



**WYŻSZA SZKOŁA EKOLOGII I ZARZĄDZANIA**

**W WARSZAWIE**

---

# **PRACA MAGISTERSKA**

**Bartosz Marcin Suchecki**

**Koncepcja technologiczna zagospodarowania osadów ściekowych  
na przykładzie oczyszczalni ścieków "Czajka" w Warszawie**

**Wydział Ekologii**

**KIERUNEK:**

**OCHRONA ŚRODOWISKA**

**SPECJALNOŚĆ:**

**Ochrona wód i zagospodarowanie odpadów**

**PROMOTOR:**

***dr hab. inż. Krzysztof Skalmowski***

**WARSZAWA 2005**

---

**Egzemplarz dla Dyplomanta**

## Spis treści.

<b>1. Wstęp</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Cel i zakres pracy.</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Podstawy prawne gospodarki osadami ściekowymi i odpadami z komunalnych oczyszczalni ścieków.</b> .....	<b>7</b>
3.1. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne [1].....	7
3.2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. [2] .....	7
3.3. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach i Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych innych ustaw. [3] .....	8
3.4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. [5].....	11
3.5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. [6].....	17
3.6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów. [7] .....	18
3.7. Dyrektywa Unii Europejskiej 2000/76/EC z dnia 04.12.2000 w sprawie spalania odpadów. [8] .....	19
<b>4. Przegląd stanu techniki i technologii unieszkodliwiania osadów ściekowych.</b> .....	<b>20</b>
4.1. Przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych. ....	20
4.1.1. Stosowanie do nawożenia gleb i roślin. ....	22
4.1.2. Stosowanie do rekultywacji gruntów. ....	22
4.1.3. Stosowanie do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, paliw odnawialnych i innych wyrobów. ....	23
4.1.4. Kompostowanie osadów ściekowych.....	24
4.2. Suszenie osadów. ....	25
4.3. Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych.....	26
4.3.1. Spalanie w piecu fluidalnym. ....	27
4.3.2. Spalanie w piecu obrotowym. ....	27
4.3.3. Spalanie w piecu półkowym. ....	28
4.3.4. Piroliza. ....	28
4.3.5. Współspalanie osadów z węglem.....	29
4.3.6. Współspalanie osadów w piecach cementowych.....	29
4.3.7. Współspalanie osadów z odpadami komunalnymi. ....	30
4.4. Wapnowanie osadów.....	30
4.5. Składowanie osadów. ....	31
4.6. Dane statystyczne dotyczące ilości i sposobów zagospodarowania osadów ściekowych.....	33

<b>5. Opis oczyszczalni ścieków „Czajka” ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki osadami ściekowymi.....</b>	<b>36</b>
5.1 Mechaniczne procesy oczyszczania.....	36
5.2. Zagęszczanie.....	40
5.3. Fermentacja.....	41
5.4. Odwadnianie.....	42
5.5. Badania osadów.....	42
5.6. Dotychczasowy sposób postępowania z osadami z oczyszczalni „Czajka”.....	45
5.7. Zamierzenia MPWiK w Warszawie w sprawie zagospodarowania osadów ściekowych.....	47
<b>6. Wybór rozwiązania racjonalnego pod względem technologicznym i ekologicznym....</b>	<b>49</b>
6.1. Składowanie osadów.....	50
6.2. Kompostowanie.....	51
6.3. Termiczna utylizacja.....	52
<b>7. Koncepcja technologiczna rozwiązania problemu zagospodarowania osadów z oczyszczalni „Czajka” w Warszawie. ....</b>	<b>57</b>
7.1 Obliczenia technologiczne [43].....	57
7.2. Odwadnianie osadów.....	61
7.2. Suszenie.....	61
7.3. Spalanie.....	63
7.5. Oczyszczanie spalin.....	66
7.5.1. Odpylanie w elektrofiltrze.....	66
7.5.2. Płuczka.....	67
7.5.3. Skrubler.....	68
7.5.4. Pozostałości po oczyszczaniu spalin, odpady poreakcyjne.....	69
7.5.5. Odprowadzanie do atmosfery.....	70
7.6. Zagospodarowanie popiołów.....	73
<b>8. Wnioski.....</b>	<b>75</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>77</b>
<b>Spis tabel.....</b>	<b>79</b>
<b>Spis rysunków.....</b>	<b>80</b>
<b>Spis fotografii.....</b>	<b>81</b>

## 1. Wstęp

Osady ściekowe powstają w wyniku oczyszczania ścieków komunalnych. Osad ściekowy zawiera między innymi mikroorganizmy rozkładające zanieczyszczenia obecne w ściekach trafiających do oczyszczalni. Mikroorganizmy rozkładając zanieczyszczenia namnażają się. W wyniku flokulacji następuje wytworzenie z masy mikroorganizmów osadu, który jest kierowany do fermentacji i zagęszczania.

Niezbędne jest wprowadzenie optymalnych metod unieszkodliwiania osadów. W zależności od właściwości i składu chemicznego osadów można je wykorzystywać przyrodniczo lub utylizować. W tej pracy odniosłem się między innymi do metod zagospodarowania osadów z mniejszych oczyszczalni. Osady te ze względu na niewielką ilość i niewielkie obciążenie metalami ciężkimi mogą być wykorzystywane przyrodniczo. Stale zwiększające się wymagania dotyczące właściwości osadu wykorzystywanego przyrodniczo, będą coraz częściej zmuszały producenta osadu do stosowania termicznej utylizacji.

Osady ściekowe, szczególnie z dużych, miejskich oczyszczalni ścieków jak „Czajka” w Warszawie czy „Hajdów” w Lublinie są obciążone dużym ładunkiem metali ciężkich i organizmów chorobotwórczych. W Polsce jest niemal czterdzieści miast, w których żyje powyżej 100 000 mieszkańców. Sanitarne zagrożenie płynące ze strony osadów, jak również stale wzrastające obciążenie ładunkiem metali ciężkich, wskazuje na konieczność zastosowania termicznej utylizacji. W warszawskiej, największej w Polsce oczyszczalni ścieków „Czajka”, powstaje dziennie 120 Mg osadów.

Wraz z budową nowych oczyszczalni będzie wzrastała ilość wyprodukowanych osadów ściekowych. Zakłada się, że w stosunku do stanu z roku 2000, w ciągu 15 lat ilość komunalnych osadów ściekowych podwoi się i osiągnie poziom 760 000 Mg/rok.

Tak ogromna ilość osadów obciążonych ładunkiem metali ciężkich musi zostać zutylizowana termicznie w celu zmniejszenia masy i objętości, jak również dla późniejszej immobilizacji metali ciężkich. Nie istnieje inna, bezpieczna ekologicznie i uzasadniona ekonomicznie metoda zagospodarowania osadów ściekowych z dużych miast.

W chwili obecnej, najbardziej rozpowszechnioną metodą zagospodarowania jest składowanie osadów na składowiskach. Generuje to bardzo duże koszty wieloletniego utrzymywania i monitoringu składowiska. Ze względu na konieczną, dużą powierzchnię składowiska osadów, brak jest odpowiednich miejsc na takie inwestycje. Składowanie osadów ściekowych stwarza bardzo duże zagrożenie dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi.

Każdy współcześnie projektowany system oczyszczania ścieków musi uwzględniać technologię zagospodarowania osadów. Jeżeli osady mają być utylizowane termicznie, konieczne jest zaproponowanie sposobu zagospodarowania produktów spalania.

Dla oczyszczalni „Czajka” zaproponowałem technologię fluidalnego spalania osadów ściekowych. Piec PYROFLIUD spalając podsuszone osady wraz z systemem oczyszczania spalin, jest najlepszą metodą unieszkodliwienia tak dużej ilości osadów. Zaproponowany przeze mnie sposób zagospodarowania produktów spalania gwarantuje immobilizację metali ciężkich eliminując jednocześnie potrzebę budowy składowiska.

Spalanie fluidalne zostało uznane za jedną z najlepszych technologii utylizacji osadów ściekowych. Przy wielu miastach na świecie, zostały wybudowane systemy fluidalnego spalania osadów ściekowych. Bardzo dobre wyniki działania tych instalacji i społeczne przyzwolenie na stosowanie tego typu technologii również wskazuje na zasadność zaproponowanego przeze mnie rozwiązania.

Uczestnicząc w konsultacjach społecznych dotyczących modernizacji oczyszczalni „Czajka” zapoznałem się z właściwościami osadów z „Czajki” a także z technologią jaką planuje zastosować dyrekcja tej oczyszczalni. Istniejący projekt wzbudził moje poważne zastrzeżenia. Dlatego też postanowiłem zaproponować zastosowanie innej, doskonalszej technologii utylizacji osadów.

## 2. Cel i zakres pracy.

Celem pracy jest zaproponowanie, w oparciu o wyniki badań osadów oraz analizę różnych zagranicznych i krajowych rozwiązań, optymalnego rozwiązania w zakresie utylizacji osadów pochodzących z oczyszczalni Czajka w Warszawie.

W trzecim rozdziale pracy zdefiniowałem czym są ścieki i osady ściekowe, a następnie odniosłem się do postaw prawnych dotyczących zagospodarowania osadów i ich termicznej utylizacji, a także norm dotyczących emisji z instalacji spalania.

W rozdziale czwartym przedstawiłem współczesne metody zagospodarowania osadów. Opisałem metody zagospodarowania wykorzystania przyrodniczego i termicznej utylizacji. Odniosłem się również do danych statystycznych dotyczących sposobów zagospodarowania osadów.

Rozdział piąty jest charakterystyką oczyszczalni Czajka. Opisałem w nim proces oczyszczania ścieków i sposób powstawania osadów. Skupiłem się także na metodach ich badania. Opisałem obecne sposoby zagospodarowania osadów z Czajki jak również planowane rozwiązania.

W rozdziale szóstym dokonałem wyboru sposobu zagospodarowania osadu. Dokonując tego wyboru kierowałem się właściwościami osadu z oczyszczalni Czajka, a także wadami rozwiązania zaproponowanego dla Czajki przez firmę BIPROWOD-WARSZAWA. Ponadto rozważałem zalety i wady poszczególnych sposobów utylizacji. Wziąłem również pod uwagę istniejącą infrastrukturę, w której potencjalnie można by utylizować osady.

Rozdział siódmy jest koncepcją technologiczną podsuszenia i termicznej utylizacji osadów ściekowych z oczyszczalni Czajka. W oparciu o dostępne materiały i konsultację z producentami urządzeń zaproponowałem technologię fluidalnego spalania osadów w piecach PYROFLUID. W rozdziale tym zaproponowałem również sposób oczyszczania gazów odlotowych i metodę utylizacji produktów spalania.

W rozdziale ósmym zamieściłem wnioski.

### **3. Podstawy prawne gospodarki osadami ściekowymi i odpadami z komunalnych oczyszczalni ścieków.**

#### **3.1. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne [1]**

Ustawa stanowi, że ochronę wód realizuje się poprzez unikanie ich zanieczyszczenia i zapobieganie niekorzystnym zmianom naturalnych przepływów. Ustawa na wprowadzającego ścieki nakłada obowiązek budowy urządzeń i systemów ochrony wód. Aglomeracje o równoważnej liczbie mieszkańców powyżej 2000 powinny być wyposażone w sieci kanalizacyjne dla ścieków komunalnych zakończone oczyszczalniami ścieków, zgodnie z ustaleniami krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych.

W myśl Ustawy ochronie podlegają wody niezależnie od tego kto jest ich właścicielem. Celem ochrony wód jest utrzymanie lub poprawa ich jakości, aby ich stan pozwalał na:

- zaopatrzenie ludności w wodę,
- bytowanie i migrację ryb,
- rekreację i uprawianie sportów wodnych.

Ściekami komunalnymi są wody zużyte pochodzące z budynków przeznaczonych dla bytności ludzi oraz z terenów usługowych, powstające w wyniku ludzkiego metabolizmu oraz funkcjonowania gospodarstw domowych. W skład ścieków komunalnych wchodzi również wody opadowe.

#### **3.2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. [2]**

Rozporządzenie określa rodzaje odpadów i ich grupy. Katalog odpadów wraz z listą odpadów niebezpiecznych znajduje się w załączniku do rozporządzenia. Odpady niebezpieczne są oznaczone w katalogu znakiem gwiazdki „\*”

W niniejszej pracy skupiłem się na następujących grupach odpadów:

- grupa 10 - odpady z procesów termicznych

10 01 18\* Odpady z oczyszczania gazów odlotowych, zawierające substancje niebezpieczne

- grupa 19 - odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych

19 01 19 Piaski ze złóż fluidalnych

19 08 Odpady z oczyszczalni ścieków nie ujęte w innych grupach

19 08 01 Skratki

19 08 02 Zawartość piaskowników

19 08 05 Ustabilizowane komunalne osady ściekowe

19 08 09 Tłuszcze i mieszaniny olejów z separacji olej/woda zawierające wyłącznie oleje jadalne i tłuszcze

19 08 10\* Tłuszcze i mieszaniny olejów z separacji olej/woda inne niż wymienione w 19 08 09

19 09 01 Odpady stałe ze wstępnej filtracji i skratki

### **3.3. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach i Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych innych ustaw. [3]**

Ustawa określa zasady postępowania z odpadami i ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko, a także sposoby ich unieszkodliwiania.

W rozumieniu Ustawy komunalne osady ściekowe, to pochodzące z oczyszczalni ścieków osady z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych.

Osady ściekowe są odpadami niebezpiecznymi, gdy nie są poddane unieszkodliwieniu i nie nadają się do zastosowania w rolnictwie. Poza tym osady uznaje się za odpady niebezpieczne, gdyż:



- zawierają metale ciężkie,
- są szkodliwe, czyli wdychane lub dostające się drogą pokarmową lub wnikające przez skórę, mogą spowodować ograniczone zagrożenie dla zdrowia,
- są zakaźne, czyli zawierają żywe mikroorganizmy lub ich toksyny, o których wiadomo lub co do których istnieją wiarygodne podstawy do przyjęcia, że powodują choroby człowieka lub innych żywych organizmów,
- są ekotoksyczne, czyli stanowią lub mogą stanowić bezpośrednie lub opóźnione zagrożenie dla elementów środowiska,
- są substancjami, które po zakończeniu procesu unieszkodliwiania mogą w dowolny sposób wydzielić inną szkodliwą, zakaźną lub ekotoksyczną substancję, np. w postaci odcieku.

W myśl ustawy, komunalne osady ściekowe mogą być stosowane:

- w rolnictwie, rozumianym jako uprawa wszystkich płodów rolnych wprowadzanych do obrotu handlowego, włączając w to uprawy przeznaczane do produkcji pasz,
- do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne,
- w celu dostosowania gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu,
- do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz.

Warunkiem stosowania osadów jest ich ustabilizowanie i odpowiednie przygotowanie do sposobu stosowania. Procesy te mają w szczególności wyeliminować zagrożenie chorobotwórcze, a także obniżyć podatność osadu na zagniwanie. Do takich procesów należą:

- obróbka biologiczna,
- obróbka termiczna.

Wytwórca osadów jest zobowiązany do ich badania, a także do badania gruntów, na których osady mają być stosowane.

Komunalnych osadów ściekowych nie można stosować:

- na obszarach parków narodowych i rezerwatów przyrody,
- na innych obszarach chronionych, jeżeli osady zostały wytworzone poza tymi terenami,
- na obszarach ochronnych ujęć wody,
- bliżej niż 50 m od brzegów jezior i cieków,
- na terenach położonych mniej niż 100 m od ujęcia wody, domu mieszkalnego, lub zakładu produkującego żywność.
- na terenach bagiennych, zalewowych, czasowo podtopionych,
- na terenach czasowo zmarzniętych lub pokrytych śniegiem,
- na gruntach o dużej przepuszczalności, jeżeli poziom wód gruntowych znajduje się na głębokości mniejszej niż 1.5 m pod poziomem gruntu,
- na obszarach rolnych o spadku gruntu przekraczającym 10%,
- na obszarach zasilania wód podziemnych,
- na gruntach wykorzystywanych na pastwiska i łąki,
- na gruntach wykorzystywanych do upraw pod osłonami,
- na gruntach, na których rosną rośliny sadownicze i warzywa z wyjątkiem drzew owocowych,
- na gruntach przeznaczonych pod uprawę roślin jagodowych i warzyw, których części jadalne bezpośrednio stykają się z ziemią i są spożywane w stanie surowym - w ciągu 18 miesięcy poprzedzających zbiory i w czasie zbiorów.

Załącznik nr 5 do ustawy o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. [3] wskazuje na rodzaje działań polegających na wykorzystaniu odpadów w całości, w części, lub prowadzących do odzyskania z odpadów substancji, materiałów lub energii wraz z ich wykorzystaniem. Do nich należy rozproszanie odpadów na powierzchni ziemi, w celu nawożenia lub ulepszenia gleby lub rekultywacji gleby i ziemi.

Nowelizacja ustawy z dnia 29 lipca 2005 nakazuje wykreślenie z załącznika nr 5 fragmentu mówiącego o rekultywacji gleby i ziemi.[4]

Ustawa wskazuje na możliwość termicznej utylizacji osadów w instalacjach lub urządzeniach zlokalizowanych na lądzie. Spalarnie odpadów powinny być projektowane, budowane, wyposażane i użytkowane w sposób zapewniający osiągnięcie poziomu termicznego przekształcania, przy którym ilość i szkodliwość odpadów i innych emisji powstających wskutek termicznego przekształcania odpadów będzie jak najmniejsza dla życia, zdrowia ludzi lub dla środowiska.

### 3.4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. [5]

Rozporządzenie określa warunki, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu komunalnych osadów ściekowych, dawki osadów, jakie można stosować na gruntach, a także zakres i rodzaje badań gruntów, na których składuje się osady.

Lp.	Wskaźnik	Metoda
1	Odczyn pH	oznaczenie elektrometryczne w roztworze wodnym
2	Zawartość suchej masy	suszenie w temperaturze 105°C, ważenie
3	Zawartość substancji organicznej	prażenie w temperaturze 600°C, ważenie
4	Zawartość azotu ogólnego	mineralizacja w środowisku kwaśnym z dodatkiem katalizatora
5	Zawartość azotu amonowego	destylacja amoniaku i oznaczenie metodą miareczkową lub spektrofotometryczną
6	Zawartość fosforu ogólnego	mineralizacja do fosforu (V) i oznaczenie spektrofotometryczne
7	Zawartość wapnia i magnezu	mineralizacja mieszaniną kwasów i oznaczenie metodą miareczkową lub spektrometrią atomową
8	Zawartość metali ciężkich: ołowiu, kadmu, rtęci, niklu, cynku, miedzi i chromu	spektrometria absorpcji atomowej po mineralizacji w wodzie królewskiej lub stężonych kwasach (błąd oznaczenia nie może przekraczać 10% odpowiedniej wartości dopuszczalnej)
9	Obecność bakterii chorobotwórczych z rodzaju Salmonella	przewodzenie hodowli na podłożach namnażalnych i różnicująco-selektywnych oraz potwierdzenie wyników badaniem biochemicznym
10	Liczba żywych jaj pasożytów jelitowych Ascaris sp., Trichuris sp., Toxocara sp.	izolacja żywych jaj z reprezentatywnej próbki osadu przez wstrząsanie lub mieszanie, płukanie z zastosowaniem wirowania oraz flotację, a następnie wykonanie badania mikroskopowego

Tabela 1: Metody badań osadów ściekowych.[5]

Przy liczbie równoważnych mieszkańców LRM ponad 100000 badania należy przeprowadzać nie rzadziej niż raz na dwa miesiące. Przy objętości osadu ściekowego powyżej 100 m<sup>3</sup> należy pobrać 30 próbek z różnych miejsc złoża, aby po ich zmieszaniu uzyskać reprezentatywną próbkę osadu do badań.

Rozporządzenie zezwala na wykorzystanie osadów ściekowych do wykorzystania pod następującymi warunkami:

- dopuszczalna zawartość metali ciężkich w osadach nie jest przekroczona

Tabela 2 przedstawia dopuszczalną zawartość metali ciężkich w osadach w zależności od sposobu ich wykorzystania.

Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy osadu nie większa niż:		
		przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych:		
		W rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji terenów na cele nierolne	przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz
1	Ołów (Pb)	500	1.000	1.500
2	Kadm (Cd)	10	25	50
3	Rtęć (Hg)	5	10	25
4	Nikiel (Ni)	100	200	500
5	Cynk (Zn)	2.500	3.500	5.000
6	Miedź (Cu)	800	1.200	2.000
7	Chrom (Cr)	500	1.000	2.500

Tabela 2: Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w osadach.[5]

- W 100 g przeznaczonych do badania osadów (stosowanych w rolnictwie i do rekultywacji gruntów na cele rolne) nie wyizolowano bakterii z rodzaju Salmonella

- łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* - w 1 kg suchej masy (s.m.) przeznaczonych do badań osadów stosowanych:
  - a) w rolnictwie - wynosi 0,
  - b) do rekultywacji terenów - jest nie większa niż 300,
  - c) do dostosowania gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu - jest nie większa niż 300,
  - d) do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu - jest nie większa niż 300,
  - e) do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz - jest nie większa niż 300;
- dopuszczalna zawartość metali ciężkich w wierzchniej (0-25 cm) warstwie gruntu, na którym komunalne osady ściekowe mają być stosowane nie jest przekroczona.

Poniższa tabela przedstawia dopuszczalną zawartość metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu - przy stosowaniu osadów w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne.

Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy gruntu nie większa niż:		
		przy gruntach:		
		lekkich	średnich	ciężkich
1	Ołów (Pb)	40	60	80
2	Kadm (Cd)	1	2	3
3	Rtęć (Hg)	0,8	1,2	1,5
4	Nikiel (Ni)	20	35	50
5	Cynk (Zn)	80	120	180
6	Miedź (Cu)	25	50	75
7	Chrom (Cr)	50	75	100

Tabela 3: Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w gruncie.[5]

W tabeli 4 przedstawiłem dopuszczalną zawartość metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu - przy stosowaniu osadów ściekowych do rekultywacji terenów na cele nierolne, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz, oraz przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów

zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu;

Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy gruntu nie większa niż:		
		przy gruntach:		
		lekkich	średnich	ciężkich
1	Ołów (Pb)	50	75	100
2	Kadm (Cd)	3	4	5
3	Rtęć (Hg)	1	1,5	2
4	Nikiel (Ni)	30	45	60
5	Cynk (Zn)	150	220	300
6	Miedź (Cu)	50	75	100
7	Chrom (Cr)	100	150	200

Tabela 4: Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w gruncie.[5]

- odczyn pH gleby na terenach użytkowanych rolniczo jest nie mniejszy niż 5.6,
- stosowanie osadów nie powoduje pogorszenia jakości gleby oraz wód powierzchniowych i podziemnych.

Przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie dawkę osadu ściekowego należy ustalić osobno dla każdej partii osadu. Jej wielkość uzależniona jest od rodzaju gruntu, sposobu jego użytkowania, jakości komunalnego osadu ściekowego i zapotrzebowania roślin na fosfor i azot.

Tabela 5 przedstawia dopuszczalne ilości metali ciężkich, które mogą być wprowadzone z komunalnym osadem ściekowym w ciągu roku do gleby, średnio w okresie 10 lat.

Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w g/ha/rok nie może przekroczyć:
1	Ołów (Pb)	1000
2	Kadm (Cd)	20
3	Rtęć (Hg)	10
4	Nikiel (Ni)	200
5	Cynk (Zn)	5000
6	Miedź (Cu)	1600
7	Chrom (Cr)	1000

Tabela 5: Dopuszczalna ilość metali ciężkich wprowadzanych do gleby.[5]

Przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie w postaci płynnej lub ziemistej stosuje się następujące dawki:

Lp.	Cel wykorzystywania komunalnych osadów ściekowych		Dawka komunalnych osadów ściekowych w mg s.m./ha	Uwagi
1	Rolnictwo		do 10 dawka w ciągu 5 lat	zabieg jednokrotny lub dwukrotny
2	Rekultywacja:	gruntów na cele rolne	200 zależnie od pożądanej zawartości substancji organicznej w gruncie (do 3%)	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
		terenów na cele nierolne	do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
3	Dostosowanie do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu		do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
4	Uprawa roślin przeznaczonych do produkcji kompostu		do 250 dawek na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
			do 10 dawek w kolejnych dalszych latach	
5	Uprawa roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz		do 250 dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
			do 10 dawka w kolejnych dalszych latach	

Tabela 6: Dawki komunalnych osadów ściekowych.[5]

Jeżeli powyższe warunki zostaną spełnione, można wprowadzać osady do gruntów. Nie można ich jednak wykorzystywać podczas wegetacji roślin przeznaczonych do spożycia. Osady w postaci płynnej mogą być wprowadzane do gruntu tylko metodą iniekcji lub metodą natryskiwania, w tym hydroobsiewu. Osady w postaci mazistej i ziemistej należy rozprowadzać równomiernie na powierzchni gruntu i niezwłocznie z nim zmieszać.

Grunty, na których komunalne osady ściekowe mają być stosowane podlegają konkretnym badaniom. Badania gruntów, na których komunalne osady ściekowe są stosowane w rolnictwie, wykonuje się raz na rok, a pozostałych gruntów - raz na 5 lat.



Badania te określone są w załączniku nr 6 do niniejszego rozporządzenia - przedstawiłem je w Tabeli 7.

Badaniu podlega reprezentatywna próbka gruntu - zmieszane 25 próbek pobranych w punktach regularnie rozmieszczonych na powierzchni nieprzekraczającej 5 ha, o jednorodnej budowie i jednakowym użytkowaniu, pobrane z głębokości 25 cm, lub z głębokości co najmniej 10 cm, jeżeli powierzchniowa warstwa gleby jest mniejsza od 25 cm.

Lp.	Wskaźnik	Metoda
1	Odczyn pH	oznaczenie elektrometryczne w roztworze wodnym
2	Zawartość metali ciężkich: ołowiu, kadmu, rtęci, niklu, cynku, miedzi i chromu	spektrometria absorpcji atomowej po mineralizacji mocnymi kwasami
3	Zawartość fosforu przyswajalnego w przeliczeniu na P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (pięciotlenek fosforu)	ekstrakcja mleczanem wapnia i oznaczenie spektrofotometryczne wg metody Engera-Rhiema

Tabela 7: Metody referencyjne badań gruntów, na których mają być stosowane komunalne osady ściekowe. [5]

### **3.5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. [6]**

Rozporządzenie określa o zasady wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. Urządzenia do przekształcania odpadów powinny w możliwie małym stopniu emitować szkodliwe związki. Emisje nie mogą przekraczać określonych norm. Pozostałości po procesach przetwarzania, w tym po termicznym unieszkodliwianiu, powinny nadawać się do dalszego wykorzystania i być w wystarczającym stopniu pozbawione cech powodujących zagrożenie dla środowiska. Jeżeli nie jest możliwe ich wykorzystanie – powinny być składowane w odpowiednich warunkach zapewniających ochronę środowiska, a także ochronę życia i zdrowia ludzi.

Jeżeli odpady niebezpieczne muszą być składowane, to takie składowisko powinno:

- zostać zbudowane przy zachowaniu jak największej odległości pomiędzy warstwą uszczelniającą, a najwyższym możliwym poziomem wód gruntowych. Odległość ta nie może być mniejsza niż jeden metr,

- posiadać uszczelnienie wielowarstwowe dna i ścian bocznych do poziomu co najmniej 2 m powyżej otaczającego terenu, zabezpieczające przed przenikaniem wód opadowych z wnętrza składowiska do wód podziemnych,
- posiadać żwirową warstwę filtracyjną wraz z drenażem odprowadzającym odcieki do oczyszczalni, aż do czasu zaniku odcieków,
- posiadać okrywę ziemną dla ochrony wód opadowych,
- posiadać ogrodzenie i stały nadzór w czasie eksploatacji,
- zostać uszczelnione geomembraną i przykryte warstwą ziemi.

### **3.6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów. [7]**

Rozporządzenie dotyczy instalacji termicznego unieszkodliwiania odpadów wykorzystujących między innymi proces spalania, określa konkretne wymagania dotyczące termicznego przekształcania odpadów, a także określa metody postępowania z odpadami z procesu spalania.

Spalanie odpadów zawierających do 1 % związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor, powinno odbywać się w temperaturze co najmniej 850 stopni, przy czym gazy spalinowe powinny przebywać co najmniej 2 sekundy w komorze spalania przy zawartości tlenu minimum 6%.

Według Rozporządzenia całkowita zawartość węgla organicznego w żuźlach i popiołach paleniskowych nie może przekraczać 3%, a udział części palnych w żuźlach i popiołach paleniskowych nie może przekraczać 5%.

Piec powinien być wyposażony w:

- automatyczny system podawania odpadów,
- palnik podtrzymujący w razie potrzeby wymaganą temperaturę,
- system odprowadzania gazów spalinowych zapewniający dotrzymanie norm emisyjnych,
- system odzysku energii cieplnej.

W procesie należy zapewnić ciągły pomiar:

- temperatury w komorze spalania,
- zawartości tlenu w gazach spalinowych,
- ciśnienia gazów spalinowych,
- czasu przebywania gazów spalinowych w komorze spalania.

Pozostałości po procesie spalania należy magazynować i transportować w sposób uniemożliwiający ich rozprzestrzenianie się do środowiska. Unieszkodliwianie przez składowanie regulują odrębne przepisy.

Pozostałości po termicznym przekształceniu odpadów poddaje się odzyskowi i unieszkodliwieniu ze szczególnym nastawieniem na unieszkodliwienie frakcji metali ciężkich. Popioły można wykorzystać do produkcji mieszanek betonowych na potrzeby budownictwa (z wyłączeniem budynków do stałego przebywania ludzi lub zwierząt oraz do produkcji lub magazynowania żywności).

Należy przeprowadzić badania wymywalności próbki wyrobów betonowych. Stężenie metali ciężkich w wyciągach wodnych z tego badania nie może przekroczyć 10 mg/dm<sup>3</sup> łącznie w przeliczeniu na masę pierwiastków.

### 3.7. Dyrektywa Unii Europejskiej 2000/76/EC z dnia 04.12.2000 w sprawie spalania odpadów. [8]

Dyrektywa wyznacza maksymalne stężenia zanieczyszczeń dla suchych spalin podane w mg/Nm<sup>3</sup> w standardowej temperaturze 0°C, przy ciśnieniu 101,2 kPa skorygowane do 11 % wagowych tlenu.

Wartości średnie	EEC standard 04/12/00	
	24h	30 min
Pył całkowity	10	30
Związki organiczne	10	20
CO	Średnie dobowe: <50 10 min średnie w ciągu 24h: 95% pomiarów <150 30 min średnio w ciągu 24h: 100% pomiarów <100	
HCl	10	60
HF	1	4
SO <sub>2</sub>	50	200
NO <sub>2</sub>	200	400
Cd+Ti	0,05	
Hg	0,05	
Metale Ciężkie	0,5	
Dioksyny i Furany	0,1	

Metale Ciężkie: Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn

Tabela 8: Maksymalne stężenia zanieczyszczeń dla suchych spalin.[8]

## **4. Przegląd stanu techniki i technologii unieszkodliwiania osadów ściekowych.**

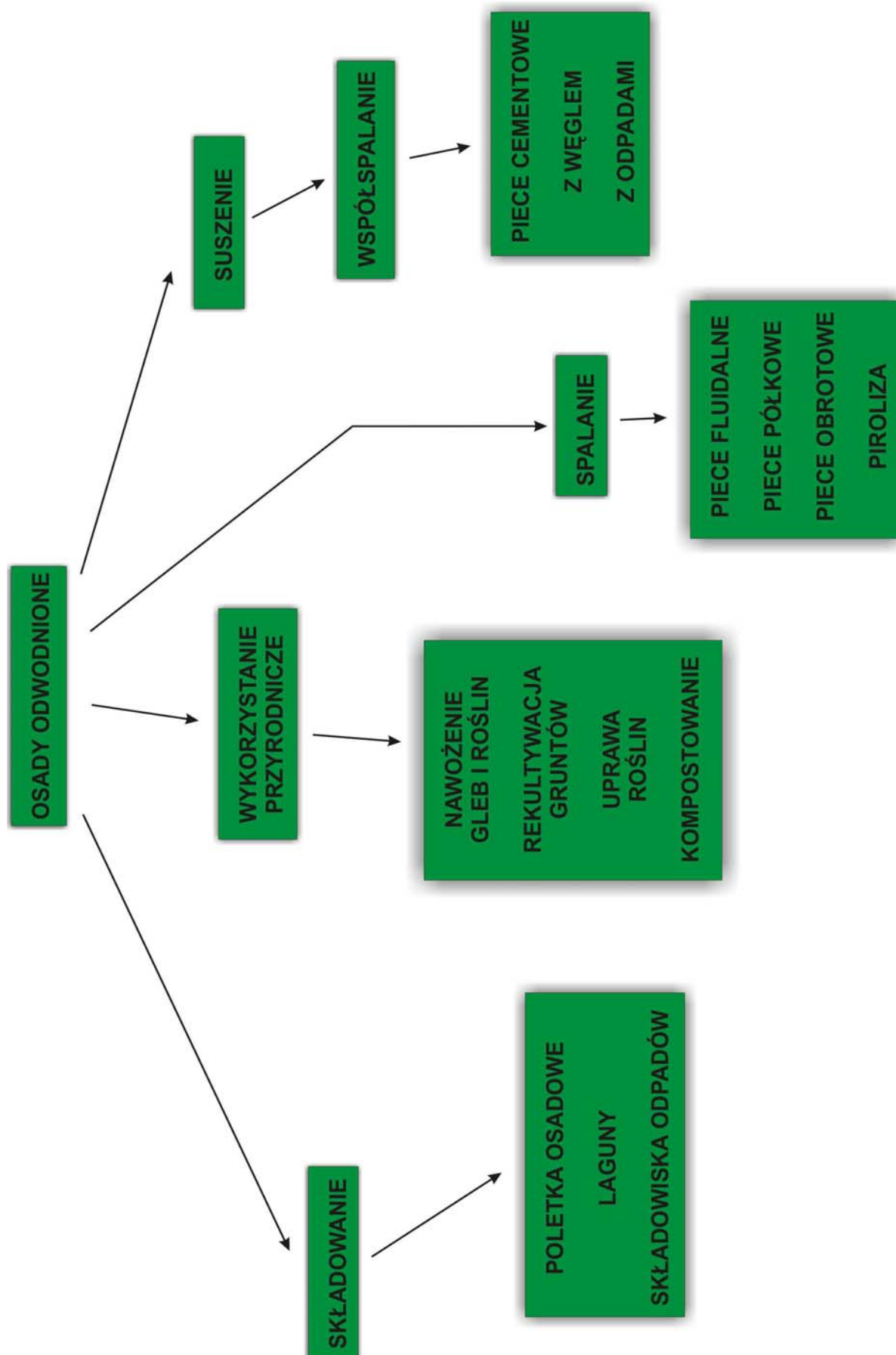
### **4.1. Przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych.**

Komunalne osady ściekowe swoim składem mineralnym i organicznym są zbliżone do składu substancji próchnicznej zawartej w glebach, dlatego też osady spełniające normy zawarte w RMŚ z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [5] (zawartość metali ciężkich i normy sanitarne) można wykorzystywać przyrodniczo.

Przyrodnicze wykorzystywanie osadów ściekowych wymaga odpowiedniego zezwolenia. Jeżeli osady spełniają normy dopuszczające je do przyrodniczego wykorzystania należy przeprowadzić badania gleb, na których osady mają być stosowane i określić zawartość metali ciężkich w tych glebach. W Polsce stosuje się dawki osadów w ilości 40 do 220 t s.m./ha jednorazowo.

Według J. Siuty [9] osady nie powinny być jednak w żadnym wypadku stosowane:

- na obszarach chronionych,
- na terenach ochronnych ujęć wód i w odległości mniejszej niż 50 m od ujęć publicznych,
- w odległości mniejszej niż 25 m od indywidualnych ujęć wody,
- w okolicach źródeł,
- na terenach zalewowych i bagiennych,
- na gruntach o dużej przepuszczalności i wysokim poziomie wód gruntowych (1.5 m od powierzchni terenu),
- na obszarach bezpośredniego spływu wód powierzchniowych,
- w odległości mniejszej niż 50 m od budynków mieszkalnych i zakładów produkujących żywność,
- na plantacjach warzyw i owoców, które bezpośrednio stykają się z glebą.



Rysunek 1: Sposoby zagospodarowania osadów ściekowych.

#### **4.1.1. Stosowanie do nawożenia gleb i roślin.**

Według J. Siuty [10] głównym celem nawozowego użytkowania osadów jest dostarczenie roślinom składników pokarmowych i zachowanie próchnicy w glebie. Przy dawkowaniu osadu należy zwrócić uwagę na zawartość azotu którego nadmiar jest niekorzystny dla roślin i środowiska. Stosowanie osadów ściekowych wiąże się z koniecznością dodatkowego nawożenia potasem jako, że osady ściekowe są bardzo ubogie w ten pierwiastek. Na glebach kwaśnych wskazane jest stosowanie osadów wapnowanych o odczynie alkalicznym. Według najlepiej. Siuty [10] najlepiej jest stosować nawozowo osady kompostowane.

#### **4.1.2. Stosowanie do rekultywacji gruntów.**

Rekultywacja jest to przywracanie wartości użytkowych i przyrodniczych gleb przez poprawienie właściwości fizykochemicznych i stosunków wodnych. Rekultywacji podlegają również grunty bezglebowe – grunty pozbawione pokrywy glebowej, zwałowiska i nasypy, wysypiska i składowiska odpadów komunalnych, składowiska odpadów mineralnych, gleby silnie zdegradowane.

Osady stosowane do rekultywacji gruntów, oprócz zachowania norm zawartości metali i norm sanitarnych, powinny być:

- ustabilizowane,
- odwodnione w stopniu odpowiednim do transportu i stosowania,
- w stanie uniemożliwiającym migrację metali z masy osadowo – glebowej.

Rekultywacja ma na celu dostosowanie właściwości gleby do efektywnego pełnienia dotychczasowej funkcji lub dostosowania jej właściwości do nowego przeznaczenia danego gruntu. Według J. Siuty [10] osady ściekowe najczęściej wykorzystuje się do rekultywacji gruntów na następujące cele:

- pod uprawy polowe, pastwiska
- zieleń miejska, tereny rekreacyjne,
- zalesianie, zadrzewianie śródpolne,
- plantacje drzew i krzewów,

- produkcja roślin na kompost,
- produkcja roślin na cele energetyczne,
- produkcja roślin na różnego rodzaju wyroby.

Osady ściekowe mogą być również stosowane do zazieleniania powierzchni przy urządzeniu, eksploatacji czy zamykaniu wysypisk i składowisk odpadów komunalnych. Wierzchnia warstwa składowiska pokryta ziemią stanowi grunt bezglebowy. Stosowanie osadu zapewnia stworzenia warstwy próchniczej.

Osady stosuje się także do roślinnego utrwalenia gruntów narażonych na erozję wodną i wiatrową. Rekultywacja tych gruntów polega na wytworzeniu, o ile to konieczne, warstwy próchniczej, a w dalszej kolejności roślinnemu zabezpieczeniu gruntu przed erozją.

#### **4.1.3. Stosowanie do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, paliw odnawialnych i innych wyrobów.**

Ten sposób użytkowania osadów polega na jednorazowym, intensywnym użyźnieniu gruntu. W latach następnych następuje ciągła uprawa roślin i sukcesywne nawożenie osadami.

W takim wypadku stosuje się rośliny o dużych możliwościach produkcji biomasy czyli szybko rosnące rośliny o wysokich walorach energetycznych. Według J. Siuty [10] do takich roślin zalicza się:

- łąkowe trawy wysokie,
- rośliny zbożowe,
- rzepak, gorczycę, kapustę pastewną, rzodkiew oleistą,
- wierzby, topole,
- trzcinę pospolitą.

