ ograniczenie powierzchni składowisk,
- ✓ poprawę struktury gleb, wzrost plonów, zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych i organicznych oraz zmniejszenie ich wymywania z gleb.

Na ważną rolę kompostowania jako kluczowego elementu zakładu gospodarki odpadami zwraca uwagę w swoich opracowaniach Gościński [45,47] podkreślając, że budowa kompostowni wiąże się zawsze z pozytywnym efektem proekologicznym.

Termiczne przekształcanie odpadów jest jedną z form ich unieszkodliwiania. Szczepaniak [164] w swoim opracowaniu koncentruje się na elementach fizykochemicznych, powiązanych głównie z frakcjonowaniem metali w procesach termicznego przetwarzania biomasy i stałych odpadów komunalnych. Autor podjął próbę wykazania, że główne strumienie odpadów poddane procesom termicznym mają zbliżony układ pierwiastków CHONS, w mniejszym lub większym stopniu modyfikowany zawartością składników mineralnych i wilgoci. Układ taki jest podstawą procesów termicznych, od redukcyjnych do utleniających. Potencjał tlenowy układu ma połączyć te procesy wspólnym elementem. Parametr ten jest wykorzystany w modelowaniu zmian zachowania metali, spowodowanych zmianą tego parametru, co odpowiada przejściu od procesów redukcyjnych do utleniających.

Literatura naukowa opisuje także próby modelowania zjawisk zachodzących we wnętrzu składowiska, a także w jego sąsiedztwie.

Na przykład modele symulujące przepływ wód podziemnych oraz transport zanieczyszczeń będą w przyszłości służyły sposobom remediacji terenu. Ochrona terenu jest nadrzędnym celem dla ochrony życia i zdrowia ludzi i zwierząt.

Podjęmowane próby dotyczą głównie określenia dróg i zasięgu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń składowiskowych w środowisku, mniej jest natomiast opracowań dążących do określenia charakteru zmian właściwości środowiska [172].

11. Zasadność podjęcia tematu badań

Minimalizacja ilości zanieczyszczeń jakie są generowane w składowiskach odpadów komunalnych typu innych niż niebezpieczne i obojętne jest podstawowym zadaniem zarządzającego składowiskiem. Jeżeli składowisko jest posadowione w warunkach niekorzystnych, jego konstrukcja jest narażona na wiele czynników środowiska, które oddziałują na prawidłową pracę obiektu geotechnicznego.

Zastosowane w projekcie budowlanym obiektu inżynierskiego materiały i sposób wykonania kwatery 1, stanowiły podstawę do przeprowadzenia badań, które mają wykazać, czy możliwe jest stosowanie proponowanych technik izolacji dna, skarp kwatery oraz sposobów wykonania zabudowy drenaży wód gruntowych i odciekowych dla tego typu obiektów. Warunki niekorzystne w omawianym przypadku polegają na tym, że w tym terenie jest wysoki stan wód gruntowych, wysoka przepuszczalność gruntu $K < 1 \times 10^{-5}$ m/s, a także na głębokości 70 m ppm znajduje się zbiornik wód pitnych WZGW 332.

Kwaterna 1 stanowiła podstawę do badań w wyniku, których zaproponowano w niniejszej pracy autorskie rozwiązania techniczne w projektowanych sposobach izolacji kwater, które są posadowione w terenie o wysokim poziomie wód gruntowych.

Ponadto prowadzono w kwaterze 1 obserwację pracy zabudowanego systemu drenaży wód odciekowych, czego wynikiem jest propozycja aby w dokumentacji technicznej kwatery 2 i 3, zgodnie z opracowanymi autorskimi modelami zabudowy drenaży wdrożyć w projekcie technicznym wysokosprawny wielopoziomowy i wielofunkcyjny system drenaży z możliwą regulacją ręczną lub automatyczną.

Sposób projektowania, budowania i eksploatacji składowisk zmienia się w ostatnim czasie, obecnie przyjmuje się, że składowisko jest obiektem inżynieryjnym, służącym do składowania odpadów stałych w sposób minimalizujący zagrożenie i zanieczyszczenie środowiska [32,145].

W składowisku zachodzą procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne, które powodują degradację odpadów, prowadząc do powstawania zanieczyszczonych odcieków i gazu wysypiskowego [195]. W związku z tym projektowanie i budowa składowiska wymaga uwzględnienia elementów konstrukcyjnych, które umożliwiają kontrolę powstających odcieków i gazu składowiskowego [170].

Poprzez zastosowanie barier, takich jak naturalne grunty, geomembrany, folie HDPE do uszczelniania dna składowisk i ostatecznego przykrycia, eliminuje się możliwość dostawiania

się do składowisk wody gruntowej, ale woda deszczowa jest konieczna do przebiegu procesów biodegradacji[138, 195].

Prowadząc prace rekultywacyjne powszechnie stosuje się połowiczne zamknięcie czaszy składowiska (zabezpieczenie filtracyjne) dla zapewnienia doprowadzenia tlenu i odprowadzenia nadmiaru gazów w trwających procesach rozkładu substancji organicznych [191,192]

Jednakże gdy opady deszczu są zbyt intensywne, a kwatera składowiska jest eksploatowana nadpowierzchniowo bądź ma wadliwy system drenaży odcieków może dojść do migracji wód odciekowych poza teren składowiska[2,173].

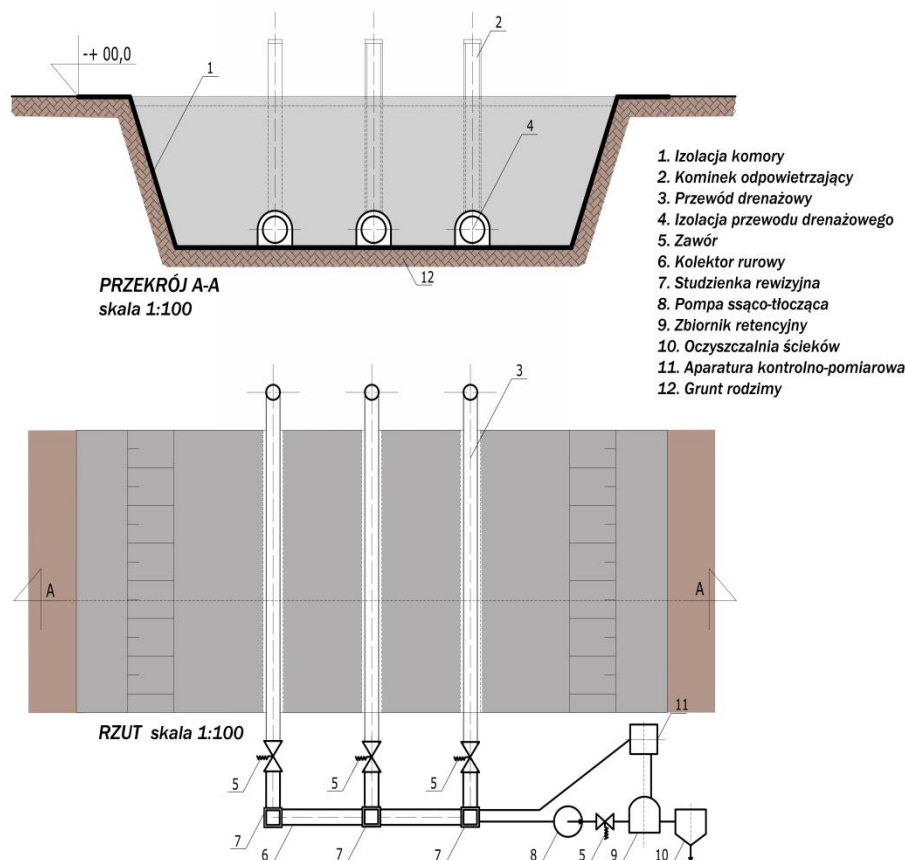
Sytuacje związane z anomaliami pogodowymi powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu składowisk nadpowierzchniowych, gdzie nie ma możliwości gromadzenia nadmiaru odcieków w niecce składowiska, a system drenażu przyskarpowego nie był zastosowany co miało miejsce na badanym obiekcie.

Eksploatowany obiekt wielokrotnie w przypadku anomalii pogodowych powodował zagrożenie środowiska w wyniku których mogło dojść do skażenia terenu odciekami.

Wybudowanie zbiornika retencyjnego w omawianym obiekcie na 600 m³ nie stanowiło wystarczającego zabezpieczenia obiektu ponieważ przepompownia i system drenaży odprowadzających wody odciekowe z przepompowni zostały zaprojektowane tak, że zapelnianie zbiornika odciekami było szybsze niż ich odprowadzenie poprzez system pomp co powodowało tworzenie się miejscowych rozlewisk.

W tym przypadku należałoby dopracować system regulacji odcieków z kwatery do przepompowni i potem do zbiornika retencyjnego i do oczyszczalni ścieków.

Wynikiem prowadzonych badań przy współpracy pracowników Uniwersytetu Opolskiego i Politechniki Opolskiej było opracowanie założeń modelowych znormalizowanego systemu regulacji drenaży, poprzez zabudowanie zaworów ręcznych i samoregulujących w zależności od ilości wód odciekowych w kwaterze. Wynikiem z przeprowadzonych obserwacji pracy kwatery 1 było opracowanie systemu odprowadzania wód odciekowych w formie układu drenażu przyskarpowego, który w możliwie krótkim czasie powinien odprowadzić nadmiar mediów płynnych, gdyby w trakcie eksploatacji poziom ten zmierzał do przekroczenia wysokości obwałowania, czego model został przedstawiony na Rys. 18 i jest objęty zgłoszeniem patentowym o nazwie „*drenaż przyskarpowy*” pod nr P.396858 .



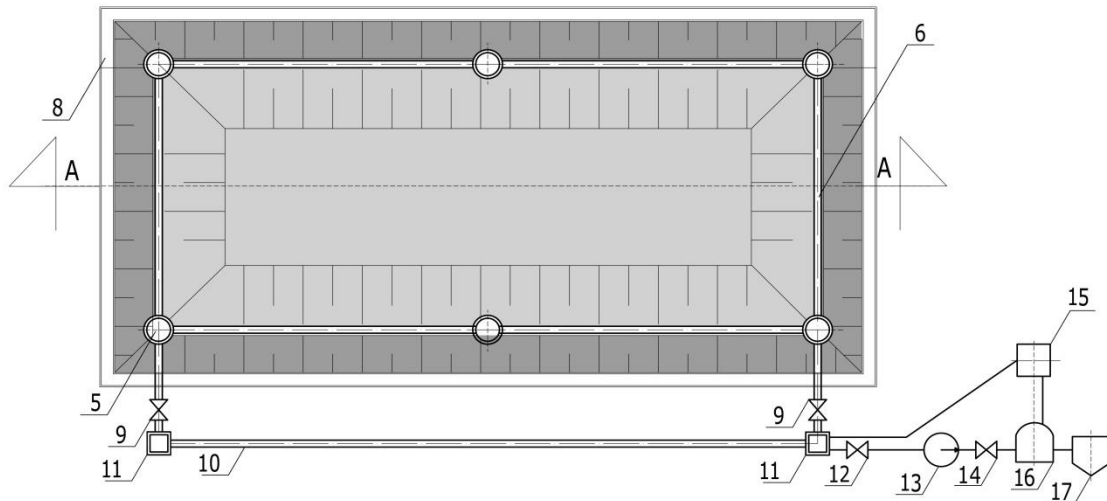
Rys.18. Schemat rozwiązania układu drenaży przy zastosowaniu regulacji pomiarowej [Opracowanie własne].

Dodatkowym elementem proponowanego systemu jest możliwość dowolnego konfigurowania sposobu kontroli rewizyjnej w zabudowie studni i ich regulacji.

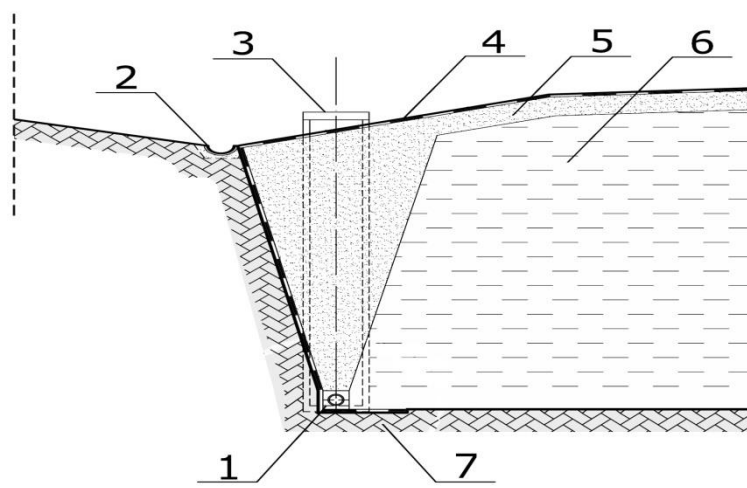
W konsekwencji, odpady szczelnie zamknięte w nowoczesnych składowiskach pozostają praktycznie niezmiennione przez długie lata. Należy pamiętać aby odpowiednio przygotować system stałego monitorowania aby nie dopuścić do awarii zabudowanych zabezpieczeń i izolacji. W przypadku odpadów zdeponowanych na składowiskach bez przygotowania izolacyjnego proponuje się przebudować zewnętrzną skarpe wokół obiektu tak aby zminimalizować migrację zanieczyszczeń poza obiekt.

Prowadzona analiza sposobu eksploatacji obiektu zgodnie z instrukcją eksploatacji [60] oraz wyniki badań monitoringowych z kwatery 1, pozwoliły autorowi niniejszej pracy przygotować propozycję zmian w zastosowanej strukturze budowy i izolacji dna nowej kwatery 2. Analiza pracy układu odprowadzania odcieków z kwatery 1 była podstawą do zaproponowania zmian w zabudowie nowych projektowanych systemów odprowadzania odcieków z kwatery składowiska do przepompowni i zbiornika odcieków z propozycją wykonania rurociągu odprowadzającego odcieki do oczyszczalni ścieków w ZCH

„Blachownia”. Miało to na celu zminimalizowanie zagrożenia przedostania się odcieków poza teren monitorowany. Na etapie projektowania kwatery 2 zaproponowano nowy model budowy kwatery z izolacją dodatkową w formie maty bentonitowej o gramaturze $g > 5000 \text{ g/m}^2$, z przelotowym drenażem przydennym, który jest osadzony pomiędzy odpadami i skarpią w części filtracyjnej i stanowi kolejne autorskie zgłoszenie patentowe o nazwie „układ przydenny” nr P.403990. co zostało przedstawione na Rys. 19 w rzucie płaskim oraz przekroju na Rys. 20.



Rys. 19. Schemat zabudowy systemu drenażowego dla kwatery składowiska z układem regulująco-pomiarowym.[Opracowanie własne].



Rys. 20. Przekrój A-A z rys. 20 kwatery składowiska odpadów z uwzględnieniem zabudowanego w części filtracyjnej systemu ujęcia odcieków tzw.„drenaż przydenny” [Opracowanie własne].

Wykaz oznaczeń do rysunków 19 i 20:

1. Grunt rodzimy.
2. Izolacja.
3. Warstwa przepuszczalna pierwsza – piasek.
4. Odpady.
5. Studnia rewizyjna drenażu.
6. Przewód drenażowy.
7. Warstwa przepuszczalna druga – żwir.
8. Rów opaskowy.
9. Zawór.
10. Kolektor.
11. Studzienka rewizyjna.
12. Zawór.
13. Pompa ssąco – tłocząca.
14. Zawór.
15. Aparatura kontrolno – pomiarowa.
16. Zbiornik retencyjny.
17. Oczyszczalnia ścieków.

Powyższy materiał, jest niejako wstępem do opracowanych w niniejszej pracy modeli, systemów oraz rozwiązań kontrolowanej regulacji systemu odprowadzania zanieczyszczeń z obiektów inżynierskich jakimi są składowiska odpadów komunalnych [Aneks I-V].

Należy podjąć dalsze działania na terenie obecnego składowiska, które posiada 2 kwatery i planuje budowę trzeciej. Przy wykorzystaniu badań monitoringowych, które poprzez stały roczny cykl badawczy, gromadzą dane do analizy parametrów wód podziemnych, podfoliowych, odciekowych oraz osiadania skarp kwatery. Dane uzyskane z pomiaru fizykochemicznych właściwości wód stanowią materiał porównawczy, który w czasie eksploatacji kwatery pozwoli kontrolować szczelność zastosowanych izolacji od podłoża rodzimego, drenaży, a także układów regulacji. Podstawowym celem bezpiecznego odprowadzania i unieszkodliwienia surowych odcieków ze składowisk odpadów komunalnych jest ich ustawiczna kontrola na wszystkich warstwach składowiska. W części doświadczalnej na materiałach pozyskanych z terenu składowiska przygotowano innowacyjne rozwiązania modelowe położenia i zabudowy izolacji oraz sposobów drenażu kwater, których to celem jest możliwość wykorzystania w pracach projektowych dokumentacji technicznej dla składowisk odpadów komunalnych.

Stosowanie technik innowacyjnych w zakresie izolacji i drenażu w budowie i możliwości kontrolowania pracy obiektu w trakcie eksploatacji stanowi dla instalacji geotechnicznych jakimi są składowiska odpadów komunalnych nowe wyzwanie z uwagi na warunki położenia tego typu obiektów na terenie Polski.

I. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

12. Wstęp - opis podstawowych parametrów badań monitoringowych

Monitoring składowisk odpadów jest elementem monitoringu lokalnego, którego głównym zadaniem jest rozpoznanie i śledzenie wpływu stwierdzonych lub potencjalnych ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych i powierzchniowych oraz powietrza atmosferycznego, w celu przeciwdziałania ujemnym skutkom ich zanieczyszczenia.

W odniesieniu do wód podziemnych liczba oraz rozmieszczenie punktów obserwacyjnych są uzależnione od rozmiarów składowiska i układu pola hydrodynamicznego w jego najbliższym otoczeniu. Orientacyjna gęstość sieci monitoringu lokalnego powinna wynosić co najmniej 1 punkt / ha.

Zaleca się, aby punkty monitoringowe wokół składowiska rozmieszczone były w trzech strefach:

- ◆ · od strony napływu wód w rejon składowiska, które służą do określenia aktualnego tła hydrogeochemicznego wód napływających w rejon składowiska;
- ◆ · w obrębie składowiska, które pozwalają na określenie maksymalnych stężeń zanieczyszczeń przenikających ze składowiska do podłoża;
- ◆ · od strony odpływu wód podziemnych, poniżej składowiska, w strefie wód zanieczyszczonych.

Liczba punktów monitoringu wód podziemnych wokół składowiska nie może być mniejsza niż 3 otwory dla każdego z poziomów wodonośnych, z czego jeden powinien znajdować się na dopływie wód podziemnych, dwa pozostałe – na przewidzianym odpływie wód podziemnych z rejonu składowiska. W przypadku, gdy mamy do czynienia z więcej niż jednym poziomem wodonośnym, konieczny jest monitoring tych poziomów do pierwszego użytkowego poziomu wodonośnego włącznie. Pomiar objętości i określenie składu chemicznego wód odciekowych odbywa się w każdym miejscu ich gromadzenia, przed ich oczyszczeniem.

Jeżeli składowisko odpadów jest wyposażone w instalację oczyszczającą wody odciekowe, to w każdym miejscu odprowadzania oczyszczonych wód odciekowych ze składowiska bada się skuteczność procesu oczyszczania.

Badania monitoringowe wokół składowisk odpadów mogą być prowadzone wyłącznie w laboratoriach badawczych posiadających wdrożony system jakości w rozumieniu przepisów o normalizacji, natomiast podstawowy zakres wskaźników zanieczyszczeń, do których należą: pH, PEW, ołów, kadm, miedź, cynk, chrom (VI), rtęć, OWO oraz WWA, objętych cyklicznymi badaniami na składowiskach odpadów, został określony w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów* i nowelizacją z dnia 30 kwietnia 2013 roku w sprawie składowisk odpadów [150, 140].

Charakterystyka wskaźników zanieczyszczeń wód:

- **Odczyn** (pH) wody zależy od obecności jonów wodorowych, a ich stężenie od dysocjacji elektrolitycznej cząstek wody oraz od dysocjacji i hydrolizy rozpuszczonych w niej związków.
- **Przewodność elektrolityczna właściwa** (PEW) dostarcza informacji o wielkości mineralizacji wód, a więc w pewnych sytuacjach także o poziomie ich zanieczyszczenia. W sieciach monitoringu wód podziemnych służy często do oceny stabilności składu chemicznego wód przy powtarzalności wykonywanych pomiarów.
- **Ołów** (Pb), pomimo ograniczonych możliwości migracyjnych, występuje w stosunkowo znacznych ilościach w wodach podziemnych, zwłaszcza zanieczyszczonych ściekami lub emisjami lotnymi, jak również spływami z ulic i dróg szybkiego ruchu. Zanieczyszczenia ołowiem związane są głównie z górnictwem, przemysłem metalowym, produkcją barwników, preparatów ochrony roślin, benzyn wysokooktanowych, akumulatorów, itd.
- **Kadm** (Cd), jego duże zawartości występują przede wszystkim w ściekach i emisjach lotnych przemysłu metalurgicznego, farbiarskiego i tworzyw sztucznych, w ściekach z rafinerii naftowej oraz z dróg szybkiego ruchu. Wzbogacone w ten pierwiastek są również ścieki komunalne. Do wód podziemnych kadm może się również dostawać jako zanieczyszczenie związane z produkcją lub niewłaściwym wykorzystywaniem fosforowych nawozów mineralnych, środków ochrony roślin oraz w wyniku rolniczego wykorzystywania gnojowicy.
- **Miedź** (Cu), jest metalem powszechnie występującym w przyrodzie, w tym w wodach podziemnych, lecz w niewielkich ilościach. Wzrost stężenia miedzi może być związany z różnego rodzaju ściekami przemysłowymi oraz z zanieczyszczeniami pyłowymi, z których w 90% pierwiastek ten przenika do gleb i wód. Największe skażenia terenu miedzią występują w pobliżu złóż, kopalń i hut tego metalu. Mogą też

być związane z odpadami przemysłu elektrotechnicznego, farmaceutycznego, gumowego, farbiarskiego itd., a także z rolnictwem i ogrodnictwem.

- **Cynk (Zn)**, dzięki stosunkowo dobrej rozpuszczalności minerałów wtórnych (z wyjątkiem węglanów i wodorotlenków), łatwo migruje z wodami podziemnymi i zawsze w nich występuje. Z zanieczyszczeń antropogenicznych cynk występuje w ściekach komunalnych i przemysłowych w ilościach znacznie przekraczających jego zawartość w litosferze, dlatego łatwo następuje wzbogacenie w ten pierwiastek zanieczyszczonych wód podziemnych. Znaczne ilości cynku spotyka się zarówno w rejonach zagospodarowanych rolniczo, jak i miejsko-przemysłowych, a także w spływach deszczowych w aglomeracjach oraz w spływach z dróg szybkiego ruchu.
- **Chrom (Cr VI)**, słabo migruje w wodach podziemnych i występuje w nieznacznych, często śladowych ilościach. Spośród zanieczyszczeń antropogenicznych największe ilości chromu (VI) występują w ściekach górniczych oraz ściekach związanych z przemysłem metalurgicznym. Podwyższone stężenia chromu (VI) mogą wykazywać również wody podziemne zanieczyszczone odciekami ze składowisk odpadów przemysłowych. Zanieczyszczenie wód chromem (VI) może być spowodowane niewłaściwym składowaniem zużytych cegieł magnezytowych, szamozytowych i chromitowych. Znaczne koncentrację wykazują też ścieki z garbarni i farbiarni. Wyraźnie podwyższone stężenia występują też w spływach deszczowych z ulic i dróg szybkiego ruchu.
- **Rtęć (Hg)** w wodach podziemnych występuje zwykle w nieznacznych, śladowych ilościach, często poniżej granicy wykrywalności. Najwyższe stężenia rtęci w wodach podziemnych związane są z zanieczyszczeniem ich ściekami przemysłu chemicznego, elektrotechnicznego, farbiarskiego, farmaceutycznego i celulozowo-papierniczego. Również rolnictwo, zwłaszcza niewłaściwe stosowanie środków ochrony roślin, może dostarczyć do wód podziemnych pewnych ilości rtęci.
- **Substancja organiczna**, którą miarą jest zawartość ogólnego węgla organicznego (OWO), określa zawartość związków organicznych występujących w określonych środowiskach. W płytkich wodach podziemnych zasilanych infiltracyjnie występują zwykle różne związki humusowe powstające m.in. w procesach glebotwórczych wskutek ich wyługowania. Węglowodory aromatyczne są podstawowymi związkami występującymi w ropie naftowej oraz w produktach jej przeróbki. Zwykle ich obecność jest efektem zanieczyszczenia środowiska przez przemysł petrochemiczny, chemiczny lub komunikację. Lokalne zanieczyszczenia związane są również ze ściekami i spływami z dróg i ulic. Występują powszechnie w dymach

zanieczyszczających atmosferę, skąd wraz z opadami przenikają do wód powierzchniowych i podziemnych. Mogą znajdować się też w ściekach i odpadach stałych. Do wód podziemnych mogą dostawać się wraz ze spływami roztopowymi i deszczowymi z dróg szybkiego ruchu oraz z obszarów przemysłowych. Zróżnicowanie połowicznego rozpadu oraz podatność na sorpcję przez minerały ilaste sprawiają, że migracja WWA w wodach podziemnych jest ograniczona. Występują one tylko w bezpośrednim sąsiedztwie ognisk zanieczyszczeń.

Celem monitoringu składowisk określającego procentową zawartość poszczególnych gazów i ich emisji jest kontrolowanie produktów procesów rozkładu tlenowego (charakterystycznego dla składowisk- stref słabo zagęszczonych) oraz beztlenowego (typowego dla stref uporządkowanych, dobrze zagęszczonych). W przypadku rozkładu beztlenowego na składowisku powstaje obok dwutlenku węgla również metan, który stanowi istotne niebezpieczeństwo i uciążliwość dla składowiska (zagrożenie wybuchem, szkody w wegetacji, emisja zapachów, efekt cieplarniany itp.).

Analizę struktury i składu masy składowanych odpadów prowadzi się w celu potwierdzenia zgodności rodzajów składowanych odpadów z decyzją zatwierdzającą instrukcję eksploatacji danego składowiska.

Badania przebiegu osiadania stanowią podstawowy element interpretacji zjawisk zachodzących w trakcie eksploatacji składowiska odpadów oraz po ich zakończeniu. Dane uzyskane w wyniku pomiarów techniką GPS umożliwiają ocenę zmian przebiegających na składowisku, a w szczególności: wielkości osiadania, powierzchni, kubatury oraz przyrostu masy składowanych odpadów. W analizie stateczności skarpy przyjęto zmienne parametry tj., nachylenie skarp, rodzaj odpadów, rodzaj podłoża gruntowego, na którym zlokalizowano składowisko [130].

Konkludując należy stwierdzić, że zasięg uciążliwości składowiska odpadów komunalnych zależy przede wszystkim od warunków fizjograficznych terenu, techniki i technologii budowy, sposobu eksploatacji i potem rekultywacji obiektu geotechnicznego jakim jest składowisko zgodnie z zapisem prawnym. W związku z tym celowe jest tworzenie „biblioteki” wyników badań, która pozwoli na uproszczenie procedur wyznaczania strefy i ułatwi podejmowanie decyzji przez urzędników i projektantów [53].

Możemy także weryfikować stosowane modele obliczeniowe i planować zakres badań dla poszczególnych stanów środowiska, eliminując powstanie potencjalnego zagrożenia skażeniem środowiska naturalnego.

13. Charakterystyka otoczenia składowiska odpadów komunalnych w gminie Kędzierzyn-Koźle

13.1. Lokalizacja obiektu badawczego

Województwo opolskie leży w południowej części Nizin Środkowopolskich, które na południu przechodzą w Przedgórze Sudeckie i dalej w Sudety. Od wschodu w niziny te klinami wcinają się: Próg Woźnicki (zachodni skraj Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej) oraz wzgórze garbu Chełm (zachodni kraniec Wyżyny Śląskiej). Najwyższe wzniesienie województwa, to leżąca na granicy z Czechami Biskupia Kopa (890 m), najniższe znajduje się w dolinie Odry w okolicach Ścinawy (około 130 m). W krajobrazie przeważają stare bez jeziorne równiny peryglacjalne, zbudowane głównie z glin zwałowych i piasków (Oleśnicka, Opolska i fragment Wysoczyzny Wieruszowskiej) oraz ze spiaszczonych lessów i glin lessopodobnych (Równina Grodkowska, Równina Niemodlińska, Kotlina Raciborska), przechodzące na południe w pokryty lessem wyżynny Płaskowyż Głubczycki. W równiny wcinają się doliny rzeczne i kotliny, zbudowane z piasków, ilów, a miejscami żwirów (Dolina Nysy Kłodzkiej, Pradolina Wrocławska, Kotlina Raciborska). W południowo-zachodniej części województwa pojawiają się stare struktury Sudetów (Góry Opawskie zbudowane głównie z osadowych skał karbońskich) i Przedgórze Sudeckie.[124]

Gmina miejska Kędzierzyn-Koźle to drugie, co do wielkości, miasto województwa opolskiego, Kędzierzyn-Koźle graniczy z gminami Bierawa i Cisek od południa, Reńska Wieś od zachodu, Zdieszowice, Leśnica i Ujazd od północy, co zostało zobrazowane na Rys. 21.



Rys. 21. Gmina Kędzierzyn-Koźle .

Geograficznie gmina leży w środkowej części mezoregionu Kotlina Raciborska. Kotlina Raciborska (318.59) jest najdalej, wzdłuż biegu Odry, wysuniętą na południe częścią Niziny Śląskiej (318.5). Od wschodu sąsiaduje z Płaskowyżem Rybnickim, Wyżyną Katowicką i Garbem Tarnogórskim, od zachodu z Płaskowyżem Głubczyckim. Na południu dolina Odry łączy Kotlinę Raciborską z Kotliną Ostrawską. Cała Nizina Śląska znalazła się w obrębie zlodowacenia odrzańskiego (środkowopolskiego). Jego pozostałością są ostańce ozów, kemów i wzgórz morenowych. W części południowo-zachodniej występują pokrywy pylaste typu lessów na których wytworzyły się urodzajne gleby brunatnoziemne i czarnoziemne. Dolina Odry ma charakter pradoliny o szerokości od 8 do 12 km z ławkową terasą zalewową i wyższymi terasami piaszczystymi [124].

13.2. Typ krajobrazu i jego geneza

Nadodrzańska część gminy ma charakter zalewowego, akumulacyjnego dna doliny rzecznej - jest to równina zalewowa. W stanie naturalnym zalewy mają charakter okresowy. Charakterystycznym typem gleb są mady, a formacją roślinną łągi.

Poza dolinami występuje krajobraz nizinny, peryglacjalny, równinny lub falisty. Charakterystyczne są gleby rdzawe i bielcowe, na których rosną bory mieszane i grądy.

Równiny zalewowe i nadzalewowe tworzone były współcześnie (holocen).

Starsze równiny terasowe pochodzą z plejstocenu. Tereny poza dolinami są pochodzenia lodowcowego lub rzeczno-lodowcowego i mają genezę akumulacyjną, zdenudowaną[25].

13.3. Budowa geologiczna

Rów tektoniczny, w którego obrębie leży miasto Kędzierzyn-Koźle ma głębokość 400 - 500 m. Jego dno stanowią skały kredy, triasu i karbonu. Rów wypełniony jest osadami trzeciorzędu, na które składają się łyły pochodzenia morskiego, dolny i środkowy miocen, przykryte grubą serią iłóów i piasków lądowych górnego miocenu i pliocenu.

Najstarsze ogniowo serii trzeciorzędowej wypełniającej rów to należące do środkowego miocenu warstwy kłodnickie. Są to łyły szare, nieco piaszczyste lub margliste przechodzące w drobnoziarniste piaski z wkładkami martwic wapiennych, a następnie w łyły piaszczyste z wkładkami węgla brunatnych. Miąższość warstw osiąga 100-120 m.

Leżące powyżej warstwy skawińskie to seria ilów szarych. Następnym ogniwem morskich osadów miocenu jest tzw. poziom gipsowy. Serię morskich osadów środkowego miocenu kończy poziom ilów grabowieckich (iły szare i zielone).

Powyżej osadów morskich występuje kompleks określany mianem serii poznańskiej (warstwy kędzierzyńskie). Jest to gruba seria ilów plastycznych lub zwięzłych z wkładkami ilów węglistych i węgla brunatnych.

Na podłożu trzeciorzędowym zalega miąższa, od około 100 do 180 m, pokrywa utworów czwartorzędowych. Ze względu na dolinne położenie zachodniej części gminy, duży udział mają tu najmłodsze, holocenijskie utwory rzeczne, jak muły i piaski rzeczne, i namuły [24,25].

13.4. Warunki hydrogeologiczne

Według Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 200 000 (arkusz Gliwice) rejon Kędzierzyna-Koźła należy do XXV Przedsubdeckiego Regionu Hydrogeologicznego, podregion 4 Kędzierzyński. W regionie tym występują dwa zasadnicze poziomy wodonośne: trzeciorzędowy i czwartorzędowy.

- **Trzeciorzędowy** poziom wodonośny w piaskach drobnych odznacza się bardzo dużą wydajnością i stanowi podstawę zaopatrzenia aglomeracji w wodę pitną i przemysłową. Eksploatowane są dwa horyzonty wodonośne: dolny, związany z osadami tortonu zalegającymi poniżej głębokości 150 - 175 m ppt. i górny, w piaskach sarmatu o miąższości 15 - 30 m występujących poniżej głębokości 70- 100 m ppt. Zwierciadło wody w osadach trzeciorzędowych ma charakter naporowy, stabilizując się na głębokościach odpowiadającym rzędnym 130 - 150 m npm. Spływ wody następuje w kierunku ujęć wodociągowych w Kędzierzynie-Koźlu. Zasilanie trzeciorzędowego zbiornika wodonośnego odbywa się bezpośrednio z opadów atmosferycznych na wychodniach sarmatu występujących na wschód od Blachowni oraz pośrednio przez czwartorzędową rynnę erozyjną i na kontaktach tektonicznych ze skałami starszego podłoża.

Ciśnienie hydrostatyczne wód trzeciorzędowych dochodzi do 68,8 m słupa wody. Zasoby te służą do zaopatrzenia w wodę, są one izolowane od powierzchni terenu łałami trzeciorzędowymi tak, że nie ma bezpośredniego niebezpieczeństwa ich zanieczyszczenia.

- **Czwartorzędowy** poziom wodonośny związany jest z piaszczysto-żwirowymi osadami akumulacji rzeki Kłodnicy. Posiada zwierciadło swobodne stabilizujące się na głębokościach 2,0 - 5,0 m ppt uzależnionych od morfologii terenu, nasilenia opadów oraz kontaktów z wodami powierzchniowymi - Kanałem Gliwickim i rzeką Kłodnicą. Generalny spływ wód poziomu czwartorzędowego następuje na północny-zachód, do doliny rzeki Kłodnicy stanowiącej główną oś drenażu wód podziemnych w omawianym rejonie. Pierwszy poziom wód podziemnych (gruntowych) związany jest z warstwami piaszczystymi pochodzenia wodnolodowcowego i lodowcowego poza dolinami rzek oraz aluwialnymi w dolinie rzeki Odry (a także Kłodnicy). Zwierciadło wód pierwszego poziomu wodonośnego występuje na głębokości od 0 do 2 m ppt w dolinach rzek oraz 2 – 5 m ppt na pozostałym terenie miasta.

Zbiornikowi trzeciorzędowemu nadano rangę Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 332 Subniecka Kędzierzyńsko-Głubczycka. Jest to zbiornik trzeciorzędowy mający na terenie gminy w większości status wysokiej ochrony (OWO), tylko w zachodniej, odrzańskiej części, nadano mu status najwyższej ochrony (ONO). W granicach gminy wody podziemne ujmuje się kilkoma ujęciami miejskimi i kilkunastoma zakładowymi [24,25].

13.5. Hydrografia

Najważniejszym ciekim gminy Kędzierzyn-Koźle jest Odra przepływająca z południa na północ przez zachodnią część miasta. Od zachodu, lewobrzeżnie, zasilają ją w granicach miasta tylko drobne cieki takie jak Lineta i Golka. Od wschodu, prawobrzeżnie, dopływa rzeka Kłodnica oraz włączają się dwa kanały Kłodnicki (stary, obecnie ślepy odcinek) i Gliwicki. Najważniejszym w granicach gminy dopływem Kłodnicy jest rzeka Młynówka. Mniejszy dopływ stanowi Potok Lenartowicki (Potok Cisowa). Z przepływającymi przez gminę wodami wiąże się zagrożenie powodziowe. Za szczególnie zagrożone powodzią dzielnice gminy uznano: Koźle oraz osiedla Kłodnica, Rogi, Pogorzelec.

Tereny zagrożone podzielono na dwie strefy:

- **I strefa o bezpośrednim zagrożeniu powodziowym**, do której zalicza się Koźle (Stare Miasto) osiedle Rogi, osiedle Kłodnica, oczyszczalnia i tereny rolne na osiedlu Pogorzelec. Tereny te są położone bezpośrednio w dolinie rzeki Odry na wysokościach 167-175m npm.

- **II strefa o pośrednim zagrożeniu powodziowym**, do której należy zaliczyć: osiedla Pogorzelec, Kuźniczki, Blachownia, Lenartowice, Sławięcice. Tereny te położone są wzdłuż rzeki Kłodnicy, która od 1950 roku nie wykazywała wezbrań. Jedynie wody cofkowe Odry podpiętrzone do rzędnej 173,50 zagroziły osiedlom Kłodnica i Żabieniec. Po 1968 roku wybudowano na Kłodnicy zbiornik Dzierżno Duże, na Dramie zbiornik Dzierżno Małe, a na potoku Toszeckim zbiornik Pławniowice, które na przestrzeni ostatnich lat całkowicie przejmowały wysokie stany wód występujące w górnych partiach swoich cieków.

Część obszarów zabudowanych miasta, w czasie wezbrań Odry, znajduje się w dużej depresji. Depresja ta zwiększa przenikanie wód pod górną warstwą nieprzepuszczalną, w podłożu żwirowym. Obecnie uważa się, że miasto jest chronione przed wodami wezbranych rzek Odry i Kłodnicy. Za zagrożenie uważa się dopływ wód z terenów sąsiednich przy wysokim stanie głównych rzek. Brak możliwości odpływu do Odry powoduje piętrzenie wód przed wałami. Za szczególnie zagrożone dopływającymi wodami obszary uważa się tereny graniczące z Wałem W7 na północ od Kłodnicy i osiedle Lasaki przy Wale W3.

Wpływ budowli hydrotechnicznych Kanału Gliwickiego oraz samego Kanału na przebieg powodzi w Kędzierzynie-Koźlu jest drugorzędny. Jedynie dla odciążenia węzła kozielskiego wody rzeki Kłodnicy przepuszcza się częściowo poprzez śluzę w Kłodnicy, bezpośrednio poniżej węzła tj. w km 89+100 rzeki Odry[25,124]

13.6. Gleby

Pokrywa glebowa na obszarze Kędzierzyna-Koźla charakteryzuje się stosunkowo silnym zróżnicowaniem, a do najważniejszych jej typów i rodzajów należą tutaj:

- gleby brunatne, w północnej części miasta (Cisowa, Miejsce Kłodnickie, Sławięcice);
- gleby bielcowe, w południowo-wschodniej części miasta, na obszarach zalesionych między osiedlem awaryjnym Azoty i Starą Kuźnią;
- gleby płowe, wytworzone z piasków zaglinionych i glin zwałowych lekkich oraz bielcowe wytworzone z piasków i żwirów (w rejonie Sławięcice);
- gleby rdzawe, wytworzone z piasków luźnych na obszarze zalesionym pomiędzy Cisową, a połączeniem Kanału Gliwickiego z Odry;

- grądy, w dolinach Odry i Kłodnicy;

Z bonitacyjnego punktu widzenia mamy są glebami ornymi dobrymi i średnio dobrymi (w dolinie Odry) oraz glebami ornymi średniej jakości (w dolinie Kłodnicy). Jako gleby orne bardzo dobrze sklasyfikowane są natomiast gleby brunatne właściwe występujące na północnych obrzeżach miasta.

Na terenie miasta nie występują gleby w klasie bonitacyjnej I. Gleby klasy II i III stanowią tylko 21,8% powierzchni użytków rolnych, tj. około 617,4 ha. Pozostałą powierzchnię użytków rolnych na terenie gminy stanowią gleby spełniające wymogi klas IV, V i VI[24]

13.7. Powietrze i klimat

Subregion kędzierzyńsko-kozielski położony jest w obrębie jednej z ośmiu wyznaczonych krain tworzących razem śląsko-wielkopolski region klimatyczny.

Kraina ma klimat łagodny, zaliczany do najcieplejszych w Polsce, charakteryzujący się następującymi parametrami (danymi średnimi):

- Temperatura powietrza w styczniu: -2,0°C;
- Temperatura powietrza w lipcu: +18,2°C;
- Temperatura średnia roczna: +8,3°C;
- Opady roczne średnie: 650 mm;
- Czas trwania lata: 90 dni;
- Okres wegetacyjny powyżej 220 dni i zaczyna się w końcu marca;
- Czas trwania zimy: 70 dni;
- Średnio w roku 65 dni z szatą śnieżną;
- Średnio w roku 55 dni pogodnych i 115 dni pochmurnych;

Dominują wiatry z kierunku zachodniego - 19,4%, południowo-zachodniego - 18% oraz południowego - 15,4%, a struktura róży wiatrów wskazuje, że w okresie pomiędzy październikiem, a lutym należy spodziewać się zwiększonego napływu zanieczyszczonego powietrza z rejonu ostrawskiego. Charakterystyczny jest duży procent cisz i bardzo słabych wiatrów - 66,5%. Wiatry silne (7 m/s) występują w 3,5% ogółu obserwacji i notowane są najczęściej przy wiatrach zachodnich, północno-zachodnich oraz południowych.

Przedstawione dane wskazują na przewagę wpływów oceanicznych w krainie klimatycznej, w obrębie, której znajduje się Kędzierzyn-Koźle. Wiosna i lato (stosunkowo długie) są wczesne i ciepłe, a zima łagodna i krótka, z nietrwałą pokrywą śnieżną. Opady atmosferyczne kształtują się na poziomie nieco poniżej średniej krajowej [24].

