

SPIS TREŚCI

Od Autorki	1
WSTĘP	2
Część 1.	
SYSTEM GOSPODAROWANIA ODPADAMI	5
1. PRAWO OCHRONY ŚRODOWISKA – rys historyczny	5
1.1. Prawo europejskie	5
1.2. Prawo polskie	7
1.3. Ustawa o odpadach	10
1.4. Utrzymanie czystości i porządku w gminie	12
1.5. Gospodarowanie odpadami w gminie	14
1.6. Międzynarodowy obrót odpadami	15
2. PODZIAŁ ODPADÓW	18
2.1. Ogólna charakterystyka odpadów komunalnych	20
2.2. Ogólna charakterystyka odpadów przemysłowych	24
2.2.1. Odpady z górnictwa węgla kamiennego	27
2.2.2. Odpady z kopalń rud metali kolorowych	29
2.2.3. Odpady energetyczne	30
2.2.4. Odpady hutnicze	34
2.2.4.1. Odpady z metalurgii żelaza	34
2.2.4.2. Odpady z metalurgii miedzi	35
2.2.4.3. Odpady z metalurgii cynku i ołowiu	35
2.2.5. Odpady przemysłu rafineryjnego	36
2.3. Ogólna charakterystyka odpadów niebezpiecznych	41
2.3.1. Odpady radioaktywne	43
3. WYTWÓRCA ODPADÓW	44
4. POSIADACZ ODPADÓW	47
5. GOSPODAROWANIE (ZARZĄDZANIE) ODPADAMI	49
5.1. Planowanie Gospodarki odpadami	50
5.2. Ocena oddziaływania na środowisko	52
5.2.1. Postępowanie w celu przygotowania raportu OOS	55
5.3. Finansowanie gospodarki odpadami	59
5.4. Udział społeczny	60
6. SPOSOBY POSTĘPOWANIA Z ODPADAMI	62
6.1. Minimalizowanie ilości odpadów	62
6.2. Technologie mało- i bezodpadowe	64
7. PRZEDSIĘWZIĘCIA TECHNICZNE W GOSPODARCE ODPADAMI	66
7.1. Zbieranie i segregowanie odpadów	67
7.2. Recykling	71
7.3. Surowce wtórne	74
7.4. Magazynowanie odpadów	76
7.5. Sortowanie odpadów	77
7.6. Postępowanie z odpadami niebezpiecznymi	78
8. BADANIE ODPADÓW	79
8.1. Typy jednostek osiedleńczych wytwarzających odpady	81
8.2. Zakres badań odpadów	83
8.2.1. Przygotowanie odpadów do analiz	84

8.2.2.	Analiza granulometryczna odpadów	84
8.2.3.	Analiza morfologiczna odpadów	85
8.3.	Wskaźniki ilości i jakości odpadów	85
9.	ZINTEGROWANY SYSTEM GOSPODARKI ODPADAMI	88

Część 2.

	SKŁADOWANIE ODPADÓW	91
10.	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISK	91
10.1.	Rodzaje składowisk odpadów	93
10.2.	Odpady nie akceptowane na składowiskach odpadów	94
11.	LOKALIZACJA SKŁADOWISKA ODPADÓW	95
11.1.	Czynniki warunkujące lokalizację składowiska odpadów	95
11.2.	Projekt budowlany lokalizacji składowiska odpadów	98
11.3.	Kryteria wyboru miejsca pod lokalizację składowiska odpadów	100
11.3.1.	Warunki geologiczne	101
11.3.2.	Warunki hydrogeologiczne	103
11.3.3.	Warunki topograficzne i klimatyczne	107
11.3.4.	Warunki geologiczno-techniczne	107
12.	ARCHITEKTURA SKŁADOWISK ODPADÓW	109
12.1.	Kształt i forma składowiska odpadów	109
12.2.	Stateczność skarp składowiska odpadów	114
12.2.1.	Cechy tiksotropowe złoża odpadów	118
12.3.	Modelowanie skarp składowiska odpadów	118
13.	BUDOWA SKŁADOWISKA ODPADÓW	120
13.1.	Uszczelnienie podłoża	123
13.1.1.	Materiały uszczelniające	126
13.2.	Elementy konstrukcyjne warstw podłoża pod składowiskiem odpadów	127
14.	PROCESY ROZKŁADU ODPADÓW NA SKŁADOWISKU	132
14.1.	Fazy przemian biochemicznych	134
14.2.	Metabolizm i biodegradacja	136
14.3.	Procesy biochemiczne	139
14.4.	Gazy powstające na składowisku odpadów	143
14.4.1.	BIOGAZ – zagrożeniem dla środowiska naturalnego?	144
15.	INSTALACJA DO ODPROWADZANIA BIOGAZU	147
15.1.	Studnie poboru biogazu	150
15.2.	System ujmowania i przetwarzania biogazu	154
15.2.1.	Możliwości wykorzystania biogazu	156
15.2.2.	Oczyszczanie biogazu	157
16.	ODCIEKI NA SKŁADOWISKU	159
16.1.	Ujmowanie wód i odcieków	164
16.2.	Oczyszczanie odcieków	167
16.2.1.	Procesy jednostkowe oczyszczania odcieków w oczyszczalni komunalnej	169
16.2.2.	Ocena jakości i stopnia zanieczyszczenia wody	171
16.2.3.	Wybrane wskaźniki jakości wody	174
16.3.	Osady ściekowe i popłuczyny	177
16.3.1.	Wybrane sposoby wykorzystania osadów ściekowych i szlamów	180
16.3.2.	Wykorzystanie osadów ściekowych w celach nierolniczych	183
17.	OCZYSZCZANIE INFILTRACYJNE ODCIEKÓW	185

17.1.	Basen infiltracyjny	189
18.	OCZYSZCZALNIA HYDROBOTANICZNA	190
18.1.	System hydrobotaniczny oczyszczania wody i ścieków	192
18.2.	Zasada działania oczyszczalni hydrobotanicznej	195
18.2.1.	Przyczyny złej pracy oczyszczalni hydrobotanicznej	197
19.	PRACE WYKONYWANE NA SKŁADOWISKU ODPADÓW	199
19.1.	Plan zagospodarowania składowiska odpadów	200
20.	SKŁADOWANIE ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH	205
20.1.	Składowiska odpadów przemysłowych	205
20.2.	Podziemne składowanie odpadów przemysłowych	207
21.	SKŁADOWANIE ODPADÓW NIEBEZPIECZNYCH	210
22.	REKULTYWACJA SKŁADOWISKA ODPADÓW	213
22.1.	Jednostkowe prace rekultywacyjne	215
22.2.	Rola biocenozy	219
22.3.	Technika wprowadzania biocenozy	220
22.4.	Konstrukcje stabilizujące bryłę składowiska	223
22.5.	Obsiew i hydroobsiew	226
23.	NIELEGALNE - “DZIKIE” - SKŁADOWISKA ODPADÓW	227

Część 3.

	KOMPOSTOWANIE ODPADÓW	229
24.	PROCES KOMPOSTOWANIA	229
24.1.	Wykorzystanie kompostu	232
25.	WARUNKI KOMPOSTOWANIA	233
25.1.	Fazy kompostowania	234
25.2.	Ocena właściwości kompostu	235
26.	TECHNOLOGIE KOMPOSTOWANIA	237
26.1.	Kompostowanie przydomowe	238
26.2.	Jednostopniowy proces kompostowania – proces tlenowy	240
26.3.	Jednostopniowy proces kompostowania – proces beztlenowy	243
26.4.	dwustopniowe procesy kompostowania	244
26.5.	Inne (wybrane) technologie kompostowania	246

Część 4.

	TERMICZNA UTYLIZACJA ODPADÓW	251
27.	TERMICZNA UTYLIZACJA CZYLI SPALANIE	251
28.	PROCESY TERMICZNEJ UTYLIZACJI ODPADÓW	252
29.	SPALANIE	254
29.1.	Wady i zalety termicznej utylizacji odpadów	256
29.2.	Optymalne warunki termicznej utylizacji odpadów	257
29.3.	Instalacja procesu spalania	258
29.4.	Przykłady zastosowania technologii termicznej utylizacji odpadów	262
30.	OCZYSZCZANIE GAZÓW ODLOTOWYCH (SPALIN)	269
30.1.	Usuwanie tlenków azotu	272
30.2.	Usuwanie dwutlenku siarki	273
30.3.	Biologiczne usuwanie gazów odlotowych	275
31.	PIROLIZA	276
32.	SPALANIE W PLAZMIE	278

33.	INNE - WYBRANE - METODY UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW	281
-----	---	-----

Część 5.

OCHRONA ŚRODOWISKA W ZAKŁADACH GOSPODAROWANIA ODPADAMI 288

34.	CIEKŁE ODPADY KOMUNALNE	288
35.	STREFA OGRANICZONEGO UŻYTKOWANIA	290
36.	MONITOROWANIE ŚRODOWISKA	294
36.1.	Monitorowanie gospodarki odpadami	297
36.2.	System monitorowania w Polsce	301

ZAŁĄCZNIKI 302

Załącznik nr I.	Kategorie odpadów	302
Załącznik nr II.	Kategorie lub rodzaje odpadów niebezpiecznych	303
Załącznik nr III.	Składniki odpadów z listy B, które kwalifikują je jako odpady niebezpieczne, jeśli posiadają właściwości opisane w załączniku nr IV.	304
Załącznik nr IV.	Określa właściwości odpadów, które powodują, że odpady są niebezpieczne	305
Załącznik nr V.	Wybrane polskie przepisy i regulacje prawne dotyczące spraw związanych z gospodarką odpadami i ochroną środowiska naturalnego	321
Załącznik nr VI.	Wybrane wielokrotności i podwielokrotności oraz jednostki układu SI	319
Załącznik nr VII.	Wykaz skrótów	323
Załącznik nr VIII.	Sowniczek wybranych pojęć	324

LITERATURA 332

OD AUTORKI

Skrypt poświęcony jest tematyce gospodarowania odpadami stałymi. Przedstawione zostały podstawowe, teoretyczne zasady zarządzania odpadami komunalnymi, przemysłowymi i niebezpiecznymi. Omówiono rolę wytwórcy i posiadacza odpadów, a także zadania gminy w tym zakresie. Autorka zwróciła uwagę na konieczność nawiązywania przez samorządy gmin współpracy z lokalną społecznością, szczególnie w zakresie informowania o planowanych inwestycjach dotyczących metod destrukcji zanieczyszczeń.

Omówione zostały wybrane elementy ekologii i technologii w powiązaniu z fizykochemicznymi i biochemicznymi procesami zachodzącymi w utylizowanych odpadach. Część omawianych metod rozłożona została na procesy jednostkowe zachodzące na składowiskach, w kompostowniach i w zakładach termicznej utylizacji odpadów. Uogólnione zostały teoretyczne podstawy zjawisk zachodzących na granicy faz i ich wpływ na przebieg destrukcji odpadów.

Autorka starała się w sposób zwięzły, jasny i w miarę wyczerpujący przedstawić podstawy metod postępowania z różnymi rodzajami odpadów. Dla zachowania czytelności odbioru skrypt podzielony został na tematyczne części dotyczące systemu gospodarowania odpadami, składowania, kompostowania i ich spalania. Podana jest charakterystyka systemu ochrony środowiska w zakładach gospodarowania produktem odpadowym. Innym ułatwieniem korzystania ze skryptu jest wykaz załączników, umieszczony na końcu skryptu, zawierających wybrane skróty używane w tekście, słowniczek wybranych nazw, pojęć i terminów z ich rozwinięciem, wybrane jednostki układu SI i ich przeliczniki.

Skrypt adresowany jest do studentów specjalności inżynierskich z zakresu kształtowania i ochrony środowiska oraz dziedzin pokrewnych. Niektóre partie skryptu rozbudowano ponad program studiów inżynierskich uważając, że zawarty w nich materiał może być szczególnie przydatny do pracy „inżyniera od środowiska”, technika i tych osób które zajmują się problematyką zagospodarowywania odpadów na Podkarpaciu.

Niektóre rysunki i tablice zaczerpnięto z książek wymienionych w spisie literaturowym. W związku z tym kieruję słowa podziękowania do wszystkich wymienionych Autorów - tak w spisie literaturowym, jak i w tekście skryptu.

Szczególne słowa podziękowania składam **Panu Profesorowi dr hab. inż. Maciejowi Mazurkiewiczowi**, który zachęcił mnie do napisania tego podręcznika. Jego osobista, przychylna i cierpliwa postawa wpłynęła na podjęcie przeze mnie wyzwania.

Będąc świadoma złożoności i obszerności tematu, proszę wszystkich czytelników o przekazywanie uwag i ocen, które wykorzystane zostaną do podnoszenia poziomu treści.

„(...) uszkodzenie lub zniszczenie jakiegokolwiek dobra należącego do dziedzictwa kulturowego lub naturalnego w nieodwracalny sposób zubaża dziedzictwo wszystkich narodów świata”.

(z preambuły Konwencji UNESCO dotyczącej ochrony Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Naturalnego)

WSTĘP

Uniwersalność i niezmienność praw fizyki, chemii i biochemii doprowadziły do rozkwitu cywilizacji na Ziemi, szerokiego rozwoju nauki, techniki, przemysłu a tym samym wszystkich dziedzin życia gospodarczego, społecznego i kulturalnego. Człowiek poczuł się Panem Wszechświata: zawładnął litosferą, hydrosferą i atmosferą, czyli całą biosferą. Żądza władzy i panowania skierowała go nawet do dalekich galaktyk. W pędzie za polepszeniem ziemskiego bytu zapomniał o zachowaniu równowagi pomiędzy wytworami swojej działalności a otaczającym go światem zewnętrznym. Tym światem zewnętrznym są wszystkie zasoby, rzeczy i zjawiska występujące we wszechświecie, składające się na *elementy środowiska naturalnego*. Podstawą funkcjonowania środowiska naturalnego jest utrzymanie stanu równowagi dynamicznej pomiędzy ilościowymi i jakościowymi zasobami środowiska, tak zasobami naturalnymi, jak i antropogenicznymi. *Zasoby naturalne* środowiska przyrodniczego to te elementy przyrody ożywionej i nieożywionej, które powstały w wyniku naturalnej ewolucji środowiska i wykorzystywane są w stanie naturalnym jako zasoby odnawialne i nieodnawialne, wyczerpywalne i niewyczerpywalne. Natomiast *zasoby antropogeniczne* powstały w wyniku działalności przemysłowo-gospodarczej człowieka i włączone zostały przez niego w środowisko naturalne.

Zapoczątkowany na przełomie XIX i XX wieku intensywny rozwój różnych dziedzin techniki i gospodarki - wprowadzenie nowych, coraz nowocześniejszych technologii i wyrobów - doprowadził do ogromnego technogenicznego przeciążenia środowiska naturalnego. W celu zaspokojenia potrzeb konsumpcyjnych człowieka glob ziemski przekształcony został w wielki „zakład przemysłowy”. Skutkiem tego przekształcenia, obok wprowadzenia do środowiska naturalnego produktu przydatnego, było pojawienie się ogromnej ilości produktu ubocznego – **odpadu**.

Termin „*odpad(y)*” definiowany jest w różny sposób, jednak zawsze jego interpretacja sprowadza się do stwierdzenia, że „*odpadem są wszystkie przedmioty oraz substancje stałe, a także nie będące ściekami substancje ciekłe powstałe w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej lub bytowania człowieka i nieprzydatne w miejscu i czasie, w którym powstały, przy czym odpadem są także osady ściekowe*”. Według nowej ustawy o odpadach (Dz. U. z 2001 r., Nr 62, poz.628) **odpady** oznaczają *każdą substancję lub przedmiot należący do jednej z kategorii, które zostały określone w załącznikach do ustawy, a*

których pozbywa się, zamierza się pozbyć lub jest zobowiązany do ich pozbycia się – posiadacz odpadów (wymienione załączniki stanowią Załącznik Nr I i II do skryptu).

Odpady towarzyszyły człowiekowi od początków ewolucji Wszechświata. Najpierw powstawały jądra pierwiastków, łączyły się one z elektronami tworząc całe atomy, z których powstawały cząsteczki, by w złożonym cyklu procesów fizycznych i chemicznych doprowadzić do skupienia materii w gwiazdy i galaktyki budujące stabilne układy planetarne, dające początek procesom biochemicznym. Procesy te doprowadziły do powstania komórki, jej rozwoju, zamierania i rozkładu, tworząc biomasę organiczną, służącą dalszym przemianom ewolucyjnym. W wyniku wszystkich zjawisk powstawały odpady. Były to jednak odpady pochodzenia naturalnego - mineralnego lub organicznego - ulegające biorozkładowi w krótkim okresie czasu i wchodzące do systemu obiegu materii i przepływu energii w ekosystemie. W ekosystemie będącym podstawową jednostką funkcjonalną obejmującą organizmy żywe (biocenozę) i ich środowisko życia (biotop), w obecności występujących w nim organizmów tlenowych i beztlenowych, proces mineralizacji zachodził szybko, a produkty rozkładu były równie łatwo i szybko asymilowane przez środowisko.

Przekonanie człowieka, że Wszechświat jest zbiornikiem bez dna mogącym pomieścić różnego rodzaju odpady, doprowadziło do takiego zachwiania równowagi ekosystemów, że naturalnie działające w nich procesy samoregulacji (fizyczno-chemiczno-biologiczne i ekologiczne) nie są już w stanie tej równowagi przywrócić.

Druga połowa XX wieku była początkiem gwałtownego ubożenia środowiska naturalnego, zamierania flory i fauny, zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych, występowania niekorzystnych zjawisk, jak smogi nad wysoko uprzemysłowionymi ośrodkami, pustynnienie urodzajnych obszarów, zaburzenia klimatyczne (powodzie, huragany, oddziaływania sejsmiczne) oraz pojawienia się chorób „cywilizacyjnych”. Był to również początek budzenia się ruchu społecznego, który doprowadził do rozwinięcia relacji społeczeństwo – środowisko i podjęcia badań nad stanem tego środowiska. Przeprowadzone badania obaliły pogląd, że wszechświat jest układem jednolitym, z nieograniczonymi możliwościami regeneracyjnymi. Świat zewnętrzny okazał się wielce złożonym układem dynamicznym, trudnym do dokładnego opisanego, w którym *odpady są podstawowym czynnikiem zanieczyszczenia i skażenia środowiska naturalnego.*

W ostatnim dziesięcioleciu gospodarka odpadami nabrała nowego, prawnego i społecznego znaczenia. Problem gospodarki odpadami stał się problemem globalnym, pierwszoplanowym, związanym w sposób bezpośredni z ochroną zdrowia i życia ludzkiego oraz ochroną środowiska. Podstawa takiego spojrzenia na odpady wynika z faktu, że *im*

gwałtowniejszy jest rozwój gospodarczy, im więcej produkujemy, tym więcej powstaje produktów ubocznych stanowiących odpad.

Produkty (substancje, energia, instalacje, urządzenia i inne przedmioty lub ich części) oraz odpady XX i XXI wieku, jako efekt najnowszych technologii i połączeń procesów chemicznych z biochemicznymi, zbudowane są ze złożonych związków organicznych, w tym syntetycznych, które albo rozkładają się w przeciągu bardzo długiego czasu (dziesiątki i setki lat), albo nie ulegają rozkładowi, albo ulegając rozkładowi wytwarzają nowe, niebezpieczne czy toksyczne produkty uboczne, albo już od momentu powstania są produktami toksycznymi. Na tej podstawie naukowcy sformułowali wniosek, że człowiek XX wieku stworzył sam sobie warunki prowadzące do samozagłady obecnego i przyszłych pokoleń. Uświadomienie sobie tego faktu dało początek **„prawu zachowania zrównoważonego rozwoju”**, które można zdefiniować następująco: *jest to przyjęcie takiej strategii rozwoju, która poprzez planowanie, organizację, zarządzanie i finansowanie doprowadzi do zachowania właściwych proporcji pomiędzy naszymi potrzebami a potrzebą ochrony świata zewnętrznego.* Zrodzenie się koncepcji zrównoważonego rozwoju, połączonej z trwałym, nie ograniczającym możliwości rozwoju obecnemu i przyszłym pokoleniom, rozwojem samopodtrzymującym się, opartym na surowcach odnawialnych, mogącym tworzyć rezerwy dla rozwoju przyszłych pokoleń, doprowadziło do sformułowania kolejnego wniosku: *każda działalność człowieka (przemysłowa, kulturalna lub inna) musi w swoim programie zawierać informacje na temat rozwiązania problemu odpadów.*

Inne pojęcie rozwoju „*rozwój sprawiedliwy*” rozumiane jest jako rozwój społeczny, w obrębie każdego pokolenia i pomiędzy pokoleniami, umożliwiający życie w symbiozie ze środowiskiem. Aby ta symbioza była możliwa, należy postawić kolejny wniosek: *zrównoważony i sprawiedliwy rozwój, obecnego i przyszłych pokoleń, można osiągnąć dopiero po rozwiązaniu problemu postępowania z odpadami.* Problem ten rozwiązywany jest poprzez system gospodarowania, czy też zarządzania odpadami.

Część 1.

SYSTEM GOSPODAROWANIA ODPADAMI

1. PRAWO OCHRONY ŚRODOWISKA - rys historyczny

1.1. Prawo europejskie

Niszczenie środowiska naturalnego zachodzi w określonych warunkach społeczno-gospodarczych i ma charakter globalny, tzn. obejmuje środowisko naturalne całego świata. Ustanawianie światowego prawa ochrony środowiska może uruchomić procesy, które będą zdolne tak pokierować stosunkami społeczno-gospodarczymi państw, by zatrzymać proces degradacji środowiska przyrodniczego. Nie można jednak przeceniać roli jaką pełni prawo, bowiem nie działa ono w próżni, lecz jest uwarunkowane politycznymi, ekonomicznymi i kulturowymi stosunkami istniejącymi w danym państwie i jego społeczeństwie. Stosunki te decydują, na ile regulacje prawne są skutecznym narzędziem w światowej polityce ekologicznej.

Globalny charakter oddziaływania na środowisko (w tym i na zdrowie ludzi) wpłynął na konieczność podjęcia współpracy pomiędzy państwami europejskimi, a jej efektem było uchwalenie przez europejski system prawa 27 marca 1957 r. traktatu tworzącego *Europejską Wspólnotę Gospodarczą (EWG)* zwaną w skrócie *Traktatem Rzymskim*. Biorąc pod uwagę transgraniczny charakter zanieczyszczeń środowiska EWG od 1973 r. zaczęła przyjmować pięcioletnie programy w zakresie ochrony środowiska, które określały podstawowe kierunki działania. Jednak przepisy związane z ochroną środowiska i szczegółowe regulacje prawne z tego zakresu przyjęte zostały przez *Traktat Rzymski* dopiero 1 lipca 1987 r. i obejmowały trzy artykuły: „139r”, „130s” i „130t”. Określały one podstawowe cele w zakresie ochrony środowiska:

- zachowanie, ochrona i poprawa jakości środowiska,
- działania w celu ochrony zdrowia ludzkiego,
- zapewnienie rozważnego i racjonalnego użytkowania zasobów naturalnych.

Na tej podstawie wszelkie ustalenia prawne wprowadzane były w życie poprzez wydane:

- *Rozporządzenia*, które obowiązują wszystkie państwa członkowskie UE, bowiem zawarte w nich prawne rozwiązania mają generalny charakter. Jedynym odstępstwem od ich

respektowania jest możliwość ich doprecyzowania przez własne akty wykonawcze. Wywierają bezpośredni wpływ na wewnętrzny system prawny państwa członkowskiego.

- *Dyrektywy*, które zobowiązują kraje członkowskie do wprowadzania podobnych rozwiązań prawnych do systemu prawa wewnętrznego kraju członkowskiego, ale nie określają sposobu osiągnięcia wytyczonego celu. Nie wywierają więc bezpośredniego wpływu na krajowy system prawny.
- *Decyzje*, które są wydawane jako generalne, czyli kierowane do państw członkowskich w formie dyrektyw o mocy wiążącej. Decyzje, mające indywidualny charakter prawny, wydawane są w konkretnej sprawie.
- *Zalecenia i opinie*, które są wydawane na podstawie przepisów szczegółowych, gdy zachodzi taka konieczność.

Następcą EWG stała się *Unia Europejska (UE)*, która powołana została przez *Traktat z Maastricht 7 lutego 1992 r.* Kontynuując cele polityki ochrony środowiska, z zachowaniem zasady zrównoważonego rozwoju we Wspólnocie Europejskiej, wydaje ona i wprowadza w życie akty prawne przez następujące jednostki organizacyjne:

- *Radę Unii Europejskiej*, która jest podstawowym organem prawodawczym UE. W jej skład wchodzi przedstawiciele wszystkich państw członkowskich. Decyzje podejmowane są większością głosów lub większością kwalifikowaną a nawet bezwzględna, w zależności od przepisów szczególnych;
- *Parlament Europejski*, który pełni funkcję doradczą i kontrolną;
- *Komisję Unii Europejskiej*, która pełni funkcję kontrolną, wydaje zalecenia i opinie, podejmuje decyzje oraz występuje do Rady UE z inicjatywą tworzenia aktów prawnych;
- *Trybunał Sprawiedliwości*, który realizuje prawa UE przez kraje członkowskie.

Na podstawie wydanych aktów prawnych **zrównoważony rozwój** ma zapewnić Europie:

- zmniejszenie zużycia energii,
- ograniczenie emisji zanieczyszczeń,
- zminimalizowanie niszczenia obszarów cennych przyrodniczo,
- wprowadzenie obiegów zamkniętych minimalizujących ilość odpadów,
- zdrowe środowisko dla mieszkańców miast, wsi i regionów.

Najważniejszymi aktami prawnymi dotyczącymi ochrony środowiska w zakresie dotyczącym odpadów, wprowadzonymi przez Wspólnotę Europejską, są dokumenty dotyczące:

- transgranicznego przemieszczania odpadów – w tym niebezpiecznych,

- postępowania ze zużytymi olejami,
- strategii gospodarki odpadami – ujednoczenie wykazu odpadów,
- bezpiecznej eliminacji polichlorowanych dwu- i trójfenyli,
- bezpiecznej eliminacji odpadów z produkcji dwutlenku tytanu oraz nadzoru i kontroli miejsc zagrożonych tą grupą odpadów,
- odpadów toksycznych i niebezpiecznych,
- opakowań i odpadów opakowaniowych,
- ochrony gleb przed zanieczyszczeniem osadami ściekowymi wykorzystywanymi w rolnictwie,
- ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniami spowodowanymi przez niektóre substancje szkodliwe,
- zapobiegania zanieczyszczeniu powietrza atmosferycznego pochodzącego ze spalania odpadów komunalnych,
- postępowania z bateriami i akumulatorami zawierającymi pewne materiały niebezpieczne.

Dokumenty te mają na celu objęcie daleko idącą kontrolą sposobu gospodarowania ogromnego strumienia odpadów we Wspólnocie. Zadanie niezwykle trudne, długofalowe i kosztowne.

1.2. Prawo polskie

W Polsce akty prawne (i ich projekty), uwzględniające prawo międzynarodowe, zaczęto tworzyć dopiero od 1989 roku. Natomiast dopiero od 1994 r. na mocy uchwały Rady Ministrów wprowadzony został obowiązek dostosowywania tych aktów do prawa Unii Europejskiej. Stało się to konieczne w momencie podjęcia przez Polskę starań o uzyskanie członkostwa we Wspólnocie Krajów Europejskich. Drugim istotnym czynnikiem było zmieniające się w szybkim tempie oblicze środowiska przyrodniczego oraz rosnąca konkurencja na rynku gospodarczym.

W 1994 roku rozpoczął się przegląd polskiego ustawodawstwa z zakresu ochrony środowiska, pod kątem jego zgodności z prawem europejskim, a zakończony został w 1999 r. Przeprowadzony screening pozwolił na wysunięcie dwóch wniosków:

- polskie prawo w zakresie ochrony środowiska naturalnego jest zbieżne z ustawodawstwem obowiązującym w Unii Europejskiej w 80%;
- istotnym problemem jest wypełnienie dyrektyw, które nakładają konieczność uzyskania stanu środowiska będącego standardem w krajach unijnych.

W myśl Dyrektywy Rady 91/156/EEC z 18 marca 1991 r. zobowiązującej kraje członkowskie do ograniczenia transportu odpadów na większe odległości kosztem utworzenia systemu nowoczesnych i ekonomicznie efektywnych instalacji unieszkodliwiania i przerobu odpadów, podjęto w Polsce próbę regulacji gospodarowania odpadami na mocy *ustawy z dnia 27 czerwca 1997 r. o odpadach (Dz.U. nr 96, poz. 592)*. Ustawa ta wprowadziła do polskiego systemu prawnego definicje podstawowych pojęć, nazewnictwo, zasady zapobiegania powstawaniu odpadów lub minimalizacji ich ilości, usuwania z miejsca powstawania i powtórnego wykorzystania lub unieszkodliwiania.

Na uwadze należy jednak mieć to, że tworzony system prawa, jako dzieło niedoskonałej myśli ludzkiej, która uzależniona jest od tradycji danego kraju, będzie skuteczne dopiero wówczas, gdy ta tradycja nie pozwala na łamanie przepisów prawa. Prawo nawet najlepiej przygotowane, lecz nagminnie nie przestrzegane i łamane, niezależnie od przyczyn, nie zapewni skutecznej ochrony. I tak też się stało w przypadku ustawy o odpadach. Utworzona regulacja prawna gospodarowania odpadami była systemem wysoce niezadowolającym, nadal powstawały nadmierne ilości odpadów w wyniku nieracjonalnej gospodarki posiadanymi zasobami. Powstrzymanie wytwarzania nadmiernej ilości odpadów i zwiększenie ich gospodarczego wykorzystania możliwe jest bowiem jedynie poprzez nadanie tej problematyce rangi państwowej, ogólnokrajowej. Ponadto wymaga podjęcia konkretnych działań na wszystkich szczeblach zarządzania państwem, od samorządu lokalnego poprzez władze wojewódzkie i państwowe oraz uświadomienie sobie, że *obowiązek ochrony środowiska spoczywa na każdej jednostce prawnej i fizycznej. Administracja rządowa i samorządowa, tworzące system władzy ekologicznej, są odpowiedzialne za tworzenie warunków do pełnego i społecznie akceptowanego gospodarowania środowiskiem*. Proces ten jest kosztowny, trudny, wymagający wdrożenia nowych, współczesnych technologicznie procesów i kompleksowych rozwiązań metodologicznych. Jednak tylko wówczas spełnione będzie przesłanie, jakie niosą ze sobą terminy:

- **Środowisko** jest to ogół elementów przyrodniczych, w szczególności: powierzchnia ziemi łącznie z glebą, kopaliny, wody, powietrze, świat roślinny i zwierzęcy, a także krajobraz, które znajdują się w naturalnym stanie, jak też przekształconych w wyniku działalności człowieka.
- **Ochrona środowiska naturalnego (przyrodniczego)** polega na takim działaniu (lub zaniechaniu), które umożliwia zachowanie lub przywrócenie przyrodniczej równowagi dynamicznej. Równowaga ta ma zapewnić obecnemu i przyszłym pokoleniom optymalnych warunków życia i rozwoju oraz realizację ich prawa do korzystania ze

wszystkich zasobów środowiska przy zachowaniu jego wartości. Działanie to oparte jest na racjonalnym kształtowaniu środowiska, gospodarowaniu jego naturalnymi zasobami, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, przeciwdziałaniu zanieczyszczeniom i przywracaniu elementów przyrodniczych do stanu wyjściowego.

- **Zachowanie równowagi przyrodniczej** oznacza stan, w którym wszystkie elementy przyrody ożywionej i nieożywionej, relacje pomiędzy poszczególnymi komponentami środowiska, pomiędzy środowiskiem a człowiekiem, pozostają w symbiotycznym oddziaływaniu.
- **Kształtowanie środowiska** polega na takim oddziaływaniu na środowisko, w wyniku którego uzyskuje się zamierzone efekty społeczne i gospodarcze, z jednoczesnym zachowaniem równowagi przyrodniczej umożliwiającej odnawianie się zasobów, z uwzględnieniem estetycznych walorów środowiskowych.
- **Rozwój zrównoważony** jest takim rozwojem społeczno-gospodarczym, który w wyniku zintegrowanych działań społecznych, gospodarczych i politycznych, przy zachowaniu równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, daje równe szanse dostępu do środowiska naturalnego obecnym i przyszłym pokoleniom.
- **Zanieczyszczenie** jest taką substancją, która jest szkodliwa dla zdrowia ludzi i stanu środowiska, powoduje szkody w dobrach materialnych, pogarsza walory estetyczne środowiska, wpływa niekorzystnie na inne sposoby korzystania ze środowiska.

Polityka racjonalnego, zrównoważonego gospodarowania odpadami narusza interesy każdej dziedziny gospodarki. Stworzenie przepisu jednoznacznie chroniącego środowisko przed ich wpływem nastręcza więc wiele trudności, szczególnie w podjęciu decyzji dotyczących szczegółowych zapisów ustawy o sposobach minimalizacji ilości odpadów, recyklingu, metodach ochrony środowiska przed ich wpływem, opłatach za korzystanie ze środowiska, ulgach i odpowiedzialności, a także korzyściach i stratach ekonomicznych.

Ustawa o odpadach z dnia 27 czerwca 1997 r. funkcjonowała do momentu gdy okazało się, że sprawdziły się przewidywania wielu naukowców, iż jej treść nie przystaje do rzeczywistości i że wcale nie prowadzi do minimalizacji i likwidacji odpadów. Nadal z roku na rok rosły góry śmieci tworząc strefę szczególnego zagrożenia środowiskowego. Ustawa nie przystawała także do zaleceń i przepisów Unii Europejskiej, których spełnienie jest podstawowym warunkiem przyjęcia Polski do Wspólnoty Europejskiej. Nastąpił więc moment weryfikacji ustawy poprzez zmianę jej zapisów i przyjęcie założenia, że musi być aktem prawnym dostosowanym do norm i wymogów obowiązujących w Krajach Wspólnoty, czyli musi obejmować działania mające na celu:

- minimalizowanie ilości wytwarzanych odpadów,
- maksymalne wykorzystanie odpadów,
- recykling odpadów,
- wprowadzenie biologicznych metod oczyszczania ścieków.

Wybrane polskie przepisy i regulacje prawne zebrane zostały w Załączniku Nr I do Skryptu.

1.3. Ustawa o odpadach

1 października 2001 r. weszła w życie *Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r (Dz.U. Nr 62, poz. 628)*, która zastąpiła, z tym dniem, ustawę o odpadach z dnia 27 czerwca 1997 r. (Dz.U. Nr 96, poz.592).

Nowa ustawa o odpadach określa zasady postępowania z odpadami w sposób zapewniający ochronę życia i zdrowia ludzi oraz ochronę środowiska zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, a w szczególności zasady zapobiegania powstawaniu odpadów lub ograniczania ilości odpadów i ich negatywnego oddziaływania na środowisko, a także odzysku lub unieszkodliwiania odpadów.

Przepisy ustawy o odpadach stosuje się również do postępowania z masami ziemnymi lub skalnymi, jeżeli są usuwane czy też przemieszczane w związku z realizacją inwestycji lub prowadzeniem eksploatacji kopalni. Należy podkreślić, że zapisy ustawy o odpadach nie naruszają, zapisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. - Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. Nr 27, poz. 96, z późn. zmianami). Zapisy ustawy prawo geologiczne i górnicze mają w całej rozciągłości zastosowanie do działalności polegającej na wydobywaniu kopalni, bezzbiornikowym magazynowaniu substancji w górotworze, składowaniu odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych, a także poszukiwaniu, rozpoznawaniu i wydobywaniu surowców mineralnych znajdujących się w odpadach po robotach górniczych oraz po procesach wzbogacania kopalni.

Ustalenia zawarte w ustawie o odpadach nie dotyczą:

- mas ziemnych lub skalnych usuwanych albo przemieszczanych w związku z realizacją inwestycji lub prowadzeniem eksploatacji kopalni wraz z ich przerabianiem, jeżeli miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, decyzja o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu lub o pozwoleniu na budowę określają warunki i sposób ich zagospodarowania;
- mas ziemnych pochodzących z pogłębiania akwenów morskich w związku z utrzymaniem infrastruktury zapewniającej dostęp do portów, a także z pogłębiania zbiorników

wodnych, stawów, cieków naturalnych, kanałów i rowów w związku z utrzymaniem i regulacją wód, stanowiących niezanieczyszczony urobek, jeżeli miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, decyzja o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu lub pozwolenie wodnoprawne określają warunki i sposób ich zagospodarowania,

- odpadów promieniotwórczych w rozumieniu przepisów prawa atomowego;
- gazów i pyłów wprowadzanych do powietrza;
- ścieków w rozumieniu przepisów o ochronie środowiska,
- odchodów zwierząt, obornika, gnojówki i gnojowicy przeznaczonych do rolniczego wykorzystania w sposób i na zasadach określonych w przepisach o nawozach i nawożeniu,
- substancji wykorzystywanych jako czynniki chłodnicze przeznaczone do regeneracji.

Zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej przyjęto w ustawie o odpadach takie kierunki gospodarowania odpadami, które oparte na strategicznym zarządzaniu (planowanie, organizowanie, motywowanie i kontrolowanie działań) będą:

1. zapobiegały powstawaniu odpadów, ograniczały ich ilość oraz ich negatywne oddziaływanie na środowisko w procesie wytwarzania produktów, podczas użytkowania i po zakończeniu wykorzystania;
2. zapewniały odzysk odpadów w przypadku ich wytworzenia,
3. zapewniały unieszkodliwianie odpadów w przypadku ich wytworzenia i braku możliwości odzysku,
4. prowadziły do takich technik produkcyjnych, które będą zapobiegały powstawaniu odpadów, lub prowadziły do utrzymania ich ilości na możliwie najniższym poziomie,
5. zapewniały wykonanie powyższych czynności zgodnie z zasadami ochrony środowiska, zdrowia i życia ludzi.

Powinno się mieć na uwadze, że funkcjonowanie określonego ustawodawstwa to dopiero początek drogi w kierunku ochrony środowiska i jego zasobów. Na drodze tej najważniejsza jest świadomość ekologiczna całego społeczeństwa, poczynając od społeczności lokalnej, poprzez samorządy na organach rządowych kończąc i zagrożeń płynących ze strony indywidualnego gospodarstwa domowego, przedsiębiorstwa, miasta, wsi, czyli ogólnie mówiąc każdej organizacji społeczno-gospodarczej. Istotne jest również, w jakim stopniu prawo państwowe, regionalne i lokalne będzie egzekwowane, a stworzone ramy prawne będą przestrzegane przez wszystkich, których działanie przyczynia się do degradacji środowiska przyrodniczego. Dla ochrony tego środowiska wszyscy jesteśmy

zobowiązani do ponoszenia kosztów na rzecz zapobiegania jego degradacji oraz kosztów związanych z usuwaniem skutków degradacji.

Wybrane przepisy prawne dotyczące odpadów, budowy składowisk, ochrony środowiska naturalnego ilustruje załącznik nr V do skryptu.

1.4. Utrzymanie czystości i porządku w gminie

Podział administracyjny Polski z dniem 1 stycznia 1999 r. powołał 16 województw jako struktury regionalne, w których funkcjonuje łącznie 308 powiatów i 65 miast na prawach powiatów, 2486 gmin i 870 jednostek osiedleńczych kształtujących miasto. Nad utrzymaniem równomiernej i zrównoważonej gospodarki odpadami na poszczególnych szczeblach struktury administracyjnej czuwa uchwalona przez Sejm Ustawa o odpadach (Dz.U. z dnia 20.06.2001 r., Nr 62, poz. 628) oraz uchwalona w 1996 r. Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. Nr 132, poz. 662).

Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach określa zadania gminy, łącznie z obowiązkami dla właścicieli nieruchomości, w zakresie utrzymania czystości i porządku. *Właścicielami nieruchomości* są współwłaściciele, użytkownicy wieczysti, jednostki organizacyjne i osoby posiadające nieruchomość w zarządzie lub użytkowaniu oraz inne podmioty, które władają nieruchomościami. W przypadku gdy dana nieruchomość zabudowana jest budynkami wielorodzinnymi o ustalonej odrębnej własności poszczególnych lokali, obowiązki, jakie winien wypełnić właściciel nieruchomości, przechodzą na osoby sprawujące zarząd wspólną nieruchomością (wg ustawy z dnia 24.06.1994 r. o własności lokali; Dz.U. Nr 85, poz. 388).

Gmina, jako rządowa jednostka administracyjna, która ma wpływać na sprawność systemu gospodarowania odpadami, zobowiązana jest do utrzymania czystości i porządku. Zadanie to należy do obowiązkowych zadań własnych gmin. Czystość i porządek w gminie utrzymane mogą być poprzez stworzenie sprawnego systemu zarządzania. Sprawny system zarządzania to taki, który jest w stanie stworzyć warunki do wykonywania prac związanych z utrzymaniem czystości i porządku na terenie gminy lub też zapewni wykonanie tych prac przez powołanie stosownych jednostek organizacyjnych. Aby zapewnić czystość i porządek, gmina musi opracować strategiczny plan gospodarowania odpadami na okres co najmniej 10-15 lat w perspektywie przyszłościowej. Strategiczny plan gospodarki odpadami musi być zgodny z polityką ekologiczną państwa a także z planami wyższego szczebla.

Gminny plan gospodarowania odpadami musi zapewniać przede wszystkim:

- selektywną zbiórkę, segregowanie i składowanie odpadów, które mogą być ponownie wykorzystane,
- współpracę z jednostkami organizacyjnymi i osobami podejmującymi zbieranie i zagospodarowywanie tego rodzaju odpadów,
- współpracę z jednostkami organizacyjnymi, które zagospodarowują odpady niebezpieczne wydzielone z odpadów komunalnych,
- budowę, utrzymanie i eksploatację własnych lub wspólnych z innymi gminami składowisk odpadów komunalnych oraz obiektów wykorzystania i unieszkodliwiania odpadów, w tym i grzebowisk oraz miejsc spalania zwłok zwierzęcych i ich części,
- likwidację składowania odpadów w miejscach do tego nie przeznaczonych, czyli tzw. „dzikich wysypisk” oraz skuteczne przeciwdziałanie takim procederom,
- ustawianie koszy ulicznych na odpady w rejonach intensywnego ruchu pieszego,
- organizowanie odbioru odpadów komunalnych z ruchomych urządzeń.

Stworzenie możliwego do realizacji planu w warunkach danej gminy oraz osiągnięcie zamierzonego efektu wymaga znajomości takich elementów środowiska lokalnego, jak:

- charakter zabudowy w gminie,
- aktualny oraz w perspektywie czasowej ustalony stan jakości i ilości wytwarzanych odpadów,
- informacje o wytwarzanych odpadach przemysłowych i niebezpiecznych,
- dotychczasowe doświadczenia w gospodarce odpadami w gminie (analiza skuteczności zbiórki selektywnej, wydzielenie surowców wtórnych i inne),
- prognoza demograficzna (na najbliższe 15-20 lat),
- aktualne i możliwe do uzyskania źródła finansowania,
- osoba lub jednostka, która będzie zagospodarowywała odpady.

Państwowe jednostki administracyjne posiadają w obrębie granic swojej działalności „własnych” mieszkańców. Nie są oni odosobnieni w działaniach swojego samorządu lokalnego, lecz powinni brać czynny udział w życiu gminy. Udział ten to również zainteresowanie podejmowanymi przez samorządy inwestycjami, w tym i z zakresu gospodarki odpadami. Na właścicielach nieruchomości w gminie spoczywają zobowiązania, które nakłada na nich ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminie. Do zobowiązań tych należy konieczność:

- wyposażenia nieruchomości w urządzenia, które służą zbiórce i gromadzeniu odpadów,

- usuwania i unieszkodliwiania odpadów na zasadzie korzystania z usług zakładu należącego do gminnej jednostki organizacyjnej lub podmiotu posiadającego zezwolenie na wykonywanie takich usług.

Wybrane polskie przepisy i regulacje prawne dotyczące spraw związanych z gospodarką odpadami i ochroną środowiska naturalnego ilustruje załącznik nr V do skryptu.

1.5. Gospodarowanie odpadami w gminie

Zagospodarowanie odpadów komunalnych polegające na ich usuwaniu, wykorzystywaniu i unieszkodliwianiu, oprócz gminnych jednostek organizacyjnych mogą prowadzić inne podmioty gospodarcze. W celu wykonania tego zadania muszą one uzyskać zezwolenie na prowadzenie działalności w zakresie usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów na terenie gminy. Aby uzyskać to zezwolenie, podmiot, czyli jednostka organizacyjna lub osoba prywatna, składa wnioski o uzyskanie stosownego zezwolenia. Wniosek powinien zawierać następujące informacje:

- wskazanie podmiotu, który ubiega się o zezwolenie ze wskazaniem jego siedziby i ewentualnych pełnomocników,
- wskazanie obszaru działalności i określenie jej charakteru,
- wskazanie środków technicznych, przy pomocy których zapewnione będzie prawidłowe wykonanie działalności,
- wskazanie, przez jaki czas działalność będzie prowadzona,
- udokumentowaną gotowość zakładu prowadzącego wykorzystanie lub unieszkodliwienie odpadów do ich odbioru
- w przypadku gdy wykorzystanie lub unieszkodliwienie podmiot będzie sam prowadzić, podaje informację o miejscu i stosowanej technologii wykorzystania lub unieszkodliwiania odpadów,
- w przypadku gdy podmiot sam prowadzi działalność wykorzystania lub unieszkodliwiania odpadów, musi udokumentować prawo do terenu, na którym będzie działalność tę prowadził.

Stosowna jednostka administracji państwowej w ramach swoich kompetencji rozpatruje złożone wnioski, wybierając propozycje najbardziej efektywne ekonomicznie i optymalne dla ochrony środowiska naturalnego. Wydane zezwolenie na prowadzenie działalności związanej z usuwaniem, wykorzystaniem lub unieszkodliwianiem odpadów, powinno zawierać informację o:

- podmiocie, któremu udzielono zezwolenia, łącznie z podaniem jego siedziby,

- przedmiocie działania oraz zakresie wykonywanej działalności,
- miejscu unieszkodliwiania odpadów,
- okresie na jaki wydawane jest zezwolenie,
- niezbędnych zabiegach z zakresu ochrony środowiska i ochrony sanitarnej, do wykonania których podmiot jest zobowiązany po zakończeniu działalności,
- obowiązku zawierania umów z właścicielami nieruchomości lub wystawiania dowodów płacenia za składowanie odpadów na składowisku odpadów komunalnych.

Zezwolenie może zawierać także inne wymagania, określone odrębnymi przepisami krajowymi, regionalnymi lub lokalnymi ale zawsze zgodnymi z polityką ekologiczną państwa.

1.6. Międzynarodowy obrót odpadami

Wprowadzenie ostrych przepisów w zakresie gospodarki odpadami, szczególnie niebezpiecznymi, w krajach wysoko rozwiniętych, wpłynęło na próbę ominięcia tych przepisów. Wytwórcy odpadów zaczęli wybierać metody pozbywania się odpadów poprzez ich wysyłanie do krajów, gdzie przepisy ochrony środowiska są mniej rygorystyczne. W ten sposób międzynarodowy obrót odpadami stał się problemem globalnym. Odpady wywożone były za odpłatnością, najczęściej do krajów Trzeciego Świata, ale i niektóre kraje europejskie przyjmowały niebezpieczne transporty. Tam w wyniku niewłaściwego postępowania z odpadami, często składowanymi w warunkach środowiska naturalnego, bez jakichkolwiek zabezpieczeń i zasad prawidłowej gospodarki odpadami, doprowadziły do skażenia i degradacji ekologiczno-społecznej środowiska.

Międzynarodowy obrót odpadami polega na przywozie odpadów z zagranicy na teren danego kraju, na przewozie przez kraj odpadów pochodzących z zagranicy i na wywozie odpadów z danego kraju za granicę. Dla zabezpieczenia się przed takim procederem polskie ustawodawstwo normuje „system międzynarodowego obrotu odpadami”, który reguluje przywozy, przewozy i wywozy odpadów z, przez i do Polski (Dz.U. nr 62, poz.628 z 20.06.2001 r. - Ustawa o odpadach). Mechanizm takiego działania uruchamiany jest jedynie w konkretnie uzasadnionych przypadkach i nigdy nie powinien służyć do zwolnienia konkretnego państwa od ponoszenia odpowiedzialności za utrzymywanie „odpadowego” przemysłu, czy też ukrycia odpadów wytworzonych w nadmiernych ilościach. Ważne jest to szczególnie w przypadku jeżeli dotyczy to *odpadów niebezpiecznych, których import jest zakazany*.

Według ustawy o odpadach z zagranicy można **przywieźć** na terytorium Polski odpady inne niż niebezpieczne po uzyskaniu stosownego zezwolenia, wydanego w drodze decyzji przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (GIOŚ). Zezwolenie takie możliwe jest do uzyskania jedynie na podstawie złożonego wniosku, który informuje o:

- właściwościach fizycznych i chemicznych odpadów przywożonych,
- ilości tych odpadów,
- miejscu ich odzysku,
- sposobie gospodarowania przywiezionymi odpadami,
- stosowanej technologii ich odzysku,
- sposobie oddziaływania odpadów na środowisko,
- trasie przywozu, rodzaju transportu i zabezpieczenia odpadów,
- wytwórcy odpadów z podaniem adresu,
- uzasadnionej konieczności przywiezienia odpadów.

Ponadto muszą wystąpić łącznie takie okoliczności, jak:

1. odpady przeznaczone są do odzysku w kraju lub za granicą (za wyjątkiem wykorzystania ich jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii oraz do rozproszania na powierzchni ziemi, w celu nawożenia lub ulepszenia gleby, czy jej rekultywacji);
2. w kraju nie występują odpady nadające się do równorzędnego odzysku lub występują w zbyt małej ilości;
3. odpady przywiezione, czy też metoda odzysku z nich surowców wtórnych, nie spowoduje wzrostu zagrożenia dla środowiska, a także nie będzie przyczyną zwiększenia masy składowanych odpadów.

Zezwolenie na przywóz odpadów wydawane jest na czas określony, nie dłuższy niż 5 lat. Zawiera ono informację o przywożącym odpady, rodzaju i ilości przywożonych odpadów, czasie, na jaki zezwolenie jest udzielone, miejscu odzysku odpadów, sposobie gospodarowania przywiezionymi odpadami, sposobie postępowania z odpadami powstającymi w procesie odzysku, trasie przywozu odpadów, rodzaju transportu i opakowaniu odpadów, ewentualnych innych wymaganiach związanych z przywożonymi odpadami.

Pomimo zakazu przywozu odpadów niebezpiecznych na terytorium Polski, ustawa o odpadach dopuszcza do takiej możliwości za wyłączeniem zezwoleniem GIOŚ. W tym przypadku przywóz odpadów niebezpiecznych uzależniony jest od rodzaju odpadów dopuszczonych do przywozu z zagranicy na podstawie stosownego rozporządzenia.

Dokument zezwalający na taki proceder musi określać szczegółowo okres, w jakim odpady będą i mogą być przywiezione oraz ich ilość.

Główny Inspektor Ochrony Środowiska upoważniony jest także do wydania zezwolenia na **wywóz odpadów** niebezpiecznych za granicę z terytorium Polski. Stosowne zezwolenie może być wydane w przypadku bezpiecznego dla środowiska sposobu gospodarowania odpadami za granicą i wyrażenia zgody przez władze danego państwa na przywóz lub przewóz odpadów na lub przez ich terytorium. Aby odpady można było wywieźć za granicę, podmiot musi złożyć wniosek, który zawierać powinien:

- opis wywożonych odpadów z podaniem ich właściwości fizycznych i chemicznych,
- opis sposobu wytworzenia odpadów,
- opis zasad obchodzenia się z odpadami,
- ilość wywożonych odpadów,
- opis trasy wywozu, środków transportu i opakowania odpadów,
- wskazanie miejsca przekazania odpadów,
- dane identyfikacyjne odbierającego odpady,
- sposób gospodarowania odpadami wywiezionymi za granicę,
- uzasadnienie konieczności wywozu odpadów.

Zezwolenie na wywóz odpadów wydawane jest również na czas określony i zawiera informację o wywożącym odpady, rodzaju i ilości wywożonych odpadów, czasie, na jaki zezwolenie jest udzielone, danych identyfikacyjnych odbierającego odpady, sposobie gospodarowania odpadami za granicą, trasie wywozu, rodzaju transportu, sposobie opakowania, ewentualnych innych wymaganiach dotyczących wywozu odpadów.

Przewóz odpadów niebezpiecznych przez terytorium Polski również wymaga zezwolenia Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Zezwolenie na przewóz odpadów zawiera informacje dotyczące przewożącego odpady, opisu odpadów, ich właściwości fizycznych i chemicznych, sposobu ich wytwarzania, wymagań w zakresie obchodzenia się z odpadami, ilości i rodzaju odpadów, trasy przewozu, rodzaju transportu i opakowania, ubezpieczenia transportu, wskazania odbiorcy z podaniem jego adresu. Ponadto zawiera informacje o miejscu odzysku lub unieszkodliwienia i sposobie gospodarowania odpadami za granicą, czasie, na jaki zezwolenie zostało wydane. Podmiot jest zobowiązany również do informowania o rzeczywistej ilości odpadów przewiezionych w określonym czasie.

Każde z wymienionych zezwoleń mogą zostać cofnięte przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, jeżeli przywozący, wywozący i przewożący odpady nie przestrzegają zawartych w zezwoleniu szczegółowych ustaleń i warunków.