Rośliny uprawiane w celu przeznaczenia na kompost powinny, według J. Siuty [10] charakteryzować się następująco:

- być wieloletnie o długim okresie wegetacji,
- pobierać duże ilości składników pokarmowych, głównie azotu,
- nie powinny pobierać metali ciężkich,
- muszą być łatwe w przygotowaniu do kompostowania (zbieranie, rozdrabnianie).

Potencjalnym miejscem do stosowania tej metody są wyeksploatowane składowiska odpadów mineralnych wymagające rekultywacji. Wskazane jest połączenie procesów rekultywacji z późniejszym wykorzystaniem terenu do produkcji roślin przeznaczonych na kompost. Za wykorzystaniem takich gruntów do produkcji roślin przemawia oddalenie składowiska od osiedli ludzkich a także istniejąca już infrastruktura, czyli drogi dojazdowe, ogrodzenie itp.

#### **4.1.4. Kompostowanie osadów ściekowych.**

Kompostowanie polega na przekształceniu osadu z konsystencji mazistej do postaci ziemistej. Substancje organiczne zawarte w kompoście pochodzącym z osadów ściekowych polepszają fizykochemiczne właściwości gleb, na których kompost jest stosowany. Obecność mikroorganizmów wzbogaca właściwości gleby, jej życie biologiczne. Zawarte w kompoście substancje takie jak azot, fosfor, potas są naturalnymi nawozami.

Należy oczywiście pamiętać o dopuszczalnej zawartości metali ciężkich w osadach. Kompost również powinien być od nich wolny. Problem obecności organizmów chorobotwórczych zostaje w dużym stopniu wyeliminowany już w procesie fermentacji osadów w oczyszczalni. W procesie dojrzewania kompostu przy wysokiej temperaturze następuje dalszy ciąg eliminowania tych organizmów.

Proces kompostowania zapewnia:

- stabilizację osadów,
- zniszczenie organizmów chorobotwórczych – wysoka temperatura procesu kompostowania,
- redukcję masy,
- redukcję uwodnienia.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest kompostowanie osadów z 20-50 % dodatkiem masy roślinnej [10]. Pozwala to na uzyskanie ziemistej konsystencji kompostu, a także na zmniejszenie koncentracji metali ciężkich. Masę roślinną, uzyskuje się w procesie pielęgnacji zieleni miejskiej do której należą: [11]

- parki i lasy komunalne,
- zieleń osiedlowa,



- zielen przyuliczna,
- zielen zaroślowa dolin rzecznych,
- łąki, uprawy polowe.

Należy pamiętać, że we wstępnym procesie kompostowania osadów konieczne jest uzyskanie odpowiedniej wilgotności materiału. Niezbędne jest zatem dodawanie trocin albo słomy, aby wilgotność wsadu zredukować do 50-55 % s.m.

Kompost może być wprowadzany do obrotu po przeprowadzeniu niezbędnych badań i uzyskaniu zgody Ministerstwa Rolnictwa.

Kompost można stosować jako:

- nawóz do produkcji ogrodniczej,
- nawóz wykorzystywany w zieleni miejskiej,
- materiał do rekultywacji zdegradowanych gleb,
- materiał wykorzystywany w gospodarce leśnej.

#### **4.2. Suszenie osadów.**

Osady przeznaczone do spalania w piec fluidalnym i do współspalania muszą zostać wysuszone. Suszenie osadów ma na celu zwiększenie zawartości suchej masy osadu przy jednoczesnym przygotowaniu osadu do termicznej utylizacji. Ważne jest, aby osad nie stykał się z medium grzewczym. Takie rozwiązanie pozwala wyeliminować emisję szkodliwych substancji do atmosfery. Przykładem zastosowania takiej technologii suszenia jest suszarka talerzowa ROTADISC [12]. Medium grzewczym może być para wodna lub olej grzewczy. Gorącą wodę i parę wodną można uzyskiwać odzyskując ciepło np. ze spalania fluidalnego. Proces zachodzi w temperaturze około 180 °C.

Czynnik grzewczy wprowadzany jest do urządzenia centralnym przewodem ułożonym poziomo w osi bębna suszarki. Dyski umieszczone na przewodzie wypełnione są czynnikiem grzewczym. Pomiedzy dyskami umieszczone są łopatki powodujące przemieszczanie się osadu od wlotu do wylotu suszarki. Czas zatrzymania osadu w suszarce wynosi od 40 minut do 1 godziny, następnie opary z osadu są ujmowane i poddawane kondensacji z odzyskiem ciepła. Powstały wysuszony osad jest kierowany do silosa lub spalania

Wysuszony osad ściekowy charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- ma niższą masę,
- jest wolny od bakterii chorobotwórczych i jaj pasożytów,
- jest łatwiejszy i znacznie bezpieczniejszy w transporcie - ewentualne wydostanie się nie powoduje zagrożenia dla środowiska,
- może być spalany autotermicznie,
- może być wykorzystywany jako nawóz.

Tak wysuszony osad może być współspalany z węglem, w piecu cementowym, a także z odpadami komunalnymi.

#### **4.3. Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych.**

Termiczne unieszkodliwianie osadów jest praktycznie najlepszą i najskuteczniejszą metodą zagospodarowania osadów z dużych miast. Duża ilość osadów, metali ciężkich, czy brak wystarczająco dużych powierzchni do składowania, czy przyrodniczego wykorzystywania, przemawia za termiczną utylizacją osadów ściekowych.

Według danych przedstawionych w roku 1998 w Częstochowie [13] spalanie osadów ściekowych staje się normą w krajach Unii Europejskiej. We Francji, Szwajcarii i w Niemczech spala się 30% osadów, w Danii 40%, a w Japonii nawet 55%.

Według H. Skowrona [14] instalacją spalania osadów nazywamy instalację zbudowaną w celu termicznego spalania odpadów. Instalacją współspalania jest instalacja której celem jest produkcja energii lub wytwarzanie produkcji materialnej w której odpady są paliwem podstawowym lub uzupełniającym bądź w której odpady są przekształcane termicznie. T. Pająk [15] wskazuje na zasadność stosowania technologii termicznej utylizacji osadów ściekowych. W instalacjach spalania i współspalania proces dozowania osadów musi być blokowany dopóki temperatura nie osiągnie wymaganych 850 °C (w przypadku spalania fluidalnego) lub w momentach w których zostaną przekroczone normy emisji spalin [14].

#### **4.3.1. Spalanie w piecu fluidalnym.**

Spalanie osadów w piecu fluidalnym wymaga jedynie podsuszenia osadów do co najmniej 27 % s.m w celu zapewnienia autotremiczności procesu. Podsuszone osady trafiają na złożę fluidalne, mieszają się z materiałem inertnym – piaskiem. Woda zawarta w osadzie pod wpływem gorąca podlega gwałtownemu odparowaniu, a substancje organiczne zawarte w osadzie zostają spopielone. Proces spalania osadu zapoczątkowany na złożu fluidalnym jest kontynuowany w komorze spalania. Konstrukcja komory zapewnia minimalnie, dwusekundowe przetrzymanie spalin przy temperaturze powyżej 850 °C. Zapewnia to dobre spalanie osadu, zawartość części organicznych w popiołach jest niższa niż 3%.

#### **4.3.2. Spalanie w piecu obrotowym.**

Osady można również spalać w piecach obrotowych. Pochylony pod odpowiednim kątem piec zbudowany jest z wewnętrznego stalowego bębna wyłożonego odpornym na wysoką temperaturę materiałem ceramicznym. Wymurówka ceramiczna jest niestety bardzo droga i musi być często wymieniana. Lokalne przegrzania w piecu wymagają stosowania wymurówki dużo trwalszej niż to wynika z obliczeń.

W wyniku rotacji osady są mieszane i pod wpływem siły grawitacji przesuwają się w dół pieca przechodząc przez kolejne strefy:

- suszenia,
- odgazowania,
- spalania,
- schładzania popiołu.

Temperatura spalania waha się w zakresie 800-1000 stopni w zależności od właściwości osadów. W procesie tym następują niestety duże straty energetyczne ze względu na uchodzenie gorących spalin.

### 4.3.3. Spalanie w piecu półkowym.

Piece półkowe używane są do spalania osadów o niskiej zawartości s.m (suchej masy). Cylindryczny piec wyłożony jest ceramicznym materiałem żaroodpornym. Osady wilgotne dostarczane są do najwyższego, jednego z wielu (4-14), palenisk. Na najwyższej z półek zachodzi proces suszenia osadów. Osady zostają wysuszone do ok. 60% s.m. Następnie materiał jest przesuwany za pomocą zgrzebła do punktu zrzutu na kolejną półkę. Następnie zachodzi tam proces pirolizy i spalania. Temperatura w piecu utrzymywana jest w granicach 760°C do 930°C, jako że temperatura mięknięcia żużłu wynosi około 1000 °C.

Chłodne powietrze podawane w kierunku przeciwnym do osadów schładza popiół i zgrzebła. Gorące powietrze podsusza osad, powodując niestety przy okazji powstawanie węglowodorów i związków siarki. Niezbędne jest stosowanie instalacji oczyszczających gazy odlotowe. Zaletą pieca półkowego jest dobre wykorzystanie energii i brak konieczności wcześniejszego podsuszania osadów. Wadą jest natomiast konieczność podawania paliwa dodatkowego, czyli zazwyczaj ropy naftowej.

### 4.3.4. Piroliza.

Przez pirolizę rozumie się termiczne przekształcanie substancji organicznych w środowisku całkowicie pozbawionym tlenu, bądź przy niewielkiej jego obecności. [16] Piroliza niskotemperaturowa zachodzi w temperaturze 450-700°C, a wysokotemperaturowa w 900-1100°C. [17] W wyniku pirolizy powstają:

- gaz pirolityczny składający się z pary wodnej, wodoru, metanu, etanu, tlenku i dwutlenku węgla, a także  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $HCN$ ,
- olej, smoły, woda i substancje organiczne,
- koks pirolityczny, pyły z dużą zawartością metali ciężkich.

Wyróżniamy dwa rodzaje pirolizy, wolną i szybką:

- Slow pyrolysis - niskotemperaturowy proces z dużym uzyskiem fazy stałej,
- Fast pyrolysis - uzyskuje się dużą ilość produktów ciekłych i gazowych.

Pirolizę przeprowadza się w regulowanym ciśnieniu w reaktorach szybowych, a także w kotłach fluidalnych i reaktorach obrotowych.

W opartej na pirolizie technologii OFS (Oil From Sludge) stosuje się odwodnione i wysuszone do 95% s.m. osady, które poddaje się działaniu temperatury 450 °C przez co najmniej 30 minut. Otrzymany olej jest wykorzystywany w przemyśle chemicznym i petrochemicznym. Powstały gaz i produkty zwęglenia mogą posłużyć jako paliwo do wytworzenia energii potrzebnej do suszenia osadów.

Zaletą tej technologii jest pełna higienizacja osadów pod wpływem suszenia i pirolizy. W technologii OFS można stosować osad nieprzefermentowany, co obniża koszty budowy i obsługi instalacji.

#### **4.3.5. Współspalanie osadów z węglem.**

Osady można również współspalać z innymi paliwami, na przykład z węglem. Problemem przy zastosowaniu takiej technologii jest nieustalona jednoznacznie dopuszczalna procentowa zawartość osadów w paliwie przeznaczonym do spalania. Zazwyczaj do węgla dodaje się około 5% osadów, jednakże czasem wskazuje się na możliwość zwiększenia udziału osadów do 10-25 %. [13][18][16]

Dużym problemem jest konieczność suszenia osadów do 90% s.m w przypadku spalania z węglem kamiennym, natomiast w przypadku współspalania z węglem brunatnym sugeruje się suszenie osadów do 50 % s.m. Należy pamiętać o konieczności rozdrobnienia osadów w młynach do wartości poniżej 75 µm w celu pneumatycznego podania do palników.

Kolejnym problemem jest możliwość występowania w gazach spalinowych tlenków azotu, siarki gazowej, rtęci oraz dioksyn i furanów. W przypadku zachowania temperatury spalania w zakresie 800-900 stopni furany i dioksyny ulegają rozszczepieniu.

#### **4.3.6. Współspalanie osadów w piecach cementowych.**

Do pieca cementowego dodaje się osad wysuszony do 70% s.m, aczkolwiek wskazane jest podawanie możliwie mocno wysuszonych osadów.

Bardzo wysoka temperatura w piecu (1400-1700°C), a także rozproszona faza stała zapewniają dechloryzację dioksyn i furanów. Wysoka turbulencja w piecu dodatkowo zapewnia redukcję tlenków azotu. W piecu cementowym substancje lotne takie jak SO<sub>2</sub>, HCL,

metale ciężkie, nie opuszczają układu, ale są adsorbowane na powierzchni fazy stałej. Takie zatrzymywanie substancji w piecu może zakłócić jego działanie, dlatego należy zbadać dopuszczalną ilość osadów, które można współspalać w piecu. Czas przebywania ładunku w piecu wynosi 2,7 sekundy w temperaturze powyżej 1400 °C i 4-5 sekund w temperaturze 1200 °C. Sprawia to, że piece cementowe są odpowiednie do współspalania osadów ściekowych. Uważa się, że stopień redukcji części palnych i trwałych związków organicznych przekracza 9.9 % [13]

#### **4.3.7. Współspalanie osadów z odpadami komunalnymi.**

Dla wyrównania wartości opałowej osadów i odpadów niezbędne jest wysuszenie osadów do około 50% s.m. Do ładunku odpadów dodaje się około 40% masy osadów. Całość wsadu spala się zazwyczaj w temperaturze 800-900 stopni C w piecach rusztowych. W wyniku doświadczeń stwierdzono, że połączenie pieca półkowego z rusztowym jest najlepszym rozwiązaniem dla tego rodzaju współspalania. Energię pozyskaną ze spalania tego paliwa wykorzystuje się do produkcji ciepła na potrzeby zakładu utylizacyjnego.

#### **4.4. Wapnowanie osadów.**

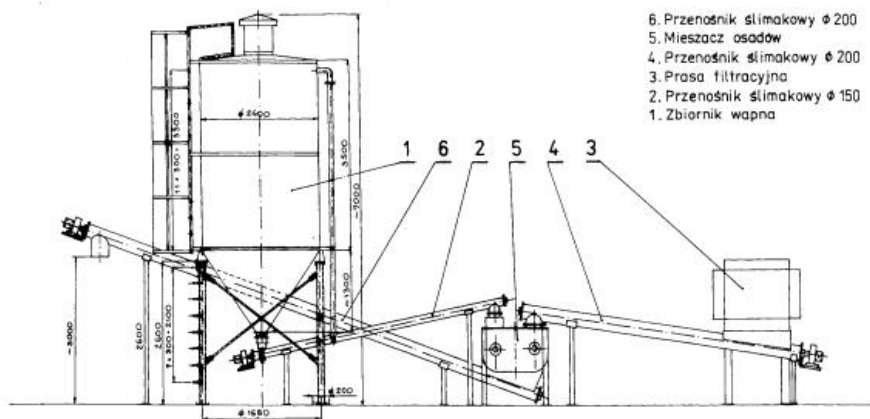
Wapnowanie osadów ściekowych prowadzi do zniszczenia zawartych w nich organizmów chorobotwórczych. Wapno pod wpływem wody zawartej w osadach lasuje, co wiąże się z wytworzeniem wysokiej temperatury niszczącej organizmy chorobotwórcze. Niezbędne jest utrzymanie temperatury 52° C przez co najmniej 12 godzin.

Wapnowanie zwiększa odczyn osadów do pH 12. Wysokie pH utrzymane przez co najmniej 2 godziny powoduje zatrzymanie procesów życiowych organizmów, natomiast wytworzony amoniak przenika przez błony komórkowe organizmów powodując ich likwidację.

Do osadów dodaje się tlenek lub wodorotlenek wapnia, możliwe jest także wykorzystanie pyłów z pieców cementowych [13]. Według J. Siuty [9] poprzez wapnowanie można usunąć z osadów od 95 do 100% patogenów.

Najczęściej dodaje się tlenek wapnia do osadów mechanicznie odwodnionych.

## BUDOWA



Rysunek 2: Schemat instalacji wapnowania osadów firmy Montech [19].

Osady higienizowane wapnem można, ze względu na ich silną zasadowość, wykorzystywać do odkwaszania gleb. Nadmierne zakwaszenie gleb powoduje uwolnienie metali ciężkich zawartych w tych glebach.

### 4.5. Składowanie osadów.

Osady ściekowe można składować:

- na poletkach osadowych,

Ustabilizowany osad ściekowy kierowany jest na poletko za pomocą taśmociągów, wagoników albo ciężarówek. Poletko to teren otoczony wałem ziemnym zazwyczaj około dwumetrowej wysokości. Na dnie poletka stosuje się trzydziestocentymetrową warstwę żwiru. W warstwie żwiru stosuje się drenaż odprowadzający nadmiar wody odsączonej. Warstwę żwiru przysypuje się dwudziestocentymetrową warstwą piasku. Osad na poletkach odwadniany jest do zawartości ok. 70% s.m. Dopuszcza się roczną warstwę zalewową w granicach 1.8 –2.0 m. Każda nowa warstwa osadu powinna być nie grubsza niż 30 centymetrów. Wadą poletek jest ich duża powierzchnia w wypadku dużej ilości osadów.

- w lagunach,

Laguny to zazwyczaj naturalne zagłębienia terenowe, w których składowane są osady ściekowe. Wymagane jest, aby osady stosowane na lagunach były przefermentowane lub

ustabilizowane. Maksymalne wypełnienie lagun osadem nie może być większe niż 2 metry. Każdorazowa warstwa osadu, tak jak w przypadku poletek, nie może być grubsza niż 30 centymetrów. Parowanie, potrzeby roślin i zimowe wymrażanie pozwalają odvodnić osady po pierwszym roku do około 20% s.m. W drugim roku odpady są dalej odwadniane, a dopiero w trzecim roku stosuje się nowy osad. W związku z tym przy stałym dostarczaniu osadów niezbędne jest stosowanie trzech lagun, bądź wielokrotności tej liczby.

- na składowiskach odpadów komunalnych.

Osady kierowane na składowisko powinny być ustabilizowane. Ich wilgotność powinna wynosić około 20% s.m. Bardzo uwodnione osady mogą oddawać wilgoć do odpadów już znajdujących się na składowisku.

Tak przygotowane osady można stosować na składowisku przemieszane z innymi odpadami. Obecność osadów nie wpływa na nośność składowiska, co jest bardzo ważne ze względu na pracujące tam maszyny i ludzi.

Ustabilizowany osad połączony z ziemią dostarczaną na składowisko może być używany do przykrywania przym odpadów.

Składowanie osadów nieustabilizowanych, czy osadów z osadników gnilnych jest bardzo niebezpieczne, gdyż zazwyczaj zawierają metale ciężkie i organizmy chorobotwórcze.

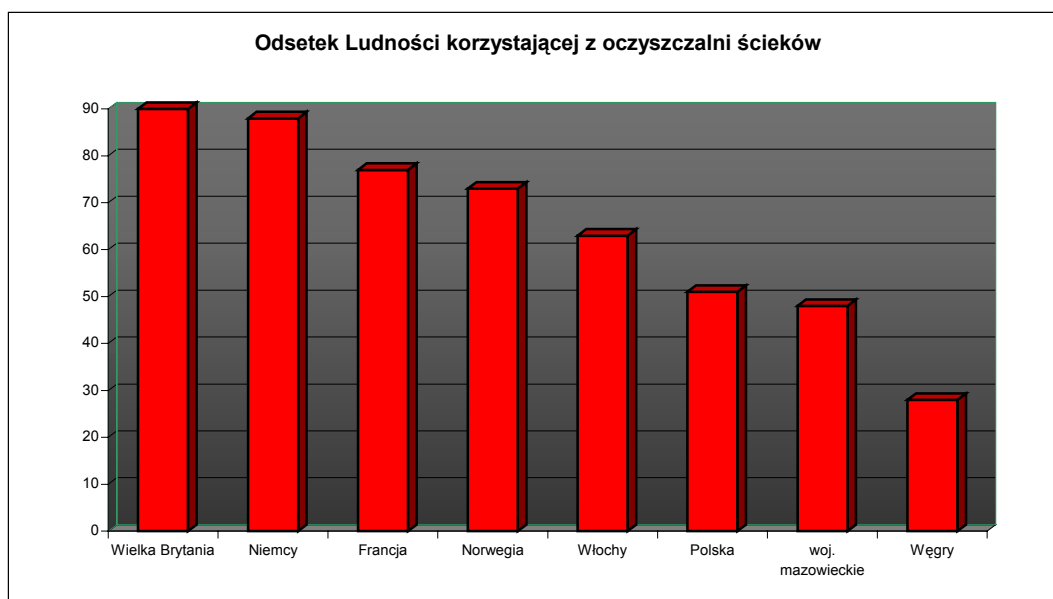
Składowanie osadów na składowiskach jest niekorzystne ze względu na:

- dużą powierzchnię składowiska,
- emisję gazów złownych,
- odcieki,
- roznoszenie organizmów chorobotwórczych i bakterii przez owady żerujące na fekaliach,
- niebezpieczne odcieki z niezabezpieczonego składowiska.