14. Ogólna charakterystyka obiektu badań

14.1. Podstawowe dane odnoszące się do Miejskiego Składowiska Odpadów w Kędzierzynie-Koźlu

Właściciel instalacji: Urząd Miasta i Gminy Kędzierzyn-Koźle ul. Piramowicza 32, 47-200 Kędzierzyn-Koźle

Lokalizacja instalacji: 47-230 Kędzierzyn-Koźle, ul. Naftowa 7

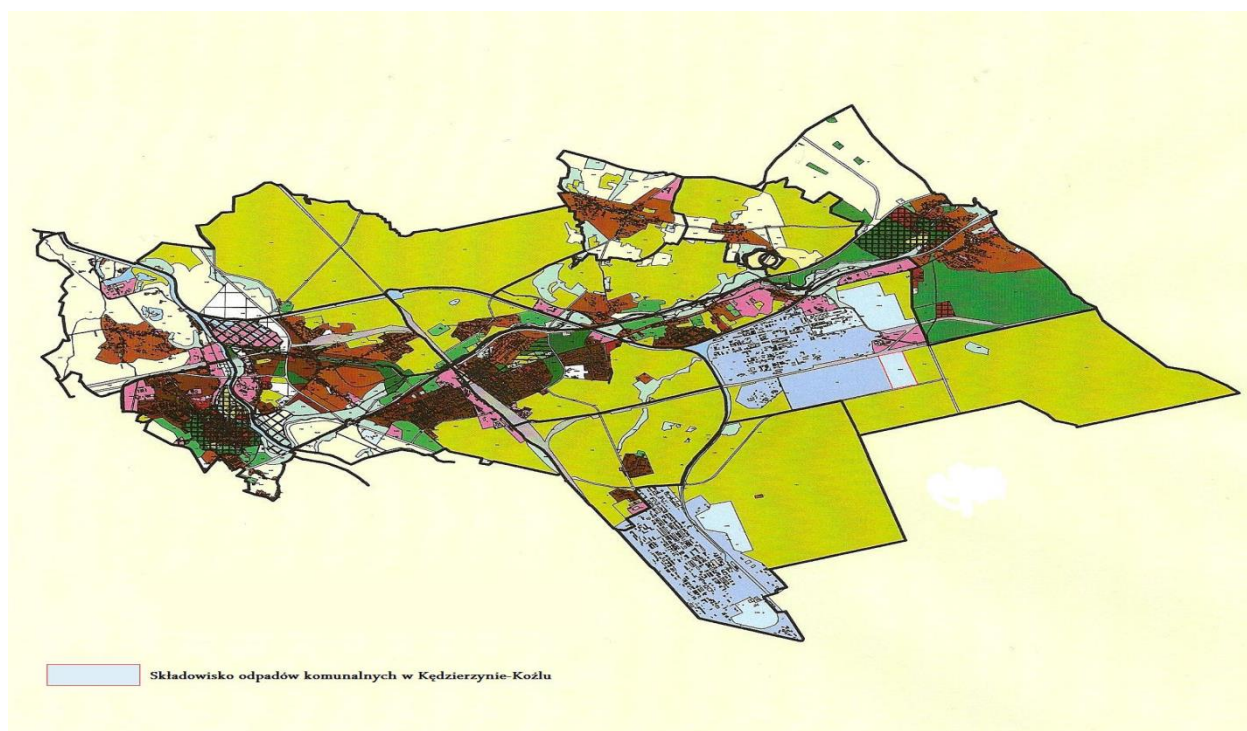
Miejskie Składowisko Odpadów w Kędzierzynie-Koźlu położone jest w dzielnicy Sławięcice, przy ul. Naftowej 7. Składowisko znajduje się na działkach nr 38/3, 38/4, 39/2, 39/6, 39/7, 40/2, 93, 94, 1126 o powierzchni ok. 23 ha, będących własnością miasta Kędzierzyn-Koźle. Pod względem morfologicznym omawiany teren jest fragmentem lewobrzeżnej terasy wyższej rzeki Kłodnica, w obrębie jednostki geomorfologicznej Niecki Kozielskiej. Powierzchnia terenu położona na wysokości 197,5 – 200 m npm. i łagodnie pofalowana, urozmaicona pasem wzniesień o charakterze wydmowym, nachylona jest ogólnie w kierunku północno-zachodnim, do koryta rzeki Kłodnicy, przepływającej w odległości około 5 km. Według podziału fizjograficznego Polski przedmiotowy obszar znajduje się w obrębie makroregionu Nizina Śląska, mezoregionu Kotliny Raciborskiej. Zgodnie z ustaleniami Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Kędzierzyna-Koźla zatwierdzonego uchwałą Rady Miasta Kędzierzyn-Koźle Nr IX/98/2003 z dnia 22 maja 2003 roku instalacja znajduje się na terenie oznaczonym jako:

- przeznaczenie funkcjonalne terenu: **IT-7** – teren składowiska odpadów
- jednostka planistyczna – „**K**” – Blachownia Przemysłowa.

W sąsiedztwie obiektu, w promieniu kilku kilometrów, brak jest zwartej zabudowy mieszkaniowej. Od północy teren składowiska graniczy z nieużytkiem. Od zachodu znajdują się tereny nie zagospodarowane, należące do Zakładów Chemicznych „Blachownia” i gminy Kędzierzyn-Koźle co ilustruje Rys. 22.

Natomiast od południa i wschodu znajdują się tereny leśne pozostające w administracji Nadleśnictwa Kędzierzyn. W odległości około 700 m na północny-wschód znajduje się stacja kolejowa Sławięcice, obok której znajduje się kilka domów jednorodzinnych należących do pracowników służb kolejowych Rys.23.

W bezpośrednim sąsiedztwie nie występują obszary objęte ochroną na podstawie przepisów Ustawy o ochronie przyrody, Ustawy o lasach, Ustawy prawo wodne oraz przepisów Ustawy o uzdrowiskach i lecznictwie uzdrowiskowym, a także dobra kultury objęte ochroną na podstawie Ustawy o ochronie dóbr kultury.



Rys. 22. Położenie składowiska odpadów komunalnych wg MPZP Kędzierzyna-Koźła



Rys. 23. Teren przeznaczony pod budowę kwater do składowania i instalacji do zagospodarowania odpadów w Kędzierzynie Koźlu (źródło: wyciąg z ewidencji gruntów)

14.2. Krótka charakterystyka działalności Miejskiego Składowiska Odpadów

Miejskie Składowisko Odpadów w Kędzierzynie-Koźlu ul. Naftowa 7, 47-230 Kędzierzyn-Koźle jest jednostką organizacyjną Gminy Kędzierzyn-Koźle. Zostało powołane Uchwałą Nr XLI/212/92 Rady Miejskiej w Kędzierzynie-Koźlu z dnia 17 grudnia 1992 roku. Jednocześnie został uchwalony Statut Miejskiego Składowiska Odpadów w Kędzierzynie-Koźlu. Tekst Statutu w swym obecnym brzmieniu został uchwalony Uchwałą Nr LIII/679/2002 Rady Miejskiej w Kędzierzynie-Koźlu z dnia 27 czerwca 2002 roku. Przedmiotem działalności Miejskiego Składowiska Odpadów jest:

- przyjmowanie odpadów stałych spełniających warunki dopuszczalności składowania na Składowisku,
- odzysk surowców wtórnych pochodzących ze zbiórki selektywnej „u źródła”,
- segregowanie oraz sprzedaż odpadów i surowców wtórnych celem przekazania ich do dalszego recyklingu, przetworzenia, wykorzystania energetycznego itp.,
- składowanie – unieszkodliwianie, odzysk odpadów komunalnych, obojętnych i innych niż niebezpieczne,
- stwarzanie warunków do czasowego magazynowania odpadów niebezpiecznych,
- eksploatacja i rekultywacja terenów składowiska,

Według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 26 lipca 2002 roku w sprawie rodzajów instalacji mogących powodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości – Dz. U. Nr 122 z 2002 roku, poz.1055, instalacja ta podlega obowiązkowi uzyskania pozwolenia zintegrowanego.

Przy realizacji obiektu stosowano wytyczne Ministerstwa Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa tj.: „Zbiór zaleceń do programowania, projektowania i eksploatacji wysypisk odpadów komunalnych” z 1993 roku, cytowane poniżej rozporządzenie z 2003 roku i jego nowelizacja z 2009 roku uregulowała stan prawny w tym zakresie.

Do oceny stanu przyjęto kryteria wynikające z:

- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz. U. Nr 61, poz. 549), a obecnie obowiązujące z dnia 26 lutego 2009 r. [145].

- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 roku w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz. U. Nr 220, poz. 1858),[150], a obecnie obowiązujące z dnia 30 kwietnia 2013r. [140].

- **Głównymi źródłami emisji zanieczyszczeń do powietrza jest:**

- a) zorganizowana emisja gazu składowiskowego (biogazu) poprzez studnie odgazowujące z kwatery składowania odpadów,
- b) niezorganizowana emisja zanieczyszczeń pyłowych związana z rozładunkiem i przemieszczaniem odpadów,
- c) niezorganizowana emisja odorów.

Aktualnie wody powierzchniowe oraz wody z drenażu odwodnieniowego (podfoliowego) kwatery składowania odpadów, odprowadzane są do rowu melioracyjnego, który ma ujście w kanale gliwickim Rys. 24.



Rys. 24. Rów do odprowadzania wód opadowych i wód z drenażu podfoliowego

- **Wpływ na jakość powietrza, wody i ziemi**

Wprowadzanie do powietrza zanieczyszczeń nie powoduje przekroczeń normatywnych wartości odniesienia. Działalność składowiska nie wpływa na jakość wód powierzchniowych i podziemnych.

Zanieczyszczenie gleb wokół składowisk jest związane przede wszystkim z depozycją na powierzchni terenu pyłów i lekkich zanieczyszczeń unoszonych przez wiatr ze złoża odpadów. Zmierzony zasięg zanieczyszczenia gleb najczęściej nie przekracza kilkudziesięciu metrów i jest z reguły największy na kierunku przeważających wiatrów.

- **Główne strumienie wytwarzanych odpadów i sposób ich zagospodarowania**

Działalności składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Kędzierzynie-Koźlu towarzyszy powstawanie 23 rodzajów odpadów, w tym 7 zaliczanych do grupy odpadów niebezpiecznych.

Odpady niebezpieczne zagospodarowywane są w całości na drodze przekazywania odbiorcom zewnętrznym. Odbiorcami tych odpadów są podmioty posiadające zezwolenie na usuwanie odpadów niebezpiecznych, w tym na ich transport i unieszkodliwianie, wydane na podstawie Ustawy o odpadach [34].

Natomiast wytworzone odpady inne niż niebezpieczne są zagospodarowywane na drodze: przekazywania uprawnionej firmie zewnętrznej posiadającej zezwolenie na usuwanie odpadów innych niż niebezpieczne, w tym na ich transport i unieszkodliwianie, wydane na podstawie ustawy o odpadach [34].

Odpady o kodach: 15 01 01, 15 01 02, 15 01 04, 15 01 07, 16 01 17, 16 01 18, 19 12 01, 19 12 02, 19 12 03, 19 12 04, 19 12 05, 19 12 07, 19 12 10 są składowane w kwaterze, a odpady o kodach: 19 08 99, 19 12 12, 20 02 01. przekazywane do odbiorcy, który wykorzystuje je w procesach materiałowych (technologicznych) lub termicznych.

- **Ocena wpływu zakładu na środowisko jako całość i wpływ transgraniczny**

Technologia budowy, zabezpieczenia i eksploatacji składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Kędzierzynie-Koźlu jest rozwiązaniem powszechnie stosowanym na nowocześnie prowadzonych obiektach. Dla ochrony środowiska naturalnego jako całości szczególne znaczenie będą miały następujące operacje:

- odprowadzanie i zagospodarowanie odcieków z kwatery składowania odpadów oraz innych ścieków,
- składowanie odpadów w wyznaczonych działkach roboczych,
- dokładne zagęszczanie składowanych odpadów,
- wykonywanie warstw przekładkowych z materiału inertnego,
- zwilżanie składowanych odpadów,

- kontrolowane ujęcia biogazu, bezwzględnie kwalifikowanie odpadów do przyjęcia na wysypisko pod względem ich rodzaju,
- niedopuszczenie do przyjmowania odpadów niebezpiecznych, trujących, toksycznych, padłych zwierząt, opon,
- prowadzenie kontroli dostarczanych odpadów,
- mycie i dezynfekcja kół samochodów opuszczających składowisko,
- prowadzenie na bieżąco badań monitoringowych.

Dlatego też instalacja będzie miała kontrolowany wpływ na środowisko i nie spowoduje powstawania oddziaływań transgranicznych.

14.3. Charakterystyka techniczna kwatery nr 1

Miejskie Składowisko Odpadów innych niż niebezpieczne w Kędzierzynie-Koźlu zajmuje powierzchnię około 23 ha z czego obecnie wykorzystane jest 11 ha. Na jego obszarze znajdują się następujące obiekty:

- **Kwata nr 1 (1997-2005)** do składowania odpadów w postaci niecki o uszczelnionym dnie i skarpach, ze zdrenowanym podłożem dla odbioru wód odciekowych i systemem odgazującym, stanowi podstawowy obiekt na podstawie którego zaproponował autor niniejszej pracy, nowy sposób postępowania przy doborze izolacji i technologii położenia drenaży odcieków składowiskowych oraz sposobu posadowienia studni odgazujących. Obserwacje i wnioski zostały wykorzystane przy realizacji w 2004 roku nowego projektu budowlanego dla budowy inżynierskiej jakim jest składowisko odpadów [144, 145].

Składowisko jako obiekt inżynierski powinien posiadać stosowne urządzenia do prowadzenia procesu właściwej eksploatacji więc został wyposażony w następujące elementy:

- studnia połączeniowo-syfonowa,
- przepompownia odcieków,
- zbiornik odcieków,
- system rowów opaskowych części wód z „lasu”,
- brodzik dezynfekcyjny,
- stanowisko mycia i dezynfekcji pojazdów,
- stanowisko magazynowania i tankowania paliw,
- wiata technologiczna,

- budynek gospodarczo-socjalny,
- budynek magazynowo-warsztatowy,
- waga samochodowa elektroniczna,
- zaporą kierująca pojazdy,
- ogrodzenie,
- pas zieleni izolacyjnej o szerokości 20 m
- sprzęt mechaniczny: kompaktor Ł-34 K, sypchacz gąsienicowy T-130.

Powyższe instalacje i obiekty zostały opisane zgodnie z dyrektywą 96/61/WE [30], a w polskim prawie ochrony środowiska [32], wpisano zasady uzyskiwania zgód na prowadzenie instalacji poprzez wydawanie przez organ kontrolujący tzw. pozwoleń zintegrowanych. Kwaterna 1 uzyskała zgodę na eksploatację jako instalacja do składowania odpadów komunalnych zgodnie z decyzją w pozwoleniu zintegrowanym wydanym przez Marszałka Województwa Opolskiego [131]

Składowisko odpadów, które stanowi obiekt badań niniejszej pracy jest klasyfikowane do typu **innych niż niebezpieczne i obojętne** zgodnie z art.103 ust.2 ustawy o odpadach [34]

Do składowania odpadów została wykonana kwaterna nr 1 jako ziemny zbiornik ograniczony groblami ziemnymi o wysokości 1,5 – 3,8 m powyżej istniejącego terenu i szerokości korony 4 m z wyjątkiem wału zachodniego o szerokości korony 8 m, po którym przebiega droga dojazdowa oraz grobli po północnej stronie o szerokości korony 3 m i wysokości 1,2 – 3,0 m umożliwiającej dobudowę kolejnego fragmenty kwatery.

Dno i wewnętrzne skarpy tak wykonanej czaszy kwatery do składowania zostały uszczelnione w poniższy sposób (począwszy od gruntu rodzimego):

- warstwa o grubości 0,25 m stabilizująca naturalne podłoże,
- folia PEHD grubości 2,0 mm,
- geowłóknina o gramaturze 800 g/m²,
- warstwa o o grubości 0,4 m z gruntu piaszczystego.

Odwodnienie części kwatery 1, przewidziano w postaci 2 systemów drenażowych:

- drenażu odwodnieniowego (stabilizującego),
- drenażu odcieków.

Drenaż odwodnieniowy ma za zadanie ustabilizowanie zwierciadła wód gruntowych terenu I części kwatery. Składa się z rur perforowanych ϕ 100 mm w osypce filtracyjnej w rozstawie co 15 m. Wody z drenażu odwodnieniowego odprowadzane są do pogłębionego rowu melioracyjnego.

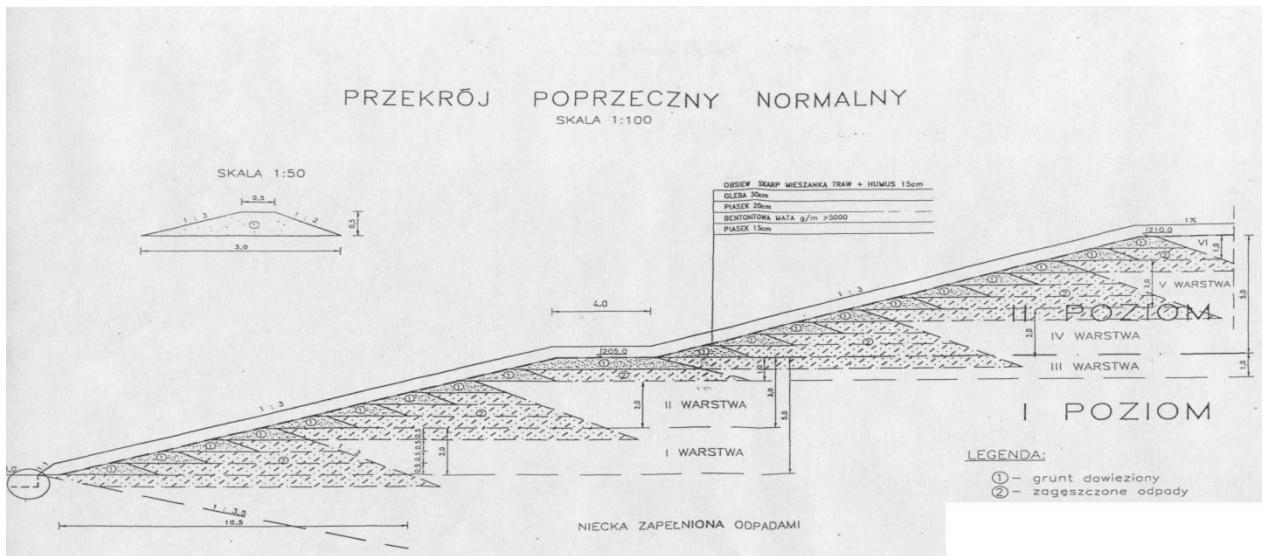
Drenaż odcieków ma za zadanie ujęcie i odprowadzenie odcieków z odpadów deponowanych w części I kwatery. Składa się z dwuciennych rur polipropylenowych, perforowanych i pełnych ϕ 100 mm i ϕ 150 mm w obsypce filtracyjnej ze spadkiem w kierunku studzienki połączeniowo-syfonowej. Wody z drenażu odcieków kierowane są do przepompowni i dalej do zbiornika odcieków, z którego tłoczone są rurociągiem do oczyszczalni ścieków w Zakładach Chemicznych Blachownia w obiegu zamkniętym.

Odgazowanie zostało wykonane z zastosowaniem 9 studni odgazowujących składających się z:

- rury odgazowującej z PEHD ϕ 160 mm zakończonej biofiltrem,
- słupa ze żwiru o granulacji 8/32 mm,
- rury ciągu, stalowej ϕ 1016 mm i długości 2,2 m,
- gazoszczelnej pokrywy.

Studnie gazowe rosną w górę wraz z warstwą deponowanych odpadów. Perforowana rura odgazowująca ϕ 160 mm jest przedłużana w rytmie dwumetrowym. Również rura ciągu jest sukcesywnie podciągana w górę o 2 m. Studnie zostały ułożone na podstawie betonowej na dnie niecki kwatery. Docelowo studnie gazowe zostaną podłączone poprzez kolektor zbiorczy do stacji spalania gazu – pochodni lub instalacji do produkcji energii elektrycznej.

Kwaterna 1 została poddana rekultywacji w 2004 roku po osiągnięciu rzędnej 210 m npm., na podstawie opracowanego projektu wykonawczego opartego na budowie kolejnych skarp z odpadów z niewielką warstwą izolacyjną i humusową, której przekrój poprzeczny przedstawiono na Rys. 25. Zastosowanie do budowy warstwy odpadów po odpowiednim zagęszczeniu przyczyniło się do zwiększenia powierzchni deponowania odpadów. Natomiast Rys. 26 przedstawia formowanie skarp z odpadów i materiału izolacyjnego od strony południowej, a Rys. 27 gotową uformowaną skarpe południową.



Rys. 25. Przekrój poprzeczny skarpy kwatery 1 składowiska [Źródło: MSO]



Rys. 26. Południowa skarpa kwatery 1 w trakcie rekultywacji 2004r.[MSO].



Rys. 27. Południowa skarpa po rekultywacji 2004r. [MSO]

14.4. Badania fizykochemiczne kwatery 1 prowadzone w latach 1998-2002

Weześniejsze badania nie wykazywały zasadniczych zmian w środowisku, więc sposób ich prowadzenia i dane nie zostały zamieszczone w tym materiale badawczym ponieważ były zgodne dla prowadzonych analiz przy badaniu ścieków wprowadzanych do wód lub do ziemi zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 21 grudnia 1991 roku [148] Na podstawie wyników prowadzonych badań wód podziemnych z otworów obserwacyjnych P1,P2,P3 i P4 stwierdzono, że składowisko nie wpływa niekorzystnie na jakość wód podziemnych.

Zestawienie wyników z punktów kontrolnych zlokalizowanych przed składowiskiem i za składowiskiem oraz wód drenażowych (drenaż podfoliowy) , wskazuje na niewielki wpływ składowiska na jakość wód powierzchniowych. Jakość wód powierzchniowych klasyfikuje je do I lub II klasy. Ten okres prowadzenia prac monitoringowych został zweryfikowany pozytywnie, a celem ujednoczenia parametrów badanych określonych do dalszego postępowania przyjęto założenia prowadzenia prac badawczych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 roku [150] w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk, które zostało całkowicie wprowadzone do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 roku w sprawie składowisk odpadów [140].

14.5.Charakterystyka techniczna kwatery 2

Kwaterna 2 została zaprojektowana jako zbiornik ograniczony od strony zachodniej, wschodniej i północnej ziemnymi groblami o wysokości 3,5 m – 4,0 m powyżej istniejącego terenu. Grobla od strony zachodniej stanowiąca równocześnie podbudowę drogi dojazdowej dla pojazdów dowożących odpady i kompaktora posiada szerokość korony 12 m. Grobla od strony wschodniej posiada szerokość korony 4 m. Natomiast grobla od strony północnej jest groblą technologiczną, która umożliwi dobudowę kolejnej kwatery. Szerokość jej korony to 3 m. Dno i wewnętrzne skarpy tak wykonanej czaszy kwatery do składowania zostały uszczelnione w poniższy sposób (począwszy od gruntu rodzimego)[131]:

- mata bentonitowa o gramaturze $g > 5000 \text{ g/m}^2$,
- folia PEHD grubości 2,0 mm,
- geowłóknina $g > 800 \text{ g/m}^2$,
- warstwa osłonowa o grubości 0,4 m z gruntu piaszczystego.

Na dnie kwatery została ułożona folia PEHD gładka, natomiast na skarpach folia strukturalna kolendrowana. Dodatkowo pod matą bentonitową ułożony został sensorowy system monitoringu warstwy uszczelniającej – DDS. Pozwala on na kontrolę stanu powłoki izolacyjnej do 20 lat eksploatacji obiektu. Specjalnie skonstruowane sensory, połączone ze sobą przewodami elektrycznymi, podłączone do skrzynki kontrolnej umiejscowionej w pobliżu przepompowni odcieków. Specjalnie opracowany program komputerowy pozwolił na lokalizację miejsca uszkodzenia z dokładnością +/- 150 mm.

Odwodnienie kwatery nr 2 przewidziano w postaci 2 systemów drenażowych:

- drenażu odwodnieniowego (stabilizującego),
- drenażu odcieków.

Drenaż odwodnieniowy ma za zadanie ustabilizowanie zwierciadła wód gruntowych terenu kwatery w odległości około 1,3 m od poziomu uszczelnienia kwatery. Składa się ze zbieracza z rur perforowanych PEHD ϕ 200 mm i perforowanych sączków drenażowych ϕ 110 mm w obsypce filtracyjnej w rozstawie co 15 m. Połączenie sączków ze zbieraczem następuje poprzez studzienki z PEHD ϕ 600 mm.

Wody z drenażu odwodnieniowego kwatery nr 2, w ramach pozwolenia wodno-prawnego na odprowadzanie wód z drenażu odwodnieniowego kwatery 1, odprowadzane były do pogłębionego rowu melioracyjnego.

Drenaż odcieków ma za zadanie ujęcie i odprowadzenie odcieków z odpadów deponowanych w kwaterze. Składa się z:

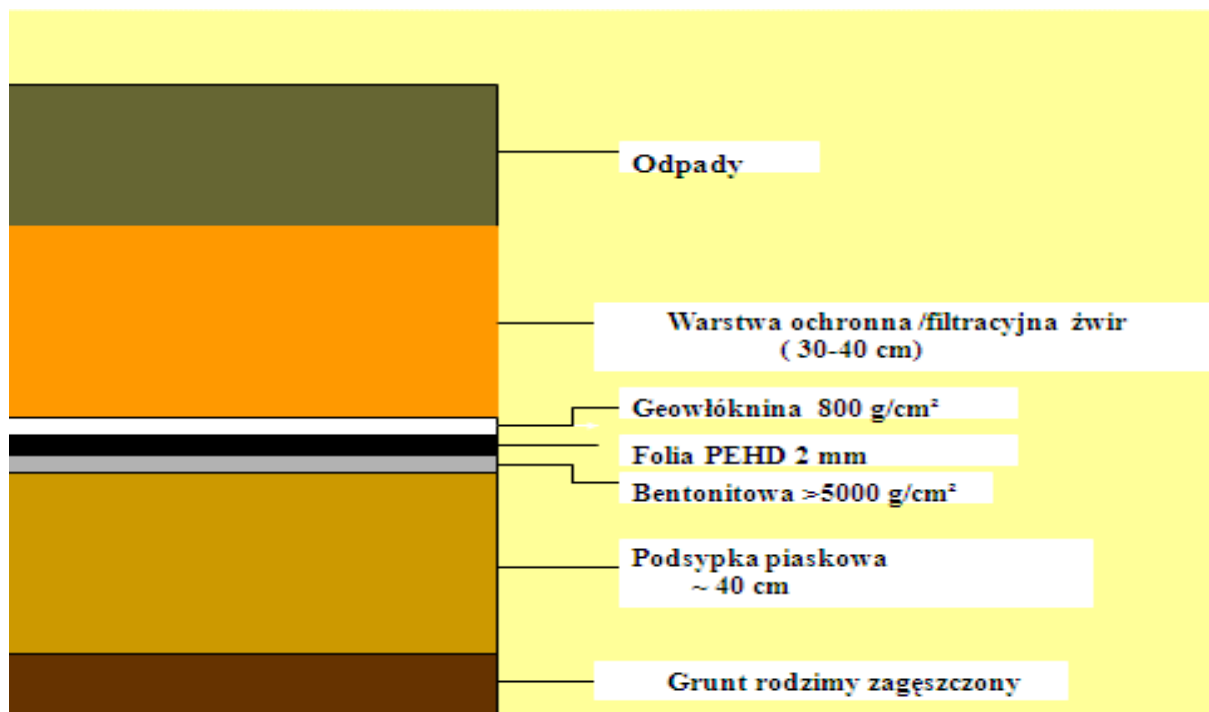
- zbieracza z pełnych rur kanalizacyjnych PEHD ϕ 200 mm łączonych za pomocą kielichów z uszczelkami,
- perforowanych sączków z rur PEHD ϕ 160 mm ułożonych w obsypce żwirowej,
- studni ϕ 800 mm z PEHD z osadnikiem.

Wody z drenażu odcieków kierowane są do przepompowni i dalej do zbiornika odcieków. Odgazowanie kwatery wykonano z zastosowaniem 12 studni odgazowujących składających się z:

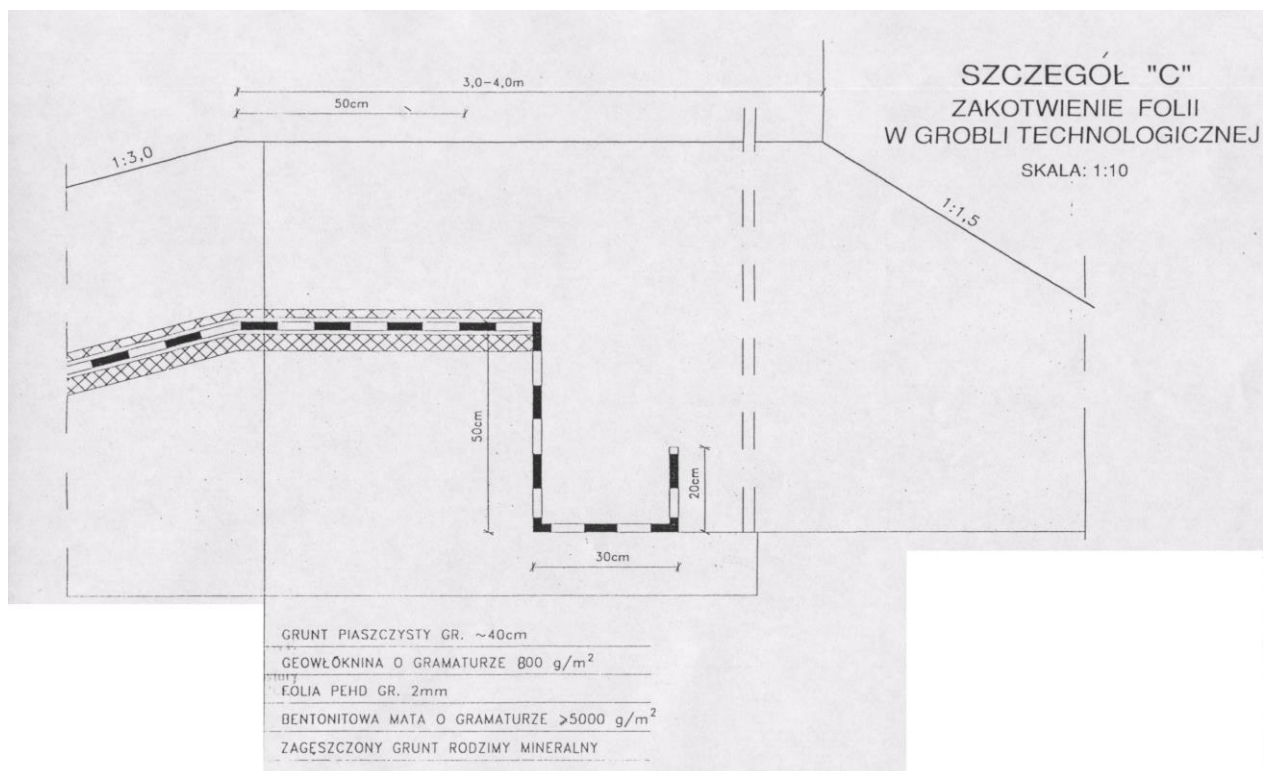
- rury odgazowującej z PEHD ϕ 160 mm zakończonej biofiltrem,
- słupa ze żwiru o granulacji 8/32 mm,
- rury ciągu, stalowej ϕ 1016 mm i długości 2,2 m,
- gazoszczelnej pokrywy.

Studnie gazowe rosły w górę wraz z warstwą deponowanych odpadów. Perforowana rura odgazowująca ϕ 160 mm była przedłużana w rytmie dwumetrowym. Również rura ciągu była sukcesywnie podciągana w górę o 2 m. Studnie ułożono na 1-metrowej warstwie zagęszczonych odpadów. W związku z tym ich budowa rozpoczęła się w drugim roku eksploatacji kwatery 2. Studnie gazowe kwatery 2 również były podłączone do stanowiska spalania gazu – pochodni. Podłączenie to nastąpiło po zakończeniu eksploatacji kwatery. W przypadku stwierdzenia, że jest to uzasadnione ekonomicznie, instalacja do utylizacji biogazu zostanie rozbudowana o generator do produkcji energii elektrycznej napędzany silnikiem spalinowym na biogaz [131].

Sposób uszczelnienia dna kwatery 2 został schematycznie przedstawiony na Rys. 28, a ważniejsze etapy procesu uszczelnienia z budowy kwatery 2 zostały przedstawione na Rys. 29-33.



Rys. 28. Schemat zaprojektowanego uszczelnienia dna kwatery 2 [Źródło: MSO]



Rys. 29. Schemat zakotwienia folii w grobli technologicznej [Źródło: MSO]



Rys. 30. Zdjęcie z budowy wykonania okrycia dna kwatery matą bentonitową, folią PEHD oraz geowłókniną [MSO]



Rys. 31. Zdjęcie z budowy z zakotwienia folii w grobli technologicznej [Źródło: MSO



Rys. 32. Sposób wykonania rowu „bez nazwy” odprowadzającego wody powierzchniowe z terenu składowiska przy kwaterze oraz spoza terenu składowiska.



Rys. 33. Kwatera 2 do składowania odpadów z pełnym systemem zabezpieczeń wód gruntowych. [Źródło:MSO]

15. Badania fizyko-chemiczne składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010

15.1. Stan gruntów na terenie obiektu badawczego

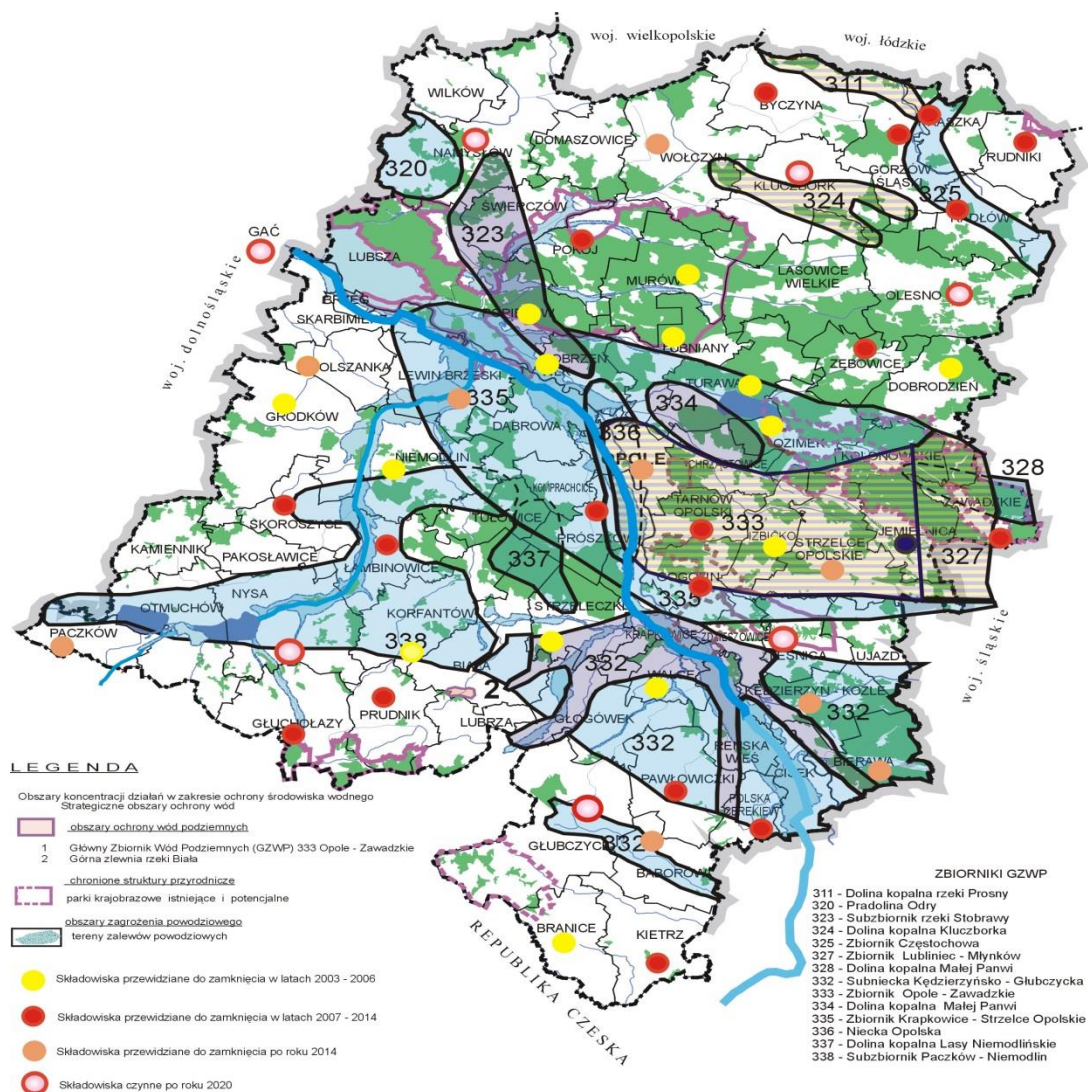
Warunki hydrogeologiczne

Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami hydrogeologicznymi [25] poziom wodonośny w utworach trzeciorzędowych wraz z wodami w czwartorzędowych dolinach kopalnych wydzielony został na Mapie Głównych Zbiorników Wód Podziemnych Wymagających Szczególnej ochrony jako zbiornik 332 Subniecka Kędzierzyńsko-Głubczycka o zasobach dyspozycyjnych 130 tys. m³/ dobę, który jest objęty wysoką (obszary OWO) i najwyższą ochroną (obszary ONO).

Planowane do rozbudowy składowisko położone jest w granicach obszaru wysokiej ochrony(OAO), poza strefą zasilania zbiornika GZPW 332 [25]. Zestawienie lokalizacji składowisk na terenie województwa opolskiego zostało przedstawione na Rys. 34 [188].

W podłożu i otoczeniu projektowanej kwatery składowiska rozpoznano następujące warunki hydrogeologiczne:

- Pierwszy, górny poziom wodonośny związany z warstwami piasków średnich zalegających od powierzchni do głębokości 3,0-12,5 m ppt., rozdzielonych warstwą glin piaszczystych o charakterze nieciągłym. Bezwzględne rzędne statycznego zwierciadła wody wynosiły 193,83-195,96 m npm. Spływ wody odbywa się zgodnie z ogólnym nachyleniem powierzchni w kierunku północno-zachodnim.
- Drugi poziom wodonośny był poniżej pyłów i glin na głębokościach 19,7 i 19,10 m ppt. Zwierciadło wody o charakterze napiętym stabilizowało się na rzędnych 190,83-191,97 m npm.



Rys. 5.1.1.4.4. Wykaz składowisk odpadów komunalnych oraz okres ich eksploatacji.

Rys. 34. Wykaz składowisk odpadów komunalnych na terenie Opolszczyzny wraz z oznaczeniem GZWP. [188]

➤ *Ocena przepuszczalności gruntów w podłożu kwatery*

Jak wykazały badania, warstwy wodonośne czwartorzędowych poziomów wykształcone są jako piaski średnioziarniste. Przepuszczalność warstw wodonośnych oznaczana była trzema metodami: [25]

- laboratoryjną w aparacie ZWK-2
- polową (zacierpywanie wody w otworach badawczych)
- empiryczną USBSC (na podstawie krzywych uziarnienia)

Wodoprzepuszczalność gruntów spoistych określono laboratoryjnie w edometrze przy zmiennym spadku hydraulicznym. Zbadane współczynniki filtracji dla gruntów przepuszczalnych zależnie od metody są zróżnicowane i wynoszą od $k=1,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ do $3,49 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

W oparciu o wykształcenie litologiczne, zaleganie w podłożu i przepuszczalność, grunty występujące w podłożu składowiska podzielono na następujące warstwy [25]:

- **Warstwa 1** obejmująca grunty przepuszczalne- piaski średnioziarniste występujące w strefie przypowierzchniowej do głębokości 3,2-12,8 m ppt.o współczynniku filtracji $k = 3,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ tj. 3,0 m/d
- **Warstwa 2** obejmująca gliny piaszczyste rozdzielające górne piaski warstwą o miąższości 1,6-4,8 na poziomie od 2,6-6,3 m ppt. i określonym współczynniku filtracji $k=1,32 \times 10^{-7} - 4,1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$. Grunty te nie stanowią wystarczającej bariery geologicznej wymaganej dla składowisk innych niż niebezpieczne dla których wymagana jest warstwa izolacyjna o grubości 0,5 m i współ. filtracji $k < 10^{-9} \text{ m/s}$.
- **Warstwa 3** obejmująca gliny pylaste i pyły w tym próchniczne, tworzące ciągłą warstwę o miąższości od 5-15 m, na poziomie 5-12,8m przy współczynniku filtracji od $k= 1,0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ do $1,9 \times 10^{-9} \text{ m/s}$. Jest to ciągła izolacja drugiego poziomu wodonośnego.

15.2.Podstawa prawna i zakres prowadzonych badań

Badania poszczególnych parametrów przeprowadzono dla wód powierzchniowych, podziemnych i odciekowych w zakresie parametrów badanych tj.:

- przewodności elektrolitycznej właściwej
- odczynu (pH)
- Zn

- Cr⁺⁶
- Cd
- Cu
- Pb
- Hg
- ogólnego węgla organicznego (OWO)
- sumy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Wszystkie dodatkowe parametry wskaźnikowe oznaczane dla wód powierzchniowych i odciekowych muszą być zgodne z listą określoną w załączniku do Rozporządzenia Ministra Środowiska z 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji do prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (obecnie Dz. U. z 2014 r. poz. 1482)[149] oraz Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 72, poz.466) [147].

15.3.Sposób poboru próbek z piezometrów wód podziemnych

- **Metodyki pobierania próbek**

Badania parametrów wskaźnikowych wykonano w laboratorium SGS EKO-PROJEKT Sp. z o.o. posiadającym kompetencje do przeprowadzania badań (włącznie z pobieraniem próbek) zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005

Przed akredytacją laboratoriów:

Wody podziemne: PN-ISO 5667-11

Wody powierzchniowe: PN-ISO 5667-6

Wody odciekowe: PN-ISO 5667-10

Pobrane próbki wód oraz wody odciekowe poddano analizie w wyżej wymienionym zakresie, a po akredytacji metodyki wykonywania oznaczeń laboratoryjnych przedstawiono w Tabeli 5.