2. PODZIAŁ ODPADÓW

W powszechnym stosowaniu przyjmuje się *ogólny podział odpadów*, który dzieląc odpady ze względu na źródło powstawania, wyróżnia:

- **Odpady przemysłowe**, czyli odpady pochodzące z działalności gospodarczej wszystkich gałęzi przemysłu państwowego i prywatnego, w tym odpady pochodzące z rzemiosła, stosującego różnorodne techniki i procesy technologiczne, odpady przetwórcze i wydobywcze z produktów i surowców gospodarczo wykorzystywanych.
- **Odpady komunalne** (w tym komunalnopodobne), czyli odpady pochodzące z indywidualnych gospodarstw domowych, odpady pochodzące z infrastruktury miejskiej i wiejskiej, z ulic, placów i jednostek osiedleńczych, a także odpady ciekłe powstające z wymienionych elementów.
- **Odpady niebezpieczne**, czyli odpady, które w wyniku bezpośredniego lub pośredniego oddziaływania na organizmy żywe mogą wywołać negatywne skutki natychmiast lub po pewnym czasie, spowodowane przez substancje agresywne w nich zawarte. Pochodzą one z sektora medycznego i weterynaryjnego (np. igły, strzykawki, tkanki pooperacyjne), sektora rolniczego (np. przeterminowane środki ochrony roślin), sektora przemysłowego (np. gleba skażona substancjami ropopochodnymi, oczyszczalnie ścieków), sektora transportowego (np. metale ciężkie w glebie) i sektora energetycznego (np. skażenia promieniotwórcze).
- **Ścieki**, czyli wprowadzane do wód, ziemi i urządzeń kanalizacyjnych:
 - wody zużyte do celów bytowych i gospodarczych,
 - wody pochodzące z odwadniania zakładów górniczych z wyłączeniem wód pierwszej i drugiej klasy czystości,
 - wody skażone promieniotwórczo,
 - ciekłe odchody zwierzęce,
 - wody opadowe pochodzące z terenów zanieczyszczonych, w tym z centrów miast, terenów przemysłowych, składowych, baz transportowych i dróg o dużym natężeniu ruchu łącznie z parkingami.

Ustawa o odpadach (Dz. U. z 27 kwietnia 2001 r., Nr 62, poz. 628) podaje bardziej szczegółowy podział odpadów, który oparty jest na ich pochodzeniu i możliwym sposobie oddziaływania. Według tego podziału wyróżnia się:

- **Odpady komunalne**, czyli odpady powstające w gospodarstwach domowych oraz nie zawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter i skład są podobne do odpadów domowych.

- **Komunalne osady ściekowe**, czyli osady z komór fermentacyjnych i innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz ścieków o zbliżonym składzie.
- **Odpady medyczne**, czyli odpady powstające w wyniku udzielanych świadczeń zdrowotnych i prowadzonych badań i doświadczeń naukowych w zakresie medycyny.
- **Odpady obojętne**, czyli odpady nie ulegające istotnym przemianom fizycznym, chemicznym lub biologicznym, nie są rozpuszczalne, nie wchodzi w reakcje fizyczne i chemiczne, nie ulegają biodegradacji, nie powodują zanieczyszczenia środowiska lub zagrożenia zdrowia i życia ludzi, nie wpływają niekorzystnie na materię, z którą są w kontakcie, nie stanowią zagrożenia dla wód powierzchniowych i podziemnych, gleby i atmosfery.
- **Odpady ulegające biodegradacji**, czyli odpady, które ulegają naturalnemu rozkładowi (tlenowemu i beztlenowemu) przy udziale mikroorganizmów.
- **Odpady weterynaryjne**, czyli odpady które powstają w wyniku udzielonych świadczeń leczniczych zwierząt, usług weterynaryjnych i prowadzonych badań naukowych oraz doświadczeń na zwierzętach.

Ustawa podaje następującą definicję odpadów: **Odpady oznaczają każdą substancję lub przedmiot należący do jednej z kategorii, które zostały określone w załącznikach do ustawy, a których pozbywa się, zamierza się pozbyć lub jest zobowiązany do ich pozbycia się – posiadacz odpadów.**

Do wymienionych w definicji załączników należą:

- Załącznik nr 1: „Kategorie odpadów” (załącznik Nr I do skryptu);
- Załącznik nr 2: „Kategorie lub rodzaje odpadów niebezpiecznych” - odpady wymienione są według ich charakteru lub działalności, wskutek której powstały (załącznik Nr II do skryptu).

Ponieważ w różnych działach przemysłu powstają odpady indywidualne dla danego typu technologii, dlatego konieczne było dokonanie klasyfikacji odpadów na grupy i podgrupy. **Klasyfikacja odpadów** określa grupy, podgrupy i rodzaje odpadów oraz wskazuje, które odpady zalicza się do odpadów niebezpiecznych. Zawarta jest ona w *rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz.1206)*. Katalog odpadów dzieli je na 20 grup, w zależności od źródeł ich powstawania i przypisuje im sześciocyfrowy kod określający rodzaj odpadu. Odpady niebezpieczne wyróżnione są symbolem gwiazdki (*) przy kodzie rodzaju odpadów.

Polska klasyfikacja odpadów dokonana została w oparciu o europejską klasyfikację odpadów, która stanowi podstawowy akt prawny wszystkich późniejszych klasyfikacji państw

Wspólnoty Europejskiej oraz na podstawie kategorii i rodzajów odpadów zawartych w załącznikach nr 1 i 2 do ustawy o odpadach.

W polskim Katalogu odpadów za kryteria kwalifikacyjne przyjęto:

- pochodzenie odpadów (źródło powstania),
- rodzaj surowca, z którego odpad powstaje,
- stan skupienia odpadu (stały, ciekły, gazowy),
- możliwość jego wykorzystania, czyli przydatność,
- niebezpieczeństwa, jakie stwarza dla środowiska (toksyczność, drogi oddziaływania na organizmy żywe, możliwość oddziaływania na drodze chemicznej i bakteriologicznej, łatwość zapłonu, wybuchowość itp.), w tym:
 - odpady wywołujące zakażenie (zawierające ustroje chorobotwórcze),
 - odpady wywołujące skażenie (substancje promieniotwórcze, tzw. radionuklidy),
- zawartość substancji organicznej (ulegającej biodegradacji).

2.1. Ogólna charakterystyka odpadów komunalnych

Odpady komunalne są to substancje powstające w gospodarstwach domowych, a także substancje niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych ich wytwórców, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych. Są to więc odpady stałe i ciekłe (płynne) powstające w indywidualnych gospodarstwach domowych, w obiektach użyteczności publicznej i obsługi ludności. Będą to także nieczystości gromadzone w zbiornikach bezodpływowych, będą to również porzucone wraki pojazdów mechanicznych oraz wszelkie odpady uliczne organiczne i nieorganiczne np. pochodzące z pielęgnacji terenów zieleni miejskiej, parków, skwerów, zieleńców, cmentarzy). Natomiast do odpadów komunalnych nie będą należały odpady z zakładów opieki medycznej: zdrowotnej i weterynaryjnej, które należą do grupy odpadów niebezpiecznych.

Odpady komunalne stałe są odpadami stwarzającymi największą trudność w ich utylizacji z uwagi na ich zróżnicowany skład ilościowy, jakościowy i rodzajowy. Stanowią one mieszaninę odpadów organicznych i odpadów nieorganicznych, która uwarunkowana jest położeniem geograficznym, stopniem urbanizacji miast i wsi, a także zmiennością klimatyczną w ciągu roku.

Strumień odpadów komunalnych, na który składa się rodzaj odpadów, ich ilość i jakość, zależy od bardzo wielu czynników. Do podstawowych należą: wielkość aglomeracji miejskiej, jej kultura organizacyjna i stopień urbanizacji, wielkość i typ zabudowy

mieszkaniowej, stopień wyposażenia mieszkań w podstawowe urządzenia komunalne, ilość i zamożność mieszkańców, zmienność demograficzna, styl życia i jego zmienność sezonowa. Istotnymi czynnikami są także: wielkość i typ występujących na danym terenie jednostek gospodarczo-przemysłowych, wielkość i szybkość postępu cywilizacyjnego (nauki i techniki). Odpady pochodzą z pewnego określonego ściśle miejsca, które nazywa się ich „źródłem”. Na podstawie źródła odpadów, ich ilości i składu ocenia się wielkość jednostkowego strumienia odpadów z danej aglomeracji a także sposób ich zagospodarowania. Na podstawie ilości nagromadzonych odpadów określa się **wskaźnik nagromadzenia odpadów** na mieszkańca w ciągu roku (tabela 1).

Tabela 1. Odpady komunalne wytwarzane na głowę jednego mieszkańca w różnych krajach (B.J.Alloway, D.C.Ayres, 1999)

Kraj	Rok około 1975	Rok 1980	Rok około 1985	Późne lata osiemdziesiąte
	w kg/osobę	w kg/osobę	w kg/osobę	w kg/osobę
Ameryka Płn.	633	687	734	826
Japonia	341	35	344	394
OECD (Europa)	277	323	346	336
OECD (wszystkie państwa)	407	436	493	513

W Polsce jeden mieszkaniec wytwarza średnio około 1 kg odpadów dziennie. Skład ich jest bardzo zróżnicowany, a ich struktura w skali kraju charakteryzuje się:

- największą ilością materiałów organicznych – 37,7% (żywność, śmieci podwórkowe, drewno i materiały drewnopodobne)
- znacznym udziałem odpadów mineralnych, łatwych do odzyskania i zagospodarowania – 20,1% (metale, szkło, zużyte sprzęty)
- stosunkowo niewielką ilością tworzyw sztucznych – 9,9%;
- zbliżonym udziałem makulatury i papieru – 9,4%;
- najmniejszym udziałem tekstyliów – 3,5 %,
- wysoką zawartością pozostałych grup odpadów, w tym odpady budowlane, guma, część odpadów niebezpiecznych – 19,4 %.

Badania prowadzone w różnych regionach kraju i na różnych składowiskach wykazują duże zróżnicowanie w strumieniu odpadów, które zależy od:

- regionu w kraju, gdzie odpady dużych miast i małych miasteczek znacznie się różnią;
- typu zabudowy w poszczególnych miastach regionu;
- stopnia prowadzenia zorganizowanej gospodarki odpadami,
- pory roku wpływającej na stopień ogrzewania i wegetację roślin,

- natężenia ruchu turystycznego i typu jego organizacji (zorganizowany wypoczynek lub nie zorganizowany),
- bliskości ważnych tras komunikacyjnych.

Prognoza zmian w nagromadzeniu odpadów w Polsce na lata 1997-2020 przewiduje wzrost ilości powstających odpadów komunalnych (tabela 2). Powodem takiego tempa wzrostu jest postęp cywilizacyjny i gospodarczy kraju, a co za tym idzie wzrost tempa życia jego mieszkańców i dążenie do poprawy warunków życia.

Tabela 2. Prognoza zmian wskaźników nagromadzenia odpadów do 2020 roku (Z.Karaczun, L.G.Indeka, 1999)

Rok	MIASTO			WIEŚ		
	Ludność w mln osób	Wskaźnik w kg/osobę	Ilość w mln ton	Ludność w mln osób	Wskaźnik w kg/osobę	Ilość w mln ton
1997	26,1	370	9,8	12,5	160	2,1
2000	26,5	385	10,3	12,5	210	2,6
2005	28,0	410	11,5	11,4	225	2,6
2010	29,5	450	13,2	10,8	255	2,8
2012	29,9	460	13,8	10,5	255	2,7
2020	31,6	490	15,6	9,1	240	2,2

W wyniku prowadzenia niedbałej i nieodpowiedzialnej polityki gospodarczej i przemysłowej odpady komunalne mogą zostać zanieczyszczone odpadami z sektora przemysłowego, medycznego i weterynaryjnego. Główne zagrożenie dla środowiska, płynące ze strony odpadów komunalnych, często „wzbogaconych” odpadami przemysłowymi, stanowią zawarte w nich metale ciężkie i pierwiastki śladowe (Cd, Zn, Pb, As, Hg, Ag, Au, Co, F, Fe, Cr, Cu, Ni, Mn, V, As, B, Bi i inne). Zagrożenie to wynika z faktu, że od momentu „leżakowania” odpadu, zaczynają zachodzić w nim procesy chemicznego, biochemicznego i mikrobiologicznego rozkładu. W wyniku tych procesów powstają uciążliwe dla środowiska, m.in. siarczany, siarczki, azotany, azotyny, które w szczególny sposób zanieczyszczają grunt, wody powierzchniowe i podziemne oraz atmosferę. Kolejnym, szczególnym, zagrożeniem płynącym ze strony odpadów komunalnych jest ich „wzbogacenie” odpadami z sektora medycznego i weterynaryjnego. Odpady te są biologicznie czynne, bowiem zarażone są mikroorganizmami chorobotwórczymi (bakteriami, wirusami, jajami pasożytów, grzybami), co wpływa na możliwość wystąpienia skażenia bakteriologicznego, czy wirusowego. Ponadto często charakteryzują się własnościami toksycznymi, palnymi czy wybuchowymi, które klasyfikują je, jako odpady niebezpieczne. Trafiają na składowiska odpadów komunalnych z uwagi na nieodpowiedzialnie prowadzona politykę gospodarczo-przemysłową, często z uwagi na brak wiedzy specjalistycznej z zakresu toksykologii środowiska.

Odpady komunalne są podstawowym źródłem *surowców wtórnych*, które zawracane są do procesu technologicznego. Możliwość takiego ich wykorzystania uzależniona jest od właściwości wyselekcjonowanych typów odpadów, a są to:

- *Odpady organiczne*, które mogą być poddane przetworzeniu metodami biologicznymi i biochemicznymi. Ich obecność wpływa na znaczne oszczędności w wykorzystaniu terenów, jakie są przeznaczane pod lokalizację składowisk. Mogą być spożytkowane do produkcji cennej dla rolnictwa próchnicy, co eliminuje odory i gazy, jakie wydzielają się przy tradycyjnym sposobie ich składowania z innymi rodzajami odpadów. Odpady organiczne stanowią około 35÷50 % ogólnej masy odpadów komunalnych.
- *Odpady mineralne* stanowią znaczną część odpadów komunalnych. Są to najczęściej pozostałości po spalaniu paliw stałych, czyli żużle i popioły wykorzystywane także, po wcześniejszym procesie ich uszlachetniania, w budownictwie drogowym. Odpady mineralne stanowią około 30%÷50% ogólnej masy odpadów komunalnych, a w skrajnych przypadkach stanowić mogą nawet 70 %.
- *Stłuczka szklana* – czysta, zawierająca zanieczyszczenia poniżej 0,5% wagowych, posortowana według rodzajów i kolorów, oczyszczona z nalepek i nakrętek może być zawrócona do procesu technologicznego produkcji szkła, obniżając tym samym koszty jego wytwarzania. Stłuczka zanieczyszczona, o zawartości zanieczyszczeń powyżej 0,5% wagowych, może być zagospodarowana np. w budownictwie jako dodatek do betonu, podsypki drogowej i w innych gałęziach przemysłu. Stłuczka szklana stanowi około 4,6% ogólnej masy odpadów komunalnych.
- *Makulatura* jest najcenniejszym surowcem wtórnym, ze zbytem którego nie ma problemu, pod warunkiem jego wysokiej jakości. Jakość tę uzyskać można w wyniku selektywnej zbiórki i ręcznego sortowania. Produkty gorszej jakości wykorzystane mogą być w procesach kompostowania lub przygotowania brykietów paliwowych. Stanowi ona około 15% ogólnej masy odpadów komunalnych.
- *Odpady opakowaniowe*, obejmują opakowania jedno- i wielokrotnego użytku, z których opakowania jednorazowe są praktycznie nieodzyskiwalne. Wśród opakowań tych dużą grupę stanowią odpady z tworzyw sztucznych, jak politereftalanu etylenu (PET), polietylenu (PE), polipropylenu (PP), polichlorku winylu (PCW), polistyrenu (PS), które ulegają biorozkładowi przez setki lat. Natomiast możliwy odzysk opakowań wielorazowych może wpłynąć na minimalizację ich zużycia. Opakowania stanowią około 15% ogólnej masy odpadów komunalnych.
- *odpady medyczne* stanowią około 0,4% ogólnej masy odpadów komunalnych.

Przybliżony skład morfologiczny odpadów z terenów miast i wsi ilustruje tabela 3.

W Polsce, jak dotychczas, nie prowadzi się na szeroką skalę selekcji i wykorzystania surowców wtórnych z odpadów komunalnych. Ogromną barierą w podejmowaniu działań zmierzających do pozyskania i wykorzystania odpadów jest brak zainteresowania nimi ze strony przemysłu i drobnych przedsiębiorców, co znajduje potwierdzenie w trudnościach zbytu niższych asortymentów: makulatury, stłuczki szklanej, odpadów z tworzyw sztucznych czy gumy. Dlatego niezwykle istotną inwestycją jest stworzenie przedsiębiorstw wykorzystujących pozyskane surowce wtórne. Wpływa to na uniezależnienie się w maksymalnym stopniu od wahań popytu i podaży na rynkach zbytu.

Tabela 3. Skład morfologiczny odpadów komunalnych z terenów miast i wsi (Z. Karaczun, L. G. Indeka, 1999)

Rodzaj odpadu	Miasto	Wieś
Biomasa	23,7 ÷ 37,2 %	0,0 ÷ 7,3 %
Papier	17,9 ÷ 27,0 %	0,5 ÷ 8,5 %
Tworzywa sztuczne	4,6 ÷ 8,2 %	0,5 ÷ 2,5 %
Szkło	8,3 ÷ 25,5 %	3,5 ÷ 18,5 %
Metale	3,7 ÷ 10,0 %	2,0 ÷ 0,5 %

Dane przedstawione w tabeli 3 przedstawiają tę ilość odpadów, która jest ewidencjonowana i śledzone są jej losy. Istotnym problemem są odpady, których losów nie jesteśmy w stanie prześledzić, a które stanowią niezwykle niebezpieczną grupę odpadów na tak zwanych „dzikich wysypiskach” (nielegalnych składowiskach śmieci).

2.2. Ogólna charakterystyka odpadów przemysłowych

Odpady przemysłowe stanowią odrębną grupę niezwykle zróżnicowanych odpadów tak, jak zróżnicowany jest przemysł, stosowane w nim technologie i procesy wytwórcze oraz substancje chemiczne. Ilość wytwarzanych odpadów przemysłowych zależy od stopnia stosowania przestarzałych, materiało- i energooszczędnych technologii, sposobów i ilości wykorzystania odpadów przez ich producenta i stopnia ich unieszkodliwienia.

Do największych i najgroźniejszych producentów odpadów przemysłowych należy przemysł górniczy, energetyczny, hutniczy, koksowniczy, metalurgiczny, cementowy i chemiczny. Są to największe i najdynamiczniej rozwijające się gałęzie przemysłu wytwarzające grupę środków toksycznych (mutagennych i kancerogennych) przekraczających liczbę 100 tysięcy. Poszczególne gałęzie przemysłu są źródłem odpadów poprocesowych, z

których najgroźniejsze i najtrudniejsze do unieszkodliwienia są żużle, popioły lotne i pyły toksyczne, zawierające metale ciężkie i pierwiastki śladowe. Przemysłowe gazy odlotowe są źródłem dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, tlenków siarki, metanu, tlenków azotu, związków fluoru, cyjanków, związków metali ciężkich, substancji smolistych.

Przemysł ropy naftowej i siarki jest źródłem zanieczyszczenia związkami węglowodorowymi, siarki i ołowiu. Zanieczyszczenie jest następstwem parowania paliw podczas ich przerobu, magazynowania i dystrybucji, spalania paliw, wycieku z nieszczelnych urządzeń technologicznych, awarii technologicznych i transportowych. Związki chloroorganiczne, insektycydy chloropochodne, fosforoorganiczne i karbaminianowe, cyjanki, siarczki itp. wykazują dużą trwałość wiązań chemicznych. Wiele z tych związków w środowisku naturalnym ulega migracji, podlega adsorpcji na cząstkach gleby, cząstkach pyłów zawieszonych w powietrzu, dostając się do organizmów żywych bierze udział w łańcuchu pokarmowym (troficznym). Ujemne skutki tej grupy gospodarki przemysłowej ujawniają się z opóźnieniem, odbijając się przede wszystkim na zdrowiu człowieka, florze i faunie środowiska naturalnego.

Odpady przemysłowe powstają również w przemyśle rolno-spożywczym, na który składają się m.in. takie gałęzie jak przemysł rolny, zwierzęcy, mięsny, owocowo-warzywny. Przemysł rolny jest wytwórcą takich odpadów jak nawozy sztuczne, zawierające składniki pokarmowe potrzebne roślinom, a które zawierają azot, fosfor, potas lub ich połączenia. Nadmierne stosowanie tych związków wpływa na zanieczyszczenie środowiska naturalnego i trudny do unieszkodliwienia odpad, w przypadku nadmiernych ich ilości lub przeterminowania sztucznego nawozu mineralnego. Innym czynnikiem są pestycydy, stosowane do zwalczania szkodników w rolnictwie. Są to chemiczne i bakteriologiczne środki ochrony, które w nadmiernych ilościach lub po przeterminowaniu stanowią zagrożenia dla ludzi i środowiska. Różnorodność pestycydów obrazuje ich zastosowanie do zwalczania owadów, chwastów, grzybów, ślimaków, nicieni, roztoczy, bakterii, gryzoni, regulowania wzrostu roślin, wabienia owadów, gryzoni i innych szkodników, odstraszania szkodników. Przemysł zwierzęcy wpływa na wytwarzanie znacznych ilości odpadów z ferm zwierzęcych bukatów, krów mlecznych, tuczu przemysłowego, kurników. Odchody zwierzęce stały się poważnym źródłem zanieczyszczenia ze strony obornika, gnojowicy i gnojówki, które zawierają azot azotanowy, fosforany, bakterie coli typu kałowego. Przemysł mięsny jest wytwórcą pozostałości skór, farszu, tłuszczów zwierzęcych, wywarów z gotowanych surowców. Ponadto powstają tłuszcze kanałowe, wytrącone osady ściekowe, związki odorotwórcze powstające podczas wędzenia, parzenia itp.

Poważną gałąź przemysłu rolno-spożywczego stanowi przetwórstwo owoców i warzyw. Odpady pochodzące z tego działu zawierają znaczne ilości odpadów organicznych: węglowodany, białka, substancje mineralne, związki pektynowe, celulozę, tłuszcze roślinne i woski, substancje barwnikowe i aromatyczne, witaminy, kwasy, aldehydy i alkohole. Szczególnie niebezpieczne są odpady stanowiące odciek kiszonkowy, którym jest mieszanina przefermentowanych soków komórkowych, wody i substancji mineralnych ługowanych z kiszonych roślin. Tak bogaty skład odpadów sprzyja szybkiemu i równie bogatemu rozwojowi drobnoustrojów, dla których stają się pożywką.

Przegląd wybranych gałęzi gospodarki pod kątem wytwarzanych substancji szkodliwych dla środowiska ilustruje tabela 4.

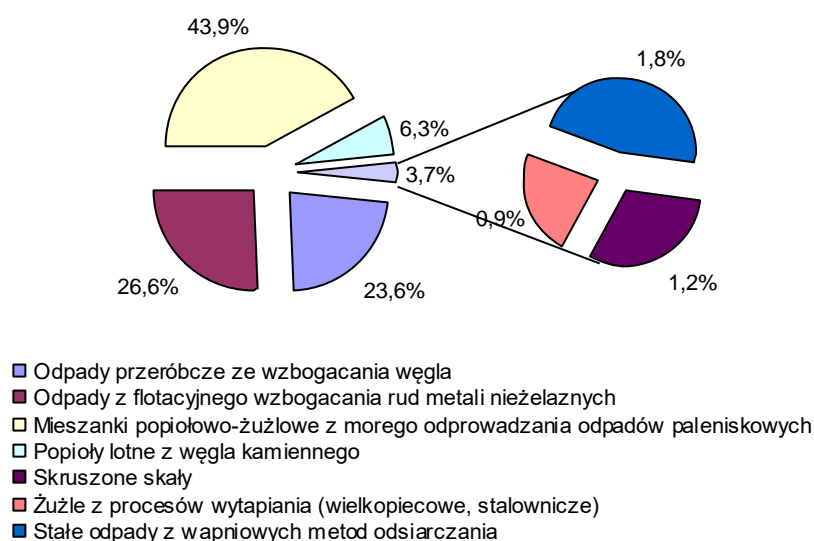
Tabela 4. Substancje odpadowe powstające w wybranych gałęziach przemysłu.

Przemysł:	Nazwa substancji
Ceramiczny i szklarski (wytwórnice porcelany i szkła, szlifiernie szkła, srebrzenie szkła, przerób waty szklanej i włókien mineralnych)	kwasy: fluorowodorowy i siarkowy, siarczany, fluorki, srebro, miedź, nikiel, kobalt, związki fenolowe, formaldehyd, fluorki
Chemiczny (farmaceutyczny, farbiarski, produkcja lakierów na bazie rozpuszczalników, produkcja farb dyspersyjnych, past woskowych, mydlarnie, produkcja środków czystości i piorących, produkcja kosmetyków, produkcja nawozów itp.)	ropuszczalniki, ługi, kwasy, woski, tłuszcze, metale ciężkie, związki chloroorganiczne, biocydy, chlorowane węglowodory, oleje, detergenty, siarczany, azotany, amoniak, fosfor
Tekstylny (przędzalnie, tkalnie, wykańczalnie, farbiarnie i drukarnie)	ługi, kwasy, tłuszcze, siarczany, siarczyny, metale ciężkie, detergenty, chlorowane węglowodory
Skórzany i produkcja klejów	siarczany, kwasy
Drzewny (produkcja węgla drzewnego, dykty, fornirów, płyt pilśniowych, impregnacja drewna)	kwasy, formaldehyd, fenole, amoniak, trudno rozpuszczalne substancje, fenole, rozpuszczalniki, biocydy, chrom ⁺⁶
Papierniczy (drukarnie, produkcja papieru, zakłady fotograficzne i powielarnie)	siarczany, kwasy, rozpuszczalniki, tłuszcze, metale ciężkie, chlorowane węglowodory, srebro, kadm, chrom
Spożywczy (mleczarnie, browary, słodownie, produkcja win, gorzelnie, produkcja napojów orzeźwiających, przetwórstwo owocowo-warzywne, rzeźnie)	kwasy, ługi, rozpuszczalniki, tłuszcze, siarczany, biocydy, oleje
Pralnie	chlorowane węglowodory, siarczany, trój-i czterochloroetylen, rozpuszczalniki, ługi
Myjnie samochodowe, cystern i zbiorników	ropuszczalniki, chlorowane węglowodory, tłuszcze, oleje, biocydy, węglowodory aromatyczne i alifatyczne

Przykłady różnorodności odpadów przemysłowych można mnożyć dalej, jednak chodzi tutaj o naświetlenie, jak szeroki wachlarz stanowią tego typu odpady i jak złożony musi być proces ich zagospodarowania (rysunek 1). W 1999 roku w Polsce wytworzono ogółem około 126,3 mln ton odpadów przemysłowych. Całkowita ilość odpadów przemysłowych, nagromadzonych na koniec 1999 roku na terenach własnych zakładów wynosiła około 2010 mln ton, przy czym badaniami objęto tylko te zakłady, które wytwarzają

w ciągu roku powyżej 1 tysiąca ton odpadów lub które miały już ponad 1 mln ton odpadów nagromadzonych. Podane liczby wskazują jak istotne jest uświadomienie ogromu zagrożeń płynących z potrzeby zaspokajania własnych potrzeb bytowych. Powinna ona iść w parze z potrzebą racjonalnej gospodarki każdą wytworzona grupą odpadów.

Rysunek 1. Odpady przemysłowe nagromadzone na terenach własnych zakładów (stan na koniec 1999 roku)

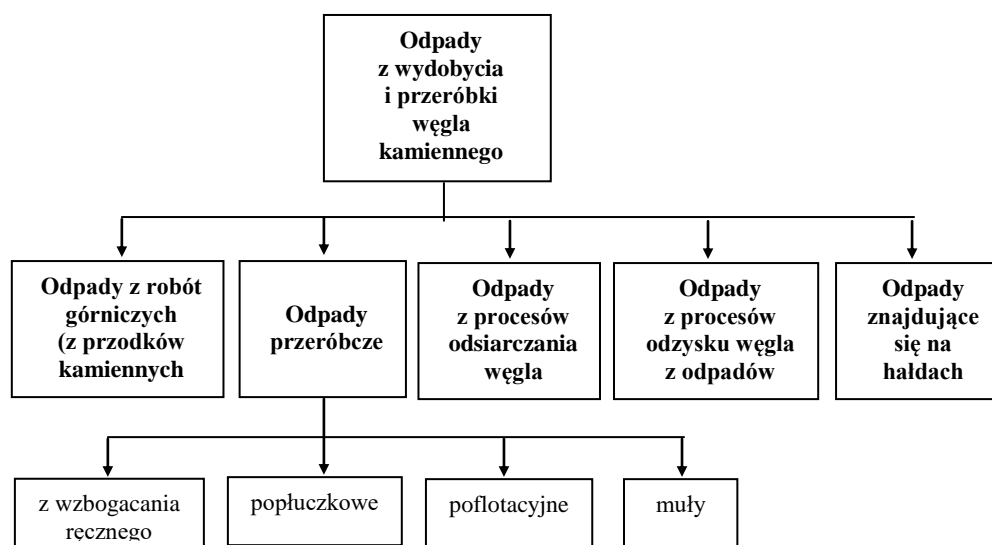


2.2.1. Odpady z górnictwa węgla kamiennego

Rozwój wydobycia węgla kamiennego w okresie powojennym, a zwłaszcza w latach siedemdziesiątych i części lat osiemdziesiątych, doprowadził do wzrostu wydobycia skał płonnych. Z początkiem lat osiemdziesiątych tendencja ta została zmieniona. Jednak nadal znane są inne przyczyny wzrostu wydobycia odpadów. Do aktualnych przyczyn wydobycia odpadów należą:

- wzrost mechanizacji urabiania i ładowania,
- pozyskiwanie kopaliny z coraz trudniejszych warunków geologicznych,
- sięganie po zasoby gorsze jakościowo,
- zwiększenie udziału węgla głębiej wzbogaconego, co przesunęło powstawanie odpadu od użytkownika do producenta.

Podział odpadów z procesu wydobycia węgla pokazano na rysunku 2.



Rysunek 2. Podział odpadów z procesu wydobycia węgla kamiennego (M. Mazurkiewicz, Z. Piotrowski, A. Tajduś, 1997).

Własności tych odpadów można scharakteryzować następująco:

- **Odpady pochodzące bezpośrednio z robót (przodków) kamiennych** charakteryzują się bardzo zróżnicowanym składem mineralogiczno – petrograficznym oraz dużymi wahaniami i rozpiętością w składzie granulometrycznym.
- **Odpady przeróbcze** można podzielić na:
 - ✓ odpady ze wzbogacania ręcznego,
 - ✓ odpady popłuczkowe gruboziarniste,
 - ✓ odpady popłuczkowe oraz ze wzbogacania w polu odśrodkowym- drobnoziarniste,
 - ✓ odpady z flotacji oraz muły drobnoziarniste.

Odpady te charakteryzują się w miarę jednorodnością składu mineralogicznego. Ich właściwości fizykochemiczne również nie wykazują większych wahań. Wynika to z wielokrotnego przemieszczania się urobku na drodze od przodka do zakładu przeróbczego. Odpady wychodzące z kopalń posiadających starsze zakłady przeróbcze mogą zawierać znaczne ilości substancji organicznej (węgla), która może utrudniać procesy utylizacji.

- **Odpady z procesów odsiarczania węgla**, które wydawane są w klasach:
 - ✓ 30 (20) – 2 mm,
 - ✓ 2 – 0,04 mm,
 - ✓ mułu odpadowego.

Dwie ostatnie klasy (lub tylko ostatnia) wydawane są w postaci wodnej zawiesiny o maksymalnych koncentracjach 400 – 600 g/l. W przypadku braku możliwości utylizacji w tej postaci kierowane są do procesu odwadniania na prasy filtracyjne. Od strony mineralogicznej są to głównie łupki zawierające do kilku procent pirytu.

- **Odpady z procesów odzysku węgla** to odpady wytwarzane w trzech przedsiębiorstwach stosujących nieco odmienne technologie (S”S.A. Haldex”, „Gwarex Ryan Poland s. z o.o.” i „Polsko-niemiecka spółka Phoko”). W efekcie ich pracy otrzymuje się łupki odpadowe o granulacji 30 – 3 mm i 3 – 0 mm.
- **Odpady znajdujące się nawałach**, mogą być materiałem „surowym” z ewentualnymi zmianami uziarnienia i zagęszczenia w stosunku do tego, jaki wyszedł z kopalni oraz „przepalonym”, którego pierwotną formą była mieszanina ilowcowo-mułowcowo-piaskowcowa. Wskutek procesów utleniania w wysokich temperaturach własności takich skał zmieniają się. Masa zmniejsza się, zwiększa się udział drobnych frakcji, zwiększa się gęstość.

2.2.2. Odpady z kopalń rud metali kolorowych

Wydobycie rud metali kolorowych w Polsce obejmuje cynk i ołów oraz polimetaliczne rudy miedzi. W kopalniach rud cynku i ołowiu powstają:

- **skała płonna**, będąca mieszaniną skały dolomitowej, wapiennej oraz ilów, żwirów i piasków zmieszanych ze sobą w różnych proporcjach. Charakteryzuje się niestałością (w toku produkcyjnym) składu mineralogicznego i ziarnowego. Maksymalne ziarna dochodzą do 800 mm i więcej. Odpad ten wykorzystywany jest w całości jako surowiec wtórny („część materii lub energii, która nie osiągnęła zamierzonych parametrów, nie stała się produktem głównym lub ubocznym, względnie jest produktem towarzyszącym, ale którą można technicznie przetworzyć na produkty główne lub uboczne”) jako kruszywo;
- **odpady poflotacyjne** powstają w procesie flotacyjnego wzbogacania rudy. Są wodną mieszaniną ostrokrawędzistych ziarn dolomitów o zróżnicowanych wymiarach oraz substancji ilastej. ich gęstość wynosi około $1,3 \text{ Mg/m}^3$, zawartość części stałych około 35%. Gęstość części stałych wynosi około $2,8 \text{ Mg/m}^3$. Podstawowymi składnikami odpadów są: CaO, MgO, Al_2O_3 , SiO_3 , Zn, Pb, Fe.

W kopalniach rud miedzi powstają:

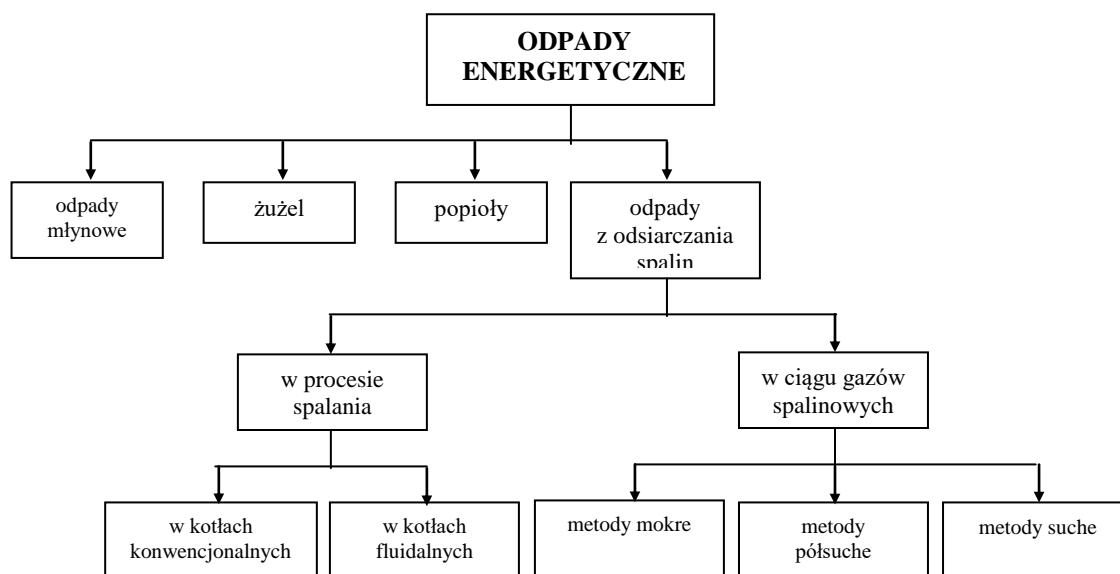
- **kruszywo piaskowcowe** charakteryzuje się ciężarem właściwym około $2,5 \text{ Mg/m}^3$, ciężarem nasypowym około $1,25 \text{ Mg/m}^3$, wytrzymałością na ściskanie około 55 KN/m^2 ;

- **odpady poflotacyjne** o dość zróżnicowanym składzie mineralogiczno-chemicznym, zależnym od rodzaju przerabianej rudy (piaskowcowa, węglanowa, łupkowa), a w związku z tym zastosowanej technologii. Ich gęstość zawarta jest w przedziale 1,2-1,8 Mg/m^3 , zawartość części stałych w litrze wynosić może od 35 g do 1250 g. Ważniejsze związki to: SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , CO_3 .

Oba rodzaje kruszyw są zagospodarowywane w powierzchniowych robotach inżynierskich.

2.2.3. Odpady energetyczne

Odpady energetyczne powstające w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach tworzą obszerną grupę materiałów. generalnie dzielą się na odpady młynowe, popioły, żużle i odpady z procesu odsiarczania spalin. Ich podział został podany na rysunku 3.



Rysunek 3. Podział odpadów energetycznych (M. Mazurkiewicz, Z. Piotrowski, A. Tajduś, 1997).

Odpady młynowe są to produkty separacji, głównie pirytu, jaka ma miejsce w procesie poprzedzającym mielenie. Odzwierciedla to ich skład chemiczny poprzez ponad 35 % zawartość siarki. Ilość pozostałych związków, poza trzykrotnie mniejszą zawartością krzemionki, jest podobna jak w innych odpadach tej grupy. Charakteryzują się ciężarem właściwym około $2 \text{ Mg}/\text{m}^3$, ciężarem objętościowym około $1,2 \text{ Mg}/\text{m}^3$. Odpady te z uwagi na zawartość węgla (ponad 25%) nie nadają się do składowania bez wykonania szczelnej

izolacji, celem przeciwdziałania powstawaniu pożaru. Mogą stanowić surowiec dla pozyskiwania siarki oraz zostać spalone w kotłach fluidalnych z odsiarczaniem spalin.

Popioły lotne są wyprażonymi cząstkami skały płonnej wychwyconymi przez elektrofiltry w ciągu dynamicznego odprowadzania spalin. Z uwagi na zawartość krzemionki, dwutlenku glinu, tlenku wapnia oraz trójtlenku siarki dzielą się na drobne, średnie i grube. Oba podziały, aczkolwiek charakteryzujące materiał, nie są brane pod uwagę w działaniach praktycznych. Ich właściwości są uwzględniane w badaniach koniecznych do opracowania technologii lokowania i dopuszczenia. Własności fizyczne i chemiczne popiołów lotnych pozostają w ścisłym związku z rodzajem spalanego węgla, jego przygotowaniem (stopniem zmielenia) oraz warunkami – temperaturą spalania. Wychwytywane w elektrofiltrach odpady charakteryzują się różną granulacją. Im dalej od komory spalania, tym ich ziarna są mniejsze. Ponieważ jednak w praktyce, w ciągu pneumatycznego ich odbioru ulegają one wymieszaniu, stąd też w dalszej charakterystyce posłużymy się wartościami uśrednionymi. Ziarna popiołów w wysokiej temperaturze ulegają przetopieniu, tworząc bezpostaciowe szkliwo. Przeciętnie w fazie krystalicznej występują następujące połączenia:

- mulit 10-20%,
- kwarc 4-15%,
- kalcyt 0,8-3,4%,
- hematyt 2-9,5%,
- magnetyt 0,9-12%,
- tlenek wapnia 0,6-1,2%,
- tlenek magnezu 2-3%,
- gips 1-2%.

Z metali ciężkich w popiołach lotnych występują: As (do 0,001%), Be (do 0,01%), Cr (do 0,025%), Zn (do 0,01%), P (do 0,01%), Ni (do 0,01%), V (do 0,015%), Cu (do 0,005%). W materiale tym znajdować się też mogą pierwiastki promieniotwórcze, takie jak ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . Problemy wymywania z popiołów substancji chemicznych oraz ich właściwości promieniotwórcze zostaną omówione w dalszej części. Popioły lotne charakteryzują się powierzchnią właściwą od 1000 do 3500 cm^2/g . ich porowatość wewnętrzna (w porach tych oraz na powierzchni mogą być zaabsorbowane gazy spalinowe) wynosi około 0,65 cm^3/g , ciężar właściwy od 1,8 do 2,5 Mg/m^3 , ciężar objętościowy od 0,6 do 0,95 Mg/m^3 .

Bardzo zbliżonymi właściwościami charakteryzują się **pyły dymnicowe**, które są również cząstkami wyłapywanymi w ciągu odprowadzania spalin, z tym, że z kotłów

wyposażonych w cyklony. Zasadniczo różnią się one składem ziarnowym. Z uwagi na mniejszą w stosunku do elektrofiltrów sprawność tych urządzeń pyły dymnicowe zawierają znacznie mniejszą ilość frakcji najdrobniejszej.

Odpadem zaliczanym do omawianej grupy są również *popioły z kotłów fluidalnych*. Ponieważ na ogół zawierają w swym składzie produkty odsiarczania spalin, stąd zostaną omówione z tą grupą.

Kolejną grupą odpadów elektrownianych powstających w komorach spalania są żużle. dzielą się na:

- **żużel topiony** będący substancją mineralną powstającą przy ciekłym odprowadzaniu żużla. Jego ilość w stosunku do całości wypadu odpadu z kotła wynosi 10-15%. W Polsce odpad ten stanowi do 0,8% odpadów paleniskowych. Charakteryzują się składem mineralnym chemicznym zbliżonym do popiołów. Ciężar właściwy żużla topionego wynosi około $2,6 \text{ Mg/m}^3$, a ciężar objętościowy około $1,2 \text{ Mg/m}^3$;
- **żużel granulowany** będący substancją mineralną powstającą przy wydawaniu z komory paleniskowej żużla na sucho. Stanowi on około 30% odpadów powstających w kotle. W Polsce stanowi on około 15% odpadów paleniskowych. Jego skład chemiczny i mineralogiczny jest zbliżony do popiołu lotnego. Jego ciężary wynoszą odpowiednio: właściwy $1,2 \text{ Mg/m}^3$, objętościowy $0,65 \text{ Mg/m}^3$;
- **żużel paleniskowy** stanowi substancję mineralną powstającą po spalaniu w kotłach rusztowych. W Polsce stanowi on około 2,5% odpadów paleniskowych. Ciężary tego odpadu wynoszą odpowiednio: właściwy $2,5 \text{ Mg/m}^3$, objętościowy około $0,5 \text{ mg/m}^3$.

W niektórych elektrowniach za granicą, aby uniknąć trudnych do utylizacji popiołów lotnych, zawraca się je do kotła, gdzie topiąc się i łącząc w ziarna większe, przekształcają się w żużel.

Odrębną grupę odpadów paleniskowych stanowią *odpady z procesu odsiarczania spalin*. Technologie te znane są w świecie od kilkudziesięciu lat. Stąd też występują w praktyce w bardzo wielu odmianach. Z uwagi na własności odpadów dzieli się je na metody suche, półsuche i mokre. Metody suche polegają na wprowadzaniu sorbenta do komory paleniskowej lub kotła z paleniskiem fluidalnym. W tych przypadkach odsiarczanie następuje w procesie spalania. Metody półsuche i mokre polegają na przepuszczaniu gazów spalinowych przez sorbent w postaci jego wodnej zawiesiny. Jeśli w trakcie tego procesu woda odparowuje (uzyskiwany odpad jest w stanie suchym) mówimy o metodzie półsuchej, jeśli nie i odpad przechodzi do zawiesiny, to mamy do czynienia z metodą mokrą. Obie wymienione metody możemy zaliczyć do odsiarczania spalin w ciągu gazów spalinowych.

Nie sposób byłoby szczegółowo omówić własności odpadów z poszczególnych technologii, więc ograniczymy się do ogólnej charakterystyki. I tak:

Odpady z suchej technologii odsiarczania w kotłach konwencjonalnych powstają w wyniku wprowadzenia mączki wapiennej (o powierzchni właściwej wg Bleine'a powyżej $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$) do komory paleniskowej kotła w strefę temperatur $900\text{-}1200^\circ\text{C}$. Tam następuje termiczny rozkład węgla wapniowego z wytworzeniem aktywnego tlenku wapniowego, który następnie wiąże powstałe w kotle tlenki siarki. Produkty procesu z popiołem lotnym przechodzą do ciągu ich odprowadzania. Popiół ten, nie różniąc się zasadniczo właściwościami fizycznymi od popiołu bez tych produktów, charakteryzuje inny skład chemiczny z istotną zawartością siarczanu i tlenku wapniowego (trzy i więcej krotnie). Posiada też istotnie wyższą zasadowość.

Odpady z suchej technologii odsiarczania w kotłach fluidalnych wykazują granulację zbliżoną do popiołów z kotłów pyłowych. Również ich pozostałe właściwości fizyczne są zbliżone. Różnić się mogą zasadniczo własnościami chemicznymi. Różnice te powodowane są stosunkowo niską temperaturą procesu spalania (poniżej 900°C), stosowaniem paliw wysokozapopielonych, często z domieszką innych materiałów, np. śmieci. Stąd też oprócz wspomnianych siarczanu i tlenku wapniowego w materiale mogą być związki krzemu i glinu. Przykładowo: w stosunku do popiołu z produktami odsiarczania w kotle konwencjonalnym zawiera o połowę mniej SiO_2 , a dwu- i więcej krotnie CaO oraz wielokrotnie więcej SO_3 .

Odpady z półsuchej metody odsiarczania spalin powstają poprzez rozpylenie w komorze absorbera, przy współprądowym przepływie gazów spalinowych mleka wapiennego, podczas którego zachodzi proces absorpcji SO_2 . Woda z zawiesiny odparowuje, a przeważająca ilość produktów reakcji w postaci większych cząstek i grubszych frakcji popiołu spada na dno absorbera, skąd jest usuwana. Frakcje drobne i nieprzereagowany czynnik unoszony ze spalinami wyłapywane są w urządzeniach odpylających. Produktami reakcji są siarczany i siarczyny wapnia. One to wpływają na własności popiołu, który zwykle jest odprowadzany wspólnie z produktami reakcji.

Odpady z metody mokrej odsiarczania spalin wychodzą w postaci zawiesiny. Poddane natlenieniu i odwodnieniu w celu zmiany siarczynów i siarczanów wapnia na siarczany przyjmują postać gipsu dwuwodnego ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Gips ten, zwany z niemieckiego „reagipsem”, może być wykorzystany w budownictwie. Woda z zawiesiny stanowi ściek.

2.2.4. Odpady hutnicze

Odpady hutnicze stanowią najliczniejszą jakościowo grupę. Podobnie jak w odpadach górniczych pierwszym kryterium ich podziału jest rodzaj otrzymywanego metalu. Biorąc pod uwagę polskie realia, omawiając je, można ograniczyć się do:

- odpadów z metalurgii żelaza,
- odpadów z metalurgii miedzi,
- odpadów z metalurgii cynku i ołowiu.

Z uwagi na postać dzielą się na: pyły, szlamy i żużle.

2.2.4.1. Odpady z metalurgii żelaza

W krajowym hutnictwie żelaza powstaje rocznie około 5 mln ton odpadów, w ponad pięćdziesięciu odmianach asortymentowych. Do najliczniejszej grupy należą **żużle wielkopieczowe**, stanowiące około 50 % odpadów. Z punktu widzenia możliwości utylizacji należy stwierdzić, że podstawowymi ich składnikami są cztery tlenki: CaO, MgO, SiO₂ i Al₂O₃. Ich zawartość zależy od wsadu komponentów, a także od rodzaju wytapianej surówki. O jego własnościach fizycznych decyduje temperatura i prędkość studzenia. Z uwagi na nie wyróżniamy:

- **żużel krystaliczny** – stosowany jako kruszywo do betonów, surowiec do produkcji wełny mineralnej, jako kruszywo w drogownictwie i budowlach inżynierskich oraz do produkcji kruszywa mikrokrystalicznego;
- **żużel spieniony** zwany pumeksem znajduje zastosowanie jako kruszywo w budownictwie, głównie w betonach lekkich oraz jako materiał termoizolacyjny, czy filtracyjny;
- **żużel granulowany** – wykorzystywany jest przez przemysł cementowy do wytwarzania klinkieru, cementu hutniczego lub po zmieleniu, jako wypełniacz w masach bitumicznych.

Wymienione powyżej odpady żużla są w całości wykorzystywane jako surowce wtórne. Oprócz wymienionych istnieje kilkanaście innych technologii, w których żużel wielkopieczowy może znaleźć zastosowania.

Żużle stalownicze charakteryzują się wysoką zawartością CaO i MgO, znaczną Fe, niewielką SiO₂. Stanowią one około 20% wszystkich odpadów z metalurgii żelaza. W coraz większym stopniu, z uwagi na zawartości tlenków zawracane są do procesu metalurgicznego.

Również pozostałe, niewielkie ilościowo rodzaje żużli hutniczych (z produkcji żelazostopów i grzewcze) wykorzystywane są w bardzo dużym stopniu (prawie 95% w skali kraju).

Podobnie przedstawia się sytuacja z odpadami pylastymi (około 5% odpadów) i ze szlamami. Są one w przeważającej mierze wykorzystywane. Można więc stwierdzić, że odpady z metalurgii żelaza nie stanowią przedmiotu zainteresowań w aspekcie lokowania ich w kopalniach podziemnych.

Inaczej nieco ma się sytuacja z odlewni, z tzw. masami formierskimi. Są one mieszaniną przepalonych piasków kwarcowych z pozostałościami lepiszcza i substancji uplastyczniających czy utwardzających. Owe dodatki (np. żywice fenolowe) stanowią główny powód, że materiały te lokowane są prawie w całości na zwałach.

Występujący w hutach żelaza **gruz poremontowy** może być w całości wykorzystany, stąd też i on nie będzie stanowił przedmiotu naszych zainteresowań.

2.2.4.2. Odpady z metalurgii miedzi

Podstawowym odpadem hutniczym występującym w procesie metalurgicznym wytopu miedzi jest żużel szybowy. Wypad żużla w ciągu roku wynosi około 1600 tys. Mg. W ponad 80% wykorzystywany jest w budownictwie lądowym oraz przetwarzany na materiały ściernie. Głównymi jego składnikami są: SiO₂ (42%), CaO (18%), Fe₂O₃ (12%), MgO (8%). Ciężar właściwy żużla szybowego wynosi około 3,2 Mg/m³, a objętościowy 2,1 Mg/m³. Jest materiałem bardzo twardym (około 8 w skali Mhosa) i kwasoodpornym.

Podobne właściwości fizyko-chemiczne posiadają żużle: granulowany i z pieców Dörschla. Występują w stosunkowo niewielkiej ilości (do 200 tys. Mg/rok) i prawie w całości wykorzystywane są gospodarczo.

2.2.4.3. Odpady z metalurgii cynku i ołowiu

Z uwagi na wieloletnią historię wydobycia rud i wytopu cynku i ołowiu w rejonie Śląsko-Krakowskim na powierzchni składowane są odpady zwane „starymi”. Zaliczamy do nich żużle: *kwaśne*, *„rajmówki”*, *z pieców szybowych i obrotowych* oraz *wypałki pirytowe*. Wszystkie one charakteryzują się bardzo zróżnicowanymi właściwościami, różnym stopniem przeerodowania. W dużym stopniu miejsca składowania tych odpadów uległy samoczynnej czy planowej rekultywacji. Tylko w niewielkim stopniu mogą one stanowić przedmiot zainteresowania w aspekcie wprowadzenia ich pod ziemię.

Aktualnie stosowane procesy technologiczne dla ogniowego wzbogacenia utlenionych surowców i procesy hutnicze produkcji cynku i ołowiu powodują powstawanie odpadów, m.in. **żużli kwaśnych i zasadowych** z procesu ogniowego wzbogacania surowców i odpadów cynkonośnych z pieców przewalowych, w trakcie odparowywania z mieszanki zasadowej cynku zredukowanego koksikiem. Ich gęstość wynosi około 2,0 – 2,4 Mg/m³, ciężar nasypowy dochodzi do 1,2 Mg/m³. Skład ziarnowy jest zróżnicowany, obrazowo podano do na rys. ... w postaci „pola”, na którym mogą leżeć krzywe. Odpad ten zawiera: CaO (26%), MgO (12,3%), SiO₂ (13,3%), Al₂O₃ (3,5%), Fe (11,4%), S (%), Zn (do 1,2%), Pb (do 0,35%). Żużle zasadowe wykorzystywane są w całości w rolnictwie, jako cenny nawóz magnezowo-wapniowy. Żużle kwaśne w pewnej części zużywane mogą być do powierzchniowych robót inżynierskich. Oprócz wymienionych w procesach hutniczych występują jeszcze: **żużle z pieców obrotowo-wahadłowych** oraz **szlamy z oczyszczalni ścieków**. Ich wykorzystanie polega na zwracaniu do procesów technologicznych.

2.2.5. Odpady przemysłu rafineryjnego

W przemyśle naftowym wyróżnia się gałęzie przemysłu o niezależnych od siebie strukturach organizacyjnych, które są reprezentowane przez zakłady:

- poszukiwania ropy naftowej i gazu ziemnego,
- eksploatacji złóż,
- przeróbki ropy naftowej i gazu ziemnego.