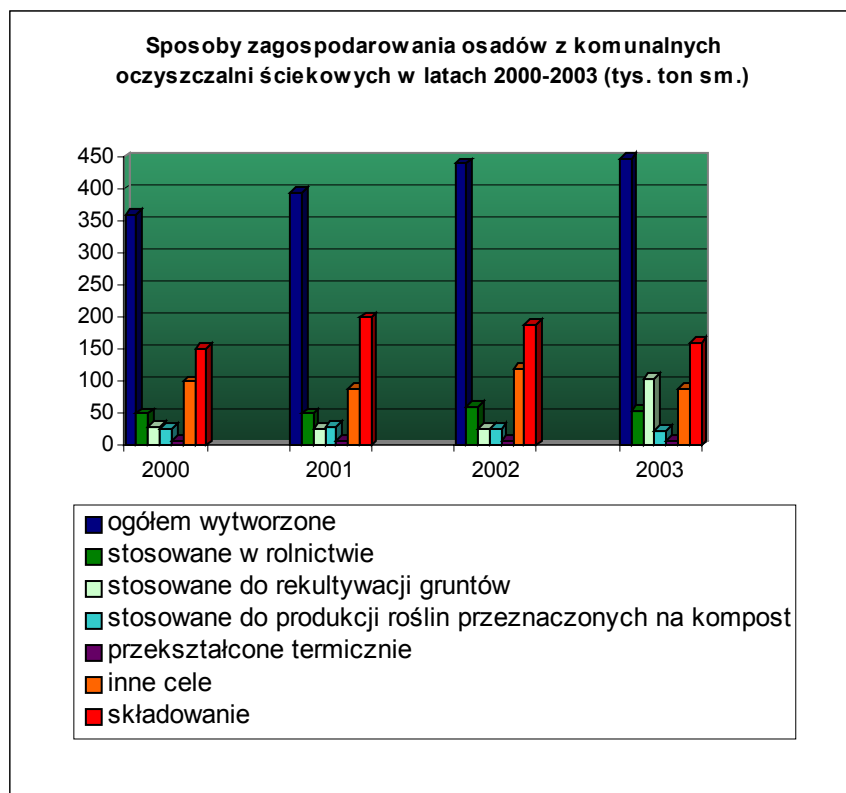
#### 4.6. Dane statystyczne dotyczące ilości i sposobów zagospodarowania osadów ściekowych.

Polska będąc członkiem Unii Europejskiej musi wywiązać się z pewnych obietnic dotyczących między innymi oczyszczania ścieków. Jak pokazuje poniższy [20] wykres, Polska jest daleko w tyle za innymi państwami europejskimi. Dostępność ludności do oczyszczalni ścieków będzie sukcesywnie rosła, a co się z tym wiąże, wzrośnie ilość wyprodukowanych komunalnych osadów ściekowych.



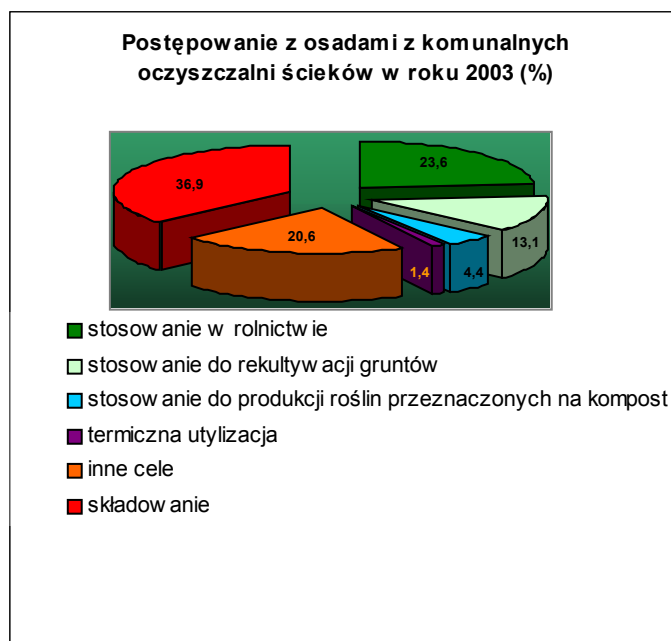
Rysunek 3: Wykres przedstawiający odsetek ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków [20]

Jak pokazuje poniższy wykres [21], ilość wytworzonych osadów sukcesywnie się zwiększa, zmieniają się także sposoby ich zagospodarowania. W 2003 roku gwałtownie wzrosła ilość osadów stosowanych do rekultywacji gruntów, spadła natomiast ilość osadów składowanych. Nadal śladowe ich ilości są utylizowane termicznie. Przez inne cele rozumie się magazynowanie na terenie oczyszczalni [22].



Rysunek 4: Wykres przedstawiający sposoby zagospodarowania osadów ściekowych w latach 2000-2003 [21]

Według GUS [21] metody postępowania z osadami ściekowymi przedstawiały się następująco:

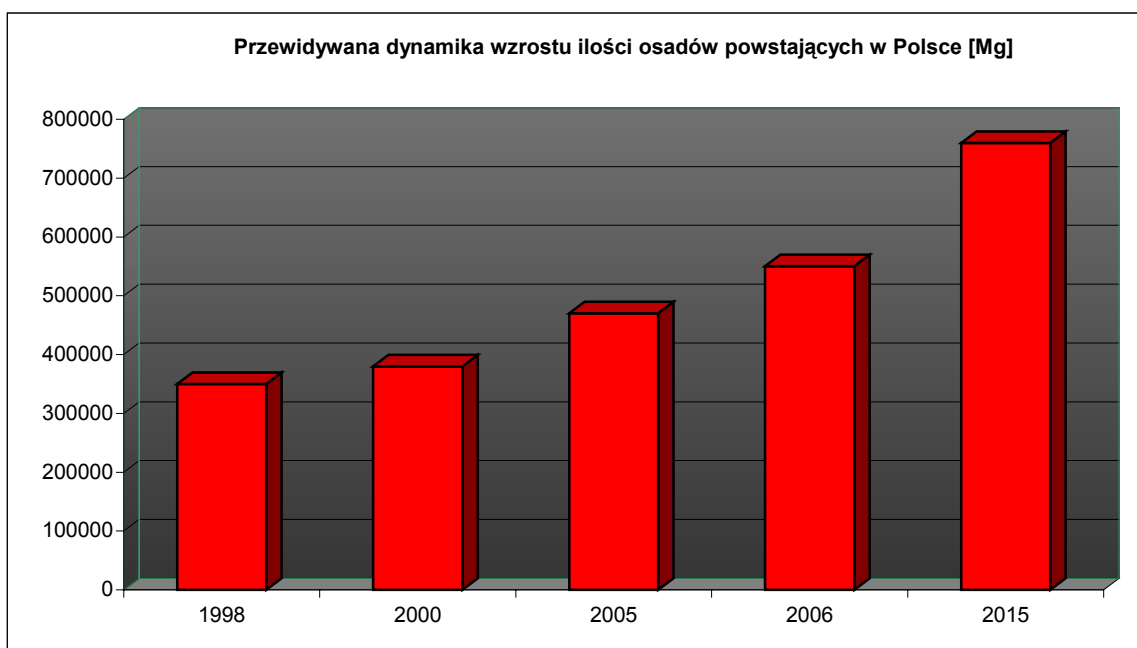


Rysunek 5: Wykres przedstawiający metody postępowania z osadami ściekowymi w 2003 roku.[21]

Według prognoz GUS [21] do roku 2014 zwiększy się ilość osadów utylizowanych termicznie, niestety zwiększy się również ilość osadów składowanych. Zwiększeniu ulegnie także ilość osadów stosowanych do produkcji roślin przeznaczonych na kompost. Część osadów będzie również wykorzystywana przemysłowo.



Rysunek 6: Wykres przedstawiający prognozy metod postępowania z osadami ściekowymi w 2014 roku. [21]



Rysunek 7: Przewidywana dynamika wzrostu ilości osadów powstających w Polsce[22]

## 5. Opis oczyszczalni ścieków „Czajka” ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki osadami ściekowymi.

### 5.1 Mechaniczne procesy oczyszczania.

Początkową fazą oczyszczania ścieków są procesy mechaniczne [23], które mają na celu wyeliminowanie:

- części stałych w procesie filtracji

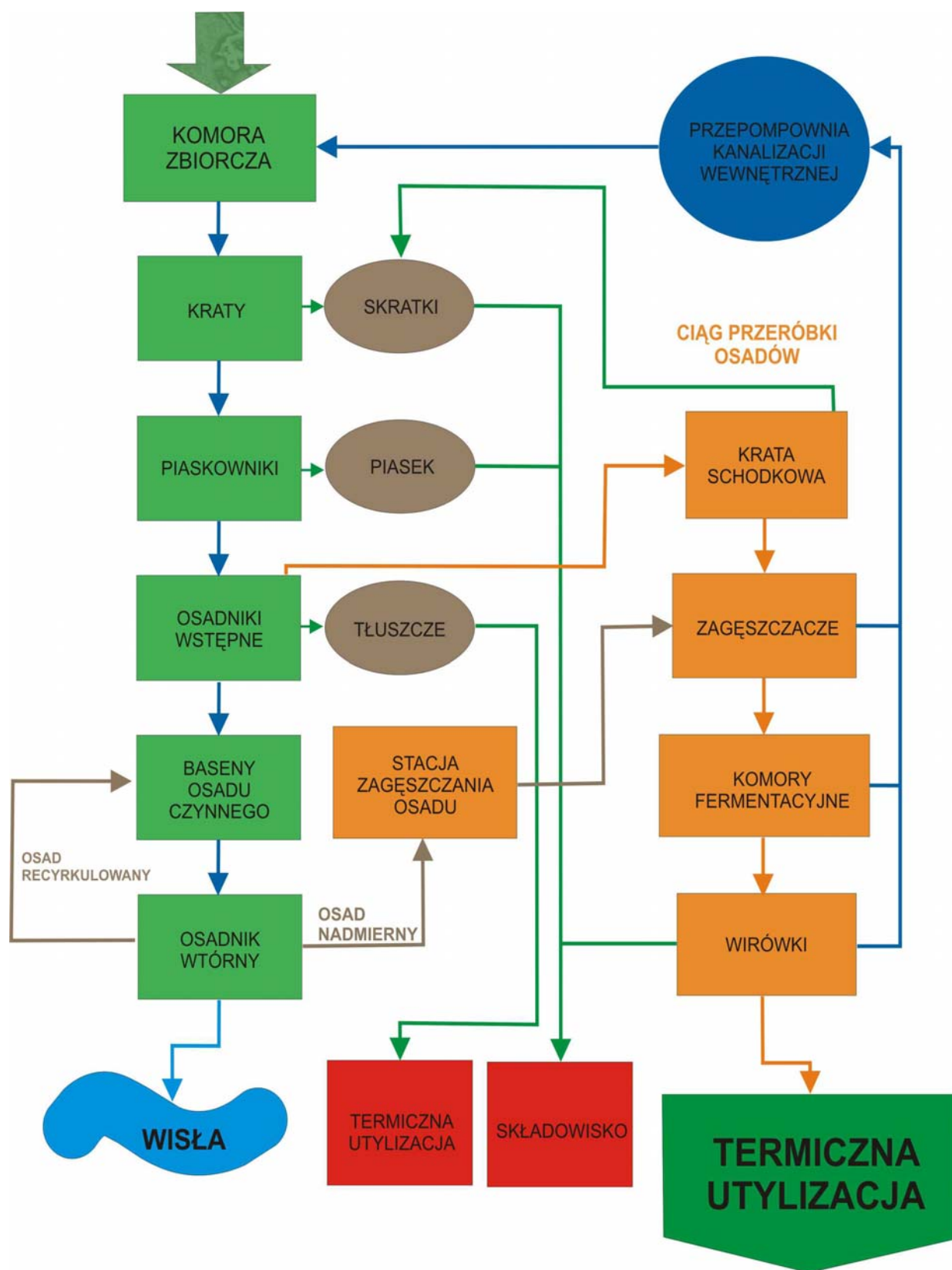
W oczyszczalni Czajka na samym początku procesu oczyszczania ścieków powstają skratki. Są to zgarniane za pomocą krat części stałe, jakie znalazły się w ściekach. Skład skratek jest uzależniony od pory dnia, pory roku i sposobu usuwania odpadów z gospodarstw domowych.

Jak podaje Dr K. Skalmowski, wzrost zawartości części organicznych daje się zauważyć w miesiącach letnich [24]. Faktycznie w trakcie mojej wizyty w oczyszczalni „Czajka”, w czerwcu w składzie skratek dało się zauważyć owoce takie jak truskawki, czereśnie, czyli odpady typowe dla tej pory roku. Oprócz tego widoczne były torebki od herbaty, kawałki papieru itd. Dr K. Skalmowski [24] podaje następujący średni procentowy skład morfologiczny skratek:

Składnik	zawartość średnia
Papier	31.0 %
Tekstyliia	24.3 %
Odpady Kuchenne	22.4 %
Drewno	3.4 %
Inne	18.9 %

Tabela 9: Skład morfologiczny skratek.[24]

W roku 2001 w „Czajce” powstało 1440 Mg skratek [24]. Skratki trafiają na taśmociąg, którym kierowane są do kontenera, a następnie wapnowane wapnem chlorowanym w celu zdezynfekowania. Po zdezynfekowaniu są wywożone na składowisko odpadów.



Rysunek 8: Schemat oczyszczalni „Czajka” w Warszawie



Fotografia 1: Taśmociąg transportujący skratki.

- cząstek ziarnistych na zasadzie sedymentacji

W piaskownikach, gdzie czas przetrzymania ścieków wynosi 3-4 minuty usuwane są zanieczyszczenia mineralne, takie jak: piasek, popiół i węgiel, które trafiają do kanalizacji po splukaniu z ulic i placów. Piaskownik to rozszerzony kanał, w którym prędkość przepływu spada do mniej więcej 0.3 m/s, aby piasek mógł opaść na dno[25]. Piaskowniki oczyszczane są mechanicznie za pomocą zgarniacza [26].

Należy uważać, aby zbyt wiele części organicznych nie trafiło do piasku ze względu na zawartość organizmów chorobotwórczych i substancji złoonych. Należy utrzymywać stały przepływ w piaskowniku, wtedy zawartość części organicznych jest mniejsza. Zawartość substancji organicznych w piasku nie może być wyższa niż 10% [24] W praktyce przypada około 2-5 dm<sup>3</sup> piasku na mieszkańca na rok.

- olejów i tłuszczów podatnych na wydzielenie, a także osadów organicznych

W zastosowanych w „Czajce” osadnikach wstępnych (czas przetrzymania 7.5 godziny) tłuszcze, ze względu na swój mniejszy ciężar właściwy, gromadzą się na powierzchni ścieków. Na powierzchni ścieków umieszczono przegrodę, która zatrzymuje tłuszcze, a następnie spycha je do kanałów. Co prawda tłuszcze i mieszaniny olejów jadalnych (19 08 09) nie są odpadami niebezpiecznymi i ulegają biodegradacji, to jednak inne tłuszcze i oleje ropopochodne (19 08 10\*) [2] są odpadami niebezpiecznymi i muszą zostać

zutylizowane. Dlatego też zgromadzone tłuszcze i oleje są odbierane, a następnie poddawane utylizacji.



Fotografia 2: Zbieranie tłuszczów i olejów.

W osadniku wstępnym oddziela się również osady organiczne, które nie osiadły w piaskownikach. Są to zanieczyszczenia organiczne rozpuszczone, koloidalne, a także zawiesiny o gęstości  $1.2-1.3 \text{ kg/m}^3$  [25].

W osadniku wstępnym usuwa się około 65% całkowitej zawartości zawiesiny organicznej [24] i produkuje jednocześnie osad wstępny poddawany fermentacji kwaśnej w celu usunięcia fosforu i azotu. Jak wcześniej wspomniałem, czas przetrzymania w osadniku wstępnym wynosi około 7.5 godziny.

W celu usprawnienia procesu sedymentacji stosuje się związki chemiczne wspomagające przejście osadu w kłaczkę, które są cięższe od wody i szybciej osiadają. Osad z osadnika wstępnego trafia poprzez kratki schodkowe do zagęszczacza, gdzie łączy się z osadem wtórnym.

Kolejną fazą oczyszczania ścieków są procesy oczyszczania biologicznego. Ścieki, które opuszczają z osadnik wstępny trafiają do napowietrzanej komory osadu czynnego. Czas przetrzymania wynosi 11 godzin. W procesie tlenowym z udziałem bakterii następuje dalsze, wysokie oczyszczenie ścieków.

Żywa grupa mikroorganizmów usuwa i zużywa na swoje procesy życiowe substancje obecne w ściekach. Ważne jest to, że mikroorganizmy mogą wykorzystywać

własną masę jako źródło pożywienia i energii do utrzymania procesów życiowych. Proces tlenowy jest możliwy dzięki stałemu napowietrzaniu komory osadu czynnego. Napowietrzanie zapewnia również dobre wymieszanie ścieków i osadu, a jednocześnie zapobiega osiadaniu osadu w komorze. Przyrost masy osadu, flokulacja, czyli przechodzenie w kłaczkę daje wstęp do następnej fazy procesu oczyszczania zachodzącej w osadniku wtórnym. Osad recyrkulowany jest zatrzymywany w komorze osadu czynnego w celu zachowania stałej koncentracji biomasy w komorze, natomiast osad nadmierny jest kierowany do osadnika wtórnego.

Kolejną fazą procesu oczyszczania ścieków jest skierowanie mocno oczyszczonych ścieków i osadu na około 5 godzin do osadnika wtórnego w celu oddzielenia osadu czynnego. W osadniku znajduje się bardzo duża ilość zawiesiny kłaczkowatej, mającej tendencję do osiadania. Osad zbiera się w leju osadowym, a oczyszczone, klarowne ścieki odprowadza się. Powstały osad jest stale zagęszczany w stacji zagęszczania. Wirnik zamontowany w osadniku sypcha osad do leja osadowego. Osad ze stacji zagęszczania trafia do zagęszczacza, gdzie łączy się z osadem wstępnym.[27]

## **5.2. Zagęszczanie.**

Pierwszym z procesów przekształcania i unieszkodliwiania osadów ściekowych jest ich zagęszczanie. Zagęszczanie prowadzi do zmniejszenia uwodnienia osadów, a co się z tym wiąże - obniża koszty dalszego zagospodarowania osadów.

Osady wstępne z „Czajki” zagęszczane są w zagęszczaczu grawitacyjnym, czas zagęszczania wynosi około jednej doby. Zbyt długie przetrzymywanie osadu w zagęszczaczu prowadzi do rozkładu związków organicznych, a w rezultacie do powstania gazów złośliwych. Rozkład substancji organicznej jest niekorzystny również z powodu spadku kaloryczności osadu.

Zagęszczanie grawitacyjne zachodzi na zasadzie różnicy ciężarów właściwych cieczy i cząstek osadu, których ciężar wynosi 1.1-1,3 g/cm<sup>3</sup> [13].