Tabela 5. Zestawienie metodyk wykonania poszczególnych oznaczeń.

Oznaczenie	Jednostka	Wody podziemne		Wody powierzchniowe		Wody odciekowe	
		metodyka	A	metodyka	A	metodyka	A
Odczyn pH		PN-90 C-04540.01	A	PN-90 C-04540.01	A	PN-90 C-04540.01	A
PEW	μS/cm	PN-EN 27888:1999	A	PN-EN 27888:1999	A	PN-EN 27888:1999	A
Ołów	mg Pb/l	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-ISO 8288:2002	A
Kadm	mg Cd/l	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-ISO 8288:2002	A
Miedź	mg Cu/l	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-ISO 8288:2002	A
Cynk	mg Zn/l	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-ISO 8288:2002	A
Chrom(VI)	mg Cr +6/l	PN-77/C-04604.08	A	PN-77/C-04604.08	A	PN-77/C-04604.08	A
Rtęć	mg Hg/l	PN-EN 1483:2007	A	PN-EN 1483:2007	A	PN-EN 1483:2007	A
Nikiel	mg Ni/l	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-EN ISO 17294-2:2006	A	PN-EN ISO 17294-2:2006	A
OWO	mg C/l	PN-EN 1484:1999	A	PN-EN 1484:1999	A	PN-EN 1484:1999	A
WWA	μg/dl	PN-EN ISO 17993:2005	A	PN-EN ISO 17993:2005	A	PN-EN ISO 17993:2005	A

- **Sposób pobierania próbek**

W celu zagwarantowania najwyższej jakości usług laboratorium, w ramach procesu akredytacji, uzyskało potwierdzenie kompetencji wykonywania poboru próbek w zakresie zgodnym z Certyfikatem D-PL-14012-01-00

Do monitorowania otworów obserwacyjnych wykorzystano wytyczne dotyczące opracowywania programów pobierania próbek, technik pobierania próbek i postępowania z pobranymi próbkami wód podziemnych do oceny właściwości fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych zgodnie z Polską Normą PN-ISO 5667-11:2004.

W celu osiągnięcia reprezentatywności pobierania próbek zwracano szczególną uwagę na odpompowanie wody stagnującej w kolumnie otworu. Mając na uwadze pionową stratyfikację jakości wód, jak również złożoność ich przepływu, czas pompowania został obliczony wykorzystując dane dotyczące rozmiaru otworu obserwacyjnego, wydajności pompowania i przewodności hydraulicznej. W celu zapewnienia poboru odpowiedniej próbki (reprezentatywnej do badań laboratoryjnych) w trakcie pompowania dodatkowo monitorowano następujące parametry: pH, PEW, temperaturę oraz poziom zwierciadła wód. Wyniki pomiarów terenowych zostały udokumentowane w protokołach poboru próbek.

Do pobierania próbek wód podziemnych wykorzystano pompę zanurzeniową „GIGANT” wraz z pompą wspomagającą „WHALE” co zostało zilustrowane na Rys. 35.



Rys. 35. Przepompowanie wód podziemnych z piezometru. [źródło; Eko-projekt)

- **Aparatura badawcza wykorzystana przy wykonaniu oznaczeń**

- ·Spektrometr absorpcji atomowej Perkin Elmer 1100 z deuterową korekcją tła (F-AAS)(analiza metali);
- Spektrometr absorpcji atomowej Avanta PM firmy GBC z deuterową korekcją tła (F-AAS);(analiza metali);
- ·Spektrometr absorpcji atomowej Avanta ultra Z firmy GBC z korekcją tła Zeeman'a ze wzbudzeniem elektrotermicznym (GF-AAS); (analiza metali);
- ·Spektrometr absorpcji atomowej Lumex RA-915+ z korekcją tła Zemman'a, z przystawką do generowania zimnych par oraz przystawką pirolityczną (analiza rtęci);
- ·Spektrometr absorpcji atomowej Avante Sigme firmy GBC z korekcją deuterową (analiza metali);
- Spektrometr mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnej sprzężonej (ICP – MS) firmy Agilent Technologies – analiza wszystkich metali w wodach;
- Analizator rtęci AMA 254 (metoda absorpcyjnej spektrometrii) – oznaczanie rtęci w ściekach i odpadach;
- Aparat do pomiaru pH i PEW PC-1000-102/4E firmy Man-Tech (pH, PEW);
- ·Konduktometr / Solomierz CC-501, Elmetron;
- pH/jonometr CPI-501 ELMETRON do pomiaru odczynu, składu jonowego wody z wykorzystaniem elektrod jonoselektywnych;

- pH/konduktometr CPC-502 ELMETRON (pomiary pH i PEW);
- Analizator Ogólnego Węgla Organicznego Shimadzu TOC-5000A;
- Analizator Ogólnego Węgla Organicznego Shimadzu TOC-5050A;
- Analizator Ogólnego Węgla Organicznego Shimadzu TOC-VCSN;
- Chromatograf cieczowy Agilent 1200 HPLC z detektorem fluorescencyjnym; (analiza WWA).

- **Transport próbek do laboratorium**

Warunki transportu pobranych do analizy próbek wód istotnie wpływają na reprezentatywność pomiarów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wykonywania badań parametrów, które w efekcie procesów biochemicznych i fizycznych w różnym stopniu mogą się zmieniać w czasie od momentu pobrania próbki do wykonania poszczególnych analiz.

Z tego względu próby po poborze i ewentualnym utrwaleniu były niezwłocznie dostarczone do laboratorium i poddane analizie. Próbki po pobraniu i w trakcie transportu były przechowywane w temperaturze niższej niż wynosiła temperatura pobieranej wody. Zgodnie z obowiązującymi normatywami próbki przechowywano w temperaturze poniżej 4°C.

Wody podziemne zostały pobrane zgodnie z wytycznymi PN-ISO 5667-11 przy użyciu pompy zanurzeniowej „GIGANT” wraz z pompą wspomagającą „WHALE” W celu odpompowania wody stagnującej, każdy piezometr przepompowano na podstawie obliczeń wynikających z wydajności pompy oraz objętości wody [Q] w otworze. W celu potwierdzenia założenia, że woda pobrana do analiz fizyko-chemicznych pochodzi bezpośrednio z poziomu wodonośnego w trakcie pompowania prowadzono badania pH, temperatury i przewodności elektrycznej.

W system sieci monitoringowej wód podziemnych na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Sławięcicach wchodzi następujące punkty obserwacyjne:

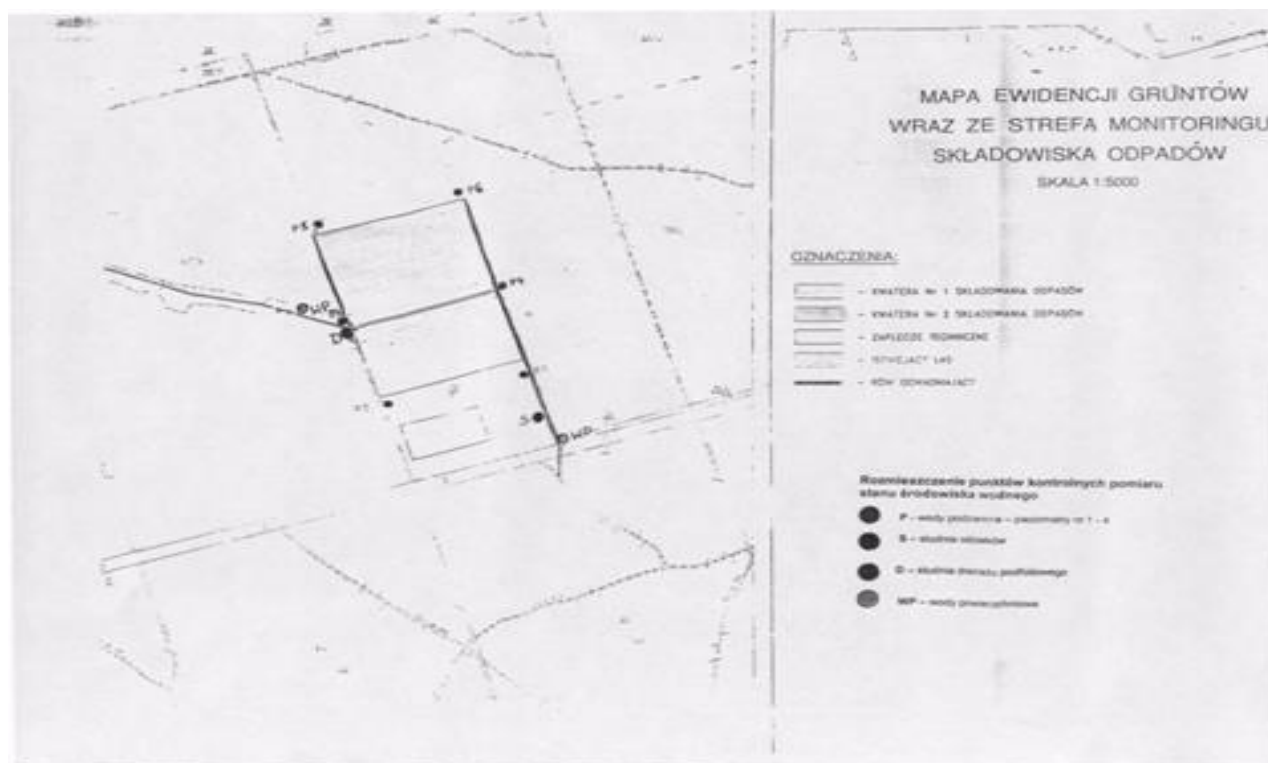
- **piezometry P1 oraz P2** – zlokalizowane od strony napływu wód w rejon kwatery 1 składowiska,
- **piezometry P3, oraz P4**,– zlokalizowane od strony odpływu wód podziemnych, poniżej kwatry 1 składowiska .
- **Piezometry P5, oraz P6** są zlokalizowane od strony odpływu wód podziemnych po wybudowaniu kwatery 2.

Położenie poszczególnych badanych piezometrów zestawiono w Tabeli 6 i zilustrowano na Rys. 36

Tabela 6. Położenie badanych piezometrów.

Nr otworu	współrzędne geograficzne	
	długość	szerokość
P1	E 18° 18.567'	N 50° 20.610 '
P2	E 18° 18.417'	N 50° 20.587'
P3	E 18° 18.325'	N 50°20.699'
P4	E 18°18.530'	N 50° 20.724
P5	E 18° 18.306'	N 50°20.765
P6	E 18° 18.488'	N 50°20.801'

Na schemacie poniżej opisane są stanowiska piezometrów na terenie MSO Rys. 36.



Rys. 36. Położenie piezometrów przed i za kwatarami składowania odpadów w Kędzierzynie-Koźlu.[Źródło: MSO]

Jakość wody z piezometrów określono na podstawie wytycznych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz. U. z 2008, Nr 143, poz. 896).[146] zestawiono w tabeli 7, gdzie kolorem zielonym odznaczono klasy I,II,III jakości wód podziemnych w zakresie dobrym oraz klasy IV i V w zakresie słabym.

Natomiast wymagania dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 20.04.2010 roku [147] oznaczono kolorem niebieskim.

Tabela 7. Kryteria i ocena stanu wód podziemnych (Dz. U. z 2008r. Nr 143 poz. 896)[146,147].

Klasa jakości wód podziemnych							Wymagania dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi
Oznaczenie	Jednostka	Dobry stan chemiczny			Słaby stan chemiczny		
		I	II	III	IV	V	
Odczyn	pH	6,5	7,5	9,5	6	10	6,5-9,5
PEW	μs/cm	700	2500*	2500*	3000	3000	2500
Ołów	mg/l	0,01	0,025	0,1*	0,1*	>0,1	0,02
Kadm	mg/l	0,001	0,003	0,005	0,01	>0,01	0,025
Miedź	mg/l	0,01	0,05	0,2	0,5	>0,5	nie klas.
Cynk	mg/l	0,05	0,5	1	2	>2	0,003
Chrom (IV)	mg/l						0,05
Rtęć	mg/l	0,001*	0,001*	0,001*	0,005	>0,005	0,001
Nikiel	mg/l	0,005	0,01	0,02	0,1	>0,1	2
OWO	mgC/l	5	10*	10*	20	>20	nie klas.
WWA	mg/l	0,0001	0,0002	0,0003	0,0005	> 0,0005	0,0001

Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczenia w ściekach przemysłowych podano w Tabeli 8.

Tabela 8. Dopuszczalna wartość wskaźników zanieczyszczenia w ściekach przemysłowych.(Dz. U. z 2006r. Nr 136, poz. 963)

Dopuszczalna wartość wskaźników zanieczyszczenia w ściekach przemysłowych		
Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Odczyn	pH	6,5-9,5
PEW	μs/cm	
Ołów	mg/l	1
Kadm	mg/l	0,4
Miedź	mg/l	1
Cynk	mg/l	5
Chrom (VI)	mg/l	0,2
Rtęć	mg/l	0,06*
Nikiel	mg/l	1
OWO	mgC/l	
WWA	mg/l	0,2

*średnia/dobę

15.4. Wyniki badań z piezometrów wód podziemnych

Zestawienie danych pomiarowych uzyskanych w latach 2004-2010 z monitoringu kwatery 1, na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu, odnoszących się odpowiednio do piezometrów 1,2,3 i 4 zawarto w Tabelach 9,10,11 i 12 i dodatkowo zilustrowano Wykresami 1-11.

Zestawienie danych pomiarowych uzyskanych w latach 2006-2010 z monitoringu kwatery 2, odnoszących się odpowiednio do piezometrów 5 i 6, zawarto w Tabelach 13 i 14.

Zestawienie obejmuje wartości z 2010 roku ponieważ stan fizyko-chemiczny wód z piezometrów pozostawał niezmienny w badanym okresie tj. 2006-2010r.

Tabela 9. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 1**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 1 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010 – Piezometr 1												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	przew. elektr.	Metale mg/l							OWO	WWA
1	Data	pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mg/l	mg/l
2	mar-04	6,97	160	0,034	0,001	0,002	0,019	0,001	0,001		12,6	0,00001
3	kwi-04	6,65	150	0,0014	0,0005	0,003	0,216	0,0005	0,0005		142,45	0,00001
4	wrz-04	7,06	357	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005		22,54	0,00001
5	gru-04	7,06	520	0,001	0,001	0,001	0,023	0,001	0,0005		12,5	0,00001
6	cze-05	7,25	390	0,006	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		14,58	0,00003
7	wrz-05	7,28	434	0,008	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		5,19	0,00001
8	gru-05	7,01	439	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,0005	0,0005		7,05	0,00001
9	mar-06	6,78	571	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,001	0,0005		4,28	0,00001
10	cze-06	7,32	395	0,01	0,0003	0,002	0,06	0,001	0,0005		11,14	0,00001
11	wrz-06	6,72	526	0,002	0,00015	0,002	0,05	0,001	0,0005		9,7	0,00002
12	gru-06	7,28	546	0,01	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		6,2	0,00001
13	mar-07	7,01	514	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,011	0,0005		0,5	0,00001
14	cze-07	7,07	368	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		20,1	0,00005
15	wrz-07	7,05	466	0,007	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		6	0,00001
16	gru-07	6,95	534	0,004	0,0003	0,002	0,025	0,011	0,0005		11,7	0,00001
17	mar-08	7,1	506	0,006	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005		3,9	0,00001

Tabela 9 c.d.

18	cze-08	7,21	484	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,005	0,0005		16,5	0,00001
19	wrz-08	7,46	404	0,002	0,00015	0,001	0,05	0,01	0,0005		9,6	0,00001
20	gru-08	7,39	381	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005		5,2	0,00001
21	mar-09	7,18	592	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,005	0,00005		21,8	0,00006
22	cze-09	7,56	413	0,004	0,0003	0,014	0,27	0,01	0,00005	0,005	13,4	0,00006
23	wrz-09	7,49	796	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,00005	0,009	18,3	0,00006
24	gru-09	7,44	533	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,00005	0,005	0,5	0,00006
25	mar-10	7,19	532	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	13,5	0,00006
26	cze-10	7,39	475	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	15,9	0,00006
27	wrz-10	7,48	392	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,006	8,4	0,00006
28	gru-10	7,81	329	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	3,9	0,00006

Tabela 10. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 2.**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 1 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010 - Piezometr 2												
L.p.	Data mc-rok	Odczyn	Przew. elektr.	Metale mg/l						OWO	WWA	
		pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mg/l	mg/l
1	mar-04	6,72	150	0,018	0,0011	0,001	0,026	0,0005	0,0005		10,26	0,00001
2	cze-04	6,77	180	0,00025	0,0005	0,007	0,062	0,0005	0,0005		4,05	0,00001
3	wrz-04											
4	gru-04	7,15	577	0,005	0,0005	0,002	0,056	0,001	0,0005		3,33	0,00001
5	mar-05											
6	cze-05											
7	wrz-05											
8	gru-05	7,01	729	0,005	0,0003	0,004	0,05	0,0005	0,0005		30,32	0,00001
9	mar-06	6,87	619	0,04	0,0003	0,004	0,05	0,001	0,0005		9,42	0,00001
10	cze-06	7,69	671	0,002	0,0003	0,002	0,025	0,001	0,0005		15,3	0,00001
11	wrz-06	7,07	607	0,006	0,00015	0,006	0,05	0,001	0,0005		10,4	0,00005
12	gru-06	7,05	646	0,008	0,0003	0,004	0,05	0,001	0,0005		3,9	0,00001
13	mar-07	7,08	757	0,002	0,0003	0,005	0,025	0,011	0,0005		5,1	0,00001
14	cze-07	6,98	899	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		65,2	0,00005
15	wrz-07	6,66	985	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		8,9	0,00001
16	gru-07	6,95	978	0,004	0,0003	0,002	0,06	0,0055	0,0005		17,2	0,00001

Tabela 10 c.d.

17	mar-08	7,22	1179	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005		8,2	0,00001
18	cze-08	7,65	1200	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005		10,9	0,00001
19	wrz-08	7,2	1229	0,002	0,0004	0,003	0,05	0,01	0,0005		5,4	0,00001
20	gru-08	7,32	1213	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,01	0,0005		2,6	0,00001
21	mar-09	7,71	1185	0,002	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005		21	0,00006
22	cze-09	7,54	1094	0,004	0,0003	0,011	0,025	0,01	0,00005	0,008	0,5	0,00006
23	wrz-09	7,64	1301	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,00005	0,019	12	0,00006
24	gru-09	7,53	1179	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,00005	0,005	13,7	0,00006
25	mar-10	7,2	1150	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,01	0,00005	0,009	13,9	0,00006
26	cze-10	7,51	1120	0,004	0,0003	0,006	0,05	0,01	0,00005	0,01	16,2	0,00006
27	wrz-10	7,4	1049	0,004	0,0006	0,004	0,05	0,01	0,00005	0,017	8,9	0,00006
28	gru-10	7,32	982	0,004	0,0009	0,00	0,05	0,01	0,00005	0,01	11	0,00006

Tabela 11. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 3**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 1 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010 - Piezometr 3												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	przew. elektr.	Metale mg/l							OWO	WWA
		pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mg/l	mg/l
1	mar-04	6,64	70	0,02	0,0007	0,002	0,017	0,0005	0,001		16,58	0,00001
2	cze-04	6,5	75	0,002	0,0005	0,004	0,036	0,0005	0,0005		0,94	0,00001
3	wrz-04	6,47	248	0,0005	0,0005	0,001	0,175	0,0005	0,0005		0,94	0,00001
4	gru-04	7,01	238	0,001	0,0005	0,002	0,062	0,0005	0,0005		5	0,00001
5	mar-05	7,33	218	0,014	0,001	0,006	0,11	0,001	0,0005		288,5	0,00002
6	cze-05	7,54	224	0,002	0,0003	0,001	0,05	0,001	0,0005		26,8	0,000005
7	wrz-05	7,04	225	0,008	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		11,54	0,00001
8	gru-05	7,01	210	0,018	0,0003	0,008	0,05	0,0005	0,0005		18,13	0,00001
9	mar-06	7,23	210	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		5,05	0,00001
10	cze-06	6,74	229	0,007	0,0003	0,002	0,025	0,001	0,0005		17,1	0,00001
11	wrz-06	6,81	240	0,002	0,0004	0,004	0,05	0,001	0,0005		10	0,00005
12	gru-06	7,18	216	0,015	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		2,7	0,00001
13	mar-07	7,18	214	0,007	0,0003	0,006	0,025	0,011	0,0005		2,4	0,00001
14	cze-07	7,04	215	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		35,9	0,000005
15	wrz-07	6,97	181	0,005	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		12,4	0,00001
16	gru-07	7,3	185	0,004	0,0003	0,002	0,08	0,0055	0,0005		7,1	0,00001
17	mar-08	7,22	216	0,012	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005		4,9	0,00001
18	cze-08	7,77	219	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,005	0,0005		3,6	0,00001

Tabela 11 c.d.

19	wrz-08	7,12	156	0,002	0,0004	0,005	0,05	0,01	0,0005		13,4	0,00001
20	gru-08	7,7	186	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005		6,7	0,00001
21	mar-09	7,43	204	0,0025	0,0003	0,001	0,05	0,005	0,00005		4	0,00006
22	cze-09	7,63	191	0,004	0,0003	0,003	0,025	0,01	0,00005	0,0025	4,3	0,00006
23	wrz-09	7,37	166	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005	0,005	7,1	0,00006
24	gru-09	7,55	208	0,002	0,0003	0,006	0,05	0,01	0,00005	0,005	4,3	0,00006
25	mar-10	7,33	238	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	7,4	0,00006
26	cze-10	7,54	206	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	6,4	0,00006
27	wrz-10	7,3	226	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	5,9	0,00006
28	gru-10	7,52	204	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	3,3	0,00006

Tabela 12. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 4**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 1 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010 - Piezometr 4												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	przew. elektr.	Metale mg/l							OWO	WWA
		pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mg/l	mg/l
1	mar-04	7,47	70	0,011	0,006	0,002	0,007	0,0005	0,001		3,16	0,00001
2	cze-04	7,33	80	0,00025	0,0005	0,002	0,044	0,001	0,0005		5,4	0,00001
3	wrz-04	6,81	251	0,0005	0,0005	0,001	0,058	0,001	0,0005		14,08	0,00001
4	gru-04	7,21	284	0,002	0,0005	0,001	0,032	0,0005	0,0005		5,83	0,00001
5	mar-05	7,37	220	0,008	0,0001	0,002	0,025	0,001	0,0005		522,9	0,00006
6	cze-05	7,62	216	0,002	0,0003	0,003	0,05	0,001	0,0005		25,25	0,00002
7	wrz-05	6,95	226	0,007	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		5,91	0,00001
8	gru-05	7,02	244	0,002	0,0003	0,003	0,05	0,001	0,0005		5,91	0,00001
9	mar-06	7,05	205	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		2,86	0,00001
11	cze-06	7,5	257	0,004	0,0003	0,002	0,025	0,001	0,0005		10	0,00001
12	wrz-06	7,08	298	0,013	0,00015	0,01	0,05	0,001	0,0005		5,2	0,000005
13	gru-06	7,3	211	0,015	0,0003	0,003	0,05	0,001	0,0005		1,3	0,00001
14	mar-07	7,16	172	0,021	0,0003	0,01	0,025	0,011	0,0005		3,8	0,00001
15	cze-07	6,91	225	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		33,8	0,00002
16	wrz-07	7,15	218	0,006	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		4,5	0,00001
17	gru-07	7,19	148	0,004	0,0003	0,002	0,025	0,0055	0,0005		5,1	0,00001
18	mar-08	7,14	153	0,016	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		11,2	0,00001
19	cze-08	7,58	149	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,005	0,0005		4	0,00001
20	wrz-08	7,1	136	0,004	0,00015	0,002	0,05	0,01	0,0005		9,1	0,00001
21	gru-08	7,62	141	0,004	0,0003	0,001	0,05	0,01	0,0005		4,7	0,00001

Tabela 12 c.d.

21	mar-09	6,36	217	0,006	0,0003	0,007	0,05	0,005	0,00005		17,4	0,00006
22	cze-09	6,8	113	0,004	0,0003	0,01	0,025	0,01	0,00005	0,0025	17,5	0,00006
23	wrz-09	6,42	131	0,004	0,0003	0,008	0,05	0,01	0,00005	0,005	14,5	0,00006
24	gru-09	6,42	141	0,005	0,0003	0,009	0,05	0,01	0,00005	0,006	13,9	0,00006
25	mar-10	7,48	155	0,004	0,0003	0,008	0,11	0,01	0,00005	0,005	5,7	0,00006
26	cze-10	8,63	175	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,01	0,00005	0,005	7,2	0,00006
27	wrz-10	7,31	188	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	5,7	0,00006
28	gru-10	7,6	198	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	4,1	0,00006

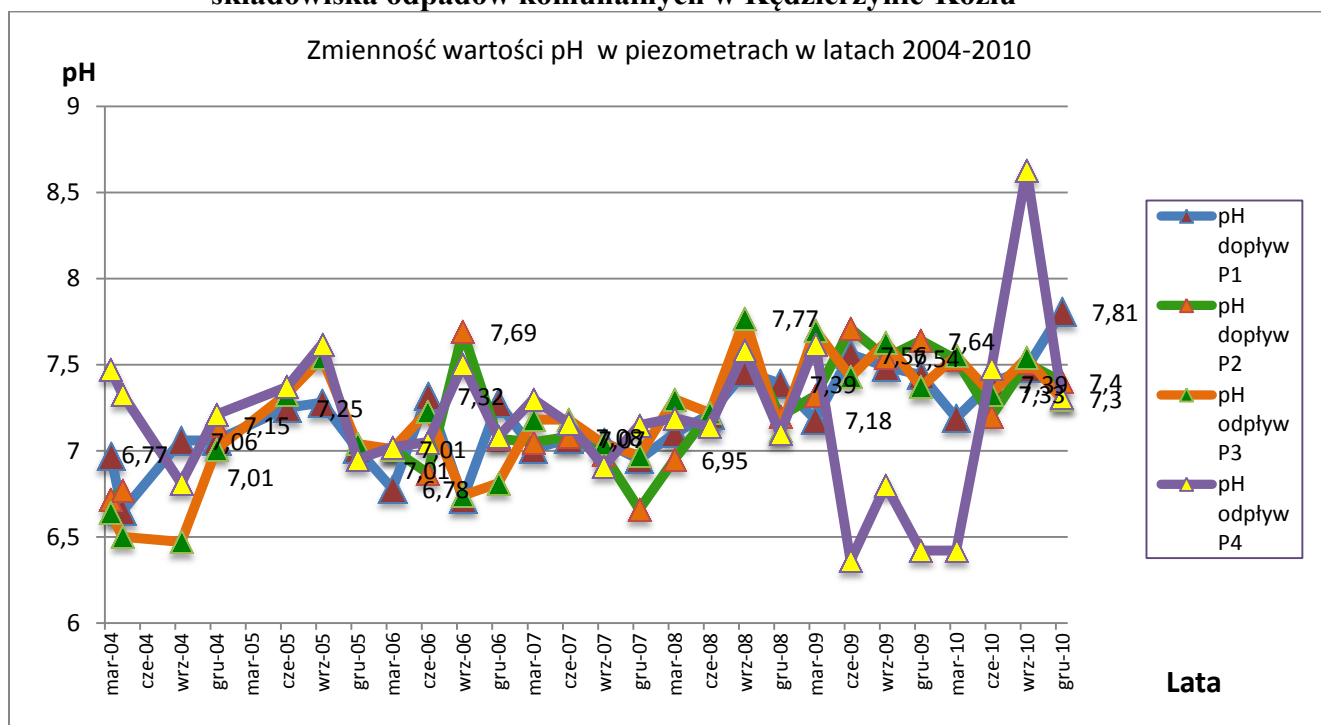
Tabela 13. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 2** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2006-2010 - Piezometr 5.** (Wyniki podane w Tabeli 13 dotyczą 2010 roku i są porównywalne z wynikami wcześniejszymi, a stanowią tylko o niezmienności badanych parametrów w wodach podziemnych)

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 2 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w 2010 - Piezometr 5												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	przew. elektr.	Metale mg/l							OWO	WWA
	Data	pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mg/l	mg/l
1	mar-10	6,53	300	0,004	0,0003	0,006	0,05	0,01	0,00005	0,005	28,1	0,00006
2	cze-10	6,67	131	0,004	0,0003	0,004	0,05	0,01	0,00005	0,005	12,7	0,00006
3	wrz-10	6,53	168	0,004	0,0004	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,006	14	0,00006
4	gru-10	6,52	145	0,004	0,0004	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	10,1	0,00006

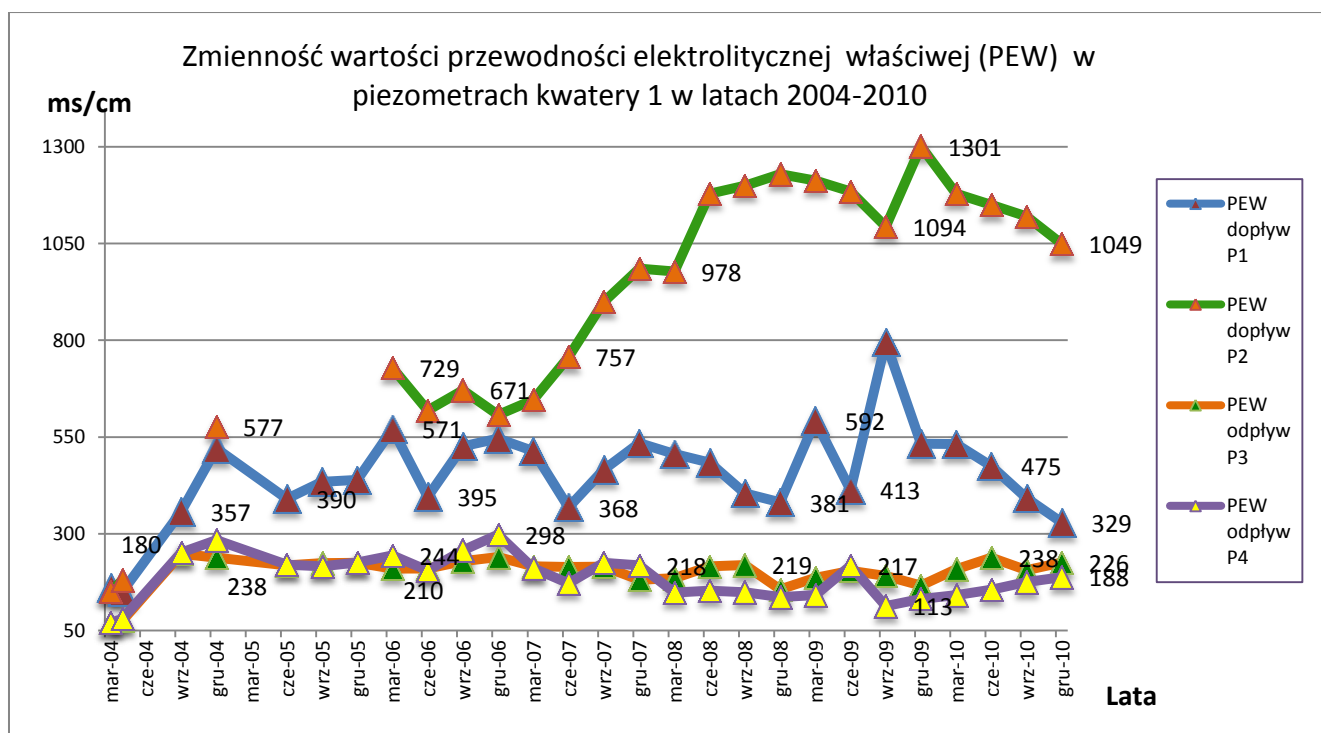
Tabela nr 14. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 2** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2006-2010 - Piezometr 6.**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 2 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w 2010 - Piezometr 6. (Wyniki podane w Tabeli 14 dotyczą 2010 roku i są porównywalne z wynikami wcześniejszymi, a stanowią tylko o niezmienności badanych parametrów w wodach podziemnych)												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	przew. elektr.	Metale mg/l							OWO	WWA
	Data	pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mg/l	mg/l
1	mar-10	6,88	223	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	2,9	0,00006
2	cze-10	7,02	122	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	4,7	0,00006
3	wrz-10	6,71	176	0,004	0,0004	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,006	5,4	0,00006
4	gru-10	7	129	0,004	0,0004	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	3,8	0,00006

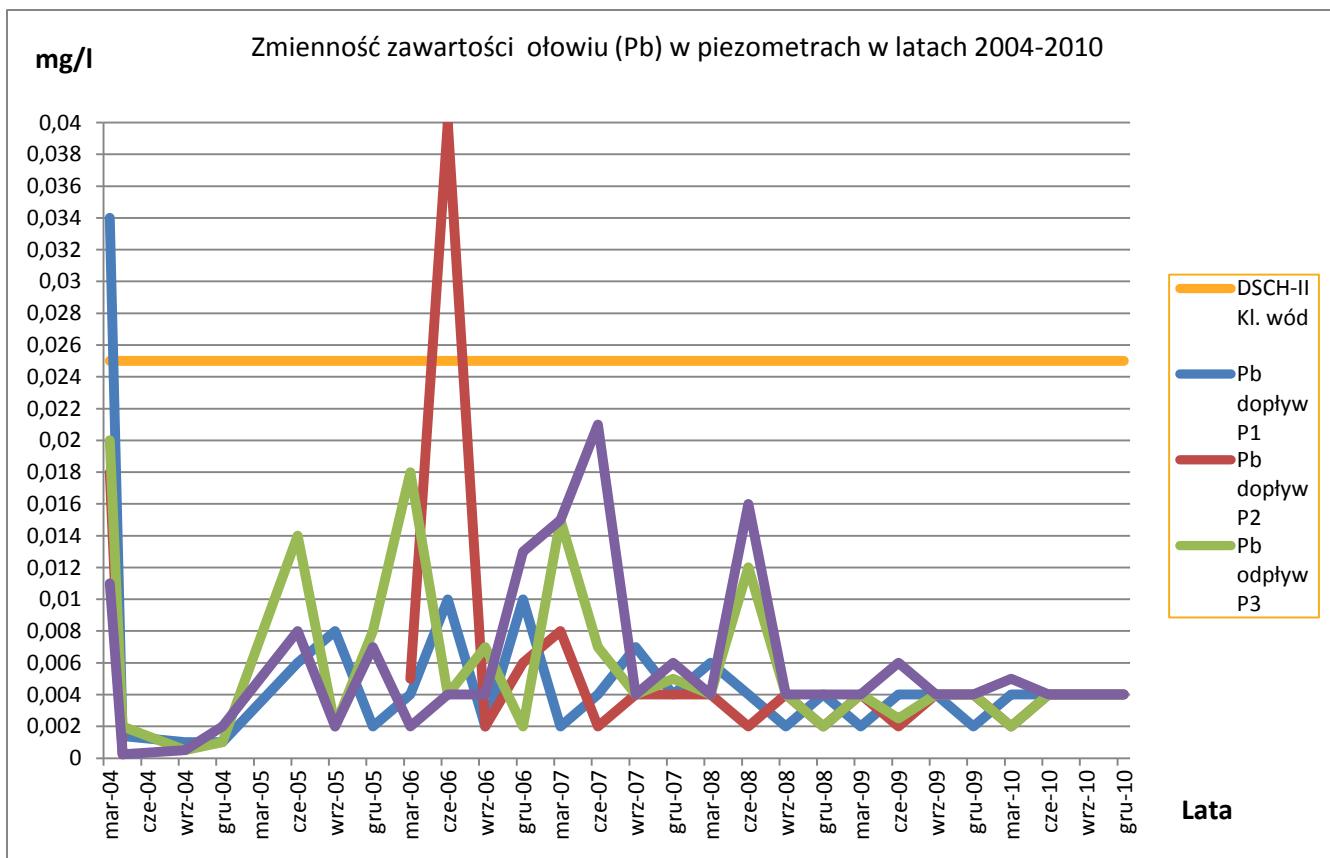
Zastawienie zmiennych wartości badanych parametrów wód podziemnych wg Tabel 9,10,11,12 w piezometrach P1, P2, P3, P4, dla kwatery 1 w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu



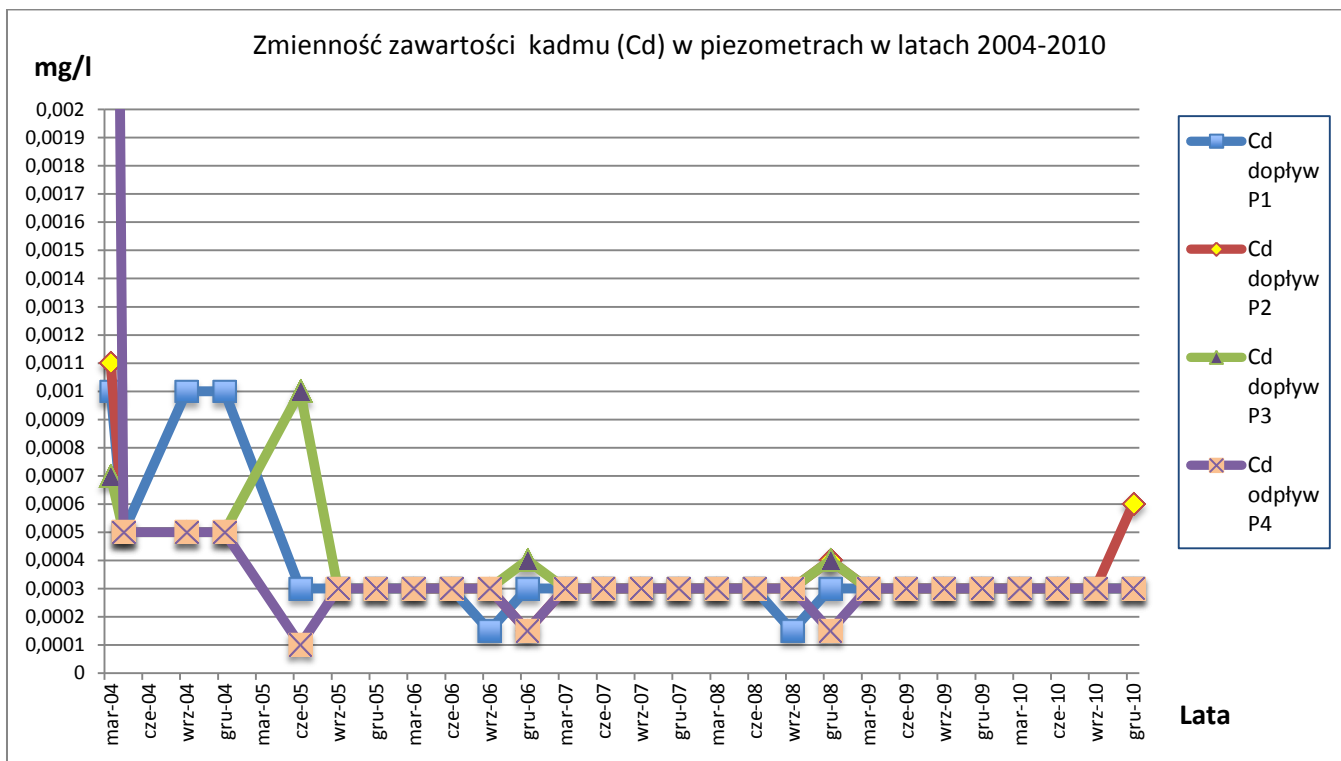
Wykres 1. Zmienność pH w piezometrach P1, P2, P3, P4 w latach 2004-2010



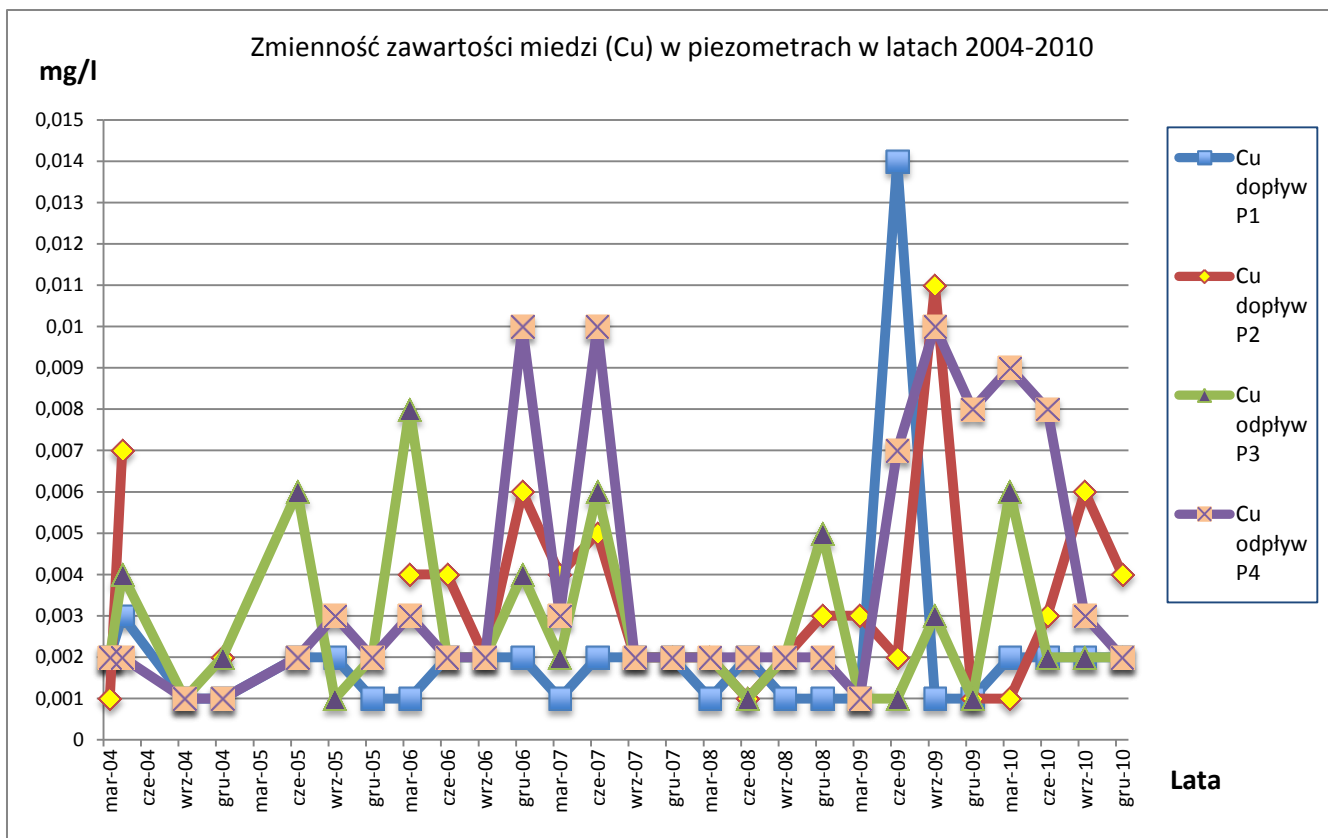
Wykres 2. Zmienność przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) w piezometrach P1, P2, P3, P4 w latach 2004-2010