Zakończeniem tego ciągu eksploatacyjno-technologicznego jest zespół:

- operacji magazynowo-transportowych w bazach i stacjach paliw płynnych, zlokalizowanych na końcówkach rurociągów (sieci) finalnych, które zasilane są bezpośrednio z rafinerii,
- operacji związanych z ich wydawaniem, które określane są pojęciem *dystrybucji*.

Wszystkie miejsca wydobycia, przetwarzania, magazynowania i dystrybucji produktów ropopochodnych są punktami największego ich nagromadzenia. Są to też punkty największego nagromadzenia odpadów ropopochodnych, które stanowią potencjalne zagrożenie skażeniem gruntów oraz wód powierzchniowych i podziemnych. Skażenie powietrza atmosferycznego następuje w wyniku emisji par tych substancji.

Produkt odpadowy stanowią substancje ropopochodne stałe, ciekłe i gazowe, jak ropa naftowa, wosk ziemny, bituminy, gaz ziemny, oleje, smary, benzyny i emulsje wodno-

olejowe. Są one mieszaniną różnych węglowodorów wielopierścieniowych, którym przypisuje się działanie rakotwórcze, a zawarte w nich metale ciężkie czynią je toksycznymi.

Produkt odpadowy pochodzenia naftowego stanowią także przepracowane oleje mineralne. Są to oleje, które utraciły bezpowrotnie charakterystyczne dla nich właściwości fizyczne i chemiczne określone przez normy dla świeżych olejów mineralnych.

Ustawa o odpadach z 27 kwietnia 2001 r. zawiera między innymi zapis: „oleje odpadowe powinny być w pierwszej kolejności poddawane odzyskowi poprzez regenerację rozumianą, jako proces, w którym oleje bazowe mogą być produkowane przez rafinerie olejów odpadowych, a w szczególności przez usunięcie zanieczyszczeń, produktów utlenienia i dodatków zawartych w tych olejach”. Bezpieczne zagospodarowanie olejów przepracowanych (zbiórka, recykling, przemysłowe wykorzystanie) reguluje także obowiązująca od 1 stycznia 2002 roku ustawa o opłatach produktowych i depozytowych (Dz.U. Nr 63, poz. 639). Regeneracji (odnowie, odzyskowi) może być poddana ta część przepracowanych olejów mineralnych, która nie zawiera substancji pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, emulgatorów, polichlorofenoli oraz rozpuszczalników nie będących produktem ropopochodnym. Część ta może być następnie ponownie wykorzystana, zgodnie z ich pierwotnym przeznaczeniem. Obowiązek wykonania poziomu recyklingu w ilości 15% w stosunku do poziomu 30% odzysku olejów przepracowanych stanowi bardzo niski udział. Szacuje się bowiem, że ze zużywanych obecnie olejów mineralnych około 50% przepracowanych olejów trafia w sposób niekontrolowany do środowiska naturalnego, np. w wyniku niekontrolowanego odprowadzenia do nieprzystosowanej kanalizacji lub do gleby czy z powodu wycieku ze zbiorników.

Substancje ropopochodne ujemnie wpływają na kanalizację wodno-ściekową, utrudniają mechaniczne, chemiczne i biologiczne procesy oczyszczania wód, ścieków oraz gruntów nimi zanieczyszczonych.

Zanieczyszczenia typu węglowodorowego w wodach naturalnych trudno rozkładają się biologicznie. Hamują procesy samooczyszczania się wód oraz niekorzystnie wpływają na ich właściwości fizyko-chemiczne. Zawarte w wodzie substancje pochodzenia naftowego utrudniają ich uzdatnianie, wykluczają ich przydatność do picia, potrzeb gospodarczych, przemysłowych i środowiskowych. Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń o charakterze olejowym w wodach zrzucanych do wód określa Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 1991 roku, które wynoszą:

- ekstrakt eterowy 50 mg/dm^3 , w tym substancje ropopochodne 15 mg/dm^3 ,
- zawiesina ogólna 50 mg/dm^3 .

Skażenie gleby ropą naftową i produktami ropopochodnymi ulega samoistnej degradacji szybko i całkowicie w przypadku dobrze przewietrzanej gleby. Natomiast jeśli zanieczyszczenia sięgają na znaczne głębokości oraz gdy wystąpi silne odtlenienie gleby (np. w wyniku zatkania porów gruntu i zaniku procesów infiltracyjnych) skażenie może zostać utrwalone i migrować może na znaczne odległości, aż do osiągnięcia poziomu cieków wody pitnej. Proces ten stanowi poważne zagrożenie dla flory i fauny glebowej i wodnej.

Substancje o charakterze oleistym mogą występować w gruncie i w wodzie w postaci:

- rozpuszczonej, która jest niewielka, rzędu kilku mg/dm^3 ;
- nierozpuszczonej;
- zemulgowanej tworząc emulsje wodno-olejowe:
 - hydrofobowe - typu woda w oleju, gdzie fazą rozproszoną jest woda a rozpraszającą olej,
 - hydrofilowe - typu olej w wodzie, gdzie fazą rozproszoną jest olej a rozpraszającą woda,
- niezemulgowanej, tworząc zawieszone krople, rozlewiska olejowe, zlepy olejowe z substancjami stałymi (zawiesinami).

Część odpadów ropopochodnych ulega rozkładowi przez bakterie w procesie mikrobiologicznej destrukcji zanieczyszczenia, jednak długołańcuchowe alkany, poliaromatyczne węglowodory oraz mieszaniny asfaltopodobne przez długi czas nie ulegają biologicznemu rozkładowi. Czas ten może sięgać nawet około 200 lat.

Stopień biologicznego rozkładu w środowisku naturalnym (lub sztucznym) zależy od takich czynników, jak skład jakościowy i budowa chemiczna odpadu (zanieczyszczenia), ilość odpadu, rodzaj użytych grup i wielkość kolonii mikroorganizmów destrukcyjnych, temperatura procesu, pH środowiska, ilość substancji pokarmowej i zawartość w niej substancji toksycznej dla drobnoustrojów.

Produktami oczyszczania ścieków przemysłu rafineryjnego są:

- szlamy ropopochodne po czyszczeniu instalacji technologicznych i zbiorników,
- szlamy ropopochodne z oczyszczalni ścieków.

W przemyśle rafineryjnym oprócz odpadów stałych i ciekłych występują odpady gazowe. Są one wynikiem emisji gazowych substancji, która wiąże się z:

- parowaniem paliw płynnych podczas ich dystrybucji, przeładunku i magazynowania,
- spalania paliw płynnych i gazowych w kotłach,
- spalania paliw płynnych i gazowych w silnikach pojazdów samochodowych.

Emisja par węglowodorów do atmosfery towarzyszy wszystkim fazom przeładunku i dystrybucji paliw płynnych. Jej wartość sumaryczną ocenia się na około 60% objętości całkowitej powstałych par i gazów. Głównym źródłem emisji są kolejowe i autocysternowe fronty nalewowo-przeładunkowe benzyn i olejów napędowych, zbiorniki magazynowe benzyn i olejów napędowych, stanowiska spustowo-nalewowe, oczyszczalnie ścieków, etylizatornie, myjnie cystern i inne.

Źródła zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi dzieli się na:

- stacjonarne – punktowe - występujące w miejscach bezpośredniego wydobycia, przerobu, produkcji, przeładunku substancji węglowodorowych,
- awaryjne – przypadkowe – będące wynikiem niespodziewanego wycieku ze zbiorników, instalacji i węzłów technologicznych;
- masowe – ekologiczne - które są konsekwencją katastrof transportowych lądowych i wodnych, awarii rurociągów przesyłowych i dużych węzłów technologicznych.

Kontrolowana i zorganizowana gospodarka odpadami przemysłu rafineryjnego ma na celu radykalne ograniczenie ilości powstających odpadów (stałych, płynnych i gazowych). Cel ten wynika z tempa wzrostu gospodarczego, który wpływa na szybki i znaczny wzrost zużycia m.in. paliw płynnych w wyniku wzrostu ilości pojazdów z silnikami spalinowymi. Odpowiednio prowadzona w tym zakresie gospodarka wpływa na zmniejszenie ilości i częstości występowania zagrożeń ekologicznych w wyniku awarii materiałowo-technologicznych.

Ściśle zlokalizowanymi, typowymi źródłami zagrożeń przemysłu rafineryjnego, są zakłady petrochemiczne, stacje paliw płynnych, stacje transformatorowe, elektrociepłownie wykorzystujące paliwa płynne, zakłady przemysłu maszynowego, zakłady metalurgiczne, zakłady naprawcze taboru kolejowego, warsztaty naprawcze i fabryki samochodowe, myjnie cystern kolejowych i samochodowych. Poważne konsekwencje dla środowiska naturalnego wynikają z procesów otwartego nalewu produktów naftowych do cystern, autosystemów i zbiorników magazynowych oraz brak zabezpieczeń przed przedostawaniem się tych produktów do gleb, wód gruntowych i powietrza atmosferycznego.

Działania proekologiczne w obrocie produktami naftowymi zmierzają do minimalizacji odpadów i emisji par węglowodorów, związków siarki i ołowiu. Tym samym prowadzą do zmniejszenia uciążliwości obiektów wydobywczych, przerobczych, magazynowych, transportowych i dystrybucji wymienionych substancji. Opierają się one na dwóch kierunkach:

1. opracowywanie, promowanie i wprowadzanie na rynek ropopochodnych substancji stałych, płynnych lub gazowych, których użytkowanie wiąże się z minimalizacją powstawania produktów odpadowych i ograniczeniem ich niekorzystnego wpływu na środowisko,
2. wprowadzenie w obiektach wydobywania, przerobu, dystrybucji, magazynowania substancji węglowodorowych (stałych, płynnych i gazowych) rozwiązań, które minimalizują wpływ tych obiektów na środowisko, m.in. poprzez procesy oczyszczania ścieków i neutralizacji powstającego odpadu.

Zabezpieczenie środowiska przed tego typu zanieczyszczeniem lub skażeniem wiąże się z lokalizacją obiektów ich przetwarzania, magazynowania i dystrybucji. Będą to tereny oddalone od głównych cieków wodnych, miejsca, w których zasoby wód wglębnych izolowane są grubymi warstwami nieprzepuszczalnymi, zaś wody powierzchniowe nie stanowią zlewni głównych cieków i zbiorników wodnych. Powierzchnia terenu lokalizacji tych obiektów powinna być wykonana ze szczelnego betonowego podłoża, z którego rozlane produkty naftowe spływają bezpośrednio poprzez kanalizację deszczowo-przemysłową do oczyszczalni ścieków.

Zbiorniki magazynowe paliw płynnych stanowią hermetyczne układy zaopatrzone w instalację do odzysku par benzyn. Do tego celu służą odpowiednie membrany instalowane na zbiornikach z dachem stałym oraz uszczelniające pontony na zbiornikach z dachem pływającym. Zabezpieczenia te zapobiegają przedostawaniu się par benzyn powstających w wyniku wahań temperatury otoczenia zewnętrznego i wewnątrz zbiorników.

Instalacja technologiczna służąca do przeładunku paliw płynnych zawierać powinna wahadła gazowe, które zawracają opary benzyn z układu oddechowego zbiornika stacji paliw do zbiornika cysterny - kolejowej lub autocysterny. Przez skraplanie i ponowne wprowadzanie do układu zamkniętego można w ten sposób odzyskać około 0,5% produktów z całkowitej ilości przeładunkowej.

Ze względów ekologicznych oraz ekonomicznych ograniczenie emisji odbywać się powinno na drodze hermetyzacji wszystkich urządzeń działających w całym systemie produkcji, magazynowania i dystrybucji paliw płynnych i gazowych, także poprzez eliminowanie nieszczelności zaworów, zasuw i armatury kontrolno-pomiarowej.

Program ochrony powietrza atmosferycznego przed odpadami lotnymi, oprócz minimalizacji emisji par benzyn w wyniku hermetyzacji procesów magazynowania i dystrybucji benzyn silnikowych i etylin w bazach paliw, powinien być realizowany poprzez:

- zmianę systemu ogrzewania w kotłowniach w wyniku zastępowania paliw stałych przez paliwa gazowe lub olejowe o niskich zawartościach siarki i nie zawierających ołowiu,
- instalowanie w kotłowniach urządzeń oczyszczających gazy spalinowe.

Bezpieczeństwo rurociągowego transportu węglowodorów uzyskuje się poprzez zintegrowany system organizacyjno-techniczny. Obejmuje on kolejno następujące po sobie etapy oparte na szczegółowych normach i przepisach technicznych. Etapy te dotyczą projektowania, budowy, użytkowania, naprawy i monitoringu sieci rurociągów. Monitoring stanowi tutaj istotny element, bowiem właściwie i odpowiedzialnie prowadzony zapobiega awariom ekologicznym. Awarie mogą wystąpić wskutek oddziaływania czynników środowiska wewnętrznego i zewnętrznego. Środowisko wewnętrzne to rodzaj materiału, z którego wykonany jest rurociąg, ciśnienie w nim panujące, rodzaj i właściwości przesyłanej substancji. Środowisko zewnętrzne obejmuje ruchy podłoża gruntowego, defekty materiałowe, korozję.

Spośród wielkiej różnorodności produktów ropopochodnych unieszkodliwianiu poddawane są te substancje, które nie mogą być podane procesowi regeneracji. Produkty te poddawane są w pierwszej kolejności neutralizacji do produktów obojętnych dla środowiska naturalnego, np. przykład w procesie spalania, zgazowania lub termicznego przetworzenia na paliwo gazowe. Gdy żadna z wymienionych metod jest niemożliwa do wykonania odpady są składowane.

2.3. Ogólna charakterystyka odpadów niebezpiecznych

Odpady niebezpieczne stanowią trzecią grupę odpadów, wyodrębnioną z grupy odpadów przemysłowych, ze względu na swoje pochodzenie, skład chemiczny, biologiczny i inne właściwości, które stanowią zagrożenie dla życia lub zdrowia ludzi i środowiska naturalnego. Stanowią także wyodrębnioną listę odpadów niebezpiecznych w polskim „Katalogu odpadów” (Dz.U. Nr 112, poz.1206).

Odpady niebezpieczne są wytworem usług medycznych, weterynaryjnych i transportowych, placówek naukowo-badawczych, ale główny ich wytwórca to przemysł i jego gałęzie: ciężki, lekki, rolno-spożywczy itd. Aby odpad znalazł się w grupie odpadów niebezpiecznych, musi charakteryzować się określonymi cechami. Podstawowe cechy, które określają odpad, jako niebezpieczny to:

- *palność*, czyli podatność na samozapalenie się, przy czym proces palenia przebiega intensywnie, gwałtownie i trwale;
- *wybuchowość (reaktywność)*, czyli zdolność do szybkiego wchodzenia w reakcje chemiczne z innymi substancjami, z którymi jest w kontakcie, wydzielania gazów toksycznych, wybuchowości, zdolność do samopodtrzymywania reakcji chemicznych oraz długi czas życia;
- *toksyczność*, czyli zdolność do powolnego ale długotrwałego wchodzenia w reakcje chemiczne z innymi substancjami, z którymi jest w kontakcie, wydzielania gazów toksycznych a także do wybuchowości, ponadto może powodować ostre lub chroniczne zagrożenie zdrowia a nawet śmierć w przypadku przeniknięcia do żywego organizmu;
- *korozyjność*, czyli zdolność do korozyjnego (niszczącego) oddziaływania na materiały, z którymi jest w kontakcie.

Odpady niebezpieczne wyróżniają się ponadto właściwościami:

- *żrącymi*, które wywołują stany zapalne skóry, błon śluzowych i oczu lub następuje zniszczenie żywych tkanek,
- *neurotoksycznymi*, które uszkadzają centralny układ nerwowy i nerwy obwodowe,
- *alergicznymi*, które wywołują choroby typu uczuleniowego,
- *narkotycznymi*, które wywołują stany oszołomienia lub utratę przytomności,
- *rakotwórczymi i mutagennymi*, które są przyczyną zmian i chorób nowotworowych oraz genetycznych lub zwiększają częstotliwość ich występowania, gdy przenikną do żywego organizmu
- *upośledzającymi procesy prokreacji*, czyli działają szkodliwie na rozrodczość i stanowią bezpośrednie lub opóźnione zagrożenie dla elementów środowiska naturalnego.

Właściwości te są podstawą do grupowania odpadów uznanych za niebezpieczne na: materiały wybuchowe, środki korozyjne, sprężone gazy, palne ciecze, palne ciała stałe, materiały utleniające, substancje trujące, czynniki etiologiczne (wywołujące choroby zakaźne), materiały promieniotwórcze. Przykładowo: do niebezpiecznych odpadów, odnajdywanych w odpadach komunalnych, zalicza się olej odpadowy, farby, baterie, przeterminowane leki, pestycydy, chemiczne środki czystości. Natomiast do niebezpiecznych odpadów przemysłowych zalicza się metale ciężkie, rozpuszczalniki, farby, pestycydy, toksyczne substancje chemiczne i wiele innych.

Z uwagi na swoje właściwości odpady niebezpieczne muszą być szczególnie dokładnie wydzielane z grupy stałych odpadów komunalnych, aby te mogły stanowić potencjalny surowiec wtórny i być produktem przerobu odpadów komunalnych. W tym celu

lokalny lub regionalny system gospodarowania odpadami prowadzi ich selektywną zbiórkę, gromadzenie i transport do zakładu utylizacji. Wszystkie źródła odpadów niebezpiecznych, będące punktami ich gromadzenia w gospodarstwach domowych, warsztatach, punktach usług społecznych i innych małych zakładach produkcyjnych noszą nazwę „*rozproszonych źródeł odpadów niebezpiecznych*”. Natomiast proces wydzielania odpadów niebezpiecznych, do oddzielnej obróbki, ze strumienia odpadów komunalnych nazywa się „*detoksykacją*”.

2.3.1. Odpady radioaktywne

Wśród odpadów niebezpiecznych odrębną grupę, najbardziej uciążliwą dla środowiska naturalnego, stanowią odpady promieniotwórcze: stałe, ciekłe i gazowe. Zawierają one substancje promieniotwórcze, czyli radioaktywne lub są skażone tymi substancjami.

Źródłem promieniotwórczym jest każda substancja promieniotwórcza, przetworzona w taki sposób, że jej promieniowanie jonizujące może być gospodarczo wykorzystywane.

Źródłem promieniowania jonizującego jest każde źródło promieniotwórcze, urządzenie zawierające takie źródło, urządzenie, które wytwarza promieniowanie jonizujące a także urządzenie, które emituje promieniotwórcze substancje.

Promieniowanie jonizujące może być pochodzenia:

- *naturalnego*, czyli promieniowanie kosmiczne i promieniowanie radionuklidów naturalnych obecnych w środowisku;
- *sztucznego*, czyli promieniowanie spowodowane wybuchami jądrowymi oraz awariami obiektów techniki jądrowej.

Źródłem odpadów promieniotwórczych (radioaktywnych) są, między innymi, odpady szpitalne, odpady z badań laboratoryjnych, odpady ze wzbogacania elementów paliwowych, zanieczyszczone ubrania, wody z systemów chłodzących, wzbogacanie rud uranowych.

Odpady promieniotwórcze, na podstawie poziomu aktywności i mocy dawki promieniowania, dzieli się na trzy kategorie odpadów:

- *niskoaktywne*, które mają poniżej 40×10^{10} Bq/t (11 Ci/t) aktywności alfa, lub poniżej 120×10^{10} Bq/t (32 Ci/t) aktywności beta lub gamma (Bq- *bekerelel*- jednostka układu SI, odpowiada 1 rozpadowi na sekundę; $37 \cdot 10^9$ Bq = 1 Ci- *kiur*- jednostka tradycyjna, opowiadająca $2,2 \cdot 10^{12}$ dpm – rozpadom na minutę);
- *średnioaktywne*, które mają wyższą aktywność niż odpady *niskoaktywne*, za wyjątkiem wyczerpanego paliwa i odpadów powstałych przy powtórnej przeróbce paliwa jądrowego;
- *wysokoaktywne*, do których zalicza się wyczerpane paliwo i odpady promieniotwórcze, powstałe przy powtórnej przeróbce paliwa jądrowego.

Wielkość dawki, jaką ludzie otrzymują w ciągu roku z różnych źródeł, określa całkowity *roczny efektywny równoważnik dawki*. W 1999 roku średnia wartość równoważnika wynosiła 3,3 mSv dla mieszkańca Polski. Z tej dawki 73,1% to promieniowanie naturalne, a 25,8% to promieniowanie sztuczne, stosowane w diagnostyce medycznej.

Odpady promieniotwórcze powstają w całym procesie technologicznym obróbki paliwa jądrowego. Proces technologiczny obróbki paliwa jądrowego obejmuje: wydobywanie rudy w kopalni, etapy technologiczne jej przerobu, czyli mielenie, konwersję i wzbogacanie, a następnie wytwarzanie paliwa jądrowego. Odpady promieniotwórcze powstające na poszczególnych etapach technologicznych charakteryzuje różna i zmienna objętość oraz toksyczność. „Zużyte”, czyli przepracowane paliwo jądrowe podlega powtórnemu przerobieniu, zanim jako odpad trafi na miejsce składowania zużytego paliwa jądrowego.

3. WYTWÓRCA ODPADÓW

Mówiąc o odpadach, które nie powstają „z nikąd”, lecz są wynikiem działalności bytowo-gospodarczej człowieka, należy scharakteryzować sylwetkę i rolę, jaką pełni *wytwórca i posiadacz odpadów*.

Wytwórca odpadów to osoba prawna, fizyczna lub jednostka organizacyjna, która w wyniku prowadzonej przez siebie działalności społecznej, gospodarczej lub bytowej powoduje powstanie (wytworzenie) odpadów. Wytwórcą odpadów jest również osoba, która na drodze wstępnego przetworzenia, mieszania lub innych czynności powoduje zmianę charakteru lub składu odpadów. W wyniku tych czynności może powstać substancja trudniejsza do zagospodarowania i bardziej agresywna wobec środowiska. Odpady wytwarza więc każdy człowiek (wytwórca odpadów). Aby zminimalizować ich ilość, każdy wytwórca odpadów zobowiązany jest do przyjęcia takich technologii produkcyjnych i usługowych, które nie wytwarzają odpadów lub stopień ich wytwarzania jest minimalny. Ponadto w swojej działalności gospodarczej musi wykorzystywać takie materiały i surowce oraz w takich ilościach, aby w stopniu maksymalnym zmniejszać ilość powstających odpadów.

Na obecnym etapie wiedzy specjalistycznej z zakresu unieszkodliwiania odpadów jest to jedyny, optymalny sposób na maksymalne ograniczenie ich negatywnego wpływu na środowisko, zdrowie i życie ludzkie. Także ich negatywny wpływ na środowisko, zdrowie i życie ludzkie będzie maksymalnie ograniczone.

Prowadzenie działalności gospodarczej, w wyniku której powstają odpady, wymaga uzyskania odpowiedniej zgody władz samorządowych, na terenie których działalność ta będzie prowadzona (lub jest prowadzona). Wymóg ten reguluje ustawa o odpadach. Według

tej ustawy *wytwórca odpadów*, który posiada instalację do ich odzysku lub unieszkodliwienia, powinien dysponować:

- zezwoleniem na wytwarzanie odpadów, w przypadku gdy wytwarza powyżej 1 tony odpadów niebezpiecznych rocznie lub powyżej 5 ton rocznie odpadów innych niż niebezpieczne,
- decyzją zatwierdzającą program gospodarki odpadami niebezpiecznymi, jeżeli wytwarza do 1 tony odpadów niebezpiecznych rocznie,
- informacją o wytwarzanych odpadach oraz sposobach gospodarowania nimi, jeśli wytwarza od 5 do 5 tysięcy ton rocznie odpadów innych niż niebezpieczne.

W przypadku, gdy nie posiada takiej instalacji powinien dysponować:

- decyzją zatwierdzającą program gospodarki odpadami niebezpiecznymi, jeżeli wytwarza ich w ilości powyżej 100 kg rocznie,
- informacją o wytwarzanych odpadach oraz sposobach gospodarowania nimi, jeżeli wytwarza odpady niebezpieczne w ilości do 100 kg rocznie lub powyżej 5 ton rocznie odpadów innych niż niebezpieczne.

Jeżeli wytwórca odpadów jednocześnie będzie prowadzić działalność związaną z odzyskiem, unieszkodliwianiem, zbieraniem lub transportem odpadów, a posiada wymienione wyżej dokumenty, zwolniony jest z obowiązku uzyskania zezwolenia na prowadzenie tej działalności.

Wniosek o uzyskanie zezwolenia na wytwarzanie odpadów powinien określać:

- rodzaj odpadów przewidywanych do wytwarzania, z podaniem składu chemicznego i właściwości,
- ilość powstających odpadów w ciągu roku, z podziałem na rodzaje,
- sposoby zapobiegania powstawaniu odpadów lub ograniczania ich ilości i negatywnego wpływu na środowisko,
- sposoby gospodarowania powstałymi odpadami, które powinny uwzględniać ich zbieranie, transport, odzysk i unieszkodliwianie, łącznie z opisem stosowanych metod,
- miejsce oraz sposób magazynowania odpadów.

Pozwolenie na wytwarzanie odpadów musi przede wszystkim spełniać wymagania określone w przepisach o ochronie środowiska. W dalszej kolejności musi wskazywać ilość odpadów poszczególnych rodzajów dopuszczonych do wytworzenia w ciągu roku, sposób gospodarowania nimi oraz miejsce i sposób ich magazynowania.

Organ wydający pozwolenie na wytwarzanie odpadów może odmówić jego wydanie w przypadku, gdy zamierzony sposób gospodarowania odpadami może spowodować

zagrożenie zdrowia i życia ludzkiego, stanowić niebezpieczeństwo dla środowiska oraz gdy jest niezgodny z planami gospodarki odpadami (krajowym, wojewódzkim, powiatowym i gminnym).

W przypadku, gdy wytwarzane mają być *odpady niebezpieczne* wniosek o wydanie pozwolenia na ich wytwarzanie musi zawierać załączony program gospodarki odpadami niebezpiecznymi. Wniosek ten musi być złożony na dwa miesiące przed rozpoczęciem działalności prowadzącej do powstawania odpadów niebezpiecznych lub zmianą tej działalności, jeśli wpływa na rodzaj, ilość wytwarzanych odpadów czy też sposób gospodarowania nimi.

Program gospodarki odpadami niebezpiecznymi powinien zawierać wyszczególnienie wytwarzanych rodzajów odpadów niebezpiecznych, charakterystykę ich składu chemicznego i właściwości, ilości poszczególnych rodzajów odpadów przewidzianych do wytwarzania w ciągu roku, sposobów zapobiegania ich powstawaniu lub ograniczania ich ilości. Ponadto powinna być podana charakterystyka możliwego negatywnego wpływu na środowisko. Z uwagi na niebezpieczny charakter odpadów program powinien zawierać opis metod i sposobów gospodarowania nimi z uwzględnieniem zbierania, transportu, odzysku i unieszkodliwiania łącznie ze wskazaniem miejsca sposobu ich magazynowania.

Program gospodarowania odpadami niebezpiecznymi zatwierdzany jest w formie decyzji przez właściwy organ, czyli wojewodę lub starostę, po zasięgnięciu opinii wójta, burmistrza, prezydenta miasta (za wyjątkiem prezydenta miasta na prawach powiatu) oraz powiatowego inspektora sanitarnego (właściwych ze względu na miejsce wytwarzania odpadów niebezpiecznych). Decyzja precyzuje okres jej obowiązywania.

Wojewoda zatwierdza, w drodze decyzji, przedłożony program gospodarki odpadami niebezpiecznymi jedynie dla przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dla tych przedsięwzięć obowiązek sporządzania raportu (oceny) o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko wynika z przepisów o ochronie środowiska. Wojewoda zatwierdza również te programy, które korzystają (eksploatują) z instalacji znajdującej się na terenie zakładu zaliczanego do takich przedsięwzięć.

Dla pozostałych przedsięwzięć program zatwierdza Starosta.

Organ wydający decyzję może odmówić jej wydania, gdy zamierzony sposób gospodarowania odpadami niebezpiecznymi może powodować zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, stanowić zagrożenie dla środowiska, a także gdy zamierzony sposób gospodarki odpadami niebezpiecznymi jest niezgodny z planami gospodarki odpadami.

Wytwórca odpadów jest jednocześnie ich posiadaczem - tak długo, jak długo znajdują się pod jego dozorem. Wytwórca odpadów może przekazać wytworzone odpady innej osobie, która staje się, z chwilą ich przyjęcia, *posiadaczem odpadów*. Natomiast posiadacz odpadów ma prawo do przekazania określonych rodzajów odpadów osobie fizycznej nie będącej przedsiębiorcą, jeśli ta chce je wykorzystać na własne potrzeby.

4. POSIADACZ ODPADÓW

Posiadacz odpadów to osoba prawna, fizyczna lub jednostka organizacyjna, która posiada i zarządza odpadami (w tym i ich wytwórca).

Proces zarządzania odpadami jest bardzo istotny, bowiem ich posiadacz prowadzić musi:

- w pierwszej kolejności - do odzysku z odpadów surowców wtórnych;
- w następnej kolejności - do unieszkodliwienia odpadów, gdy nie można z nich odzyskać żadnego surowca wtórnego.

Posiadacz odpadów, który zamierza prowadzić działalność gospodarczą, w wyniku której następuje odzyskanie niektórych rodzajów odpadów, jako surowców wtórnych lub gdy unieszkodliwia odpady, zobowiązany jest do dysponowania zezwoleniem na jej prowadzenie. Wyjątkiem jest działalność zintegrowana, czyli zbieranie, transport, odzysk i unieszkodliwienie odpadów, wówczas zezwolenie nie jest wymagane.

Zezwolenia dotyczące odzysku odpadów również nie są wymagane, jeśli odpady wykorzystywane są na własne potrzeby osoby fizycznej nie będącej przedsiębiorcą lub gdy istnieje lista odpadów, które nie wymagają takich zezwoleń.

Wniosek o uzyskanie zezwolenia na prowadzenie działalności w zakresie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów (przez ich posiadacza), powinien określać:

- rodzaj odpadów, jakie przewidywane są do odzysku lub unieszkodliwienia (z ewentualnym określeniem ich składu chemicznego i właściwości),
- ilość odpadów z podziałem na rodzaje odpadów odzyskiwanych lub unieszkodliwianych w okresie roku,
- miejsce prowadzenia działalności w zakresie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów,
- sposób prowadzenia działalności z podaniem środków transportu odpadów,
- miejsce i sposób magazynowania odpadów,
- metody odzysku lub unieszkodliwiania odpadów, z podaniem szczegółowego ich opisu,
- techniczne i organizacyjne możliwości prawidłowego procesu odzysku lub unieszkodliwiania odpadów (z uwzględnieniem kwalifikacji zawodowych pracowników,

ich przeszkolenia, liczby i jakości instalacji i urządzeń stosowanych w procesie, które odpowiadają ochronie środowiska),

- przewidywany okres wykonywania działalności.

W przypadku, gdy posiadacz odpadów będzie prowadził działalność w zakresie zbierania odpadów i ich transportu, wniosek o wydanie zezwolenia na prowadzenie działalności, powinien dodatkowo uwzględniać:

- wyszczególnienie rodzajów odpadów przewidzianych do zbierania i transportu (z ewentualną koniecznością podania ich składu chemicznego i właściwości),
- obszar objęty działalnością zbierania i transportu,
- sposób i środki transportu wykorzystywane do tego celu.

Sprawnie i prawidłowo działający system gospodarowania odpadami wymaga od posiadacza odpadów (i zobowiązuje go do) prowadzenia dokumentacji zawierającej informacje o:

- ilości i jakości odpadów, która prowadzona jest w formie „karty ewidencji odpadu”, zgodnie z przyjętym katalogiem odpadów i listą odpadów niebezpiecznych, przy czym jest odrębna dla każdego rodzaju odpadu,
- sposobie gospodarowania odpadami w przypadku ich odzysku i unieszkodliwiania,
- ich pochodzeniu,
- miejscu ich dalszego przeznaczenia (w formie karty przekazania odpadu),
- instalacjach i urządzeniach służących do odzysku i unieszkodliwiania odpadów,
- danych osobowych posiadacza odpadów (jego imię, nazwisko, adres zamieszkania, nazwa i siedziba firmy).

Zezwolenie na prowadzenie działalności w zakresie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów jest wydawane, w drodze decyzji, przez właściwy organ, czyli wojewodę lub starostę. Wojewoda wydaje zezwolenie dla tych przedsięwzięć, które mogą w sposób znaczący oddziaływać na środowisko, dla których obowiązek sporządzania raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko wynika z przepisów o ochronie środowiska, a także gdy dotyczy eksploatacji instalacji znajdującej się na terenie zakładu zaliczanego do takich przedsięwzięć. Dla pozostałych przedsięwzięć zezwolenie wydaje starosta.

Organ, który wydaje stosowne zezwolenia może nie wyrazić zgody na prowadzenie działalności w zakresie odzysku, unieszkodliwiania, zbierania i transportu odpadów (w tym niebezpiecznych). Powodem odmowy może być naruszenie przepisów ustawy o odpadach, możliwość wystąpienia zagrożenia zdrowia i życia ludzi, niebezpieczeństwa dla środowiska

przyrodniczego oraz niezgodność z przyjętymi - przez dany samorząd lokalny - planami gospodarowania odpadami w gminie lub planami krajowymi.

5. GOSPODAROWANIE (ZARZĄDZANIE) ODPADAMI

Gospodarowanie odpadami polega przede wszystkim na takim zarządzaniu, by - jak wspomniano wcześniej - zminimalizować ich ilość i szkodliwość dla środowiska. Aby można było ten cel osiągnąć, należy sięgnąć do strategii zarządzania opartej na *elastycznym planowaniu, organizowaniu, motywowaniu i kontrolowaniu* wytwarzanych odpadów.

Planowanie gospodarki odpadami ma za zadanie sformułowanie koniecznych do osiągnięcia celów, by na ich podstawie określić przyszłe mechanizmy działania. Planowanie wymagać będzie znajomości wielkości populacji obszaru objętego gospodarką, zmian demograficznych w perspektywie czasowej, wzrostu lub zmniejszenia populacji, zmian w istniejących technologiach, zmian w gospodarce, a co za tym idzie zmian stylu życia populacji. Znajomość tych elementów pozwala na oszacowanie wielkości i możliwych zmian strumienia odpadów, tempie ich powstawania (tempo może być stałe, umiarkowane lub szybkie) oraz wybranie optymalnego scenariusza w ich gospodarowaniu. Scenariusz gospodarki odpadami łączyć w sobie może kilka elementów tej gospodarki, tworząc tak zwany system *zintegrowanej gospodarki odpadami*.

Organizowanie gospodarki odpadami ma za zadanie utworzenie struktury organizacyjnej, ustalenie środków i metod działania oraz umiejscowienie całego procesu organizacyjnego w czasie i przestrzeni. Organizowanie gospodarki odpadami musi mieć charakter gospodarki zintegrowanej na poziomie krajowym, regionalnym i lokalnym, przy czym ważnym elementem tej współpracy jest koordynacja działań. Odpady stanowią wspólny problem stąd koordynacja działań jest ważnym czynnikiem w organizowaniu gospodarki odpadami. Wiązać się ona będzie z wymianą doświadczeń, uwag i wspólnym poszukiwaniem rozwiązań prowadzących do zmniejszenia kosztów inwestycji. Minimalizacja kosztów jest jednym z podstawowych czynników w gospodarce odpadami.

Motywowanie do prowadzenia gospodarki odpadami ma za zadanie uświadomić konieczność celu prowadzenia tej działalności, uzasadnić jej poszczególne zadania, pobudzić zainteresowanie tą działalnością. Konieczne jest to do podjęcia niezbędnych kroków w jej realizacji, które uwzględniać muszą bodźce administracyjne, ekonomiczne, psychologiczne i moralne. Motywowanie skierowane musi być przede wszystkim do społeczeństwa, bowiem kluczem do sukcesu w zarządzaniu odpadami jest świadomość społeczna i edukacyjna z zakresu zagrożeń ze strony ilości i toksyczności odpadów. Sukces ten opiera się także na

zaangażowaniu całego społeczeństwa w utrzymaniu zdrowego, niezanieczyszczonego środowiska.

Kontrolowanie gospodarki odpadami ma za zadanie porównanie tego, co osiągnięto z tym, co było zamierzone do osiągnięcia. Na podstawie takiego porównania dokonuje się regulacji odchyłeń od planu, modyfikacji ustalonych celów, odnajduje ewentualne błędy i dokonuje ich poprawy. Kontrolowanie ma prowadzić także do zwiększenia intensywności działań na rzecz osiągnięcia zamierzonych celów i poszukiwania nowych dróg do jego osiągnięcia.

5.1. Planowanie gospodarki odpadami

Wymienione w poprzednim rozdziale funkcje zarządzania gospodarką odpadami wzajemnie ze sobą oddziałują, jednakże należy wskazać, że najważniejszą z nich jest **funkcja planowania gospodarki odpadami**. Planowanie jest podstawą całego systemu, tworzy dla niego ramy, a pozostałe funkcje są środkami wykonawczymi planu i środkami, które rozwiązują wynikające z jego realizacji problemy. Można więc powiedzieć, że funkcja planowania musi być *elastyczna*, czyli musi zawierać takie ustalenia planu, przy użyciu których będzie możliwe wprowadzanie zmian w celu zwiększenia efektywności prowadzonego procesu zarządzania.

Planowanie gospodarki odpadami prowadzone na szczeblu krajowym, wojewódzkim, powiatowym, gminnym, z uwzględnieniem planowania w indywidualnych gospodarstwach domowych, jest *planowaniem strategicznym*. Ujmuje i wiąże w jednolitą całość wszystkie szczeble gospodarki odpadami. Umożliwia także poprawę zaistniałych błędów, czy niedociągnięć oraz wprowadzenie zmian i innowacji, a także wymianę doświadczeń, jednocześnie na wszystkich jej szczeblach.

Strategiczny plan gospodarki odpadami powinien określać:

- cele, jakie należy osiągnąć w gospodarowaniu odpadami,
- istniejący stan gospodarowania odpadami,
- prognozę zmian w zakresie gospodarowania odpadami,
- działania zmierzające do poprawy sytuacji w zakresie gospodarowania odpadami,
- sposoby modernizacji istniejących instalacji lub budowy nowych,
- instrumenty prowadzące do eliminowania nielegalnego składowania odpadów,
- instrumenty finansowe służące do realizacji celów gospodarowania odpadami,
- system monitorowania i oceny realizacji celów gospodarowania odpadami.

Wszystkie plany gospodarki odpadami opracowywane są zgodnie z polityką ekologiczną państwa. Aby tworzyć z nią spójną całość dodatkowo muszą zawierać informacje na temat:

- rodzaju, ilości i źródła pochodzenia odpadów, które mają być poddane procesom odzysku lub unieszkodliwienia,
- rozmieszczenia istniejących instalacji i urządzeń do odzysku lub unieszkodliwienia odpadów wraz z wykazem podmiotów gospodarczych prowadzących taką działalność,
- działań zmierzających do zapobiegania powstawaniu odpadów lub ograniczania ilości odpadów i ich negatywnego oddziaływania na środowisko oraz prawidłowego postępowania z nimi, w tym ograniczenia ilości odpadów ulegających biodegradacji zawartych w odpadach komunalnych kierowanych na składowiska,
- projektowanego systemu gospodarowania odpadami,
- rodzaju i harmonogramu realizacji przedsięwzięć,
- harmonogramu uruchamiania środków finansowych i ich źródła.

Ponieważ plany gospodarowania odpadami muszą być zgodne z polityką ekologiczną państwa, więc muszą być zgodne z jego celami ekologicznymi, priorytetami ekologicznymi, rodzajem i harmonogramem działań proekologicznych oraz muszą mieć zapewnione środki prawno – ekonomiczne i finansowe na realizację tych celów. Ponadto musi występować wzajemne powiązanie pomiędzy planami krajowymi, regionalnymi (wojewódzkimi) i lokalnymi (gminnymi), a także zgodność z odpowiednimi aktami prawnymi. Wymienione plany, krajowy, regionalny i lokalny, obejmują wszystkie rodzaje odpadów, jakie powstają na terenie poszczególnych szczebli, a także wszystkie rodzaje odpadów, które są na te tereny przywożone. Obejmują więc w wykazie odpadów, między innymi, takie odpady, jak komunalne z uwzględnieniem odpadów biodegradowalnych, odpady opakowaniowe, odpady budowlane, wraki samochodowe, opony i odpady niebezpieczne pochodzące z sektora medycznego i weterynaryjnego, oleje odpadowe, baterie i akumulatory.

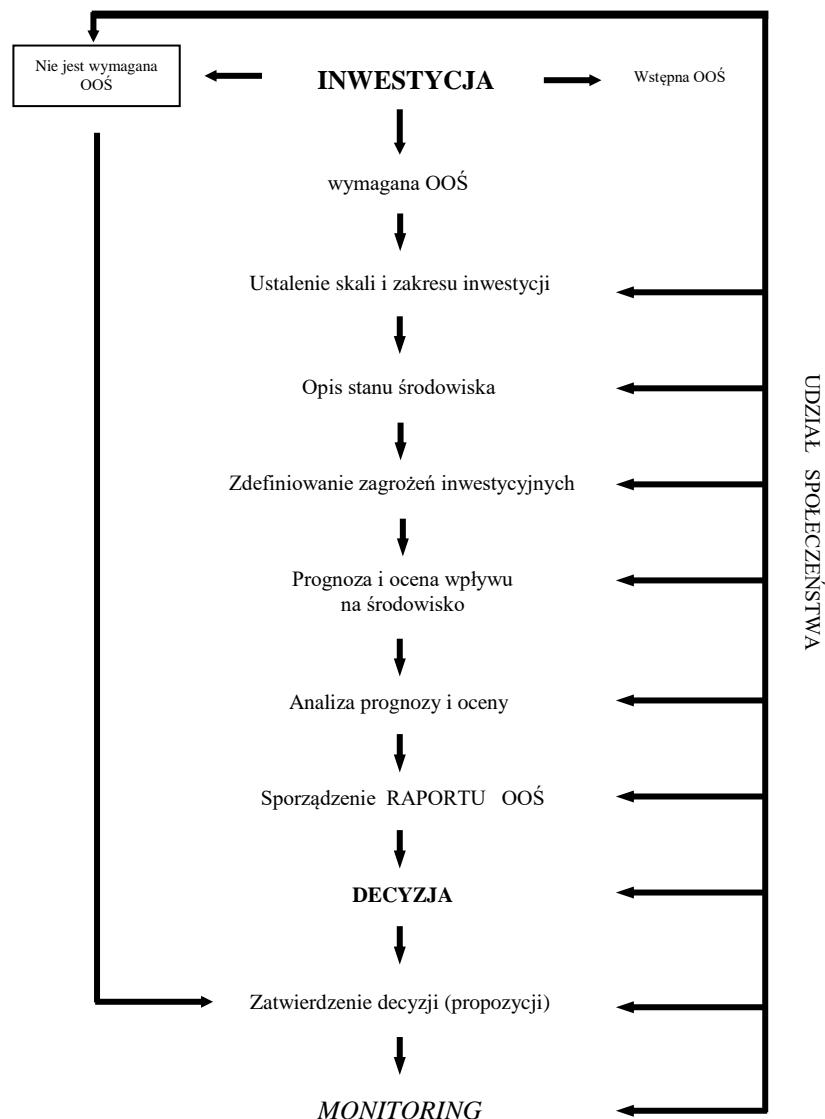
Plan krajowy sprawuje nadzór nad zintegrowaną gospodarką odpadami całego państwa. Obejmuje również tak zwane przedsięwzięcia priorytetowe o charakterze ponadwojewódzkim, które służą i są niezbędne do utworzenia i utrzymania w całym kraju właściwego systemu zarządzania odpadami, oczywiście zgodnie z polityką ekologiczną całego państwa.

5.2. Ocena oddziaływania na środowisko

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627) zobowiązuje do przeprowadzenia postępowania w sprawie oceny oddziaływania na środowisko skutków realizacji planów i programów z zakresu:

- projektu koncepcji polityki przestrzennego zagospodarowania kraju, projektów planów zagospodarowania przestrzennego i projektów strategii rozwoju regionalnego,
- projektów polityk, strategii, planów i programów w dziedzinie przemysłu, energetyki, transportu, telekomunikacji, gospodarki wodnej, gospodarki odpadami, leśnictwa, rolnictwa, rybołówstwa, turystyki i wykorzystania terenu, których opracowywanie przez centralne lub wojewódzkie organy administracji przewidziane jest w ustawach.

Schemat procedury oceny oddziaływania na środowisko ilustruje rysunek 4.



Rysunek 4. Procedura oceny oddziaływania na środowisko (Wathem, 1988; zmienione)

Przedstawienie oceny oddziaływania na środowisko (OOS) planowanej inwestycji jest wymogiem prawnym, wymaganym na etapie wydawania zezwolenia lub zatwierdzania inwestycji budowlanej czy też innej ingerencji w środowisko. *Ingerencja w środowisko* polega na przekształceniu lub zmianie sposobu wykorzystanie określonego terenu, w tym również na wydobywaniu kopalin. Ocena oddziaływania na środowisko ma na celu dokonanie prognozy następstw tej inwestycji (ingerencji w środowisko naturalne). Ocenia ona bezpośrednie i pośrednie skutki, jakie mogą wyniknąć dla środowiska, zdrowia i warunków życia ludzi, dobra materialne, dobra kultury. Ocenia ich wpływ na wymienione elementy oraz wzajemne oddziaływanie między nimi. Dodatkowo uwzględnia dostępność do złóż kopalin w trakcie jej realizacji, po zamknięciu inwestycji i z upływem pewnego okresu czasu (np. 10, 20 czy więcej lat). OOS powinna określać i oceniać możliwości oraz sposoby zapobiegania i ograniczania następstwom negatywnego oddziaływania na środowisko oraz wymagany zakres monitoringu.

Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 14 lipca 1998 roku w sprawie określenia rodzajów inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi, a także mogących pogorszyć stan środowiska oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko tych inwestycji, wymienia 28 różnych pozycji inwestycji. Należą do nich:

- rafinerie ropy naftowej, instalacje gazyfikacji i upłynniania węgla lub łupka bitumicznego,
- elektrownie konwencjonalne, elektrociepłownie i inne instalacje do spalania, w których ilość energii cieplnej wprowadzanej w paliwie w jednostce czasu, przy minimalnym obciążeniu obiektu wynosi co najmniej 300 MW,
- elektrownie jądrowe i inne reaktory jądrowe łącznie z demontażem i wycofaniem z eksploatacji reaktorów jądrowych,
- inwestycje służące do produkcji lub wzbogacania paliw jądrowych, do przerobu paliw jądrowych lub do magazynowania, unieszkodliwiania i przerobu odpadów radioaktywnych,
- inwestycje służące do pierwotnego wytopu surówki żelaza i stali oraz produkcji metali nieżelaznych do:
 - produkcji co najmniej 1 mln ton surówki i stali surowej na rok,
 - przerobu co najmniej 100 000 ton rud metali ciężkich na rok,
 - produkcji, odzyskiwania lub przerobu metali nieżelaznych, ich związków lub innych stopów, w ilości co najmniej 100 000 ton na rok, procesami termicznymi, chemicznymi lub elektrolitycznymi,

- inwestycje związane z wykorzystywaniem lub unieszkodliwianiem odpadów niebezpiecznych oraz związane z termicznym przekształcaniem wszystkich odpadów,
- nadpoziomowe stawy osadowe o powierzchni powyżej 10 ha,
- zakłady wytwarzające masy celulozowe, papier lub tekturę, w ilości powyżej 200 ton na dobę masy powietrznie suchej pulpy, papieru lub tektury,
- zakłady górnicze i zakłady przetwórcze:
 - podziemne zakłady górnicze i związane z nimi technologicznie zakłady przetwórcze o wydobywaniu i przerobieniu ponad 100 000 m³ urobku na rok,
 - podziemne zakłady górnicze i związane z nimi technologicznie zakłady przetwórcze węgla i rud metali nieżelaznych,
 - odkrywkowe zakłady górnicze o powierzchni odkrywki ponad 25 ha,
- zbiorniki do magazynowania wraz z urządzeniami do przeładunku: co najmniej 50 000 m³ ropy naftowej lub produktów chemicznych, co najmniej 30 000 m³ produktów naftowych oraz co najmniej 50 000 m³ gazu,
- oczyszczalnie ścieków obsługujące powyżej 150 000 mieszkańców równoważnych,
- instalacje odsiarczania o wydajności powyżej 100 000 m³ na godzinę gazów odlotowych w warunkach normalnych (temperatura 273 K, ciśnienie 101,1 kPa).

To samo rozporządzenie wymienia także inwestycje mogące pogorszyć stan środowiska a są to, między innymi:

- inwestycje w przemyśle wydobywczym, jak:
 - odkrywkowe zakłady górnicze o wielkości powierzchni odkrywki do 25 ha, z wyłączeniem wydobywania piasku, żwiru i gliny w ilości mniejszej niż 20 000 m³ na rok, i związane z nimi technologicznie zakłady przeróbcze kopalin,
 - podziemne zakłady górnicze i związane z nimi technologicznie zakłady przeróbcze nie wymienione w inwestycjach szczególnie szkodliwych,
 - służące bezzbiornikowemu magazynowaniu substancji w górotworze oraz składowaniu odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych, a także wtłaczaniu wód złożowych, pochodzących z innego złoża, do górotworu,
- inwestycje w przemyśle hutniczym, metalurgicznym i maszynowym, jak:
 - zakłady sortowania i wstępnego przerobu złomu, w tym złomowania pojazdów i urządzeń mechanicznych oraz statków,
- inwestycje infrastrukturalne, jak:
 - stacje paliw płynnych, z wyłączeniem stacji gazu propan-butan,
- inne inwestycje, do których zaliczane są:

- zbiorniki do magazynowania wraz z urządzeniami do przeładunku: mniej niż 50 000 m³ ropy naftowej lub produktów chemicznych, mniej niż 30 000 m³ produktów naftowych oraz mniej niż 50 000 m³ gazu, z wyjątkiem zbiorników związanych z instalacjami grzewczymi i prądotwórczymi,
- oczyszczalnie ścieków obsługujące od 400 do 150 000 mieszkańców równoważnych,
- stacje przeładunku produktów naftowych z cystern do innego rodzaju cystern,
- inwestycje związane z unieszkodliwianiem zasolonych wód kopalnianych i solanek pozabiegowych,
- inwestycje nie wymienione w rodzajach inwestycji szczególnie szkodliwych, związane z:
 - ✓ wykorzystaniem lub unieszkodliwianiem odpadów,
 - ✓ nadpoziomowe stawy osadowe,
 - ✓ instalacje odsiarczania.

5.2.1. Postępowanie w celu przygotowania raportu OOŚ

Proces prowadzący do sporządzenia „Raportu OOŚ” składa się z kilku etapów:

Ogłoszenie, czyli zapoznanie społeczności lokalnej z zamiarem realizacji określonego przedsięwzięcia inwestycyjnego. Konieczność podania do publicznej wiadomości wynika z faktu, że ocena oddziaływania na środowisko jest dokumentem uwzględniającym problemy środowiskowe na etapie planowania, realizowania, eksploatacji i zakończenia określonej działalności gospodarczej. Ponadto jest to dokument, który ma prowadzić do trwałego i zrównoważonego rozwoju.

Kwalifikacja ma za zadanie podjęcie decyzji, czy projektowana inwestycja wymaga przeprowadzenia oceny czy też nie. Następuje to na podstawie przedstawionej listy planowanych inwestycji wymagających przeprowadzenia kompleksowej procedury ocen oddziaływania na środowisko. W krajach europejskich istnieje ponadto obowiązek przeprowadzania oceny wstępnej. Ocena wstępna jest podstawą do wydania decyzji o wykonaniu pełnej oceny oddziaływania na środowisko lub jej zaniechanie. W Polsce nie ma obowiązku wykonywania oceny wstępnej, choć za taką można uznać decyzję organu administracji opracowującego projekty dokumentów (lub wprowadzającego zmiany do tych dokumentów) o odstąpieniu od przeprowadzenia postępowania w sprawie OOŚ. Odstąpienie od wykonania OOŚ może nastąpić w przypadku, gdy stosowny organ uzna, biorąc pod uwagę w szczególności charakter działań przewidzianych w tych dokumentach, rodzaj i skalę

oddziaływania na środowisko oraz cechy obszaru objętego tym oddziaływaniem, iż realizacja inwestycji nie spowoduje znaczącego oddziaływania na środowisko.

Kraje członkowskie Unii Europejskiej muszą przeprowadzić procedurę OOS między innymi dla:

- rafinerii ropy naftowej i instalacji gazyfikacji,
- elektrowni ciepłych i innych instalacji spalania o mocy cieplnej 300 MW,
- elektrowni jądrowych,
- instalacji do przechowywania i utylizacji odpadów radioaktywnych,
- kombinatów pierwotnego wytopienia żelaza i stali,
- instalacji do wydobywania, obróbki i przetwarzania azbestu,
- instalacji w kombinatach chemicznych,
- budowy autostrad, dróg szybkiego ruchu, portów lotniczych i dalekobieżnych linii kolejowych,
- portów handlowych,
- instalacji do usuwania niebezpiecznych i toksycznych odpadów przez spalanie, działanie chemiczne lub składowanie.

Kraje te mają możliwość poszerzenia listy o inwestycje, których lokalizacja na terenie własnym kraju wymaga pełnej procedury OOS, zgodnie z krajowymi aktami prawnymi.

Ocena wstępna wykonywana jest w przypadku, gdy wystąpią wątpliwości, co do konieczności wykonywania pełnej OOS. Ocena wstępna obejmuje takie elementy, jak:

- określenie rodzajów potencjalnych oddziaływań na środowisko,
- oszacowanie zasięgu i siły tych oddziaływań,
- określenie istnienia możliwych wariantów realizacji celu inwestycji.
- oceny oddziaływania na środowisko.