Osad nadmierny zagęszczany jest w stacji mechanicznego zagęszczania na zagęszczarkach bębnowych firmy Alfa Laval. Osady trafiające do komór fermentacyjnych są odwodnione do około 7% s.m. [27]





Fotografia 3: Zagęszczacz

### 5.3. Fermentacja.

Stabilizacja osadu odbywa się w zamkniętych komorach fermentacyjnych, biogaz powstający w procesie technologicznym jest spalany w pochodni. W Czajce znajduje się 6 komór walcowych - każda o pojemności 7 tys. m<sup>3</sup>, ogrzewanych parą wodną, mieszanych pompowo. Czas przetrzymania osadu w komorach wynosi 21-24 dni. [27]

Do komory doprowadzany jest zagęszczony osad, pozwala to na ograniczenie jej wielkości.

W komorze utrzymywana jest temperatura około 35-37 °C, co pozwala na przeprowadzenie fermentacji beztlenowej. Powstały gaz jest spalany w pochodni. Walcowe komory są tańsze w budowie, jednak wymagają ciągłego mieszania pompowego w celu zapobieżenia osiadaniu osadu. Przefermentowany osad trafia do wirówek w celu odwodnienia.



Fotografia 4: Komory fermentacyjne, w tle pochodnia.

#### 5.4. Odwadnianie.

W oczyszczalni „Czajka” znajdują się cztery wirówki sedymentacyjne, każda o wydajności 20 m<sup>3</sup>/h. Dzięki działaniu siły odśrodkowej następuje przyspieszona sedymentacja i usuwanie wody. Osad doprowadzony do wirówki trafia do środka pustego wału ślimakowego. Osad wydostaje się na zewnątrz ślimaka przez otwory w połowie jego długości, a następnie gromadzi się na ścianie bębna wirówki. Odwodniony osad przesuwany jest przez ślimak w kierunku spustu. Woda usuwana jest z bębna poprzez otwory i kierowana do oczyszczenia.

W oczyszczalni Czajka codziennie jest produkowane 120 Mg s.m osadów, zawartość suchej masy w placku opuszczającym wirówkę wynosi około 23 %. [27]

#### 5.5. Badania osadów.

Tak przygotowane osady są kierowane do laboratorium znajdującego się na terenie oczyszczalni. Osady badane są na bieżąco. Laboratorium podzielone jest na trzy działy:

- fizykochemiczne

Odczyn pH osadów określany jest poprzez oznaczanie elektrometryczne w roztworze wodnym. Tutaj bada się również zawartość azotu ogólnego i amonowego, a także zawartość fosforu ogólnego.

Zawartość azotu amonowego określa się destylując próbkę do roztworu kwasu solnego. Otrzymaną próbkę miareczkuje się wodorotlenkiem sodu w aparacie Tetrino.

Określenie zawartości azotu ogólnego przeprowadza się destylując zmineralizowaną próbkę do kwasu solnego w obecności wskaźnika Tashiro. Następnie próbkę miareczkuje się wodorotlenkiem sodu. [27]

Próbkę osadu w celu określenia zawartości fosforu ogólnego poddaje się suszeniu, prażeniu i mineralizacji. Wynik badania określa się za pomocą fotometru.

- pracownia instrumentalna

Zawartość siedmiu metali ciężkich określa się metodą adsorpcji atomowej w spektrometrze UNICAM SOLAR 939.

Próbkę mineralizuje się na mokro w układzie otwartym z kwasem azotowym i nadchlorowym. Uzyskany klarowny roztwór atomizuje się do płomienia gazu acetylenowego. Metale uwolnione do postaci atomowej naświetla się lampami katodowymi odpowiednimi dla danej długości fali. Atomy pierwiastka zostają wzbudzone do świecenia. Wiązka światła przepuszczona przez płomień podlega detekcji. Program komputerowy na podstawie odebranego widma określa zawartość danego pierwiastka w próbce.



Fotografia 5: Spektrometr Unicam

Wadą tego urządzenia jest używanie lamp katodowych, różnych na każdej z długości fali. Niezbędna jest zatem ich wymiana do detekcji określonych widm. Co prawda nieużywane lampy są podgrzewane ale i tak dosyć dużo czasu zajmuje zmiana lampy. Mineralizacja próbki trwa dwa-trzy dni. [27]

Niedawno w celu usprawnienia pracy laboratorium zakupiony został spektrometr emisyjny THERMO IRIS INTERPID II.

Badanie zawartości metali ciężkich przebiega znacznie szybciej, jako że mineralizacja kwaśna następuje w piecu mikrofalowym MILESTONE. Dzięki użyciu pieca mikrofalowego mineralizacja przebiega w ciągu jednego dnia.

Spektrometr THERMO IRIS pobiera argon z butli i tworzy plazmę argonową o temperaturze (9-12 tys. °C) [28].

W takich warunkach następuje samoistna emisja promieniowania przez atomy.

Układ optyczny odbiera falę przepuszczoną przez pryzmat. Prostokątne widmo pada na matrycę CID. Układ elektroniczny interpretuje widmo, a następnie przedstawia wyniki tej analizy. W spektrometrze tym nie ma lamp katodowych, nie ma potrzeby ich wymieniania, zatem cały proces zachodzi znacznie szybciej niż w przypadku maszyny UNICAM.

- pracownia biologiczna

W pracowni biologicznej bada się obciążenie osadów bakteriami chorobotwórczymi z rodzaju Salmonella, a także liczbę żywych jaj pasożytów jelitowych Ascaris sp., Trichuris sp., Toxocara sp.

Laboratorium sporządza następujące sprawozdanie z badania osadów:

Lp.	Oznaczenie	Wartość	
1	Odczyn pH	7, 8	
2	Azot amonowy % s.m.	0, 53	
3	Azot Kjeldahla % s.m.	3, 82	
4	Fosfor ogólny % s.m.	3, 08	
5	Metale ciężkie	<b>Olów mg/kg s.m</b>	<b>75</b>
		<b>Kadm mg/kg s.m</b>	<b>29</b>
		<b>Rtęć mg/kg s.m</b>	<b>2,7</b>
		<b>Nikiel mg/kg s.m</b>	<b>137</b>
		<b>Cynk mg/kg s.m</b>	<b>2118</b>
		<b>Miedź mg/kg s.m</b>	<b>665</b>
		<b>Chrom ogólny mg/kg s.m</b>	<b>465</b>
6	Jaja pasożytów ATT sztuk/ kg s.m	161	
7	Sucha masa osadu %	23	
8	Substancje organiczne % s.m	54, 34	

Tabela 10: Wyniki badań osadu przeprowadzonych w laboratorium w oczyszczalni „Czajka”. Wartości maksymalne z lat 2000-2004 [27].

## 5.6. Dotychczasowy sposób postępowania z osadami z oczyszczalni „Czajka”

W celu zgromadzenia dokumentacji fotograficznej i informacji dotyczących sposobu składowania osadów z „Czajki” udałem się do miejscowości Szyjki w gminie Głinojeck, gdzie przez wiele lat deponowano te osady. Dowiedziałem się, że od stycznia 1999 w tej miejscowości składowane były osady ściekowe z oczyszczalni "Czajka". Według delegatury WIOŚ w Ciechanowie [29] od 1999 do 2003 r. na składowisko trafiało średnio 25 000 Mg osadów rocznie, natomiast w roku 2004 trafiły tam jedynie 774 Mg osadów. Według pozwolenia osady były wykorzystywane do rekultywacji wyrobiska po zwirowego.

Z mojej rozmowy z Panem Czaplickim z Inspektoratu Ochrony Środowiska w Ciechanowie wynika, że w Szyjkach pod pozorem rekultywacji wyrobiska składowano duże ilości osadów ściekowych. Pan Czaplicki wspomina o dziesięciometrowej głębokości wyrobisku, które zasypywane było osadami niemieszanymi z ziemią. Firma zarządzająca składowiskiem dostawała początkowo około 100 złotych za tonę osadów. [29]

Jak widać na zdjęciu, składowisko w Szyjkach nie jest w żaden sposób zabezpieczone - jest nieogrodzone, brakuje jakichkolwiek znaków ostrzegawczych. Składowisko nie posiada izolacji, drenażu, systemu odprowadzenia odcieków, a piaskowe podłoże sprzyja przesiąkaniu odcieków do wód gruntowych. Moje próby zbliżenia się do nieoznakowanego i nieogrodzonego składowiska spotkały się z atakiem ze strony osoby pilnującej obiektu. Moja obecność spowodowała telefoniczną interwencję szefowej składowiska, która zabroniła mi fotografowania obiektu. Po mojej prośbie o podanie podstawy prawnej dotyczącej tej decyzji, uzyskałem nagłą zgodę na wykonywanie zdjęć.



Fotografia 6: Składowisko w Szyjkach.

Według informacji udzielonych mi nieoficjalnie w urzędzie Gminy Głinojeck, zgodę na rekultywację składowiska wyraził Kierownik Urzędu Rejonowego w Ciechanowie. Decyzja nie była konsultowana z przedstawicielami urzędu gminy Głinojeck.

Mieszkańcy wsi otaczających składowisko nie chcą rozmawiać na jego temat. Daje się zauważyć pewną obawę związaną z udzielaniem informacji odnośnie jakości życia w tym miejscu.

Z badań WIOŚ [30] wykonanych w okolicznych studniach w obrębie wyrobiska poeksploatacyjnego piasku na terenie gm. Głinojeck, stwierdzono na przestrzeni od 01.02.1999 do 10.05.2001 roku podwyższenie zawartości azotanów, kadmu, niklu, chromu i ołowiu. Oprócz podwyższonej zawartości metali ciężkich, do gleby i wód trafiły również azotany i azotyny, jaja pasożytów, chorobotwórcze bakterie i wirusy. Delegatura WIOŚ w Ciechanowie stwierdziła 15-krotne przekroczenie dawki osadu ściekowego użytego do rekultywacji [29]. Wyniki badań przeprowadzonych na składowisku wskazały na konieczność natychmiastowego zaprzestania składowania osadów.

W wyniku śmierci byłego właściciela składowiska odbiór osadów został wstrzymany. Obecnie trafiają tam odpady z pobliskiej cukrowni, a także popioły z elektrociepłowni.



Fotografia 7: Świeża dostawa popiołu na składowisku w szyjkach.

Biorąc pod uwagę powyższe fakty przekroczenia norm zawartości metali ciężkich oraz niedostateczne zabezpieczenie składowiska, należy wykonać ponowną inspekcję składowiska. Może być konieczna rekultywacja terenu składowiska oraz wykonanie zabezpieczenia gleb i wód gruntowych przed dalszym zanieczyszczeniem pochodzącym z osadów i składowanych popiołów.

## **5.7. Zamierzenia MPWiK w Warszawie w sprawie zagospodarowania osadów ściekowych.**

Na początku roku 2004, zostałem zaproszony przez MPWiK do konsultacji społecznych projektu modernizacji oczyszczalni ścieków „Czajka „ w Warszawie. W ramach konsultacji uczestniczyłem w wyjeździe do Berlina, gdzie zapoznałem się z instalacją fluidalnego spalania osadów [31], podobną do projektowanej dla MPWiK.

Według projektu zaproponowanego przez firmę BIPROWOD-WARSZAWA dla MPWiK [32] na terenie „Czajki” mają być spalane podsuszone osady z „Czajki” wraz z wysuszonymi osadami z oczyszczalni „Południe”. Osady z „Czajki” podsuszone do wartości około 32 % s.m. mają zostać zmieszane osadami z oczyszczalni „Południe” wysuszonymi do 85 % s.m. [32]. Według BIPROWOD-WARSZAWA, podsuszony osad z oczyszczalni Południe włączany do linii technologicznej pomiędzy suszarką a piecem ma poprawić wartość opałową osadu mokrego [32].

Zmieszane osady mają być spalane w piecu fluidalnym. Powietrze fluidyzacji ma być podgrzewane przez spaliny uchodzące z pieca.

Projekt przewiduje wykorzystywanie oleju opałowego do rozpalania pieca a także do ewentualnego dozowania do komory spalania w przypadku uzyskiwania zbyt niskiej temperatury procesu. Biogaz z komór fermentacyjnych ma być gromadzony i wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej.

Wariant pierwszy zakłada również częściowe przyrodnicze wykorzystanie odwodnionego osadu z oczyszczalni „Czajka”. Osad kierowany do przyrodniczego wykorzystania ma być higienizowany wapnem.[32]

Projekt zakłada zastosowanie systemu mokrego oczyszczania spalin, składającego się z elektrofiltra i absorberów.

Firma BIPROWOD-WARSZAWA [32] proponuje scalanie popiołów na terenie oczyszczalni. Popioły będą betonowane w celu immobilizacji metali ciężkich. Projekt przewiduje scalanie popiołów w bloki lub granulki. Projekt zakłada brak możliwości przemysłowego wykorzystania popiołów.

Drugi wariant zaproponowany przez BIPROWOD-WARSZAWA [32] zakłada pominięcie procesu fermentacji osadów i bezpośrednie skierowanie do podsuszenia i termicznej utylizacji. Projekt zakłada, że osad odwodniony do 22 % s.m będzie kierowany do suszarek gdzie zostanie podsuszony do wartości około 28 % s.m.

Tak jak w pierwszym wariantcie, odwodnione i podsuszone osady z „Czajki” zostaną połączone z wysuszonymi osadami z oczyszczalni „Południe”. Proces spalania, oczyszczania gazów i zestalanie osadów w drugim wariantcie ma być analogiczny do zaproponowanego w wariantcie pierwszym. [32]



## 6. Wybór rozwiązania racjonalnego pod względem technologicznym i ekologicznym.

Największym problemem utrudniającym unieszkodliwienie osadów ściekowych z oczyszczalni „Czajka” jest ich bardzo duża ilość, a także zanieczyszczenie metalami ciężkimi.

W tabeli 11 przedstawiłem porównanie dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w osadach przeznaczonych do wykorzystania przyrodniczego z właściwościami osadów z „Czajki”.

Lp	Metale	Właściwości osadów z Czajki [13]	Przekroczenia wg U.A.N [40]	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy osadu nie większa niż:		
				przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych:		
				W rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji terenów na cele nierolne	przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz
1	2			3	4	5
1	Ołów (Pb)	75	150	500	1.000	1.500
2	Kadm (Cd)	<b>29</b>	<b>70</b>	10	25	50
3	Rtęć (Hg)	2,7	-	5	10	25
4	Nikiel (Ni)	<b>137</b>	<b>210</b>	100	200	500
5	Cynk (Zn)	2118	<b>2600</b>	2.500	3.500	5.000
6	Miedź (Cu)	665	750	800	1.200	2.000
7	Chrom (Cr)	465	<b>860</b>	500	1.000	2.500

Tabela 11: Porównanie właściwości osadów z Czajki z wartościami dopuszczalnymi [27][5][33]

Jak pokazuje powyższa tabela, okresowe przekroczenia zawartości kadmu i niklu uniemożliwiają rolnicze wykorzystanie osadów z Czajki. Według wyników badań udostępnionych w ramach projektu Kommunale Umwelt-AktioN U.A.N [33] zdarzają się również przekroczenia zawartości chromu (860 mg/kg), cynku (2600 mg/kg). Taki stan nie pozwala na dopuszczenie osadów z „Czajki” do rolniczego wykorzystania. Największym jednak zagrożeniem płynącym z osadów z „Czajki” jest zawartość kadmu. Zawartość 70 mg/kg kadmu dyskwalifikuje osady do przyrodniczego wykorzystywania. [5]

Tak duże zawartości metali ciężkich w osadach z „Czajki” nie pozwalają również na jego kompostowanie z uwagi na brak możliwości późniejszego wykorzystania kompostu. W takiej sytuacji jedynym i najlepszym rozwiązaniem staje się termiczna utylizacja osadów i powiązania z nim immobilizacja metali ciężkich w cemencie.

Według Instytutu Inżynierii Środowiska [34] i EPPC [16] koszty utylizacji osadów kształtują się następująco:

Metoda unieszkodliwiania osadów	Koszt
Składowanie	160-1200 pln/Mg
Suszenie	600-1600 pln/Mg
Rekultywacja gruntów	100-800 pln/Mg
Wykorzystanie w rolnictwie	300-800 pln/Mg
Kompostowanie	480-1600 pln/Mg
Spalanie	500-800 pln/Mg

Tabela 12: Koszty utylizacji osadów[34][16]

Obecnie najczęściej stosowane jest składowanie lub wykorzystanie przyrodnicze osadów. Wprowadzanie obostrzeń prawnych spowoduje ograniczanie składowania osadów, natomiast wykorzystanie rolnicze w dużej mierze uzależnione jest od zawartości metali ciężkich, obecności organizmów chorobotwórczych, a także ilości osadów i potencjalnych terenów do wykorzystania. W tym przypadku unieszkodliwianie osadów może być realizowane z wykorzystaniem metod termicznych.

### 6.1. Składowanie osadów.

Na przestrzeni ostatnich lat na składowisko osadów ściekowych z „Czajki” trafiało rocznie około 25 000 Mg [29] osadów. Osady o przekroczonych zawartościach metali ciężkich [Patrz Tabela 11] były deponowane na piaszczystym, przepuszczalnym podłożu. Takie praktyki zaowocowały skażeniem podłoża i wód gruntowych. Przy bardzo wysokiej szkodliwości osadów a także, ze względu na ich ogromną ilość, niedopuszczalne jest ich składowanie. Nawet przy zastosowaniu izolacji składowiska, drenażu i odbioru odcieków składowanie jest niedopuszczalną metodą zagospodarowania osadów pochodzących z „Czajki”.

Osady z mniejszych oczyszczalni, które nie są tak bardzo zanieczyszczone ładunkiem metali ciężkich czy bakterii chorobotwórczych także nie powinny być składowane, jako że istnieją metody kompostowania pozwalające na przyrodnicze wykorzystanie osadów.

## **6.2. Kompostowanie.**

W Krajowym Programie Gospodarki Odpadami, preferowanym kierunkiem postępowania w celu zagospodarowania osadów jest kompostowanie, poprzedzające ich wykorzystanie do rekultywacji składowisk i terenów przemysłowych o wysokim stopniu zanieczyszczenia. Założono, że kierunek ten powinien być najważniejszy w oczyszczalniach posiadających powiązania z zakładami kompostowania odpadów komunalnych i z zakładami wytwarzającymi znaczne ilości odpadów organicznych (zakłady wytwarzające korę, trociny). Założono, że ilość osadów kompostowanych może wzrosnąć nawet do 20% ich całkowitej masy wytworzonej w kraju (obecnie ok. 14%). [35]

Niestety w bezpośredniej bliskości „Czajki” nie ma kompostowni, która ma odpowiednie możliwości przerobowe, aby przyjąć tak duże ilości osadów. Kompostownia odpadów zielonych przy ul. Marywilskiej przerabia rocznie 5 000 Mg [36] odpadów. Czajka produkuje ponad 43 000 Mg osadów rocznie.

Przepustowość kompostowni w Radiowie wynosi 135 000. Mg. Niestety trafia tam około 120 000 Mg odpadów komunalnych z terenu Warszawy, co praktycznie pokrywa się z możliwościami przerobowymi kompostowni [37].

Drugim problemem jest wilgotność osadów z „Czajki” wynosząca około 80 % s.m. Technologia DANO zastosowana w Radiowie wymaga właściwej wilgotności wsadu w komorze biostabilizacyjnej. Aby proces kompostowania zachodził optymalnie wilgotność wsadu powinna wynosić w granicach 50-55%. Wiąże się to z koniecznością zastosowania bardzo dużych ilości wiórów lub słomy dla osiągnięcia takiej wilgotności wsadu. Jednakże największą przeszkodą w kompostowaniu osadów z oczyszczalni „Czajka” oprócz ich ogromnej ilości jest okresowe przekroczenie zawartości metali ciężkich. Z tego względu kompostowanie osadów z Czajki nie jest możliwe. Odległość kompostowni w Radiowie od oczyszczalni Czajka wynosi około 60 km. Niebezpieczeństwo związane z transportem niewysuszonych osadów również nie pozwala na ich utylizację w Radiowie.

Kompostowanie osadów jest możliwe, a nawet wskazane jedynie dla oczyszczalni ścieków z mniejszych miast. Osady w mniejszej ilości a także niebędące nadmiernie obciążone ładunkiem metali ciężkich są doskonałym materiałem do kompostowania.