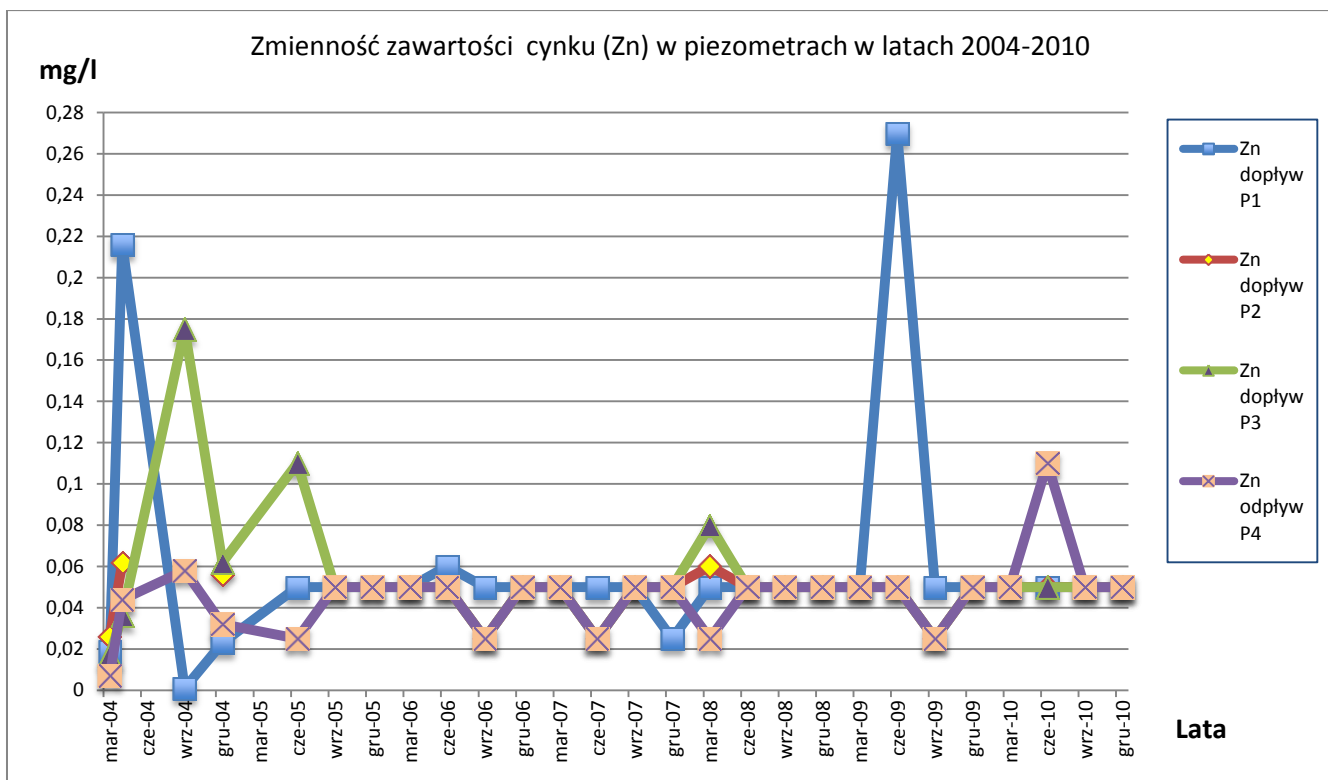
Wykres 3. Zmienność zawartości ołowiu (Pb) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



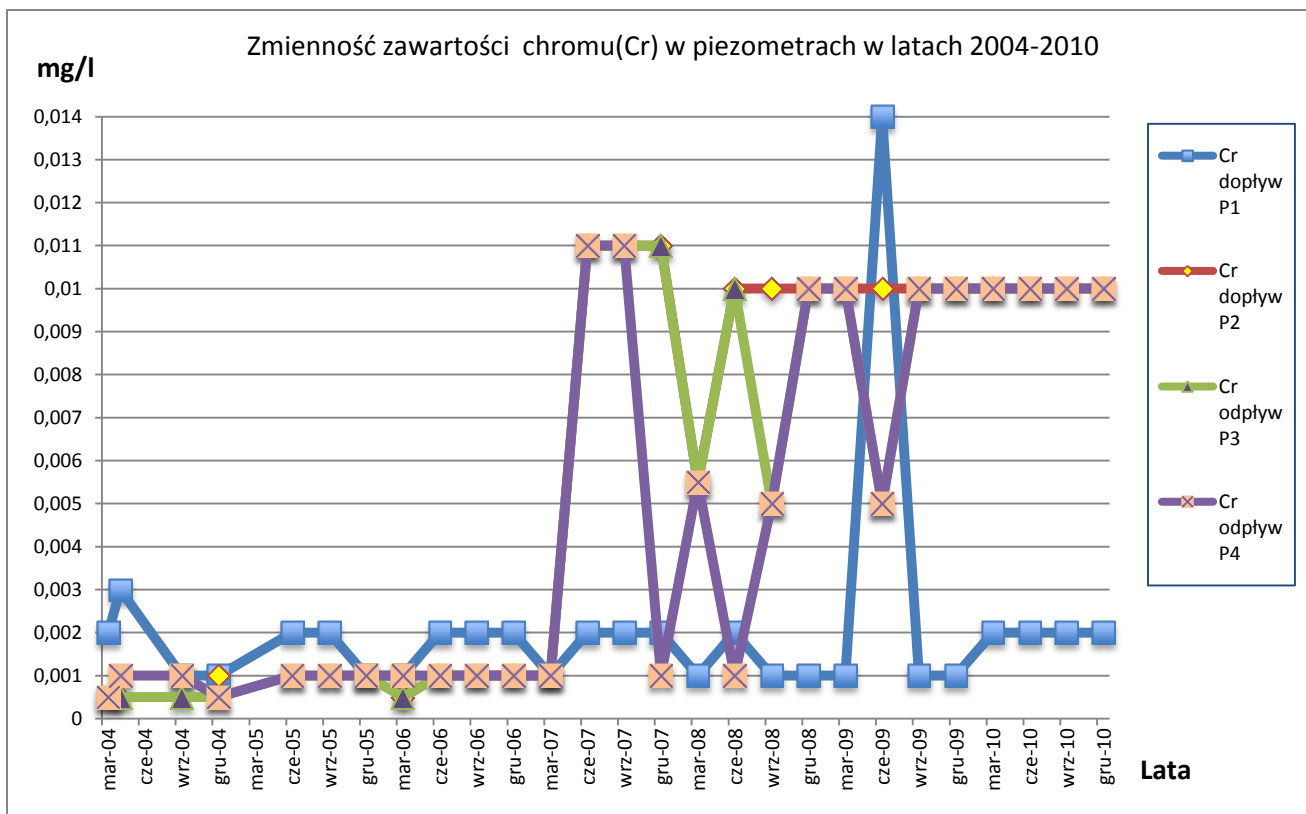
Wykres 4. Zmienność zawartości cynku (Cd) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



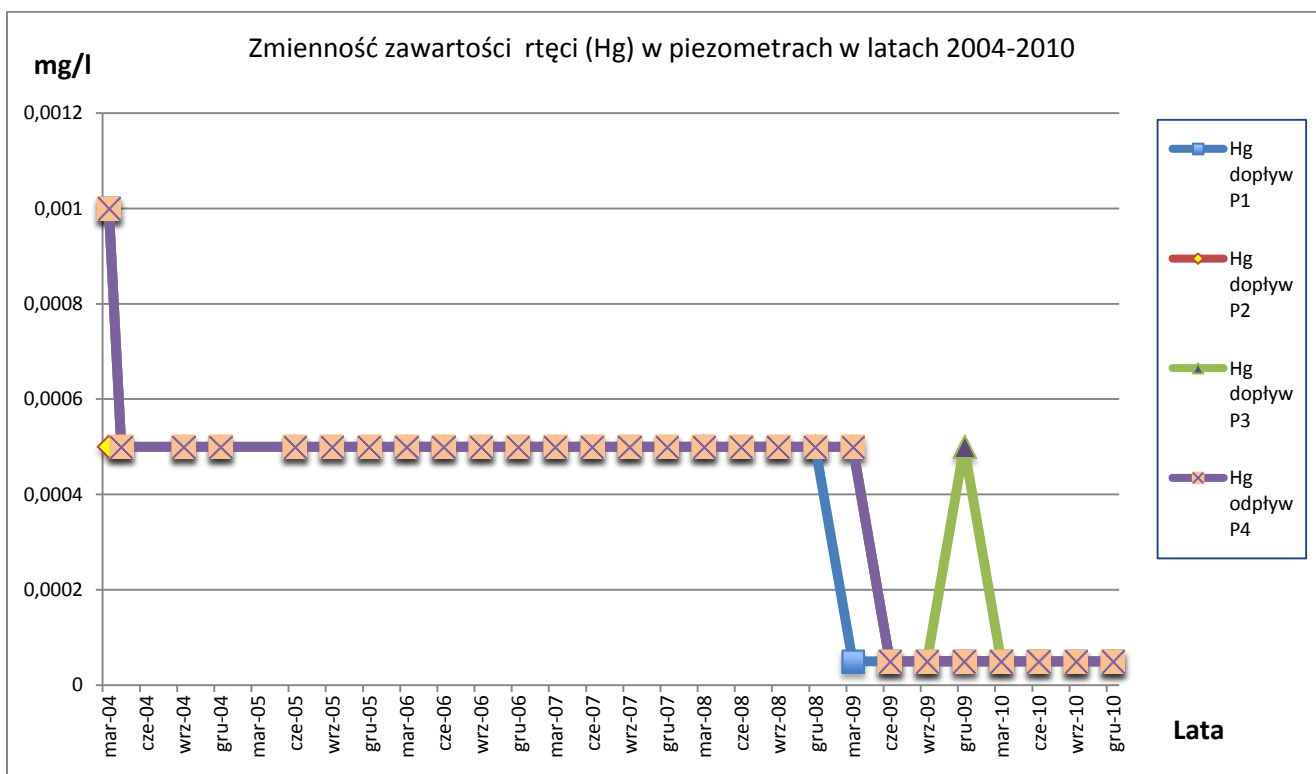
Wykres 5. Zmienność zawartości miedzi (Cu) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



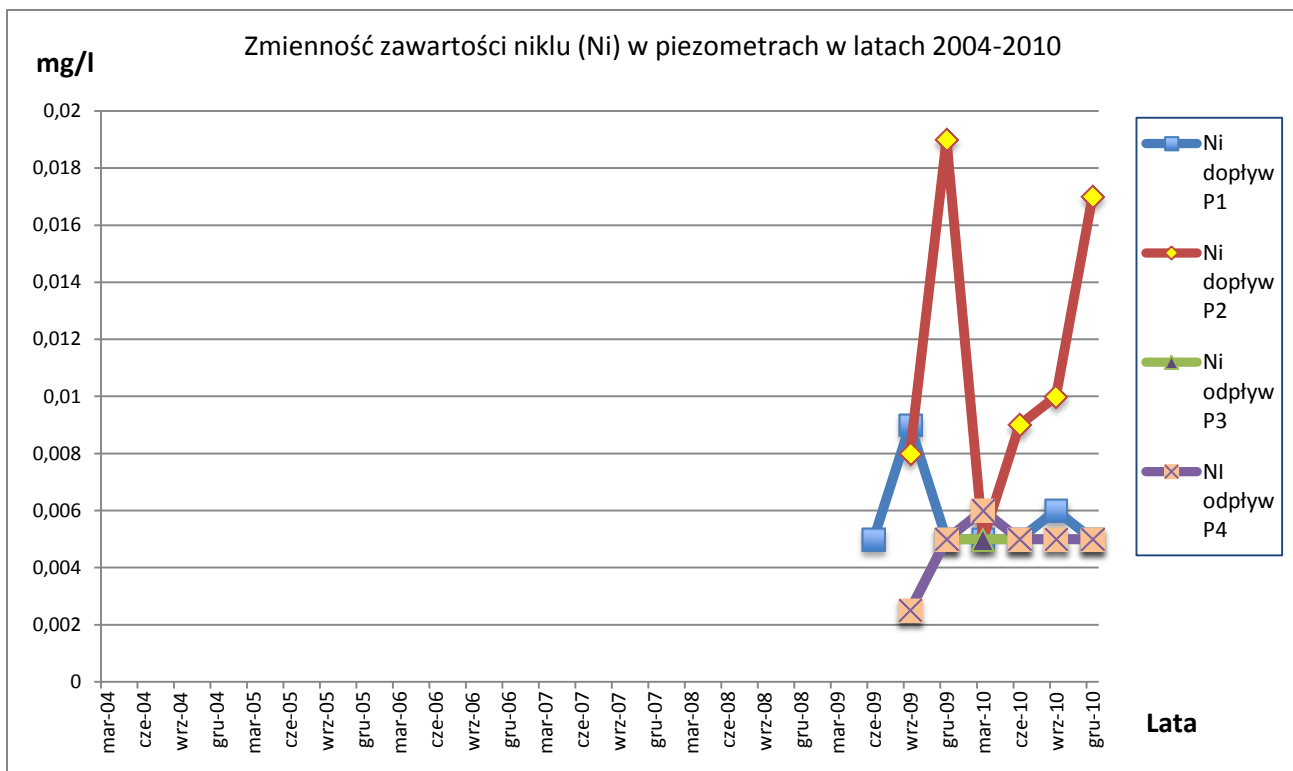
Wykres 6. Zmienność zawartości cynku (Zn) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



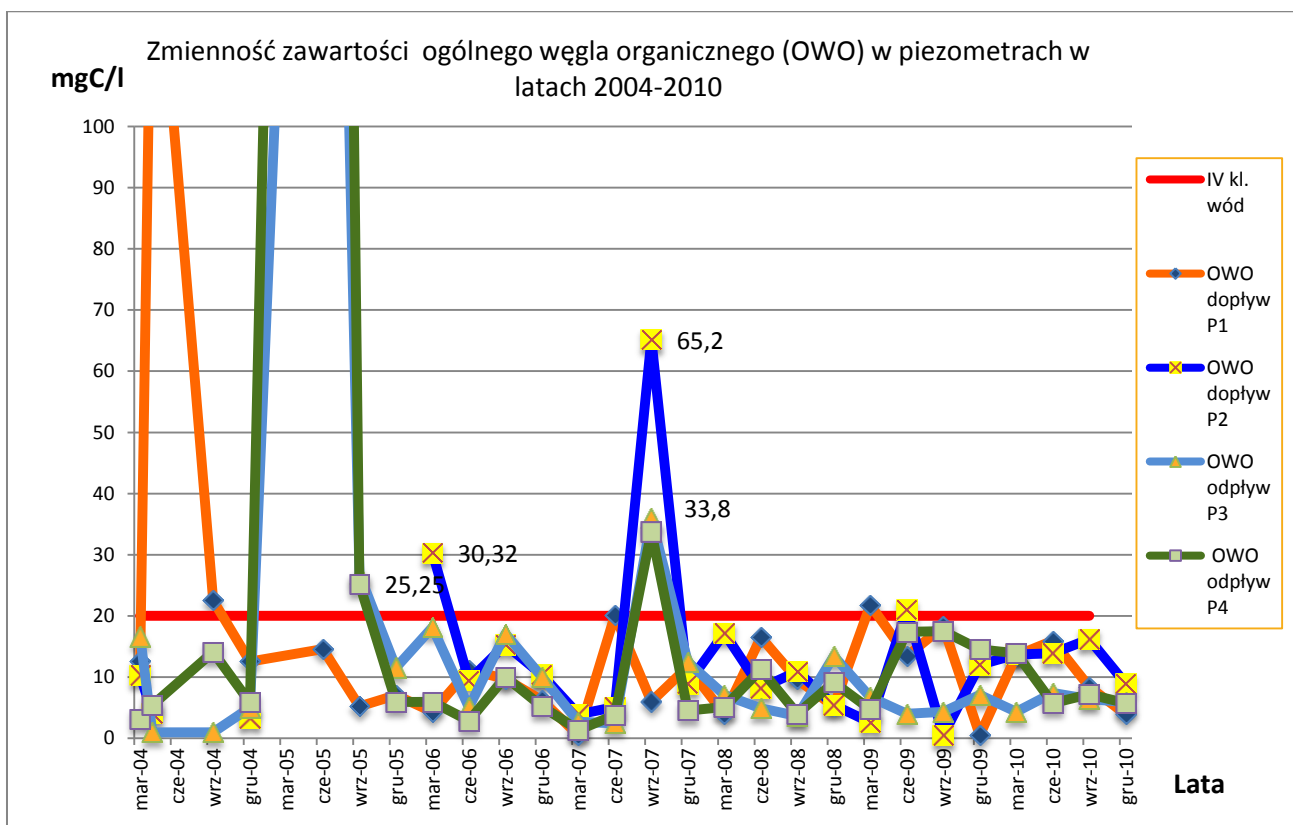
Wykres 7. Zmienność zawartości chromu (Cr) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



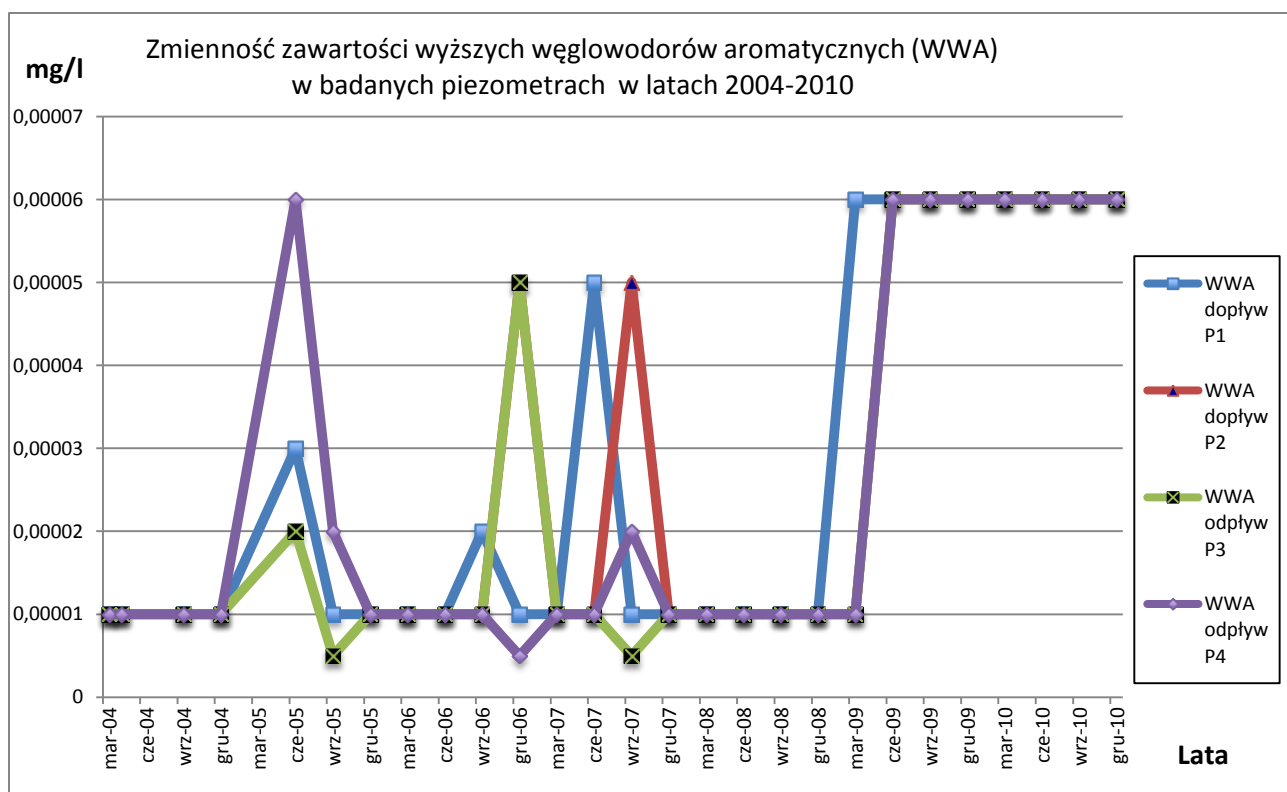
Wykres 8. Zmienność zawartości rtęci (Hg) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



Wykres 9. Zmienność zawartości nikiel(Ni) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



Wykres 10. Zmienność zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010



Wykres 11. Zmienność zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO) w piezometrach P1,P2,P3,P4 w latach 2004-2010

Wody podziemne dopływające w rejon składowiska w Kędzierzynie-Koźlu monitorowane były za pomocą piezometrów P1 i P2. W piezometrze P2 zaobserwowano utrzymujące się na nieznacznie podwyższonym poziomie wartości przewodności elektrolitycznej właściwej odpowiednie dla II klasy jakości. Również w piezometrze P2 we wszystkich przeprowadzonych seriach badawczych stwierdzono podwyższone stężenia ogólnego węgla organicznego, które były charakterystyczne dla IV klasy jakości. Ponadto w piezometrze P2 jednorazowemu wzrostowi do II klasy uległo stężenie niklu. Pozostałe analizowane parametry oraz wszystkie parametry w piezometrze P1 mieściły się w granicach charakterystycznych dla I klasy, czyli odpowiadały wodom o bardzo dobrej jakości.

Wody podziemne wypływające z terenu składowiska były monitorowane za pomocą czterech piezometrów: P3, P4, P5 i P6. We wszystkich tych piezometrach, z wyjątkiem P3, stwierdzono podwyższone stężenia ogólnego węgla organicznego, które w piezometrach P4 i P6 odpowiadały II klasie jakości. W piezometrze P5 zaobserwowano stale utrzymujące się na obniżonym poziomie wartości odczynu, charakterystyczne dla IV klasy jakości. Również w piezometrze P6 miało miejsce obniżenie wartości odczynu do IV klasy jakości. Jedynie w piezometrze P5 zanotowano jednorazowy nieznaczny wzrost stężenia cynku do II klasy jakości.

Reszta badanych wskaźników odpowiada wodom o bardzo dobrej jakości, czyli należy do I klasy. W odniesieniu do wyników badań monitoringowych z lat poprzednich można zaobserwować, że przewodność elektrolityczna właściwa w piezometrze P2 nadal znajduje się na znacznie wyższym poziomie niż w pozostałych piezometrach. Stężenia ogólnego węgla organicznego na przestrzeni lat 2004 – 2010 charakteryzują się dosyć zmiennymi wartościami, jednak w roku 2009-2010 utrzymywały się na stabilnym poziomie.

W Tabelach 13 i 14 zestawiono wartości tylko z 2010 roku dla badanych wód podziemnych w piezometrach 5 i 6 kwatery 2 ponieważ analizowane zawartości parametrów wskaźnikowych były niezmiennie co do kolejnych odczytów więc do analizy przyjęto wartości z 2010 roku. Wartość odczynu w piezometrach P5 i P6 oraz ogólnego węgla organicznego w piezometrach P2 i P5 jest charakterystyczna dla słabego stanu chemicznego.

Pozostałe badane parametry we wszystkich piezometrach mieszczą się w zakresach dopuszczalnych dla dobrego stanu chemicznego wód podziemnych.

15.5. Wyniki badań z drenaży wód podfoliowych kwatery 1 w latach 2004-2010

Dane liczbowe uzyskane z monitoringu drenażu podfoliowego kwatery 1, rozpatrywanego składowiska odpadów, w latach 2004-2010, zestawiono w Tabeli 15 i zilustrowano Wykresami 12-22.

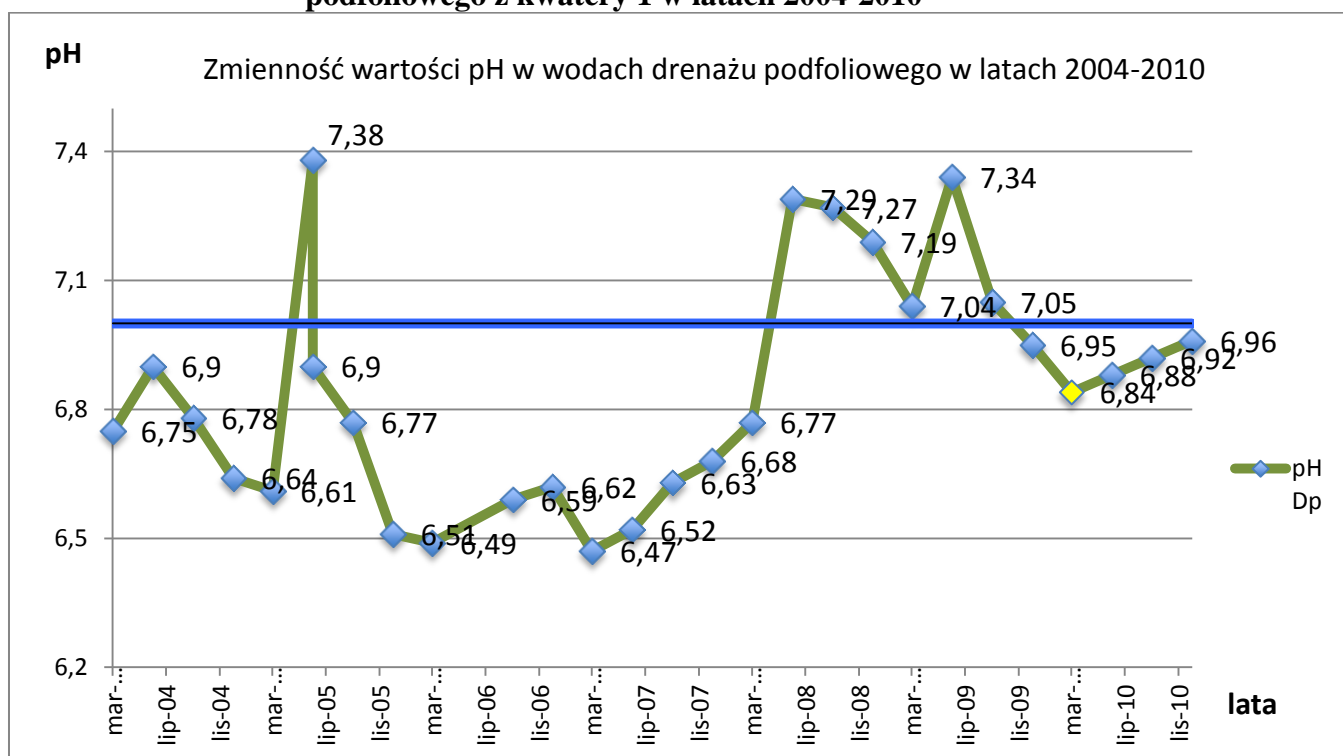
Tabela nr 15. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **drenażu podfoliowego kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu drenażu podfoliowego kwatery 1 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	Przew. elektr.	Metale mg/l							OWO	WWA
	Data	pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	Ni	mgC/l	mg/l
1	mar-04	6,75	490	0,003	0,0005	0,002	0,017	0,001	0,0005		4,3	0,00001
2	cze-04	6,9	435	0,001	0,0005	0,001	0,005	0,001	0,0005		8,15	0,00001
3	wrz-04	6,78	460	0,002	0,0005	0,001	0,012	0,001	0,0005		6,12	0,00001
4	gru-04	6,64	469	0,001	0,0005	0,001	0,004	0,001	0,0005		5	0,00001
5	mar-05	6,61	560	0,003	0,001	0,001	0,05	0,001	0,0005		14,99	0,00004
6	cze-05	7,38	471	0,004	0,0003	0,003	0,07	0,001	0,0005		37,74	0,00002
7	wrz-05	6,77	456	0,004	0,0003	0,04	0,05	0,001	0,0005		11,84	0,00001
8	gru-05	6,51	499	0,02	0,005	0,02	0,05	0,001	0,0005		10,18	0,00001
9	mar-06	6,49	500	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,001	0,0005		5,5	0,00001
10	cze-05	6,9	514	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,001	0,0005		13,5	0,00001
11	wrz-06	6,59	454	0,004	0,0003	0,004	0,05	0,001	0,0005		16	0,00001
12	gru-06	6,62	446	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,001	0,0005		3,7	0,00001
13	mar-07	6,47	478	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,011	0,0005		2	0,00001
14	cze-07	6,52	441	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		9,2	0,00001
15	wrz-07	6,63	461	0,006	0,0003	0,003	0,05	0,017	0,0005		6,2	0,00001
16	gru-07	6,68	401	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005		12,2	0,00001
17	mar-08	6,77	473	0,008	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005		3,6	0,00001
18	cze-08	7,29	485	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005		6	0,00001
19	wrz-08	7,27	477	0,004	0,0007	0,002	0,05	0,01	0,0005		9,8	0,00001

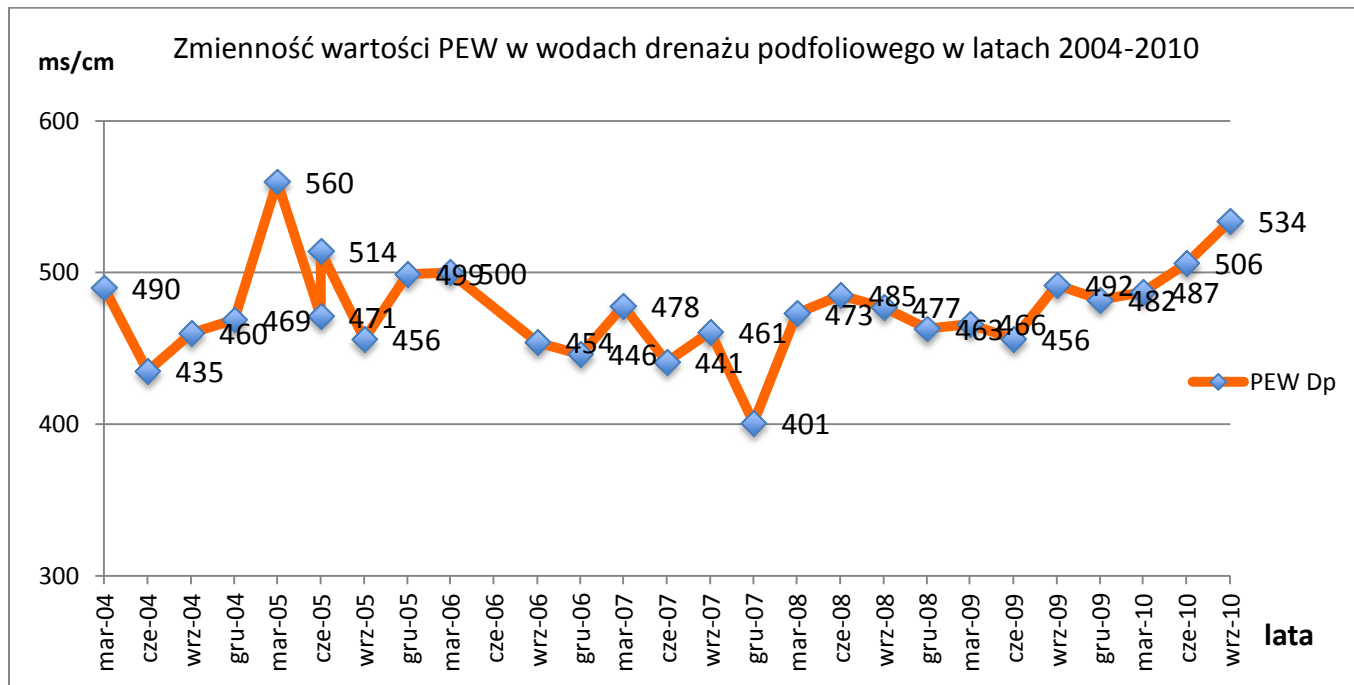
Tabela 15 c.d.

20	gru-08	7,19	463	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005		5,9	0,00001
21	mar-09	7,04	466	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005		13,6	0,00006
22	cze-09	7,34	456	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005		6,5	0,00006
23	wrz-09	7,05	492	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005		16,8	0,00006
24	gru-09	6,95	482	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005		9,9	0,00006
25	mar-10	6,84	487	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	10,4	0,00006
26	cze-10	6,88	506	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,007	15,1	0,00006
27	wrz-10	6,92	534	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,007	14,2	0,00006
28	gru-10	6,96	648	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	0,005	21,1	0,00006

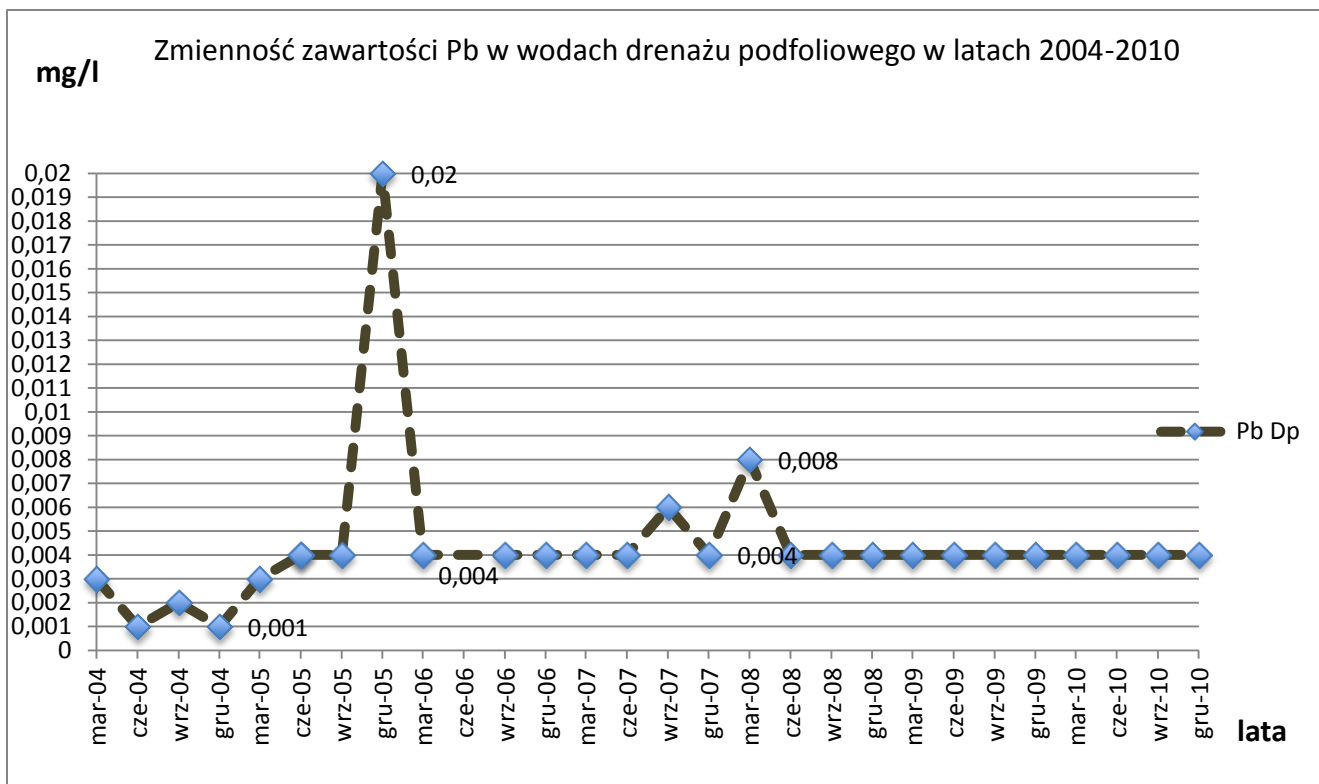
Zestawienie zmiennych wartości badanych parametrów wg Tabeli 15 dla wód drenażu podfoliowego z kwatery 1 w latach 2004-2010



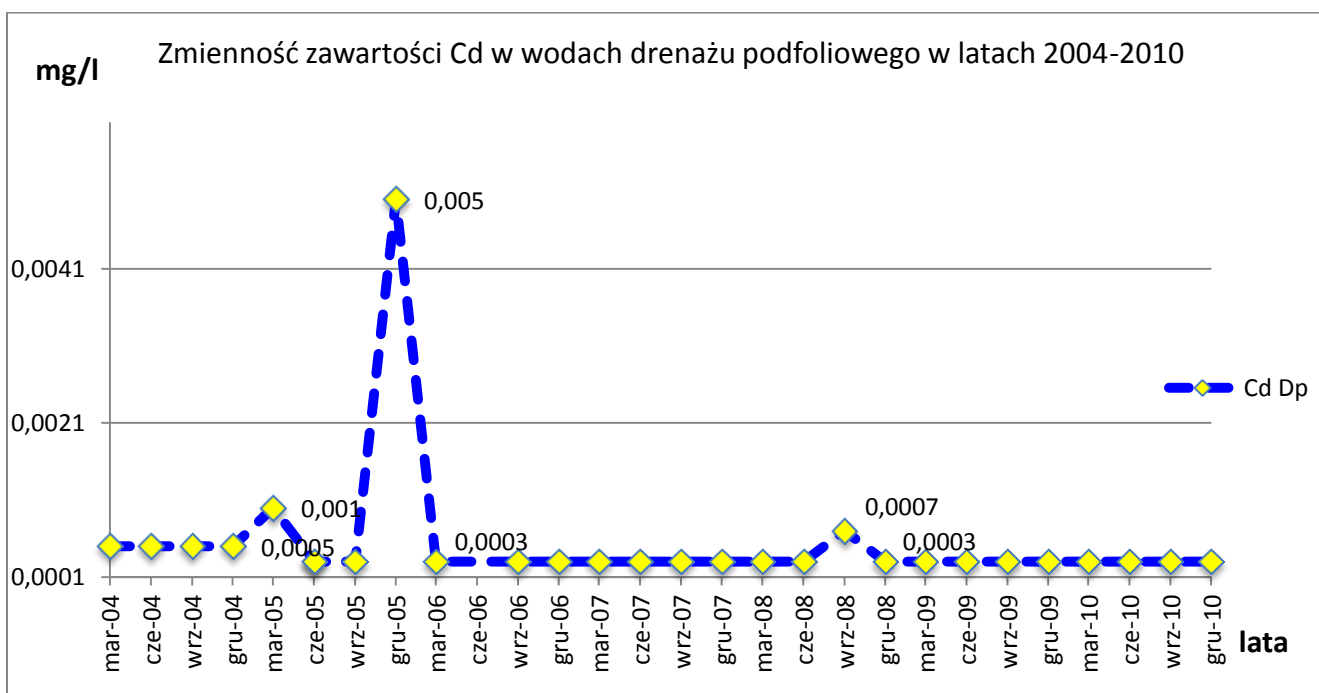
Wykres 12. Zmienność wartości pH w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



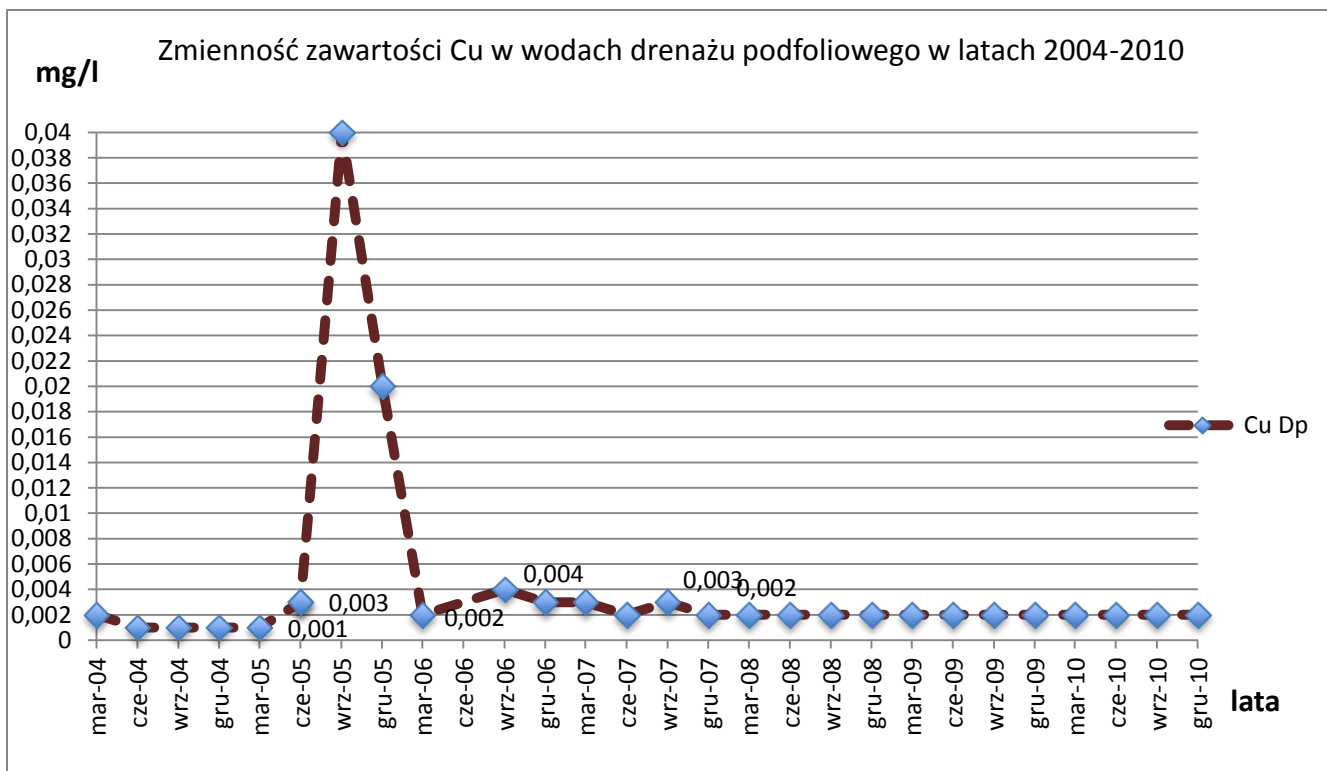
Wykres 13. Zmienność wartości (PEW) w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