Na tej podstawie zapada decyzja o konieczności (lub nie) wykonywania pełnej OOS.

Określenie zakresu oceny oddziaływania na środowisko jest miernikiem poprawności prowadzonego postępowania w sprawie OOS. Od niego zależy poprawność oddania rzeczywistej wiedzy na temat interesującego decydentów środowiska. W szczególności zakres ten powinien zawierać wyszczególnienie:

- oddziaływań, które mają być zbadane,
- różnych możliwych wariantów, poprzez które cel inwestycji można zrealizować (inna lokalizacja inwestycji, inna technologia),
- metod i kryteriów wykonania oceny,
- grup, które powinny być objęte konsultacjami i możliwie dokładne ich zidentyfikowanie.

Określenie zakresu oddziaływania inwestycji następuje na podstawie takich informacji, jak:

- rodzaj, skala i usytuowanie przedsięwzięcia,
- powierzchnia zajmowanego terenu, a także obiektu budowlanego,
- dotychczasowy sposób wykorzystywania terenu i pokrycie szatą roślinną,
- rodzaj stosowanych technologii,
- ewentualne inne warianty przedsięwzięcia,
- przewidywana ilość wykorzystywanej wody i innych surowców, materiałów, paliw, energii,
- rozwiązania chroniące środowisko,
- rodzaj i przewidywana ilość wprowadzanych do środowiska substancji lub energii przy zastosowaniu rozwiązań chroniących środowisko.

Szczegółowy zakres zadań ustalany powinien być indywidualnie dla każdej inwestycji. Prawidłowe określenie zakresu powinno umożliwić osiągnięcie takich celów, jak:

- zapewnienie współpracy pomiędzy organem wydającym zezwolenie a grupą przeprowadzającą procedurę, tak aby uzyskać pewność, że OOS była wykonana w sposób prawidłowy,
- rozpatrzenie różnych wariantów możliwych do realizacji,
- umożliwienie zainteresowanym stronom udziału w procedurze OOS.

Studia OOS czy też analiza do OOS jest etapem bardzo istotnym w całym procesie sporządzania oceny. Studia prowadzone są przez zespół ekspertów, specjalistów z różnych dziedzin naukowych, którzy odpowiedzialni są za:

- *identyfikację oddziaływań*, w celu prześledzenia wszystkich możliwych dróg, którymi przedsięwzięcie może oddziaływać na środowisko,
- *prognozę* prawdopodobnego charakteru i zasięgu przyszłych oddziaływań oraz *dokonanie oceny* wielkości zmian wynikających z realizacji inwestycji,
- *ocenę oddziaływań*, czyli rozważenie, które z oddziaływań są istotne, a które mniej ważne. Ocena oddziaływań może nastąpić przez ich porównanie z istniejącymi normami prawnymi (np. dotyczącymi dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w powietrzu, wodzie pitnej itd.) lub też może być oparta na profesjonalnym osądzie członków zespołu,
- *przeciwdziałanie* skutkom realizacji inwestycji, poprzez rozważenie możliwych do przedsięwzięcia środków, które przeciwdziałać będą negatywnym oddziaływaniom. Możliwe środki działania to: zmiana lokalizacji, procesu technologicznego, surowców lub też wprowadzenia kontroli zanieczyszczeń, szkolenia personelu, odpowiedniej utylizacji odpadów i inne.

Raport OOS jest końcowym i ostatecznym wynikiem całej procedury. Raport stanowi podstawę do podjęcia rozważnej i prawidłowej decyzji, co do przyszłości danej inwestycji. Powinien zawierać wszystkie istotne informacje na temat środowiska, na podstawie których organ decyzyjny może wydać prawidłową decyzję. W tym celu powinien on, między innymi, zawierać:

- dokładny opis inwestycji,
- propozycje rozwiązań wariantowych dla inwestycji,
- charakterystykę oddziaływania inwestycji na środowisko,
- propozycje możliwych rozwiązań przeciwdziałających tym oddziaływaniom,
- opis proponowanych metod i technik dla realizacji rozwiązań,
- opis wykorzystanych metod do wykonania oceny,
- opis ewentualnych luk w opracowaniu oceny,
- streszczenie oceny w języku nietechnicznym.

Przykładowo: prognoza następstw planowanej inwestycji, jaką jest składowisko odpadów, ocenia wpływ składowiska na glebę, wody, powietrze, szkody mogące z jego strony wyniknąć, zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi oraz ewentualne pogorszenie ich warunków bytowych.

Raport oceniany jest przez komisję do spraw ocen, która znajduje się przy Ministrze Środowiska lub przez komisje znajdujące się przy tych wojewódzkich jednostkach administracyjnych, które je posiadają.

Decyzja następuje na podstawie przedłożonego raportu OOS w sprawie planowanego przedsięwzięcia mogącego znacząco oddziaływać na środowisko. Za decyzję uważa się:

- decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu - wydawaną na podstawie przepisów ustawy o planowaniu przestrzennym,
- decyzję o pozwoleniu na budowę lub rozbiórkę obiektu budowlanego oraz decyzję o pozwoleniu na zmianę sposobu użytkowania obiektu budowlanego lub jego części - wydawaną na podstawie ustawy – Prawo budowlane,
- koncesję na poszukiwanie lub rozpoznawanie złóż kopalin, na wydobywanie kopalin ze złóż, na bezzbiornikowe magazynowanie substancji oraz składowanie odpadów w górotworze, w tym w podziemnych wyrobiskach górniczych - wydawaną na podstawie ustawy „Prawo geologiczne i górnicze”,
- pozwolenie wodnoprawne w zakresie wykonywania urządzeń wodnych, poboru wód podziemnych, rolniczego wykorzystania ścieków - wydawane na podstawie ustawy „Prawo wodne”,

- decyzję ustalającą warunki prowadzenia robót polegających na regulacji wód oraz budowie wałów przeciwpowodziowych, a także robót melioracyjnych, odwodnień budowlanych oraz innych robót ziemnych zmieniających stosunki wodne na terenach o szczególnych wartościach przyrodniczych, zwłaszcza na terenach, na których znajdują się skupienia roślinności o szczególnej wartości z punktu widzenia przyrodniczego, przepławek i miejsc masowej migracji ryb i innych organizmów wodnych - wydawaną na podstawie przepisów ustawy o ochronie przyrody,
- decyzję zatwierdzającą projekt scalania lub wymiany gruntów - wydawaną na podstawie ustawy o scalaniu i wymianie gruntów,
- decyzję o zmianie lasu na użytek rolny - wydawaną na podstawie ustawy o lasach,
- decyzję o ustalaniu lokalizacji autostrady, gdy decyzja ta dotyczy odcinków, które we wskazaniach lokalizacyjnych zostały wskazane jako newralgiczne z uwagi na uwarunkowania ochrony środowiska lub możliwość wystąpienia konfliktów społecznych - wydawaną na podstawie ustawy o autostradach płatnych.

Ostateczne podjęcie decyzji wymaga jej uzasadnienia. Uzasadnienie, oprócz wymagań jakie wynikają z kodeksu postępowania administracyjnego, powinno zawierać informacje o sposobie wykorzystania uwag i wniosków zgłoszonych w związku z udziałem społeczeństwa oraz informacje dotyczące konieczności wykonania analizy porealizacyjnej.

Udział społeczny ma na celu akceptację planowanej inwestycji. Akceptacja ułatwia proces realizacji planowanego programu działania, może również wpływać na efektywne wykorzystywanie zasobów środowiska. Jeśli bowiem znany jest wcześniej możliwy wpływ na środowisko, można we wczesnych etapach realizacji inwestycji podjąć kroki służące minimalizowaniu tych negatywnych oddziaływań. Stanowi także czynnik edukacyjny, tak dla społeczności lokalnej, jak i dla jej władz samorządowych, które uczą się wzajemnie ze sobą współpracować, negocjować i wypracowywać rozwiązania optymalne dla obu stron. Ponadto jest to czynnik, który zmusza społeczność lokalną do zastanowienia się nad swoim najbliższym otoczeniem, jego oddziaływaniem na środowisko życia człowieka oraz nad występującymi problemami ekologicznymi.

5.3. Finansowanie gospodarki odpadami

Planowa gospodarka odpadami prowadzona jest w oparciu o analizy efektywności ekonomicznej. Analiza efektywności ekonomicznej gospodarki odpadami obejmować musi pełny koszt tej gospodarki, z uwzględnieniem: zbiórki, recyklingu, transportu i metod unieszkodliwiania odpadów. Uwzględnić powinna także system informacyjny dla

wytwórców i posiadaczy odpadów oraz dla społeczności lokalnej, regionalnej i krajowej, łącznie z uwzględnieniem ich udziału w ponoszonych kosztach.

Efektywność ekonomiczna całego procesu zarządzania odpadami nie może prowadzić do strat finansowych, bowiem wszelkie straty pokrywa właśnie społeczeństwo. Z uwagi na ponoszone koszty i to niejednokrotnie wysokie wycofuje się ono ze współpracy, co stwarza określone problemy we wprowadzaniu nowoczesnych technologii odzysku, przerobu i utylizacji odpadów. Poznanie pełnych kosztów gospodarki odpadami pozwala na przyjęcie optymalnej strategii zarządzania odpadami przez ich wytwórcę, posiadacza i zarządzającego oraz przez całe społeczeństwo.

Warunek opłacalności gospodarowania odpadami może być spełniony w wyniku modernizacji już istniejących technologii i technik zagospodarowywania odpadów. *Redukcja odpadów u źródła jest podstawą minimalizacji ilości odpadów unieszkodliwianych, a co za tym idzie podstawą obniżeniem kosztów ich unieszkodliwiania.* Jednak proces minimalizacji i unieszkodliwiania odpadów związany być musi z zainwestowaniem w nowoczesne urządzenia, maszyny oraz technologie przetwórcze. Początkowo zwiększa to nakłady inwestycyjne, jednak w perspektywie czasowej korzyści, jakie uzyskuje społeczeństwo, znacznie przewyższają pierwotnie ponoszone koszty uruchomienia efektywnej metody zagospodarowania odpadów. W celu zminimalizowania kosztów ponoszonych przez społeczeństwo, polityka ochrony środowiska przed szkodliwym wpływem odpadów wprowadza zasadę, że: *zanieczyszczający płaci*, czyli wytwórca lub posiadacz odpadów ponoszą koszty ich unieszkodliwiania. Ponoszone koszty uzależnione są od ilości i rodzaju zagospodarowywanych odpadów oraz od czasu i sposobu ich składowania. Zasada, że *zanieczyszczający płaci*, stanowi jednocześnie motywację do minimalizowania ilości wytwarzanych odpadów.

Przedsięwzięcia związane z unieszkodliwianiem odpadów mogą być realizowane z udziałem środków z funduszy ochrony środowiska i gospodarki wodnej, pod warunkiem umiejscowienia tych inwestycji i ich kosztów w planie gospodarki odpadami.

5.4. Udział społeczny

Sukces w zarządzaniu odpadami odnieść można poprzez włączenie do jego realizacji władz rządowych, samorządowych, producentów (bezpośrednich wytwórców odpadów), posiadaczy odpadów i konsumentów (pośrednich wytwórców odpadów). Ogólnie mówiąc: zarządzanie gospodarką odpadami należy do podstawowych zadań całego społeczeństwa danego kraju (poczynając od przedszkolaka do emeryta).

Społeczeństwo nie może być odizolowane od decyzji, jakie są podejmowane na poszczególnych szczeblach rządowych. Każdy ma prawo do składania uwag i wniosków w postępowaniu prowadzonym na jego rzecz. Jest to ważne, bowiem polityka gospodarowania odpadami nie może odbywać się w oderwaniu od społeczeństwa, które jest podstawowym ich wytwórcą. Jak wcześniej już wspomniano, wytwórca wpływa na ich ilość i jakość oraz sposób unieszkodliwiania. Udział społeczeństwa w tworzeniu planów i programów gospodarowania odpadami daje najbardziej skuteczne programy inwestycyjne i prowadzi do osiągnięcia wytyczonych celów. Sukces w zaangażowaniu społeczeństwa opiera się na zrozumieniu zasad jego funkcjonowania, bowiem społeczeństwo nie stanowi jednolitej całości lecz jest bardzo zróżnicowane pod względem kulturowym, poziomu wykształcenia, stylu życia, potrzeb socjalnych, zasobności finansowej, miejsca zamieszkania (miasto, wieś), prowadzonych interesów, przynależności do określonych organizacji i grup społecznych.

Pomimo wymienionych różnic społeczeństwo to, w sytuacji „zagrożenia”, czyli niezrozumienia prowadzonej polityki przez władze samorządowe regionalne i krajowe, może solidarnie się zintegrować i zorganizować, a tym samym przeciwstawić się wysuwanym propozycjom. Natomiast właściwe podejście do zróżnicowanego społeczeństwa, a tym samym nawiązanie z nim dialogu prowadzi do zaufania i zrozumienia potrzeby dbania o środowisko z punktu widzenia gospodarki odpadami. Jest to istotne, bowiem ten problem traktowany jest jako „problem tabu”, o którym się nie mówi i udaje, że nie istnieje. Dopiero awaria ekologiczna, często ludzka tragedia, budzi ludzkie umysły i to również o zasięgu lokalnym. A problem odpadów, jak już wcześniej wyjaśniano, jest problemem globalnym tego i przyszłych pokoleń.

Zaangażowanie społeczeństwa w problematykę zarządzania odpadami powinno być oparte na szerokiej edukacji ekologicznej, która wiąże się z poznaniem ilości, jakości i toksyczności wytwarzanych odpadów, skutków ich oddziaływania na środowisko, w tym i na zdrowie i życie ludzi. Społeczeństwo musi poznać i zostać wdrożone do najbardziej optymalnych sposobów minimalizacji odpadów w gospodarstwach domowych, efektywnych metod zbierania, segregowania, gromadzenia odpadów, a następnie najbardziej ekonomicznych sposobów ich utylizacji. Istotne jest wypracowanie dla poszczególnych grup społecznych odpowiedniego poziomu wiedzy specjalistycznej, które prowadzi do nabycia odpowiedniego doświadczenia i nawyków.

Uwzględnienie różnego poziomu interesów społecznych jest czynnikiem motywującym jednostki do poświęcenia własnego czasu i energii w celu wywierania wpływu na prowadzoną politykę gospodarowania odpadami we własnym otoczeniu, otoczeniu

sąsiedzkim i w całej lokalnej społeczności. Jest to także czynnik motywujący do akceptacji prowadzonej polityki przez władze samorządowe, odpowiedzialne za gospodarkę odpadami. Społeczność całego kraju, regionu, a przede wszystkim społeczność lokalna musi dostrzec płynącą ze strony prawidłowo prowadzonej gospodarki odpadami korzyść, przede wszystkim dla siebie, czyli podniesienie poziomu estetyki miejsca swojego zamieszkania, konieczność ochrony walorów krajobrazowych, zdrowia i życia ludzi. Istotne jest zrozumienie, że bliskość miejsca unieszkodliwiania odpadów, na obecnym etapie wiedzy inżynierskiej, nie wiąże się z zagrożeniami, lecz przynosi korzyść ekonomiczną dla regionu.

Społeczne zrozumienie polityki zarządzania gospodarką odpadami wpływa na tworzenie i realizację planów ich zagospodarowywania. Opracowywanie planów przy społecznym współudziale prowadzi do szybkiej akceptacji planów, szczególnie w procesie ustalania miejsca lokalizacji zakładu unieszkodliwiania odpadów. Zmiana nawyków społecznych i otwarcie się na problem postępowania z odpadami wpływa na przestrzeganie zasad ich minimalizacji już u źródła, na właściwe ich przygotowywanie do transportu.

Nawiązanie dialogu i łączności pomiędzy organami decyzyjnymi a mieszkańcami jest jedyną drogą do zaangażowania indywidualnych gospodarstw domowych w „politykę odpadową”. Ta współpraca i wzajemne zrozumienie prowadzi do wyjaśnienia problemów i niepokojów, wymiany poglądów i pomysłów. Wypracowane i odnoszące spodziewane efekty rozwiązania przenoszone są następnie na obszar regionalny i krajowy. Współpraca, w tym zakresie, szczebla społecznego i rządowego wpływa na obniżenie kosztów, a tym samym na efektywność i sukces finansowy gminy, województwa i kraju. Tu jeszcze raz należy podkreślić, że osiągnięcie pozytywnej korelacji: władze samorządowe plus społeczeństwo, wymaga wypracowania obustronnych, pozytywnych technik negocjacyjnych.

6. SPOSOBY POSTĘPOWANIA Z ODPADAMI

6.1. Minimalizowanie ilości odpadów

Dynamiczny rozwój techniczno-gospodarczy oraz gwałtowny wzrost konsumpcji i zapotrzebowania na różnorodnego rodzaju produkty spowodował równie gwałtowne zwiększenie strumienia odpadów przemysłowych i komunalnych. Tabela 4 ilustruje strumień odpadów wytworzonych przez wybrane kraje europejskie.

Powiększający się strumień odpadów wymaga podjęcia intensywnych działań edukacyjnych z zakresu nowoczesnych technologii produkcji, stylu życia uwzględniającego odzysk odpadów u „źródła”, nowoczesnych metod utylizacji odpadów przez jednostki

samorządowe (decyzyjne). Podstawowym celem tych przedsięwzięć powinno być przeciwdziałanie zanieczyszczeniu środowiska ze strony odpadów.

Tabela 4. Odpady wytworzone w wybranych krajach europejskich (ostatnie dostępne dane z lat dziewięćdziesiątych)

Kraj	Rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo	Górnictwo i kopalnictwo	Działalność produkcyjna	Energia elektryczna, gaz i woda
	<i>w tysiącach ton</i>			
Polska	-	82670	22200	18030
Niemcy	-	16830	63090	19590
Czechy	5460	5000	38570	17060
Słowacja	4500	790	6720	2900
Norwegia	18000	7600	2880	-
Francja	377000	75000	101000	0
Belgia	-	810	13730	1140
Hiszpania	114000	70000	13830	-
Wielka Brytania	80000	74000	56000	13000

Przeciwdziałanie zanieczyszczeniu środowiska polega na zapobieganiu lub ograniczaniu wprowadzania do środowiska substancji, lub energii zanieczyszczających to środowisko czy skażających. Zasada „*przede wszystkim nie szkodzić*” jest więc podstawą zasady „*przede wszystkim ograniczać u źródła*”, czyli w miejscu, w którym odpad powstaje. Ograniczać, czyli minimalizować produkcję i ilość odpadów, a to oznacza również minimalizowanie źródeł powstawania odpadów i skutków oddziaływania odpadów na środowisko.

Celem minimalizacji ilości powstających odpadów jest dążenie do:

- zmniejszenia źródeł ich powstawania,
- zmniejszenie ilości odpadów i ich toksyczności,
- zastępowania substancji szkodliwych substancjami nieszkodliwymi (lub mniej szkodliwymi),
- tworzenia mechanizmów zapobiegających skażeniu środowiska,
- przekazywania wytworzonego odpadu do miejsca jego wykorzystania jako pełnowartościowego surowca,
- promocji wyrobów i technologii czystych ekologicznie (technologii proekologicznych),
- zmniejszenia kosztów i środków związanych z ich recyklingiem.

Aby doprowadzić do minimalizacji produkcji odpadów przyjąć można - następujące kolejno po sobie - trzy kierunki działania:

1. produkować tak, aby odpad nie powstawał, czyli poprzez wprowadzenie technologii mało- lub bezodpadowych,
2. powstały produkt uboczny, jakim jest odpad, wykorzystać jako surowiec w innym procesie technologicznym, a jeśli i to nie daje efektów
3. unieszkodliwiać poprzez kompostowanie, spalanie lub składowanie.

Minimalizacja u źródła, a tym samym zmniejszenie źródeł powstawania odpadów możliwa jest poprzez odpowiednią organizację pracy, wykorzystanie technologii mało- i bezodpadowych, stosowanie instalacji lub urządzeń, które nie przekraczają standardów emisyjnych i nie oddziałują na środowisko w sposób szkodliwy (zagrożający zdrowiu lub życiu ludzkiemu).

6.2. Technologie mało- i bezodpadowe

Spełnienie wymogu minimalizacji odpadów może doprowadzić do powstania i rozwoju *technologii mało- i bezodpadowych*. Na obecnym etapie wiedzy technologicznej odbywać się to może od chwili pozyskania surowca, z którego ma powstać produkt i takie jego przetworzenie w procesie technologicznym, które:

- nie spowoduje powstania odpadu,
- w przypadku, gdy odpad powstanie, możliwe jest jego zawrócenie do tego samego procesu technologicznego lub wykorzystanie w całości w innym procesie technologicznym,
- jednostkowe procesy technologiczne nie prowadzą do zanieczyszczenia środowiska naturalnego i nie stanowią zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi.

Prowadzenie takiej działalności gospodarczej wpływa na jej opłacalność, czyli zmniejszenie (zminimalizowanie) kosztów ponoszonych na inne metody zagospodarowywania odpadów, obniżenie materiałochłonności, kosztów eksploatacji innych technologii i kosztów ponoszonych na likwidację powstałych strat w środowisku.

Z uwagi na stan współczesnej nauki i wiedzy technologicznej należy podkreślić, że tylko nieliczne, wybrane działy gospodarki mogą sobie obecnie pozwolić na tego typu działalność produkcyjną. Największe szanse posiadają „drobne” przedsiębiorstwa prywatne, oparte na mało skomplikowanych technologiach, które sprzyjają rozwojowi technologii mało- i bezodpadowych. Drobnymi przedsiębiorcami są więc pierwszym ogniwem w produkcji ekologicznej, sprzyjającej środowisku naturalnemu. Z uwagi na zatrudnianie specjalistów ze ściśle określonych dziedzin nauki mogą stać się zaczątkiem nowych wynalazków i pomysłów w tym kierunku. Z kolei duże przedsiębiorstwa gospodarcze nie są wcale pozbawione

możliwości wprowadzania technologii bez- i małodopadowych. Początkowo mogą to być przedsięwzięcia nowatorskie, oparte o jednostkowe, wybrane działy produkcji. Powolne ale ciągle, stopniowe wprowadzanie zmian prowadzi do powolnej syntezy pojedynczych ciągów technologicznych. Końcowym efektem, początkowo uciążliwej, ale sukcesywnie zmienianej technologii jest osiągnięcie zamierzonego celu: uzyskanie pełnego ciągu technologicznego mało- lub bezodpadowego.

Technologie mało- i bezodpadowe prowadzą do stworzenia zintegrowanego systemu produkcji, w którym odpad powstały w jednym cyklu technologicznym wykorzystany jest w innym cyklu tej samej technologii. Produkcja bezodpadowa wymaga stworzenia takiego produktu, który, gdy stanie się odpadem, może być w sposób łatwy i szybki rozłożony na części składowe. Części te mogą być z kolei wykorzystane w tym samym procesie technologicznym lub po bezodpadowym przetworzeniu w innych, nawet zupełnie różnych procesach. Wypracowany system wpływa na wzajemną współpracę pomiędzy różnymi dziedzinami gospodarki. Polega ona na wymianie pomiędzy producentami informacji na temat składu surowcowego produktu-odpadu i ewentualnych możliwych zmian, jakie można wprowadzić w jego składzie. Tym samym w sposób łatwy i szybki następuje oszacowanie jakości i składu otrzymanego w kolejnym cyklu technologicznym produktu i odpadu.

Technologia mało- i bezodpadowa sprowadza się więc do tego, że z odpadu w jednej technologii powstaje pełnowartościowy produkt w innej technologii. W krajach wysoko rozwiniętych system ten funkcjonuje i odnosi sukcesy finansowo-gospodarcze. Przykładem jest Japonia, która wprowadziła obowiązek zamieszczania na produktach powstałych z surowców wtórnych etykiet informujących o zastosowaniu elementów odpadowych w produkcji oraz informację, że dany produkt w całości wykonany jest z odpadu. Wyrobom tym poświęca się specjalne programy promujące, przez co znajdują szerszą rzeszę odbiorców niż produkt zupełnie nowy. Należą one do najlepiej sprzedających się w całej gospodarce.

Wypracowanie systemu technologii mało- i bezodpadowych, zwłaszcza systemu zintegrowanej produkcji (m.in. współpracy pomiędzy przedsiębiorcami), może przyczynić się do powstania nowego systemu, jakim jest „*produkcja ekologiczna*”. Opiera się ona na produkcji wyrobu zbudowanego z substancji biorozkładalnych (utylicacja przy współpracy mikroorganizmów) oraz wyrobu, który w swym składzie zawiera minimalną ilość składników. Prowadzi to do uproszczenia składu materiałowego wytwarzanych produktów. Podstawą produkcji ekologicznej jest obowiązek tworzenia produktu w całości umiejscowionego w systemie recyklingu. Produkt ten w całości może być powtórnie wykorzystany, po rozbiórce na elementy składowe lub po całkowitym jego przetworzeniu. Z

upływem czasu, analiz i wypracowywania coraz lepszych metod „czystej” i „ekologicznej produkcji” technologie mało- i bezodpadowe mogą stanowić ekologiczną przewagę nad innymi, nieekologicznymi technologiami.

Wymienione koncepcje są obecnie trudne do osiągnięcia, wymagają bowiem dużego nakładu pracy motywującej do zmiany nawyków produkcyjnych, do wprowadzenia technologii, które wykorzystują w jednym cyklu technologicznym kilka procesów jednostkowych: fizyczne, chemiczne i biologiczne. Wymagają dużego zaangażowania placówek naukowych, biur projektów, środków inwestycyjnych. Jednak tempo rozwoju gospodarczego oraz brak miejsca na utylizację odpadów, ich negatywny wpływ na środowisko świadczą, że jest to jedyna droga dalszego rozwoju cywilizacyjnego.

7. PRZEDSIĘWZIĘCIA TECHNICZNE W GOSPODARCE ODPADAMI

Każdy wytwórca odpadów musi kierować się zasadą planowego i zrównoważonego gospodarowania wytworzonymi odpadami. Zrównoważone gospodarowanie odpadami musi prowadzić do:

- zapobiegania powstawaniu odpadów lub ograniczania ich ilości i negatywnego oddziaływania na środowisko,
- jeżeli nie udało się zapobiec powstaniu odpadów, to musi być zapewniony ich odzysk,
- jeżeli nie udało się ani zapobiec powstaniu odpadów i nie udało się ich odzyskać musi być zapewnione ich unieszkodliwienie, zgodne z zasadami ochrony środowiska.

Podstawą gospodarowania odpadami jest ich odzysk lub unieszkodliwienie już w miejscu ich powstawania, czyli „u źródła”. Źródło powstawania odpadów to ich wytwórca. Dopiero w przypadku, gdy zachowanie tej reguły nie jest możliwe odpady kieruje się do najbliższej położonego miejsca, w którym mogą być odzyskane lub unieszkodliwione. Odzysk i unieszkodliwianie powinny być prowadzone, przy zapewnieniu dostępnej, nowoczesnej techniki i technologii. Na obecnym etapie nauki i specjalistycznej wiedzy technologicznej za najlepszą technikę i technologię uważa się tę, która jest najbardziej efektywna i umożliwia osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony środowiska. Przy tym jest ona na takim stopniu rozwoju, który umożliwia jej praktyczne zastosowanie w nowoczesnych i możliwych do uzyskania technologiach. Poziom ten dotyczy jednostkowych faz procesu technologicznego, do których należą metody projektowania, wykonania, eksploatacji oraz likwidowania danego przedsięwzięcia.

Uwzględniając najnowsze osiągnięcia techniki *planowe gospodarowanie odpadami* powinno być prowadzone poprzez kolejno następujące po sobie etapy:

- *zbieranie* odpadów połączone z ich segregacją „u źródła”, które przygotowuje odpady do transportu, do miejsc odzysku lub unieszkodliwiania. Realizowane poprzez umieszczenie odpadów w specjalnie do tego celu przeznaczonych zbiornikach i pojemnikach;
- *segregowanie* odpadów już u „źródła” oraz w miejscu ich unieszkodliwiania;
- *magazynowanie* odpadów, czyli tymczasowe ich przechowanie przed transportem do miejsca odzysku lub unieszkodliwiania;
- *transport* odpadów realizowany poprzez „transport bezpieczny”, czyli nie powodujący wtórnego zanieczyszczenia środowiska lub skażenia;
- *recykling*, którego zadaniem jest odzyskanie odpadów w całości, w części lub w celu odzyskania z odpadów tylko niektórych, wybranych substancji, materiałów czy energii, dla ponownego ich wykorzystania;
- *unieszkodliwianie* odpadów poprzez doprowadzenie ich do stanu nie stwarzającego zagrożenia dla środowiska i zdrowia lub życia ludzi, które wykonywane jest poprzez:
 - 1) *kompostowanie*,
 - 2) *spalanie*,
 - 3) *składowanie*;
- *rekultywacja* terenów zdegradowanych przez odpady, prowadząca do przywrócenia im pierwotnego stanu i użyteczności gospodarczej.

Każdy z wymienionych etapów kontrolowany powinien być pod kątem ochrony środowiska, zdrowia i życia człowieka.

7.1. Zbieranie i segregowanie odpadów

Zbieranie odpadów i ich segregowanie (oddzielanie) należy do podstawowych i najważniejszych działań w racjonalnym systemie gospodarowania odpadami. Segregowanie, czyli oddzielanie od siebie różnych grup odpadów (np. tworzyw sztucznych, szkła, metali) prowadzi do wyodrębnienia odpadów organicznych i mineralnych. Ponadto dzięki tym czynnościom uzyskuje się informacje o:

- ilości wytwarzanych odpadów,
- jakości otrzymanych odpadów,
- miejscach powstawania odpadów,
- właściwościach fizycznych, chemicznych i biochemicznych odpadów,
- możliwym wpływie na środowisko (w tym i na zdrowie ludzi),
- możliwościach odzysku surowców wtórnych,
- potencjalnych metodach ich unieszkodliwienia,

- ekonomicznych podstaw odzyskania lub unieszkodliwienia odpadów.

Czynności zbierania i segregowania odpadów rozpocząć należy od miejsca, w którym są one wytwarzane, czyli „u źródła”. Jest to najbardziej energo- i ekonomicznie oszczędny proces. Pozwala na szybkie pogrupowanie odpadów pod względem ich podobieństwa rodzajowego i właściwości, a przy tym nie dochodzi do niepożądanego wymieszania z innymi odpadami czy zabrudzenia. Proces zbierania i segregowania odpadów prowadzony musi być przez całe społeczeństwo, które musi przestrzegać ujednoczonych zasad wstępnego zbierania i sortowania odpadów na poszczególne rodzaje: szkło i opakowania szklane, metale żelazne i nieżelazne, opakowania metalowe, tworzywa sztuczne, makulatura, materiały budowlane, tworzywa biodegradowalne organiczne i nieorganiczne, tworzywa nie ulegające biodegradacji. Te pierwsze czynności pozyskiwania odpadów są szczególnie istotne w przypadku indywidualnych gospodarstw domowych. Według stanu na 1998 rok w Polsce zamieszkuje około 386536 tysięcy ludzi, z czego 61,8% stanowią mieszkańcy miast. Ludność ta prowadzi około 11687,7 tysięcy gospodarstw domowych. Spośród nich liczbę zamieszkałych gospodarstw, w przeliczeniu na województwa, ilustruje tabela 5

Tabela 5. Zasoby mieszkaniowe w Polsce zamieszkałe w 1998 roku

Województwo	Zasoby mieszkaniowe, w tysiącach	Województwo	Zasoby mieszkaniowe, w tysiącach
Dolnośląskie	922,2	Podkarpackie	557,6
Kujawsko-Pomorskie	624,6	Podlaskie	377,0
Lubelskie	667,5	Pomorskie	629,7
Lubuskie	301,4	Śląskie	1585,3
Łódzkie	905,3	Świętokrzyskie	391,3
Małopolskie	894,5	Warmińsko-Mazurskie	415,4
Mazowieckie	1632,7	Wielkopolskie	949,6
Opolskie	320,2	Zachodniopomorskie	513,5

Zaangażowanie co najmniej jednej osoby z każdego indywidualnego gospodarstwa domowego do selektywnej zbiórki i gromadzenia odpadów, może przynieść ogromne korzyści społeczne, gospodarcze i ekonomiczne. Analiza zarządzania odpadami w krajach europejskich, które zbiórkę i selektywną gospodarkę odpadami mają już na wysokim poziomie społecznym ukazuje, że system ten pozwala na odzyskanie i ponowne wykorzystanie około 50÷80% bytowych odpadów komunalnych pochodzących z indywidualnych gospodarstw domowych.

Korzyści społeczne wynikają z edukacji proekologicznej, na którą najbardziej podatne jest młode pokolenie. Dorastając, będzie posiadać nabyty już nawyk prowadzenia selektywnej i racjonalnej gospodarki odpadami. Uświadomienie sensu i konieczności takiego działania, ograniczy ilość odpadów bytowych, opuszczających próg domostwa. Nauczenie się i nabycie nawyków, przez społeczeństwo, segregowania i oddzielania od siebie odpadów mineralnych i organicznych, wydzielania surowców wtórnych, zminimalizuje ilość bezpowrotnie traconych wartościowych jeszcze surowców. Zminimalizuje ilość odpadów organicznych kierowanych do składowania, a wykazywanie inicjatywy, w przypadkach niewłaściwego postępowania z odpadami we własnym sąsiedztwie, jak i zaangażowanie się w proces racjonalnego zarządzania odpadami na terenie lokalnym skutkować będzie CZYSTYM otoczeniem wokół indywidualnego domostwa, jak i w całej gminie lokalnej, regionie i w kraju.

Korzyści gospodarcze wynikają z możliwości pozyskania surowców, które z uwagi na swój stan mogą stanowić nadal surowiec podstawowy lub drugorzędny w tym samym, podobnym, lub innym procesie technologicznym. Zmniejsza to zużycie surowców pierwotnych, a także minimalizuje ilość energii zużywanej na jego wyprodukowanie.

Korzyści ekonomiczne wiążą się z obniżaniem kosztów ponoszonych przez społeczeństwo na zagospodarowywanie odpadów, które już u źródła są wydzielone, posegregowane i złożone w oddzielnych pojemnikach. Wydzielenie odpadów typowo organicznych, surowca wtórnego, odpadu palnego i niepalnego obniża koszty segregacji w zakładzie utylizacyjnym. Odzyskane surowce wtórne obniżają koszty produkcji nowych wyrobów, a tym samym następuje obniżenie cen handlowych.

Do realizacji zadania selektywnej zbiórki odpadów, w tym i gromadzenia oraz dla usprawnienia całego procesu wszystkie szczeble gospodarki powinny być wyposażone w specjalne kontenery, pojemniki, zbiorniki i kosze, różnego rodzaju worki foliowe (rysunek 5, 6 i 7). Różnorodność form, kształtów, wielkości zbiorników wynika z różnorodności odpadów. Pojemniki dobiera się do poszczególnych grup odpadów, wielkości indywidualnych gospodarstw, jak i zbiorowych osiedli mieszkaniowych. Pojemniki na odpady powinny stanowić stały element do ich usuwania i dalszego wykorzystania.

Konieczność wydzielania i oddzielania od siebie konkretnych grup odpadów wynika z celu uzyskania „czystego” surowca wtórnego, który nie musi być poddawany dodatkowym czynnościom segregowania i czyszczenia (np. papier poplamiony olejami). Kontakt z obcymi, agresywnymi substancjami prowadzi często do utraty surowca, który nie może być ponownie wykorzystany.

Właściwie prowadzone zarządzanie gospodarką odpadami wymaga uwzględnienia i zapewnienia takich dodatkowych czynników, przy bezwzględny udział społeczeństwa, jak organizacja punktów zbiórki odpadów, częstotliwości zbiórki, miejsc przechowywania zebranych odpadów, środków transportu i stacji przeładunkowych. Cały proces zarządzania odpadami ma sens wówczas, gdy znany jest cel, środki, korzyści i efekt poniesionego wysiłku. Zbiórka i segregowanie odpadów jest pierwszym etapem procesu *recyklingu*.



Rysunek 5. Pojemniki na wydzielenie surowców wtórnych oraz selekcję odpadów organicznych i mineralnych (almaxradom.com.pl/odpady)



Rysunek 6. Różne typy pojemników na selektywną i nieselektywną zbiórkę odpadów komunalnych (PUA „ASTWA” Spółka z o.o., Białystok)



Rysunek 7. Różne typy samochodów do transportu strumienia odpadów komunalnych i czyszczenia ulic (PUA "ASTWA" Spółka z o.o.)

7.2. Recykling

Najważniejszym procesem w gospodarowaniu odpadami jest *recykling*.

Recykling polega na takim gospodarowaniu odpadami, które w pierwszej kolejności zmierza do odzysku odpadów w całości lub w części, odzysku substancji, lub innych materiałów zawartych w odpadach. W efekcie powtórnego ich przetworzenia, w odpowiednio dobranym procesie i technologii, powinno uzyskać się produkt o przeznaczeniu pierwotnym lub innym, służący do dalszego wykorzystania.

W aspekcie ochrony środowiska recykling daje określone, pozytywne skutki społeczne, gospodarcze i ekonomiczne (rysunek 8). Podstawowym jego celem jest:

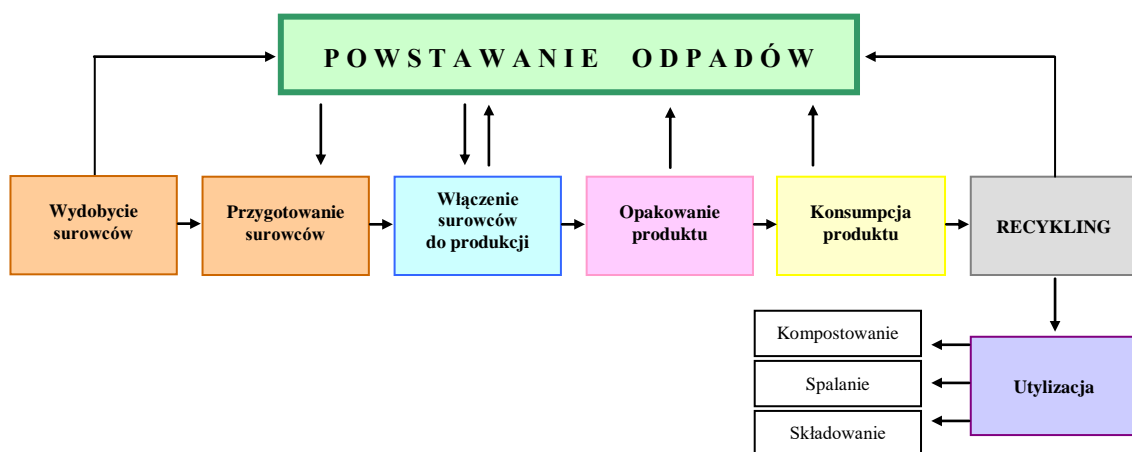
- zmniejszenie masy deponowanych odpadów, a co za tym idzie zmniejszenie kosztów ich zbierania i unieszkodliwiania,
- zwiększenie bazy surowcowej, poprzez odzyskanie surowca wtórnego,
- zmniejszenie zużycia surowców, w wyniku wykorzystania do tego samego procesu surowca wtórnego,
- zmniejszenie powierzchni terenów przeznaczonych na ich deponowanie, poprzez zmniejszenie objętości deponowanych odpadów,

- wydłużenie okresu eksploatacji magazynów i składowisk odpadów, co ogranicza ilość składowisk i szybkość powstawania nowych,
- ochrona zasobów naturalnych, poprzez zmniejszenie uciążliwości ze strony odpadów,
- oszczędność energii, jaka zużywana jest na ich unieszkodliwianie,
- uzyskanie oszczędności w unieszkodliwianiu odpadów, poprzez obniżenie opłat za korzystanie ze środowiska,
- zapewnienie dostępu do recyklingu (lokalnego, regionalnego i krajowego) całej społeczności.

Proces recyklingu jest najtrudniejszym etapem całym procesie zarządzania odpadami. Spowodowane jest to konieczną procedurą zdefiniowania składu chemicznego segregowanych i odzyskiwanych materiałów, która to znajomość jest konieczna dla przyjęcia i zastosowania odpowiedniej procedury ich dalszego zagospodarowania.

Recykling oparty jest na kolejno po sobie następujących fazach:

1. *faza pozyskania* odpadu czyli jego zbiórka i segregacja (omówiona w poprzednich rozdziałach),
2. *faza uzdatniania*, czyli przetwarzania odpadu,
3. *faza przechowywania* odpadu,
4. *faza użytkowania* odpadu.



Rysunek 8. Powstawanie odpadów na etapie cyklu życia produktu (Z. Karaczun, 1999, zmienione)

Faza uzdatniania odpadu prowadzona jest poprzez (zdjecie 1 i 2):

- wstępną separację, czyli wydzielenie materiałów o identycznych lub zbliżonych cechach i właściwościach,

- osuszanie i czyszczenie,
- rozdzielanie na:
 - surowce wtórne i przywracanie im właściwości użytkowych,
 - odpady palne kierowane do spalania,
 - odpady niepalne kierowane na składowiska.

Odpady, które przeznaczone są do unieszkodliwienia w procesie kompostowania, spalania lub deponowania na składowiskach poddaje się wstępnej obróbce, w celu zmniejszenia ogólnej objętości masy. Obróbka wstępna polega na:

- rozdrabnianiu, mieleniu i przesiewaniu odpadów,
- granulowaniu i przetapianiu,
- przetworzeniu dla uzyskania wymaganej formy (np. brykietowanie, belowanie, cementowanie).

Faza przechowywania odpadów obejmuje etap gromadzenia w ilości opłacalnej ekonomicznie do przekazania potencjalnemu odbiorcy (rysunek ...). Odpady przechowuje się w sposób uniemożliwiający wtórne zanieczyszczenie środowiska naturalnego przez odpady, np. poprzez rozwiewanie przez wiatry, wyplukiwanie łatwo rozpuszczalnych substancji. Także odpady muszą być izolowane od wpływu środowiska zewnętrznego, które może spowodować zniszczenie wydzielonego surowca przez opady atmosferyczne (np. makulatura).

Faza użytkowania odpadów wiąże się z gospodarczym wykorzystaniem nowego, pół- lub pełnowartościowego produktu otrzymanego z substancji odpadowej.



Zdjęcie 1. Wydzielenie materiałów o identycznych lub zbliżonych cechach i właściwościach – składowisko odpadów w Dukli



Zdjęcie 2. Segregowanie makulatury (almaradom.com.pl/ odpady/htm)

Sprawny i efektywny system recyklingu oparty powinien być o szczegółowe określenie:

- jakie rodzaje odpadów (surowców) mają być odzyskiwane,
- miejsc, z których będą pozyskiwane,
- metod i środków, przy pomocy których recykling zostanie wprowadzony do powszechnego stosowania,
- miejsc przechowywania odzyskanych surowców, czasu przechowywania, środków transportu,
- odbiorców surowców wtórnych i rynków zbytu,
- kosztów recyklingu określonych rodzajów odzyskiwanych surowców,
- kosztów całego procesu.

Określenie kosztów recyklingu pojedynczych rodzajów surowców wtórnych oraz kosztów całego procesu jest istotne z uwagi na możliwość obniżenia kosztów zarządzania odpadami. Istotne jest to z uwagi na konieczność prowadzenia kontroli, czy opracowany i przyjęty do stosowania system zarządzania odpadami nie przynosi strat finansowych.

Dla kontroli finansowej procesu zarządzania odpadami należy oszacować:

1. aktualną wartość produktów na rynku krajowym, w różnych jego regionach, z uwzględnieniem zmian w cenach, które wpływają na przychód uzyskany z ich sprzedaży;
2. koszty ponoszone na unieszkodliwianie odpadów, które nie są poddawane recyklingowi.

Różnica pomiędzy przychodem ze sprzedaży produktów a kosztami ich unieszkodliwiania stanowi kwotę, którą można przeznaczyć na prowadzenie recyklingu odpadów.

7.3. Surowce wtórne

Możliwość ponownego wykorzystania niektórych rodzajów odpadów, jak szkło, metale, papier i inne surowce, wynika z faktu, że wytworzone są z materiałów odnawialnych i istnieje możliwość przywrócenia tym materiałom ich pierwotnych właściwości. Możliwe jest to nawet poprzez usunięcie z nich substancji szkodliwych, które mogły pojawić się w procesie użytkowania wyrobu. Odpad, który ma stanowić potencjalny *surowiec wtórny* musi posiadać wartość gospodarczą, czyli musi spełniać warunek opłacalności jego zbierania, przetworzenia, wykorzystania i unieszkodliwienia.

Odpady i wszelkie produkty, które w trakcie użytkowania uległy procesowi starzenia się lub zużycia przechodzą w pierwszej kolejności fazę **odzysku**. Odzysk *polega na wyodrębnieniu całego odpadu, jego części lub też jedynie pewnych substancji, materiałów czy produktów w nich zawartych*. Otrzymany w wyniku tego procesu materiał nazywa się

surowcem wtórnym. Struktura, skład chemiczny, właściwości fizyczne surowca wtórnego mogą być odmienne od surowca wyjściowego na skutek procesów, jakie zachodzą w masie deponowanych odpadów, w krótkim czasie po ich złożeniu.

Surowiec wtórny otrzymuje się dwoma sposobami, poprzez:

- *segregację pierwotną* - realizowaną „u źródła”, czyli w miejscu powstawania odpadu,
- *segregację wtórną* – realizowaną w zakładach unieszkodliwiania odpadów.

Najbardziej efektywna jest segregacja pierwotna, bowiem zapewnia ona odpowiednią czystość, jakość i stan odzyskiwanych składników. Podczas magazynowania, transportu i mieszania odpadów z innymi substancjami mogą one w znacznym stopniu lub całkowicie utracić swoje właściwości użytkowe. Wówczas, w procesie segregacji wtórnej, otrzymuje się odpad gorszej jakości lub też całkowicie nie można go już odzyskać. Dlatego potencjalny surowiec wtórny powinien charakteryzować się łatwością usuwania substancji szkodliwych, które pojawiły się w trakcie użytkowania pierwotnego wyrobu lub które pojawiły się w czasie jego przechowywania jako odpad.

Sposób, w jaki prowadzona będzie segregacja wtórna, zależy od przyjętej technologii zakładu zagospodarowującego odpady i lokalnych warunków prowadzenia tego procesu. Jednak niezależnie od obranej drogi dalszego postępowania z surowcem wtórnym proces jego wydzielania (otrzymywania) jest kolejnym, obok recyklingu, najbardziej racjonalnym etapem w systemie zarządzania odpadami. Zmniejsza on ilość odpadów składowanych lub spalanych, minimalizuje, zużycie innych surowców, zmniejsza koszty zagospodarowywania odpadów, zmniejsza ilość odpadów uciążliwych dla środowiska. Tabela 6 ilustruje przykład redukcji zużycia energii i stopnia zanieczyszczenia środowiska naturalnego w wyniku wtórnego odzyskiwania wybranych surowców.

Tabela 6. Redukcja zużycia energii i stopnia zanieczyszczenia środowiska naturalnego przy wtórnym odzyskiwaniu surowców (S. Zakrzewski, 2000)

Produkt	Redukcja ilości wykorzystanej energii w %	Redukcja zanieczyszczenia atmosfery w %	Redukcja zanieczyszczenia wody w %
Aluminium	90 ÷ 97	95	97
Stal	47 ÷ 74	85	76
Papier	23 ÷ 74	74	35
Szkło	4 ÷ 32	20	-

Wykorzystanie odpadów, jako surowców wtórnych, polega na ich użyciu w celach:

- przemysłowych, np. energetycznych, w budownictwie, w technice (jako surowców wtórnych w całości, w części, bezpośrednio lub po procesie przetworzenia),

- nieprzemysłowych, np. do kształtowania powierzchni gruntów dla dostosowania do określonych potrzeb, nawożenia i ulepszenia gleby.

Należy zaznaczyć, że jak każdy inny proces technologiczny ma swoje zalety i wady, tak i w procesie recyklingu dostrzec można wady, które wynikają z faktu, że:

- technologie z udziałem surowców wtórnych są z reguły bardziej skomplikowane i kapitałochłonne,
- w trakcie recyklingu i przetwarzania surowców wtórnych mogą powstać odpady znacznie bardziej szkodliwe dla środowiska,
- uzyskany wyrób może okazać się *półproduktem*, czyli wyrobem o gorszej jakości od wyrobu pierwotnego.

7.4. Magazynowanie odpadów

Proces recyklingu i odzysku surowców wtórnych może być odłożony w czasie, czyli przeprowadzony znacznie później niż odpad powstał. Sytuacja taka może mieć miejsce w przypadku, gdy grupa odpadów nie może być wykorzystana z uwagi na poziom obecnej specjalistycznej wiedzy technologicznej oraz ze względów organizacyjnych. Występują jednak okoliczności, które rokują spożytkowanie odpadów w przyszłości. Do tego czasu odpady muszą zostać przechowane, czyli zmagazynowane.

Magazynowanie odpadów uwzględniać musi ochronę środowiska przed ich uciążliwym i szkodliwym wpływem na środowisko. Mając na uwadze **uciążliwości dla środowiska** rozumie się przez to zjawiska fizyczne lub stany utrudniające życie albo dokuczliwe dla otaczającego środowiska, głównie: hałas, wibracje, zanieczyszczenie powietrza i zanieczyszczenie odpadami. Natomiast **szkodliwe uciążliwości dla środowiska** są to wymienione wyżej zjawiska (stany) o natężeniu utrudniającym życie albo dokuczliwe dla środowiska w stopniu powodującym zagrożenie zdrowia ludzi, uszkodzenia lub zanieczyszczenia środowiska.

Uwzględniając te aspekty odpady przeznaczone do odzysku czy unieszkodliwienia (oprócz technologii składowania), mogą być magazynowane przez okres nieprzekraczający 3 lat. Natomiast odpady, które są przeznaczone do składowania mogą być magazynowane przez okres nieprzekraczający 1 roku pod warunkiem, że są magazynowane w celu zebrania odpowiedniej ich ilości do transportu.

Magazynowanie odpadów może odbywać się na wolnym powietrzu - w postaci hałd. Metoda ta jest jednak bardzo niekorzystna dla środowiska naturalnego z uwagi na pylenie, rozwiewanie cząstek odpadów, wymywanie rozpuszczalnych substancji. Najbardziej

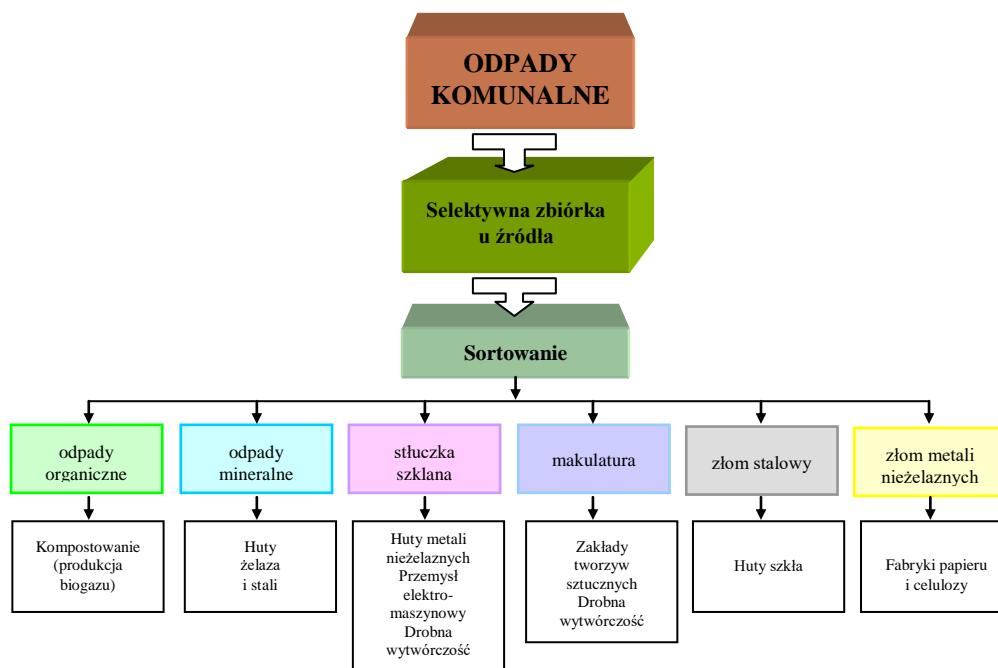
optymalny sposób magazynowania to wykorzystanie zamkniętych pojemników lub worków, a także wykorzystanie nieczynnych wyrobisk górniczych, szybów, otworów wiertniczych.

Materiał, z którego wykonany jest pojemnik, musi być odporny na działanie substancji wchodzących w skład odpadów, lub które mogą powstać na skutek mieszania się różnych składników. Dodatkowym zabezpieczeniem zbiorników na odpady są przestawne i rozbieralne wiaty ochronne.

Warunki magazynowania muszą zawsze spełniać wymagania ochrony środowiska przed ich szkodliwym wpływem - odpadów nie pozostawia się ich własnemu losowi.

7.5. Sortowanie odpadów

Gdy selektywna zbiórka odpadów „u źródła” nie jest możliwa, wówczas odpady gromadzone są w specjalnie do tego celu przeznaczonych miejscach i pojemnikach, z których transportowane są do zakładu zajmującego się zagospodarowywaniem odpadów. Zagospodarowanie zgromadzonych w ten sposób odpadów polega w pierwszej kolejności na ich sortowaniu.



Rysunek 9. Zbiórka, sortowanie i recykling odpadów (M. Żygadło, 1998)

Sortowanie odpadów polega na wydzieleniu z całej masy różnorodnych odpadów potencjalnych surowców wtórnych, które powstały w tej samej lub podobnej technologii, charakteryzują się podobnymi własnościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi (np. plastikowe opakowania, opony samochodowe, akumulatory, szkło białe, szkło kolorowe itp.).