Z możliwości kompostowania osadów skorzystała oczyszczalnia ścieków dla Koszalina [39] znajdująca się w miejscowości Jamno. Produkuje 10 000 Mg osadów ściekowych rocznie. Do niedawna nie było żadnego systemu ich zagospodarowania. Dzięki pomocy rządu Królestwa Danii i pieniądзом wyłożonym przez koszalińskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej, w Sianowie powstała instalacja do kompostowania osadów ściekowych. Trafia tam kompost z oczyszczalni w Jamnie. Materiałem strukturalnym są odpady zielone z parków w Koszalinie i Sianowie. Budowa kompostowni pozwoliła na zagospodarowanie dwóch rodzajów odpadów. Kompost wyprodukowany z osadów pochodzących z Koszalina uzyskał atest od Wydziału Chemii i Środowiska Akademii Rolniczo-Technicznej w Bydgoszczy. Kompost jest wykorzystywany do urządzania zieleni miejskiej, głównie trawników. PGK ubiega się o uzyskanie atestu od Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Ten atest pozwoli na wprowadzenie kompostu do sprzedaży jako pełnowartościowy nawóz. Szacuje się, że kompostowania będzie przerabiała 8.5000 Mg osadów rocznie.

Kompostowanie osadów pochodzących z oczyszczalni „Jamno” jest uzasadnione jako, że kompostowany osad nie jest nadmiernie obciążony metalami ciężkimi. Możliwe jest zatem uzyskanie kompostu o dobrych właściwościach. Uzyskanie przez kompost atestu Wydziału Chemii i Środowiska Akademii Rolniczo-Technicznej w Bydgoszczy pokazuje jego dobrą jakość. [39]

### **6.3. Termiczna utylizacja.**

Z uwagi na ograniczenia związane z przyrodniczym zagospodarowaniem osadów ściekowych spowodowane zawartością metali ciężkich, bardzo korzystne jest termiczne unieszkodliwienie osadów.

Podstawowe uwarunkowania determinujące wybór technologii termicznego przetwarzania osadów ściekowych to :

- właściwości paliwowe osadów - możliwość ich autotermicznego spalania

Możliwość spalania osadu bez użycia paliwa wspomagającego zależy od zawartości suchej masy, oraz zawartości substancji organicznej i mineralnej. Osady z „Czajki”, ze względu na wilgotność nie mogą być spalane fluidalnie bez podsuszenia. Spalanie nie podsuszonych osadów wymaga wtryskiwania w komory spalania paliwa dodatkowego.

Proces termicznej utylizacji pozwala na unieszkodliwienie organizmów chorobotwórczych obecnych w osadach, zagospodarowanie produktów spalania pozwala na unieszkodliwienie metali ciężkich zawartych w osadach.

Bardzo duże sukcesy i doświadczenie europejskich spalarni, opanowanie procesów fluidalnych wraz z technikami oczyszczania spalin i zagospodarowaniem popiołów wskazuje na zasadność tej technologii. [16] Według briefu przygotowanego przez EPPC [16] wynika, że spalanie fluidalne osadów ściekowych jest jedną z najlepszych dostępnych technologii utylizacji osadów.

Zastosowanie systemów oczyszczania spalin pozwala na nieprzekroczenie norm spalin dla tego typu instalacji. Możliwość zabetonowania popiołów pozwala na unieszkodliwienie metali ciężkich zawartych w popiele. Badanie wymywalności zabetonowanej próbki pozwala na bezpieczne wykorzystanie betonu w budownictwie niemieszkaniowym i drogownictwie.

Jak wspomniałem w rozdziale piątym firma BIPROWOD-WARSZAWA zaproponowała dla MPWiK [32] system fluidalnego spalania osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni „Czajka” i „Południe”. Rozwiązanie zaproponowane przez BIPROWOD-WARSZAWA [32] budzi moje poważne zastrzeżenia. Mieszanie osadów podsuszonych z wysuszonymi może uniemożliwić prawidłowe działanie pieca fluidalnego.

Rzeczywiście, według wykonanych przeze mnie obliczeń, najkorzystniejszym rozwiązaniem, jeżeli chodzi o termiczną utylizację odpadów w piecu fluidalnym, wydaje się zmieszanie osadów z „Czajki” z wysuszonymi osadami z oczyszczalni „Południe”:

Osady z Czajki 23% s.m, masa całkowita 120 Mg:

$$\text{masa sucha: } y=120 \text{ Mg} * 20/100= \mathbf{27,6 \text{ Mg}}$$

Osady z Południa: 85% s.m, masa całkowita 20 Mg:

$$\text{masa sucha: } x=20 \text{ Mg} * 85/100= \mathbf{17 \text{ Mg}}$$

Zatem po zmieszaniu tych osadów:

$$120 \text{ Mg} + 20 \text{ Mg} = \mathbf{140 \text{ Mg osadów}}$$

Sucha masa zmieszanych osadów z Czajki i Południa:

$$27,6 \text{ Mg} + 17 \text{ Mg} = \mathbf{44,6 \text{ Mg}}$$

Z tego wynika:

$$44,6 \text{ Mg} \times 100/140 \text{ Mg} = \mathbf{31,8 \% \text{ s.m zmieszanego osadu.}}$$

Po wykonaniu obliczeń wydałoby się, że 140 Mg osadów o zawartości 31.8% s.m jest idealnym materiałem do spalania w piecu fluidalnym. Wysoka zawartość suchej masy w zmieszonym osadzie pozwala sądzić, że osady mogą być spalane autotermicznie.

Problem polega na tym, że wyniki obliczeń nie pokrywają się ze stanem faktycznym. Jak pokazały doświadczenia hiszpańskie, nie ma możliwości mieszania osadu mokrego z suchym tak, aby uzyskać jednolitą frakcję. Granulki suchego osadu oblepiają się osadem mokrym co powoduje nierównomierną pracę pieca i konieczność wspomagania procesu spalania paliwem dodatkowym. Temperatura w piecu zmienia się, co bardzo negatywnie wpływa na dopalanie wsadu a także na jakość spalin. Taka sytuacja eliminuje możliwość równoczesnego spalania osadów z oczyszczalni „Czajka” i „Południe”.

Drugim aspektem, dlaczego zaproponowałem inną technologię spalania osadów jest chęć wyeliminowania transportu wysuszonych osadów z oczyszczalni „Południe” do instalacji termicznej utylizacji na terenie oczyszczalni. Odległość jaką musiałyby pokonać ciężarówki wynosi około 30 kilometrów. Co prawda transport osadów wysuszonych z oczyszczalni „Południe” stanowi tak duże zagrożenie jak osadów wilgotnych, ale jak się okazuje, nie ma konieczności przewożenia osadu do termicznej utylizacji na tak dużą odległość.

W wyniku moich konsultacji z technologami z firmy Rafko dostarczającej kotły do Elektrociepłowni Siekierki okazało się, że istnieje możliwość współspalania z węglem wysuszonych do 90 % s.m. osadów z oczyszczalni „Południe” [18]. Tylko w jednym kotle OP-430 spala się na godzinę 70 Mg węgla [40]. Przy 5 % dodatku w ciągu godziny można

spalić 3.5 Mg wysuszonego osadu. W celu zapewnienia jak najlepszych warunków pracy pieca, można stosować 2.5 % dodatek osadu podsuszonego. Dodając do kotła OP-430 jedynie 1.8 Mg/h podsuszonych osadów w ciągu 12 godzin można spalić cały osad produkowany przez oczyszczalnię „Południe”. Kocioł OP-430 wyposażony jest w elektrofiltr umożliwiające dotrzymanie poziomu emisji pyłów na poziomie 50% dopuszczalnej normy [40].

Jak pisze K. Steier [41], współspalanie osadów z węglem jest znacznie tańsze, gdyż nie wymaga budowania nowych pieców. Należy jedynie zainwestować w aparaturę dozującą osad do pieca. W przypadku spalania osadu w piecu OP-430 wymagane jest zmielenie wysuszonego osadu.[18]

Kolejnym argumentem przemawiającym za spalaniem w Elektrociepłowni Siekierki osadów pochodzących z oczyszczalni „Południe” jest oddalenie elektrociepłowni od oczyszczalni. Obydwa zakłady oddalone są od siebie jedynie o 1 kilometr, co ogromnie obniża koszty transportu osadu i zachęca do utylizacji osadu w elektrociepłowni.

Pierwszy wariant zaproponowany przez BIPROWOD-WARSZAWA [32] zakłada przyrodnicze wykorzystanie osadów, co jest niedopuszczalne ze względu na ładunek metali ciężkich. Zaproponowane w drugim wariantcie pominięcie procesu fermentacji będzie prowadziło do emisji gazów złoonych. Dostyć duża gęstość zamieszkania w okolicach oczyszczalni nie pozwala na dopuszczanie takiej uciążliwosci.

Propozycja ta nie zakłada również oddawania popiołów do produkcji cementu. Wiąże się koniecznością budowy składowiska zabetonowanych popiołów.

W związku z przedstawionymi przeze mnie zastrzeżeniami do projektu firmy BIPROWOD-WARSZAWA [32] proponuję zastosowanie innej, doskonalszej technologii utylizacji osadów z oczyszczalni „Czajka”.

W mojej pracy proponuję utylizację osadów na złożu fluidalnym w piecu PYROFLUID [42]. W tym procesie spalane są osady z komunalnych oczyszczalni ścieków. Proces jest najbardziej ekonomiczny dla większych oczyszczalni, obsługujących powyżej 100 000 RLM. [42]

Osad trafiający do pieca PYROFLUID musi zostać podsuszony do co najmniej 27% s.m w celu zapewnienia autotermiczności procesu. Proponuję zastosowanie suszarki talerzowej ROTADISC [12] ogrzewanej parą wodną. W suszarce osady zostaną odwodnione do optymalnej wilgotności 32% s.m.

W procesie następuje spalenie całości materii organicznej zawartej w osadzie. Schłodzone spaliny będą oczyszczane metodą moką. Efektywność usuwania pyłów ze spalin może wynosić do 99,9%. Ciepło ze schładzania spalin będzie ogrzewać powietrze utrzymujące stan fluidyzacji złoża, zasili także suszarkę osadów. Metale ciężkie zawarte w osadach będą zatrzymywane przez system oczyszczania gazów odlotowych.



## 7. Koncepcja technologiczna rozwiązania problemu zagospodarowania osadów z oczyszczalni „Czajka” w Warszawie.

### 7.1 Obliczenia technologiczne [43]

#### Właściwości osadów przygotowanych do podsuszania:

- Masa	120 Mg	
- wilgotność – 77%		92,4 Mg
- sucha masa – 23 %		27,6 Mg
w tym:		
- zawartość części palnych 54 %		14,9
-zawartość części niepalnych 46 %		12,6

#### Odprowadzam osad o wilgotności 68 % i masie x kg.

68 %	-	27.6 Mg	
100 %	-	x Mg	→ <b>40.5 Mg podsuszonych osadów.</b>

#### Właściwości osadów podsuszonych:

- Masa	40,5 Mg	
- wilgotność – 68 %		27.5 Mg
- sucha masa – 32 %		27,6 Mg
w tym:		
- zawartość części palnych 54 %		14,9
-zawartość części niepalnych 46 %		12,6

#### Para wodna odprowadzona z suszarki:

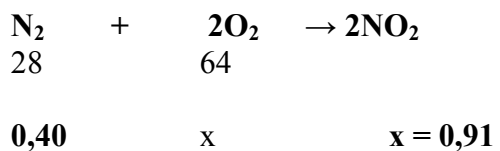
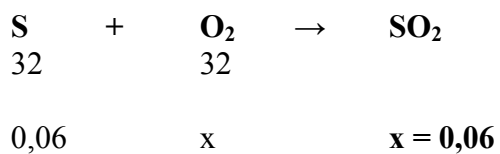
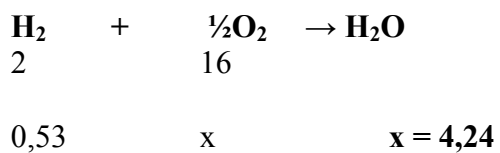
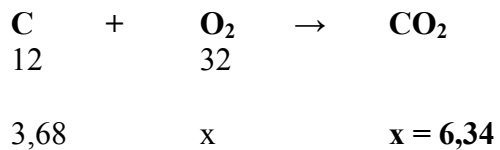
$$92,4 \text{ Mg} - 27,5 \text{ Mg} = \mathbf{64,9 \text{ Mg}}$$

**Właściwości osadu podsuszonego:**

- Masa	40,5 Mg	
- wilgotność – 68 %		27,5 Mg
- sucha masa – 32 %		12,96 Mg
- zawartość części palnych 54 %		<b>6,99 Mg</b>
-zawartość części niepalnych 46 %		5,96 Mg

**Skład części palnych:[27]**

C	- 52,7 %	3,68 Mg
H	-7,6 %	0,53 Mg
O	-30,7 %	2,14 Mg
N	-5,8 %	0,40 Mg
S	-1,0 %	0,06 Mg

**Obliczam ilość powietrza jaką należy wprowadzić do pieca. [43]**

**Teoretyczna ilość tlenu:**

$$\Sigma x = 11,55 \text{ Mg O}_2$$

**Praktyczna ilość tlenu:**

$$11,55 - 2,14 = 9,41 \text{ Mg O}_2$$

**Teoretyczna ilość powietrza:**

$$9,41/0,21 = 44,8 \text{ Mg powietrza}$$

**Praktyczna ilość powietrza:**

$$44,8 * 1,8(\text{współczynnik nadmiaru powietrza}) = \mathbf{80,64 \text{ Mg powietrza.}}$$

**Obliczam objętość powietrza:**

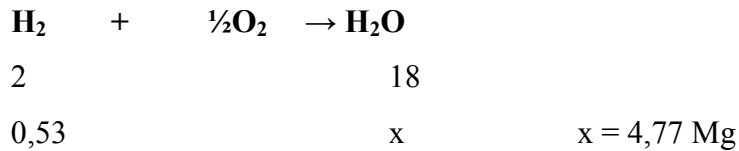
$$\text{Gęstość powietrza} - 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$80640 \text{ kg}/1,29 = \mathbf{62511 \text{ m}^3 \text{ powietrza}}$$

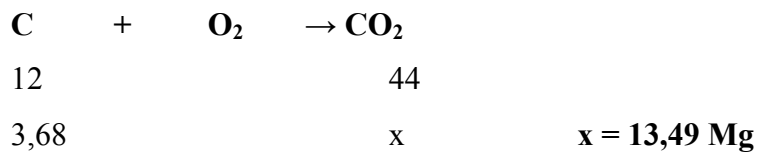
**Odprowadzam z paleniska: [43]**

Części niepalne : **5,96 Mg**

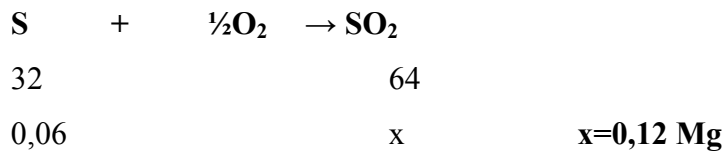
**Spaliny:**



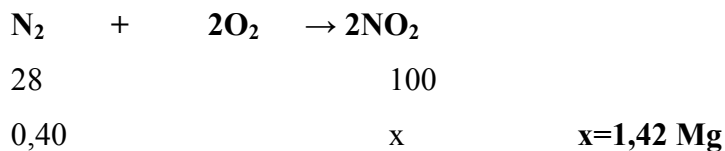
$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} & 4,77 + 27,5 = 32,27 \text{ Mg} \\ 32270 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 & = 32 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



$$13490 \text{ kg} / 1,96 \text{ kg/m}^3 = 6882 \text{ m}^3$$



$$120 \text{ kg} / 2,83 \text{ kg/m}^3 = 42 \text{ m}^3$$



$$1420 \text{ kg} / 2,05 \text{ kg/m}^3 = 692 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2_{\text{spalin}} & = 16,93 - 9,41 = 7,52 \text{ Mg} \\ 7520 \text{ kg} / 1,43 \text{ kg/m}^3 & = 5258 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2_{\text{spalin}} & = 0,79 * 80,64 = 63,73 \text{ Mg} \\ 63730 \text{ kg} / 1,25 \text{ kg/m}^3 & = 50984 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**Łączna ilość spalin: 118,5 Mg**

**Łączna ilość spalin 63890 m<sup>3</sup>**

## 7.2. Odwadnianie osadów.

Proponuję odwirowanie przefermentowanego osadu z Czajki w zainstalowanych obecnie na terenie oczyszczalni wirówkach sedymentacyjnych do wartości około 23 % s.m. Takie uwodnienie pozwoli zoptymalizować proces suszenia. Poniższa tabela pokazuje właściwości osadu przygotowanego do suszenia.

Właściwości osadu przygotowanego do suszenia		
	Jednostki	Wartości
Ilość osadu przefermentowanego	Mg/s.m/d	120
Wilgotność	%	77
	Mg/d	92,4
Zawartość s.m	%	23
	Mg/d	27,6
Zawartość części palnych	%	54
	Mg/d	14,9
Zawartość części niepalnych	%	46
	Mg/d	12,6

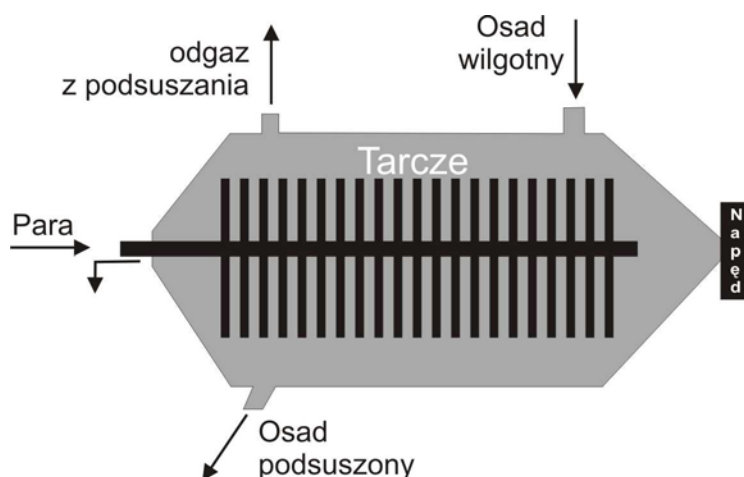
Tabela 13: Właściwości osadu przygotowanego do suszenia. [43]

## 7.2. Suszenie.

Przy zastosowaniu technologii Pyrofluid dla zapewnienia autotermicznego spalania osadu [42] przefermentowanego należy osad wysuszyć do 32. % s.m.

Do podsuszenia osadów proponuję zastosowanie suszarki Rotadisc TST-2264 [12].

Suszarka będzie pracować w trybie ciągłym czyli około 8000 godz./rok. W przypadku instalacji proponowanej dla „Czajki”, przy częściowym podsuszaniu osadu medium grzewczym będzie para wodna pochodząca z instalacji spalania osadu. Odgazy z suszonego osadu będą ujmowane i poddawane kondensacji z odzyskiem ciepła. Przy zastosowaniu wymiennika ciepła przed zrzutem kondensatu do oczyszczania można będzie wyprodukować wodę obiegową o temperaturze do 80 °C.[12]



Rysunek 9: Suszarka Rotadisc[12].

Para wodna po wykorzystaniu wróci do obiegu. Pozostałość odgazów trafi do pieca gdzie zostaną dopalone. Skład kondensatu jest uzależniony od właściwości osadów, zazwyczaj jednak jest zanieczyszczony amoniakiem i siarkowodorem.

Dane dotyczące procesu podsuszania i suszarki Rotadisc		
	Jednostki	Wartości
Ilość osadów do podsuszenia	Mg/d	120
Wsad osadu odwodnionego	Mg/h	5
Wydajność suszarki	Mg s.m.o./h	5
Ilość osadu wysuszonego do 32 % sm	Mg	40,5

Tabela 14: Dane dotyczące podsuszania osadów i suszarki Rotadisc [43][12].