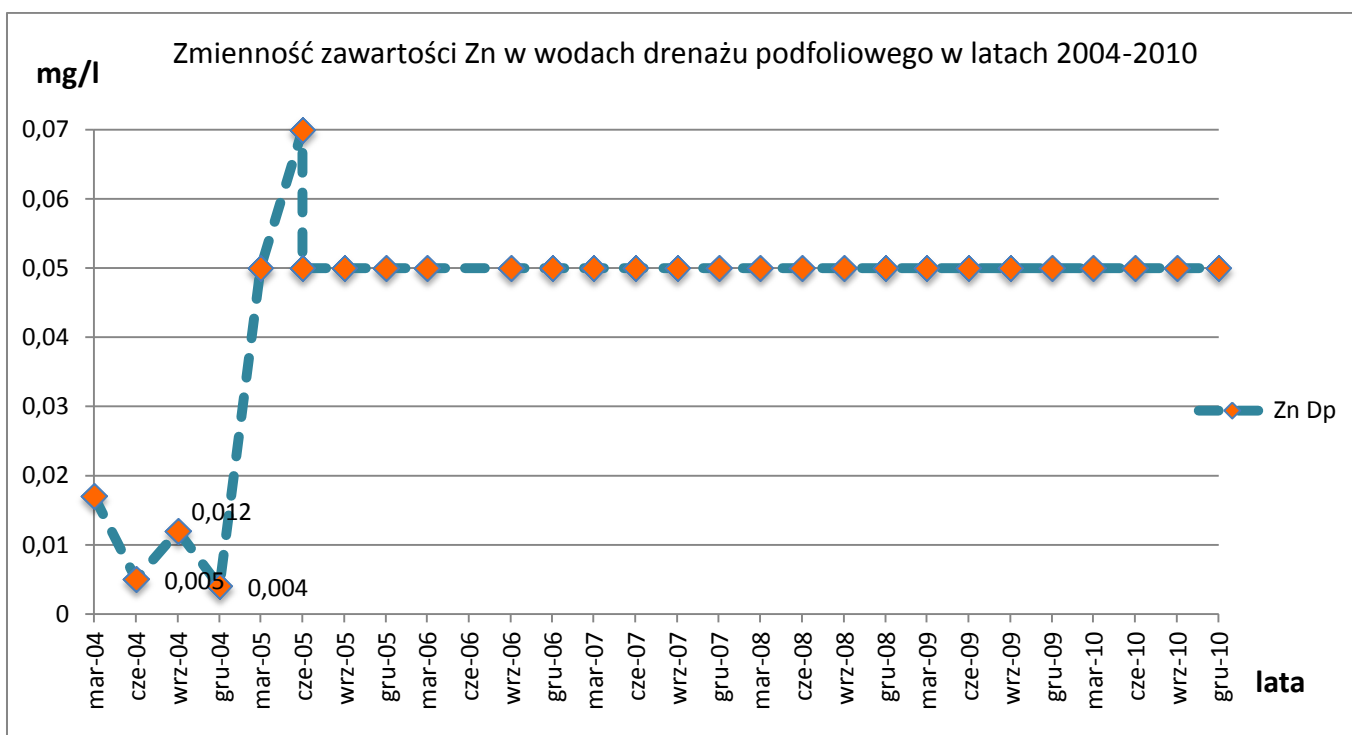
Wykres 14. Zmienność zawartości ołowiu (Pb) w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



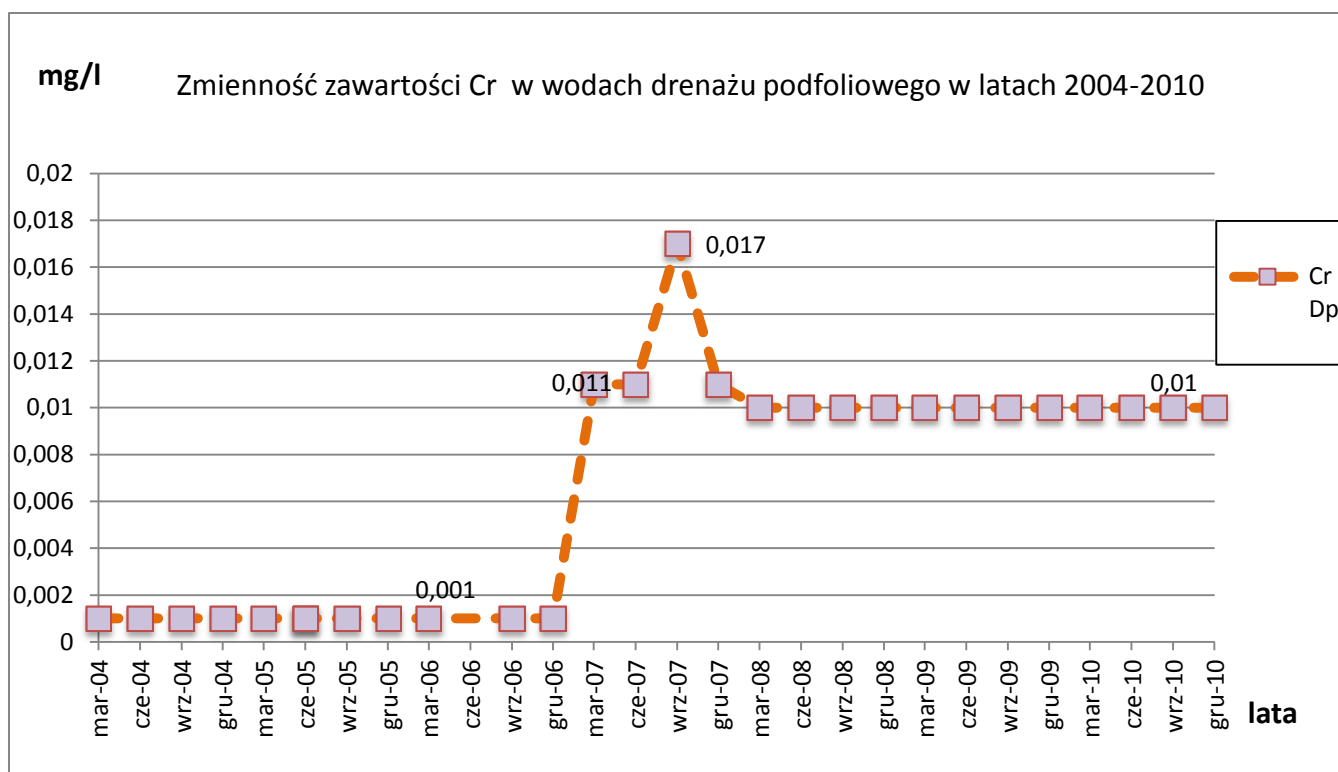
Wykres 15. Zmienność zawartości kadmu (Cd) w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



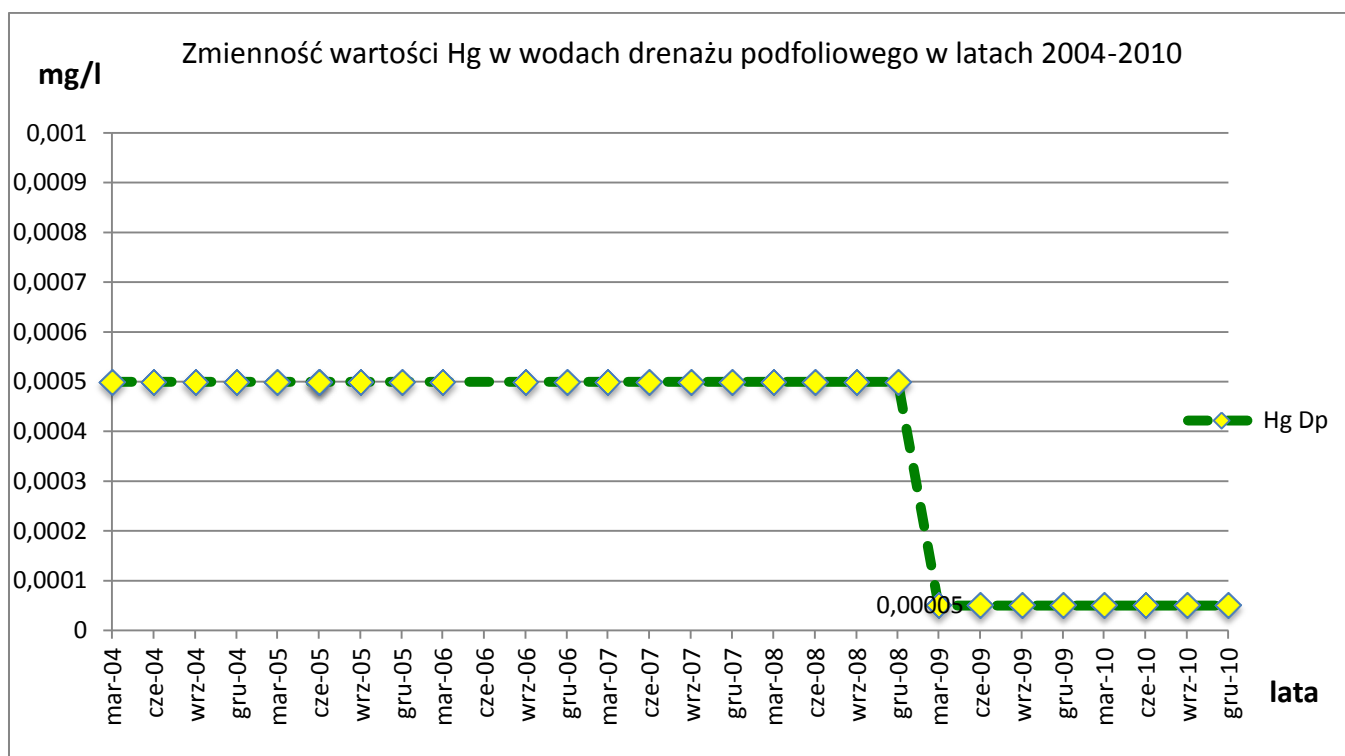
Wykres 16. Zmienność zawartości kadmu (Cd) w wodach drenazu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



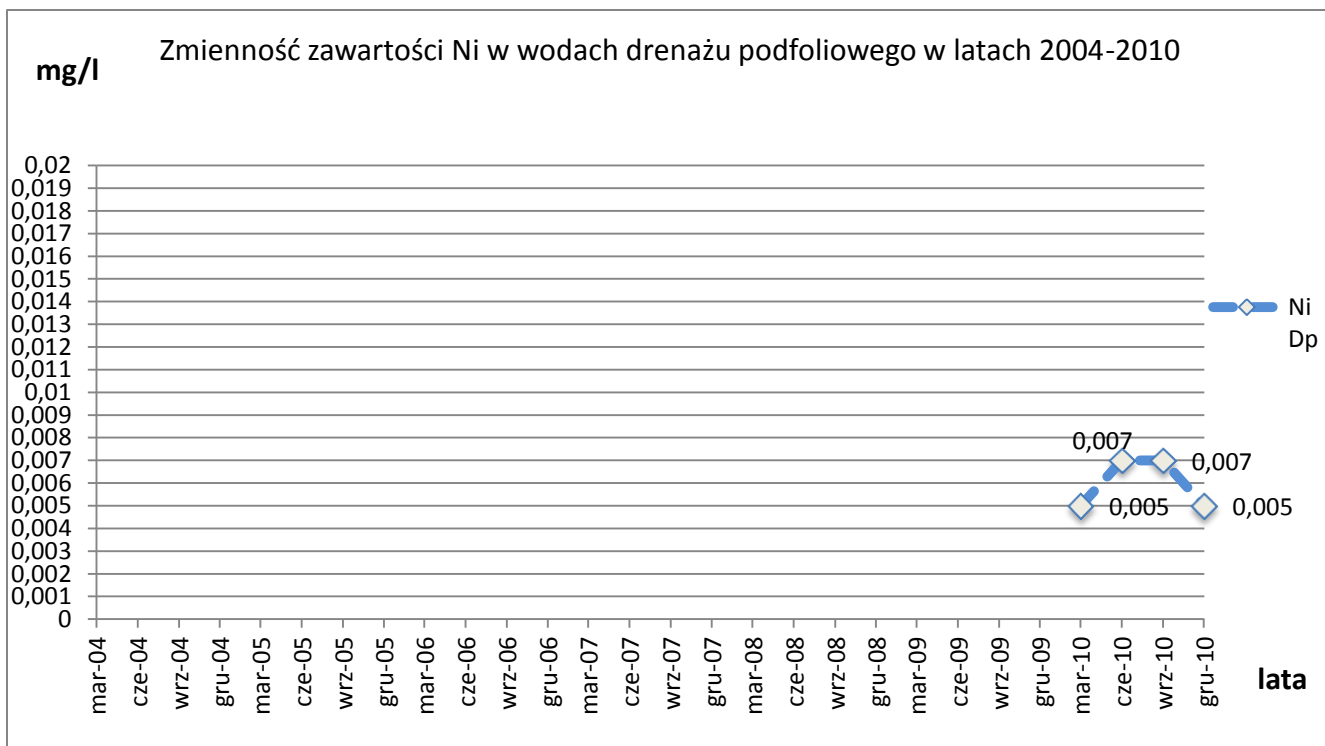
Wykres 17. Zmienność zawartości cynku (Zn) w wodach drenazu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



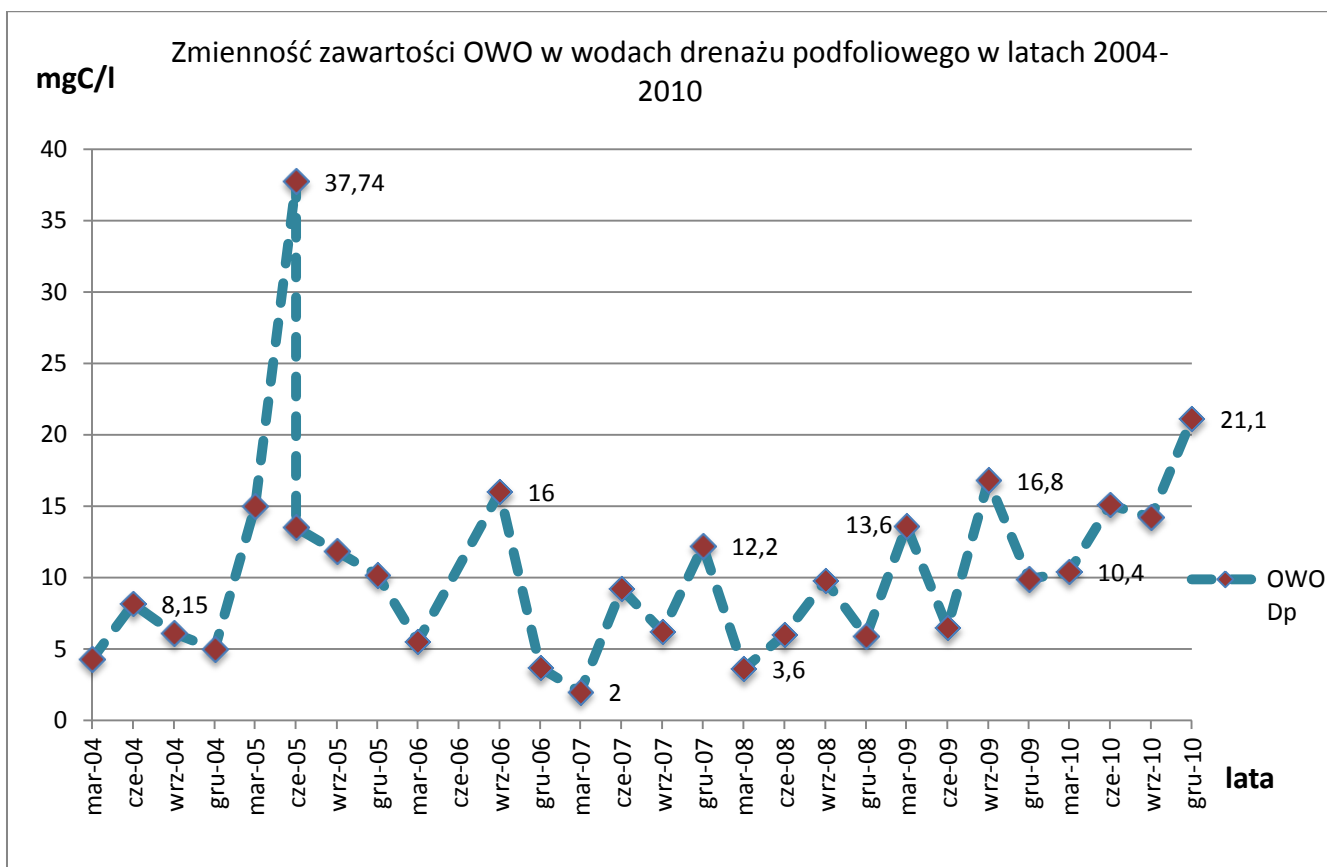
Wykres 18. Zmienność zawartości chromu (Cr) w wodach drenazu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



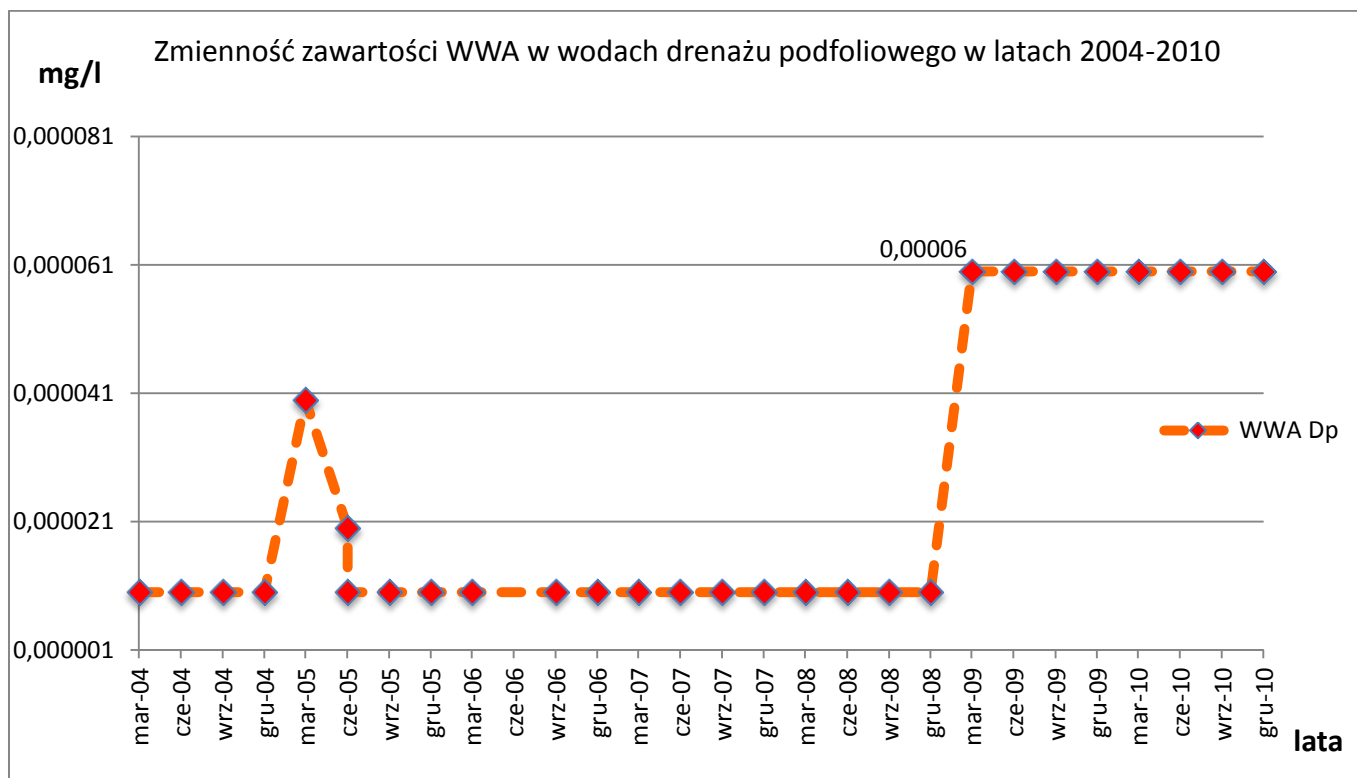
Wykres 19. Zmienność zawartości rtęci (Hg) w wodach drenazu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



Wykres 20. Zmienność zawartości nikielu (Ni) w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



Wykres 21. Zmienność zawartości ogólnego węgla organicznego(OWO) w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 latach 2004-2010



Wykres 22. Zmienność zawartości wyższych węglowodorów aromatycznych(WWA) w wodach drenażu podfoliowego kwatery 1 w latach 2004-2010

Wody drenażu podfoliowego kwatery 1 w okresie badanym były stabilne chemicznie jedynie w roku 2005 zaobserwowano wzrosty kadmu, miedzi, cynku, ołowiu, OWO i WWA, które w następnym roku się ustabilizowały na stałym poziomie, jedynie zawartości cynku nieznacznie się podniosły. Od 2008 roku zawartości WWA się podniosły i też utrzymują się na stałym poziomie.

Ogólnie wody drenażu podfoliowego nie wykazywały zmian dopuszczalnych dla tego typu wód i zagrożenia w omawianym okresie nie występowały.

Taki stan zanieczyszczenia wód podfoliowych może wynikać z jakości wód powierzchniowych migrujących pod składowiskiem na co nie ma bezpośredniego wpływu zarządzający obiektem.

15.6. Wyniki badań z drenaży wód podfoliowych kwatery 2 w latach 2006-2010

Dane liczbowe z monitoringu drenażu podfoliowego kwatery 2, uzyskane w latach 2006-2010, przedstawiono w Tabeli 16.

15.7. Wyniki badań wód odciekowych pochodzących ze zbiornika odcieków w latach 2004-2010

W Tabeli 17 zestawiono dane liczbowe uzyskane z monitoringu zbiornika odcieków kwatery 1 w latach 2004-2010, które zostały zilustrowane na Wykresach 23-33.

Tabela 16. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **drenażu podfoliowego kwatery 2** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2006-2010**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu drenażu podfoliowego kwatery 2 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2006-2010											
Lp.	Data mc- rok	Odczyn	Przew. elektr.	Metale mg/l						OWO	WWA
	Data	pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Hg	mgC/l	mg/l
1	mar-06	6,6	492	0,004	0,0003	0,01	0,05	0,001	0,0005	7,81	0,0001
2	cze-06	6,64	351	0,004	0,0003	0,008	0,05	0,001	0,0005	13,4	0,0001
3	wrz-06	6,28	382	0,004	0,0003	0,004	0,05	0,001	0,0005	14,6	0,00001
4	gru-06	6,68	333	0,004	0,0003	0,025	0,05	0,001	0,0005	2,6	0,00001
5	mar-07	6,2	362	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,011	0,0005	3,4	0,00001
6	cze-07	6,11	353	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,011	0,0005	21	0,00001
7	wrz-07	6,35	369	0,015	0,0003	0,002	0,05	0,014	0,0005	5,3	0,00001
8	gru-07	7,67	531	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,011	0,0005	17,8	0,00001
9	mar-08	6,64	344	0,006	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005	5,8	0,00001
10	cze-08	6,93	461	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005	8,5	0,00001
11	wrz-08	7,21	394	0,004	0,0007	0,002	0,05	0,01	0,0005	8,4	0,00001
12	gru-08	7,19	366	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,0005	6,1	0,00001
13	mar-09	7,02	397	0,004	0,0003	0,003	0,05	0,01	0,00005	6,1	0,00006
14	cze-09	7,22	322	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	17	0,00006
15	wrz-09	6,76	357	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	15,7	0,00006
16	gru-09	6,89	369	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	3,3	0,00006
17	mar-10	7,19	532	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	13,5	0,00006
18	cze-10	7,39	475	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	15,9	0,00006
19	wrz-10	7,48	392	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	8,4	0,00006
20	gru-10	7,81	329	0,004	0,0003	0,002	0,05	0,01	0,00005	3,9	0,00006

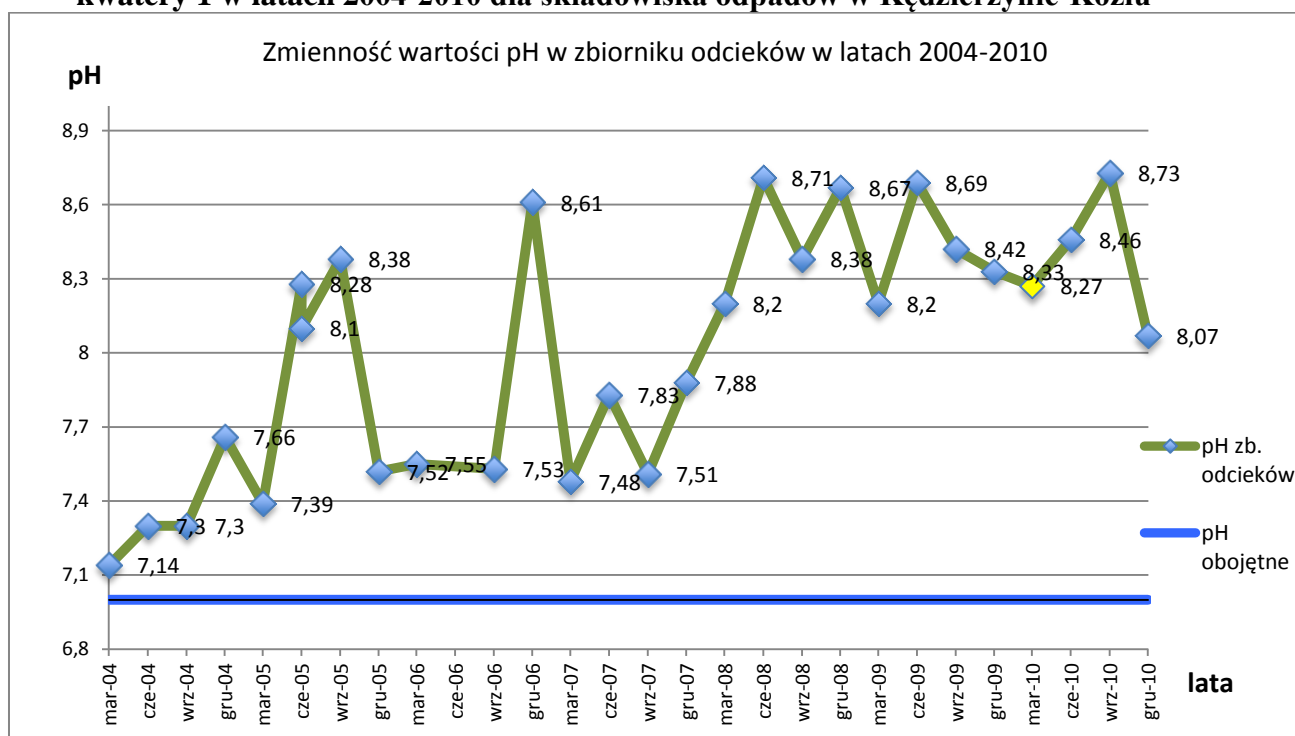
Tabela 17. Zestawienie danych liczbowych z badanych parametrów w **zbiorniku odcieków kwater 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010**

Zestawienie danych liczbowych z monitoringu kwatery 1 na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010 - Zbiornik odcieków												
Lp.	Data mc-rok	Odczyn	Przew. elektr.	Metale mg/l						Ni	OWO mg/l	WWA mg/l
				pH	ms/cm	Pb	Cd	Cu	Zn			
1	mar-04	7,14	2900	0,082	0,0067	0,011	0,091	0,002	0,001		146,05	0,00001
2	cze-04	7,3	3500	0,076	0,0054	0,082	0,003	0,005	0,0005		153,91	0,00001
3	wrz-04	7,3	10940	0,072	0,01	0,095	0,018	0,02	0,0005		192,49	0,00001
4	gru-04	7,66	2280	0,036	0,004	0,147	0,013	0,01	0,0005		30,83	0,00001
5	mar-05	7,39	748	0,047	0,001	0,03	0,15	0,001	0,0007		651,40	0,00001
6	cze-05	8,28	1342	0,156	0,008	0,02	0,18	0,001	0,0005		29,62	0,00001
7	wrz-05	8,38	1214	0,02	0,006	0,07	0,12	0,001	0,0005		26,49	0,00001
8	gru-05	7,52	718	0,01	0,005	0,02	0,65	0,001	0,0005		31,21	0,00002
9	mar-06	7,55	6010	0,05	0,005	0,04	0,36	0,018	0,0005		147,00	0,00001
10	cze-06	8,1	4710	0,04	0,005	0,05	0,25	0,06	0,01		605,00	0,00002
11	wrz-06	7,53	2686	0,04	0,005	0,03	1,54	0,001	0,0021		124,00	0,00006
12	gru-06	8,61	2050	0,02	0,005	0,07	0,6	0,02	0,018		52,00	0,00006
13	mar-07	7,48	1328	0,01	0,005	0,01	0,87	0,011	0,028		23,00	0,00003
14	cze-07	7,83	1059	0,02	0,005	0,01	0,06	0,021	0,0005		56,60	0,00003
15	wrz-07	7,51	8662	0,09	0,01	0,02	0,18	0,052	0,0031		432,00	0,00003

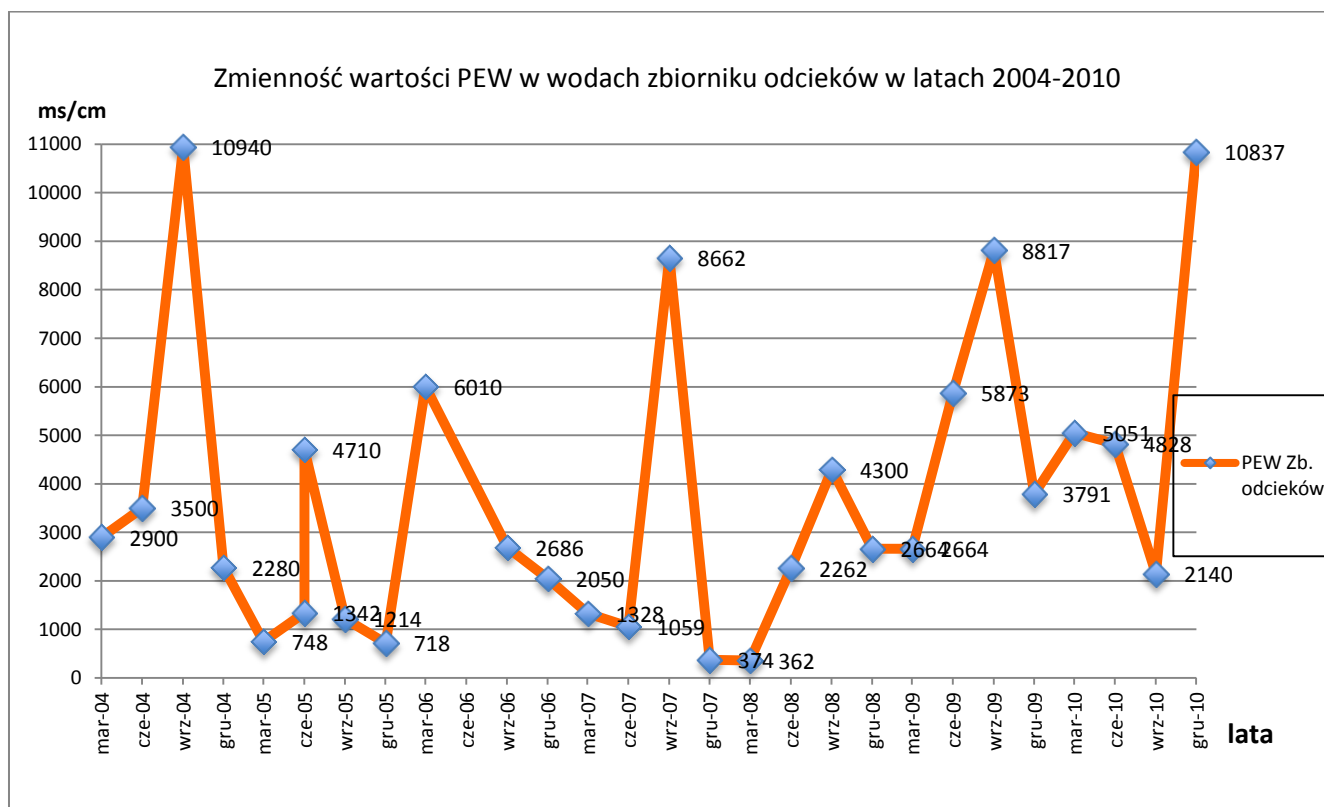
Tabela 17 c.d.

16	gru-07	7,88	374	0,02	0,005	0,01	0,05	0,031	0,0005		15,40	0,00003
17	mar-08	8,2	362	0,03	0,005	0,02	0,05	0,017	0,0005		14,00	0,00001
18	cze-08	8,71	2262	0,1	0,009	0,01	0,05	0,01	0,0015		90,60	0,00001
19	wrz-08	8,38	4300	0,16	0,014	0,04	0,09	0,026	0,0005		179,00	0,00003
20	gru-08	8,67	2664	0,07	0,008	0,02	0,06	0,031	0,0005		161,00	0,00003
21	mar-09	8,2	2664	0,08	0,012	0,02	0,1	0,02	0,0005		62,20	0,00006
22	cze-09	8,69	5873	0,15	0,018	0,05	0,08	0,015	0,0005		373,00	0,00006
23	wrz-09	8,42	8817	0,21	0,017	0,04	0,22	0,013	0,0005		502,00	0,00004
24	gru-09	8,33	3791	0,01	0,005	0,01	0,05	0,014	0,0005		105,00	0,00006
25	mar-10	8,27	5051	0,08	0,012	0,01	0,15	0,015	0,0005	0,1	279,00	0,00008
26	cze-10	8,46	4828	0,05	0,011	0,02	0,06	0,038	0,0005	0,08	226,00	0,00005
27	wrz-10	8,73	2140	0,06	0,008	0,02	0,07	0,012	0,0005	0,05	144,00	0,00006
28	gru-10	8,07	10837	0,17	0,032	0,07	0,1	0,019	0,0005	0,19	728,00	0,00008

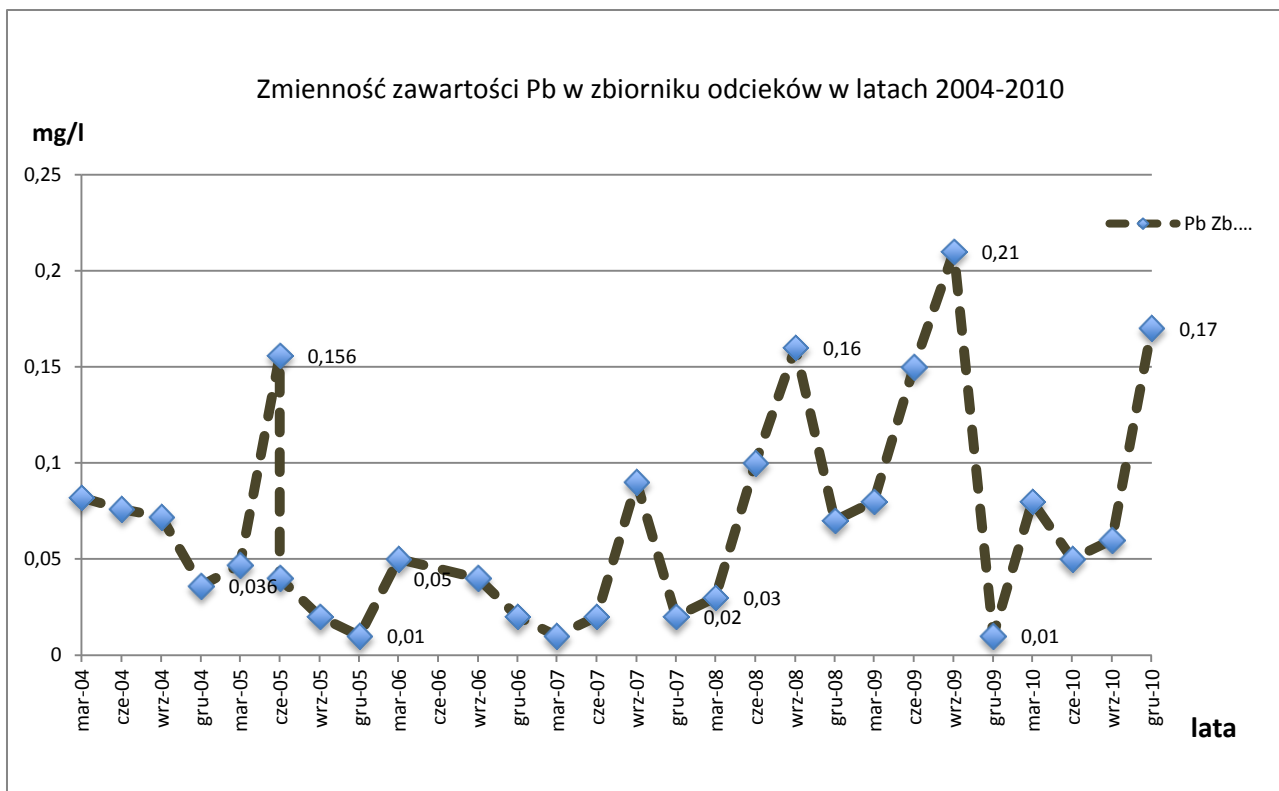
Zestawienie zmiennych badanych parametrów wg Tabeli 17 w zbiorniku odcieków dla kwatery 1 w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów w Kędzierzynie-Koźlu



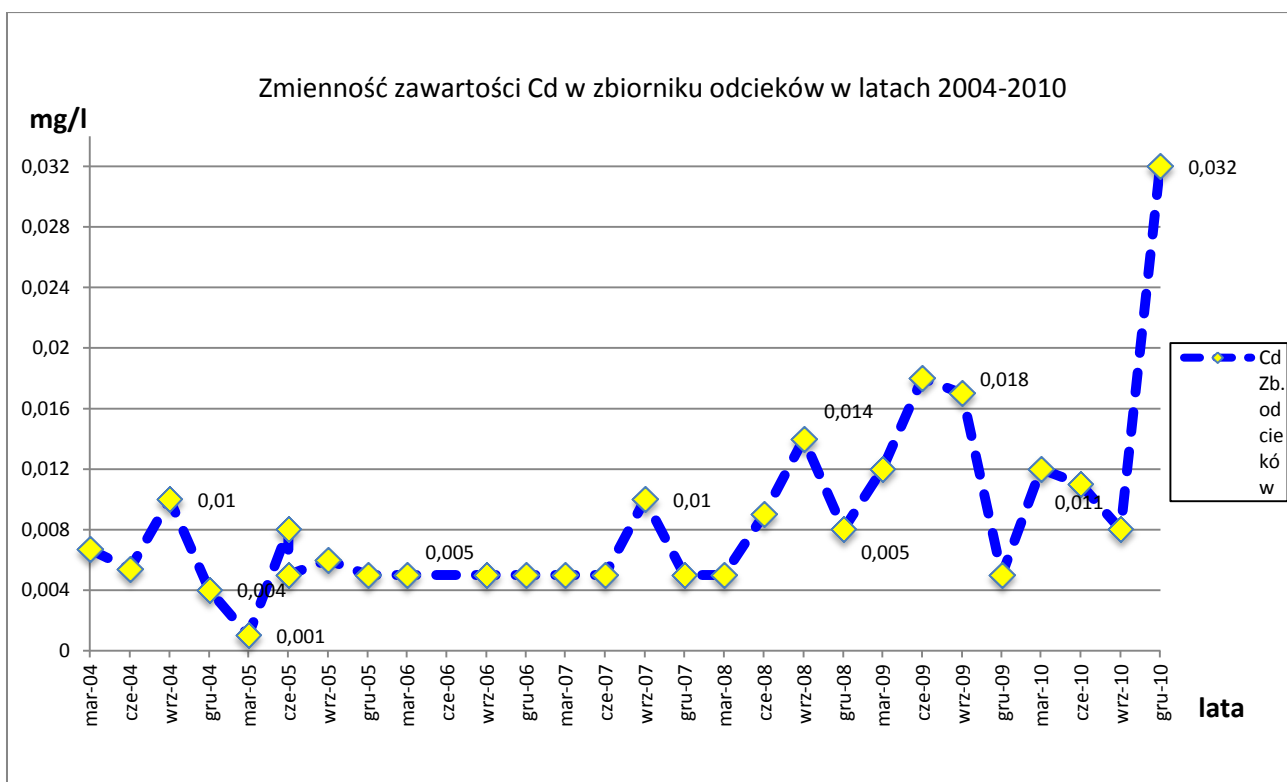
Wykres 23. Zmienność wartości pH w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



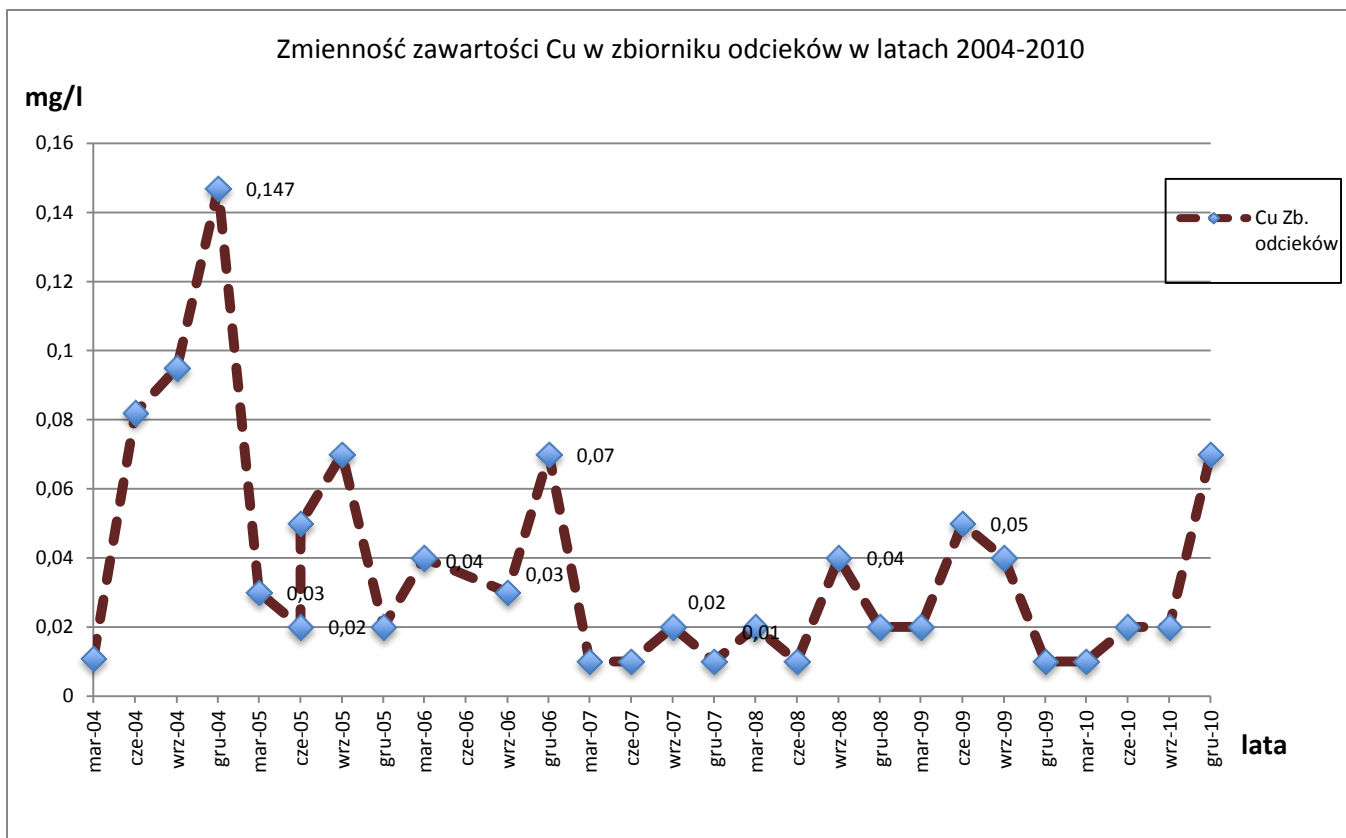
Wykres 24. Zmienność wartości PEW w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