Schemat zbiórki, sortowania i recyklingu odpadów ilustruje rysunek 9.

Sortowanie odpadów tworzyć powinno systemem zorganizowany, w którym dodatkowo wydzielone surowce wtórne poddawane są *oczyszczaniu, rozdrabnianiu i kruszeniu* do frakcji o mniejszych cząstkach, *mieleniu* poprzez rozdrabnianie do frakcji pyłastej, *wstępnemu przetwarzaniu* (granulowaniu, prasowaniu, brykietowaniu).

7.6. Postępowanie z odpadami niebezpiecznymi

Odpady niebezpieczne podlegają tym samym zasadom zagospodarowywania co odpady komunalne i przemysłowe. W pierwszej kolejności redukuje się źródła powstawania poprzez modernizację technologii wytwarzania niebezpiecznych produktów ubocznych. Dalsze czynności to zbieranie, segregowanie, poddawanie recyklingowi i dopiero surowce, których nie można w inny sposób wykorzystać, poddawane są unieszkodliwianiu. Należy przy tym pamiętać, że odpad niebezpieczny (czy specjalny) może powodować skażenie powietrza, wody i gleby jeszcze przed ich oficjalnym zniszczeniem.

Recykling odpadów, wykorzystanie i unieszkodliwienie prowadzony jest najpierw w miejscu ich powstawania. W następnej kolejności odpady te są zbierane, gromadzone i przechowywane. Po uzyskaniu odpowiedniej wielkości partii odpadów, transportowane są do zakładu wykorzystania surowców wtórnych lub unieszkodliwienia. Odpady niebezpieczne przed transportem muszą być odpowiednio opakowane, co zabezpiecza środowisko na wypadek przypadkowego rozproszenia, a tym samym szkodliwego oraz toksycznego oddziaływania.

W zależności od stanu odpadów, do ich przechowywania stosuje się:

- dla odpadów w stanie stałym: zadane wiaty magazynowe, pod którymi umieszczone są pojemniki z odpadami lub naziemne zasieki, gdy odpady składowane są luzem;
- dla odpadów w stanie ciekłym: wiaty magazynowe, pod którymi umieszcza się pojemniki z odpadami oraz naziemne, zamknięte zbiorniki dla odpadów przepompowywanych z system transportowych czy innych zbiorników;
- dla odpadów stanowiących pasty i szlamy: wiaty magazynowe, pod którymi ustawiane są pojemniki z odpadami lub zadane naziemne i otwarte zbiorniki.

Materiały, z których wykonywane są wszelkie pojemniki, zbiorniki, wiaty i konstrukcje powinny stanowić izolację odporną na korozyjne działanie odpadów, zapewniającą bezpieczeństwo wszystkich prac wykonywanych przy odpadach niebezpiecznych. Przed szkodliwym wpływem tych odpadów zabezpieczone powinny być

także wszystkie powierzchnie komunikacyjne przy miejscach ich przechowywania, gromadzenia, przeładowywania.

Wszelkie Pomieszczenia oraz pojemniki do przechowywania odpadów medycznych i weterynaryjnych muszą zapewniać możliwość ich dezynfekcji.

Pojemniki do przechowywania odpadów niebezpiecznych są pojemnikami jednorazowego użytku i wykonane z materiału podatnego na termiczny rozkład. Pokrywa takiego pojemnika powinna być wykonana, również jako zabezpieczenie jednorazowego użytku, czyli nie pozwalające na kolejne otwarcie pojemnika.

Odpady niebezpieczne przechowuje się przez okres 48 godzin, w temperaturze pomieszczenia 10÷20⁰C. Jeżeli czas przechowywania jest dłuższy, w pomieszczeniach magazynowych utrzymuje się temperaturę nie przekraczającą 10⁰C.

Odpady niebezpieczne mogą być poddawane obróbce:

- **metodami fizycznymi**, które obejmują *separację faz* (np. metoda filtracji i sedymentacji), *przemiany fazowe* (np. destylacja, odparowanie, strącanie metodami fizycznymi), *przenoszenie między fazami* (np. ekstrakcja, adsorpcja), *rozdzielanie na membranach* (np. odwrócona osmoza, hiper- i ultrafiltracja);
- **metodami chemicznymi**, poprzez *zobojętnianie* (np. reakcje kwasowo-zasadowe), *ekstrakcję chemiczną i ługowanie*, *strącanie chemiczne*, *reakcje oksydacyjnoredukcyjne*, *wymianę jonową*, *elektrolizę*, *hydrolizę*, *fotolizę*;
- **cieplnej**, czyli *spopielaniu*, *utlenianiu na mokro*, *spalaniu w łuku plazmowym*, *niszczeniu w stopionych solach*, *traktowaniu przegrzaną wodą*;
- **metodami biotechnologicznymi**, z wykorzystaniem wyselekcjonowanych mikroorganizmów lub poprzez *zatapianie w morzu*, *wieloletnie składowanie*, *podziemne wstrzykiwanie*, *tworzenie soli*, *tworzenie obszarów jałowych i nienasyconych*.

Mając na uwadze sposoby pozbywania się odpadów niebezpiecznych metodami biotechnologicznymi, należy pamiętać, że są to swoiste chemiczne bomby zegarowe. Pojęcie chemicznej bomby zegarowej dotyczy sytuacji, w których substancje niebezpieczne mogą dostać się do środowiska w sposób nagły i niekontrolowany, prowadzący do jego skażenia.

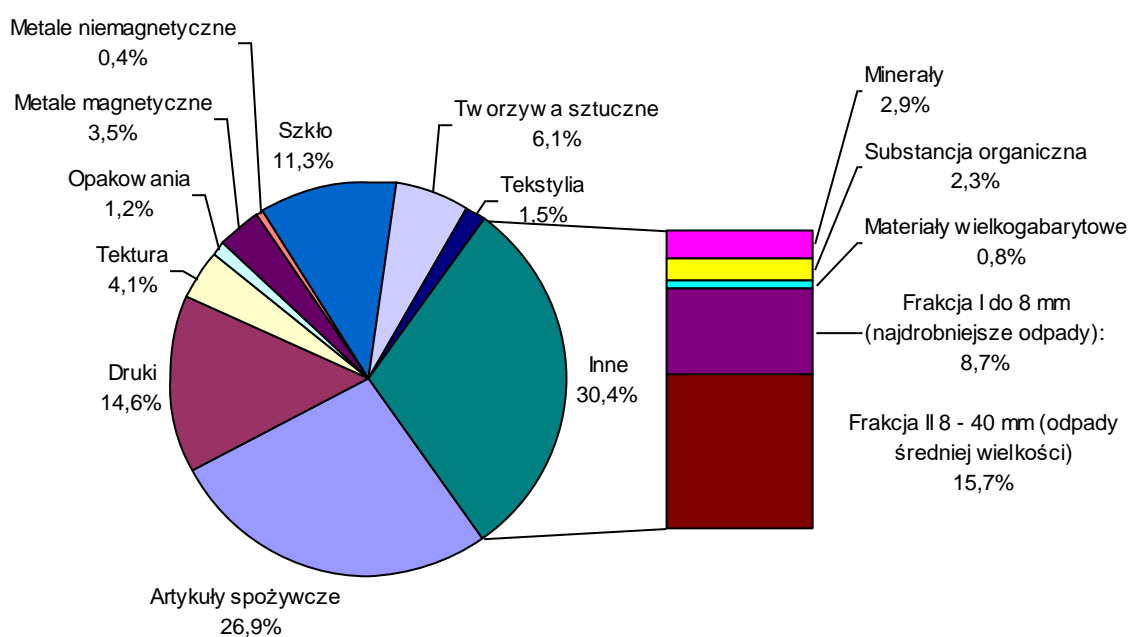
8. BADANIE ODPADÓW

W celu prowadzenia ekonomicznej polityki gospodarki odpadami, należy prawidłowo zaprojektować poszczególne jej etapy, czyli minimalizację i zbiórkę odpadów u źródła, recykling i zagospodarowanie tego, co pozostało. Zagospodarowanie odpadów nie nadających się do ponownego wykorzystania może nastąpić poprzez budowę kompostowni, spalarni lub

składowiska. Poszczególne etapy zagospodarowania strumienia odpadów wymagają więc dokładnej jego znajomości od strony rodzaju odpadów, ich składu chemicznego, właściwości fizyczno-chemicznych. Parametry te składają się na ilość i jakość strumienia odpadów. Wiedzę na ten temat uzyskuje się poprzez wykonanie analizy i oceny ilościowej i jakościowej strumienia odpadów.

Skład chemiczny klasyfikuje odpad, jako substancję organiczną lub mineralną. Ponadto, jako substancję nadającą się do unieszkodliwienia metodami biologicznymi, czyli na drodze ich mikrobiologicznego rozkładu lub metodami fizycznymi poprzez kompostowanie, spalanie lub składowanie. W celu dokonania oceny składu ilościowego i jakościowego odpadów konieczne jest ściśle ustalenie źródeł, z których odpady pochodzą. Przybliżony skład i procentową objętość miejskich odpadów z indywidualnych gospodarstw domowych ilustruje rysunek 10.

Rysunek 10. Skład i procentowa objętość odpadów domowych miejskich



Do podstawowych miejsc, które są poddawane badaniom i ocenie, należą:

- zabudowa mieszkaniowa jedno- i wielorodzinna, wolnostojąca i zbiorowa;
- usługi komercyjne, jak oświata i nauka, gastronomia, handel, punkty usługowe;
- usługi komunalne i rzemiosło, jak łaźnie, sauny, pralnie, stacje obsługi samochodów, stacje oczyszczania miast;
- usługi społeczne, jak służba zdrowia, miejsca kultury, turystyka i sport (hotele, domy wypoczynkowe, kempingi, hale sportowe, lotniska itp.);
- administracja państwowa i przemysł (urzędy i instytucje, zakłady pracy, tereny składów przemysłowych itp.).

Z uwagi na tak duże zróżnicowanie źródeł pochodzenia odpadów poddawany analizie materiał wyjściowy zależeć musi w dużym stopniu od miejsca jego pobrania. Charakteryzuje on także społeczność, z której pochodzi. Dlatego na podstawie analizy charakteru odpadów otrzymuje się obraz źródła, z którego on może pochodzić.

8.1. Typy jednostek osiedleńczych wytwarzających odpady

W ostatnim dziesięcioleciu wyraźnie zaznaczył się wzrost strumienia odpadów komunalnych w przeliczeniu na jednego mieszkańca, przy jednoczesnej zmianie składu tych odpadów. Szczególnie wyraźnie zaznacza się wzrost ilości materiałów opakowaniowych, tworzyw sztucznych, materiałów wielkogabarytowych.

Na podstawie zmienności składu odpadów można ocenić funkcję, jaką jednostka osiedleńcza: miasto i wieś pełni w regionie. Może to być ośrodek typowo przemysłowy, usługowy, rolniczy, turystyczno-wypoczynkowy lub ośrodek stanowiący sprzężenie wymienionych funkcji. Jeszcze inne, odrębne źródło odpado-twórcze stanowią społeczne środowiska miejskie.

Uwzględniając „produkcję” całej gamy różnorodnych odpadów środowisko miejskie podzielić można na trzy typy jednostek osiedleńczych:

Typ I – obejmuje zabudowę mieszkalną niską i wysoką (wielokondygnacyjną), jedno- i wielorodzinną, stanowiącą strukturę wolno stojącą lub grupową. Mieszkania wyposażone są w wodociąg, kanalizację, WC i łazienkę z centralną dostawą ciepłej wody. Tylko nieliczne lokale wyposażone są w lokalne urządzenia grzewcze i kanalizacyjne. Zabudowa charakteryzuje się pełnym wyposażeniem w sieć instalacji energetycznej i sieć komunikacyjną. Teren zabudowy nasycony jest różnorodnymi ośrodkami usług oświaty i nauki, rekreacji, służby zdrowia, handlu i gastronomii, usług komunalnych i administracji państwowej. Strumień odpadów zawiera znaczna przewagę substancji mineralnych.

Typ II – obejmuje zabudowę zwartą niską i wysoką, jedno- i wielorodzinną o dużym nasyceniu usług, podobnie jak w typie I. Występuje tu jednak bardziej zróżnicowany system wyposażenia mieszkań w wodociąg i kanalizację, który może być zbiorczy lub lokalny. Także sieć dostarczająca ogrzewaną wodę oraz sieć centralnego ogrzewania jest w większym stopniu zróżnicowana (lokalna lub zbiorcza). Odnaleźć tu można piece na opał węglowy, drzewny, piece olejowe itp. Teren zabudowy nasycony jest ośrodkami usług, lecz o mniejszym stopniu zróżnicowania i w mniejszej ilości. Strumień odpadów zawiera porównywalną ilość substancji organicznych i mineralnych, jednak nadal z przewagą substancji mineralnej.

Typ III – obejmuje zabudowę jedno- i wielorodzinną, zwartą lub wolno stojącą z niepełnym wyposażeniem w urządzenia techniczno-sanitarne. Wyróżnia się małym nasyceniem terenu ośrodkami usług. Elementem charakterystycznym są przydomowe ogródki działkowe. Strumień odpadów zawiera obok substancji mineralnych dużą ilość substancji organicznej.

Odrębny typ terenów mieszkaniowych tworzą środowiska wiejskie. Charakter odpadów różni się od odpadów miejskich stosunkowo dużą masą i objętością substancji organicznej, przewyższającej ilościowo substancję mineralną.

W środowisku wiejskim wydzielić można dwa typy gospodarstw:

Typ I – obejmuje małoobszarowe gospodarstwa rolne utworzone przez indywidualne gospodarstwa rodzinne. Wyróżniają się one pod względem produkcji rolnej, która może być: rolno-zwierzęca, zwierzęca, owocowo-warzywnicza, szklarniowa. Odpad tworzy substancja organiczna i mineralna, na którą składają się odchody zwierzęce: obornik, gnojowica, gnojówka oraz chemiczne środki ochrony roślin, nawozy mineralne, odpady roślinne i owocowe, itp.

Typ II – obejmuje wielkoobszarowe gospodarstwa rolne oparte na szeroko rozwiniętej produkcji rolno-zwierzęcej. Gospodarstwa te dzieli się na gospodarstwa specjalizujące się w kierunku: roślinno-zwierzęcym, roślinnym, zwierzęcym, sadowniczym, szklarniowym, szkółkarskim. Odpady są podobne w swoim składzie do odpadów typu I, jednak występują w znacznie większej ilości.

W ostatnich latach zaznacza się wyraźnie kolejny **III Typ** indywidualnych wiejskich gospodarstw rodzinnych. Obejmuje on gospodarstwa zajmujące się tylko lub dodatkowo działalnością agroturystyczną. Gospodarstwa te, obok określonego kierunku rolnego, prowadzą sezonową lub całoroczną działalność o charakterze turystycznym. Odpady stanowią

mieszaninę odpadów organicznych i mineralnych, jak w typie I i II lecz z większym udziałem substancji mineralnej, szczególnie stanowiącej materiały opakowaniowe.

Wyposażenie wymienionych typów jednostek osiedleńczych w podstawowe urządzenia komunalne (w Polsce) ilustruje tabela 7.

Tabela 7. Podstawowe Urządzenia komunalne w miastach (M) i wsiach (W) Polski w latach 1990÷1999.

Rok	Wodociągi*		Kanalizacja*		Gazownictwo*		Czynne miejskie trasy komunikacyjne
	M	W	M	W	M	W	
1990	1118,8	944,1	553,1	42,2	760,2	290	19937
1995	1385,1	1732,3	685,6	78,8	974,2	615,9	25293
1998	1525,8	2229,5	811,1	178,6	1094,1	738,2	22782
1999	1566,1	2360,5	858	222,9	1136,5	787,2	24943

* Poszczególne sieci: wodociągowa, kanalizacyjna i gazownicza stanowią sumę sieci rozdzielczej i połączeń prowadzących do budynków mieszkalnych.

Przyrost zaopatrzenia kraju w sieć wodociągową, kanalizacyjną, gazowniczą i trasy komunikacji miejskiej w istotny sposób wpływa na postępujący za nim przyrost masy odpadów komunalnych: stałych i ciekłych. Rozważając powyższe typy środowisk można dokonać analizy strumienia odpadów, jaki z nich wypływa i ocenić go według wskaźników ilościowych i jakościowych. Wskaźniki ilości i jakości odpadów będą się zmieniać, rosnąć lub maleć. Na wahania te ma wpływ zmiana warunków bytowych w danym typie zabudowy (styl życia, zamożność mieszkańców, potrzeby kulturalno-oświatowe itp.).

8.2. Zakres badań odpadów

Celem badań odpadów komunalnych jest uzyskanie wiedzy o stanie ilościowym, jakościowym i właściwościach fizyko-chemicznych wytwarzanych odpadów. W efekcie uzyskuje się informacje o udziale w odpadach substancji biodegradowalnej, organicznej i mineralnej, substancji podatnej i niepodatnej na spalanie.

Informacje o stanie ilościowym i jakościowym odpadów umożliwiają zaprojektowanie odpowiedniego środka transportu do ich odbioru, częstotliwości zbiórki z wyznaczonych miejsc, tym samym częstotliwości transportu i kubatury składowiska, czyli wielkości powierzchni do składowania odpadów. Ponadto możliwe jest projektowanie elementów dodatkowych, które służyć mają do zagospodarowania odpadów, jak spalarnie i kompostownie, łącznie z obiektami socjalno-gospodarczymi dla obsługi.

Ilość odpadów określa się na podstawie *rocznego transportu jednostkowego*, czyli z jednej i tej samej trasy transportowej (w Mg/R). Dla określenia *miesięcznej ilości odpadów*

oblicza się średnią arytmetyczną z dwunastu miesięcy (w Mg/M), natomiast dla określenia tygodniowej ilości odpadów oblicza się średnią arytmetyczną z tygodni w miesiącu, przyjmując 4,33 tygodnie (w Mg/T).

Metody badania strumienia odpadów, czyli jednego ich transportu, obejmują analizę granulometryczną, morfologiczną i fizyko-chemiczną.

8.2.1. Przygotowanie odpadów do analiz

Jednostkowe analizy odpadów prowadzi się na ściśle określonej partii odpadów pobranych z jednego ich strumienia (transportu). Pobrana partia odpadów określana jest mianem **próbki odpadów**, którą odpowiednio się przygotowuje do wykonania niezbędnych analiz. W tym celu wykonuje się następujące czynności:

1. Strumień odpadów poddaje się dokładnemu wymieszaniu wszystkich jego komponentów.
2. Z wymieszanej masy pobiera się losowo, z różnych miejsc, **próbki pierwotne** o objętości około $5\div 10\text{ dm}^3$, w ilości, która da łączną masę o objętości co najmniej 250 dm^3 .
3. Pobrane próbki pierwotne łączy się ze sobą, dokładnie się miesza i pobiera się próbkę o objętości 250 dm^3 – jest to **próbka średnia ogólna**.
4. Próbkę średnią ogólną poddaje się **metodzie ćwiartowania**, w celu uzyskania **próbki laboratoryjnej**. W tym celu:
 - a) **próbkę średnią ogólną** usypuje się na kształt przyzmy o podstawie kwadratu, która w przekroju pionowym ma kształt trapezu o wysokości do 0,3 m;
 - b) przyzmę dzieli się po przekątnych na cztery części;
 - c) dwie przeciwległe części oddziela się,
 - d) pozostałe dwie przeciwległe części dokładnie ze sobą miesza i ponownie usypuje z nich przyzmę;
 - e) powtarza się czynności od punktu b) do punktu d), do momentu uzyskania masy około 50 dm^3 , czyli około 10 kg, która jest **średnią próbką laboratoryjną**.

Część **średniej próbki ogólnej**, która pozostała po wydzieleniu **średniej próbki laboratoryjnej** wykorzystuje się do analizy granulometrycznej i morfologicznej.

8.2.2. Analiza granulometryczna odpadów

Analiza granulometryczna polega na określeniu wielkości frakcji odpadów i ich procentowej zawartości, w stosunku do całego strumienia odpadów. Analizę prowadzi się metoda sitową. Sita umieszcza się na wstrząsarce mechanicznej, z której otrzymuje się frakcję:

- drobną, o rozmiarach cząstek poniżej 10 mm,
- średnią, o rozmiarach cząstek pomiędzy 10÷40 mm,
- grubą, o rozmiarach cząstek pomiędzy 40÷100 mm,
- odsiew, o rozmiarach cząstek powyżej 100 mm.

Pozostałość z każdego sita, czyli wydzielone frakcje waży się z dokładnością do 0,1 g. Następnie oblicza się zawartość procentową każdej frakcji w stosunku do całego strumienia odpadów.

8.2.3. Analiza morfologiczna odpadów

Analiza morfologiczna jest analizą jakościową odpadów. Polega na wyselekcjonowaniu z frakcji odpadów o rozmiarach cząstek większych od 40 mm, możliwie jak największej ilości składników, które mogą stanowić surowiec wtórny. Sortowanie dokonuje się w oparciu o określone wcześniej kategorie odpadów. Po czynności sortowania frakcji określa się objętość, ciężar i ilość oraz stopień fragmentacji, czyli rozdrobnienia wydzielonych surowców.

Frakcję o rozmiarach cząstek poniżej 10 mm nie poddaje się analizie, gdyż z reguły stanowi ona mieszaninę różnych substancji o dużym udziale składników mineralnych.

8.3. Wskaźniki ilości i jakości odpadów

Do określenia ilości i jakości usuwanych odpadów komunalnych, z jednostkowego transportu, służą trzy grupy wskaźników:

1. **Grupa wskaźników ilościowych** obejmuje charakterystykę odpadów pod kątem objętościowym i masowym. Są to:

- *Roczny (jednostkowy) masowy wskaźnik nagromadzenia odpadów*, wyrażany (w kg/M_a).
- *Roczny (jednostkowy) objętościowy wskaźnik nagromadzenia odpadów*, wyrażany (w m³/M_a).

Uzupełnieniem powyższych wskaźników jest:

→ *Gęstość nasypowa odpadów* służąca do planowania ilości pojemników na odpady i wielkości parku transportowego. Gęstość nasypowa odpadów wyraża się jako stosunek sumy mas odpadów netto do objętości, jaką zajmują odpady w pojemniku (w kg/m³ lub Mg/m³). *Masę odpadów netto* otrzymuje się przez odjęcie od masy odpadów z pojemnikiem masy pustego pojemnika. W Polsce gęstość nasypowa odpadów waha się w granicach około 220÷350 kg/m³.

→ *Wskaźnik nierównomierności gromadzenia odpadów* zmienia się w skali tygodnia, miesiąca i roku. Wskaźnik ten wyrazić można jako stosunek wartości tygodniowej (miesięcznej) masy odpadów do wartości średniej tygodniowej (miesięcznej) obliczonej w skali miesiąca (roku).

2. **Grupa wskaźników technicznych** ocenia właściwości fizyczne odpadów oraz daje informację co do możliwości ich wtórnego użycia poprzez wyselekcjonowanie możliwie dużej liczby składników. Grupa ta oznacza:

- *procentowy udział poszczególnych frakcji mechanicznych* na podstawie analizy sitowej, czyli rozdzielenie poszczególnych frakcji w wyniku rozsiewania jednostkowej ilości odpadów (1 kg, 1 m³) na znormalizowanych sitach o wymiarach oczek 100 mm, 40 mm, i 10 mm (odsiew > 100 mm, frakcja gruba: 40 ÷ 100 mm, frakcja średnia: 10 ÷ 40 mm i frakcja drobna < 10 mm);
- *procentowy udział wyselekcjonowanych grup (rodzajów) substancji*;
- *procentową zawartość substancji organicznej i mineralnej* zawartej w strumieniu odpadów. Badania zawartości substancji organicznej opierają się przede wszystkim na określeniu ilości węgla organicznego zawartego w tej substancji poprzez utlenienie go do dwutlenku węgla. Utlenienie polega na wysuszeniu próbki odpadów do suchej masy, a następnie jej spalaniu. Pozostałość po prażeniu stanowi substancję mineralną. Różnica wagowa pomiędzy wartością próbki odpadów poddanej prażeniu, a pozostałością po prażeniu stanowi stratę prażenia, czyli substancję organiczną zawierającą węgiel;
- *ciepło spalania*, czyli ilość ciepła, jaką można uzyskać z jednostkowej ilości odpadów (próbki) podczas jej całkowitego spalania przebiegającego w warunkach normalnych (temperatura 273 K i ciśnienie 0,1013 MPa) i przy założeniu, że cała ilość wody tworzącej się podczas spalania występuje w gazach spalinowych w postaci ciekłej,
- *stosunek C/N i C/P* (oznaczanych w analizie chemicznej).

3. **Grupa wskaźników chemicznych** ocenia właściwości chemiczne odpadów i daje informację o możliwych metodach ich unieszkodliwienia, poprzez kompostowanie, spalanie lub składowanie. Informacje o właściwościach chemicznych odpadów uzyskuje się na podstawie analizy chemicznej. W tym celu odpady uśrednia się, suszy do suchej masy i rozdrabnia do cząstek o wymiarach poniżej 0,5 mm. Grupa wskaźników chemicznych obejmuje:

- *właściwości paliwowe* odpadów (parametry do procesu spalania), czyli:

- zawartość i ilość substancji stałych nie ulegających biodegradacji,
- zawartość i ilość części palnych i niepalnych, czyli ulegających utlenieniu i nie ulegających utlenieniu,
- wilgotność odpadów, czyli zawartość w nich wody,
- zawartość i ilość: C, H₂, S, N₂, Cl₂, O₂, F₂, K, P w częściach palnych,
- zawartość i ilość składników agresywnych: SO₂, HCl, NO_x,
- ilość i jakość spalin oraz zawartość w nich części lotnych,
- ciepło spalania,
- wartość opałowa, czyli ilość ciepła, jaką można uzyskać z jednostkowej ilości odpadów podczas ich całkowitego spalania przebiegającego w warunkach normalnych (temperatura 273 K i ciśnienie 0,1013 MPa) i przy założeniu, że cała ilość wody tworzącej się podczas spalania jest odprowadzana z gazami spalinowymi w postaci pary wodnej. Wartość opałowa jest mniejsza od ciepła spalania o ciepło odparowania wytwarzającej się wody, czyli określa tę ilość ciepła, która może być wykorzystana użytecznie,
- temperaturę zapłonu,
- temperaturę spalania,
- temperaturę mięknięcia i topnienia popiołu;
- **właściwości nawozowe** odpadów (parametry do procesu kompostowania lub składowania), czyli:
 - zawartość i ilość substancji organicznej (biorozkładalnej),
 - zawartość i ilość C organicznego i N₂ organicznego oraz P i K ogólnego,
 - podatność na procesy rozkładu tlenowego i beztlenowego,
 - zawartość i ilość metali ciężkich i pierwiastków śladowych,
 - zawartość i ilość składników podatnych na wymywanie,
 - udział substancji biogenych,
 - udział substancji toksycznych.

Wymienione parametry charakteryzujące strumień odpadów pozwalają na wybór optymalnej metody ich unieszkodliwiania.

Podkreślić należy, że właściwości odpadów, na podstawie których oblicza się kolejne wskaźniki, są zmienne, podlegają wahaniom sezonowym i rocznym. Ta zmienność w czasie zależy od wielkości aglomeracji osiedleńczej, jej infrastruktury, wyposażenia w sieć komunikacyjną, instalacji kanalizacyjnej, wodociągowej i ciepłowniczej, a także poziomu konsumpcji, liczby ludności, jej wieku i płci, stopnia aktywności zawodowej. Charakter

strumienia odpadów zależy również od położenia źródła odpadów w regionie i przyjętej w nim polityki gromadzenia odpadów.

9. ZINTEGROWANY SYSTEM GOSPODARKI ODPADAMI

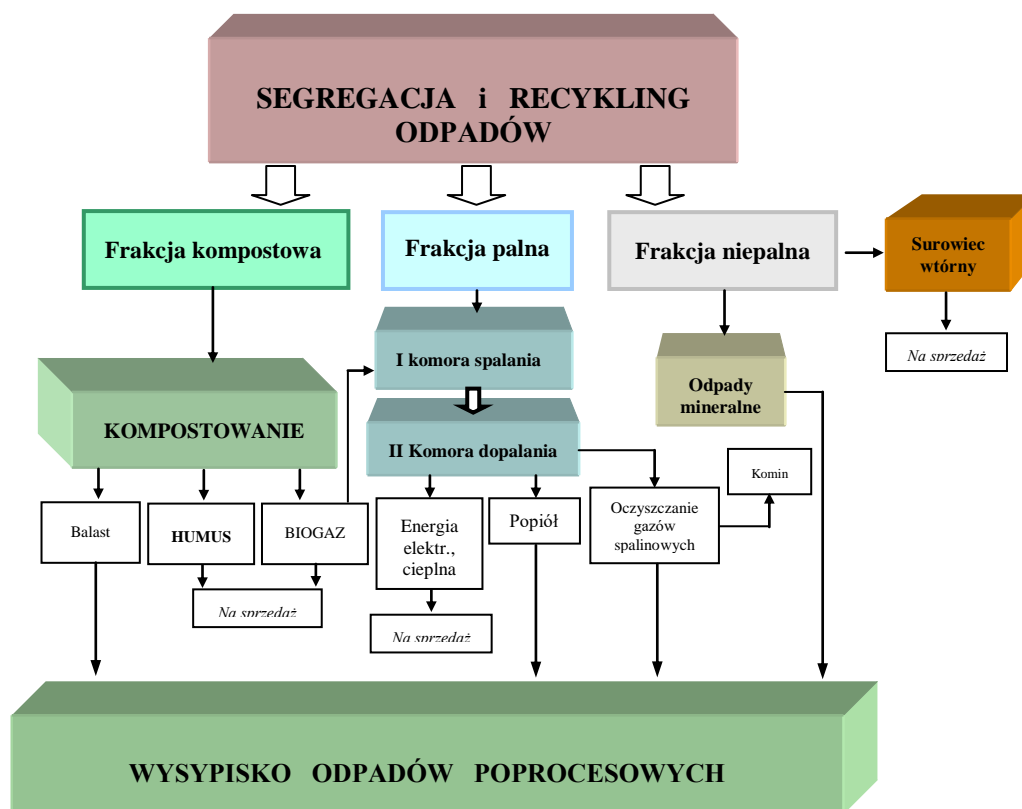
W wysoko rozwiniętych społecznie i gospodarczo krajach odpady komunalne stałe unieszkodliwiane są poprzez tak zwane *zintegrowane modele gospodarki odpadami*. Organizuje się je na terenie jednego zakładu destrukcji odpadów.

Zintegrowany model gospodarki odpadami komunalnymi polega na unieszkodliwianiu komunalnych odpadów stałych przy jednoczesnym zastosowaniu kilku metod ich zagospodarowywania (rysunek 11). Metody te oparte są na wzajemnie uzupełniających się technologiach i tworzą system:

- *segregacji i recyklingu* już u źródła,
- *segregacji i recyklingu* w zakładzie zagospodarowywania odpadów, jako uzupełnienie
- *kompostowania* odpadów, który obejmuje deponowanie (składowanie) w pryzmach kompostowych tylko odpadów organicznych, biodegradowalnych w celu odzyskania zawartej w nich energii w postaci gazu i kompostu;
- *spalania* odpadów nie stanowiących surowca wtórnego, które nie mogą być kompostowane lub stanowią balast uzyskany z kompostowni, ale pod warunkiem, że odpad zawiera taką ilość frakcji palnej, że metoda jest najbardziej optymalną;
- *składowania* odpadów beżużytecznych, których nie można wykorzystać jako surowca wtórnego, nie nadają się do kompostowania i do spalania lub są pozostałością po tych procesach, a ponadto z odpadów tych, na etapie współczesnej wiedzy technologicznej, nie można już odzyskać żadnej innej energii.

Według przedstawionego poniżej rysunku 11 odpady komunalne segregowane są na trzy frakcje: organiczną, palną i niepalną oraz surowce wtórne.

Frakcja organiczna kierowana jest do biologicznego procesu kompostowania, w którym produktami rozkładu są kompost i biogaz. W zależności od zastosowanej metody proces trwa około 3÷12 tygodni. Czysty humus wykorzystywany jest gospodarczo, zaś odsiane zanieczyszczenia mineralne i tworzywa sztuczne, stanowiące balast, kierowane są na składowisko lub do spalania. Wytworzony w procesie biogaz o zawartości około 60% metanu również wykorzystywany jest gospodarczo lub do własnych celów zakładu utylizacji odpadów.



Rysunek 11. Zintegrowany system gospodarki odpadami komunalnymi (M. Żygadło, 1998, zmienione)

Wyselekcjonowana frakcja palna kierowana jest do komór z dwustopniowym systemem spalania. Otrzymany w procesie popiół składowany jest na składowisko do wydzielonych kwater. W procesie spalania odzyskuje się energię zmagazynowaną w paliwie, która przetworzona na energię elektryczną lub ciepłą wykorzystana może być gospodarczo lub do własnych celów. Gazy spalinowe kierowane są do oczyszczenia z popiołów lotnych i kwaśnych składników, a następnie kierowane są przez komin do atmosfery.

Wydzielone surowce wtórne są wykorzystywane gospodarczo lub kierowane do unieszkodliwienia (poprzez kompostowanie, spalenie lub składowanie).

Procentowa liczbę różnych metod unieszkodliwiania odpadów komunalnych, w wybranych krajach europejskich, ilustruje tabela 8.

Główne cele zintegrowanej gospodarki odpadami komunalnymi to przede wszystkim:

- selektywna zbiórka odpadów,
- racjonalne wykorzystanie odpadów,
- zmniejszenie ilości odpadów kierowanych na składowisko,
- zwiększenie czasu eksploatacji składowisk,

- zmniejszenie ilości i wielkości terenów przeznaczanych pod lokalizacje składowisk,
- wykorzystanie rolnicze odpadów w postaci kompostu,
- gospodarcze wykorzystanie biogazu,
- zmniejszenie oddziaływania odpadów na środowisko,
- oszczędność zasobów paliw naturalnych.

Za celami zintegrowanej gospodarki odpadami stoi ochrona środowiska naturalnego oraz korzyści ekonomiczne, jakie wynikają z syntezy różnych technologii.

Tabela 8. Metody unieszkodliwiania stałych odpadów komunalnych w różnych krajach europejskich (Raport TNO Institute of Environmental and Energy technology 1993)

Państwo	Masa odpadów kg/mieszkańca/rok	spalanie	składowanie	kompostowanie	recykling
		%			
Polska	330	0	99	1	brak danych
Niemcy	410	36	46	2	16
Francja	360	42	45	10	3
Grecja	310	0	100	0	0
Irlandia	310	0	97	0	3
Szwajcaria	550	59	12	7	22

Część 2.

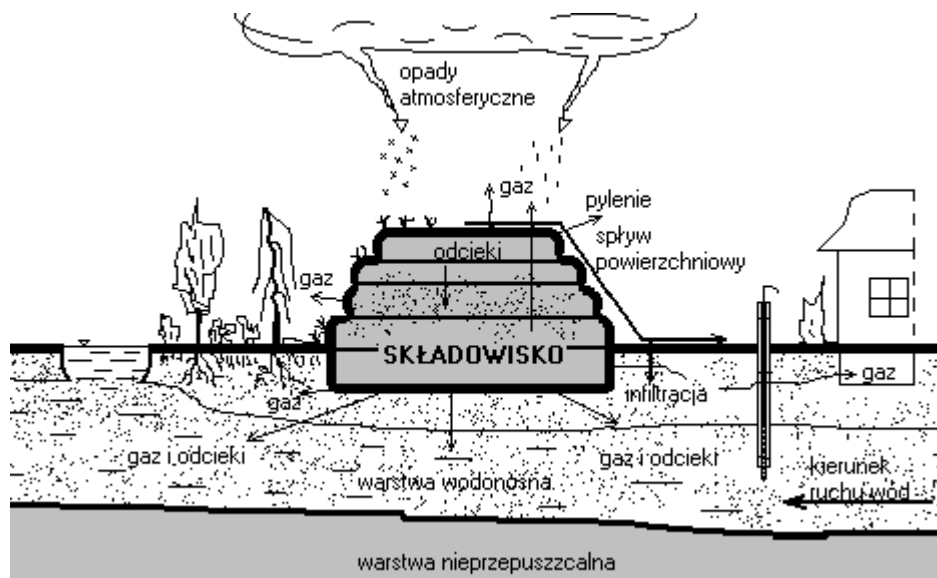
SKŁADOWANIE ODPADÓW

10. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISK ODPADÓW

W Polsce najbardziej rozpowszechnioną i dominującą formą unieszkodliwiania odpadów jest ich deponowanie w miejscach specjalnie do tego celu wyznaczonych. Miejsca te, nazywane składowiskami (wysypiskami), należą do obiektów budowlanych, przygotowywanych zgodnie z zasadami prawa budowlanego i ochrony środowiska przyrodniczego. Mając na uwadze obecny poziom nauki, możliwości techniki i istniejące procesy technologiczne, a także lub przede wszystkim, nakłady inwestycyjne ponoszone przez zakłady gospodarki odpadami i zarządy gmin, szacuje się, że przez najbliższe 20÷30 lat, będzie to jedyna metoda zagospodarowywania komunalnych odpadów stałych.

Składowisko odpadów jest to kontrolowany obiekt budowlany przeznaczony do składowania odpadów. Podstawowym zadaniem składowiska jest więc gromadzenie tego, co pozostało po procesie segregowania, recyklingu i wydzielenia surowców wtórnych. Deponowane są przede wszystkim zużyte i niebezpieczne materiały, które są już nieprzydatne w danym miejscu i czasie, w którym powstały. Materiałów tych nie można również w żaden inny sposób wykorzystać, nawet w procesach kompostowania i spalania. Składowisko odpadów jest miejscem całkowitej ich separacji od środowiska zewnętrznego. Musi więc gwarantować bezpieczeństwo zdrowia i życia ludzi oraz ochronę środowiska naturalnego przed bezpośrednim lub pośrednim kontaktem z produktami rozkładu odpadów (rysunek 12).
Możliwe jest to poprzez:

- zabezpieczenie środowiska przed przenikaniem toksycznych odcieków na zewnątrz składowiska do gleby, wód powierzchniowych i podziemnych,
- zabezpieczenie składowiska przed przenikaniem toksycznych gazów do gruntów i do atmosfery,
- zabezpieczenie składowiska przed wodami opadowymi, spływającymi po powierzchni składowiska, aby nie wnikały do jego wnętrza, co powoduje powiększanie ilości odcieków oraz wymywanie toksycznych metali ciężkich, syntetycznych związków organicznych, toksycznych substancji nieorganicznych, izotopów promieniotwórczych.



Mając na uwadze minione dziesięciolecia oraz wymienione powody izolowania odpadów od świata zewnętrznego, nasuwa się refleksja, jak wiele niebezpieczeństw płynie ze strony starych składowisk. Powstawały one najczęściej w sposób niekontrolowany, bez wymaganego minimum zabezpieczeń. Pozbywanie się odpadów polegało głównie na ich wysypywaniu w miejscach stanowiących naturalne zagłębienia terenu, wąwozach, nieczynnych studniach i innych miejscach do tego celu nie przeznaczonych.

Nowoczesne składowiska odpadów są budowlami inżynierskimi, pod stałą kontrolą wpływu na środowisko zewnętrzne. Charakteryzują się prostą obsługą i kontrolą, są również najbardziej ekonomiczną obecnie technologią unieszkodliwiania odpadów. Do podstawowych wad składowisk, także tych najbardziej nowoczesnych, należy konieczność zajmowania pod ich lokalizację tysięcy km² gruntów. W przypadku ewentualnych awarii instalacji składowiskowej obiekty zagospodarowywania odpadów stałych negatywnie oddziałują na wszystkie elementy środowiska: powietrze, glebę, wody powierzchniowe i podziemne. Grunty zajęte pod lokalizację składowisk wyłączone są spod użytkowania rolniczego, obniżają walory krajobrazowe i środowiskowe, a ponowne przywrócenie tych terenów lokalnej społeczności może trwać do 100 lat i więcej.

W 1999 roku, w Polsce, w ewidencji służb sanitarno-epidemiologicznych zarejestrowanych było około 1674 składowisk komunalnych odpadów stałych i wylewisk. W tym samym 1999 roku zorganizowanych składowisk komunalnych odpadów stałych zarejestrowanych było około 998 (w roku 1995 było ich 830, a w roku 1996 -884). Ilość stałych odpadów komunalnych, jaka w całości została na nich zdeponowana, wynosiła około 49 hm³, co w porównaniu do roku 1990 jest o 15,3% więcej.

Przegląd ilości odpadów komunalnych wywiezionych i unieszkodliwionych w latach 1993÷1999 ilustruje tabela 9. Natomiast tabela 10 ilustruje ilość odpadów, jakie zostały wywiezione i unieszkodliwione w 1998 roku przez poszczególne województwa w Polsce.

Tabela 9 . Odpady komunalne wywiezione i unieszkodliwione w latach 1993 – 1999

Rok	Wywiezione w dm ³		Unieszkodliwione w tonach	
	stałe	plynne	w spalarniach	w kompostowniach
1993	41000	14900	411	924003
1994	42400	15200	429	114230
1997	46900	14800	-	219842
1999	49000	15000	-	225000

Tabela 10. Odpady komunalne wywiezione i unieszkodliwione w 1998 r. (J.Cebula i inni, 2000)

Województwo	Odpady wywiezione	Odpady unieszkodliwione
	w tonach	
Dolnośląskie	1489904	702
Kujawsko-pomorskie	630422	6971
Lubelskie	560638	-
Lubuskie	384878	22840
Łódzkie	8663434	5387
Małopolskie	842816	-
Mazowieckie	1320956	125801
Opolskie	317408	-
Podkarpackie	473694	-
Podlaskie	290628	14715
Pomorskie	713960	-
Śląskie	1834612	40069
Świętokrzyskie	374998	2904
Warmińsko-mazurskie	507078	-
Zachodniopomorskie	761566	-
POLSKA	12275770	221746

10.1. Rodzaje składowisk

Wybór miejsca na składowanie odpadów uzależniony jest od ich rodzaju, warunków topograficznych, geologicznych i hydrogeologicznych. Czynniki te składają się na wybór koniecznych rozwiązań techniczno-inżynierskich, służących ochronie środowiska przed uciążliwością odpadów. Mając na uwadze rozwiązania ogólnotechniczne, wyróżnia się trzy typy składowisk odpadów:

- ***Składowiska odpadów niebezpiecznych***, które obejmują odpady toksyczne sektora przemysłowego i medycznego.
- ***Składowiska odpadów obojętnych***, które obejmują odpady nie ulegające istotnym przemianom fizycznym, chemicznym lub biologicznym. Są to odpady nierozpuszczalne, nie wchodzące w reakcje fizyczne i chemiczne, nie zanieczyszczające środowiska, nie powodujące zagrożenia zdrowia i życia ludzi, nie wpływające ujemnie na materię, z którą są w kontakcie. Odcieki z tych odpadów nie stanowią zagrożenia dla wód powierzchniowych i podziemnych, przy czym nie ulegają one biodegradacji.
- ***Składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne***, które obejmują odpady komunalne, ulegające biorozkładowi.

Podział składowisk na wymienione trzy typy ma na celu określenie niezbędnych warunków techniczno-konstrukcyjnych składowania danego typu odpadów. Typ odpadów wskazuje miejsce możliwej lokalizacji składowiska, z dokładnym określeniem warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Wymagania techniczno-konstrukcyjne muszą przede wszystkim spełniać warunki zapobiegające zanieczyszczeniu otoczenia składowiska i negatywnemu oddziaływaniu składowisk na środowisko. Dodatkowym kryterium wyboru technik konstrukcyjnych i miejsca lokalizacji składowiska jest sposób jego eksploatacji, jako całości. Na całość eksploatacji wpływa natomiast ściśle ustalona wielkość dopływającego strumienia odpadów w jednostce czasu, maksymalna ilość i wysokość deponowanych odpadów, sposób ich gromadzenia, segregowania, sortowania, czyszczenia, zmniejszania objętości i układania na składowisku. Ponadto istotne znaczenie ma wybór sposobu ewentualnego wykorzystywania lub unieszkodliwiania wydobywającego się gazu, sposób przeciwdziałania uwalnianiu się odorów i sposób ujmowania odcieków. Z określeniem wymagań techniczno-konstrukcyjnych wiąże się również wybór metody monitorowania składowiska i postępowania w przypadku awarii. Ostatnim niezwykle istotnym kryterium, z punktu ochrony krajobrazu i walorów estetyczno-ekologicznych środowiska, jest sposób zamknięcia składowiska, jego rekultywacji i dalszego przeznaczenia, z uwzględnieniem społeczno-gospodarczego wykorzystania terenu składowiskowego w perspektywnym okresie czasu.

10.2. Odpady nie akceptowane na składowiskach

Spośród wszystkich rodzajów odpadów komunalnych, przemysłowych i niebezpiecznych na składowiskach nie są akceptowane odpady, które:

- występują w postaci płynnej, bez obróbki na drodze stabilizacji, w tym zawierające wodę w ilości powyżej 95% całkowitej masy (oprócz szlamów),
- posiadają właściwości wybuchowe, żrące, utleniające, łatwo palne,
- należą do odpadów medycznych i weterynaryjnych,
- powstają w wyniku prac naukowo-badawczych, rozwojowych lub działalności dydaktycznej,
- odznaczają się niezidentyfikowanymi właściwościami fizyczno-chemicznymi i nieznanym oddziaływaniem na środowisko,
- stanowią grupę opon i ich części, za wyjątkiem opon rowerowych i o średnicy zewnętrznej większej niż 1400 mm.

Składowiska odpadów niebezpiecznych, gromadzą tylko te grupę odpadów, która znajduje się na liście odpadów niebezpiecznych. Natomiast składowiska odpadów obojętnych, gromadzą tylko te grupę odpadów, które zaliczane są do odpadów obojętnych. Z różnych powodów zdarza się, że na składowiska odpadów komunalnych trafiają odpady przemysłowe i niebezpieczne. W takich przypadkach odpady te gromadzone są w wydzielonych specjalnie miejscach, które izolują je od innych substancji.

11. LOKALIZACJA SKŁADOWISKA ODPADÓW

Wymagania dotyczące lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia składowiska odpadów zapewniają bezpieczne dla zdrowia ludzi i środowiska składowanie odpadów, a w szczególności zapobiegają zanieczyszczeniu wód powierzchniowych i podziemnych, gleby i ziemi oraz powietrza.

11.1. Czynniki warunkujące lokalizację składowiska

Odzysk i unieszkodliwianie odpadów może odbywać się jedynie w miejscu ściśle do tego celu wyznaczonym, w trybie przepisów o zagospodarowaniu przestrzennym. Ponadto zadanie to może być wykonywane tylko w instalacjach i urządzeniach, które spełniają określone wymagania sanitarno-epidemiologiczno-techniczne. Ponieważ plany zagospodarowania przestrzennego (krajowe, wojewódzkie, gminne) uwzględniać muszą zasady zrównoważonego rozwoju i ochronę środowiska naturalnego, dlatego przeznaczenie i sposób zagospodarowania terenu, w jak największym stopniu, musi zapewniać zachowanie jego walorów krajobrazowych, warunków utrzymania równowagi przyrodniczej oraz prawidłowych warunków życia ludzi.

Wybór miejsca pod składowisko należy więc do najtrudniejszych zadań w całym procesie projektowania składowiska. Wynika to z faktu, że jest to zadanie nie tylko ekologiczne ale również społeczne, polityczne, techniczne i ekonomiczne. Dla skuteczności działań lokalizacyjnych nowych składowisk, jednostki decyzyjne (samorządowe) muszą posiadać pełną i dostateczną informację na temat

- typu dotychczasowego składowiska,
- całkowitej i pozostałej pojemności tego składowiska,
- oraz miejsca jego lokalizacji.

Dodatkowe istotne informacje dotyczą:

- wielkości strumienia odpadów oraz jego zmian w przyszłości,
- istniejących programów minimalizacji strumienia odpadów u źródła,
- istniejących programów i metod recyklingu,
- oraz możliwych do wprowadzenia innych form utylizacji, na przykład poprzez kompostowanie lub spalanie odpadów.

Bardzo ważnym czynnikiem, warunkującym lokalizację nowego składowiska odpadów jest wiedza na temat „starych” składowisk, nie eksploatowanych lub eksploatowanych w sposób niewłaściwy. Analiza informacji o tych składowiskach może zaowocować możliwością zastosowania nowoczesnej techniki rekultywacji tych obiektów i poprawy warunków lokalizacyjno–technicznych. Takie przedsięwzięcie może z kolei wpłynąć na zwiększenie pojemności „starego” składowiska, może wpłynąć na zminimalizowanie niekorzystnego wpływu na środowisko, a przede wszystkim może spowodować zmniejszenie środków przeznaczanych na poszukiwanie miejsc i budowę nowych składowisk.

Na wybór konkretnego miejsca lokalizacji składowiska ogromny wpływ ma budowa geologiczna terenu oraz rozpoznanie i analiza:

- jakości gleby i skał otaczających, bowiem składowisko jest budowlą, która izoluje użytki rolne z ich funkcji produkcyjnych, tam gdzie się znajduje składowisko przez wiele lat lub nawet już nigdy więcej, nie będzie można uprawiać gleby,
- podłoża gruntowego od strony jego mineralogicznej budowy, bowiem nie każdy rodzaj gleb nadaje się pod lokalizację składowiska (np. nie może być lokalizowane na glebach przepuszczalnych, zawierających w swym składzie piasek, a także wapienie, które ulegają erozji wodnej),
- występowania uskoków formacji geologicznych,
- sąsiedztwa podziemnych zbiorników wodnych, terenów podmokłych i okresowo zalewanych wodą (w minionym 100-letnim okresie),

- kierunków i prędkości spływu wód powierzchniowych i podziemnych, poziomu zwierciadła wód gruntowych, ciśnień naporowych wód zalegających w warstwach gleby, a także stopnia mineralizacji tych wód,
- róży wiatrów na wytypowanym obszarze, bowiem optymalnym miejscem jest strona zawietrzna w stosunku do osiedli mieszkaniowych.

Niejednokrotnie, gdy samo miejsce lokalizacji składowiska odpadów komunalnych spełnia wszystkie warunki lokalizacji, okazuje się, że otoczenie zakładu jest bardzo niekorzystne. Analiza miejsca lokalizacji powinna więc uwzględniać także najbliższe jego otoczenie. Ponieważ różnorodność warunków środowiskowych jest bardzo duża, dla oszacowania ich przydatności bierze się pod uwagę następujące elementy środowiska:

- **dla składowisk odpadów obojętnych** składowiska nie mogą być lokalizowane:
 - w strefach zasilania głównych i użytkowych zbiorników wód podziemnych (GZWP i UZWP),
 - na obszarach otulin parków narodowych i rezerwatów przyrody,
 - na obszarach lasów ochronnych,
 - w dolinach rzek, w pobliżu biorników wód śródlądowych, na terenach źródliskowych, bagiennych i podmokłych, w obszarach mis jeziornych i ich strefach krawędziowych, na obszarach bezpośredniego bądź potencjalnego zagrożenia powodzią w rozumieniu przepisów prawa wodnego,
 - w strefach osuwisk i zapadlisk terenu, w tym powstałych w wyniku zjawisk krasowych, oraz zagrożonych lawinami,
 - na terenach o nachyleniu powyżej 10^0 ;
- **dla składowisk odpadów niebezpiecznych oraz innych niż niebezpieczne i obojętne**, oprócz wymienionych wyżej miejsc, nie uwzględnia się lokalizacji:
 - na terenach zaangażowanych glacytektonicznie lub tektonicznie, poprzecinanych uskokiemi, spekanych i uszczelinowaconych,
 - na terenach wychodni skał zwięzłych porowatych, skrasowiałych i skawernowanych,
 - na glebach bonitacyjnych o klasie I i II,
 - na terenach, na których mogą wystąpić deformacje ich powierzchni wskutek szkód górniczych,
 - na obszarach ochrony uzdrowiskowej,
 - na obszarach górniczych utworzonych dla kopalni leczniczych.

Oprócz wymienionych miejsc zawsze analizuje się obszary, które mogą być wyłączone z eksploatacji pod składowiska odpadów na podstawie odrębnych przepisów

prawnych. Ponadto w różnych wydaniach literaturowych zwraca się uwagę na unikanie miejsc w pobliżu:

- lotnisk, w odległości mniejszej od 3 km, z uwagi na zagrożenie ruchu powietrznego przez żerujące ptactwo,
- jednostek osiedleńczych, obiektów zabytkowych, miejsc archeologicznych,
- pasa nadbrzeżnego, portów morskich i przystani,
- wyrobisk wypełnionych wodą (lub zalewanych) i w każdym naturalnym zbiorniku znajdującym się pod wodą, pradolin, czyli miejsc, w których niegdyś płynęła woda,
- stref ujęć wody pitnej.

Według dyrektyw Unii Europejskiej minimalna odległość składowiska odpadów od granicy z sąsiadującymi posiadłościami lub terenami uprawnymi oraz wodami terenowymi (rzekami, jeziorami), powinna wynosić:

- co najmniej 0,5 km dla składowisk odpadów komunalnych,
- co najmniej 2 km dla składowisk odpadów przemysłowych i niebezpiecznych.

Polskie ustawodawstwo, będące w fazie przygotowywania projektu stosownego rozporządzenia, podaje, że minimalna odległość składowiska odpadów niebezpiecznych oraz składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne od budynków mieszkalnych i budynków użyteczności publicznej powinna wynosić 200 m. Jednak sugeruje się, że odległość ta powinna wynosić 500 m, a nawet 1000 m.