Właściwości osadu podsuszonego.		
	Jednostki	Wartości
Ilość osadu podsuszonego	Mg/s.m/d	40,5
Wilgotność	%	77
	Mg/d	27,5
Zawartość s.m	%	23
	Mg/d	12,96
Zawartość części palnych	%	54
	Mg/d	6,99
Zawartość części niepalnych	%	46
	Mg/d	5,96

Tabela 15: Właściwości osadu podsuszonego. [43]

### 7.3. Spalanie.

Do termicznej utylizacji osadów z oczyszczalni „Czajka” proponuję zastosowanie pieca fluidalnego PYROFLUID. Piec PYROFLUID składa się z komory powietrznej, dna dyszowego, złoża piaskowego, komory spalania i przewodu odprowadzania spalin. [42]

Funkcjonowanie pieca [42] polega na utrzymywaniu w stanie fluidyzacji materiału inertnego, czyli w przypadku instalacji proponowanej dla „Czajki” – piasku.

Podsuszony do 32 % s.m osad ściekowy zostanie zaaplikowany na dno pieca. Tam zostanie rozprowadzony po obwodzie pieca za pomocą przenośnika, następnie zostanie wtrysnięty do złoża fluidalnego przez cztery wtryskiwacze. W złożu zostanie zmieszany z materiałem inertnym utrzymywanym w stanie fluidyzacji przez gorące powietrze wdmuchiwane przez dysze. Powietrze fluidyzacyjne zostanie podgrzane w wymienniku ciepła zamontowanym na przewodzie odprowadzającym spaliny. Duża powierzchnia kontaktu osadu z materiałem inertnym zapewnia niemal całkowite spalanie. Woda zawarta w osadzie pod wpływem gorąca podlega gwałtownemu odparowaniu, a substancje stałe zawarte w osadzie zostają spopielone. Dzięki odpowiedniej zawartości suchej masy będzie możliwe zapewnienie autotermiczności procesu i utrzymanie temperatury powyżej 850 ° C. Zainstalowane na kopule pieca dysze wodne automatycznie zroszą złożę wodą w przypadku zbyt wysokiej temperatury spalania [42]. Paliwo dodatkowe będzie używane jedynie przy rozruchu pieca i ewentualnie w przypadku braku możliwości autotermicznego spalania osadu [42].

Pewne straty piasku będą pokrywane z zasobnika, bez potrzeby przerywania pracy pieca.

Proces spalania osadu zapoczątkowany na złożu fluidalnym będzie kontynuowany w komorze spalania. Konstrukcja komory zapewnia minimalnie, dwusekundowe przetrzymanie spalin przy temperaturze powyżej 850 °C. Zapewni to dobre spalanie wsadu, zawartość części organicznych w popiołach nie będzie niższa niż 3%. [42]

Gazy spalinowe, nadmierne powietrze, woda odparowana z osadu i pył mineralny opuszczają piec przez kopułę w górnej części komory spalania skąd zostaną skierowane do przewodu spalin.

Na przewodzie spalin proponuję zastosowanie wymiennika ciepła, gdzie część ciepła oddawana jest do powietrza fluidyzacyjnego przed jego wtłoczeniem do złoża fluidalnego.

Warunki pracy pieca fluidalnego		
	Jednostki	Wartości
Temperatura osadu	°C	~40
Temperatura w piecu	°C	>850
Zawartość tlenu w spalinach	%	>6
Opcjonalne paliwo wspomagające	-	Biogaz

Tabela 16: Warunki pracy pieca[42][7]

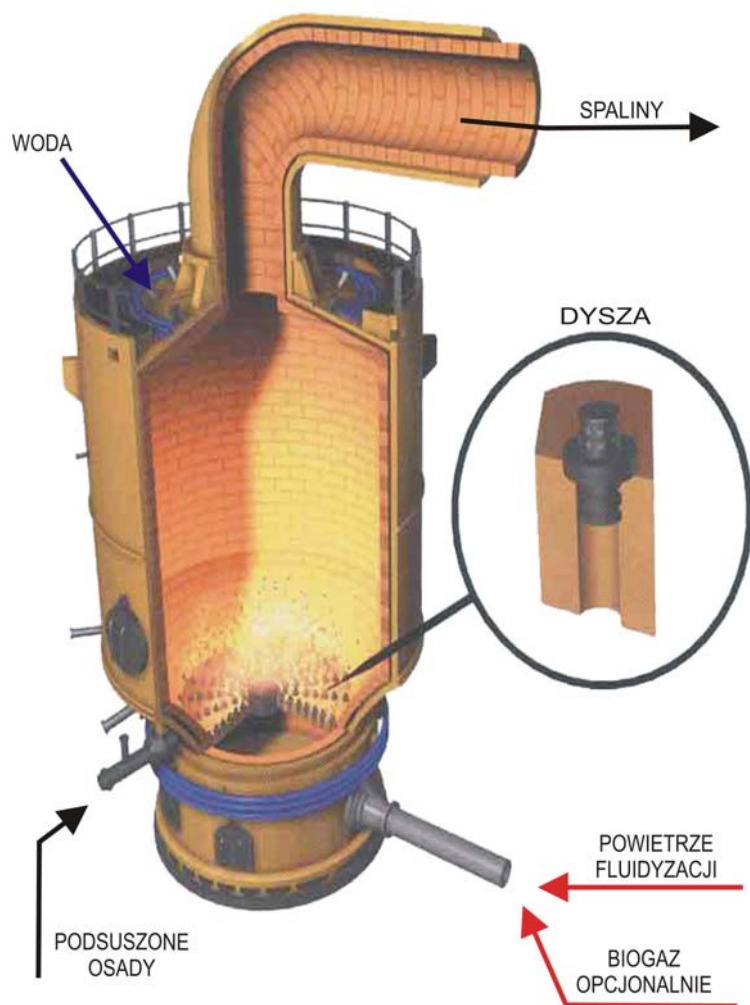
Dane do projektu pieca fluidalnego		
	Jednostki	Wartości
Czas pracy	h/d	24
	d/tydzień	7
	H/rok	~8000
Przepustowość roczna	Mg/s.m/rok	44000
Przepustowość godzinowa	Mg/s.m/h	5
Zawartość suchej masy osadu	%	32
Zawartość części palnych	%	54
	Mg/d	14,9
Zawartość części niepalnych	%	46
	Mg/d	12,6
Wartość opałowa osadu w złożu	kcal/kg/s.m	5012

Tabela 17: Dane wyjściowe do projektu pieca. [43]

Dane zaprojektowanych pieców fluidalnych		
	Jednostki	Wartości
Liczba pieców z wyposażeniem	szt.	2
Typ pieca	-	R56
Ilość osadów do spalania	Kg sm/h/1 piec	2500
Ilość spalin	Mg/d	118,5
Zawartość pyłu w spalinach	Mg/d	12,6

Tabela 18: Dane zaprojektowanych pieców. [43][42]





Rysunek 10: Schemat pieca fluidalnego

## **7.5. Oczyszczanie spalin.**

Spaliny opuszczające instalację muszą spełniać wymagania zawarte w Dyrektywie 2000/76/EC z dnia 4 grudnia 2000 r. w sprawie spalania odpadów [8]

Oczyszczaniu w instalacji podlegają:

- popiół,
- gazy kwaśne: HCL, SO<sub>x</sub>, HF,
- metale ciężkie,
- inne substancje jak NO<sub>x</sub>, Dioskyny i furany.

Proponuję zastosowanie systemu mokrego oczyszczanie spalin pochodzących z fluidalnego spalania. Układ oczyszczania składa się z elektrofiltra, płuczki wieżowej gazu, skrubera, filtrów workowych i wentylatora odprowadzającego resztę spalin do komina.

### **7.5.1. Odpylanie w elektrofiltrze.**

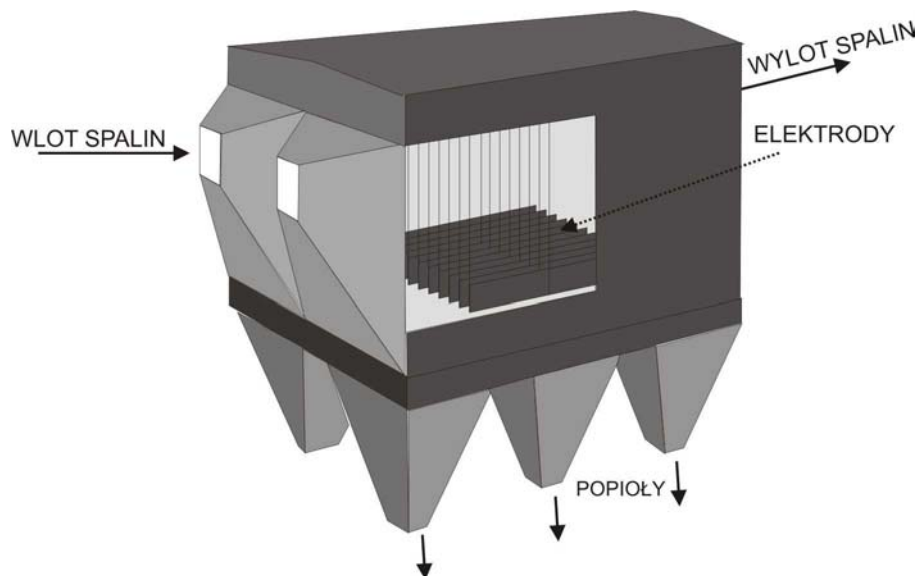
Spaliny przeznaczone do mokrego oczyszczania w pierwszej kolejności należy poddać odpylaniu [44]. Spaliny w największym stopniu zanieczyszczone są pyłem o wielkości cząstek około 50 mikronów. Cząstki pyłu zawieszony w gazie w elektrofiltrze naładowane są ładunkiem elektrycznym, zostają ściągnięte polem elektrycznym do elektrod.

Proponuję zastosowanie elektrofiltra kompaktowego produkowanego w Fabryce Elektrofiltrów S.A [45]. Elektrofiltr zostanie zaprojektowany, dostarczony i zainstalowany po zapoznaniu się producenta z właściwościami spalin.

Wraz z pyłem usuwane będą metale ciężkie adsorbujące na powierzchni cząstek pyłu. Metale będące w spalinach w formie pary nie zostaną usunięte w elektrofiltrze. Należy zwrócić uwagę, że w elektrofiltrze usunięte zostanie jedynie 10% rtęci nie będącej w postaci gazowej.

Rtęć w postaci gazowej zostanie oddzielona dzięki wtryskiwaniu węgla aktywnego wraz z wodorowęglanem sodu. Końcowe usunięcie rtęci nastąpi w płuczce. Podawanie węgla aktywnego pozwoli również na usunięcie dioksyn i furanów.

Cząstki pyłu przechwycone w elektrofiltrze trafiają do lejów znajdujących się na jego dnie. Następnie zostaną pneumatycznie odprowadzone do silosa skąd zostaną odebrane do utylizacji. Spaliny opuszczające elektrofiltr spełnią normę dotyczącą pyłów określoną w Dyrektywie 2000/76/EC [8][45]



Rysunek 11: Elektrofiltr firmy ELWO [45]

Usunięty pył będzie częścią mineralną osadu, która nie uległa spaleniu. Będzie sterylny i bezzapachowy. Testy przeprowadzone na popiołach ze spalania fluidalnego wykazały niską wymywalność metali ciężkich.

Ilość pyłów		
	Jednostki	Wartości
Ilość spalin	Mg/d	118,5
Ilość pyłu w spalinach	Mg/d	12,6
Ilość odebranego pyłu przy 99.5 sprawności odpylania w elektrofiltrze	Mg/d	12,0

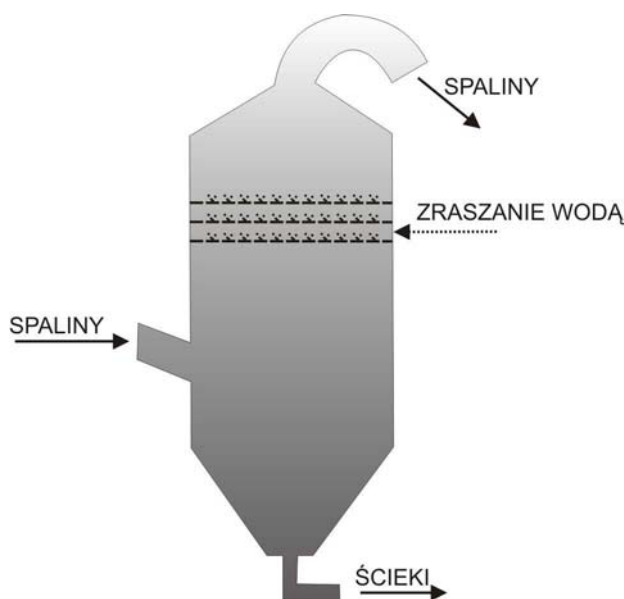
Tabela 19: Dane dotyczące spalin [43].

### 7.5.2. Płuczka.

Płuczka jest najtańszym i najprostszym typem adsorbera. Jak podaje J. Koniecznyński [44] warunkiem procesu absorpcji jest, aby dany gaz rozpuszczał się w cieczy. Należy stosować ciecz, w której dany gaz jest dobrze rozpuszczalny, jednocześnie ciecz musi wyróżniać się selektywną rozpuszczalnością.

W płuczce spaliny będą schładzane, usunięta zostanie także rtęć i dobrze rozpuszczalne w wodzie kwaśne gazy jak chlorowodór i siarkowodór.

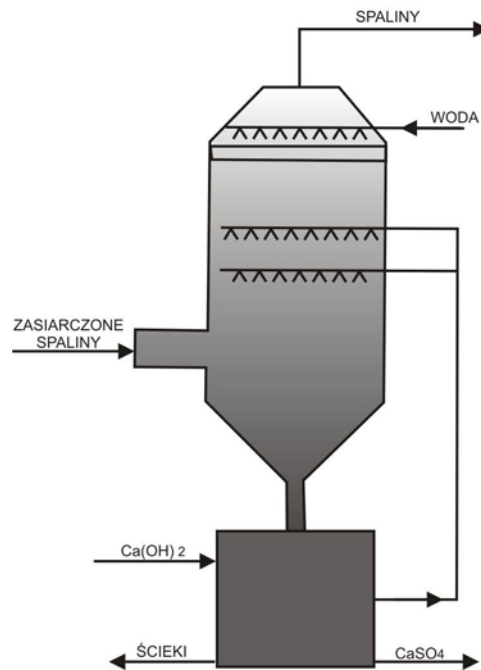
Spaliny będą zraszane wodą, przez co obniżą swoją temperaturę. Wspomniane gazy rozpuszczają się w wodzie krążącej w układzie zamkniętym. Dzięki rozpuszczonym kwaśnym gazom woda ma niskie pH, zastosowanie wymiennika ciepła schładza wodę do temperatury około 40 °C [46]. Takie warunki powodują wytrącenie się rtęci która zostaje usunięta z układu razem z ewentualnymi dioksynami i furanami. Część wody z układu zostanie usunięta i skierowana do oczyszczenia, aby zapobiec koncentracji zanieczyszczeń.



Rysunek 12: Płuczka

### 7.5.3. Skruber.

Słabo rozpuszczalne gazy kwaśne jak  $\text{SO}_2$  będą usuwane w skruberze metodą półodpadową [44]. Proponuję zastosowanie skrubera polskiej firmy RAFKO stosującej morką metodę wapienną [18]. Spaliny trafią do skrubera, gdzie zostaną spłukane. Następnie trafią do zbiornika z zawiesiną  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , w której zostanie zaabsorbowany  $\text{SO}_2$ . Według producenta technologii skuteczność odsiarczania tą metodą kształtuje się w granicach 90-95 %. W wyniku reakcji chemicznej powstanie gips  $\text{CaSO}_4$ . W skruberze usunięte zostaną także resztki popiołów nie zatrzymane w elektrofiltrze. Dawkowanie wodorowęglanu będzie sterowane automatycznie w zależności od wyników pomiarów właściwości spalin. Otrzymany gips może być sprzedawany w celach budowlanych.



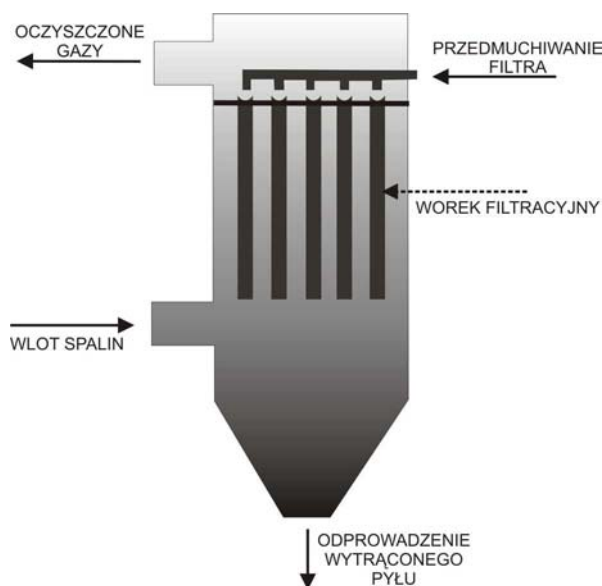
Rysunek 13: Skruber

#### 7.5.4. Pozostałości po oczyszczaniu spalin, odpady poreakcyjne.

Związki poreakcyjne powstałe w wyniku działania węgla aktywnego i wodorowęglanu będą oddzielane od pozostałego pyłu przy zastosowaniu filtrów workowych. Proponuję zastosowanie filtra workowego firmy ELWO [45].

W filtrze tworzy się warstwa związków poreakcyjnych wraz z nadmiarem wodorowęglanu i węgla aktywnego przez którą przenikają oczyszczone spaliny. Nadmiar reagentów w placku zatrzymany na filtrze pozwala na zminimalizowanie zapotrzebowania na węgiel aktywny i wodorowęglan do reakcji.

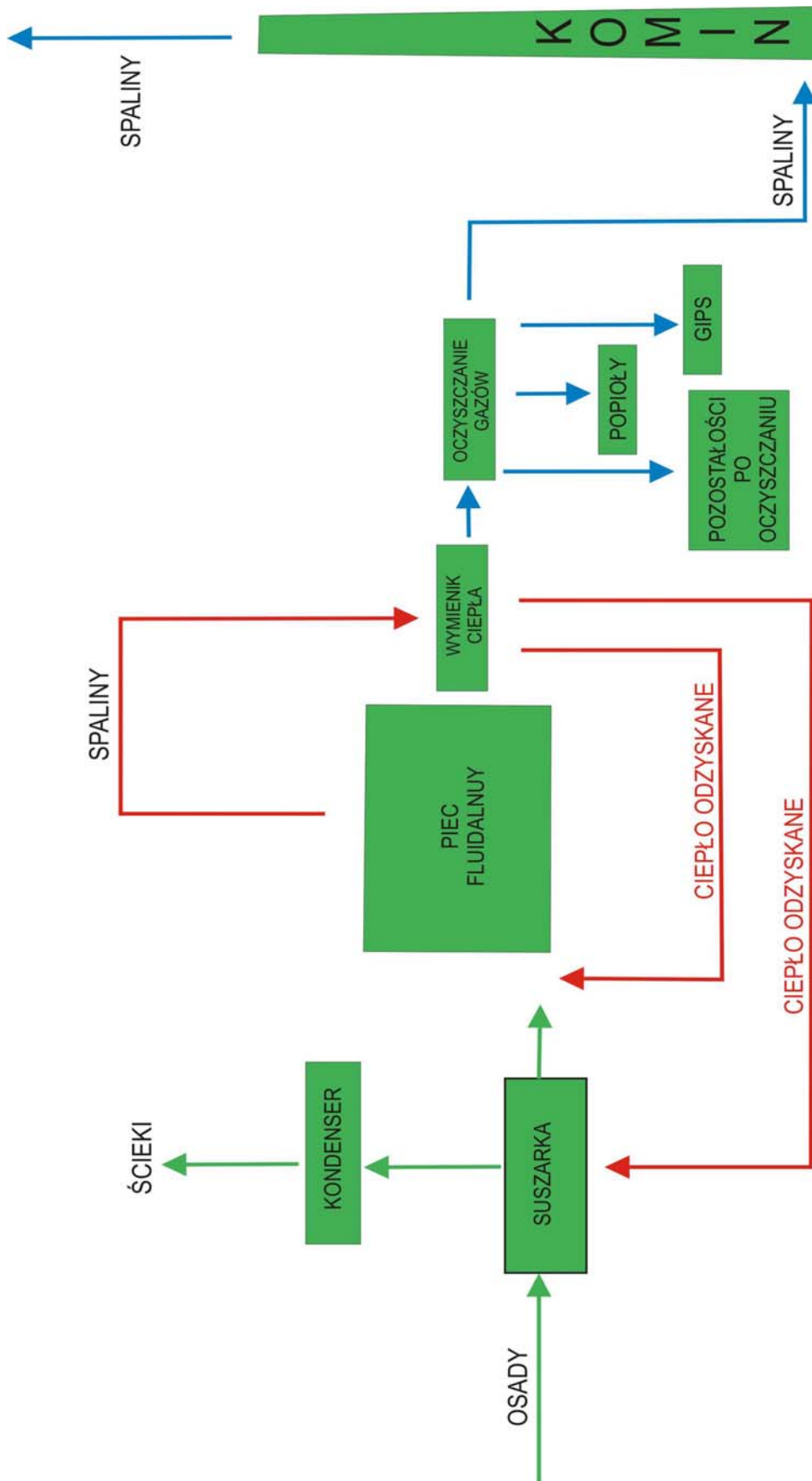
Okresowo filtr będzie przedmuchiwany ogrzonym powietrzem podawanym w przeciwnym kierunku. Otrzymane związki będą transportowane pneumatycznie do worków które zostaną odebrane do utylizacji.