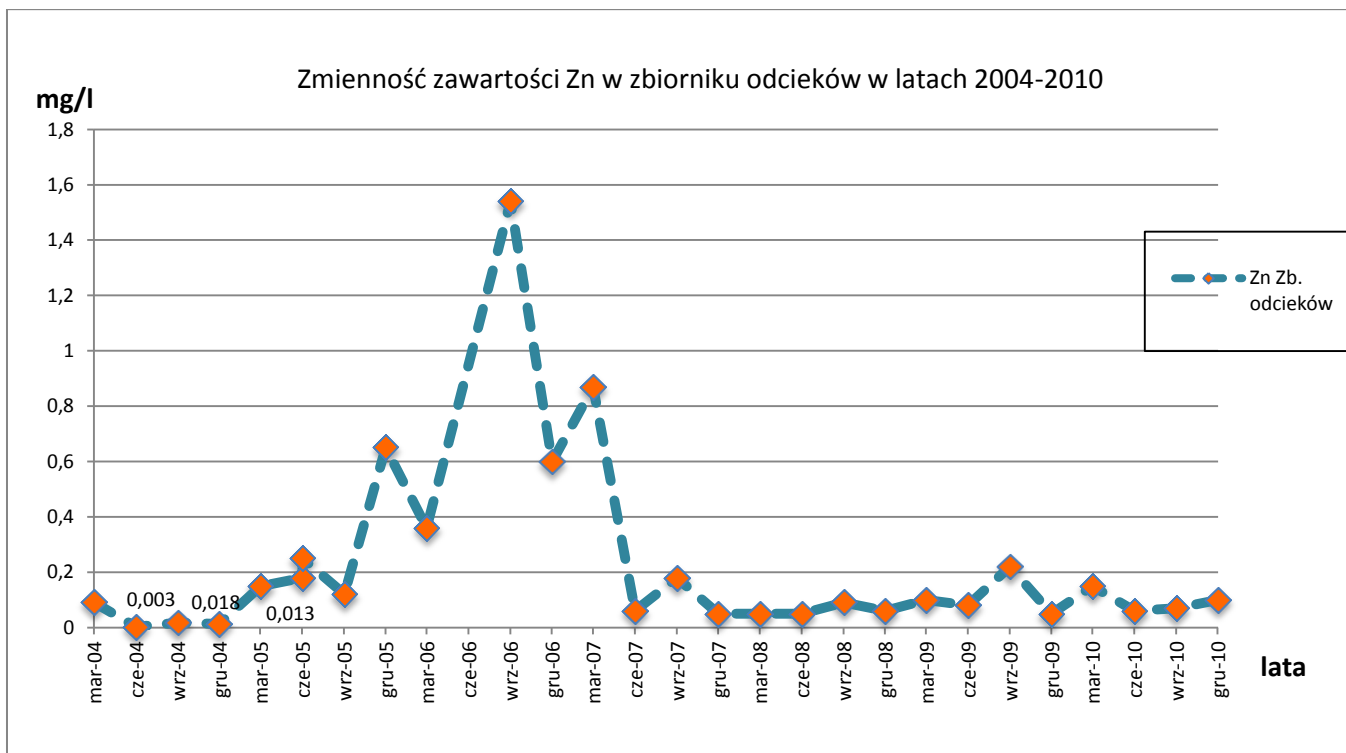
Wykres 25. Zmienność zawartości ołowiu (Pb) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



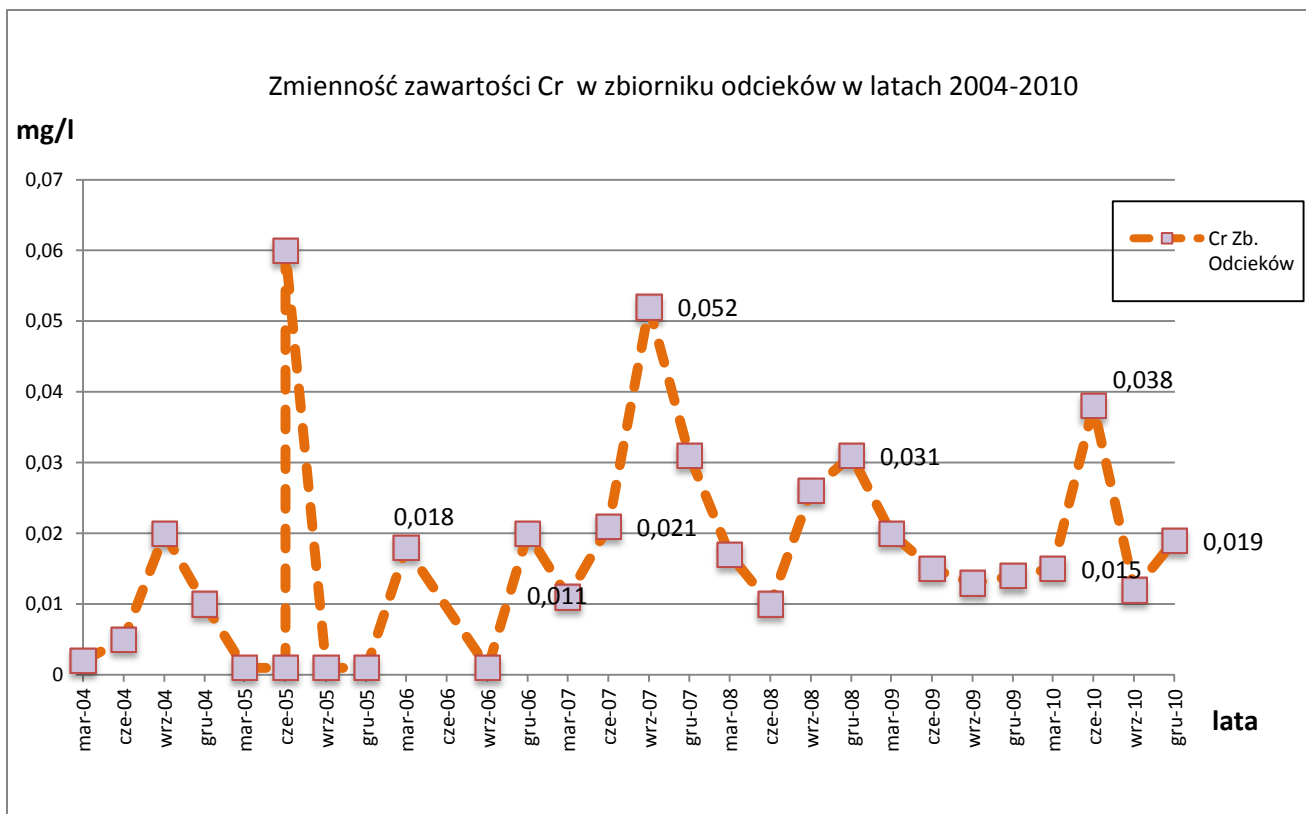
Wykres 26. Zmienność zawartości kadmu (Cd) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



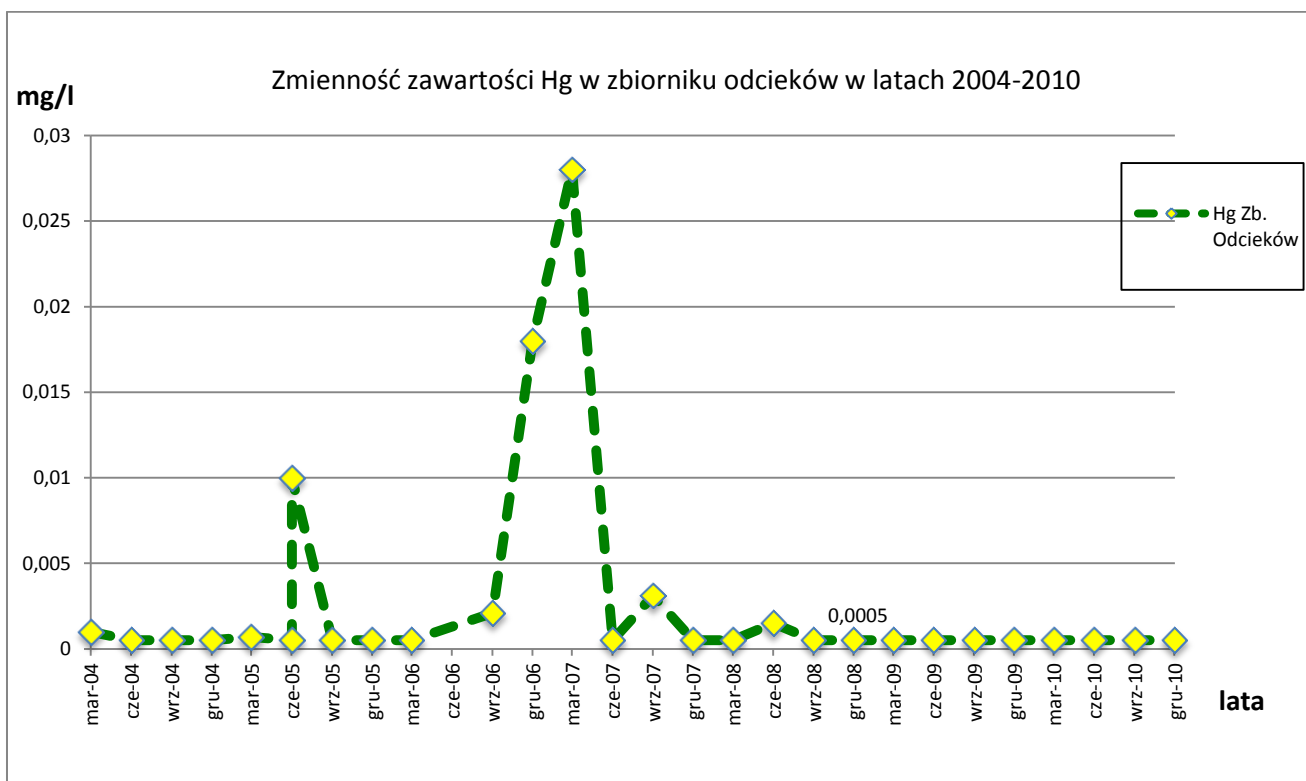
Wykres 27. Zmienność zawartości miedzi(Cu) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



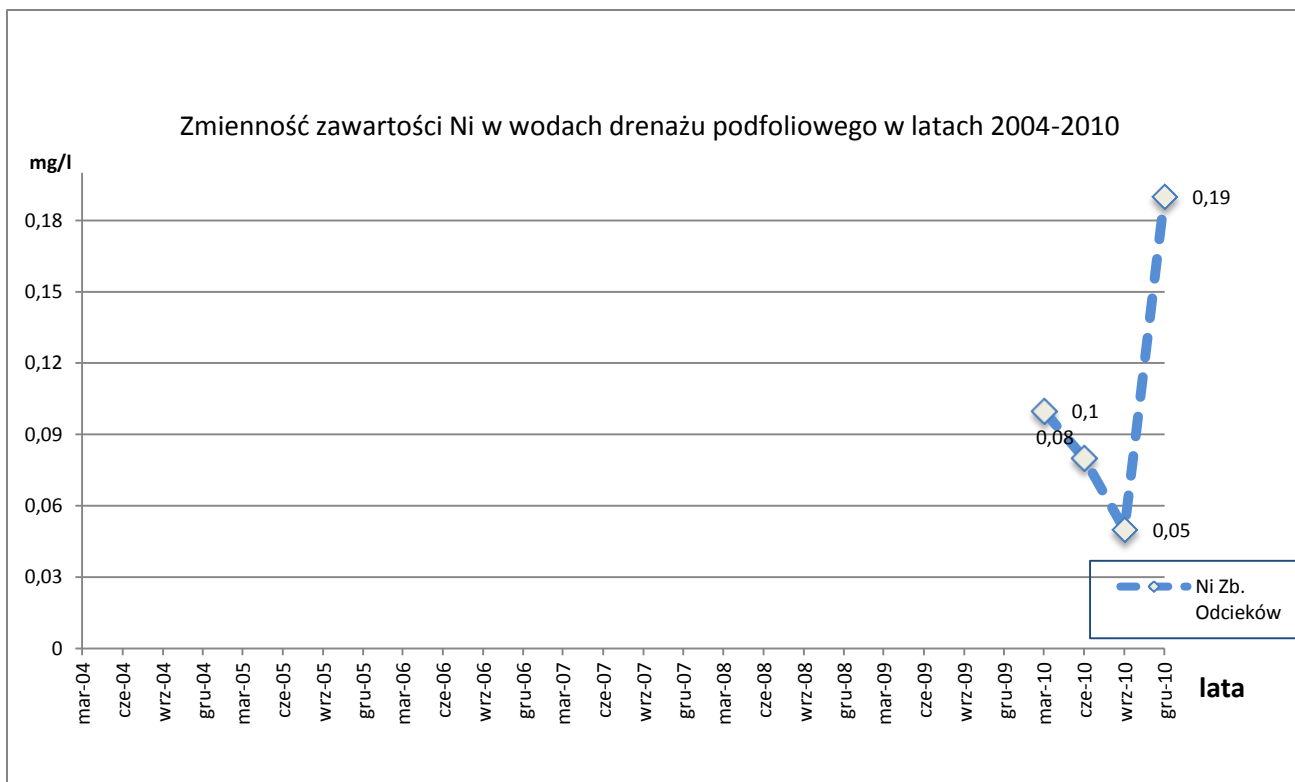
Wykres 28. Zmienność zawartości cynku (Zn) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



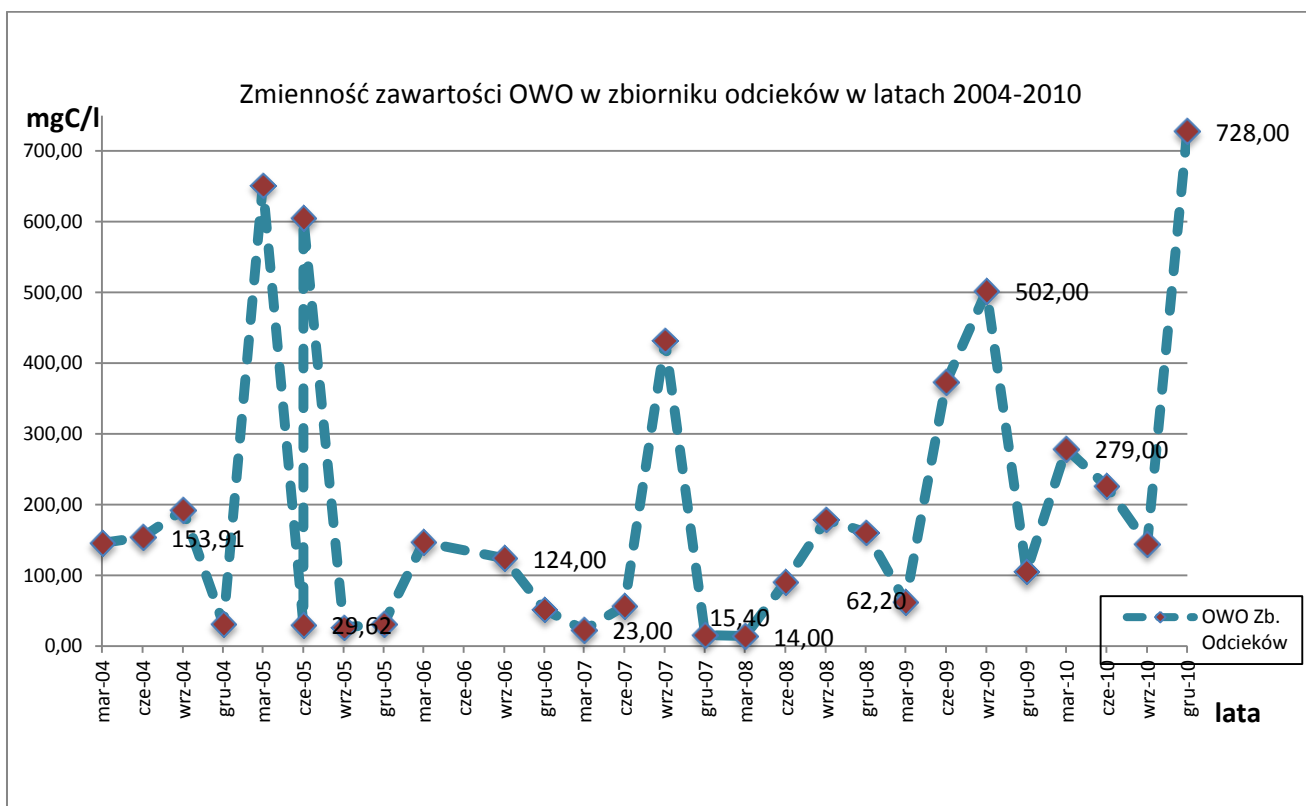
Wykres 29. Zmienność zawartości chromu (Cr) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



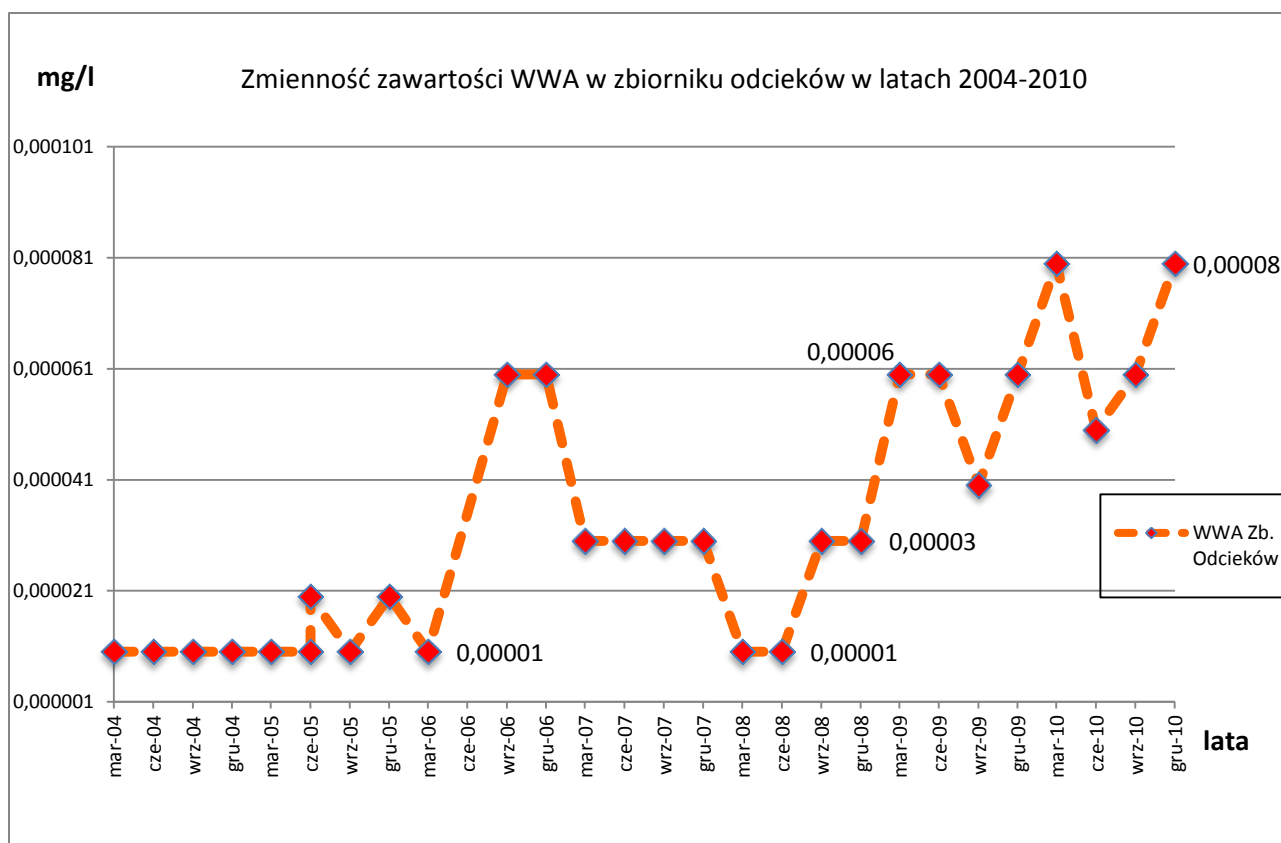
Wykres 30. Zmienność zawartości rtęci (Hg) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



Wykres 31. Zmienność zawartości nikiel (Ni) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



Wykres 32. Zmienność zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010



Wykres 33. Zmienność zawartości wyższych węglowodorów aromatycznych (WWA) w zbiorniku odcieków kwatery 1 latach 2004-2010

Na podstawie badań laboratoryjnych pobranych próbek wód odciekowych nie stwierdzono podwyższonych zawartości żadnego z badanych wskaźników w stosunku do norm zawartych w Rozporządzeniu Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 roku w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz. U. 2006, Nr 136, poz. 964).

15.8.Zestawienie badań ze zmienności ilości opadów atmosferycznych, temperatury powietrza i odcieków odprowadzonych do unieszkodliwiania w latach 2004-2010

W Tabeli 18 zestawiono ilość opadów atmosferycznych, wartości temperatury powietrza i ilości zrzuconych wód odciekowych do oczyszczalni ścieków celem unieszkodliwiania. Zestawione wartości zilustrowano Wykresami 34-36.

Tabela 18. Zestawienie ilości opadów atmosferycznych., temperatury i zrzutu odcieków do OŚB na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu

Zestawienie ilości opadów atmosferycznych., temperatury i zrzutu odcieków do OŚB na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu				
Lp.	Data [mc-rok]	Opady	Odcieki zrzut do OŚB	Temperatura
1		mm/ cm2	m3	
2	sty-04	0,0	356,0	1,47
3	lut-04	63,6	136,0	0,0
4	mar-04	69,3	838,0	-0,6
5	kwi-04	35,4	206,0	0,6
6	maj-04	46,9	589,0	2,8
7	cze-04	69,2	273,0	11,1
8	lip-04	42,4	252,0	14,7
9	sie-04	58,8	329,0	16,0
10	wrz-04	20,8	241,0	14,1
11	paź-04	25,7	158,0	8,8
12	lis-04	56,6	752,0	4,7
13	gru-04	19,5	812,0	-0,4
14	sty-05	61,5	1 394,0	-0,6
15	lut-05	50,6	407,0	0,1
16	mar-05	9,4	368,0	0,7
17	kwi-05	52,1	1 152,0	0,6
18	maj-05	77,6	1 359,0	5,2
19	cze-05	24,6	667,0	9,4
20	lip-05	94,7	1 426,0	14,7
21	sie-05	80,6	3 313,0	16,2
22	wrz-05	56,4	486,0	22,2
23	paź-05	7,8	0,0	15,2
24	lis-05	44,1	0,0	11,0
25	gru-05	85,2	2 380,0	4,2
26	sty-06	27,8	3,0	1,57
27	mar-06	29,5	0,0	3,8

Tabela 18 c.d.

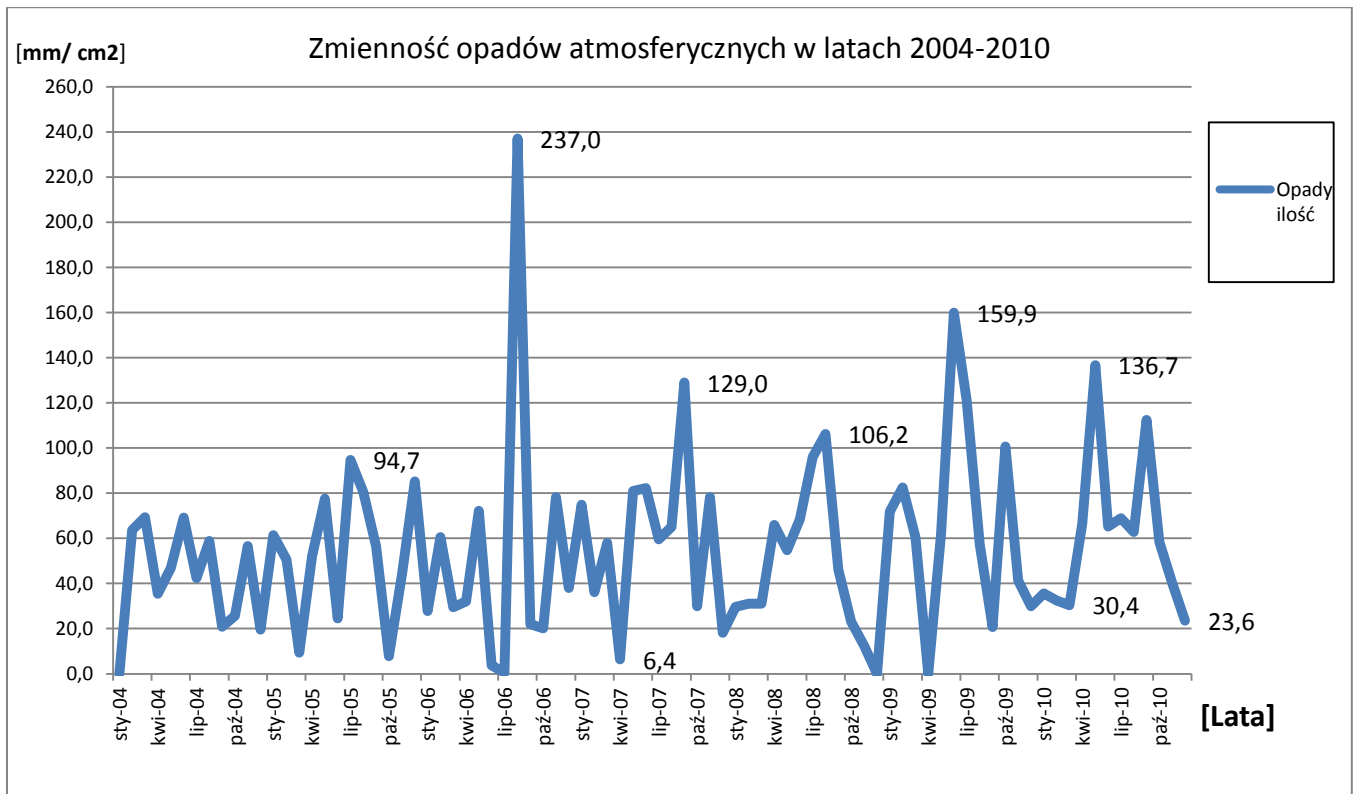
27	lut-06	60,5	0,0	-2,5
28	mar-06	29,5	0,0	3,8
29	kwi-06	32,1	1 208,0	5,7
30	maj-06	72,1	1 008,0	10,1
31	cze-06	3,7	1 102,0	13,2
32	lip-06	0,5	0,0	32,8
33	sie-06	237,0	303,0	16,5
34	wrz-06	22,0	782,0	19,5
35	paź-06	20,1	468,0	13,9
36	lis-06	78,2	2 127,0	5,5
37	gru-06	38,0	692,0	1,5
38	sty-07	74,9	160,0	1,47
39	lut-07	36,2	0,0	0,0
40	mar-07	58,0	332,0	-0,6
41	kwi-07	6,4	145,0	0,6
42	maj-07	80,9	1 009,0	2,8
43	cze-07	82,3	1 726,0	11,1
44	lip-07	59,5	1 107,0	14,7
45	sie-07	65,1	860,0	16,0
46	wrz-07	129,0	2 682,0	14,1
47	paź-07	29,9	725,0	8,8
48	lis-07	78,2	1 980,0	4,7
49	gru-07	18,2	1 244,0	-0,4
50	sty-08	29,7	1 378,0	-0,6
51	lut-08	31,1	1 108,0	0,1
52	mar-08	31,0	1 024,0	0,7
53	kwi-08	66,0	432,0	0,6
54	maj-08	54,8	531,0	5,2
55	cze-08	68,5	0,0	9,4
56	lip-08	96,0	853,0	14,7
57	sie-08	106,2	240,0	16,2
58	wrz-08	46,2	1 681,0	22,2
59	paź-08	23,1	624,0	15,2
60	lis-08	12,3	492,0	11,0
61	gru-08	0,0	0,0	4,2
62	sty-09	71,9	760,0	6,0
63	lut-09	82,5	1 524,0	-3,5
64	mar-09	60,6	1 068,0	-1,7
65	kwi-09	0,0	0,0	2,6
66	maj-09	62,0	504,0	15,4
67	cze-09	159,9	3 639,0	17,5
68	lip-09	121,1	2 872,0	16,7

Tabela 18 c.d.

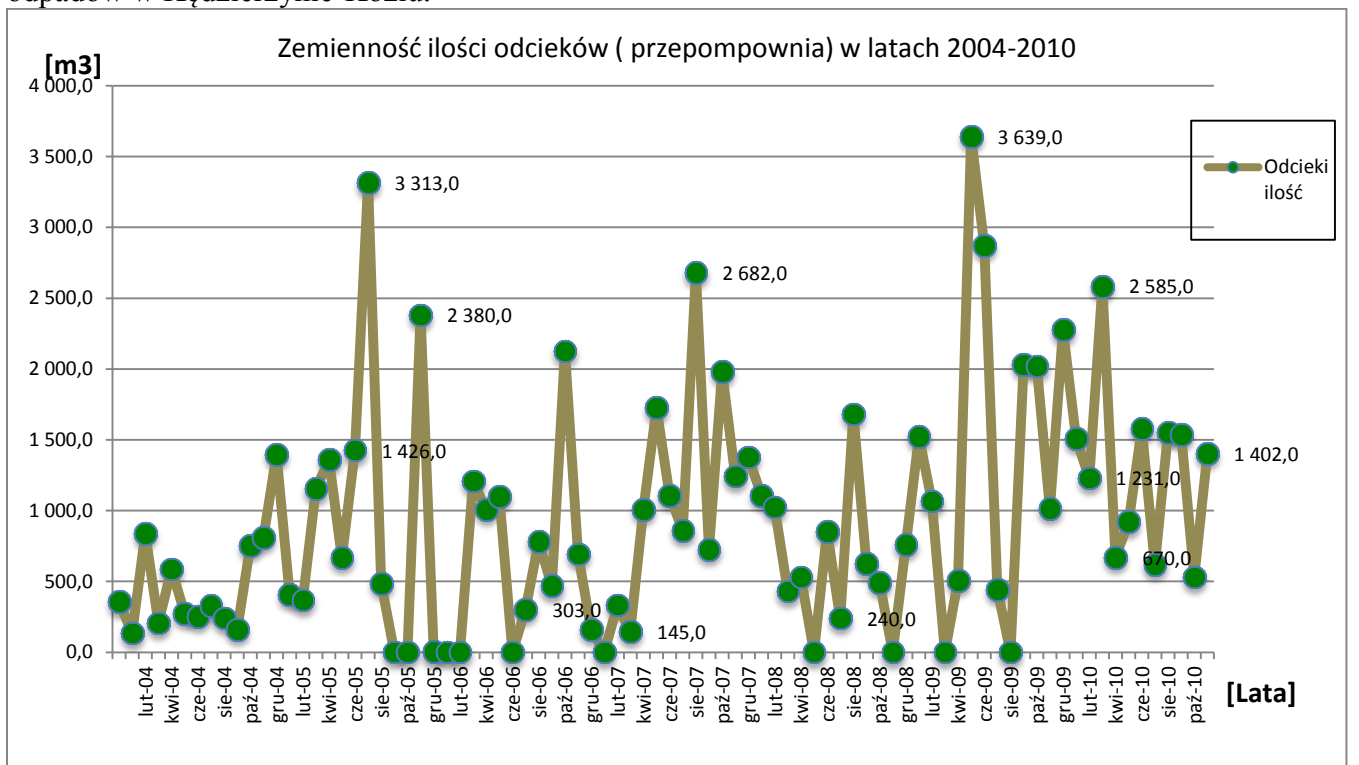
69	sie-09	57,1	441,0	23,6
70	wrz-09	20,7	0,0	19,5
71	paź-09	100,7	2 032,0	18,8
72	lis-09	41,3	2 022,0	9,3
73	gru-09	29,9	1 013,0	7,8
74	sty-10	35,6	2 277,0	0,3
75	lut-10	32,5	1 509,0	-1,7
76	mar-10	30,4	1 231,0	3,7
77	kwi-10	66,3	2 585,0	8,2
78	maj-10	136,7	670,0	10,4
79	cze-10	65,2	921,0	13,3
80	lip-10	68,9	1 580,0	15,2
81	sie-10	62,8	617,0	20,1
82	wrz-10	112,5	1 550,0	18,3
83	paź-10	58,4	1 538,0	11,7
84	lis-10	40,2	531,0	8,3
85	gru-10	23,6	1 402,0	5,6

OŚB – oczyszczalnia ścieków w ZCH Blachownia w Kędzierzynie-Koźlu

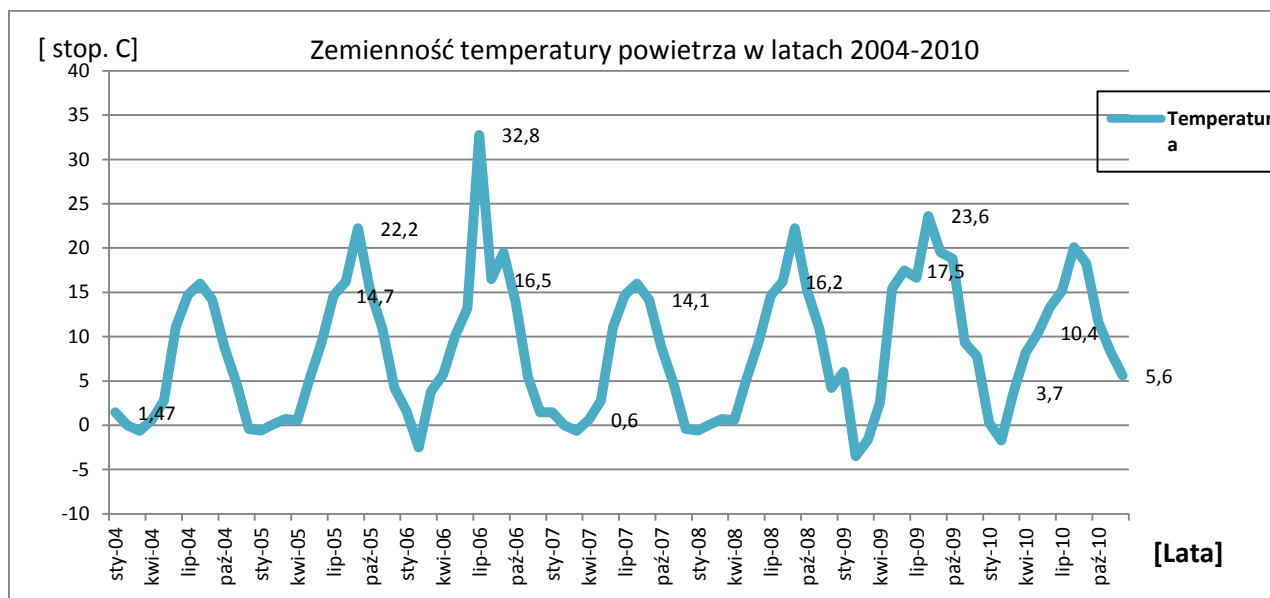
Zestawienie zmienności opadów atmosferycznych, temperatury powietrza oraz ilości odcieków ze wskazań przepompowni na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010



Wykres 34. Zmienność opadów atmosferycznych w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów w Kędzierzynie-Koźlu.



Wykres 35. Zmienność ilości odcieków z przepompowni do OŚB w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów w Kędzierzynie-Koźlu.



Wykres 36. Zmienność temperatury powietrza w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów w Kędzierzynie-Koźlu.

Położenie Kędzierzyna-Koźla stanowi o ilości opadów atmosferycznych i występującej temperaturze w okresie roku. Te wartości oraz występujące anomalie pogodowe warunkują sprawność systemu zabezpieczeń i szybkość odprowadzania wód odciekowych dla zaprojektowanego obiektu geotechnicznego jakim jest badane składowisko.

W badanym okresie stan opadów i temperatury wpływał znacząco na ilość wytwarzanych wód odciekowych, które były odprowadzane poprzez zabudowany system drenaży z kwatery składowania odpadów komunalnych do zbiornika odcieków.

Ilość wytwarzanych odcieków w badanym obiekcie wymaga sprawnego systemu odprowadzania, co zostało wykonane po dokonanej analizie pracy kwatery 1 dla projektowanej kwatery 2.

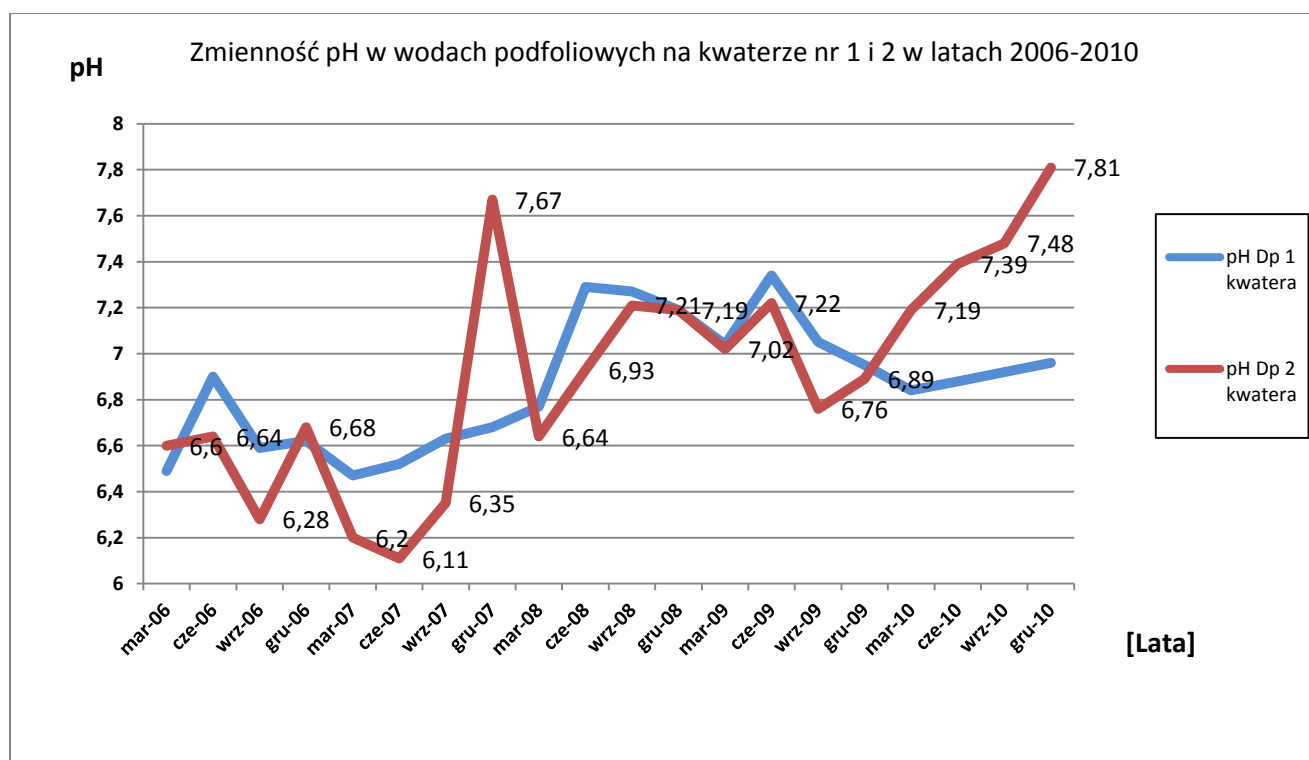
Zamontowany system przepompowania do zbiornika retencyjnego i ponowne tłoczenie rurociągiem do oczyszczalni powoduje zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń poprzez zastosowanie rozcieńczania, które jest prowadzone w zbiorniku retencyjnym.

Sprawny system drenaży odcieków wpływał na prawidłową pracę kwatery 1 doprowadzając do kontrolowanego przemieszczania zanieczyszczeń w trakcie jej eksploatacji.