Składowisko odpadów komunalnych należy do obiektów budowlanych. Dlatego postępowanie poprzedzające rozpoczęcie robót budowlanych, budowa i oddanie do użytku składowiska odpadów a także jego utrzymanie podlega przepisom prawa budowlanego (Dz.U. z 1994 r., Nr 89, poz.414 z późn. zm.). Dodatkowo obiekt budowlany, jakim jest składowisko odpadów, jeżeli nie spełnia wymagań zawartych w Prawie ochrony środowiska, nie może zostać oddany do użytkowania (Dz.U. z 2001 r., Nr 62, poz. 627). Sprzężenie ze sobą wymogów administracyjno-prawnych zapobiega karom, jakie wynikają z nieprzestrzegania prawa ustawowego.

11.2. Projekt budowlany lokalizacji składowiska odpadów

Inwestycja, jaką jest budowa składowiska odpadów komunalnych wymaga uzyskania przez inwestora stosownego pozwolenia na budowę. Pozwolenie uzyskać można dopiero po złożeniu stosownego wniosku o wydanie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu dla składowiska odpadów. Powinien on zawierać następujące informacje:

- projekt budowlany z opiniami, uzgodnieniami i pozwoleniami, zgodny z miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego i wymaganiami ochrony środowiska,
- potwierdzenie prawa do dysponowania nieruchomością przeznaczoną pod inwestycję,
- rozwiązania budowlane i zagospodarowania terenu, zgodne z wymaganiami decyzji o warunkach zabudowy i techniczno – budowlanymi,
- ekspertyzę, co do możliwości odzysku lub unieszkodliwiania odpadów w inny sposób niż przez składowanie,
- ocenę oddziaływania planowanej inwestycji na środowisko wykonanej przez rzeczoznawcę,
- wyniki badań geologicznych (wykonanych zgodnie z wymaganiami określonymi w przepisach dotyczących projektu prac geologicznych),
- wyniki badań hydrogeologicznych (wykonanych na obszarze planowanego składowiska odpadów i jego otoczenia,
- opracowaną dokumentację geologiczno-inżynierską i hydrogeologiczną.

Ponadto, jeżeli inwestor i zarządzający składowiskiem odpadów są odrębnymi podmiotami, wniosek o wydanie pozwolenia na budowę składowiska odpadów powinien zawierać dodatkowe informacje o:

- siedzibie wnioskodawcy i zarządzającego składowiskiem, z dokładnymi danymi osobowymi i adresami,
- rodzajach odpadów, jakie mają być składowane,
- wielkości strumienia doprowadzanych odpadów w skali rocznej,
- pojemności planowanego składowiska odpadów,
- sposobach zapobiegania awariom, zanieczyszczeniu środowiska i negatywnego oddziaływania składowiska na otoczenie,
- przewidywanym czasie eksploatacji składowiska,
- sposobie zamknięcia składowiska i monitorowania,
- dalszym przeznaczeniu terenu.

Projekt budowlany powinien wytyczać granice terenu składowiska, usytuowanie, obrys i układ projektowanych obiektów oraz obiektów już istniejących na tym terenie. Powinien wskazywać drogi i place manewrowe, sposób odprowadzania i oczyszczania odcieków, czyli wszelkie instalacje wodno-kanalizacyjne. Instalacje odbioru, przechowywania, przetwarzania i zagospodarowywania otrzymanego ze składowiska biogazu. Projekt przedstawiony musi być na mapie, ze wskazaniem charakterystycznych elementów obszaru, wymiarów, rzędnych i wzajemnych odległości obiektów. Nawiązywać

musi do istniejącego i projektowanego zagospodarowania przestrzennego terenu, łącznie z uwzględnieniem stref ochronnych i zieleni. Rozpatrując formę architektoniczną terenu składowiska i obszaru przyległego, należy w projekcie określić funkcję, formę i konstrukcję obiektu. Dodatkowym elementem jest charakterystyka energetyczna i ekologiczna, rozwiązania techniczne i materiałowe. Ponadto, z uwagi na zróżnicowanie budowy geologicznej podłoża gruntowego, projekt budowlany lokalizacji składowiska odpadów musi zawierać wyniki badań hydrogeologicznych, geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych warunków posadowienia składowiska i obiektów towarzyszących.

Decyzja zezwalająca na lokalizację i budowę składowiska odpadów powinna określać:

- typ składowiska i jego warunki konstrukcyjno – technologiczno - eksploatacyjne,
- rodzaj odpadów dopuszczonych do składowania z uwzględnieniem odpadów niebezpiecznych,
- wielkość strumienia składowanych odpadów,
- sposób gromadzenia, segregowania i czyszczenia odpadów,
- sposób odprowadzania odcieków ze składowiska i wydzielającego się gazu,
- sposób oczyszczania odcieków i zagospodarowywania gazu,
- sposób monitorowania składowiska,
- maksymalną wysokość składowiska i nachylenie skarp
- sposób zamknięcia i rekultywacji składowiska oraz wykorzystania terenu w perspektywie.

Wymienione wymagania mają zapewnić ochronę życia i zdrowia ludzi, ochronę środowiska oraz ochronę interesów osób trzecich.

11.3. Kryteria wyboru miejsca pod lokalizację składowiska odpadów

Podstawową rolę w budowie składowiska odpadów komunalnych odgrywają specjalne rozwiązania technologiczno-konstrukcyjne elementów:

- podłoża gruntowego,
- przykrycia,
- drenażu ujmowania odcieków,
- instalacji odsysania gazu.

W celu przeprowadzenia w sposób prawidłowy tych rozwiązań szczególnie ważnym elementem projektu budowlanego są raporty o przeprowadzonych szczegółowych badaniach geologicznych, hydrogeologicznych i klimatycznych ściśle określonego terenu, wraz z załączonymi przekrojami warstw wodonośnych, wykazem temperatur, opadów atmosferycznych, cykli obiegu wody i różnicy wiatrów.

Podkreślając istotę prowadzonych badań i analiz każdego potencjalnego miejsca pod lokalizację składowiska odpadów należy dążyć do tego, aby:

- nie lokalizować ich w miejscach, które mogą być wykorzystane w inny sposób,
- nie stwarzały zagrożenia dla ujęć wód pitnych i cieków wodnych,
- nie stwarzały zagrożenia dla obiektów mieszkalnych, przemysłowych, komunalnych i obszarów na których prowadzona jest jakakolwiek działalność gospodarcza,
- nie stwarzały zagrożenia dla terenów rekreacyjnych i turystycznych,
- nie stwarzały zagrożenia dla specjalnie wydzielonych siedlisk przyrody dzikiej (fauny i flory),
- stanowiły jak najmniej uciążliwą formę architektoniczno-budowlaną dla otaczającego krajobrazu.

11.3.1. Warunki geologiczne

Warunki geologiczne podłoża gruntowego zależą od warunków powstawania skał podłoża. Skały te dzielą się na:

- *skały magmowe*, które są masywne i zwarte
- *skały osadowe*, stanowiące bardzo zróżnicowaną grupę, której właściwości uzależnione są nie tylko od genezy, czyli warunków powstawania, lecz także od wykształcenia litologicznego, facjalnego i stopnia zdiagenezowania;
- *skały metamorficzne* o właściwościach zbliżonych do właściwości skał magmowych.

Na własności geologiczne skał wpływa:

- zmienność sedymentacyjno-litologiczna skał, bowiem osady jednolite charakteryzują się korzystniejszymi własnościami mechanicznymi od osadów cyklicznie się zmieniających i o małej miąższości;
- ustalenie typu warstwowania skał (ukośne, krzyżowe, równoległe);
- zmienność facjalna osadów, która powoduje znaczne różnice w wykształceniu skał, co zmienia ich własności;
- tekstura skał określająca sposób rozmieszczenia składników mineralnych w skale oraz stopień wypełnienia przestrzeni między nimi;
- struktura skał, która pozwala klasyfikować skały ze względu na wykształcenie ziarn mineralnych, ich kształt, wielkość i wzajemne ułożenie,
- skład mineralny i petrograficzny;
- skład granulometryczny, oznaczający procentową (wagową) zawartość poszczególnych frakcji ziarn w skale;

- porowatość, cecha polegająca na obecności w skale porów, których wielkość wpływa na sposób przepływu wody,
- szczelinowatość, czyli zjawisko występowania w skale pęknięć i szczelin;
- krasowatość, cecha skał polegająca na występowaniu w nich różnego rodzaju próżni powstałych wskutek rozpuszczania składników skał przez wodę (sól, gips, wapień, dolomit).

Zmienność warunków geologicznych wpływa na zróżnicowanie gruntów, które dzieli się według ich pochodzenia, własności fizycznych i mechanicznych oraz ich charakterystyki geologicznej. Z tego względu **zakres badań geologicznych**, potencjalnego miejsca lokalizacji składowiska odpadów, uwzględnia:

- rozpoznanie budowy geologicznej wytypowanego terenu i jego otoczenia na podstawie co najmniej 5 otworów badawczych o głębokości wystarczającej do zbadania warstwy wodonośnej i warstwy izolującej z tym, że minimalna ilość rdzeniowanych otworów badawczych powinna wynosić: 1 otwór na 1 ha badanego terenu,
- wykonanie analizy uziarnienia oraz oznaczenie współczynnika filtracji „k” z każdej warstwy stanowiącej wydzielenie litologiczne,
- przeprowadzenie obserwacji hydrogeologicznych oraz wykonanie polowych pomiarów współczynnika filtracji „k” w każdym otworze badawczym,
- zbadanie przestrzennej budowy górotworu za pomocą metod geofizycznych,
- ustalenie pojemności sorpcyjnej gruntu.

Dokumentacja geologiczna oprócz własności geologicznych skał i gruntów, na których ma być posadowione składowisko, powinna zawierać także analizę podstawowych parametrów gruntów. Do parametrów tych należą:

- gęstość właściwa gruntu,
- masa i objętość szkieletu gruntowego,
- gęstość właściwa i objętościowa gruntu,
- wilgotność i stopień wilgotności gruntu,
- konsystencja gruntu i stan gruntu (stopień spójności cząstek gruntu zależy od wilgotności oraz zawartości i charakteru frakcji ilastej - ulega on zmianie wraz ze zmianą wilgotności),
- aktywność koloidalna gruntu,
- zagęszczenie gruntu, czyli ściśle lub luźne ułożenie jego ziaren (miarą zagęszczenia jest stopień zagęszczenia gruntu),

- zawartość węglanów wapnia, który obniża własności techniczne gruntów ulegając łatwemu wyługowaniu przez przesączające się wody,
- zawartość związków organicznych, które ulegając rozkładowi zmniejszają objętość gruntu, co wpływa na nierównomierne osiadanie budowli.

Analizując miejsce lokalizacji składowiska odpadów od strony geologicznej nie można pominąć oceny:

- głębokości zalegania warstw nieprzepuszczalnych,
- możliwości wystąpienia wstrząsów sejsmicznych.

11.3.2. Warunki hydrogeologiczne

Badanie warunków hydrogeologicznych obszaru, na którym ma powstać składowisko odpadów ma na celu rozpoznanie możliwego oddziaływania na wody powierzchniowe i podziemne. Podłoże gruntowe rozpatruje się w tym przypadku pod kątem jego właściwości wodnych, porowatości, sorpcji, przewodności hydraulicznej. Ponadto bada się nie tylko strukturę, rodzaj skał na powierzchni i całą warstwę aeracji ponad zwierciadłem wód gruntowych lecz także warstwy wodonośne. Szczególną uwagę zwraca się na ich relacje względem naturalnego drenażu, jakim są ciekły wodne. Właściwości wodne podłoża gruntowego ulegają zmianie w czasie, w zależności od wilgotności i temperatury podłoża. Z tego powodu badania podłoża gruntowego obejmują jego warunki hydrogeologiczne w okresach najmniej korzystnych, czyli w okresie wysokich stanów wód. Układ hydrogeologiczny podłoża gruntowego sprzężony jest z oddziaływaniem wód powierzchniowych, co m miejsce poprzez:

- dopływ wód opadowych i ich infiltrację do wód gruntowych bądź parowanie i transpirację,
- dopływ wód podziemnych z otaczającego go obszaru lub odpływ wód z badanego układu hydrogeologicznego,
- odpływ wód gruntowych do cieków, jezior, źródeł i innych zbiorników naturalnych,
- filtracje z cieków, jezior itp. do wód gruntowych,
- kierunek i stopień pochylenia zwierciadła wód,
- gęstość sieci wód powierzchniowych i podziemnych,
- głębokość zalegania sieci wód podziemnych,
- wzajemne odległości sieci wód podziemnych i powierzchniowych.

W zależności od rodzaju oddziaływań badany obszar pozostawać może w jednym z dynamicznych stanów:

1. *spoczynku*, czyli zaleganie wód gruntowych w podłożu jest statyczne i nie ma znaczenia;
2. *równowagi*, w którym występuje ruch wód gruntowych, lecz ma on charakter stacjonarny i jest niezmienny w czasie wzajemnego oddziaływania podłoża z otoczeniem;
3. *nierównowagi*, w którym występuje ruch wód gruntowych, ale jest on zmienny w czasie oddziaływania otoczenia na podłoże, co wpływa na niestacjonarność występujących w nim procesów ruchu wód gruntowych.

Warunki hydrogeologiczne stanowią układ dynamiczny niezwykle złożony, bowiem, jeśli warunki geologiczne interesującego nas obszaru możemy uznać za stabilne w czasie, jednorodne i rozpoznane, to warunki hydrogeologiczne ulegają ciągłym zmianom.

Dokumentacja hydrogeologiczna powinna w sposób jasny i ścisły prezentować informacje o sytuacji hydrogeologicznej terenu składowiska, ze wskazaniem:

- litologii podłoża z parametrami jego szorstkości bez pokrywy roślinnej oraz parametrami wodnymi, jak sorpcja gleby, siła ssąca gleby i inne,
- liczby warstw wodonośnych i wodoprzepuszczalnych oraz ich miąższości,
- podziemnych zbiorników wód,
- poziomów wód gruntowych,
- wielkości powierzchni bezodpływowej,
- gęstości sieci wód powierzchniowych i podziemnych, łącznie z długością wszystkich cieków,
- prędkości i kierunku przepływu wód powierzchniowych i podziemnych z ujęciem wahań sezonowych bądź wieloletnich (cecha związana z wielkością wolnych przestrzeni w skale i ich wzajemnego połączenia),
- spadków hydraulicznych,
- współczynnika przepuszczalności, który określa zdolność skał do przewodzenia cieczy niezależnie od ich rodzaju i własności fizycznych, przy jednostkowym spadku hydraulicznym,
- współczynnika filtracji, który charakteryzuje prędkość filtracji, czyli ruch cieczy w ośrodku porowatym (zależy on od własności ośrodka porowatego i własności cieczy),
- współczynnika fluacji, określający ruch turbulentny cieczy, który występuje w utworach szczelinowatych i krasowatych,
- przewodności hydraulicznej, czyli stopnia zdolności skał do przewodzenia wody (z uwzględnieniem dla warstw pionowych i dla warstw poprzecznych),
- przepuszczalności, czyli zdolności skał do przepuszczania cieczy i gazów lub ich mieszanin (związana z porowatością, szczelinowatością i krasowatością),

- wilgotności naturalnej, czyli ilości wody, która znajduje się w skale (w porach i szczelinach) w danych warunkach naturalnych,
- kapilarności, cechy powodującej zawilgocenie skał powyżej zwierciadła wody i ograniczająca jej wsiąkanie (wywiera tym samym wpływ na własności geologiczno-techniczne skał),
- wodochłonności (nasiąkliwości), czyli zdolności skał do pochłaniania i gromadzenia określonej ilości wody,
- wskaźnika nasycenia, który określa stopień nasycenia skał wodą,
- odsączalności (defiltracji) warstw wodonośnych, czyli zdolności skał do oddawania wody wolnej pod działaniem sił ciężkości,
- wodoszczelności, cechy skał polegającej na nieprzewodzeniu wolnej wody,
- istniejących ujęć wód pitnych, komunalnych i przemysłowych,
- stopnia mineralizacji i składu dla wód powierzchniowych i podziemnych,
- wielkości dopływu odcieków z powierzchni składowiska, które powstają z największych opadów atmosferycznych,
- zdolności odprowadzania powstających odcieków z warstw odwadniania.

Średnie wartości współczynnika filtracji różnych rodzajów gruntów sypkich i spoistych ilustruje tabela 11. Współczynniki odsączalności różnych warstw wodonośnych ilustruje tabela 12.

Tabela 11. Średnie wartości współczynników filtracji „k” utworów sypkich i spoistych

Wydzielenie litologiczne	k [m/d]
Żwir z otoczkami	$6,9 \cdot 10^{-4}$
Żwir, pospółka	$5,8 \cdot 10^{-4}$
Piasek ze żwirem	$4,6 \cdot 10^{-4}$
Piasek gruboziarnisty	$3,5 \cdot 10^{-4}$
piasek różnoziarnisty, piasek średnioziarnisty	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Piasek drobnoziarnisty	$5,8 \cdot 10^{-5}$
Piasek pylasty	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Pył piaszczysty	$5,8 \cdot 10^{-6}$
Piasek gliniasty	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Piasek ilasty, pył	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Gлина piaszczysta	$5,8 \cdot 10^{-7}$
Gлина pylasta	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Pył ilasty	$5,8 \cdot 10^{-8}$
Ił warwowy, glina zwałowa	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Muł, ił piaszczysty	$6,0 \cdot 10^{-9}$
Ił mulisty, ił pylasty, muł ilasty	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Ił	$5,8 \cdot 10^{-10}$

Szczególnie istotną informacją jest **bilans hydrogeologiczny** ilości wód wchodzących i wychodzących ze składowiska odpadów w trakcie jego eksploatacji, który powinien uwzględniać:

- średnią roczną wieloletnią wielkość opadów na podstawie danych z najbliższej położonej stacji opadowej,
- roczną wielkość opadu najwyższego z okresu ostatnich 30 lat,
- przypuszczalna ilość wody zawartej w przewidywanych do składowania odpadach,
- przypuszczalną ilość wody, jaka może być wchłonięta przez deponowane odpady,
- parowanie terenowe.

Z punktu widzenia podłoża, jako potencjalnego miejsca pod lokalizację składowiska odpadów istotnym parametrem, jaki jest brany pod uwagę jest współczynnik filtracji podłoża gruntowego, przewodność hydrauliczna skał (filtracja) oraz współczynnik odsączalności.

Tabela 12. Współczynniki odsączalności „ μ ” wybranych warstw wodonośnych (A.Kapotow, A.Kapotowa, 1979)

Rodzaj utworów wodonośnych	μ
Gliny piaszczyste:	
ciężkie	0,00-0,005
ciężkie z soczewkami piasku	0,01-0,025
średnie	0,02-0,03
średnie z przewarstwieniami piasków gliniastych	0,03-0,04
Piaski gliniaste	
ciężkie	0,04-0,05
średnie	0,06-0,07
lekkie	0,07-0,08
Torfy	0,08
Piaski	
drobnoziarniste	0,07-0,08
kurzawka	0,03-0,08
drobnoziarniste pyłowe	0,10-0,15
drobnoziarniste przemyte	0,12-0,25
średnioziarniste przemyte z ıłem	0,15-0,20
średnioziarniste przemyte	0,20-0,30
gruboziarniste ze ıwirem	0,26-0,35
Żwiry	0,26
Skały szczelinowate silnie nasycone wodą	0,01

W celu ujednoczenia doboru kryteriów, jakie brane są do analizy miejsc potencjalnie wybranych pod składowisko odpadów, wyróżnia się trzy grupy warunków hydrogeologicznych:

I. **Warunki optymalne** występują na obszarach, gdzie:

- brak jest poziomów wodonośnych o znaczeniu użytkowym, o znaczeniu lokalnym i regionalnym,

- poziomy wodonośne występują na znacznych głębokościach i oddzielone są od powierzchni skałami nieprzepuszczalnymi,
- czas przesiąkania do warstwy wodonośnej przekracza 25 lat,
- ciekły wód powierzchniowych nie występują w pobliżu miejsca lokalizacji.

II. **Warunki niedogodne** występują na obszarach:

- geologicznych zbiorników wód podziemnych o walorach użytkowych,
- szczególnej ochrony,
- gdzie czas pionowego przesiąkania wody jest krótszy od 5 lat
- stref ochrony ujęć wód pitnych.

III. **Warunki mało dogodne** występują na obszarach, gdzie poziomy wód podziemnych są niedostatecznie izolowane od wpływów powierzchniowych, jednak sporadycznie wykorzystywane do zaspokajania lokalnego zapotrzebowania na wodę.

Spośród wymienionych warunków hydrogeologicznych podłoże gruntowe może stanowić miejsce pod lokalizację składowiska tylko w przypadku warunków nr I i III, natomiast warunki nr II wykluczają teren spod gospodarczego wykorzystania, jako miejsce lokalizacji składowiska.

11.3.3. Warunki topograficzne i klimatyczne

Dokumentacja topograficzna i klimatyczna obszaru składowiska stanowi uzupełnienie informacji geologicznych i hydrogeologicznych. Obejmuje ona wyniki badań i analiz, które dotyczą:

- topografii terenu, jego urzeźbienia, czyli występowania wzniesień, zagłębień, wąwozów, jarów, studni, wyrobisk lub terenu płaskiego,
- warunków klimatycznych terenu, czyli ilości opadów w ciągu roku, nasilenia sezonowego, w tym występowanie ulewnych deszczy i wichur,
- różny wiatrów obszaru analizowanego,
- zmian sezonowych temperatur.

Wymienione kierunki badań szeregują potencjalne miejsca lokalizacji składowisk, jednocześnie eliminując te, które nie spełniają założonych kryteriów i wymagań konstrukcyjno-eksploatacyjnych podłoża gruntowego i otaczającego terenu.

11.3.4. Warunki geologiczno-techniczne

Badania geologiczno-techniczne mają na celu doprowadzić do rozpoznania tych własności skał (gruntów), które wpływają na ich ocenę, jako podłoża budowlanego.

Analizowane są parametry geologiczne i hydrogeologiczne gruntów, a uzyskany wynik ma służyć ocenie osiadania gruntów i stateczności bryły składowiska. Zakres badań jest różnorodny i obejmuje wiele różnych metod badawczych. Do najważniejszych należą zdjęcia hydrogeologiczne i geologiczno-techniczne, prace wiertniczo-górnictwa, badania polowe, stacjonarne, geofizyczne, laboratoryjne, zdjęcia lotnicze a nawet matematyczne i modelowe.

Dokumentacja geologiczno-techniczna powinna zawierać analizę obszaru z określeniem:

- stateczności gruntów pod projektowanym składowiskiem, która zależy od:
 - nachylenia i wytrzymałości na ścinanie podłoża gruntowego
 - ułożenia, nachylenia i wytrzymałości na ścinanie zdeponowanych odpadów (przykładowo: dla składowisk o wysokości około 25÷35 m, nad powierzchnią gruntu, obciążenie gruntu odpadami wynosi około 10÷12 Mg/m² a wartość ciśnienia przekracza 100 kPa),
- stabilności skarp składowiska,
- współczynnika filtracji podłoża gruntowego, znajdującego się bezpośrednio pod podstawą składowiska i stanowiącego naturalną warstwę izolacyjną,
- rodzaju gruntu, według obowiązujących klasyfikacji, z uwzględnieniem, wymienionych wyżej, parametrów gruntów.

Do wykonania prawidłowej analizy miejsca pod lokalizację obiektów składowiska odpadów niezbędne są:

- mapy geologiczno-gospodarcze, obrazujące budowę geologiczną podłoża i jego przestrzenne zagospodarowanie,
- mapy topograficzne,
- mapy hydrogeologiczne i hydrograficzne, obrazujące procesy hydrologiczne i komponenty zlewni, wzajemne współzależności między nimi z uwzględnieniem ich zmienności w czasie,
- mapy sozologiczne, obrazujące zasoby przyrody żywej i nieżywej,
- mapy litofacjalne,
- mapy geochemiczne, dające obraz rozmieszczenia pierwiastków śladowych w podłożu gruntowym,
- mapy glebowe, z kompleksami przydatności rolniczej, z klasami bonitacyjnymi,
- mapy leśne siedlisk, obrazujące gatunki chronione
- mapy geodezyjne, w oparciu o które ustala się właściciela działki.

W przypadku braku map szczegółowych lub elementów jakie powinny zawierać, informacje o terenie uzupełnia się w oparciu o dodatkowe badania geologiczne i hydrogeologiczne.

Elementy, które powinny występować na mapach to przede wszystkim:

- granice geologiczne (linie intersekcyjne),
- układ warstw i ławic oraz kąty pod jakimi zapadają, a także niezgodności kątowe,
- rodzaje warstw, które tworzą podłoże i ich wiek,
- występujące deformacje i nieciągłości łącznie ze szczegółowymi informacjami o występowaniu:
 - uskoków i ich rodzajach,
 - wychodni,
 - zrębów i rowów tektonicznych,
 - fleksur.

We wszystkich prowadzonych analizach, ocenach i rozwiązaniach istotne znaczenie ma sposób wykonania niezbędnych obliczeń, ich dokładność i przewidzenie maksymalnej liczby możliwych odchyień od znanych norm środowiskowych.

12. ARCHITEKTURA SKŁADOWISK ODPADÓW

12.1. Kształt i forma składowisk odpadów

Miejsce lokalizacji składowiska odpadów decyduje o jego kształcie, wymiarach i procesach zachodzących w jego wnętrzu. Kształt i forma składowiska uzależniona jest od topografii terenu (płaski, pochyły, silnie urzeźbiony) i pokrycia powierzchni, od sposobu użytkowania otoczenia, warunków geologicznych i struktury hydrogeologicznej terenu lokalizacji.

Ze względu na rzeźbę powierzchni miejsce lokalizacji składowiska odpadów może mieć formę:

- **wglębną** z możliwością odpływu wód opadowych i napływowych z otaczającego terenu lub bezodpływową. Forma ta wykorzystuje naturalne lub sztuczne zagłębienia w terenie, jak wąwozy, jary, parowy, niecki polodowcowe i inne obniżenia terenu. Bryła składowiska częściowo znajduje się pod powierzchnią, a częściowo ponad powierzchnią terenu;
- **zbocową** odpływową, wykorzystującą naturalne lub sztuczne ukształtowanie zboczy. Bryła składowiska również częściowo umiejscowiona jest pod i nad powierzchnią terenu;

- **plaską** z możliwością odpływu wód lub bezodpływową. Forma ta wykorzystuje naturalne, płaskie ukształtowanie terenu, a bryła składowiska wzniesiona jest ponad powierzchnię terenu.

Od miejsca lokalizacji składowiska zależy sposób układania odpadów na składowisku. W terenie płaskim bryła składowiska ma podstawę o zbliżonych wymiarach szerokości i długości boków. Na takiej powierzchni odpady układa się warstwami, jedna na drugiej, o grubości około 2,5÷3 m (po zagęszczeniu) - jest to **metoda warstwowa (nasykowa)** (rysunek 13). Natomiast w terenie urzeźbionym:

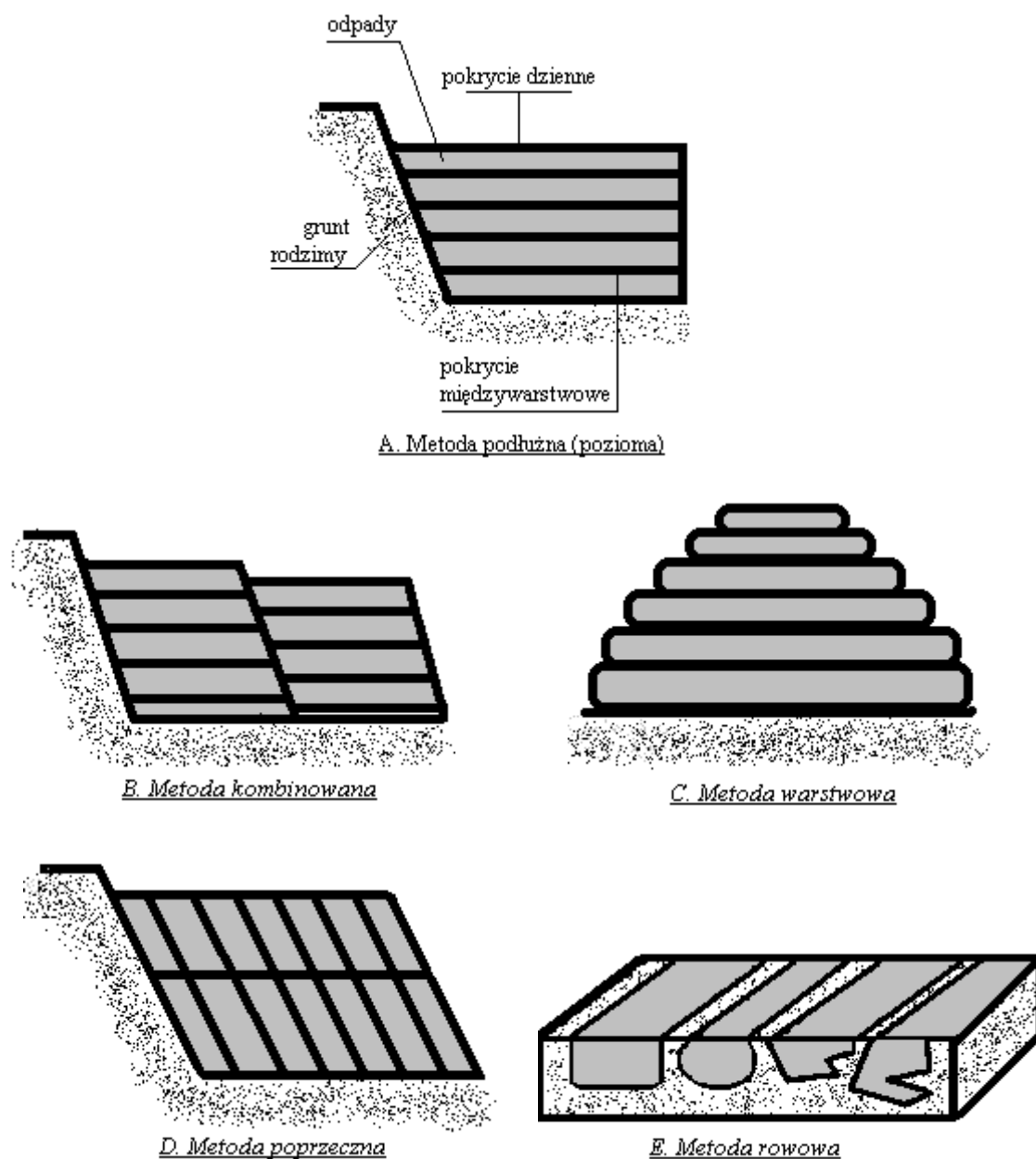
- przy niewielkich spadkach zboczy odpady układa się w warstwach poziomych o grubości około 2 m, przesypywanych warstwami inertywnymi o grubości:
 - warstwa pokrycia dziennego około 0,15 m,
 - warstwa pokrycia międzywarstwowego około 0,30 m,
 - warstwa zewnętrzna, przykrywająca powierzchnię: piasek o miąższości około 30 cm i warstwa gleby rekultywacyjnej co najmniej 0,5÷1,0 m.

Tak ukształtowana bryła składowiska przyjmuje formę podłużną, usytuowaną na dużej powierzchni – jest to **metoda podłużna (pozioma)**;

- przy znacznych różnicach wysokości lecz łagodnych spadkach zboczy stosuje się **metodę poprzeczną**, polegającą na układaniu odpadów od górnej do dolnej podstawy wyrobiska (parowu, wąwozu);
- przy znacznych różnicach wysokości i dużych spadkach zboczy odpady układa się na przemian, warstwami podłużnymi i poziomymi. Bryła składowiska ma formę kombinowaną, dostosowaną do kształtu zagłębienia – jest to **metoda kombinowana**;
- w terenie bogatym w różnego rodzaju zagłębienia stosuje się **metodę rowową**. Polega ona na wypełnianiu nierówności terenowych masą odpadów. Wypełnianie rowów, jarów, wąwozów prowadzi się z nieznacznym wyniesieniem wierzchołki odpadów ponad poziom terenu, co sprzyja swobodnemu spływowi wód opadowych po pochyłości (tym samym woda nie gromadzi się na złożu odpadów).

Miejsce lokalizacji i sposób układania odpadów wpływa na kształt bryły składowiska. Kształt bryły składowiska może mieć następujące formy (rysunek 14):

- **forma płaska**, która w przekroju pionowym przyjmuje kształt trapezu,
- **forma pryzmowa**, która w przekroju pionowym przyjmuje kształt trójkąta lub trapezu,
- **forma kopiasta**, która w przekroju pionowym przyjmuje kształt półokręgu,
- **forma nieregularna**, której nie można zakwalifikować do żadnej z wymienionych form, bryła składowiska przybiera kształt uzależniony od rzeźby terenu.

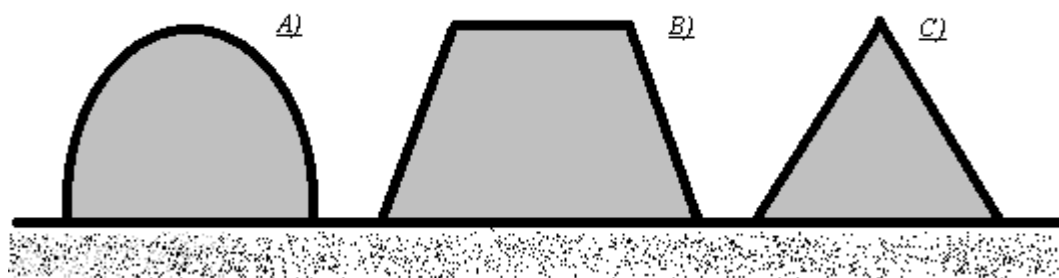


Rysunek 13. Metody układania odpadów na różnych formach terenu

Miejsce lokalizacji ilustruje charakter składowiska, na który wpływ ma także ukształtowanie jego bryły (rysunek 15):

- w terenie płaskim, gdy bryła składowiska tworzy sztuczne wzniesienie nad powierzchnią terenu, składowisko charakteryzowane jest jako **nadpoziomowe**;
- w terenie wgłębnym, utworzonym przez nierówności terenowe lub otwarte wyrobiska naturalne i sztuczne, gdy bryła składowiska:

- częściowo jest umiejscowiona w zagłębieniu, a częściowo wyniesiona ponad powierzchnię terenu (około 1,5 – 2,0 m). Składowisko charakteryzowane może być również jako **nadpoziomowe**;
- całkowicie jest zlokalizowana w istniejącym zagłębieniu, a składowisko takie charakteryzuje się jako **podpoziomowe lub wgłębne**;
- w terenie zboczym, gdy bryła składowiska:
 - całkowicie jest zlokalizowana w zagłębieniu (umiejscowionym np. na zboczu), wówczas składowisko charakteryzuje się jako **zboczowe lub przyskarpowe podpoziomowe**,
 - częściowo jest wyniesiona ponad powierzchnię terenu, składowisko ma charakter **zboczowy lub przyskarpowy nadpoziomowy**.

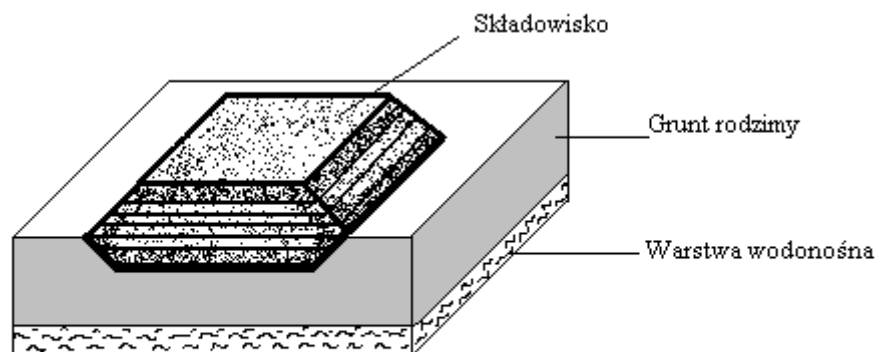


Rysunek 14. Kształty bryły składowiska odpadów:
 A) forma kopciasta; B) forma płaska; C) forma pryzmowa

Przy podpoziomowym składowaniu odpadów w różnego rodzaju wyrobiskach, zagłębieniach, naturalnych nieckach składowisko kształtuje się w taki sposób, aby uniknąć napływu wody z otoczenia przy zapewnieniu jednoczesnego jej odpływu z powierzchni składowiska.

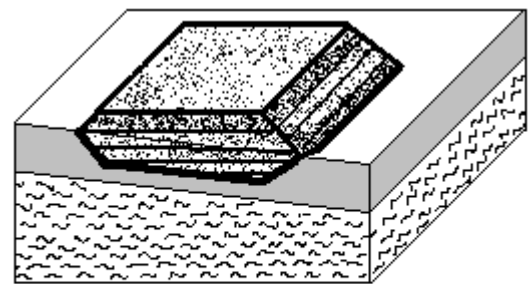
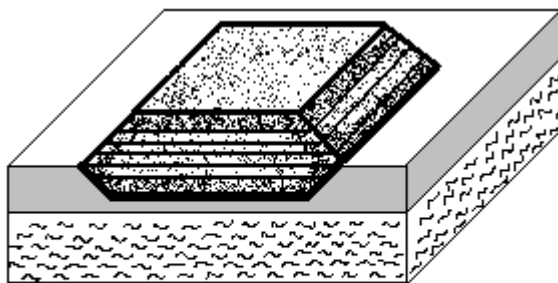
Metoda składowania odpadów w zagłębieniach terenu prowadzi do likwidacji wyrobisk podpoziomowych, naturalnych niecek, tworząc wyrównany teren. Odpady w tych miejscach powinny być szczególnie dokładnie zwałowane, aby zapobiec przyszłym odkształceniom powierzchni, wskutek osiadania. Wskazane jest ukształtowanie części nadpoziomowej o wysokości co najmniej 10% objętości części podpoziomowej.

Powierzchnie przykrywa się warstwą piasku o miąższości około 30÷50 cm, co ułatwia przenikanie tlenu z atmosfery do wnętrza odpadów oraz swobodne ulatnianie się gazów z wnętrza do atmosfery.



A) Teren płaski - niski poziom wód gruntowych

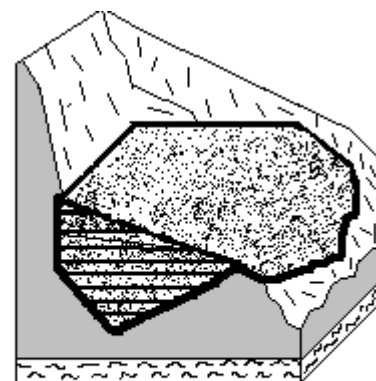
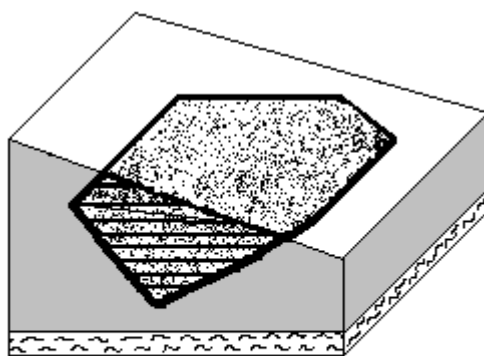
Składowisko nadpoziomowe



B) Teren płaski - wysoki poziom wód gruntowych

C) Teren pochyły - wysoki poziom wód gruntowych

Składowisko nadpoziomowe



D) Teren zboczowy, wglębny

E) Teren zboczowy - skarpowy

Składowisko podziemne

Rysunek 15. Różne formy układów topograficznych lokalizacji składowiska

12.2. Stateczność skarp składowiska odpadów

Określenie stateczności bryły składowiska jest jednym z trudniejszych zadań geologiczno-technicznych. Wynika to z różnorodności czynników wpływających na stateczność zboczy naturalnych i sztucznych (skarpy składowiska odpadów).

Do czynników tych należą:

- podcięcia zboczy w wyniku erozji,
- przeciążenia statyczne pod wpływem ciężaru gruntu, wody i odpadów,
- obciążenia dynamiczne, czyli drgania spowodowane ruchem pojazdów, pracy maszyn itp.,
- zmiany temperatur powodujące wysychanie i skurcz gruntów, a także zamarzanie zawartej w nich wody,
- nasiąkanie gruntu wodą, czyli przepojenie wodą.

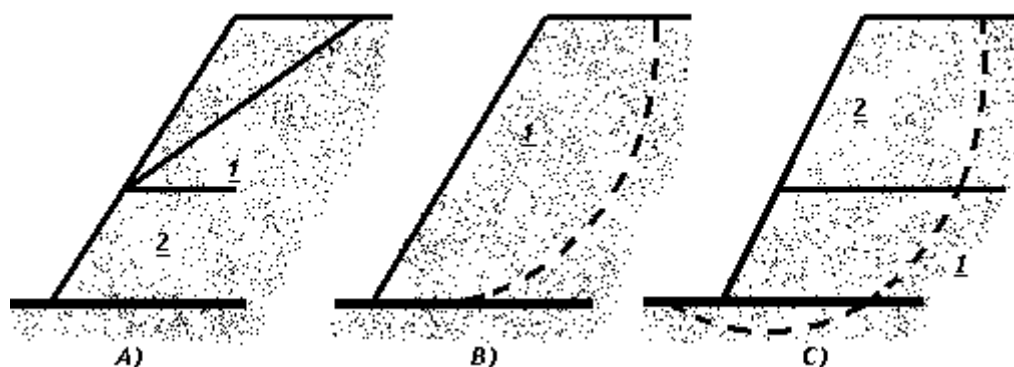
W budownictwie ziemnym pod pojęciem *skarpy* (zbocza) rozumie się obiekt budowlany (w tym przypadku jest to składowisko odpadów komunalnych), o pochylej ścianie wykopu lub nasypu ziemnego i nachyleniu zależnym od jakości gruntu. Podczas układania odpadów na wysypisku istotne znaczenie ma właściwe modelowanie skarp, czyli kąta nachylenia skarp. Kąt nachylenia skarp musi zapewniać, dla prawidłowo uformowanego i zamkniętego składowiska, zachowanie stateczności bryły. W warunkach, jakie panują na składowisku odpadów, mamy do czynienia z kątem zsypu materiału niesortowanego, kątem zsypu materiału sortowanego oraz kątem nachylenia konstrukcji wykonanej z materiału użytego do wzmocnienia skarp. Stwarza to pewne trudności w ustaleniu właściwego kąta nachylenia skarp i ich wysokości.

Badania stateczności skarp składowisk odpadów mają na celu ustalenie:

- czy skarpa jest i będzie stateczna w warunkach naturalnego środowiska, przez cały okres eksploatacji, rekultywacji i po „zamknięciu” budowli,
- takiego kształtu bryły, nachylenia skarp i wysokości składowiska, aby zachowana była stateczność,
- parcia gruntu na sztucznie ukształtowane skarpy.

Stateczność skarp związana jest z ich morfologią, budową geologiczną, warunkami hydrogeologicznymi i klimatycznymi, wytrzymałością skał i gruntów budujących wysokość i długość skarp, spękania, szybkość i sposób reakcji skarp na topnienie śniegu i czynnik czasu. Warunki stateczności są tak różne, że najlepiej ocenia się je na podstawie znanych już powierzchni poślizgu, która przebiega albo przez podnóże skarpy, albo powyżej lub poniżej.

Powierzchnia poślizgu jest to powierzchnia, na której w każdym jej punkcie występują naprężenia styczne, równe wytrzymałości gruntu na ścinanie (rysunek 16).



Rysunek 16. Podstawowe kształty powierzchni poślizgu:
 1 – grunt niespoisty, 2 – grunt spoisty
 A) powierzchnia poślizgu przechodząca powyżej podnóża skarpy;
 B) powierzchnia poślizgu przechodząca przez podnóże skarpy;
 C) powierzchnia poślizgu przechodząca poniżej podnóża skarpy

Stateczność zbocza uzależniona jest przede wszystkim od tarcia wewnętrznego, kohezji i ciężaru gruntu. Parametry te ulegają jednak zmianie, pod wpływem różnych czynników (procesów) zewnętrznych.

Tarcie wewnętrzne gruntu jest to siła, która w strefie poślizgu gruntu przeciwstawia się sile ścinającej. Siła ścinająca dąży do przesunięcia jednych ziarn względem innych. Siły tarcia wewnętrznego powstają we wszystkich punktach styku cząstek gruntu. Poślizg części gruntu w stosunku do pozostałej jego objętości występuje w tym momencie, gdy siły zewnętrzne przekroczą opór stawiany im przez grunt. Opór ten, odniesiony do jednostki powierzchni wzdłuż której następuje przesunięcie, nazywa się wytrzymałością na ścinanie.

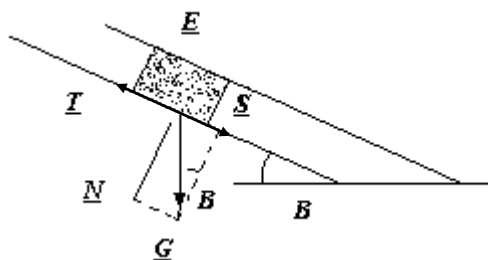
Kohezja (spójność) gruntu jest to opór gruntu stawiany siłom zewnętrznym, występujący podczas przesuwania cząstek gruntu względem siebie. Spójność wywołuje ścisłe i wzajemne przyleganie cząstek gruntu, zlepianie ich przez cząstki koloidalne i błonki powierzchniowe wody.

Ścisłość gruntu jest to jego zdolność do zmniejszania swojej objętości (zageszczanie) w warunkach obciążenia, czyli poddania go działaniu sił zewnętrznych. Wpływa na nią zjawisko przesuwania się cząstek gruntu względem siebie i zgniatania, a tym samym wyciskania wody oraz powietrza z przestrzeni porowych.

Nośność podłoża gruntowego jest to wytrzymałość na takie obciążenie zewnętrzne, przy którym brak jest strefy odkształceń podłoża.

Metoda oceny stateczności skarp zależy od rodzaju gruntu, jego jednorodności i obecności w nim wody.

Siła ciężkości „G” na zboczu, nachylonym pod pewnym kątem „ β ”, rozkłada się na siłę „S” skierowaną równoległe do zbocza i siłę „N” skierowaną prostopadłe do niego (rysunek 17).



Rysunek 17. Siły działające na element skarpy w gruncie niespoistym, wyznaczające jego stateczność:
E – element zbocza; *G* – ciężar elementu *E* (rozkłada się na *S* – siłę równoległą do skarpy i *N* – siłę prostopadłą do skarpy); *T* siła tarcia wewnętrzznego; *B* – kąt nachylenia zbocza.

Składowa „S” równoległa do zbocza jest siłą dążącą do przesunięcia utworów zbocza w dół (linia poślizgu). Wartość jej rośnie wraz ze stromością zbocza. Jednak sile „S” przeciwstawia się spoistość warstw gruntu oraz ich siła tarcia wewnętrzznego „T”. Gdy sile poślizgu przeciwstawia się spoistość warstw oraz tarcie wewnętrzne, to skarpa jest w stanie równowagi, czyli jest *stateczna*.

Zbocze jest stateczne, jeśli siły tarcia wewnętrzznego i spoistości warstw (składowa „T”) równoważą siłę pochodzącą z działania siły ciężkości „G”, czyli gdy $S \leq T$. Jeśli siła wypadkowa ciężkości „G” zostanie zwiększona w stosunku do sił tarcia wewnętrzznego i spoistości warstw (np. jeśli tarcie i spoistość pozostają bez zmiany, a spadek zbocza zwiększy się przez erozyjne podcięcie), wówczas siła wypadkowa ciężkości również zostanie zwiększona i równowaga skarpy zostanie zaburzona. I na odwrót: gdy siła wypadkowa ciężkości „G” pozostaje bez zmiany, a zmniejszy się siła tarcia wewnętrzznego lub spoistość warstw (np. wskutek przepojenia gruntu wodą), równowaga skarpy zostanie również zachwiana (przepojenie wodą zwiększa siłę ciężkości, gdyż warstwy nasycone wodą zwiększają swój ciężar).

Aby uniknąć takich sytuacji oblicza się dla składowisk odpadów komunalnych „współczynnik stateczności – W_s ” (podobnie, jak w mechanice gruntów).

Współczynnik stateczności W_s , jest stosunkiem sił wiążących do sił ścinających i wyraża się wzorem (S.Pisarczyk, 2001):

$$W_s = \frac{T}{S} = \frac{G \cos \beta \operatorname{tg} \theta}{G \sin \beta} = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \beta}$$

gdzie: θ - jest kątem tarcia wewnętrznego gruntu.

Skarpy składowiska będą stateczne, gdy ich kat nachylenia będzie mniejszy lub równy kątowi tarcia wewnętrznego (jest to kąt naturalnego zbocza), czyli gdy $\beta \leq \theta$.

Powyższy wzór dotyczy skarp gruntów niespoistych, bez ograniczenia ich wysokości. W przypadku *gruntów niespoistych ale zawodnionych*, w analizie sił działających na skarpe uwzględnia się siłę powodującą poślizg wywołany ciśnieniem spływowym. Siła ta działa zgodnie z kierunkiem działania siły „S”. Warunek stateczności zbocza zbudowanego z gruntów niespoistych zawodnionych wyraża wzór:

$$W_s = \frac{\operatorname{tg} \theta}{2 \operatorname{tg} \beta} \quad \text{i} \quad W_s > 1$$

Równowaga skarp będzie w tym przypadku zachowana, jeśli maksymalny kąt nachylenia zbocza nie przekroczy połowy kąta tarcia wewnętrznego, czyli gdy dla $W_s = 1$; $\operatorname{tg} \beta_{\max} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \theta$.

W praktyce, dla składowisk odpadów komunalnych, współczynnik stateczności przyjmuje się w granicach $W_s = 1,3 \div 2,25$. W zależności od kąta nachylenia skarpy literatura proponuje przyjęcie współczynnika stateczności dla trzech przypadków:

1. Składowiska odpadów bez dodatku osadów ściekowych:
 - dla skarp o nachyleniu 1 : 2,25 $W_s = 2,2$;
 - dla skarp o nachyleniu 1 : 2,25 $W_s = 2,0$.
2. Składowiska odpadów z dodatkiem osadów ściekowych w warstwach i stosunku objętościowym osadu ściekowego do masy odpadów równym 1 : 5:
 - dla skarp o nachyleniu 1 : 4 $W_s = 1,80$;
 - dla skarp o nachyleniu 1 : 7 $W_s = 2,25$.
3. Składowiska z dodatkiem osadu ściekowego składowanego w odrębnych kwaterach i przy stosunku objętościowym 1 : 5:
 - dla skarp o nachyleniu 1 : 4 $W_s = 2,2$.

Biorąc pod uwagę wymienione proporcje, należy zaznaczyć, że stateczność podłoża gruntowego, nośność, wszelkie jego deformacje, osiadanie, muszą być uwzględnione na etapie projektu budowlanego i w pracach technologiczno-konstrukcyjnych.

12.2.1. Cechy tiksotropowe złoża odpadów

Współczynnik stateczności składowiska związany jest bezpośrednio z *nachyleniem skarp* i *cechami tiksotropowymi* masy odpadów. Kierunek płynięcia wody w gruncie ma nieraz większy wpływ na własności gruntu aniżeli zmiany zawartości wilgoci. Droбноziarniste utwory, jak piaski, muły, pyły łatwo ulegają upłynnieniu i wylewają się ze ścian utworów, w których zalegają. Skłonność materiału do upłynniania i ruchu nazywa się tiksotropią.

Tiksotropia polega na tym, że pod wpływem wstrząsu (drgań, wibracji) powstają naciski ścinające. Pod ich wpływem, w luźnych osadach zbudowanych z cząsteczek koloidalnych (np. w iłach) i nasyconych wodą, następuje uplastycznienie lub upłynnienie żeli, które zmieniają się w zole. Odwrotny proces prowadzi do zestalenia się upłynnionego utworu, co objawia się oddzieleniem wody i zole przechodzą w żel (proces ten nazywa się synerezą). Jeśli ciśnienie hydrostatyczne jest większe od ciśnienia nadkładu, wówczas upłynnione przez wstrząs piaski mogą wciskać się w nadkład i tworzyć żyły piaskowe. Zjawisko tiksotropii spotyka się na terenach budowlanych, które ulegają upłynnieniu pod wpływem obciążeń dynamicznych i statycznych, np. ciężkiego sprzętu pracującego lub w stanie spoczynku (spycharki, koparki, kompaktory, zagęszczacze).

Na składowiskach odpadów komunalnych dopuszczalne jest składowanie takich odpadów, jak żużel z kotłowni, popiół, pyły, odwodnione osady ściekowe, których cząsteczki mają wymiary większe od koloidalnych. Większe są także wymiary cząstek składowanych odpadów. Złoże takie nabywa więc cech tiksotropowych, które mogą silnie zmieniać się, w zależności od cech i wielkości dodawanych ziarn. Ponadto cechy tiksotropowe złoża odpadów mogą się zmieniać pod wpływem cech tiksotropowych materiałów stosowanych na uszczelniające warstwy przykrywające.

12.3. Modelowanie skarp składowisk

Składowiska odpadów komunalnych o cechach tiksotropowych, czyli z dodatkiem osadów ściekowych, wymagają specjalnego uformowania skarp. Dotyczy to również składowisk nadpoziomowych, o wyniesieniu co najmniej 2 m ponad powierzchnię otaczającego terenu. Dla zachowania stateczności bryły kształt i wyniesienie części nadpoziomowej składowiska odpadów, powinny odzwierciedlać jej część podpoziomową. Zachowana powinna być proporcja 1 : 7÷10, która dostosowana powinna być do stopnia zagęszczenia odpadów.