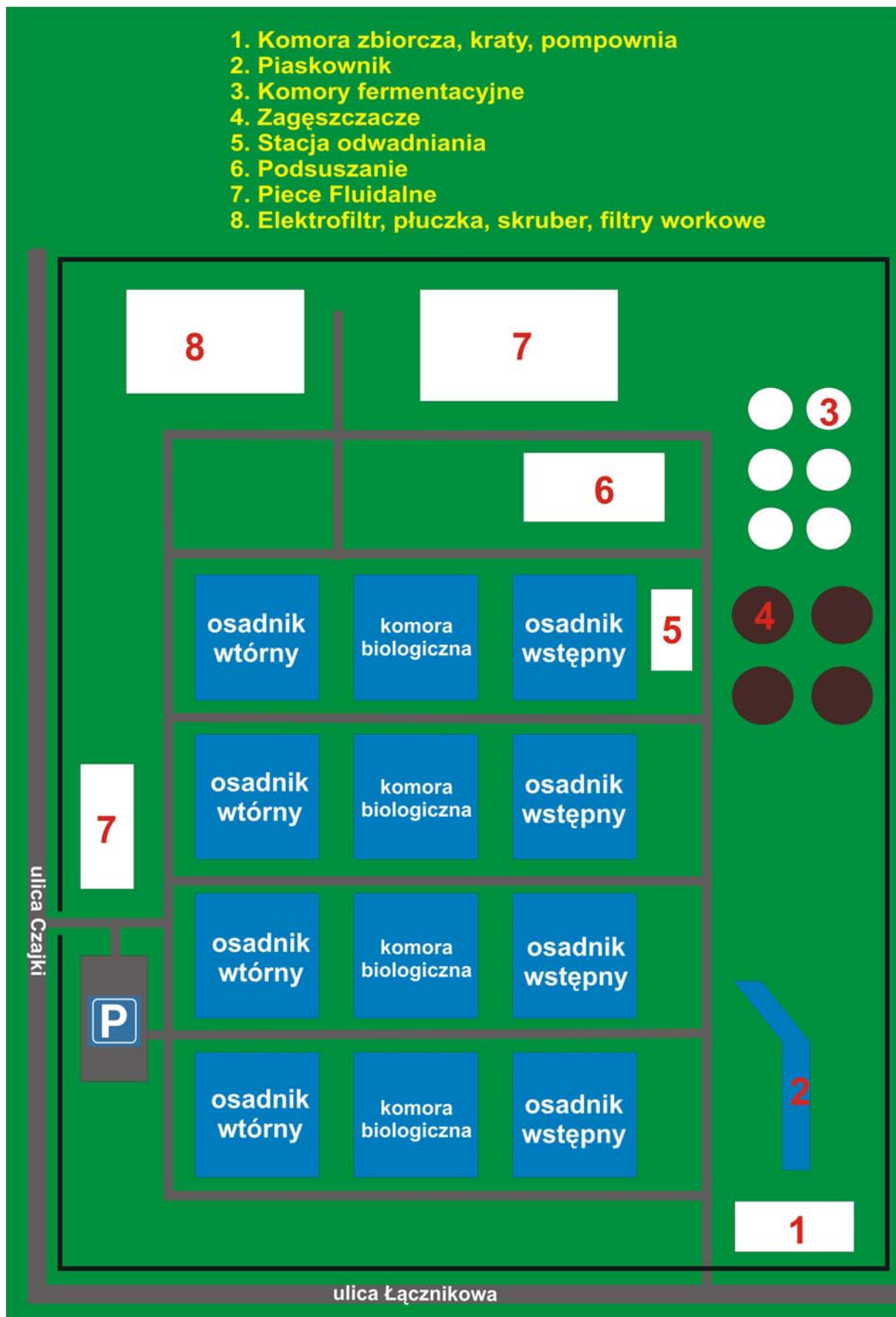
Rysunek 14: Filtr workowy firmy ELWO [45]

#### 7.5.5. Odprowadzanie do atmosfery.

Oczyszczone spaliny odprowadzane zostaną do atmosfery poprzez komin. Ze względu na niewielką, poniżej 40% zawartość wody w spalinach, nie ma potrzeby stosowania instalacji eliminującej zjawisko pióropusza nad kominem. Na szczycie komina proponuję zainstalowanie aparatury analizującej skład spalin w trybie ciągłym. Stale analizowane będzie stężenie pyłów, tlenu, HCl, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i tlenku węgla a także prędkość przepływu i temperatura spalin. Proponuję zastosowanie systemu monitoringu spalin firmy LAND [47]. Firma LAND po zapoznaniu się z proponowaną instalacją będzie mogła dostarczyć gotowy do zamontowania system analizowania spalin składający się z pyłomierza, analizatorów emisyjnych, i miernika prędkości przepływu spalin.



Rysunek 15: Schemat przepływow instalacji spalania fluidalnego.



Rysunek 16: Plan rozmieszczenia instalacji spalania fluidalnego na terenie oczyszczalni „Czajka”



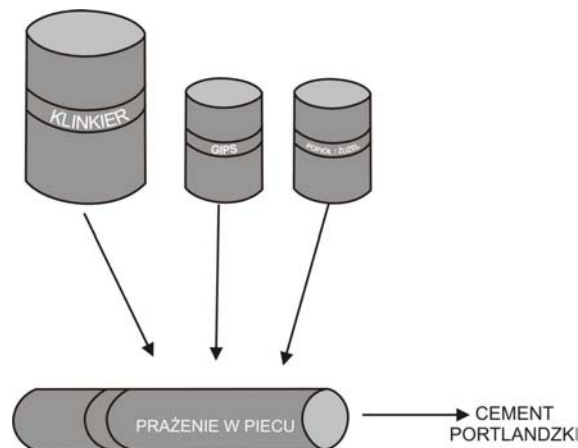
## 7.6. Zagospodarowanie popiołów.

Popioły lotne z układu odpylania, ze względu na zawartość metali ciężkich i dioksyn, powinny być zestalone poprzez betonowanie.

Proponuję przekazanie popiołów lotnych do cementowni, gdzie zostaną wykorzystane jako tzw. dodatek hydrauliczny do produkcji betonu portlandzkiego. W porozumieniu z producentem cementu można również przekazać do wykorzystania gips pochodzący z instalacji odsiarczania spalin.

Podstawowymi składnikami cementu portlandzkiego jest:

- klinkier, czyli zmieszane z wodą w jednolitą masę gliny i skalenie.
- gips
- popiół z odpylania spalin jako dodatek hydrauliczny
- żużel - dodatek mineralny.



Rysunek 17: Schemat produkcji cementu.

W polskich cementowniach produkowany jest cement portlandzki z dodatkiem popiołów lotnych w ilości 6-20 % masy cementu. Popioły mieli się wspólnie z klinkierem cementowym, gipsem i żużlem, po czym wypraża w piecu obrotowym. Jako, że w polskich cementowniach wykorzystuje się głównie popiół ze spalania węgla kamiennego, należy przeprowadzić stosowne badania odnośnie dozowania popiołu z fluidalnego spalania osadów

ściekowych. Ponadto należy przeprowadzić próby wymywalności zabetonowanego popiołu. Wyprodukowany beton należy poddać badaniom wytrzymałościowym.

Cement portlandzki popiołowy w zależności od zawartości popiołu może być stosowany do:

- budownictwa indywidualnego,
- produkcji betonu komórkowego,
- tworzenia zapraw murarskich i tynkarskich, zapraw budowlanych,
- budowy fundamentów ,
- produkcji betonów narażonych na działanie środowisk agresywnych chemicznie (szamba, gnojowniki, oczyszczalnie wody i ścieków),
- stabilizacji gruntu w budownictwie drogowym.

Proponuję przekazanie popiołów drogą kolejową do Cementowni Ożarów położonej w woj. Świętokrzyskim. Niniejsza cementownia produkuje popiołowy cement portlandzki. Cementownia zrzeszona jest w Stowarzyszeniu Producentów Cementu, do którego należy również Instytut Mineralnych Materiałów Budowlanych. W instytucie będzie można przeprowadzić odpowiednie badania wymywalności i wytrzymałości próbek betonu.

## 8. Wnioski.

1. Kwestie prawne zagospodarowania osadów stanowią co prawda, kiedy można przyrodniczo wykorzystywać osady, lecz jak wspomniałem pisząc o dotychczasowych metodach zagospodarowania, możliwe jest składowanie osadów pod pozorem rekultywacji. Brak odpowiedniej kontroli umożliwia takie praktyki. Zmieniające się prawo i dalsze obostrzenia w kwestii przyrodniczego użytkowania osadów pozwolą na ograniczenie takich form zagospodarowania osadów.
2. Problem zagospodarowania osadów ściekowych nabiera znaczenia w związku z budową nowych obiektów i zwiększającym się dostępem ludności do oczyszczalni.
3. Głównym problemem dotyczącym utylizacji osadów z „Czajki” jest ich bardzo duża ilość i obciążenie ładunkiem metali ciężkich.
4. Dotychczasowy sposób postępowania z osadami z „Czajki” musi zostać przerwany w trybie natychmiastowym.
5. Dyrekcja „Czajki” planuje zmieszanie podsuszonych osadów z „Czajki” z wysuszonymi osadami z oczyszczalni „Południe” i termiczną utylizację w piecu fluidalnym. Ponadto planuje użycie oleju opałowego do rozpalania pieca. Popioły ze spalania mają być betonowane i składowane na miejscu. Projekt ten dopuszcza również wapnowanie i przyrodnicze wykorzystanie części osadów z „Czajki”.
6. Rozwiązanie, które planuje wdrożyć „Czajka” budzi moje poważne zastrzeżenia. Zmieszanie osadów podsuszonych z suchymi spowoduje prawdopodobnie nierównomierną pracę pieca. Osady z oczyszczalni „Południe” mogą być z powodzeniem spalane w pobliskiej elektrociepłowni. Propozycja przyrodniczego wykorzystania osadów z „Czajki” jest niedopuszczalna. Popioły z procesu spalania powinny być wykorzystane w budownictwie, składowanie ich jest nieuzasadnione.

7. Moja koncepcja zakłada odwodnienie osadów z Czajki do 23 % s.m a następnie podsuszenie do 32% s.m. Tak poduszony osad zostanie spalony na złożu fluidalnym w piecu PYROFLUID. Spaliny zostaną oczyszczone w elektrofiltrze, płuczce, skruberze i filtrze workowym. Powstałe w wyniku spalania osadu popioły i gips zostaną wykorzystane do produkcji cementu portlandzkiego.
  
8. Biorąc pod uwagę te zastrzeżenia do planowanego przez dyrekcję Czajki rozwiązania zasadne jest rozważenie zastosowania opracowanej przeze mnie koncepcji utylizacji osadów ściekowych z Czajki.

## **Bibliografia**

- [1] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne. (Dz. U. Nr 115, poz. 1229.)
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. W sprawie katalogu odpadów. (Dz. U. Nr 112, poz. 1206)
- [3] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. (Dz. U. Nr 62, poz. 628)
- [4] Ustawa z dnia 1 lipca 2005 r. o zmianie ustawy o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. Nr 203, poz. 1683).
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. (Dz. U. Nr 134, poz. 1140)
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. (Dz. U. Nr 145, poz. 942)
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów. (Dz. U. Nr 37, poz. 339)
- [8] Dyrektywa UE 2000/76/EC z dnia 04.12.2000 w sprawie spalania odpadów.
- [9] Siuta J. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Materiały Konf. N.-T na temat: „Przyrodnicze Użytkowanie Osadów Ściekowych”. Puławy-Lublin-Jeziórko 1997
- [10] Siuta J. „Przyrodnicze użytkowanie odpadów”. IOŚ Warszawa 2002
- [11] Siuta J., Wasiak G. „Kompostowanie odpadów i użytkowanie kompostu” IOŚ Warszawa 2000
- [12] Prospekt firmy Atlas-Stord.
- [13] Bień J.B. „Unieszkodliwianie osadów ściekowych za pomocą metod termicznych”. Materiały z Konf. N.-T. na temat Osady ściekowe w praktyce. Częstochowa 1998.
- [14] Skowron H. „Spalanie i współspalanie osadów ściekowych w świetle dyrektywy 2000/76/UE i rozporządzeń krajowych” Przegląd Komunalny 1/2003.
- [15] Pająk T. „Spalanie i współspalanie osadów ściekowych - podstawowe uwarunkowania” Przegląd Komunalny 1/2003.
- [16] Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document of The Best Available Techniques for Waste Incineration, European EPPC Bureau, July 2005.
- [17] Heidrich Z, Witkowski A. „Urządzenia do oczyszczania ścieków” Warszawa 2005.
- [18] Prospekt Fabryki Kotłów Rafko.

- [19] Prospekt firmy Montech.
- [20] „Stan środowiska w województwie mazowieckim”. IOŚ 2003.
- [21] „Ochrona środowiska 2004”. GUS, Warszawa 2004.
- [22] „Krajowy Plan Gospodarki Odpadami”. Monitor Polski nr 11/2003 poz. 159.
- [23] „Gospodarka wodno ściekowa”. Zespół autorów pod redakcją prof. Zbigniewa Heidricha.
- [24] Dr. Krzysztof Skalmowski, „Poradnik Gospodarowania Odpadami”. 2005.
- [25] Margel L. „Uzdatnianie wody i oczyszczanie ścieków”. Białystok 2002.
- [26] Dymaczewski Z. „Poradnik Eksploatatora Oczyszczalni Ścieków”. Poznań 1997.
- [27] Dane MPWiK Warszawa uzyskane w toku własnej dokumentacji.
- [28] Dane firmy Thermo Electron Corporation
- [29] Dane dostarczone przez delegaturę WIOŚ w Ciechanowie
- [30] Dubiel J. „Osady Ściekowe”. Zielone Brygady, styczeń 2002.
- [31] Folder Ruhleben Wastewater Treatment Works
- [32] BIPROWOD-WARSZAWA. „Wariantowa koncepcja utylizacji osadów ściekowych z oczyszczalni Czajka i południe, Warszawa 2004”
- [33] Dane z Kommunale Umwelt-AktioN U.A.N
- [34] Jarosz – Rojczyk M. „Komunalne osady ściekowe – podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania. Praca Instytutu Inżynierii Środowiska.
- [35] Prognozy gospodarki odpadowej. Warszawa 2003
- [36] Dane Zarządu Oczyszczania Miasta w Warszawie.
- [38] Suchecki B. „Kompostownia Dano w Radiowie koło Warszawy” Raport przygotowany dla Gazety Wyborczej. Warszawa 2004
- [39] Lubeki R. „Osady na Kompost” Przegląd komunalny 12/2004.
- [40] Dane z Elektrociepłowni Siekierki
- [41] Steier K. „Współspalanie osadów ściekowych w elektrowniach opalanych węglem kamiennym i brunatnym”. Przegląd komunalny 1/2003.
- [42] Dane dostarczone przez firmę Veolia Water Systems.
- [43] Obliczenia własne na podstawie właściwości osadów z oczyszczalni Czajka.
- [44] Koniecznyński J. „Ochrona powietrza przed szkodliwymi gazami”. Gliwice 2004
- [45] Dane z Fabryki Elektrofiltrów ELWO S.A.
- [46] Dane firmy VUM GmbH.
- [47] Prospekty firmy LAND.

## Spis tabel.

Tabela 1: Metody badań osadów ściekowych.[5] .....	11
Tabela 2: Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w osadach.[5].....	12
Tabela 3: Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w gruncie.[5].....	13
Tabela 4: Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w gruncie.[5].....	14
Tabela 5: Dopuszczalna ilość metali ciężkich wprowadzanych do gleby.[5].....	15
Tabela 6: Dawki komunalnych osadów ściekowych.[5].....	16
Tabela 7: Metody referencyjne badań gruntów, na których mają być stosowane komunalne osady ściekowe. [5] .....	17
Tabela 8: Maksymalne stężenia zanieczyszczeń dla suchych spalin.[8].....	19
Tabela 9: Skład morfologiczny skratek.[24] .....	36
Tabela 10: Wyniki badań osadu przeprowadzonych w laboratorium w oczyszczalni Czajka .....	44
Tabela 11: Porównanie właściwości osadów z Czajki z wartościami dopuszczalnymi [27][5][33].....	49
Tabela 12: Koszty utylizacji osadów[34][16] .....	50
Tabela 13: Właściwości osadu przygotowanego do suszenia. [43] .....	61
Tabela 14: Dane dotyczące podsuszania osadów i suszarki Rotadisc [43][12]. .....	62
Tabela 15: Właściwości osadu podsuszonego. [43].....	62
Tabela 16: Warunki pracy pieca[42].....	64
Tabela 17: Dane wyjściowe do projektu pieca. [43].....	64
Tabela 19: Dane zaprojektowanych pieców. [43][42] .....	64
Tabela 20: Dane dotyczące spalin [43]. .....	67

## Spis rysunków.

Rysunek 1: Sposoby zagospodarowania osadów ściekowych.....	21
Rysunek 2: Schemat instalacji wapnowania osadów firmy Montech [19]. .....	31
Rysunek 3: Wykres przedstawiający odsetek ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków.....	33
Rysunek 4: Wykres przedstawiający sposoby zagospodarowania osadów ściekowych w latach 2000-2003 [21].....	34
Rysunek 5: Wykres przedstawiający metody postępowania z osadami ściekowymi w 2003 roku.[21].....	34
Rysunek 6: Wykres przedstawiający prognozy metod postępowania z osadami ściekowymi w 2014 roku. [21].....	35
Rysunek 7: Przewidywana dynamika wzrostu ilości osadów powstających w Polsce[22] .....	35
Rysunek 8: Schemat oczyszczalni „Czajka” w Warszawie .....	37
Rysunek 9: Suszarka Rotadisc [12].....	62
Rysunek 10: Schemat pieca fluidalnego .....	65
Rysunek 11: Elektrofiltr firmy ELWO [45].....	67
Rysunek 12: Płuczka .....	68
Rysunek 13: Skruber .....	69
Rysunek 14: Filtr workowy firmy ELWO [45].....	70
Rysunek 15: Schemat przepływowości instalacji spalania fluidalnego. ....	71
Rysunek 16: Plan rozmieszczenia instalacji spalania fluidalnego na terenie oczyszczalni Czajka.....	72
Rysunek 17: Schemat produkcji cementu. ....	73



## Spis fotografii

Fotografia 1: Taśmociąg transportujący skratki.....	38
Fotografia 2: Zbieranie tłuszczów i olejów.....	39
Fotografia 3: Zagęszczacz.....	41
Fotografia 4: Komory fermentacyjne, w tle pochodnia.....	41
Fotografia 5: Spektrometr Unicam.....	43
Fotografia 6: Składowisko w Szyjkach.....	45
Fotografia 7: Świeża dostawa popiołu na składowisku w szyjkach.....	46