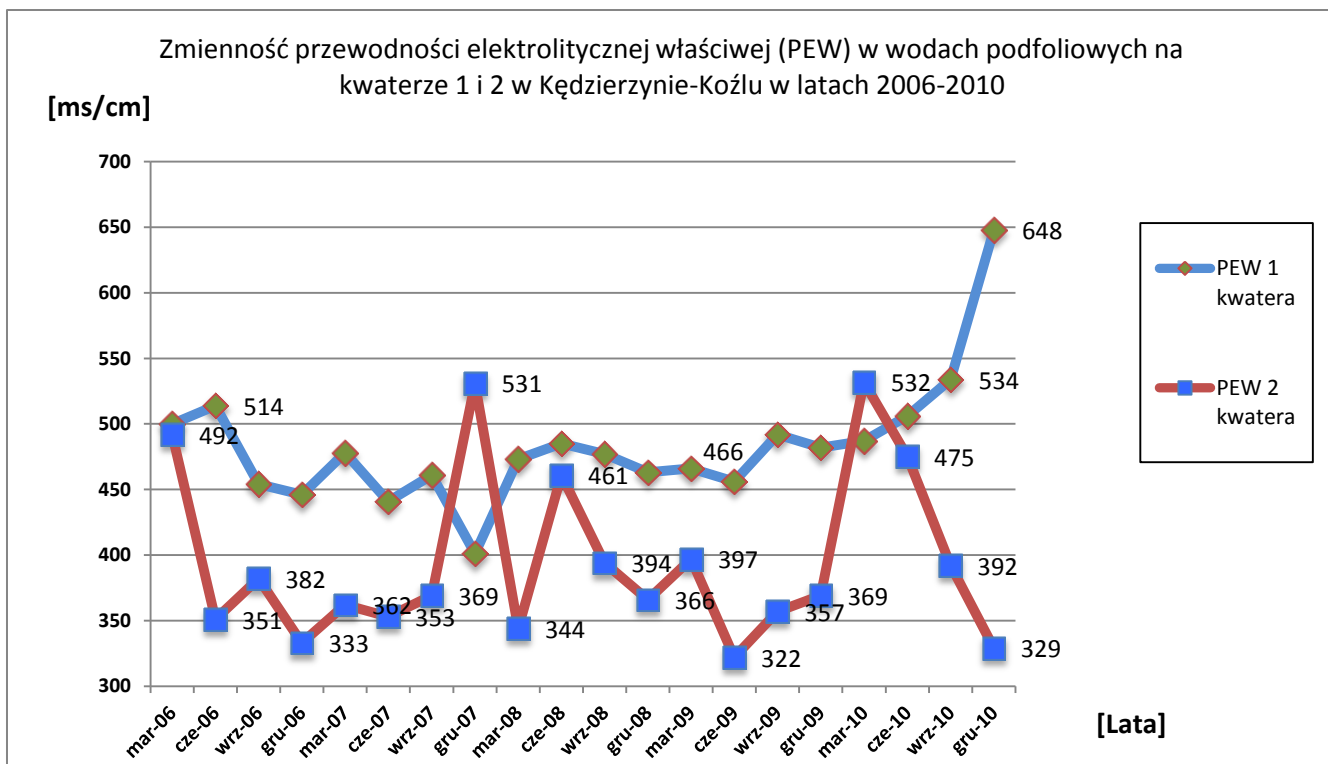
15.9. Zestawienie wyników badań dla porównania zmienności wartości parametrów drenażu podfoliowego kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010

Na Wykresach 37-43 porównano wybrane parametry uzyskane dla wód podfoliowych, a odnoszących się do kwater 1 i 2 (Tabele 15 i 16), w latach 2006-2010 ponieważ w roku 2006 rozpoczęto eksploatację kwatery 2. Porównanie odnosiło się do pH, przewodności elektrolitycznej właściwej, stężenia ołowiu, kadmu, rtęci, chromu, cynku oraz OWO i WWA.

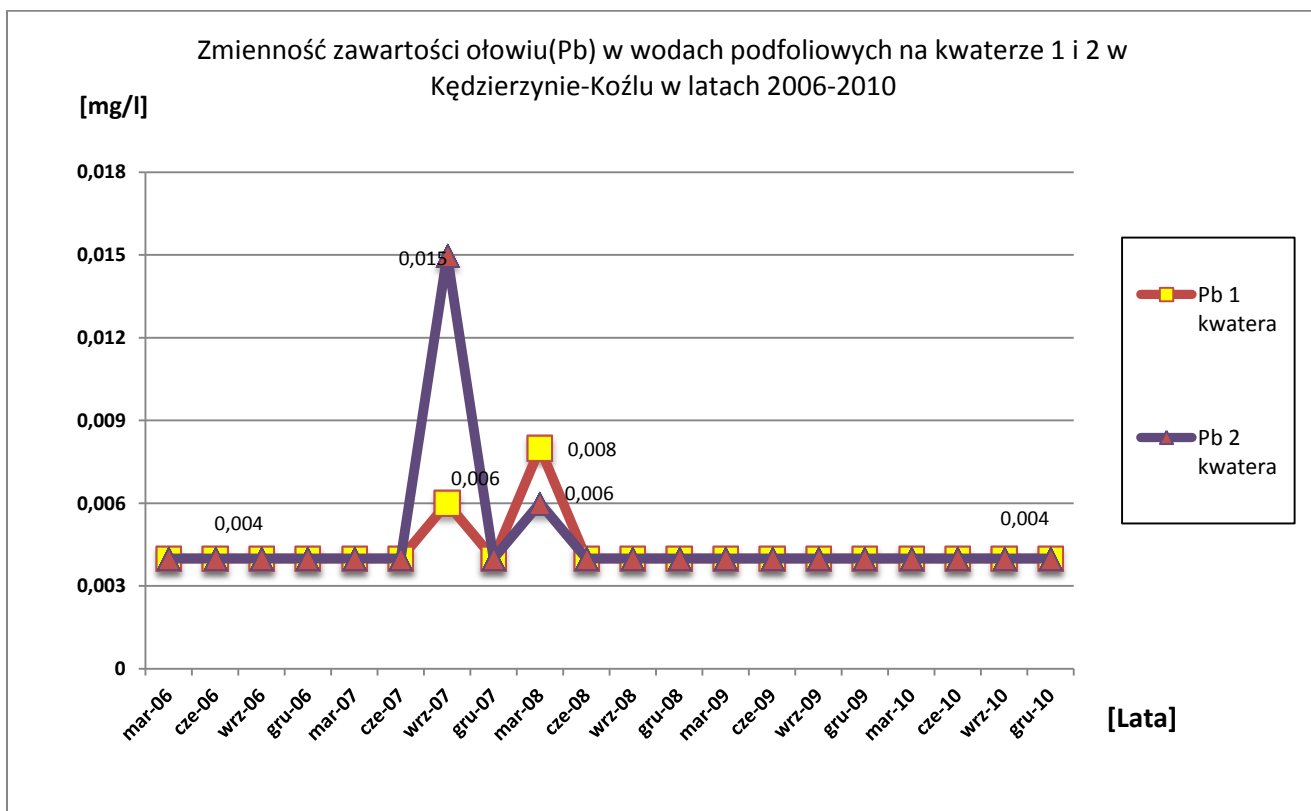
Zestawienie porównawcze wg Tabel 15 i 16 badanych parametrów w wodach podfoliowych dla kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010 – stan po uruchomieniu eksploatacyjnym kwatery 2.



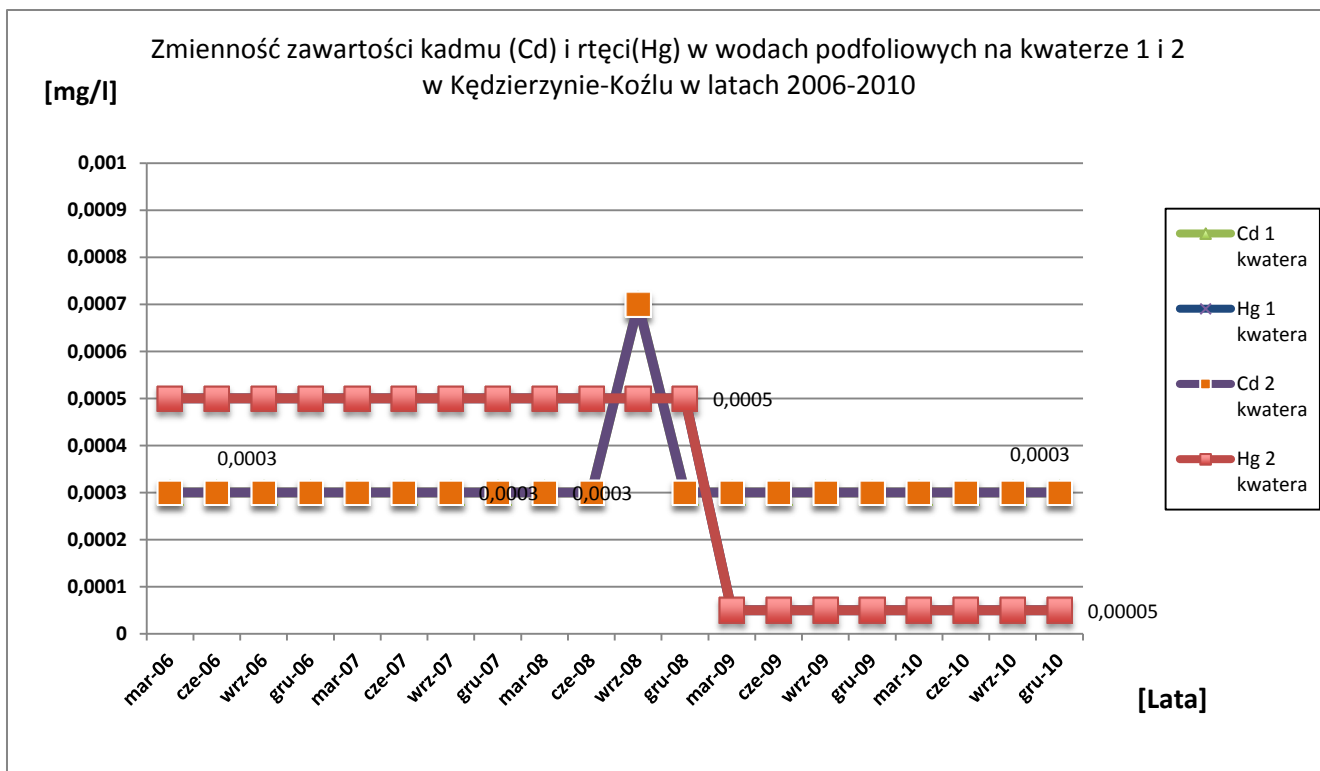
Wykres 37. Zmienność pH w wodach podfoliowych z kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010



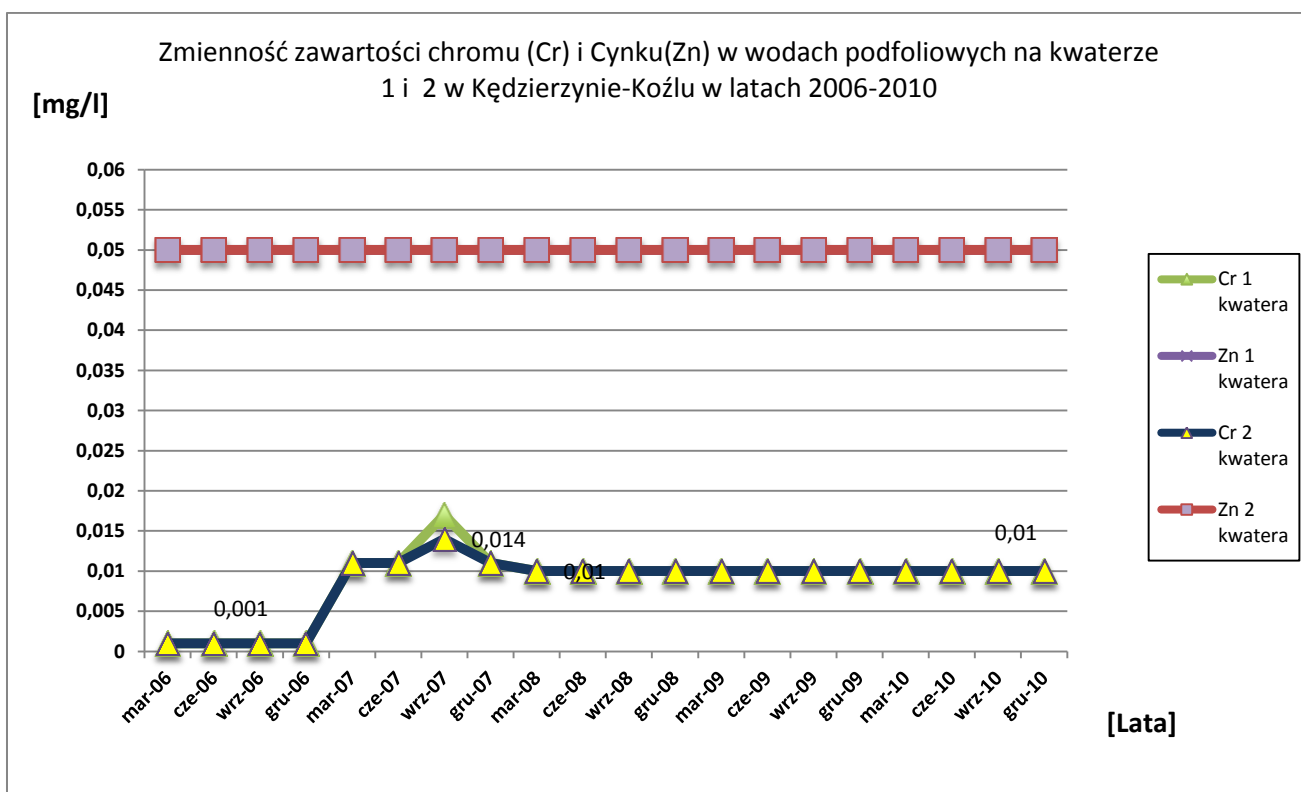
Wykres 38. Zmienność PEW w wodach podfoliowych z kwater 1 i 2 w latach 2006-2010



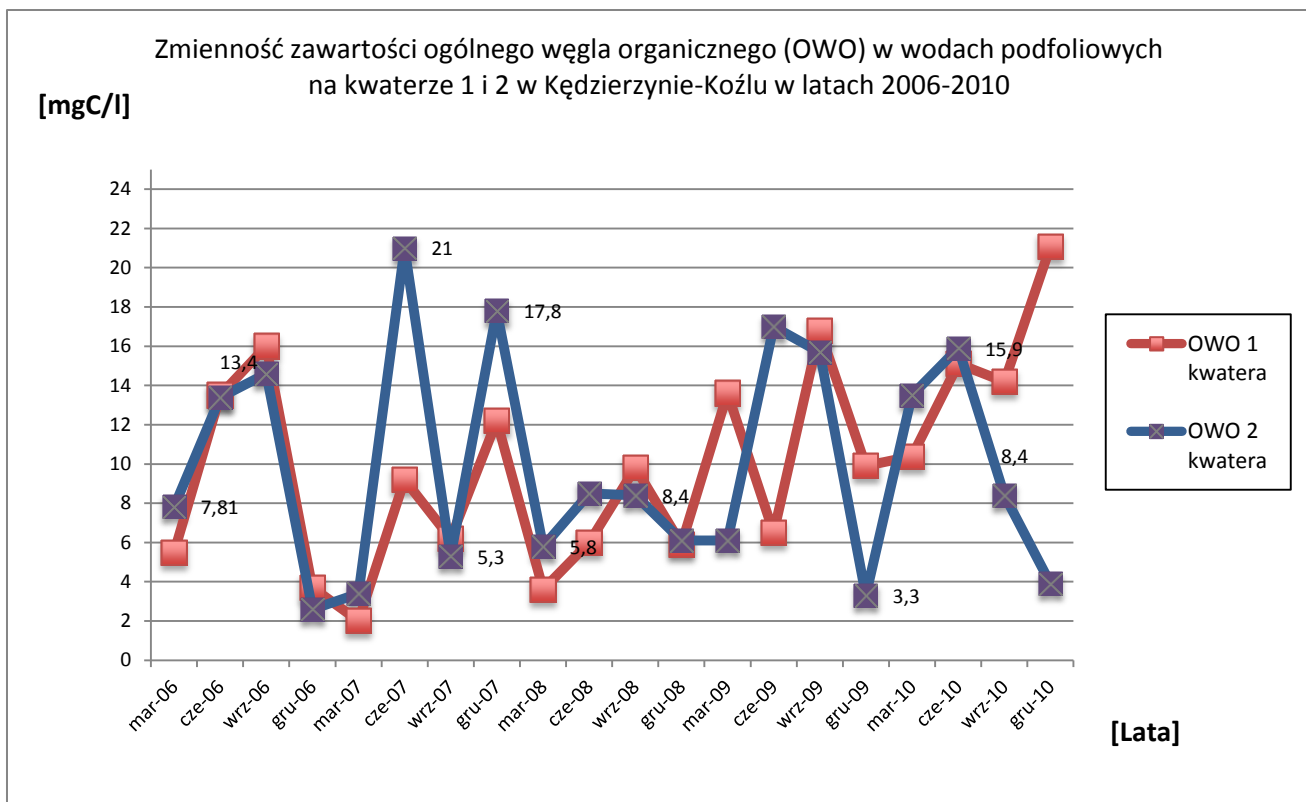
Wykres 39. Zmienność zawartości ołowiu (Pb) w wodach podfoliowych z kwater 1 i 2 w latach 2006-2010



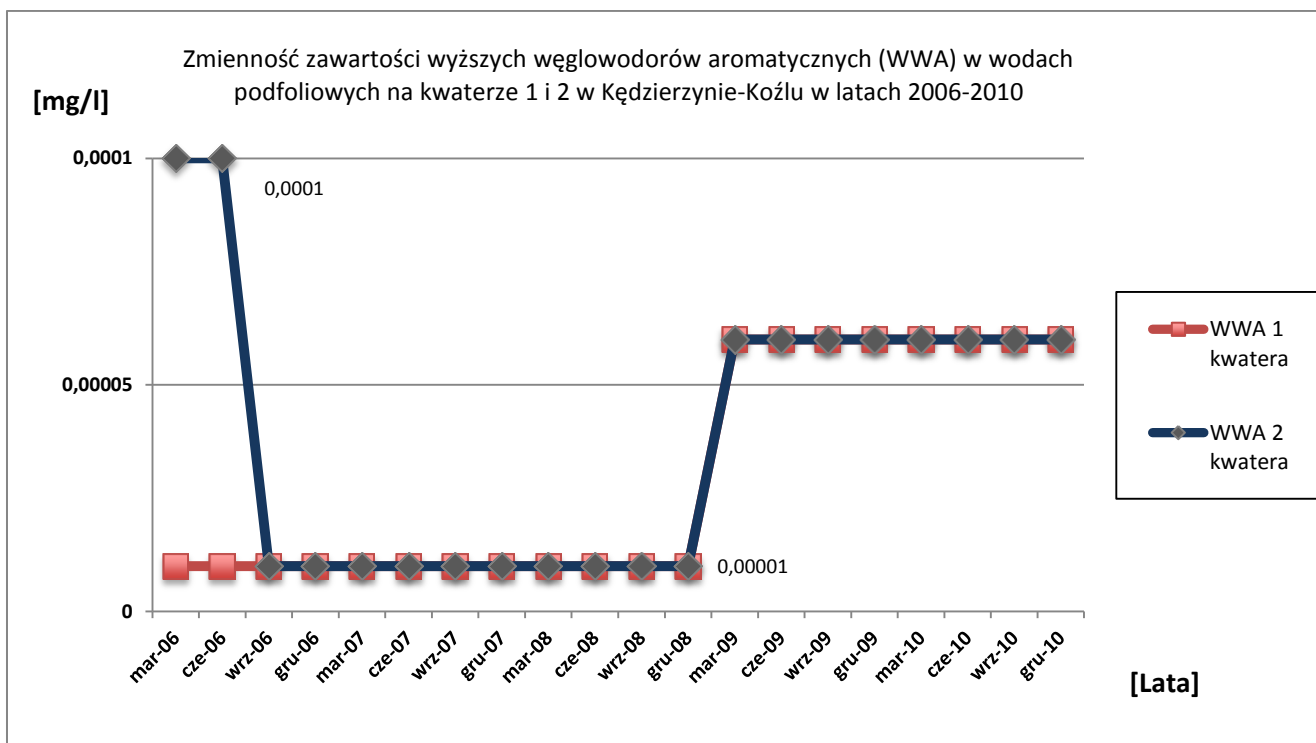
Wykres 40. Zmienność zawartości kadmu (Cd) i rtęci (Hg) w wodach podfoliowych z kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010



Wykres 41. Zmienność zawartości chromu (Cr) i cynku (Zn) w wodach podfoliowych z kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010



Wykres 42. Zmienność zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO) w wodach podfoliowych z kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010



Wykres 43. Zmienność zawartości wyższych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wodach podfoliowych z kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010

Powyższe wykresy porównujące stan zanieczyszczenia wód podfoliowych dla obu kwater, są wykładnikiem stanu środowiska dla obiektu posadowionego w niekorzystnych warunkach terenowych i dowodzą o tym, że nie prowadzą do zanieczyszczenia wód powierzchniowych. W badanym okresie wyniki prowadzonych pomiarów się równoważą co świadczy o stabilności składu fizyko-chemicznego wód podfoliowych pod kwaterami 1 i 2. Przeprowadzone badania są wykładnią jakości zastosowanych zabezpieczeń izolacji dna kwater 1 i 2 oraz prowadzonej eksploatacji.

15.10. Omówienie uzyskanych wyników

1. Prowadzone analizy fizyko-chemiczne w zakresie badania zanieczyszczeń wód gruntowych przepływających w systemie drenażu podfoliowego w okresie 2004-2010 tj. w czasie prowadzenia prac rekultywacyjnych i zamykania kwatery 1 nie wykazały istotnych zmian składu chemicznego w stosunku do norm w tym zakresie (Tabela 15.)
2. Wyniki badań monitoringowych z kierunku spływu wód gruntowych pobierane z piezometrów 2 przed i 2 za kwaterą składowania odpadów komunalnych też nie wykazały zasadniczych odstępstw od przyjętych norm. (Tabela 9-12)
3. Badania, które wykonano dowodzą, że odpowiednio dobrana izolacja (wielowarstwowa – mata bentonitowa o współczynniku przepuszczalności ($K < 1 \times 10^{-7} \text{m/s}$) + folia PEHD 2 mm + geowłóknina wraz z właściwie zaplanowanym system drenaży do odprowadzania odcieków ze składowisk odpadów komunalnych, mogą stanowić podstawę do modelowego projektowania systemu izolacji dna i skarp kwatery oraz drenaży przy realizacji nowych lub modernizacji i rekultywacji starych obiektów geotechnicznych posadowionych w podobnie niekorzystnych warunkach tj. wysokim poziomie wód gruntowych.
4. Dla potwierdzenia szkodliwości ładunku zanieczyszczeń przeprowadzono analizy surowego odcieku, który był gromadzony w zbiorniku retencyjnym przed transportem do unieszkodliwienia w oczyszczalni ścieków co zestawiono w Tabeli 17.
5. Ładunki zanieczyszczeń stanowią o tym jak niebezpieczny jest niekontrolowany wyciek poza teren składowiska do wód powierzchniowych lub gruntowych. Obecnie w Polsce proces doczyszczania odcieków jest prowadzony w oczyszczalniach o obiegu otwartym co powinno być zakazane z uwagi na charakter tego zanieczyszczenia (toksyczność dla organizmów żywych).
6. Stan ilościowy odcieków zależy od wilgotności gromadzonych/deponowanych odpadów komunalnych oraz opadów atmosferycznych co zostało wraz z ilością odprowadzanych odcieków z kwatery 1 i warunkami temperatury zestawione w Tabeli 18, gdzie wyraźnie można oddzielić występowanie zwiększonego zagrożenia w pracy obiektu, a przez to wzmóc kontrolę nad zarządzaną instalacją. Stan zanieczyszczenia odcieków nie odbiegał od norm z rozporządzenia [148]
7. W związku z tym zaproponowano modelowe podejście do procesu eksploatacji z uwzględnieniem stosowanych drenaży w zależności od fazy prowadzonego procesu zapełniania kwatery odpadami komunalnymi jednocześnie usprawniając system regulacji w przepompowni i na studniach rewizyjnych istniejących ciągów drenarskich wprowadzając automatyczną

kontrolę przepływu mediów (Rys. 18 i 19). Praca kwatery powinna być pod stałą kontrolą zarządzającego obiektem więc wprowadzenie do systemów drenarskich automatycznych regulacji stanu poziomu wód drenarskich w kwaterze składowiska wyeliminuje możliwość awaryjnego wycieku co jest nadrzędnym zadaniem obsługi obiektu.

8. Aby kontrolować stan izolacji dna kwatery wprowadzono do dokumentacji projektowej nowej kwatery 2 składowiska odpadów komunalnych system zabezpieczenia dna oparty na układzie zabezpieczeń kwatery 1 z dodatkowym sensorycznym odczytem uszkodzeń izolacji z możliwością lokalizacji awarii do 1 m², zmieniono całkowicie układ położenia systemu drenaży przydennych z możliwą regulacją zasuw przy studniach rewizyjnych zlokalizowanych poza kwaterą, ten zabieg spowodował łatwiejsze usuwanie mediów płynnych i wyeliminował wzrost poziomu odcieków w gromadzonych odpadach w przypadku występowania nadmiernych opadów deszczu lub zimowego topnienia śniegu. Takie niekontrolowane warunki pogodowe prowadziły do czasowych podtopień dróg technologicznych na kwaterze lub przelania odcieków przez obwałowanie.
9. Badania porównawcze przedstawione w Tabelach 15 i 16 dla kwatery 1 i 2 dla wód podfoliowych wskazują wzajemne zależności z niewielkimi zmianami w parametrach co świadczy o utrzymującym się na stałym poziomie jakości pracy izolacji.
10. Stan zanieczyszczenia wód podziemnych dla piezometrów 5 i 6 zestawiony w tabeli 13 i 14 został zapisany jako wynik z 2010 roku, ponieważ stany zanieczyszczenia w latach poprzednich nie wykazywały istotnych zmian i dlatego je pominięto. Te dane zostały zawarte w piezometrach 3 i 4 nie było konieczności umieszczenia ich tabelach do niniejszego opracowania.
11. Po weryfikacji danych można określić, że stan zanieczyszczenia środowiska w zakresie badanych parametrów nie uległ znaczącej zmianie, a otrzymane wyniki z wód podziemnych utrzymują się w normach wskazanych w Rozporządzeniu [146], dla wód powierzchniowych nie stwierdzono stanów zagrożenia ciągłego, jedynie małe ogniska w trakcie badanego okresu występowały sezonowo w zakresie zawartości (OWO) ogólnego węgla organicznego, a od 2006 roku poziom wzrósł poziom zawartości (WWA) wyższych węglowodorów aromatycznych i ustabilizował się, oczywiście nie przekraczając norm z Rozporządzenia [149].

15.10. Sposoby zabudowy izolacji wraz z systemem drenaży wód odciekowych w skarpie kwatery składowiska odpadów komunalnych – Aneks jako propozycja autorska do zastosowania w projektowaniu zabezpieczeń tego typu obiektów

Do pracy dołączono w postaci aneksu pięć propozycji odnoszących się do układu drenaży wód odciekowych możliwych do zastosowania w kwaterze składowiska. Propozycje obejmują sposób zabudowy izolacji dna kwatery i skarp wraz z wbudowanym systemem odprowadzania wód odciekowych poza kwaterę.

Przedstawione przekroje powinny być wykorzystane przy pracach projektowych dla zminimalizowania migracji zanieczyszczeń z kwatery składowania odpadów do gruntu rodzimego w miejscach połączeń izolacji. Przekroje zilustrowano w Aneksie I-V.

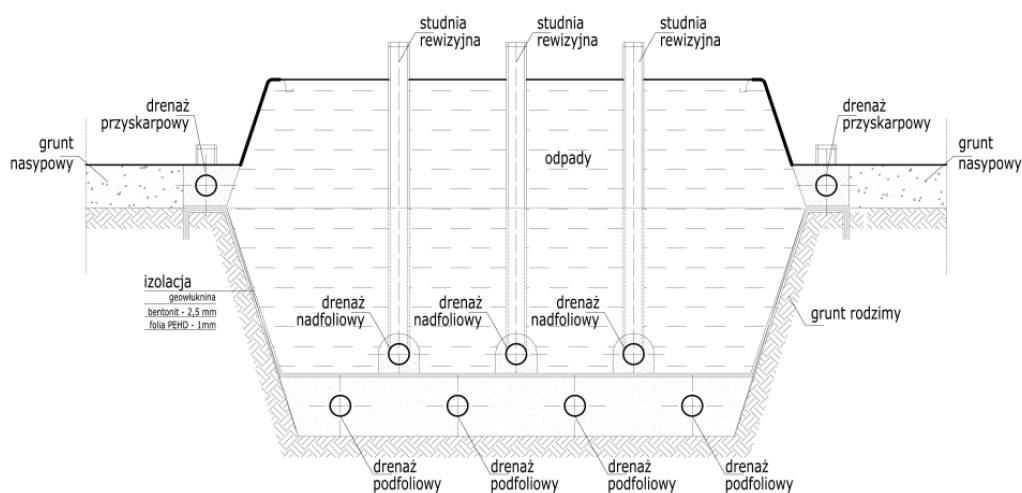
Zestawienie proponowanych modeli zabezpieczenia skarp wraz z systemem drenażowym do odprowadzania wód odciekowych od poz. I-V

Aneks I -V– przedstawia przekrój kwatery wraz z zabudowanym systemem drenaży podfoliowych, nadfoliowych (przydennych) oraz przyskarpowych, studniami rewizyjnymi położonymi w różnych konfiguracjach zabudowy w skarpie lub poza nią w składowisku.

Aneks I. System drenaży pofoliowych wód gruntowych i nadfaliowych wód odciekowych ze szczególnym uwzględnieniem sposobu zabudowy drenażu przyskarpowego ze studnią rewizyjną, która pełni rolę kontrolującą stan zanieczyszczeń pomiędzy dwiema warstwami kwatery składowiska pod i nad izolacją. Tego typu drenaż monitoruje stan uszczelnienia bocznego co pozwoli na szybką interwencje w przypadku jego awarii.

Aneks I. System drenaży dla kwatery składowiska odpadów komunalnych.

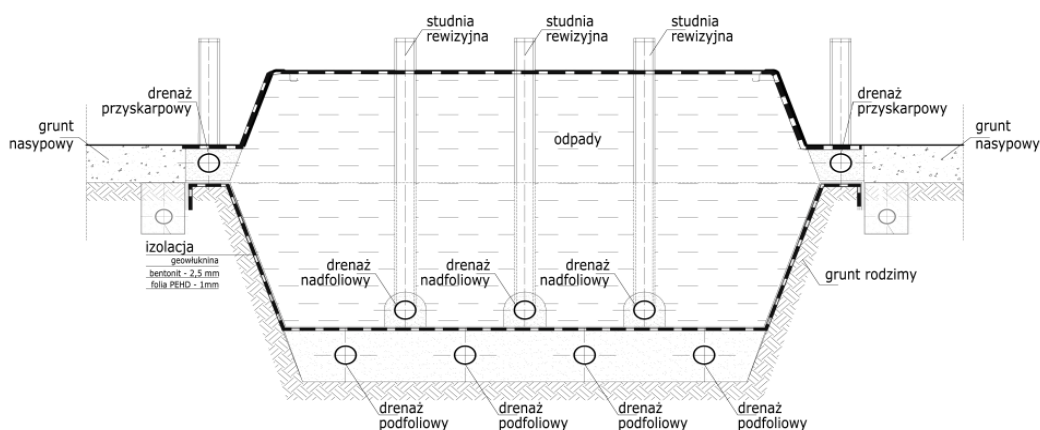
Proponowany układ drenaży-kwaterna



Aneks II. Zabudowany system drenaży został dodatkowo wzmocniony o dodatkowy drenaż na poziomie warstwy blokowania izolacji w skarpie, który może monitorować wszelkie awarie na poziome łączenia i kotwienia izolacji przy skarpie, a także monitorować wzrost poziomu wód gruntowych. Studnie rewizyjne są zabudowane tylko w części górnej drenażu przyskarpowego.

Aneks II. System zabudowy drenaży odcieków i wód gruntowych.

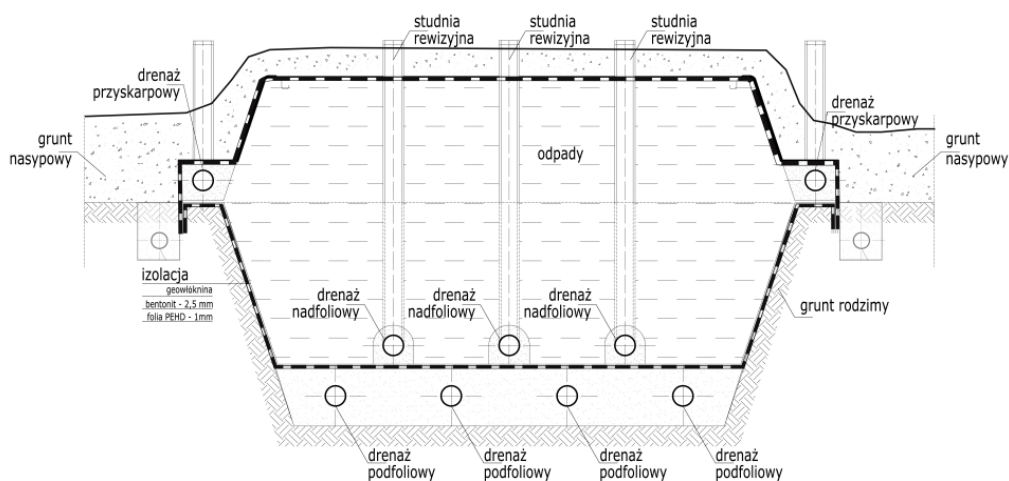
Propozycja drenaży w modelu



Aneks III. System drenaży zabudowanych w skarpię znajduje się na dwóch poziomach, gdzie pierwszy z nich stanowi grunt rodzimy skarpy, a drugi stanowi zamknięty izolacją drenaż wewnątrz kwatery składowiska na wysokości gruntu nasypowego. Tego typu rozwiązanie kontroluje skutecznie migracje zanieczyszczeń na linii połączenia izolacji czaszy i skarpy z izolacją dna kwatery.

Aneks III. System drenaży wód odciekowych zamknięty izolacją w kwaterze.

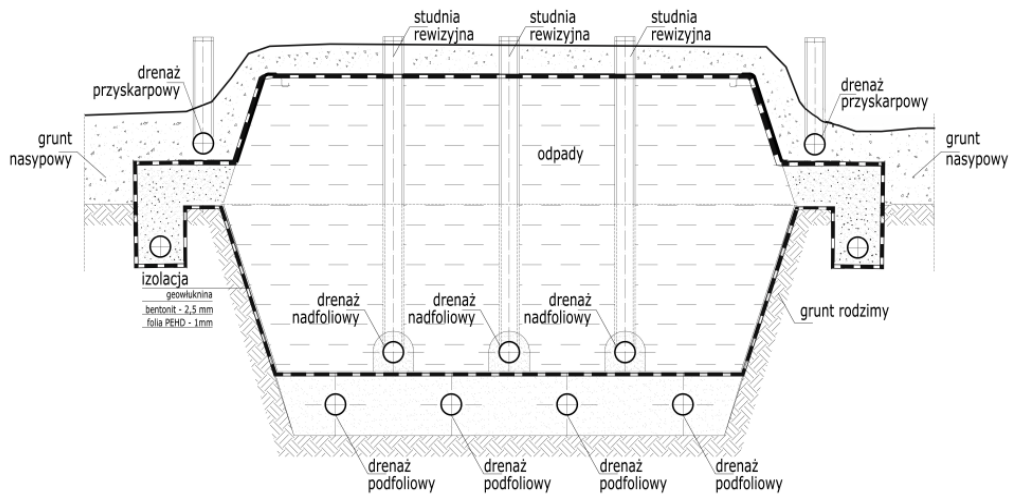
Propozycja drenaży w modelu



Aneks IV. Drenaż odcieków jest zamknięty w skarpie składowiska na poziomie gruntu w obsypce piaskowo-żwirowej i kontroluje pracę izolacji łączącej obie części kwatery i jednocześnie pracę drenażu przyskarpowego zabudowanego na zewnątrz izolacji części nadpoziomowej kwatery.

Aneks IV. System drenaży wód odciekowych zamknięty w warstwie filtracyjnej kwatery.

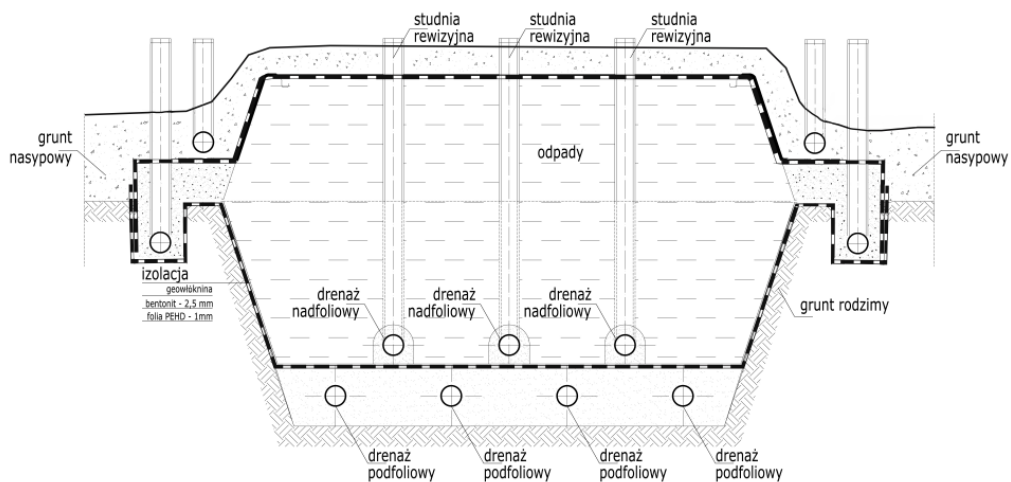
Propozycja drenaży w modelu



Aneks V. Zabudowane systemy kontroli pracy skarpy kwatery zostały wyposażone w studnie rewizyjne, które zwiększają sprawność tego typu zabudowy oraz pozwalają na szybkie usuwanie awarii w systemie drenaży.

Aneks V. System drenaży wód z odcieków i wód powierzchniowych ze studniami rewizyjnymi w skarpie.

Propozycje drenaży w modelach



Zaproponowane modele mogą być wykorzystane przy projektowaniu nowych składowisk, gdzie z uwagi na ich położenie w terenie wymagane jest zastosowanie wielopoziomowego systemu odprowadzania wód odciekowych z systemem rewizji i regulacji. Sprawność systemu jego niezawodność wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa w eksploatacji w przypadku awarii izolacji dla kwater chroniąc środowisko przed szkodliwym oddziaływaniem składowiska na otoczenie.

16. Podsumowanie i wnioski

1. Do czasu wejścia w życie rozporządzenia 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. Nr 61, poz. 549), składowiska odpadów komunalnych były budowane według zasad prawa budowlanego [144].
2. Polskie gminy, których jest ok 2500 posiadały ok. 900 składowisk tzn. co trzecia gmina miała swoje składowisko, które w wielu przypadkach nie spełniało norm założonych w Rozporządzeniu [144].
3. Wybudowane w Kędzierzynie-Koźlu składowisko odpadów komunalnych w 1997 roku było jednym z nich, dlatego wymagało przeprowadzenia kompleksowych badań w zakresie monitoringu zastosowanych materiałów i systemu odprowadzania mediów (odcieków) ze szczególnym uwzględnieniem pracy drenaży.
4. Należy zaznaczyć, że składowisko było posadowione na terenie o wysokim stanie wód gruntowych w strefie przypowierzchniowej, gdzie do głębokości 5-12 m dominują grunty piaszczyste rozdzielone warstwą glin piaszczystych o zmiennej miąższości i rozprzestrzenianiu, co dla tego typu obiektu było bardzo niekorzystne z uwagi na szybką migrację zanieczyszczeń do środowiska w przypadku awarii izolacji lub drenażu.
5. Przypowierzchniowa warstwa glin, z uwagi na zmienne rozprzestrzenianie oraz zbyt wysoki współczynnik filtracji nie stanowi naturalnej izolacji wymaganej w Rozporządzeniu [144,145]. Obiekt budowlany jako budowla geotechniczna musiał być poddany wnikliwej analizie systemu prowadzenia eksploatacji oraz dokonania zmian w zakresie gromadzenia odpadów na kwaterze składowiska na poziomie powyżej obwałowań do rzędnej 108 m npm.
6. W pierwszej kolejności uszczegółowiono prowadzenie kompleksowych badań monitoringowych zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitorowania składowisk odpadów (Dz. U. Nr 220 poz. 1858) [140,150]
7. W badaniach testowano zabudowane w kwaterze 1 systemy zabezpieczeń tj. izolację dna kwatery i jej skarp oraz sprawność i ilość odprowadzanych odcieków z zabudowanych systemów drenaży przydennych wód odciekowych. Wyniki badań wykazały skuteczność zastosowanej izolacji dna kwatery czyli zastosowanego materiału, sposobu i technologii uszczelnienia dna kwatery 1.

8. Wynikiem czego rozpoczęto przygotowania do opracowania dokumentacji projektowej, nowej kwatery 2, gdzie wykorzystano część danych z analiz prowadzonych od 1998 roku do 2002, a także rozpoczęto analizy stanu fizyko-chemicznego wód według wytycznych opartych na Rozporządzeniu w sprawie monitoringu tego typu budowli [140,150].
9. Przedstawione wyniki z analiz wskazują, że w badanym okresie nie doszło do migracji zanieczyszczeń z badanej kwatery, która była posadowiona na ternie o wysokim stanie wód gruntowych i wykonano ją w sposób inny niż zalecenia cytowanego Rozporządzenia [144,145], jednak zastosowany sposób zabezpieczeń (patrz: budowa i zabezpieczenie kwatery 1) przed i w badanym okresie skutecznie izolował zanieczyszczenia do czasu zakończenia eksploatacji i rekultywacji kwatery.
10. Powyższe dowodzi, że przy prawidłowej eksploatacji technicznej i zabudowaniu prawidłowego systemu drenażu przydenne (zgłoszenie patentowe nr P. 403990) i przyskarpowego można odciążyć kwaterę od zanieczyszczeń płynnych jednocześnie eliminując zagrożenie skażenia w wyniku potencjalnej awarii.
11. Przygotowano założenia do opracowania nowej dokumentacji budowy skarp z odpadami komunalnymi ponad przygotowane obwałowanie składowiska wraz z drenażem przyskarpowym (zgłoszenie patentowe nr P.396858) na poziomie obwałowania ze studniami rewizyjnymi, co zostało opracowane i zrealizowane stanowiąc kolejny element prowadzonych prac badawczych wykorzystanych w praktyce eksploatacji obiektu poprawiając stateczność zboczy kwatery 1.
12. Uzyskane wyniki badań oraz przeprowadzone obserwacje eksploatacji kwatery 1 przyczyniły się do zmian w procesie projektowania nowej kwatery 2 w warunkach niekorzystnych wykazanych w badaniach hydrogeologicznych dla całego terenu gdzie jest zlokalizowane składowisko, które znajduje się na głównym użytkowym poziomie wodonośnym w utworach trzeciorzędowych należących do GZWP nr 332 tj.: Subniecka Kędzierzyńsko-Głubczycka występująca na głębokości ponad 70 m pod okrywą ciągłej słabo przepuszczalnej warstwy ilów.
13. Opracowany na podstawie badań i obserwacji pracy obiektu materiał dotyczący nowatorskiego systemu regulacji zabudowanego na kolektorze zbiorczym z drenaży odcieków, pozwolił projektantom opracować dokumentację techniczną na budowę kwatery 2 i obecnie projektowanej kwaterze 3, które są posadowione na terenie o wysokim stanie wód gruntowych, a jednocześnie na zbiorniku wody pitnej.