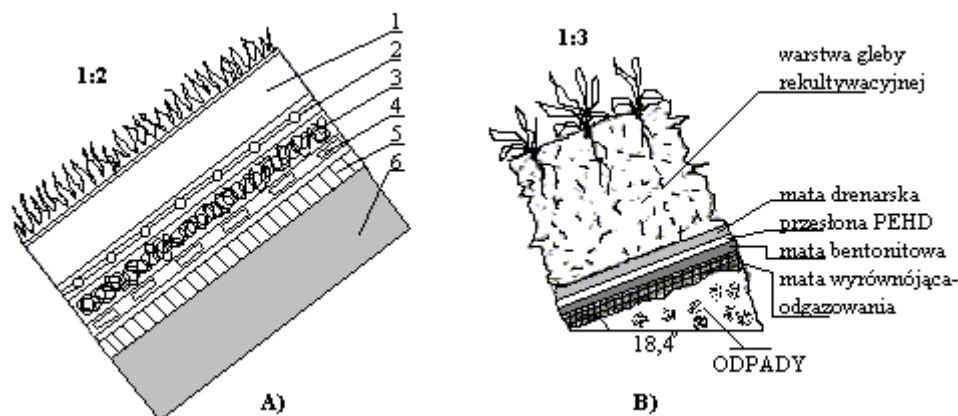
Wysokości skarp odpowiadają grubościom poszczególnych warstw składowanych odpadów. Biorąc pod uwagę stosunek długości podstawy składowiska plus szerokość tarasu do wysokości skarpy (jednej warstwy odpadów), otrzymuje się wartość nachylenia skarpy, np. 1:4 (wynika z rachunku: 5 m długości podstawy plus 3 m szerokości tarasu do 2 m wysokości skarpy).

Proponuje się, aby skarpy składowisk nadpoziomowych:

- z dodatkiem osadów ściekowych formować o pochyleniu 1:4 (kąąt $14^{\circ}10'$), a nawet o pochyleniu 1:7 (kąąt $8^{\circ}10'$);
- natomiast bez dodatku osadów ściekowych mogą mieć pochylenie 1:2,5 (kąąt $21^{\circ}50'$), dopuszcza się także 1:2,25 (kąąt $23^{\circ}60'$).

Najczęściej przyjmuje się pochylenie skarp 1:3 (kąąt $18^{\circ}20'$), co wynika z warunku niedopuszczania do zsuwania się poszczególnych rekultywowanych warstw ze zdrenowanego i uszczelnionego pokrycia skarp składowiska (rysunek ...).

U podnóża pagórka dopuszczalne jest przyjęcie pochylenia skarp 1:8 (kąąt $7^{\circ}10'$).



Rysunek 18. Szczegół technologiczno-konstrukcyjnego rozwiązania przykrycia składowiska odpadów przemysłowych: A) o pochyleniu skarp 1:2; B) fragment przekroju warstw: rekultywacji, odwodnienia, uszczelnienia i wyrównania, z normatywnym kąętem pochylenia skarpy składowiska 1:3 (M.Głażewski, B.Osmulka-Mróz, 1994):

1- warstwa gleby rekultywacyjnej, 2- taśma zbrojenia kratowo-węzłkowego do wzmocnienia stateczności skarp, 3- warstwa maty drenarskiej, 4- wykładzina uszczelnienia zewnęętrznego z polietylenu zagęszczonego PEHD, 5- warstwa uszczelnienia mineralnego zastąpiona matą bentonitową, 6- wierzchowina odpadów przemysłowych

W przypadku, gdy na składowisku odpadów komunalnych przewiduje się składowane w wydzielonych kwaterach odpadów przemysłowych, pochylenie skarp składowiska może wynosić 1:2 (kąąt $26^{\circ}40'$), pod warunkiem wykonania tarasowych trawers. Jest to maksymalne dopuszczalne pochylenie skarp, które nie powinno być przekraczane. Ponadto obowiązuje zasada, że im wyższe jest składowisko, tym mniejsze powinny być spadki skarp.

Skrócone długości skarp pozwalają na założenie dodatkowego, stabilizującego uzbrojenia pod warstwą rekultywacyjną. Uzbrojenie takie dodatkowo wzmacnia skarpe i przeciwdziała obsuwaniu się warstwy rekultywacyjnej po ułożonej wcześniej mineralnej warstwie izolacyjnej.

Innym elementem poprawiającym stateczność bryły składowiska odpadów jest zastosowanie obudowy skarp w postaci sadzonek roślin, wytwarzających zwarty system korzeniowy, omówiony w innym rozdziale.

W przypadku, gdy składowisko może być zagrożone odkształceniem podłoża gruntowego i bryły, podejmuje się prace zabezpieczające, zwiększające nośność gruntu pod składowiskiem i stateczność bryły. Nośność gruntu poprawić można poprzez jego zagęszczenie (wzmacnianie) w wyniku wymieszania podłoża z zaczynem iniekcyjnym, jak np. zaczyn cementowy, zawiesiny cementowo-iłowe, zawiesiny cementowo-bentonitowo-krzemianowe, bituminy, żele krzemianowe, żywice syntetyczne. Natomiast stateczność bryły składowiska można poprawić poprzez zbrojenie wkładkami z geowłókniny, geosiatkami i matami komórkowymi, mikroelementami.

Bogactwo form brył składowisk odpadów wymaga zastosowania rozwiązań, które dobierane są indywidualnie dla każdego składowiska.

13. BUDOWA SKŁADOWISKA ODPADÓW

Budowa składowiska odpadów należy do jednych z trudniejszych przedsięwzięć inżynierskich. Składa się na to:

- wielkość powierzchni, która wynosić może od kilku do kilkuset tysięcy metrów kwadratowych;
- pojemność składowiska, która może wynosić od kilku tysięcy do kilkunastu milionów metrów sześciennych odpadów,
- miąższość składowanych odpadów, która może wynosić od kilku do kilkudziesięciu metrów,
- okres eksploatacji, wynoszący kilkadziesiąt lat,
- konieczność utrzymania przez cały okres eksploatacji szczelnej bryły składowiska,
- konieczność zapewnienia minimalnego oddziaływania na środowisko.

Składowiska odpadów znajdują się pod ścisłą kontrolą prawną, podlegają określonym wymaganiom techniczno-konstrukcyjnym. Wymagania te dotyczą całego projektu budowlanego składowiska odpadów, a przede wszystkim miejsca jego lokalizacji. Miejsce stanowiące podłoże bryły składowiska odpowiadać musi ściśle określonym wymaganiom

hydrogeologicznym i geologiczno-technicznym. Także cały okres eksploatacji składowiska, czyli okres jego napełniania, wyłączenia z eksploatacji oraz okres po zamknięciu i wyłączeniu z eksploatacji musi odpowiadać wymaganiom technicznym łącznie z wymaganiami ochrony środowiska naturalnego.

Podstawowe wyposażenie konstrukcyjno-techniczne nowoczesnego składowiska odpadów to:

- system zabezpieczenia podłoża gruntowego, wód powierzchniowych i podziemnych;
- system ujmowania odcieków i gazów z terenu składowiska;
- system oczyszczania odcieków i zagospodarowywania gazu;
- dobór metod rekultywacyjnych,
- system monitoringu, czyli kontroli wpływu składowiska na środowisko.

Zakład składowiskowego zagospodarowywania odpadów powinien dysponować odpowiednim zapleczem techniczno-socjalnym dla obsługi składowiska, której praca powinna być wspomagana sprzętem zmechanizowanym. Do niezbędnych urządzeń na terenie składowiska należą (zdjęcie 3, 4 i 5):

- waga samochodowa z układem komputerowym,
- stanowisko do dezynfekcji kół samochodowych opuszczających teren składowiska,
- ogrodzenie wokół składowiska o wysokości co najmniej 2 m,
- oświetlenie obszaru składowiska,
- ciągniki gaśnicowe z lemieszami sycharkowymi, gaśnicowe ubijarki czołowe, sycharko-zagęszczarki z walcowymi kołami dołkowymi lub najbardziej efektywne kompaktory o dużej masie i nacisku około 800 kg/m^2 , ubijające warstwy składowanych odpadów,
- młynek do mielenia odpadów z tworzyw sztucznych,
- taśmociągi, sita, elektromagnesy wspomagające recykling odpadów.

Wymieniony sprzęt pomocniczy w sposób zmechanizowany wspomaga proces wydzielania surowców wtórnych, rozdrabnia odpady, wydziela odpady wielkogabarytowe, części metalowe, równomiernie rozprowadza deponowane odpady na powierzchni składowiska, odpowiednio je zagęszcza, wspomaga proces przesypywania warstwami izolacyjnymi, pomaga odpowiednio formować skarpy, tarasy i wykonywać wiele innych i niezbędnych czynności. Waga samochodowa umożliwia pomiar strumienia odpadów, przyjmowanego na składowisko w transporcie kołowym. Urządzenia do mycia i dezynfekcji kół pojazdów opuszczających teren składowiska są niezbędne dla obiektów, na których następuje biodegradacja.



Zdjęcie 3. Budynek administracyjny (składowisko odpadów w Dukli)



Zdjęcie 4. Stanowisko dezynfekcji kół samochodów opuszczających teren składowiska (składowisko odpadów w Dukli)



Zdjęcie 5. Element wyposażenia technicznego składowiska – sypcharko-zagęszczarka

13.1. Uszczelnienie podłoża

Zabezpieczenie gleby, wód powierzchniowych i podziemnych przed odciekami, powstającymi na składowisku oraz wodami opadowymi spływającymi po powierzchni składowiska jest podstawowym zadaniem zarządzającego tym obiektem. Szczególną uwagę należało by zwrócić na metody i materiały, jakie są stosowane do zabezpieczenia składowiska. Do podstawowych elementów bryły składowiska, które muszą być odizolowane od środowiska zewnętrznego poprzez uszczelnienie, należą:

- podłoże gruntowe, czyli podstawa składowiska,
- ściany boczne składowiska, czyli jego skarpy,
- powierzchnia składowiska, czyli jego czasza.

W przypadku, gdy miejscem składowania odpadów jest obszar nieczynnego kamieniołomu, czy też obszar wcześniej wykonanej odkrywki, wąwóz lub inne naturalne wgłębienie terenu wówczas uszczelnienie podłoża gruntowego może mieć charakter naturalny lub sztuczny, w zależności od jego budowy i własności fizycznych. Każdy taki przypadek musi być rozpatrzony indywidualnie, dla konkretnego miejsca lokalizacji składowiska. Wynika to ze zróżnicowanej budowy geologicznej, hydrogeologicznej i geologiczno-technicznej podłoża gruntowego.

Budowę składowiska odpadów rozpoczyna się od zdjęcia nadkładu, którym jest naturalna warstwa humusowa gleby. Zdjęty nadkład lokalizowany jest poza obszarem składowiska. Miejsce i sposób złożenia nadkładu powinno umożliwiać późniejsze jego wykorzystanie do rekultywacji powierzchni już zamkniętego składowiska. Powierzchnię podłoża gruntowego dokładnie się wyrównuje, usuwa wszelkie ostre i wystające formy, które mogą uszkodzić sztuczny materiał izolacyjny.

W przypadku kamieniołomów i odkrywek, które nie posiadają już nadkładu, sprawdza się szczelność podłoża gruntowego od strony geologicznej i hydrogeologicznej, pod ściśle określony skład chemiczny i własności fizyczne planowanych do deponowania odpadów. Jeżeli podłoże naturalne spełnia stawiane mu wymagania, nie jest konieczne dodatkowe sztuczne uszczelnienie lub wzmocnienie podłoża składowiska. Tym samym oszczędza się czas i sprzęt na jego wyrównanie.

Składowisko odpadów lokalizuje się w miejscach o naturalnej barierze geologicznej, uszczelniającej podłoże i ściany boczne, czyli osłony izolujące deponowane na składowisku odpady od gruntu rodzimego, wód powierzchniowych i podziemnych. W miejscach, gdzie naturalna bariera geologiczna nie spełnia określonych warunków, stosuje się sztucznie

wykonaną barierę. Bariera powinna mieć rozciągłość poziomą przekraczającą obszar projektowanego składowiska odpadów.

Bariery geologiczne uszczelniające podłoże dzielą się na:

- **Bariery naturalne (mineralne)** tworzą rodzime skały podłoża gruntowego. Charakteryzują się odpowiednimi własnościami fizycznymi i hydrogeologicznymi. Są to więc skały nieprzepuszczalne, jak ility, iłołupki, zwarte gliny ilaste, margle ilaste, nie spękane skały masywne o:
 - miąższości nie mniejszej niż 5 m i współczynnika wodoprzepuszczalności co najmniej $K \leq 10^{-9}$ m/s dla składowisk odpadów niebezpiecznych;
 - miąższości nie mniejszej niż 1÷1,5 m (nie mniej niż 0,75 m) i współczynnika filtracji $k \leq 10^{-9}$ m/s, w przypadku składowisk innych niż niebezpieczne i obojętne.

Z uwagi na właściwości odpadów przemysłowych i niebezpiecznych współczynnik wodoprzepuszczalności warstw powinien wynosić $K \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Bariera naturalna powinna charakteryzować się zawartością około 60% frakcji drobniejszej od piasku, przy udziale ziarn o średnicy mniejszej od 2 μm (ilty) powyżej 20% wagowych, zawartości części organicznych poniżej 5% i zawartości węgla wapnia poniżej 30%. Układa się ją pojedynczymi warstwami o miąższości około 0,25 m, które są odpowiednio zagęszczane. Do innych właściwości takiego podłoża należy współczynnik plastyczności, który powinien wynosić około 20% i granica płynności o wartości około 30%.

- **Bariery sztuczne (syntetyczne)** stosuje się w miejscach, które nie spełniają warunków dla nich określonych. Utworzone są z tworzyw sztucznych chemoodpornych, o wysokiej gęstości, szczelności i odkształcalności. Najczęściej stosuje się folie polietylenowe, folie polipropylenowe (np. PEHD), folie PVC i inne tworzywa sztuczne o odpowiednich wymaganiach wytrzymałościowych. Minimalna grubość sztucznej bariery geologicznej powinna wynosić 0,5 m. Układa się je na warstwie mineralnego podłoża, tak aby wykluczyć jakiegokolwiek mechaniczne jej uszkodzenie, nawet w wyniku naturalnych procesów osiadania odpadów na składowisku. Przepuszczalność takiej bariery nie powinna być większa niż bariery naturalnej.
- **Bariery mieszane** stanowią mieszaninę gruntu rodzimego, naturalnego z dodatkiem plastyfikatorów, materiałów asfaltowych, kompozytów popiołowo-krzemianowych i kompozytów bentonitowo-syntetycznych (np. aktywowany bentonit wapniowy lub sodowy, illit, kaolinit). Dodatki te poprawiają właściwości wytrzymałościowe podłoża gruntowego. Uszlachetnianie dodatkami poprawia i stabilizuje jego właściwości

filtracyjne. Stosuje się także zagęszczanie zaczynami cementowymi, które służą do uszczelniania i umacniania skał i gruntów oraz pozwalają na uzyskanie właściwego połączenia warstw podłoża z nadkładem (np. betonowym). Przepuszczalność barier mieszanych powinna być nie większa od barier innych typów.

Uzupełnieniem barier geologicznych jest izolacja syntetyczna, zaprojektowana w sposób uwzględniający skład chemiczny odpadów i warunki geotechniczne składowania. Izolacja ta nie jest elementem stosowanym do uszczelniania zboczy składowiska.

Podstawowe cechy barier to:

1. Bariera powinna stworzyć nieprzepuszczalną i stabilną w czasie warstwę uszczelniającą podstawę składowiska, skarpy oraz jego czaszę.
2. Jest ona tą warstwą ochronną, która nie może dopuścić do przemieszczania się zanieczyszczeń w głąb gleby, do wód powierzchniowych i podziemnych.
3. Bariera musi być stabilna w czasie, czyli musi być odporna na procesy starzenia się materiałów.
4. Postępujące procesy starzenia nie mogą powodować jej kruszenia, czy zlepiania się.
5. Bariera powinna charakteryzować się odpornością na działanie niskich i wysokich temperatur w zakresie około $(\pm)60^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$.
6. Powinna być łatwa w łączeniu pojedynczych arkuszy.
7. Nie może ulec zniszczeniu przez gryzonie, a tym samym nie może dopuścić gryzoni do wnętrza składowiska.
8. Materiał, z którego wykonana jest bariera, pozwala na łatwe, szybkie i bezproblemowe ułożenie sieci drenaży do odprowadzania wód infiltrujących przez składowisko i odsysania biogazu.
9. Materiał ten nie wchodzi w reakcje chemiczne z odciekami, a tym samym nie jest niszczone przez takie związki, jak kwasy organiczne i mineralne (solny, siarkowy, octowy), węglowodory aromatyczne, alifatyczne i chlorowane, sole metali ciężkich i wiele innych substancji powstających w procesie rozkładu odpadów.
10. W przypadku gazów składowiskowych materiał jest odporny na ich przenikanie, np. w wyniku dyfuzji fizycznej.
11. Materiał, z którego wykonana jest bariera nie powoduje kolmatacji drenaży.

Ochronna rola barier wynika z koniecznych do spełnienia parametrów. Parametry te zależą od rodzaju zastosowanej do izolacji bariery i są to:

1. w przypadku *barier naturalnych*:
→ współczynnik filtracji $k < 10^{-9}$,

- minimalna grubość naturalnej warstwy izolacyjnej 1,5 m,
 - w przypadku zagęszczania naturalnych warstw izolacyjnych powinna być układana warstewkami o grubości około 25 cm po wykonaniu zagęszczenia warstw,
 - materiał mineralny powinien być drobnoziarnisty, co w praktyce oznacza, że około 60% ziaren powinno być mniejszych od ziaren piasku ($< 0,1$ mm),
 - zawartość węglanu wapnia, który wpływa na zmianę struktury gleby, powinna być mniejsza od 10 %, w wypadkach wyjątkowych nie powinna przekraczać 30%.
2. w przypadku *barier sztucznych*:
- dobra szczelność, w tym celu prędkość przepływu wody powinna być przeliczona na ilość i wydatek,
 - odporność na działanie związków chemicznych, czyli również odporność na skrajne wahania wartości pH,
 - odporność na wahania temperatur w granicach, co najmniej $(+/-)60\div 80^{\circ}\text{C}$,
 - odporność na palenie,
 - dostateczna elastyczność,
 - łatwa w układaniu, szczególnie z zachowaniem minimalnego spadku około 3%.

13.1.1. Materiały uszczelniające

W geotechnicznych pracach na składowisku odpadów stosuje się szeroką gamę wysoko-gęstościowych materiałów uszczelniających z tworzyw sztucznych, które tworzą bariery izolacyjne. Należą do nich:

1. *Geomembrany*, które stosowane są do uszczelnienia: dolnego, otaczającego i wierzchniego składowiska, zbiorników na odcieki, rowów sanitarnych, instalacji do monitorowania.
2. *Geowłókniny*, które stosowane są do ochrony geomembran, systemów drenażowych przed kolmatacją, separacji warstw mineralnego systemu uszczelniającego, częściowego drenażu odcieków, zbrojenia obwałowań z gruntu słabszego, zbrojenia podłoża dróg dojazdowych do składowiska.
3. *Geosiatki*, które stosowane są do zbrojenia konstrukcji obwałowań i dróg dojazdowych, zwiększenia wytrzymałości pokrycia powierzchniowego, zwiększenia tarcia na styku geomembrana - grunt przy uszczelnieniu powierzchniowym i na skarpach niecki.
4. *Geodreny*, które stosowane są do zastąpienia drenaży do zbierania odcieków, odwodnienia pod uszczelnieniem, jako systemy zbierające powierzchniowe wody opadowe.

5. *Geomaty*, które stosowane są do pokrywania składowisk odpadów, zapobiegania pyleniu ze strony składowisk, redukcji erozji powierzchniowej.
6. *Geokompozyty*, które stosowane są jako dodatek do geomembran z bentonitem, geowłóknin z bentonitem, geomembran z geosiatkami, geowłóknin drenażowych z separującymi i innych.

Do wytwarzania tych materiałów stosuje się surowce z grupy:

- elastomerów, są to: gумы termoplastyczne, gумы obrabiane,
- termoplastycznych amorficznych (bezpostaciowych), są to: polichlorek winylu, polietylen chlorowany, polietylen chlorosulfonowany (guma termoplastyczna),
- termoplastycznych półkryształicznych, są to: polietylen o dużej i średniej gęstości, polietylen o niskiej i bardzo niskiej gęstości, polietylen o liniowo niskiej gęstości,
- polimerowych bitumicznych i bitumicznych, i jest to: asfalt,
- kompozytowych bentonitowych, są to: bentomat, bentofix, gundseal, Clazmax.

Każdy z wymienionych wyżej materiałów charakteryzuje się łatwością łączenia ze sobą pojedynczych i luźnych elementów. Elementy łączy się między innymi poprzez zgrzewanie, termiczne łączenie taśmą uszczelniającą, spawanie, klejenie paskami z masy bitumicznej, zszywanie. Połączenia muszą się charakteryzować trwałością przez okres około 20÷30 lat, odpornością chemiczną, temperaturową, odpowiednimi własnościami naprężeniowymi, czyli odpornością na rozciąganie, zrywanie wzdluzne i poprzeczne. Inne cechy połączeń to odpowiednia plastyczność, brak nasiakliwości i przepuszczalności.

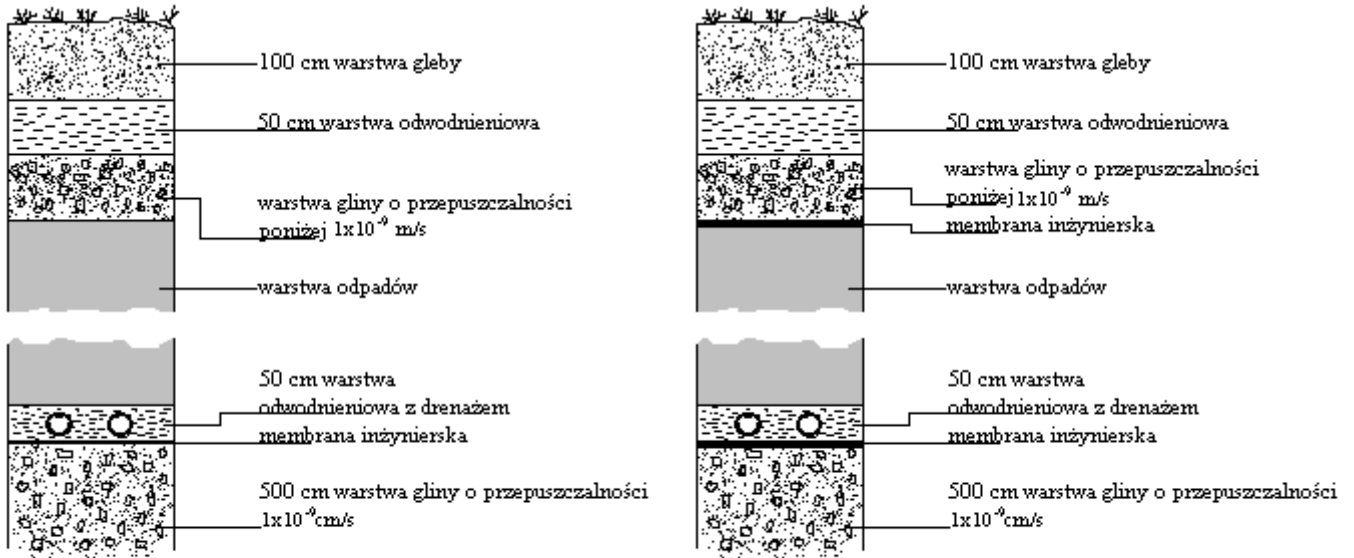
13.2. Elementy konstrukcyjne warstw podłoża pod składowiskiem

Współczesne składowiska odpadów, spełniające wymogi Unii Europejskiej, muszą stanowić obiekt inżynierski, który jest bezpieczny dla środowiska naturalnego. Wymóg bezpieczeństwa dla środowiska wynika z koniecznej ochrony gleb, wód powierzchniowych i podziemnych, zdrowia i życia ludzi. Stanowić więc powinny obiekt budowlany, który zaopatrzony jest w system instalacji do odprowadzania wód opadowych, odcieków, gazu składowiskowego. Ponadto musi spełniać wymagania i warunki przeciwdziałania uwalnianiu się, zwłaszcza niekontrolowanemu, gazów i odorów z wnętrza składowanych odpadów. konstrukcje nowoczesnego składowiska odpadów ilustruje rysunek ...

Szybki rozwój techniki i gospodarki umożliwia, a tym samym zmusza potencjalnych inwestorów, do sięgania po doświadczenia innych krajów, w tym Unii Europejskiej czy USA.

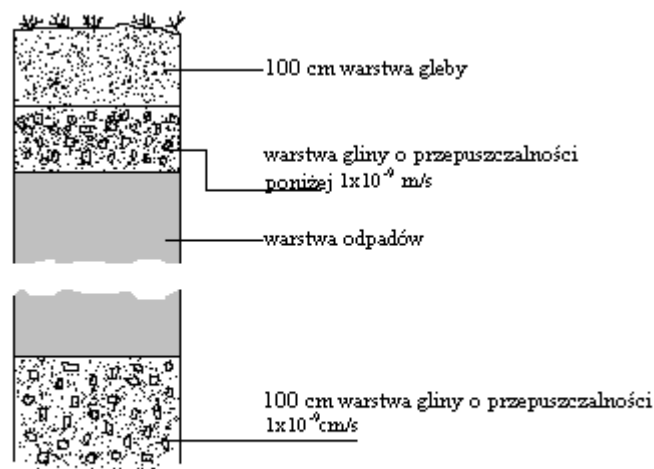
Każde uszczelnienie składowiska odpadów (podłoża, skarp, powierzchni) konstruowane jest oddzielnie, niezależnie od jednostkowych elementów składowiska,

niemniej, każde z nich składa się z elementów, jakie przedstawione są na rysunku 19 i 20. Przedstawiają one konstrukcję wykładziny dennej i powłoki powierzchniowej dla różnych klas składowisk odpadów.



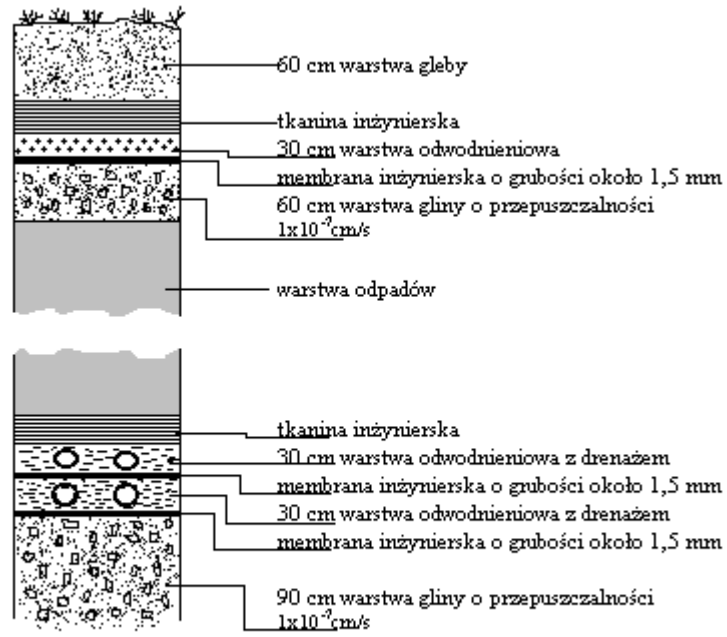
Składowisko odpadów komunalnych

Składowisko odpadów niebezpiecznych

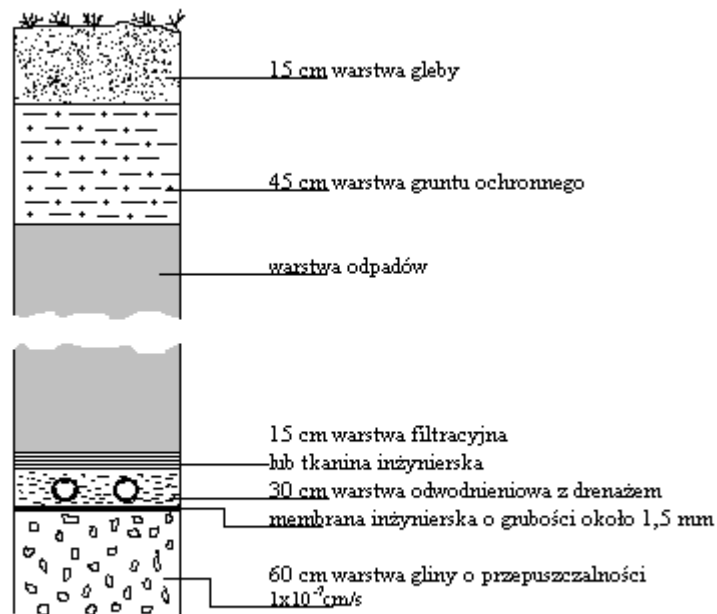


Składowisko odpadów obojętnych

Rysunek 19. Uszczelnienie podłoża i powierzchni składowiska według przepisów Unii Europejskiej (wg.A.Wesołowski, 1998)

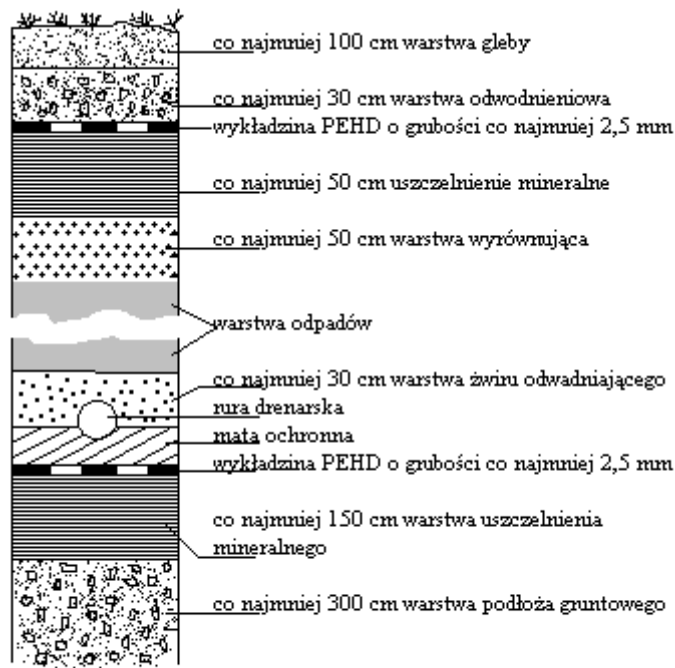


Składowisko odpadów niebezpiecznych



Składowisko odpadów komunalnych

Rysunek 20. Uszczelnienie podłoża i powierzchni składowiska według przepisów USA (wg.A.Wesołowski, 1998)



Składowisko odpadów o wysokiej szkodliwości ekologicznej

Rysunek 21. Uszczelnienia podłoża i powierzchni składowiska do deponowania odpadów o wysokiej szkodliwości ekologicznej (Dz.U. z 29.XII.1995 r., nr 153, poz.775)

Należy jeszcze raz podkreślić, że zadaniem poszczególnych warstw mineralnego i sztucznego uszczelnienia jest zabezpieczenie środowiska przez niedopuszczenie do filtracji odcieków i wód opadowych. Warstwy te muszą być odporne na erozję wodną, a w przypadku kontaktu z odciekami muszą być odporne na ich oddziaływanie. Nie mogą pęcznieć, ale powinny posiadać zdolność zatrzymywania metali ciężkich. Pod wpływem obciążenia nie mogą ulegać odkształceniom.

Na składowiskach odpadów komunalnych można stosować dwie metody uszczelnienia podłoża gruntowego:

1. *system uszczelnienia pojedynczego*, który składa się z jednej warstwy uszczelniającej i sieci drenażu odcieków;
2. *system uszczelnienia pojedynczego kombinowanego (złożonego)*, z zastosowaniem kompozytu (np. popiołu). Składa się z dwóch lub więcej warstw materiałów uszczelniających, będących w bezpośrednim kontakcie ze sobą, ale o różnych

współczynnikach filtracji. Powyżej warstw uszczelniających znajduje się sieć drenażu odcieków.

Na składowiskach odpadów komunalnych, na których deponuje się odpady przemysłowe lub niebezpieczne, wykonuje się oddzielne dla nich *kwatery*. Ich wielkość określona jest w projekcie budowlanym składowiska odpadów. Dla składowania odpadów niebezpiecznych powierzchnia kwater nie powinna przekraczać 2500 m². Do uszczelnienia kwater stosować można również dwa systemy uszczelnienia podłoża gruntowego. Rozwiązanie takie chroni środowisko przed szczególnie toksycznymi odciekami, jakie powstają na tego typu składowiskach. Nie można pominąć tu faktu, że jednocześnie metoda ta zwiększa koszty budowy takiego obiektu, z uwagi na stosowane technologie i podwójne zużycie materiałów uszczelniających. Stosuje się tutaj trzy przypadki:

1. **System uszczelnienia podwójnego**, który tworzą dwie warstwy uszczelniające, oddzielone od siebie warstwą sieci drenażu do wykrywania, zbierania i odprowadzania odcieków. Powyżej górnej warstwy uszczelnienia znajduje się kolejna sieć drenażu do bezpośredniego odbioru odcieków ze składowiska.
2. **System uszczelnienia podwójnego kombinowanego (złożonego)** podłoża, który tworzą złożone warstwy podłoża dolnego uszczelnienia, warstwa sieci drenażu wykrywającego odciek, pojedyncza uszczelniająca warstwa górna oraz umieszczona na niej sieć drenażu do bezpośredniego odbioru odcieków ze składowiska.
3. **System uszczelnienia podwójnego kombinowanego (złożonego) dolnej i górnej warstwy uszczelniającej**, z siecią drenażu do wykrywania odcieków pomiędzy warstwami uszczelniającymi i z siecią drenażu na górnej warstwie uszczelniającej do bezpośredniego odbioru odcieków ze składowiska.

Ostatnią warstwę uszczelnienia tworzy powierzchniowa warstwa uszczelniająca. Stanowi ona ostateczne zamknięcie składowiska, które izoluje go od otoczenia zewnętrznego, łącznie z dostępem powietrza atmosferycznego.

Zadaniem powierzchniowej warstwy uszczelniającej jest:

- niedopuszczenie do filtracji i wglębnej migracji wód opadowych, lecz odprowadzenie ich poza obręb składowiska,
- niedopuszczenie do niekontrolowanej emisji gazów powstających na składowisku,
- niedopuszczenie do pylenia składowiska i niszczenia czaszy przez procesy erozyjne (wodne i wietrzne),
- zabezpieczenie składowiska przed dojściem do niego drobnych zwierząt i ptaków,
- zabezpieczenie składowiska przed „penetracją” korzeni roślin, szczególnie drzewiastych.

14. PROCESY ROZKŁADU ODPADÓW NA SKŁADOWISKU

Od momentu powstania odpadu rozpoczyna się proces jego „starzenia” i rozkładu. Szybkość, z jaką zachodzi starzenie się odpadu zależy od budowy cząsteczkowej materiału, z którego jest zbudowany. Inny jest czas rozkładu substancji organicznej, inny substancji mineralnej, inny substancji organiczno-mineralnej i jeszcze inny substancji z tworzywa sztucznego. W momencie zdeponowania masy odpadów o znacznych różnicach w budowie chemicznej procesy rozkładu jednostkowego odpadu również będą przebiegać inaczej - będą spowalniane lub przyspieszane. Szybkość tego rozkładu będzie od rodzaju odpadów wzajemnie się kontaktujących. Przykładowo: odpady o charakterze kwaśnym będą neutralizowane przez odpady o charakterze zasadowym i na odwrót, a proces ten będzie przebiegał do ustalenia się równowagi jonowej pomiędzy tymi substancjami.

Współczesne składowiska odpadów budowane są tak, aby ich eksploatacja umożliwiała w miarę stabilny proces rozkładu zdeponowanych odpadów. W tym celu stosuje się specjalne zabiegi polegające, między innymi, na wstępnym rozdrabnianiu odpadów, wsparciu procesów rozkładu poprzez odpowiednie zagęszczanie złoża odpadowego, układanie na składowisku odpadów sprasowanych, ochronie zdeponowanych odpadów przed nadmiernym zalewaniem wodami opadowymi i napływowymi z otoczenia składowiska. Przyjęcie odpowiedniej technologii zdeponowania odpadów decyduje o „żywności” konkretnego składowiska, które może przyjąć większą masę i objętość odpadów.

Składowisko odpadów jest takim miejscem, w którym moment złożenia „pierwszej porcji” odpadów jest początkiem *aktywności biologiczno-chemicznej składowiska*. Rozpoczyna się niezwykle skomplikowany proces przekształceń odpadów organicznych i mineralnych, stanowiących złożone struktury chemiczne w proste związki mineralne, organiczne i mineralno-organiczne. Na procesy te składają się różnorodne zjawiska mechaniczne, fizyczne, chemiczne, biochemiczne i biologiczne.

Zjawiska mechaniczne, fizyczne i chemiczne obejmują procesy prowadzące w pierwszej kolejności do stabilizacji masy odpadów organicznych i nieorganicznych, i obejmują procesy:

- przemian związków nieorganicznych rozpuszczalnych w nierozpuszczalne i na odwrót,
- wiązania metali ciężkich w trwałe, nierozpuszczalne kompleksy organiczne i mineralne,
- wytrącania związków trudno rozpuszczalnych po przekroczeniu ich iloczynu rozpuszczalności (np. węglanów, siarczanów, fosforanów, azotanów, azotynów, żelaza, manganu, soli metali ciężkich),

- sorpcji fizycznej i chemicznej, czyli wiązania jednych związków lub jonów przez minerały i cząstki koloidalne,
- wymiany jonowej, czyli wymiana własnych jonów na jony znajdujące się w otaczającym roztworze,
- desorpcji oraz uwalniania jonów do roztworu wodnego, czyli procesy odwrotne do sorpcji i wymiany jonowej,
- dyfuzji molekularnej, czyli ustalania się stanu równowagi rozkładu stężeń w wyniku bezwładnej wędrówki termicznej atomów, molekuł lub cząstek makroskopowych zawieszonych w cieczy,
- konwekcji, czyli unoszenia substratów w strumieniu cieczy, w ośrodku porowatym,
- utleniania i redukcji.
- wietrzenia, powodowane oddziaływaniem czynników zewnętrznych (temperatura otoczenia, opady atmosferyczne zawierające O_2 , CO_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- i wiatry).

Zjawiska biochemiczne i biologiczne zachodzą przy współdziałaniu mikroorganizmów tlenowych (aerobowych) i beztlenowych (anaerobowych), i obejmują procesy:

- mineralizacji związków organicznych o złożonej strukturze do prostych związków organicznych, mineralnych lub organiczno-mineralnych,
- hydrolizy organicznych związków rozpuszczonych i nierozpuszczonych,
- rozkładu produktów hydrolizy do kwasów organicznych,
- rozkładu kwasów organicznych do gazów.

Wszystkie wymienione procesy zachodzą w całym przekroju pionowym złoża odpadów.

Końcowym produktem rozkładu zdeponowanych odpadów organicznych i mineralno-organicznych jest „*biomasa*” i gaz składowiskowy zwany „*biogazem*”. Jeżeli odpady stanowią mieszaninę odpadów biodegradowalnych i bio-niedegradowalnych, to produktem rozkładu jest biomasa, gaz składowiskowy i *balast*, czyli to co nie uległo rozkładowi.

Biomasa obejmuje całą żywą i martwą materię wytworzoną na drodze biologicznej. Składa się z materii organicznej wytworzonej na drodze metabolizmu żywych organizmów zwierzęcych i procesów rozwojowych organizmów roślinnych oraz z materii, z której zbudowane są obumarłe organizmy zwierzęce i roślinny. Jest to więc substancja organiczna wytworzona przez populacje mikroorganizmów danego środowiska, w ściśle określonej przestrzeni i jednostce czasu. Średni skład chemiczny biomasy można wyrazić wzorem $C_5H_7NO_2$, który jest formą zapisu proporcji makropierwiastków, z których mikroorganizmy są zbudowane. Przykładem mikroorganizmów biorących udział w rozkładzie są, między

innymi: bakterie, grzyby, glony, pleśniowce, promieniowce, pierwotniaki, porosty, wirusy i wiele innych kolonii drobnoustrojów.

14.1. Fazy przemian biochemicznych

Przemiany biochemiczne odpadów stanowią wzajemnie powiązane ze sobą reakcje biochemiczne oparte na procesach metabolizmu komórkowego żywych organizmów, czyli procesach oddychania, odżywiania, przetwarzania, syntezy składników pokarmowych. Drobnoustroje wykorzystując energię zawartą w pokarmie (w tym przypadku jest to odpad) i energię pochodzącą z reakcji biochemicznych, prowadzą do swojego wzrostu, rozwoju i rozmnażania.

Naturalny proces przemian biochemicznych może zachodzić tylko przy współdziałaniu mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych.

Organizmy tlenowe (tlenowce lub aeroby) są to drobnoustroje, które żyją w środowisku tlenowym (aerobowym), czyli zawierającym tlen atmosferyczny niezbędny do zapewnienia im życia i rozwoju. Natomiast **organizmy beztlenowe** (beztlenowce lub anaeroby) są drobnoustrojami, które żyją w środowisku beztlenowym (anaerobowym), ich procesy życiowe przebiegają bez udziału tlenu, a energię niezbędną do życia czerpią z różnych przemian chemicznych i biochemicznych. W grupie tej wyróżnia się *anaeroby bezwzględne*, które żyją i rozkładają substancję organiczną tylko przy braku wolnego tlenu, który jest dla nich substancją toksyczną oraz *anaeroby względne (fakultatywne beztlenowce)*, które swe procesy życiowe prowadzą zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych.

Rozwój mikroorganizmów uzależniony jest od środowiska wewnętrznego masy odpadów: pH, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego, temperatury, wilgotności i ciśnienia. Rozkład zdeponowanej masy organicznej i mineralnej uzależniony jest od symbiotycznego współdziałania mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych, poprzez wzajemne przekazywanie sobie energii podtrzymującej ich procesy życiowe i rozkładu.

Rozkład substancji organicznej zachodzi przy współdziałaniu mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych, więc także procesy przemian biochemicznych składają się z dwóch podstawowych faz rozkładu:

- I. **Faza oddychania tlenowego**, zwana *fazą aerobową* jest procesem biochemicznym zachodzącym z udziałem tlenu atmosferycznego. Trwa ona od 3 do 12 tygodni, do momentu wyczerpania się O_2 zawartego w odpadach. Część substancji organicznej zostaje w tym czasie rozłożona na biomasę mikroorganizmów, pozostała część na CO_2 . W procesie oddychania tlenowego uwalnia się energia w postaci ciepła, dlatego w fazie tej następuje

samoogrzewanie się odpadów. Proces ten sprzyja z kolei wiązaniu tlenu z utworzeniem CO₂ i rozwojowi organizmów beztlenowych. W miarę zużywania się tlenu rozpoczyna się powolne przejście do drugiej fazy oddychania komórkowego.

- II. **Faza oddychania beztlenowego**, zwana *fazą anaerobową* jest procesem biochemicznym, zachodzącym bez udziału tlenu atmosferycznego. Proces ten jest procesem fermentacji masy odpadów, w wyniku którego powstają proste kwasy organiczne i alkohole oraz wydzielają się dwutlenek węgla i metan. Z całej ilości substancji organicznej 95% ulega katabolizmowi do produktów gazowych, pozostałe 5% stanowi biomasa mikroorganizmiczna (bakteryjna). Faza ta trwa do momentu zakończenia przemian biochemicznych, czyli około 20 lat.

Procesy metabolizmu komórkowego oparte są na przemianach zachodzących w każdej żywej komórce, a są to:

Katabolizm (desymilacja), czyli utlenianie wewnątrzkomórkowe substancji organicznych, w celu uzyskania odpowiedniej ilości energii do przeprowadzenia procesów anabolicznych. Katabolizm prowadzi więc do rozkładu związków organicznych, a także własnych złożonych składników ustroju komórkowego mikroorganizmów. W wyniku rozkładu powstają końcowe, proste produkty przemiany materii i uwolniona zostaje energia. **Anabolizm** jest procesem, w którym żywa komórka zużywa uwolnioną energię do biosyntezy, a także wykonania pracy mechanicznej, osmotycznej, aktywnego transportu, rozmnażania, wydzielania ciepła, czyli podtrzymania swoich funkcji życiowych.

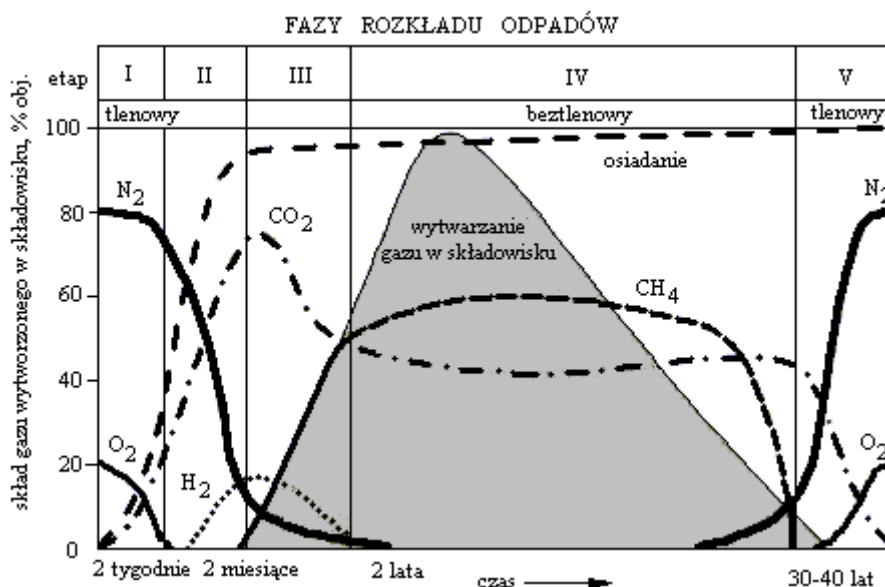
W fazie anaerobowej (fermentacyjnej) giną organizmy tlenowe, natomiast zaczynają dominować organizmy beztlenowe. Tutaj wyróżnia się kolejne fazy rozkładu substancji organicznej, które zachodzą aż do stabilizacji procesu. Są to:

1. **Faza fermentacji „kwaśnej”**(*kwasonogeneza*). Proces fermentacji rozpoczyna się z chwilą wyczerpania zapasów tlenu w złożu odpadów. Mikroorganizmy beztlenowe rozkładają substancję organiczną na proste kwasy organiczne, alkohole, CO₂ i H₂. Następnie w *fazie octanogenezy* kwasy organiczne i alkohole przekształcane są do kwasu octowego, CO₂ i H₂. W procesie tym utlenianie jednego związku pośredniego równoważone jest redukcją innego związku.
2. **Faza metanowa niestabilna**. Rozpoczyna się z chwilą, w której z produktów przemian biochemicznych zaczyna uwalniać się wodór. Wodór usuwany jest ze środowiska dzięki bakteriom metanowym, które wykorzystują wodór i CO₂ do syntezy CH₄. Metan może powstawać również bezpośrednio z kwasu octowego. Innym źródłem metanu jest utlenianie kwasu pirogronowego z użyciem wody przez bakterie syntroficzne. Warunkiem

tej przemiany jest stałe wydzielanie wodoru, którego ciśnienie cząstkowe w środowisku jest mniejsze od 10^{-5} atm. Przy wyższym ciśnieniu cząstkowym wodoru reakcja jest hamowana, środowisko jest silnie zakwaszane i powstają lotne kwasy organiczne.

3. **Faza metanowa stabilna.** Rozpoczyna się z chwilą obniżenia ciśnienia cząstkowego wodoru, co następuje pod wpływem bakterii metanowych przekształcających wodór i CO_2 w metan. Następuje ustabilizowanie się składu produktów rozkładu substancji organicznej.
4. **Faza „wyciszenia”,** rozpoczyna się z chwilą zmniejszenia się produkcji składników gazowych aż do zera. Moment ten jest **końcem aktywności biologicznej składowiska odpadów.**

Poszczególne fazy rozkładu złoża odpadów na składowisku oraz zmiany składu procentowego powstającego biogazu ilustruje rysunek 22.



Rysunek 22. Fazy rozkładu i zmiany składu procentowego biogazu ulatniającego się ze składowisk odpadów w miarę upływu czasu (B.J.Alloway, D.C.Ayres, 1999; zmieniony).

Wyjaśnienie do rysunku: W pierwszym okresie eksploatacji składowiska gaz wydzielany w sposób niestabilny (następują kolejno po sobie okresy fermentacji tlenowej – faza I, fermentacji kwaśnej – faza II i fermentacji metanowej niestabilnej – faza III) do około 2 lat. Zawartość czystego CH_4 w gazie zawiera się w przedziale 5÷30%. Po upływie około 2 lat rozpoczyna się okres fermentacji metanowej stabilnej – faza IV, czyli okres powolnej stabilizacji wydzielania gazu do około 30 - 40 lat. Zawartość czystego CH_4 osiąga poziom około 50÷60%. Po tym okresie, licząc od początku procesów rozkładu, ilość wydzielanego gazu zaczyna spadać aż do całkowitego zakończenia procesów rozkładu i wydzielania gazów – jest to V faza „wyciszenia”.

14.2. Metabolizm i biodegradacja

Metabolizm, czyli przemiana materii organicznej, zachodzi przy współdziałaniu mikroorganizmów. Stanowi on połączenie procesów przemian biochemicznych, jakie

zachodzą w złożu odpadów z procesami odżywiania, przetwarzania pokarmu, syntezy składników komórki, z jednoczesnym wykorzystaniem energii zawartej w pokarmie. Procesy te prowadzą (i sprzyjają) do wzrostu i rozmnażania drobnoustrojów, jeśli są źródłem węgla, azotu, siarki, fosforu, jonów metali (a szczególnie Cl^- , K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Fe^{+3}) oraz innych pierwiastków wymaganych w bardzo małej ilości nazywanej mikroelementami.

Biologiczne funkcje wybranych jonów metali ilustruje tabela 13.

Tabela 13. Biologiczne funkcje wybranych jonów metali (S.J.Lippard, J.M.Berg, 1998)

Metal	Funkcja
Sód	przenośnik ładunku; równowaga osmotyczna
Potas	przenośnik ładunku; równowaga osmotyczna
Magnez	struktura; hydrolaza; izomeraza
Wapń	struktura; wyzwalacz; przenośnik ładunku
Wanad	wiązanie azotu; oksydaza
Chrom	nieznana, możliwy udział w tolerancji glukozy
Molibden	wiązanie azotu, oksydaza; przenoszenie grup okso
Wolfram	dehydrogenaza
Mangan	fotosynteza; oksydaza; struktura
Żelazo	oksydaza; transport i magazynowanie dwutlenku; przenoszenie elektronów; wiązanie azotu
Kobalt	oksydaza; przenoszenie grup alkilowych
Nikiel	hydrogenaza; hydrolaza
Miedź	oksydaza; transport dwutlenku; przenoszenie elektronów
Cynk	struktura; hydrolaza

Organizmy pobierają tylko substancje mineralne, a więc dwutlenek węgla, sole azotu, siarki, fosforu i inne. Organizmy, które mogą wykorzystać dwutlenek węgla jako jedyne źródło węgla, nazywa się *samożywymi*, czyli *autotrofami* (są to rośliny zielone i liczne bakterie). Inne organizmy, jak wszystkie zwierzęta i grzyby oraz większość bakterii, wymagają w pożywieniu co najmniej jednego związku organicznego, jako źródło węgla. Te organizmy nazywa się *cudzożywymi*, czyli *heterotrofami*. Substancje organiczne w swoim składzie chemicznym zawierają węglowodany (cukry, kwasy tłuszczowe, alkohole, hemicelulozę, ligninę, oraz białka) w ilości około 75%, natomiast węgla w ilości około 15%.

Biodegradacja, czy też mineralizacja odpadów jest biochemicznym rozkładem, syntezą, zmianą jednego typu związków organicznych na inne, prostsze związki mineralne (prostsze składniki chemiczne) przy współudziale wielu gatunków drobnoustrojów. Procesom tym towarzyszy utlenianie (w warunkach tlenowych) lub redukcja (w warunkach beztlenowych) różnych cząsteczek budujących substancje organiczne i nieorganiczne zawarte w złożu odpadów. Proste połączenia organiczne, jak cukry proste,

kwasy organiczne, aminokwasy, są pobierane przez drobnoustroje bezpośrednio i transportowane do wnętrza komórki. Natomiast związki wielkocząsteczkowe, jak wielocukry, białka, celuloza, lignina i inne polimery, początkowo są hydrolizowane poza komórką i dopiero w formie małych cząsteczkowych produktów hydrolizy są asymilowane przez drobnoustroje.

W procesie rozkładu jeden związek jest kolejno przekształcany poprzez jeden lub wiele związków pośrednich w inny związek, aż do produktu lub produktów końcowych (CO_2 i H_2O). Zachodzące reakcje rozkładu są reakcjami endoergicznymi, czyli wymagają dostarczenia energii, która wykorzystywana jest w procesach życiowych mikroorganizmów. Większość mikroorganizmów uzyskuje energię przekształcając związki chemiczne zawarte w środowisku, w którym żyją. Organizmy te nazywa się *chemotrofami*.

Chemotrofy dzielą się na:

- *chemoorganotrofy* (zwierzęta, grzyby i większość bakterii), które wykorzystują jedynie związki organiczne do pozyskania energii,
- *chemolitotrofy* (nieliczne bakterie), które wykorzystują związki nieorganiczne, bądź pierwiastki chemiczne do uzyskania energii. Uwalniają ją w wyniku utleniania związków nieorganicznych (np. zredukowanych soli azotu, siarki, żelaza lub wodoru cząsteczkowego).