14. Obecnie prowadzone są prace sprawdzające skuteczność wprowadzonego systemu zabezpieczeń dla zrehabilitowanej kwatery 1 i eksploatowanej kwatery 2. Prace te mają za zadanie dalszą weryfikację stanu zabezpieczeń kwatery 1 i 2, powinny być prowadzone w sposób ciągły zgodnie z nowym Rozporządzeniem w sprawie składowisk odpadów[140], co powinno przyczynić się do wypracowania kolejnych propozycji zmian wypracowanych na podstawie prowadzonych badań. Uzyskane wyniki powinny być wykorzystane do upowszechnienia systemów izolacji wraz z drenażami dla tego typu obiektów.
15. Realizując niniejszą pracę wykazano na drodze eksperymentalnej, że w przypadku składowisk odpadów komunalnych posadowionych na obszarach nie spełniających warunków określonych w cytowanych rozporządzeniach [145,146], możliwa jest ich eksploatacja w sposób niezagrażający środowisku naturalnemu.
16. Ze względu na powszechność posadowienia składowisk typu innych niż niebezpieczne i obojętne niezgodnie z warunkami określonymi w Rozporządzeniu [145] niniejsza praca powinna być swego rodzaju przewodnikiem traktującym o eksploatacji tego typu obiektów.

17. Piśmiennictwo

- [1] **Abdulahussain A. A. i wsp.**, Review on landfill leachate treatments, *American Journal of Applied Sciences*, 5(5),2009, 534-545.
- [2] **Adamek M.**, Poradnik: Metody badania i rozpoznawania wpływu na środowisko gruntowo-wodne składowisko odpadów stałych Wyd. Oficyna Wydawnicza „EL-Press”, Warszawa 2000.
- [3] **Alkassasbeh Y.M., 2009.** „Toxicity testing and the effect of landfill leachate in Malaysia on behavior of common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758; Pisces, Cyprinidae)”, *American Journal of Environmental Sciences* 5 (3): 209-217.
- [4] **Al-Yousfi A. B., 2004.** “Sound environmental management of solid waste-the landfill bioreactor”, United Nations Environmental Programme-Regional Office for West Asia.
- [5] **Augustyńska, J. Dulińska, J., 2010.** Wpływ wstrząsów górniczych na obwałowanie ziemne składowiska odpadów, *Czasopismo Techniczne. Budownictwo*, R. 107, z. 3-B (3-14)
- [6] **Bagchi A.**, Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management Wiley, John&Son, Incorporated., 2004.
- [7] **Banasiak G., 2003.** Monitoring na składowisku odpadów- oddziaływanie akustyczne, pomiary bryły składowiska oraz badanie stopnia osiadania i zagęszczania odpadów z uwzględnieniem warunków meteorologicznych. XIII Międzynarodowa Konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów- Transformacja Składowisk odpadów w Polsce w Kontekście Wejścia do Unii Europejskiej. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.
- [8] **Baun A., Ledin A., Reitzel L.A., Bjerg P.L., Christensen T.H., 2004.** Xenobiotic organic compounds in leachates from ten Danish MSW landfills—chemical analysis and toxicity tests. *Water Research*, 38 (18), 3845-3858.
- [9] **Białowiec A., 2009** „Racjonalna gospodarka odciekami”, *Przegląd Komunalny*, nr 10, , s. 30-35.
- [10] **Białowiec, A. 2012.** „Składowisko odpadów - niedoceniana technologia”, *Przegląd Komunalny*, nr 4 (42-45)
- [11] **Białowiec, A., 2010.** Wpływ odcieków i odpadów na wierzbę. *Przegląd Komunalny*, 3, 36-39.

- [12] **Białowiec, A., 2010a.** Wpływ odcieków i odpadów na hydrofity. *Przegląd Komunalny*, 4, 36-38.
- [13] **Bielińska, E.J. Mocek- Płóciński, A. 2009.** „Impact of uncontrolled waste dumping on soil chemical and biochemical properties”, *Archives of Environmental Protection*, Vol. 35, no. 3, (101-107)
- [14] **Biliewski B., Hardtle G., Marek K.,** Podręcznik gospodarki odpadami- Teoria i praktyka. Wyd. Seidel i Przywecki, Warszawa 2003.
- [15] **Bojanowicz-Bablok, A., 2012.** „Efekty zewnętrzne związane z uciążliwością składowisk dla otoczenia”, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, Vol. 14, nr 1, (11—19)
- [16] **Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów**, Abrys Sp. zo.o., Gdynia 18-20 luty 2009
- [17] **Chandra S., Chauhan L.K.S., Pande P.N., Gupta S.K., 2004.** Cytogenetic effects of leachates from tannery solid waste on the somatic cells of *Vicia faba*. *Environmental Toxicology*, 129-133.
- [18] **Chwieduk D.,** Algorytmy wyboru lokalizacji składowiska na przykładzie województwa warszawskiego, VIII Międzynarodowa Konferencja „Budowa bezpiecznych składowisk odpadów”, Wisła 2006a.
- [19] **Czajka, Z., 2011.** „Maty włóknisto-cementowe do uszczelniania i wzmacniania powierzchni”, *Materiały Budowlane*, nr 2 (59-61).
- [20] **Czarnomski K., Izak E.:** Trwałe zanieczyszczenia organiczne w środowisku, Rozporządzenie Wspólnoty Europejskiej Nr 850/2004, Materiały informacyjne, Warszawa 2008.
- [21] **Daniszewski, P. Draszawka-Bolzan, B., 2012.** „Wpływ składowiska odpadów na środowisko naturalne w Międzyzdrojach”, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, Vol. 3, (67—72)
- [22] **Daniszewski, P. Draszawka-Bolzan, B., 2012a.** „Wpływ składowiska odpadów komunalnych na jakość środowiska naturalnego w Międzyzdrojach w okresie od 2005 do 2007 roku”, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, Vol. 3, (73—79)
- [23] **Diaz L. F., Bakken P.,** *Solid Waste Management*, UNEP 2005.
- [24] Dokumentacja do programu ochrony powietrza dla powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego. Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych “EKOMETRIA” Sp. z o.o. Gdańsk 2009r.
- [25] **Dokumentacja** określająca warunki hydrogeologiczne, opracowanie nowe wykonał

Zakład Usług Geologicznych "GRUNT" s.c. Opole w 2011 roku

[26] **Doniecki, T. Siedlecka, E., 2009.** „Zmienność współczynnika filtracji w mule węglowym proponowanym do budowy barier izolacyjnych”, Inżynieria i Ochrona Środowiska, T. 12, nr 3, 219—230.

[27] **Dragowski, A. , 2009.** „Geologiczne i inne środowiskowe uwarunkowania składowania odpadów”, Materiały Budowlane, nr 12 (26-28).

[28] **Duczmal M.,** Gospodarka odpadami, Wyd. APEXnet CSAP, Warszawa 2005

[29] **Dyrektywa 99/31/WE** w sprawie składowisk odpadów z 26 kwietnia 1999 r.

[30] **Dyrektywa 96/61/WE** dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (IPPC) z dnia 24 września 1996r.

[31] **Dyrektywa 2008/98/WE** Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie odpadów oraz uchylająca inne dyrektywy z dnia 19 listopada 2008 r.

[32] **Dz. U. z 2008 r. nr 25 poz. 150** , ustawa Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r.

[33] **Dz. U. z 2001r. nr 100, poz. 1085** wprowadzenie ustawy- Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz zmiana niektórych ustaw.

[34] **Dz. U. z 2013r. poz. 2**, ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. tekst jednolity.

[35] **Dz. U. z 2011 r. nr 152, poz. 897**, ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 13 września 1996 r., („rewolucja śmieciowa”

[36] **Dz. U. z 2013 r. poz. 1399** tekst jednolity z 28 listopada 2013, „Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach”

[37] **Dz. U. z 2012r. poz. 647** w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym.

[38] **Dz. U. z 2008r. Nr 199, poz. 1227** o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko

[39] **Environmental Control Systems, INC.,** “Summary of ECS’s Aerobic Landfill and Sustainable Landfill Technologies”

[40] **Fan H.,** Characteristics of landfill leachates in central Taiwan. Science of The Total Environment, 361 (1-3), 2006, 25-37.

- [41] **Feng S.J. 2010.** „Seismic analysis for translational failure of landfills with retaining walls”, Waste Management, Vol. 30, Issue 11, (2065–2073)
- [42] **Fizyko - chemiczne i mikrobiologiczne zagrożenia środowiska przez odpady**, praca zbiorowa pod red. E. Drzał, PIOŚ, Warszawa 1995.
- [43] **Frączek, K., 2010.** „Sezonowe zmiany wskaźników stanu sanitarnego gleby na terenie oraz w rejonie składowiska odpadów komunalnych aglomeracji krakowskiej”, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, T. 10, z. 2 (49-60)
- [44] **Geoteko**, Geotechnika Składowisk Odpadów. Projektowanie i Roboty zabezpieczające. Zalecenia techniczne. 1994. Materiały europejskiego Komitetu technicznego dla Międzynarodowego Stowarzyszenia Mechaniki Gruntów. Geoteko. W-wa 1994.
- [45] **Gościński J, 2007a.** „ZOMB - jak wybrać? Cz. I”, Przegląd Komunalny, nr 12, s. 32-34.
- [46].**Gościński J., 2003.** Eco-landfill- składowisko bezproblemowe; metoda inertyzacji diagenetycznej czyli budowy bezemisyjnych składowisk jako innowacyjna alternatywa w gospodarce odpadami. XIII Międzynarodowa Konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów- Transformacja Składowisk odpadów w Polsce w Kontekście Wejścia do Unii Europejskiej. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.
- [47] **Gościński J., 2008.** „Nie oszczędzać na doradztwie i koncepcji”, Przegląd Komunalny, nr 3, s. 34-35.
- [48] **Górski M.** Składowanie odpadów Cz. I , Przegląd Komunalny, 2013.12.28-29
- [49] **Górski M.** Składowanie odpadów Cz. II, Przegląd Komunalny, 2014, 1. 28-29.
- [50] **Górski M., 2009.** „Zamknięcie składowiska odpadów” Przegląd Komunalny, nr 1, s. 28-29.
- [51] **Górski M.,** Nowa dyrektywa ramowa o odpadach Dyrektywa 2008/98/we. Konferencja: Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów komunalnych. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań 2009b
- [52] **Górski M., Nowacki K.** „Prawne i organizacyjne obowiązki gmin w postępowaniu z odpadami komunalnymi” Kolonia Limited ,Wrocław 2012
- [53] **Grabowski Z.,** „Monitoring a kształtowanie strefy oddziaływanie wokół składowisk odpadów komunalnych”.
- [54] **Grabowski Z.,** „Zamknięcie i monitoring składowiska – uwarunkowania prawne i techniczne”.

- [55] **Grabowski, D. i wsp., 2009.** „Analiza budowy geologicznej województwa wielkopolskiego pod kątem wyboru obszarów preferowanych do lokalizacji składowisk odpadów”, *Przegląd Geologiczny*, (46-46)
- [56] **Grygorczuk-Petersons E. H., Wiater P., 2012.** „Wpływ składowiska odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych”, *Inżynieria ekologiczna*, nr 31 (38-46),
- [57] **HAASE Energietechnik AG**, Landfill leachate treatment, utilization of process water from biogas plants- HAASE Membrane Units, 2005.
- [58] **Hudgins M., 1998.** “In Situ Municipal Solid Waste Composting Using an Aerobic Landfill System”, *American Technologies*, 144-157.
- [59] **Hudgins M., Wolfe K., House J.**, Results from an aerobic landfill “bioreactor” system.
- [60] Instrukcja eksploatacji składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu
- [61] **Isidori M., 2003.** Toxicity identification evaluation of leachates from municipal solid waste landfills: a multispecies approach. *Chemosphere*, 52, 85–94.
- [62] **Izdebska-Mucha, D. Korzeniowska-Rejmer, E., 2009.** „Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na właściwości fizyczne gruntów stosowanych do budowy mineralnych barier uszczelniających składowiska odpadów”, *Czasopismo Techniczne. Środowisko*, R. 106, z. 3-Ś, (39—54)
- [63] **Jamróż Agnieszka** “Prawidłowa budowa, eksploatacja i rekultywacja składowisk odpadów komunalnych zgodnie z przepisami prawa polskiego” *czasopismo techniczne “Środowisko”*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej nr 1-Ś/2012, zeszyt 4.
- [64] **Jones-Lee A. iwsp., 2005.** “Municipal Solid Waste Landfills – Water Quality Issues”, *Macerro California*.
- [65] **Jones-Lee A. iwsp.,** *Appropriate Use of MSW Leachate Recycling in Municipal Solid Waste Landfilling*, California 2000.
- [66] **Kaczorek K., Ledakowicz S., 2005.** „Analiza pracy składowiska odpadów z punktu widzenia inżynierii bioreaktorowej”, *Biotechnologia*, 2, 69–87.
- [67] **Kalka J., Ośliślok A., Surmacz-Górska J., Fudala- Książek S. 2008.** Wykorzystanie testu mikrojądrowego do oceny genotoksyczności odcieków ze składowisk odpadów. *Ochrona Środowiska*, 30(4), 15-17.
- [68] **Karthikeyan O. P., Kurian J.,** „Bioreactor landfills for sustainable solid waste management”, *Cent.Envir.Stud.*, 112-123.

- [69] **Karthikeyan O.P. i wsp., 2007.** „Municipal Solid Waste Treatment in Simulated Bioreactor Landfills Operated with High Ammonia-N”, International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Chennai, India. P. 466-473.
- [70] **Kavazanjian E., 2007.** „Sustainable redevelopment of former and abandoned landfills: lessons from practice”, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.
- [71] **Kazmierczuk M. i wsp, 2004.** „Mikrobiologiczne zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu obiektów gospodarki komunalnej- monografia”, Dział wydawnictw IOŚ, Warszawa.
- [72] **Kılıç M.,** Landfill leachate treatment by the combination of physicochemical methods with adsorption process, *J. Biol. Environ. SCI.*, 1(1), 2007,37-43
- [73] **Kjeldsen P., 2002,** Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4):, 297-336.
- [74] **Klojzy-Karczmarczyk B., 2003.** Wpływ odcieków ze składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych na jakość środowiska wodnego. *Czasopismo Techniczne*, 94-97, 5-12.
- [75] **Klojzy-Karczmarczyk, B. Mazurek, J. , 2009** „Wybrane aspekty zabezpieczenia środowiska gruntowo-wodnego w procesie zamykania składowisk odpadów komunalnych”, *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, nr 436 z. 9/1, 247—251
- [76] **Kłopotek B. B., 2010.** „Składowanie odpadów- zmiany ustawowe”, *Odpady i Środowisko*, nr 1 (61), s. 30- 36.
- [77] **Kłopotek, B. B. , 2010.** „Monitoring składowisk odpadów”, *Przegląd Komunalny*, nr 11 (37-37)
- [78] **Koerner R. M., Hsuan Y. G.,** *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook* (pod red. R. K. Rowe)., Kluwer Academic Publ., 2001
- [79] **Komorowski R.,** Oczyszczanie odcieków ze składowisk komunalnych metodą odwróconej osmozy, XII Międzynarodowa Konferencja Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów; Wisła 2002.
- [80] **Koszelnik, P. Filipek, J., 2011.** „Wstępne badania wpływu odcieków ze składowiska odpadów w Jarosławiu na jakość wód rzeki San”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, z.58 [276], nr 4, (107-115).

- [81] **Kowalski J., 2000.** Stare składowiska t. II- Sanacja i kontrola. Wyd. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.
- [82] **Kozłowska B.,** Pozwolenia zintegrowane dla składowisk odpadów. XVII Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa Budowa i Eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów: Składowisk odpadów- element technologiczny zintegrowanych systemów gospodarki odpadami. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań 2007.
- [83] **Kozłowska B.,** Transformacja składowisk odpadów komunalnych w Polsce- Dostosowanie pozwoleń zintegrowanych do bieżących przepisów prawnych”, XX JUBILEUSZOWA Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów, Szklarska Poręba – Praga 2010.
- [84] **Krasnodębska- Ostreǵa B., Golimowski J.,** Element fractionation in suspended matter in landfill leachate using single extractions, *MicrochimicaActa*, 146,2004,7-11.
- [85] **Kryza H., 2003.** Oddziaływanie wysypiska odpadów komunalnych w Szymiszowie na wody podziemne głównego zbiornika wód podziemnych nr 333 Opole-Zawadzkie. *Technika Poszukiwań Geologicznych*, 1-2, 47—53.
- [86] **Kulikowska D.** Oczyszczanie odcieków ze składowisk odpadów komunalnych z wykorzystaniem metody osadu czynnego oraz adsorpcji na węglu aktywnym, *Czasopismo Techniczne. Środowisko*, R. 104, z. 2-Ś,2007, s. 145-155.
- [87] **Leary M. 2004.** „Landfill Facility Compliance Study Task 6 Report—Review of MSW Landfill Regulations From Selected States and Countries” GeoSyntec Consultants, California.
- [88] **Lee G.F., iwsp.,** Public Health, Groundwater Resource and Environmental Protection from MSW Leachate Pollution by Single and Double Composite Lined Dry Tomb Landfills, 2005.
- [89] **Lemański J.,** Zasady uszczelniania wysypisk, ujmowania gazu i odcieków: Gospodarka odpadami na wysypiskach, praca zbiorowa pod red. E. Kempy, 2003.
- [90] **Linde K.,** Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis. *Desalination*, Volume 101, Issue 1, March 1995.
- [91] **Lipiński A., 2004** „Prawne podstawy ochrony środowiska wydanie II”, Wyd. Zakamycze.
- [92] **Łuczak-Wilamowska, B. , 2008.** „Mineralne bariery izolacyjne składowisk odpadów - Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, T. 34, z. 4, (691—699).

- [93] **Łuczak-Wilamowska, B., 2010.** „Mieszanki gruntowe w konstrukcjach składowisk odpadów”, *Przeгляд Geologiczny*, Vol. 58, nr 9/2, 898—902.
- [94] **Łuniewski S.,** *Bezpieczne składowanie odpadów*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 2000.
- [95] **Łuniewski A., Łuniewski St.,** *Od prymitywnych wysypisk do nowoczesnych zakładów zagospodarowania odpadów*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. Wydanie II, Białystok 2011.
- [96] **Madej J.,** „Metody sprawdzania stateczności zboczy”, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
- [97] **Majchajski J., Olearczyk D., 2008,** *Bilans wodny w obrębie składowiska odpadów komunalnych*”, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 7/2008, PAN, Oddział w Krakowie, s. 89–100.
- [98] **Majka, M. , 2009.** „Zastosowanie odpadów do budowy i eksploatacji składowiska”, *Materiały Budowlane*, nr 12 (34-35).
- [99] **Malicka M., 2007.** *Składowiska odpadów komunalnych na przykładzie Szwecji. XVII Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa Budowa i Eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów: Składowisk odpadów- element technologiczny zintegrowanych systemów gospodarki odpadami.* Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.
- [100] **Malina G.,2011.** *Likwidacja zagrożenia środowiska gruntowo-wodnego na terenach zanieczyszczonych*, Wydanie II, PZLiTS Oddz. Wielkopolski, Poznań.
- [101] **Manczarski P., 2002.** „Zasady wykonywania przeglądów ekologicznych składowisk odpadów”, XII Międzynarodowa Konferencja Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów, Wisła.
- [102] **Manczarski P., 2005.** „Modernizacja składowisk odpadów”, XV Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów, Słubice.
- [103] **Manczarski P., 2006.** „Odgazowanie składowisk odpadów komunalnych- zagadnienia techniczno- technologiczne”. XVI Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów: Zagospodarowanie biogazu i odcieków. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.
- [104] **Manczarski P., 2006.** „Odgazowanie składowisk odpadów komunalnych- zagadnienia techniczno- technologiczne”. XVI Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa Budowa i

Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów: Zagospodarowanie biogazu i odcieków. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.

[105] **Marcinkowski T.**, redakcja pracy zbiorowej „Kompleksowe zarządzanie gospodarką odpadami – Integrated waste management” Wydawca PZiITS Oddz. Wielkopolski, Poznań 2008. Artykuł Pt.: Wpływ wstępnego suszenia unieszkodliwianych odpadów przemysłowych na redukcję stopnia mobilności metali ciężkich w procesie zestalania

[106] **Marcinkowski T.**, Przetwarzanie osadów ściekowych w procesie wapnowania, PZTiS Oddz. Wielkopolski, Poznań 2010.

[107] **Marcinkowski T., Bartoszewski K. i inni**, Koncepcja Master Planu zagospodarowania i utylizacji odpadów dla miasta Wrocławia. Raport serii SPR 13/96, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej(maszynopis), Wrocław1996.

[108] **Marttinen S. K., Kettunen R. H., Rintala J. A.**, Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. The Science of The Total Environment, Volume 301,2003 , str. 1-12.

[109] **Marttinen S. K.**, Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates.Chemosphere,46,2002, 851-858.

[110] **Michalak R.**, Składowiska- wyzwanie dla nowoczesnej gospodarki odpadami. Składowanie odpadów w Polsce., XIII Międzynarodowa Konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów- Transformacja Składowisk odpadów w Polsce w Kontekście Wejścia do Unii Europejskiej. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań 2003.

[111] **Michalkiewicz M.**, Składowiska odpadów jako źródła skażenia mikrobiologicznego. Konferencja: Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów komunalnych, Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań 2009.

[112] **Motyka J., Adameczyk Zb., Czop M. i Dobyrn K.:** Wpływ składowiska odpadów komunalnych w Ujkowie k. Olkusza na jakość wód podziemnych, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2005, T. 21, 132-153.

[113] **Naborczyk J., Wolski B., 2001.** Monitoring geotechniczny i geodezyjny w naprawach i wzmocnieniach konstrukcji zagłębianych w gruncie. XVI Ogólnopolska Konferencja Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń.

- [114] **Naborczyk J., Wolski B., 2004.** Monitoring przemieszczeń i deformacji obiektów geotechnicznych. XX Ogólnopolska Konferencja Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła-Ustroń.
- [115] **Niemiec W., Zamorska J., 2002.** „Zasady monitoringu powietrza na składowisku odpadów”, XII Międzynarodowa Konferencja „Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów”, Wisła.
- [116] **Niininen M, Kalliokoski P., Parjala E.:** Effect of organic contaminants in landfill leachates on groundwater quality in Finland, *Groundwater Quality Management*, 1999, 220, 63-71.
- [117] **Nowak J., Strzelecki M.,** Identyfikacja potencjalnych zagrożeń geotechnicznych na podstawie przestrzennego modelu zwierciadła wody w wielkowsymiarowej budowlu hydrotechnicznej. *Geologia* 2008, Tom 34, zeszyt 4, str.633-641
- [118] **Nowakowski S., 2002.** „Optymalne wykorzystanie biogazu ze składowisk odpadów komunalnych”, XII Międzynarodowa Konferencja Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów, Wisła.
- [119] **Nowakowski S., 2003.** „Monitoring na składowisku odpadów- emisja gazu wysypiskowego i innych zanieczyszczeń powietrza” XIII Międzynarodowa Konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów- Transformacja Składowisk odpadów w Polsce w Kontekście Wejścia do Unii Europejskiej. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.
- [120] **Obarska-Pempkowiak H. i wsp.,** Koncepcja oczyszczania odcieków o wysokich stężeniach zanieczyszczeń metodą hydrofitową, III Ogólnopolski Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin 2009.
- [121] **Obidoska G., Jasińska D., 2008.** Phytotoxicity and potential genotoxicity of Radiowo municipallandfill leachate. *Annals of Warsaw University of Life Science Land Reclamation*, 40 (2), 39-44.
- [122] **Oleszkiewicz J.,** Eksploatacja składowiska odpadów- Poradnik decydenta. Wyd. Lem Projekt s.c., Kraków1999.
- [123] **Olivero-Verbel J., 2007.** “Relationships between physicochemical parameters and the toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, available online 21 August 2007.

- [124] **Opracowanie ekofizjograficzne** dla gminy Kędzierzyn-Koźle. Werona sp. z o.o. Obsługa Środowiska, Tychy 2006r.
- [125] **Paxéus N.**, Organic compounds in municipal landfill leachates”, *Water Science & Technology*, Vol. 42 No 7–8:2000, pp. 323–333.
- [126] **Peters T.A.**, Purification of landfill leachate with membrane filtration. *Filtration & Separation*, Volume 35, Issue 1, January-February 1998, Pages 33-36.
- [127] **Peters T.A.**, Purification of landfill leachate with reverse osmosis and nanofiltration. *Desalination*, Volume 119, Issues 1-3, 20 September 1998, Pages 289-293.
- [128] **Plotkin S., Ram N. M., 1984.** “Multiple bioassays to assess the toxicity of a sanitary landfill leachate”, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Volume 13, Number 2, 197-206.
- [129] **Pohland F.G., 1996.** Landfill bioreactors: fundamentals and practice, *Water Q. Inter.* 9–10, pp. 18–22.
- [130] **Ponikiewski, S. Bzówka, J. 2013.** „Analiza stateczności zrehabilitowanych skarp składowiska odpadów”, *Inżynieria i Budownictwo*, R. 69, nr 3 (161-162).
- [131] **Pozwolenie zintegrowane** dla składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, zlokalizowanego w Kędzierzynie-Koźlu ul. Naftowa 7 z 2004 r.
- [132] **Przybulewska, K. Nowak, A. Głabowska, D., 2010.** „Zmiany w mikroflorze gleby wokół składowiska odpadów komunalnych w Łęczycy k. Stargardu Szczecińskiego”, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, T. 10, z. 2, (159—166).
- [133] **Read A., 2011.** “Successful demonstration of aerobic landfilling- leading towards more sustainable solid waste management approach”.
- [134] **Reinhart D., iwsp.,** MSW Landfill Leachate Collection Systems for the New Millennium, University of Central Florida 2000.
- [135] **Reinhart, D.,** Full scale experiences with leachate recalcitrating landfills- Case studies, *Waste Management & Research*, nr 14, 1996, 347-365.
- [136] **Renou S., Givaudana J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P.,** Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 2008,468-493.
- [137] **Rogalski, L. Rzepka, J., 2011.** „Określenie emisji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych”, *Inżynieria Ekologiczna*, Nr 27, (184—190) .

- [138] **Rosik-Dulewska Cz.**, Podstawy gospodarki odpadami. Wyd. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [139] **Rowe R. K.**, Barrier System. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook (pod red. R. K. Rowe)., wyd. Kluwer Academic Publ., 2001.
- [140] **Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 30 kwietnia 2013 roku w sprawie składowisk odpadów (Dz. U. z 2013 poz. 523).
- [141] **Rozporządzenie Rady Ministrów** z dnia 9 listopada 2004 roku w sprawie warunków dla przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. z 2004r. Nr 257, poz. 2573).
- [142] **Rozporządzenie Rady Ministrów** z dnia 10 maja 2005 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko (Dz. U. z 2005r. nr 92, poz. 769).
- [143] **Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy** z dnia 7 września 2005r. w sprawie określenia kryteriów i procedur dopuszczenia odpadów do składowania na składowiskach odpadów niebezpiecznych , obojętnych, innych niż niebezpieczne i obojętne (Dz. U. z 2005r. nr 186, poz.1553)
- [144] **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. 2003 Nr 61, poz. 549)
- [145] **Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 26 lutego 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów Dz. U. z 2009 r. nr 39, poz. 320.
- [146] **Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. Dz. U. 2008 Nr 143, poz.896.
- [147] **Rozporządzenia Ministra Zdrowia** z dnia 20 kwietnia 2010 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 72, poz. 466)
- [148] **Rozporządzenie Rady Ministrów** z dnia 21 grudnia 1991 roku w sprawie kar pieniężnych za naruszenie warunków, jakimi powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz. U. z 1191r. nr. 125, poz. 5570

- [149] **Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych(Dz. U. z 2004r. nr 32, poz. 284) ze zmianą 30 października 2014 r. (Dz.U. z 2014r., poz. 1482)
- [150] **Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 19 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu i sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz. U. z 2002r. Nr 220, poz.1858) - *uchylony*
- [151] **Sarsby R. W.**, Geotechnical and environmental aspects of waste disposal sites. International Symposium on Geotechnics Related to the Environment, Wolverhampton2007.
- [152] **Schroth M.H. i WSP., 2012.** „Above- and below-ground methane fluxes and methanotrophic activity in a landfill-cover soil”, Waste Management, Volume 32, Issue 5, (879-889).
- [153] **Sibielska I., Sidelko R. 2003.** Migracja węglowodorów aromatycznych w obrębie składowiska odpadów komunalnych. Ekologia i Technika, 11 (5), 19-31.
- [154] **Skalmowski A., 2003.** „Sukcesywna rekultywacja składowiska odpadów na przykładzie składowiska odpadów komunalnych w Woli Kruszyńskiej”,XIII Międzynarodowa Konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów- Transformacja Składowisk odpadów w Polsce w Kontekście Wejścia do Unii Europejskiej. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań.
- [155] **Stępniaak S., 1998.** Monitorowanie składowisk odpadów komunalnych. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Nr 1, s. 15-18.
- [156] **Stępniaak S.**, Charakterystyka ilościowo - jakościowa odcieków ze składowisk odpadów komunalnych, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Vol. 35 nr 2,2001, s. 63- 66.
- [157] **Stępniaak S.**, Metody oczyszczania odcieków z naziemnych składowisk odpadów. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Nr 8,2000, s. 326-328.
- [158] **Stępniaak S.**, Wielowarstwowe pokrycie ochronne na silnie pochylonych skarpach składowiska osadów. Inżynieria i Budownictwo. R. 60, nr 7, 2004, 378-380.
- [159] **Suchowska-Kisielewicz, M., 2011.** „Rola tlenowego rozkładu odpadów przed ich składowaniem w przebiegu procesów zachodzących na składowiskach”, Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska / Uniwersytet Zielonogórski, Nr 141(21), (66—77).

- [160] **Surmacz – Górska J.**, Degradacja związków organicznych zawartych w odciekach z wysypisk, Wyd. Polska Akademia Nauk, Lublin 2001.
- [161] **Surmacz-Górska J., Miksch K., Kita T.**, Możliwości podczyszczania odcieków z wysypisk metodami biologicznymi. *Archiwum Ochrony Środowiska*, Vol. 26, no. 3, 2000, s.43-54.
- [162] **Surmacz-Górska J.**, Oczyszczanie ścieków ze składowisk odpadów - przegląd stosowanych metod. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Inżynieria środowiska*, 3, 2003, 369-382.
- [163] **Svensson B.M., Mathiasson L., Mårtensson L., Bergström S., 2005.** *Artemiasalina* as test organism for assessment of acute toxicity of leachate water from landfills. *Environmental Monitoring and Assessment*, 102, 309–321.
- [164] **Szczepaniak Wl.**, Frakcjonowanie metali w procesach termicznego przetwarzania biomasy i stałych odpadów komunalnych, Wydz. Inż. Środ. PW i Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław 2005.
- [165] **Sznulik K.**, Zagospodarowanie odcieków ze składowiska, XX Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów „Transformacja składowisk odpadów komunalnych w Polsce”, Szklarska Poręba 2010.
- [166] **Szpadt R.**, Błędne rozwiązania technologiczne i konstrukcyjne składowisk- sposoby naprawiania błędów, XII Międzynarodowa Konferencja Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów; Wisła 26 – 28 lutego 2002 r.
- [167] **Szpadt R.**, Gospodarka odciekami na składowisku”, Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów. Modernizacja i rekultywacja składowisk, Słubice 2005.
- [168] **Szpadt R.**, Gospodarka odciekami ze składowisk odpadów komunalnych. XVI Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów: Zagospodarowanie biogazu i odcieków. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań 2006.
- [169] **Szpadt R.**, Gospodarka odciekami ze składowisk odpadów komunalnych, Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów. Modernizacja i rekultywacja składowisk, Słubice 22-24 lutego 2008 r.
- [170] **Szyc J.**, Ocieki ze składowisk odpadów komunalnych, Wyd. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2003.

- [171] **Szylak-Szydłowski M., Grabińska-Loniewska A.**, Metody neutralizacji ze składowisk odpadów komunalnych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, 56, 2009, 21-44.
- [172] **Szymańska-Pulikowska A.**, Jakość wód podziemnych w obszarze potencjalnego oddziaływania składowisk odpadów komunalnych, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2009.
- [173] **Szymański K.**: Wpływ wysypisk odpadów komunalnych na skład odcieków i wód podziemnych, Politechnika Koszalińska.
- [174] **Ślęzak R., 2011.** “Procesy zachodzące na składowiskach odpadów komunalnych” Politechnika Łódzka, art. Niepublikowany (Internet).
- [175] **Tatsi A. A. iwsp.**, Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. Chemosphere, Vol. 53, nr 7, 2003, str. 737-744.
- [176] **Wesołowski A.** Krzywosz Z., Bandryk T., Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wyd. SGGW, Warszawa 2000.
- [177] **Wiater J.: 2011.** Wpływ składowisk odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych i właściwości gleb. Inżynieria Ekologiczna, 26, 133-146.
- [178] **Williams P. T.**, Waste Treatment and Disposal. Wyd. John Wiley & Sons 2005.
- [179] **Wota A. K.**, Optymalizacja wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych z wykorzystaniem metody AHP (Analytic Hierarchy Process), Wyd. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 2008.
- [180] www.aknova.pl
- [181] www.ecologixsystems.com
- [182] www.ekoportal.pl
- [183] www.eur-lex.europa.eu
- [184] www.openlibrary.org
- [185] <http://eippcb.jrc.es>
- [186] www.mos.gov.pl
- [187] www.sejm.gov.pl
- [188] www.umwo.opole.pl
- [189] www.wasteage.com
- [190] www.zerowasteamerica.org
- [191] **Wysokiński L., 1998.** Aprobaty techniczne materiałów do budowy składowisk. VII Międzynarodowa Konferencja „Budowa Bezpiecznych Składowisk Odpadów”, Wisła.

[192] **Wysokiński L.**, Materiały geotekstylne w budowie składowisk odpadów”. XIII Międzynarodowa Konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów- Transformacja Składowisk odpadów w Polsce w Kontekście Wejścia do Unii Europejskiej. Wyd. Abrys sp. z o.o., Poznań 2003.

[193] **Zarządzanie gospodarką odpadami**. Technologiczno- organizacyjne aspekty gospodarowania odpadami, praca zbiorowa pod redakcją M. Górskiego i S. Zabawy, Poznań 2013.

[194] **Żygadło M. (pod red.)**. „Strategia gospodarki odpadami komunalnymi, Wyd. PZITS, Poznań 2001.

[195] **Żygadło M.**, Gospodarka odpadami komunalnymi, Wyd. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2002.

18. Załączniki – spis rysunków, tabel, wykresów i aneksów

◆ Spis rysunków

- Rys. 1.** Schemat postępowania z odpadami wg dyrektywy 2008/98/WE w sprawie odpadów [str.12]
- Rys. 2.** Schemat uszczelnienia wysypiska odpadów wraz z przykryciem i rekultywacją terenu wg Lee G.F.[str.22]
- Rys. 3.** Układ izolacji składowiska [str.24]
- Rys.4.** Przekrój składowiska odpadów z systemem uszczelnienia [str.28]
- Rys. 5.** Konstrukcja nowoczesnego drenażu składowiska [str.30]
- Rys. 6.** Warstwy systemu przykrycia składowisk [str.31]
- Rys. 7.** Schemat przekroju systemu uszczelnienia wg Wysokińskiego [str.31]
- Rys. 8.** Schemat składowiska jako bioreaktora [str.37]
- Rys. 9.** Fazy rozkładu związków organicznych w odpadach [str.39]
- Rys.10.** Aktywne usuwanie gazu ze składowiska pompą ssącą do agregatu prądotwórczego [str. 44]
- Rys. 11.** Ilustracja graficzna powstawania odcieków [str.45]
- Rys.12.** Bilans wodny składowiska odpadów – schemat ideowy [str.47]
- Rys.13.** Schemat bilansu wodnego składowiska odpadów komunalnych [str.48]
- Rys.14.** Schemat rozprzestrzeniania się i usuwania zanieczyszczeń w trakcie przepływu w strefie aeracji i saturacji [str.50]
- Rys.15.** Uproszczony schemat uszczelnienia i drenażu składowiska wraz z przykryciem i rekultywacją terenu wg Żygadło [str.51]
- Rys.16.** Przykład instrumentacji monitoringu odcieków oraz emisji gazowych [str.57]
- Rys.17.** Podstawowe drogi wnikania zanieczyszczeń ze składowiska do poszczególnych komponentów środowiska [str.70]
- Rys.18.** Schemat rozwiązania układu drenaży przy zastosowaniu regulacji pomiarowej [str.85]
- Rys. 19.** Schemat zabudowy systemu drenażowego dla kwatery składowiska z układem regulująco-pomiarowym[str.86]
- Rys. 20.** Przekrój A-A z rys. 20 kwatery składowiska odpadów z uwzględnieniem zabudowanego w części filtracyjnej systemu ujęcia odcieków tzw.”drenaż przydenny”[str.86]
- Rys. 21.** Gmina Kędzierzyn-Koźle [str.93]

- Rys. 22.** Położenie składowiska odpadów komunalnych wg MPZP Kędzierzyna-Koźła [str.100]
- Rys. 23.** Teren przeznaczony pod budowę kwater do składowania i instalacji do zagospodarowania odpadów w Kędzierzynie Koźlu [str.100]
- Rys. 24.** Rów do odprowadzania wód opadowych i wód z drenażu podfolowego [str.102]
- Rys. 25.** Przekrój poprzeczny skarpy kwatery nr 1 składowiska [str.107]
- Rys. 26.** Południowa skarpa kwatery nr 1 w trakcie rekultywacji 2004r [str.107]
- Rys. 27.** Południowa skarpa po rekultywacji 2004r [str.107]
- Rys. 28.** Schemat zaprojektowanego uszczelnienia dna kwatery 2 [str.110]
- Rys. 29.** Schemat zakotwienia folii w grobli technologicznej [str.111]
- Rys. 30.** Zdjęcie z budowy wykonania okrycia dna kwatery matą bentonitową, folią PEHD oraz geowłókniną [str.111]
- Rys. 31.** Zdjęcie z budowy z zakotwienia folii w grobli technologicznej [str.112]
- Rys. 32.** Sposób wykonania rowu „bez nazwy” odprowadzającego wody powierzchniowe z terenu składowiska przy kwaterze oraz spoza terenu składowiska [str.112]
- Rys. 33.** Kwatera 2 do składowania odpadów z pełnym systemem zabezpieczeń wód gruntowych [str.113]
- Rys. 34.** Wykaz składowisk odpadów komunalnych na terenie Opolszczyzny wraz z oznaczeniem GZWP [str.114]
- Rys. 35.** Przepompowanie wód podziemnych z piezometru [str.118]
- Rys. 36.** Położenie piezometrów przed i za kwaterami składowania odpadów w K-Koźlu. [str.119]

◆ Spis tabel

- Tabela 1.** Rodzaj i przeznaczenie stosowanych geosyntetyków w konstrukcjach inżynierskich [str.27]
- Tabela 2.** Przykładowe reakcje i mikroorganizmy odpowiedzialne za produkcję metanu [str.42]
- Tabela 3.** Skład i wybrane parametry fizyko-chemiczne. odcieków z różnych składowisk [str.49]
- Tabela 4.** Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń gruntu [str.75]
- Tabela 5.** Zestawienie metodyk wykonania poszczególnych oznaczeń [str.117]
- Tabela 6.** Położenie badanych piezometrów [str.120]
- Tabela 7.** Kryteria i ocena stanu wód podziemnych [str.121]

Tabela 8. Dopuszczalna wartość wskaźników zanieczyszczenia w ściekach przemysłowych [str.121].

Tabela 9. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 1** [str.14-125].

Tabela 10. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 2**[str.126-127].

Tabela 11. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 3** [str.128-129]

Tabela 12. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010 - Piezometr 4** [str. 130-131]

Tabela 13. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 2** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2006-2010 - Piezometr 5** [131].

Tabela nr 14. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **kwatery 2** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2006-2010 - Piezometr 6** [131].

Tabela nr 15. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **drenażu podfoliowego kwatery 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010** [141-142].

Tabela16. Zestawienie danych liczbowych z monitoringu **drenażu podfoliowego kwatery 2** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2006-2010** [150].

Tabela 17. Zestawienie danych liczbowych z badanych parametrów w **zbiorniku odcieków kwater 1** na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach **2004-2010** [151-152].

Tabela 18. Zestawienie ilości opadów atmosferycznych., temperatury i zrzutu odcieków do OŚB na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu [159-161].

◆ Spis wykresów

Wykresy 1 -11. Zastawienie zmiennych wartości badanych parametrów wód podziemnych wg Tabel 9,10,11,12 w piezometrach P1, P2, P3, P4, dla kwatery 1 w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu [str. 133-138].

Wykresy 12-22. Zestawienie zmiennych wartości badanych parametrów wg Tabeli 15 dla wód drenażu podfoliowego z kwatery 1 w latach 2004-2010 [str. 143-148].

Wykresy 23-33. Zestawienie zmiennych badanych parametrów wg Tabeli 17 w zbiorniku odcieków dla kwatery 1 w latach 2004-2010 dla składowiska odpadów w Kędzierzynie-Koźlu [str.153-158].

Wykresy 34-36. Zestawienie zmienności opadów atmosferycznych, temperatury powietrza oraz ilości odcieków ze wskazań przepompowni na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kędzierzynie-Koźlu w latach 2004-2010 [str.162-163].

Wykresy 37-43. Zestawienie porównawcze wg Tabel 15 i 16 badanych parametrów w wodach podfoliowych dla kwatery 1 i 2 w latach 2006-2010 – stan po uruchomieniu eksploatacyjnym kwatery 2 [str. 164-167].

◆ **Aneksy**

Aneks I. System drenaży dla kwatery składowiska odpadów komunalnych [172]

Aneks II. System zabudowy drenaży odcieków i wód gruntowych [173]

Aneks III. System drenaży wód odciekowych zamknięty izolacją w kwaterze [174]

Aneks IV. System drenaży wód odciekowych zamknięty w warswie filtracyjnej kwatery [175]

Aneks V. System drenaży wód z odcieków i wód powierzchniowych ze studniami rewizyjnymi w skarpie [176]