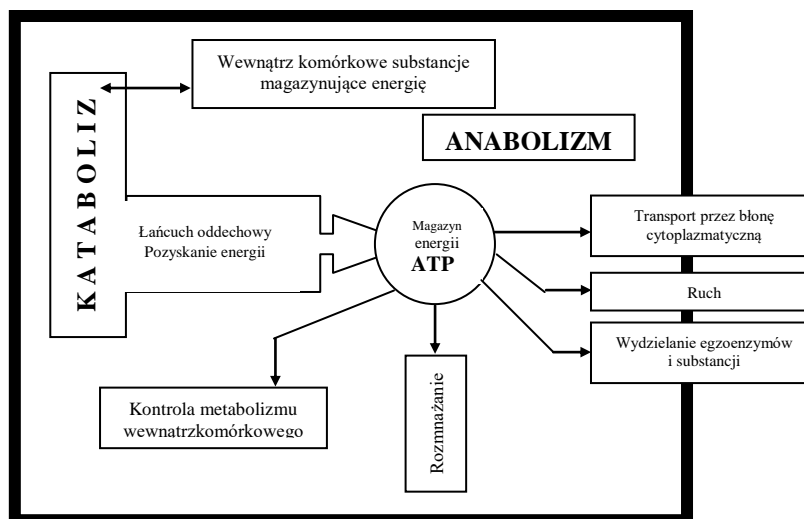
Wszystkie chemoorganotrofy są heterotrofami, czyli związki organiczne służą im jako źródło węgla i energii. Natomiast większość chemolitotrofów, jako źródło węgla i energii wykorzystuje dwutlenek węgla, czyli są autotrofami.

Energia pobierana przez drobnoustroje najpierw jest gromadzona w postaci adenozyntrifosforanu (ATP), a dopiero później wykorzystywana jest w procesach metabolizmu komórki. Schemat metabolizmu komórkowego ilustruje rysunek 23.

W całym skomplikowanym procesie metabolizmu komórkowego i biodegradacji złoża odpadów istotne jest aby obok siebie współwystępowała symbiotyczna mikroflora i wielogatunkowa i liczebna. Wynika to ze złożoności związków chemicznych występujących w masie odpadów, z których jedne należą do substancji toksycznych inne, w wyniku zachodzących przemian, stają się takimi substancjami. Substancje toksyczne wpływają negatywnie na wiele drobnoustrojów, czego efektem jest spowolnienie zachodzących przemian, a nawet ich zatrzymanie.

Rozkład mikrobiologiczny odpadów zachodzić będzie przez okres zależny od stopnia rozdrobnienia odpadów, ich składu chemicznego oraz stopnia podatności na degradację biologiczno-chemiczną wszystkich zanieczyszczeń w określonym środowisku. Drobnoustroje

są wysoce zróżnicowane metabolicznie, więc – teoretycznie - każdy odpad typu organicznego powinien ulec degradacji. Wpływ na to ma odpowiedni dobór drobnoustrojów. Należy jednak mieć na uwadze, że metody biologiczne, z uwagi na długi czas rozkładu, mogą mieć często nieznaną, nieprzewidywalną, a nawet niewymierzalną wpływ na środowisko otaczające określone miejsce rozkładu.

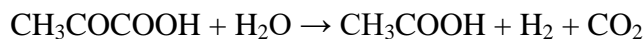


Rysunek 23. Schemat procesów metabolizmu komórkowego (A.Szpindor, J. Łomotowski, 2002)

14.3. Procesy biochemiczne

Procesy biochemiczne, zachodzące w złożu odpadów przy udziale mikroorganizmów, są niezwykle skomplikowanymi. Jako przykład rozkładu może posłużyć:

- Cukier laktoza, który rozkładany jest przez bakterie *Escherichia coli* na glukozę i galaktozę. Związki te podlegają dalszym procesom rozkładu w warunkach tlenowych, a końcowym produktem jest kwas pirogronowy. Może on następnie zostać włączony do cyklu innych przemian (np. beztlenowych) i ulec redukcji:

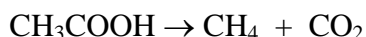


- Celuloza jest źródłem węgla dla pewnej grupy bakterii celulolitycznych (np. *Cellulomonas*, *Clostridium thetmocellum*). Końcowymi produktami rozkładu celulozy są metan i dwutlenek węgla:

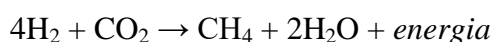
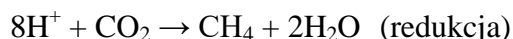
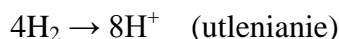


- Bakterie metanogenne są ścisłymi beztlenowcami, reprezentowanymi, między innymi przez *Methanococcoides*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanococcus voltae*,

Methanobolus. Mogą syntetyzować metan, np. z octanu i metanolu, a produktami rozkładu są dwutlenek węgla i metan. Z kwasu octowego powstaje około 70% metanu:

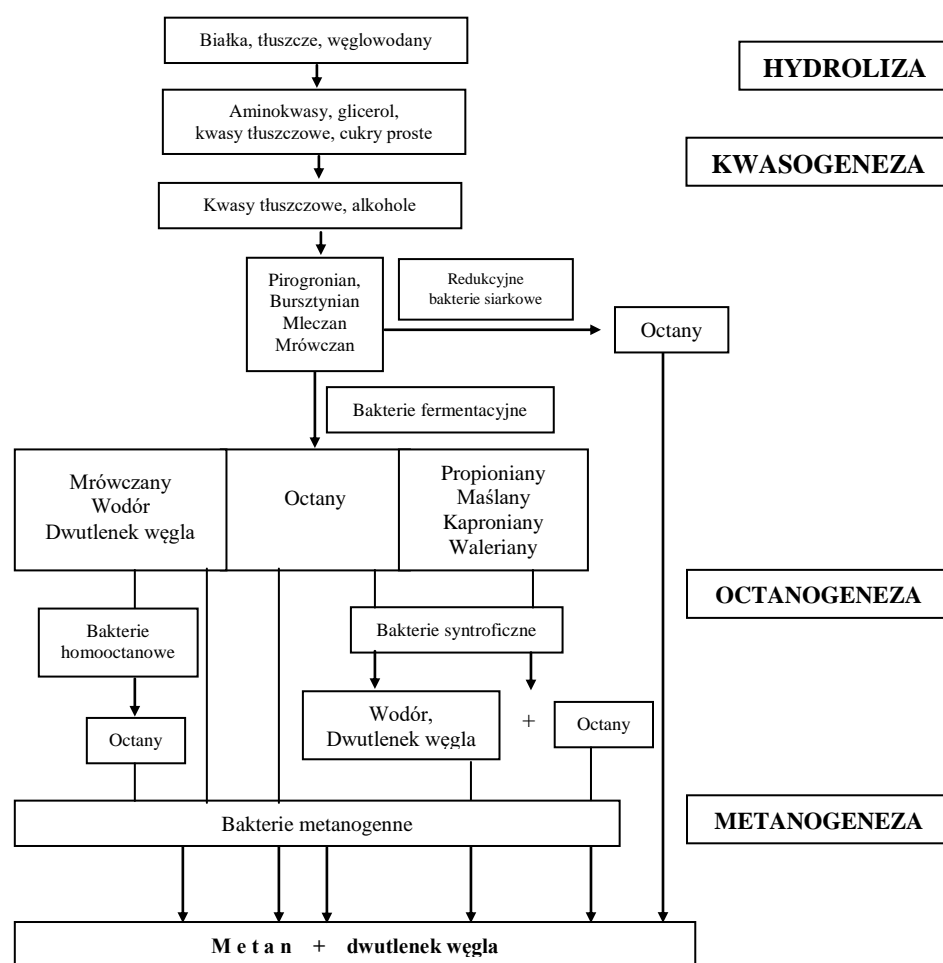


W dalszej kolejności utleniając wodór do H^+ redukują CO_2 do metanu. Z wodoru i dwutlenku węgla otrzymuje się około 30% całkowitej ilości metanu:



- W kwaśnym środowisku niektóre bakterie (np. *Escherichia coli*) przeprowadzają fermentację rozkładając kwas mrówkowy na dwutlenek węgla i wodór. Z tych produktów bakterie metanogenne produkują metan.

Złożoność przemian biochemicznych zachodzących w czasie fermentacji metanowej ilustruje rysunek 24.



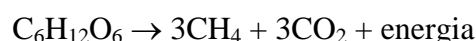
Rysunek 24. Przemiany biochemiczne związków organicznych zachodzące w czasie fermentacji metanowej (J.Łomotowski, A.Szpindor, 2002)

Masa odpadów składa się przede wszystkim z substancji organicznej: węglowodanów, lipidów, tłuszczów i białek, w których zmagazynowana jest energia powstała w procesach fotosyntezy. Energia magazynowana jest w formie chemicznej jako ATP- (adenozynotrifosforan), który jest przenośnikiem energii pomiędzy reakcjami wyzwajającymi i zużywającymi energię. ATP wykorzystywany jest w procesach metabolicznych mikroorganizmów i w chemicznych procesach syntezy i przekształceń. Ilość energii uzyskiwanej w procesach oddechowych drobnoustrojów ilustruje tabela 14.

Tabela 14. Ilość energii uzyskiwanej w procesach oddechowych mikroorganizmów (W.J.H.Kunicki-Goldfinger, 2001)

Typ oddychania	ATP moli na 1 mol zużytej glukozy
Fermentacja alkoholowa, mlekowa (via glikoliza)	2
Fermentacja Enterobacteriaceae (via glikoliza)	2,5
Fermentacja Zymomonas mobilis (via cykl pentozowy)	1
Oddychanie tlenowe przez cykl Krebsa, cykl rybułozowy	38

Przykładem źródła uzyskania energii jest proces rozkładu glukozy:

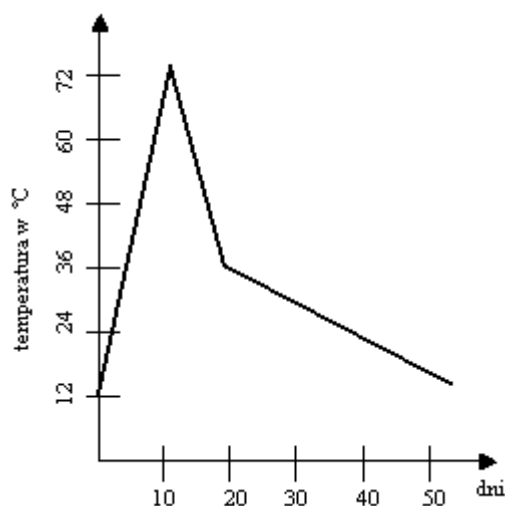


Drobnoustroje wykorzystują tylko pewną część wyzwolonej energii. Pozostała część energii ulega rozproszeniu w postaci ciepła. Składowiska odpadów, które są izolowane od środowiska zewnętrznego, tracą tylko znikomą ilość tego ciepła. Znaczna większość kumulowana jest w złożu, w którym dochodzi do znacznego wzrostu temperatury. Zjawisko to jest korzystne dla zachodzących procesów metabolicznych. Ciepło wpływa na wzrost szybkości przebiegu procesów metabolicznych oraz na zmiany składu populacji mikroorganizmów. Wzrost temperatury o każde 10⁰C powoduje podwojenie, a nawet potrojenie szybkości reakcji metabolicznych, oczywiście w określonym zakresie temperatur (rysunek 25). Z kolei wzrost szybkości reakcji rozkładu wpływa na wytworzenie większej ilości energii w krótszym czasie, co pozwala na przebieg procesów metabolicznych zużywających więcej energii. Metabolizm mikroorganizmów jest więc tym czynnikiem, który wpływa na utrzymywanie temperatury środowiska, w którym żyją (wnętrze składowiska) wyższej od temperatury środowiska zewnętrznego (otaczającego składowisko).

Zróznicowanie metabolizmu pod wpływem temperatury wpływa korzystnie na zróznicowanie drobnoustrojów biorących udział w procesie rozkładu i ich aktywność. Rozpatrując zakresy temperatur drobnoustroje dzieli się na trzy podstawowe grupy:

- mikroorganizmy *psychrofilne*, które prowadzą metabolizm w zakresie temperatur 0÷20⁰C (optymalny zakres to 12÷20⁰C);

- mikroorganizmy *mezofilne*, które prowadzą metabolizm w zakresie temperatur 0÷45⁰C (optymalny zakres to 25÷40⁰C);
- mikroorganizmy *termofilne*, które prowadzą metabolizm w zakresie temperatur 45÷80⁰C (optymalny zakres to 55÷60⁰C). W temperaturze pomiędzy 80÷110⁰C rozwijają się względne, bezwzględne i ekstremalne termofile.



Rysunek 25. Wzrost temperatury w przymie końskiego obornika (W.J.H.Kunicki-Goldfinger, 2001)

Gdy temperatura w złożu odpadów osiąga zakres wyższy od optymalnego, następuje śmierć termiczna danej kolonii drobnoustrojów, która zastępowana jest kolonią rozwijającą się w zaistniałym zakresie temperatur.

Drugim czynnikiem, który istotnie wpływa na szybkość przemiany materii i gatunek rozwijających się drobnoustrojów jest odczyn środowiska. Odczyn, czyli pH złoża odpadów jest miarą stężenia jonów wodorowych (H^+) i wodorotlenowych (OH^-). Większość drobnoustrojów tlenowych i beztlenowych żyje w środowisku o pH pomiędzy 6,0÷8,0. Przy pH środowiska poniżej wartości 5,5 giną mikroorganizmy beztlenowe i tlenowe heterotroficzne. Drobnoustroje autotroficzne, jako bardziej odporne na niskie wartości pH, dominują w procesie rozkładu, ich zaletą jest tolerancja na duże stężenia Cu, Co, Ni, Fe, Zn. Kolejna grupa drobnoustrojów rozwija się i dominuje w środowisku o pH powyżej 8,0. Są to drobnoustroje alkilofilowe rozkładające mocznik i sole metali ciężkich.

Trzeci czynnik to potencjał oksydacyjno-redukcyjny, który w złożu odpadów osiąga znaczne wartości, z uwagi na zachodzące reakcje utleniania i redukcji, przy czym te drugie dominują.

Samozagrzewaniu się masy odpadów, oprócz dużej intensywności zachodzenia procesów tlenowych, sprzyjają przemiany ich składu chemicznego. W ulegającej rozkładowi masie powstają związki o nienasyconych wiązaniach w łańcuchu i pierścieniach węglowych, wyzwalamy się różnorodny gazy, które łatwo ulegają utlenieniu lub rozpuszczeniu w wodzie już bez udziału mikroorganizmów. Reakcje te stanowią dodatkowy czynnik powodujący wzrost temperatury.

Rozkład substancji organicznej zachodzi nie tylko przy współudziale mikroorganizmów, ale i wody zawartej w masie odpadów. Woda umożliwia hydrolizę i jest rozpuszczalnikiem oraz środkiem transportu substancji mineralnych do głębiej leżących warstw odpadów. Dla zainicjowania procesu fermentacyjnego niezbędna jest minimalna ilość wody, około 30%. Spowolnienie procesów fermentacyjnych w złożu odpadów zachodzi po przekroczeniu optymalnego zakresu wilgotności, czyli około 40÷75% wody. Spowolnienie to jest wynikiem dużej pojemności cieplnej wody, jej dużego przewodnictwa cieplnego i w efekcie obniżenia temperatury składowiska. Ponadto nadmiar wody, będącej środkiem transportu dla tlenu, prowadzi do wyginięcia mikroorganizmów beztlenowych (anaerobowych), dla których środowiskiem życia jest środowisko z CO₂.

14.4. Gazy powstające na składowisku

Fermentacja odgrywa istotną rolę w metabolizmie i procesach rozkładu odpadów. Sprzyjają jej liczne bakterie beztlenowe oraz grzyby (drożdże). Podstawowymi produktami przemiany substratów jest metan, dwutlenek węgla, siarkowodór, woda oraz niewielka ilość biomasy organicznej. Część z wymienionych substancji zostaje spożytkowana przez bakterie, a reszta wydziela się jako mieszanina gazów o nazwie **biogaz** (gaz składowiskowy).

Biogaz jest mieszaniną różnych gazów (tabela 15). W jego skład wchodzi przede wszystkim metan, w ilości około 40÷60% i dwutlenek węgla w ilości około 30÷40%. Pozostałe domieszki to śladowe ilości innych gazów, na które składają się azot (N₂), argon (Ar), wodór (H₂), tlenek diazotu (N₂O) oraz lotne związki organiczne silnie odoroczone: merkaptany, siarkowodór (H₂S), amoniak (NH₃), pary rtęci (Hg). Ponadto w biogazie zwanych jest około 130 do 350 innych gazowych związków chemicznych, w tym gazów szlachetnych z atmosfery.

Naturalne środowisko zewnętrzne (otaczające składowisko) oraz środowisko wewnętrzne złoża odpadów znacząco wpływa na intensywność produkcji i wydzielenia się biogazu. Ilość wydzielanych składników gazowych zależy od prędkości wymiany pomiędzy fazą ciekłą i gazową. Powstające gazy rozpuszczane są w wodzie aż do osiągnięcia stanu

równowagi dla określonego ciśnienia parcjalego gazu nad fazą ciekłą. Gdy równowaga fazowa zostaje osiągnięta, gaz ulatnia się z szybkością równą szybkości jego powstawania w biochemicznych procesach. Podstawowymi parametrami wpływającymi na intensywność ulatniania się gazów są: rodzaj mikroorganizmów, ich ilość, temperatura otoczenia zewnętrznego i wewnętrznego złoża odpadów, pH środowiska, potencjał redox, ilość wody powstającej w procesie rozkładu i wód opadowych, skład chemiczny odpadów, ciśnienie zewnętrzne i wewnętrzne złoża odpadów, a także wiek składowiska.

Tabela 15. Główne lotne składniki biogazu składowiskowego (J.Lemański, 1993)

Procentowy udział składników gazu wysypiskowego (objętościowo)	
CH ₄ – metan	15-60%
CO ₂ – dwutlenek węgla	10-14 %
N ₂ – azot	1 – 6 %
O ₂ – tlen	1 – 8 %
H ₂ S – siarkowodór	1 %
Ponadto w śladowych ilościach występuje: etan, węglowodory aromatyczne, węglowodory alifatyczne, tlenek węgla i inne.	

14.4.1. BIOGAZ - zagrożeniem dla środowiska naturalnego?

Składowiska odpadów są budowlami, a raczej bioreaktorami, które oddziałują na środowisko naturalne przez wiele lat. Szacuje się, że średni „czas życia” składowiska wynosi około 20÷30 lat. Jednostkowe składowisko charakteryzuje pewna różnica ciśnień pomiędzy jego wnętrzem a otoczeniem. Różnica ciśnień wpływa na uruchomienie procesu dyspersji (migracji) biogazu z warstw o ciśnieniu większym do warstw o ciśnieniu mniejszym. Migrujący biogaz napotyka opory przepływu, które zależą od przepuszczalności podłoża składowiska i jego ścian, przepuszczalności wykonanych warstw izolacyjnych. W przypadku znalezienia ujścia może migrować poza strefę składowiska na znaczne odległości. Penetracja gruntu następuje we wszystkich możliwych kierunkach. Gaz wykorzystuje do tego różnego rodzaju pory i szczeliny w skałach i w gruncie, podziemne studzienki, pomieszczenia piwniczne budowli podziemnych i nadziemnych. Może być także, w postaci rozpuszczonej, wynoszony z wodą.

Skutki tej penetracji to możliwość:

- niekontrolowanych, nagłych eksplozji gazu,
- niekontrolowanego samozapłonu a tym samym pożaru,
- toksycznego oddziaływania na ludzi i zwierzęta,
- obumieranie roślin w wyniku blokady dostępu do ich korzeni tlenu,

- zwiększenia efektu cieplarnianego, bowiem uznany jest za gaz szklarniowy.

Uwalniający się ze składowiska biogaz stanowi poważne zagrożenie i zanieczyszczenie dla środowiska naturalnego. Posiada bowiem właściwości wybuchowe już przy koncentracji CH_4 w powietrzu około 5÷15%. Powyżej 15% koncentracji w powietrzu jest palny.

Właściwości toksyczne biogazu spowodowane są obecnością w nim siarkowodoru. **Siarkowódór** powstaje w przemianach, jakim podlega substancja organiczna, zawierająca np. aminokwasy i białka, w których siarka jest ważnym drugorzędym składnikiem. Podczas rozkładu martwej materii organicznej zawierającej siarkę, przy współdziałaniu mikroorganizmów i w warunkach beztlenowych, wydziela się siarczek wodoru (H_2S). Związek ten częściowo ulatnia się jako gaz, a częściowo może reagować w obecności wody z jonami metali ciężkich (np. Ag, Cu, Cd, Hg, Sn, As, Sb) tworząc łatwo rozpuszczalne siarczki.

Biogaz, z uwagi na znaczną zawartość metanu, charakteryzuje się wysoką wartością opałową, która wynosi około 20 – 25 MJ/m^3 gazu. Dla porównania: wartość opałowa gazu ziemnego wynosi ok. 38 MJ/m^3 gazu, a wartość opałowa 1 t węgla umownego 29,3 MJ/kg . Optymalny stosunek stężeń powietrza i biogazu, przy którym następuje jego całkowite spalanie wynosi około 94% CH_4 w powietrzu. Stosunek ten, w przypadku biogazu, ulega zmianie z uwagi na zawartość w nim składników niepalnych.

Ilość biogazu, jaką można otrzymać ze składowanych odpadów, obliczyć można z reakcji stechiometrycznych rozkładu celulozy. Zawiera ona około 30÷90% całkowitej liczby atomów węgla występujących w roślinach i stanowi główny materiał budulcowy ich komórek, białek, tłuszczów i innych składników organicznych.

Źródła literaturowe podają teoretyczne wartości, jakie można otrzymać z 1 kg:

- węglowodanów około 0,415 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CH}_4$ i 0,145 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CO}_2$;
- białek około 0,547 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CH}_4$ i 0,516 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CO}_2$;
- tłuszczów około 1,095 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CH}_4$ i 0,449 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CO}_2$.

Natomiast z 1 tony surowych odpadów organicznych otrzymać można około 50÷120 $\text{m}^3_{\text{n}} \text{CH}_4$.

Podane liczby stanowią wartość teoretyczną, bowiem w warunkach rzeczywistych, na skutek naturalnych procesów zachodzących w złożu odpadów, składowisko jest swoistym „bioreaktorem”. Zachodzą w nim, omówione wyżej, bardzo skomplikowane procesy tlenowe i beztlenowe oraz pośrednie pomiędzy tymi procesami. Rodzaj i liczba mikroorganizmów oraz ich metabolizm ulega zmianom, w zależności od warunków środowiskowych panujących

wewnątrz i na zewnątrz składowiska. Część substratów zużywana jest przez mikroorganizmy na podtrzymanie ich procesów życiowych, część wchodzi w reakcje chemiczne ulegając wytrąceniu lub rozpuszczeniu w wodzie naturalnej zawartej w masie odpadów.

Ilość powstającego biogazu na składowisku obliczyć można na podstawie poniższego wzoru (M.Żygadło, 1998):

$$G_e = C_o (0,014 \cdot T + 0,28) \quad [m^3_n \text{ CH}_4/\text{kg odpadów}]$$

gdzie:

C_o – ogólna ilość organicznego węgla w odpadach, kg C/kg odpadów,
 T – temperatura na składowisku, $^{\circ}\text{C}$.

Jeśli przyjmie się, że z 1 tony odpadów można otrzymać $120 \text{ m}^3_n \text{ CH}_4$, to po upływie czasu „t” (wyrażonego w latach) ilość biogazu G_e obliczyć można ze wzoru (M. Żygadło, 1998):

$$G_e = 157 (1 - e^{-0,07 \cdot t}) \quad [m^3_n/\text{Mg}].$$

W przypadku składowisk starych do obliczenia ilości możliwego do powstania biogazu posłużyć się można jednostką powierzchni składowiska, według wzoru (M.Żygadło, 1998):

$$G_p = 0,03 - 0,08 \quad [m^3_n \text{ CH}_4/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Szacuje się, że w Polsce do atmosfery emituje się rocznie około ponad 80 tys. m^3 biogazu, co odpowiada 120 MW energii elektrycznej.

Metan, podstawowy składnik biogazu, jest gazem bezbarwnym, bezwonnym i palnym. Spala się bez dymu, bez zapachu, sadzy i popiołu, przez co nie traci ciepła unoszonego z popiołem. Podczas spalania wytwarza znacznie mniej dwutlenku węgla niż inne spalane paliwa (około 0,2 kg CO_2 /1 kg paliwa). Charakteryzuje się równomierną temperaturą spalania i łatwością dostosowania płomienia (i jego regulacji) do wielkości palnika.

Podstawowymi właściwościami fizykochemicznymi metanu są:

- masa cząsteczkowa: 16,04,
- temperatura wrzenia: $-161,5^{\circ}\text{C}$,
- stała gazowa: $519,0 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
- gęstość: $0,72 \text{ kg}/\text{m}^3$ (dla temp. 0°C i $p = 0,1013 \text{ MPa}$),
- gęstość względem powietrza: 0,55,
- objętość właściwa: $1,4 \text{ m}^3/\text{kg}$ (dla temp. 0°C i $p = 0,1013 \text{ MPa}$),
- temperatura krytyczna: $-180,5 \text{ K}$,
- ciśnienie krytyczne: $4,61 \text{ MPa}$,
- współczynnik ściśliwości: 0,288 (wyznaczony w temperaturze krytycznej i pod ciśnieniem krytycznym),
- ciepło właściwe:
 - przy stałym ciśnieniu: $2,2 \text{ KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
 - przy stałej objętości: $1,69 \text{ KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
- ciepło spalania: $35,8 \text{ tys. KJ}/\text{m}^3$ (w temp. 0°C i $p = 0,1013 \text{ MPa}$),
 granica wybuchowości w mieszaninie z powietrzem w warunkach normalnych:

- dolna: 5,0 % objętości,
- górna: 15,0% objętości,
- zużycie powietrza przy spalaniu: $9,53 \text{ m}^3/\text{m}^3$,
- liczba oktanowa oznaczona metodą silnikową (LOM): 100.

Metan i dwutlenek węgla, obok związków azotu i związków fenolowych, uznawane są za gazy szklarniowe (cieplarniane). Efekt cieplarniany oparty jest na zjawisku promieniowania słonecznego. Promieniowanie słoneczne, jakie dociera do atmosfery ziemskiej, równoważone jest taką samą ilością promieniowania opuszczającego atmosferę. Wzrost ilości cząsteczek absorbujących widmo promieniowania podczerwonego w atmosferze powoduje wzrost jej temperatury. Proces ten trwa do momentu ustalenia się nowego stanu równowagi pomiędzy ilością promieniowania emitowanego a pochłoniętego. Metan, podobnie jak dwutlenek węgla, posiada zdolność absorpcji widma promieniowania podczerwonego. Jednak metan wykazuje dwudziestokrotnie większą aktywność absorpcji widma od dwutlenku węgla.

15. INSTALACJA DO ODPROWADZANIA BIOGAZU

W celu ograniczenia oraz zlikwidowania niekontrolowanej emisji i migracji biogazu stosuje się zabezpieczenia polegające na wprowadzaniu instalacji do ujmowania biogazu. Instalacja biogazowa ma na celu ujęcie biogazu z wnętrza składowiska i jego zagospodarowanie. Wyposaża się w nią składowiska, na których przewiduje się składowanie odpadów ulegających biodegradacji.

Zabezpieczenia bryły składowiska przed niekontrolowaną emisją biogazu obejmują następujące systemy instalacji biogazowej:

1. **System bierny** oparty jest o wykonane w przekroju składowiska otwory wentylacyjne, przez które migrujący biogaz stopniowo, samoczynnie ulatnia się do atmosfery.
2. **System czynny** wykorzystuje metody podciśnienia do ujmowania wydzielającego się biogazu.
3. **Połączenie systemu biernego z czynnym**, czyli wymienione wyżej systemy występują łącznie.

Zadaniem instalacji biogazowej jest odprowadzenie z wnętrza składowiska biogazu, a jej cechą charakterystyczną jest stały i kontrolowany pobór. Nowoczesna, ekologiczna instalacja biogazowa składa się z dwóch podsystemów:

- pierwszy podsystem służy do odsysania gazu z wnętrza składowiska z wykorzystaniem podciśnienia,

- drugi podsystem służy do przerobu, przesyłu i gospodarczego wykorzystania ujętego biogazu.

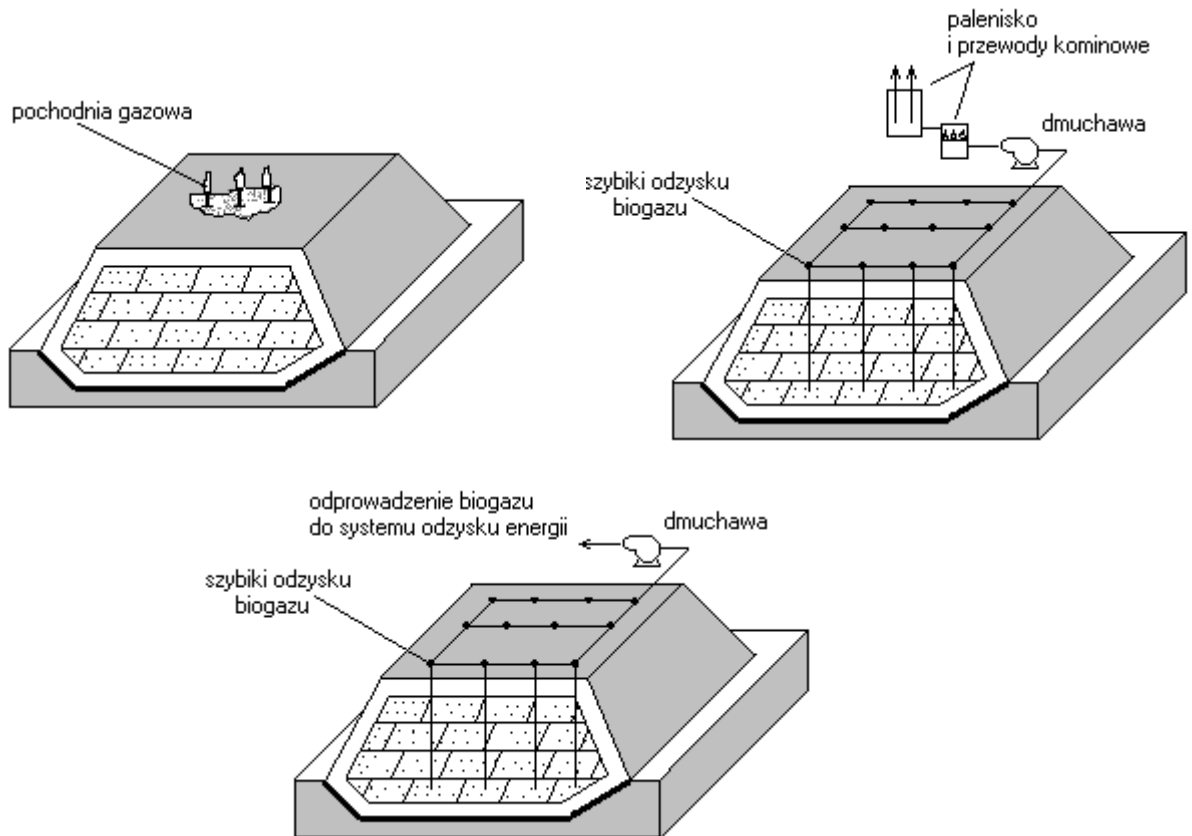
Oba podsystemy mogą pracować niezależnie od siebie, lecz w połączeniu tworzą **system aktywnego** odsysania biogazu.

Instalacja biogazowa składa się z systemu pozyskiwania biogazu, systemu do jego przesyłu i wykorzystania. Podstawowe elementy składające się na taki system to:

- pionowe perforowane studnie gazowe, posadowione na betonowym fundamencie i połączone (lub niepołączonych) siecią drenaży,
- studnia odwadniająca,
- pochodnia biogazowa (metanowa),
- kolektor zbiorczy biogazu,
- kolektory przesyłowe,
- stacja kontrolna,
- armatura regulacyjno-odcinająca,
- wymienniki ciepła
- układ odprowadzania spalin,
- izolacja akustyczna,
- budynek wyposażenia technicznego, w którym znajduje się:
 - sprężarka (tzw. ssawa gazowa),
 - generator prądotwórczy,
 - instalacja automatyki, sterowania i kontroli,
 - stacja transformatorowa z napowietrzną linią energetyczną.

Wybór optymalnego sposobu ujęcia biogazu ze składowiska zależy do wielkości składowiska, wykonanego sposobu uszczelnienia składowiska, grubości warstwy składowanych odpadów, czasu ich składowania, aktualnego stanu składowiska (użytkowane, zamknięte, rekultywowane).

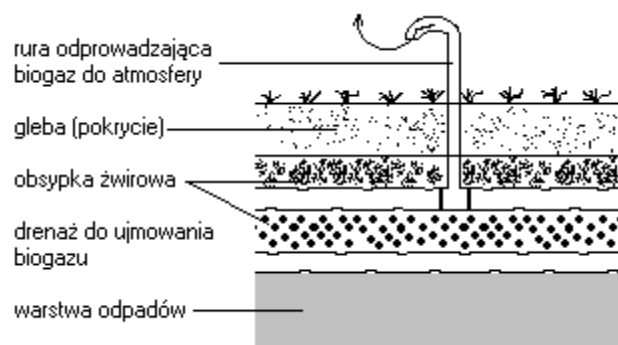
Bierne odprowadzanie biogazu stanowi typowy układ wentylacyjny działający wewnątrz składowiska odpadów. Stanowi go układ rur, które tworzą sieć drenażu do odprowadzania biogazu z wnętrza składowiska na zewnątrz. Drenaż wykonany jest z kamionkowych, perforowanych rur, ułożonych w każdej izolacyjnej warstwie odpadów, które przykrywają warstwy leżące poniżej. Tworzy on sieć połączoną z systemem szybów wentylacyjnych i przegród ograniczających podziemną migrację gazu. Szyby wentylacyjne na powierzchni składowiska tworzą układ pionowych studzienek wentylacyjnych lub wychodni kominowych (rysunek 26).



Rysunek 26. Pochodnie metanowe oraz system odzysku metanu

W przypadku niewysokich składowisk (do 6 m) drenaż ujmowania biogazu układany jest na obwodzie składowiska, łącznie z pionowymi *wychodniami kominowymi*, którymi biogaz uchodzi bezpośrednio do atmosfery (rysunek 27).

Stosowanie w układzie biernym wychodni kominowych, którymi biogaz ulatnia się bezpośrednio do atmosfery nie należy do „czystych” ekologicznie rozwiązań.



Rysunek 27. Drenaż do ujmowania gazu ze złoża odpadów, ułożony w ostatniej warstwie przykrywającej (M.Żygadło, 1998; zmienione)

15.1. Studnie poboru biogazu

Mając na uwadze ochronę środowiska naturalnego przed emisją biogazu do atmosfery, należy wprowadzać ekologiczne rozwiązania ujmowania biogazu i jego technicznego unieszkodliwiania. Ekologicznymi rozwiązaniami kontrolowanego odsysania biogazu ze składowisk są metody wykorzystujące *studzienki wentylacyjne do bezpośredniego (i wyłącznego) ujmowania biogazu*, który przesyłany jest do zbiornika magazynowania biogazu.

Studzienkę wentylacyjną do poboru biogazu stanowi układ betonowych, perforowanych, pionowych kręgów o średnicy około 1,0 m (rysunek 28). Studzienki wypełnione są żwirem, zaś na zewnątrz studzienek wykonana jest obsypka żwirowa, chroniąca je przed kolmatacją.

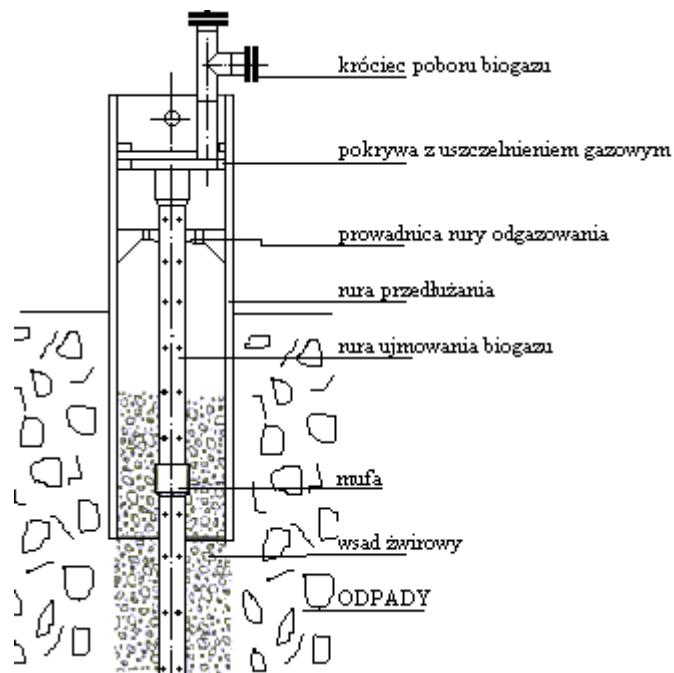
Konstrukcja studzienki umożliwia podnoszenie jej wysokości w miarę nasypywania kolejnych warstw odpadów. Ostatni, górny, krąg przykryty jest pokrywą zaopatrzoną w króciec do ujmowania biogazu. Króciec wypełniony jest biofiltrem, który stanowi filtr ziemny, absorbujący substancje wonne z biogazu.

Ujęty biogaz można gospodarować wykorzystać, a w przypadku gdy nie ma takiej możliwości montuje się na składowisku pochodnie biogazowe. ***Pochodnia biogazowa*** jest to metanowy palnik do bezpośredniego spalania biogazu w miejscu jego ujmowania (rysunek 29). Wymieniony typ studzienek stosowany jest dla składowisk, w których dobrze zagęszczone odpady osiągają wysokość około 6 m. Układ studzienek wentylacyjnych ujmuje biogaz z górnych warstw składowiska.

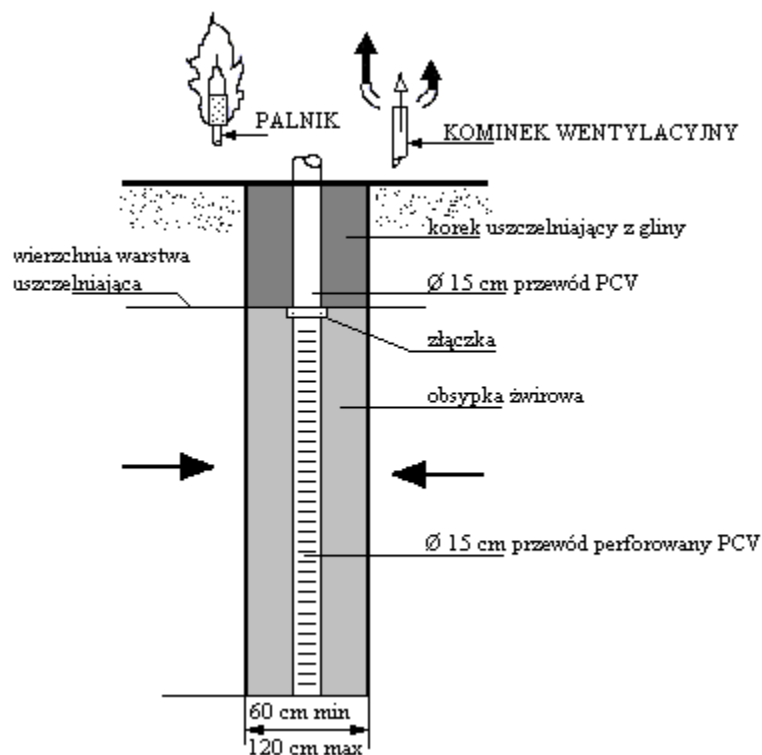
Dla składowisk dobrze zagęszczonych odpadów, o wysokości powyżej 6 m, efektywnym rozwiązaniem konstrukcyjno-technicznym jest zastosowanie *studzienek do jednoczesnego ujmowania gazu i odcieków*. Zaletą tego systemu jest jednoczesne ujęcie biogazu oraz odcieków przy zastosowaniu jednej studzienki. Ponadto oprócz odcieków odsącza się para wodna, którą nasycony jest biogaz.

Studzienki do jednoczesnego ujmowania gazu i odcieków posadowione są na betonowym fundamencie i mogą być wykonane jako:

- studzienki do wyłącznego ujmowania biogazu z otoczenia studzienki i z drenażu odcieków (rysunek 30),
- studzienki do jednoczesnego ujmowania odcieków, biogazu z otoczenia studzienki i biogazu z drenażu odcieków (rysunek 31).

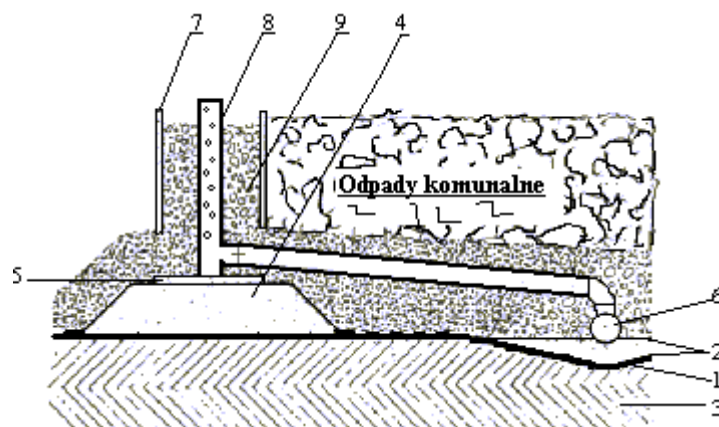


Rysunek 28 . Konstrukcja studzienki bezpośredniego ujmowania biogazu z mufową nasadką do wydłużania studzienki w miarę nadsypywania odpadów (St.Śtepiński, 1997)



Rysunek 29. Studnia odgazowania składowiska z bezpośrednim spalaniem biogazu (St.Rymar, 1997; zmienione)

Wyposażenie studzienek do jednoczesnego ujmowania odcieków i biogazu w wodne zamknięcie umożliwia bezpośrednie odprowadzanie biogazu do instalacji biogazowej. Zamknięcie to nie dopuszcza także do przedostawania się gazu do odcieków, w których może nastąpić jego rozpuszczanie lub nasycenie parą wodną.

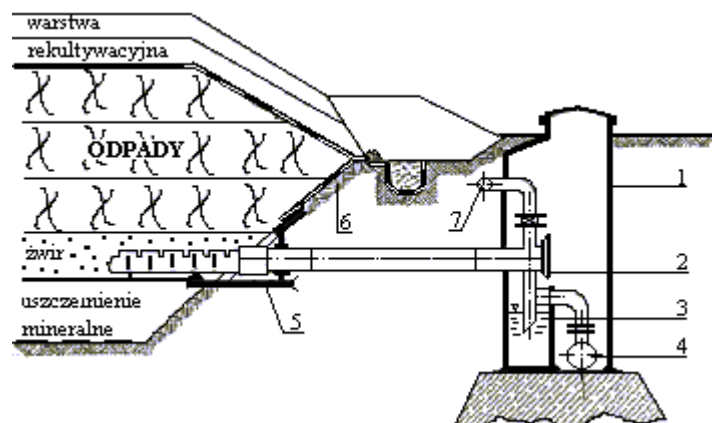


Rysunek 30. Studzienka ujmowania gazu z drenażu odcieków i bezpośrednio z otoczenia studzienki (St. Stępiak, 1997)

1- wykładzina uszczelniająca (PEHD), 2- włóknina ochronna, 3- warstwy uszczelnienia mineralnego, 4- podpora studzienki, 5- płyta oporowa, 6- rura drenażu odcieków i odsysania biogazu, 7- rura obudowy studzienki, 8- rura odsysania gazu, 9- wsad żwirowy.

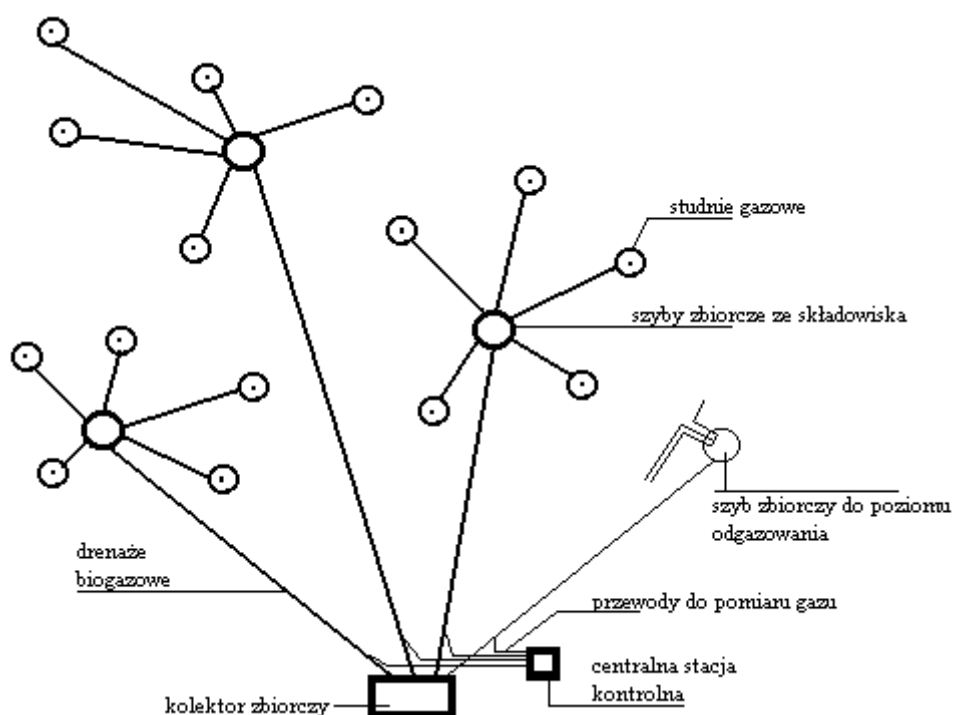
Składowiska o planowanej wysokości składowanych odpadów przekraczającej 20 m, wyposaża się w studnie biogazowe eksploatujące składowisko sukcesywnie, w toku nasypywania kolejnych 2 m warstw odpadów. W tym przypadku studnie posadawia się na betonowym fundamencie, w miarę nasypywania odpadów dokładane są kolejne betonowe kręgi w taki sposób, aby ich górna granica sięgała ponad poziom odpadów. Kolejne warstwy odpadów izolowane są między sobą warstwą inertną (np. tłuczeń, stłuczka szklana, żużel, odpad powęglowy), czyli warstwą nie oddziałującą z masą, którą przykrywają.

W celu podniesienia wydajności studzienek odgazowujących składowisko, pionowe studnie biogazowe łączy się w tak zwany *układ kombinowany* przy pomocy poziomego drenażu (rysunek 32). Odstępy pomiędzy pojedynczymi studzienkami zachowuje się około 30 m, przy zapewnieniu szczelnego przykrycia czaszy składowiska.



Rysunek 31. Konstrukcja studzienki z przepustem odcieków i odgazowaniem (St.Stepniak, 1997)

1- studzienka, 2- rurociąg, przepust rury drenażowej, 3- zbiornik zamknięcia wodnego odsączenia gazu, 4- rurociąg odprowadzania odcieków, 5- obudowa skarpowego przepustu rurociągu, 6- wykładzina uszczelniająca (PEHD), 7- rurociąg odprowadzania gazu.



Rysunek 32. Układ kombinowany do jednoczesnego ujmowania biogazu z obszaru całego składowiska (J.Lemański, 1993).

15.2. System ujmowania i przetwarzania biogazu

Ujęcie, pozyskanie i utylizacja biogazu, przy zastosowaniu systemu *aktywnego odsysania biogazu*, polega na:

- zassaniu biogazu ze składowiska przez sprężarkę ssącą,
- transporcie biogazu siecią gazową do systemu oczyszczania i osuszania,
- transporcie biogazu siecią gazową do technicznego przerobu i wykorzystania gazu.

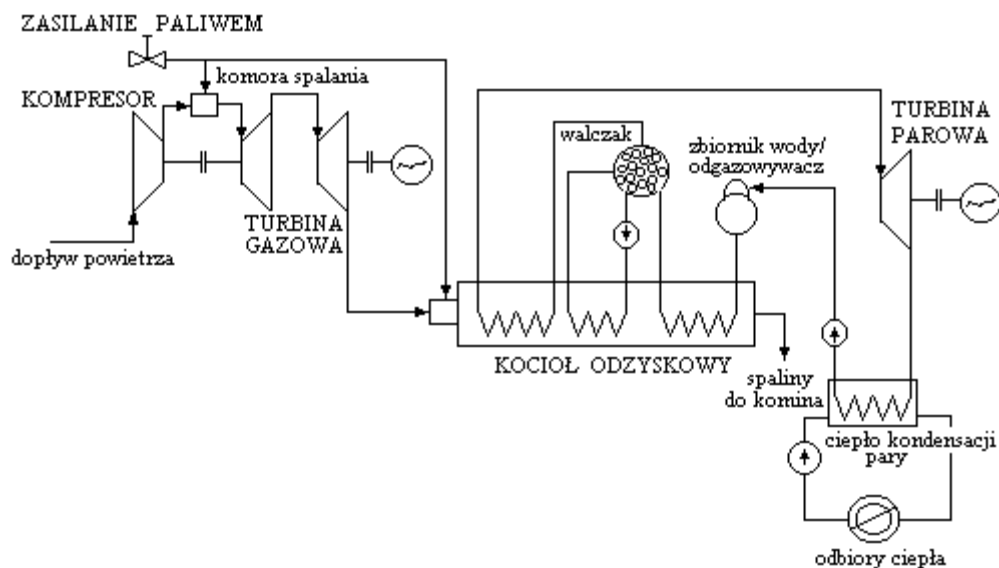
System ten działa w oparciu o pełną instalację biogazową.

Studnie gazowe w ostatniej warstwie wyrównująco –odgazowującej połączone są systemem rur odgazowania zewnętrznego. Rury odgazowania zewnętrznego łączą się z kolektorem zbiorczym, wyposażonym w wentylator. System ten umożliwia odessanie i odprowadzenie biogazu z wnętrza składowiska do stacji kontrolnej. Zadaniem stacji kontrolnej jest regulowanie przepływu biogazu i dokonywanie pomiaru jego składu. Od stacji kontrolnej gaz przesyłany jest kolektorem głównym do budynku oczyszczania, a następnie do budynku elektro-ciepłowni biogazowej, jeżeli została zaprojektowana na terenie składowiska.

W przypadku gdy gaz musi być transportowany na odległość większą od 30 m, stosuje się specjalne ssawy przesyłowe.

Elektro-ciepłownia biogazowa jest stacjonarnym zespołem prądotwórczym współpracującym z siecią energetyczną i ciepłą. W pomieszczeniach sprężarkowni, sterowni, spalarni i zespołów prądotwórczych znajdują się podstawowe urządzenia do wykorzystania biogazu. Energia chemiczna biogazu, w wyniku jego spalania, zostaje tutaj przetworzona na energię elektryczną i ciepłą. Cały proces sterowany jest automatycznie, a procedury kontroli i zabezpieczeń pozwalają na bezobsługowe działanie instalacji gazowej. W ten sposób stosuje się w systemie zagospodarowania odpadów komunalnych tak zwaną *gospodarkę skojarzoną*, której schemat ilustruje rysunek 33.

Instalacja biogazowa dodatkowo wyposażona jest w wysokotemperaturową pochodnię mufową, która wykorzystywana jest w przypadkach koniecznego postoju zespołów elektro-ciepłowni.



Rysunek 33. Schemat blokowy układu skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z turbiną gazową i parową (I.Soliński, 2001)

Pełne wykorzystanie systemu instalacji odgazowania składowiska odpadów rozpoczyna się z chwilą całkowitego zamknięcia składowiska, maksymalnego odizolowania go od wpływu czynników zewnętrznych oraz zakończenia jego eksploatacji.

Rodzaj oraz wydajność zastosowanej technologii do ujmowania i wykorzystania biogazu zależy w bardzo dużym stopniu od miejsca położenia składowiska i istniejącej infrastruktury. Działające w Polsce, na przełomie lat 1996/1997, instalacje odgazowujące ilustruje tabela 15.

Tabela 15. Wykaz wybranych instalacji odgazowujących działających w Polsce (I.Soliński, 2001)

Nazwa składowiska	Wydajność instalacji odgazowującej	Zagospodarowanie biogazu		
		agregaty prądowórcze (kW)	pochodne gazowe (m ³ /h)	kotły (kW)
Łódź – Nowosolna A, B	500	-	2x250	-
Kraków – Barycz	300	2 x 250*	-	-
Bydgoszcz	200	1 x 100 + 1 x 200	-	-
Poznań	250	2 x 200	-	-
Grudziądz	130	1 x 100	-	-
Koszalin	130	1 x 100	-	-
Nowy Sącz	100	-	1 x 100	-
Braniewo	100	-	-	500
Łódź – Łaskowice	25	-	1 x 25	-

* Stan na 2000 rok

Obecnie w Polsce na 998 zorganizowanych składowisk odpadów komunalnych, pełna kontrola emisji gazu składowiskowego prowadzona jest na niewielkiej ich liczbie, około 100. Z braku odpowiednich uszczelnień złoża odpadów, uzyskiwane zasoby biogazu nie przekraczają 30÷40% całkowitego jego potencjału na składowisku. Instalacja do odzysku i gospodarczego wykorzystania biogazu jest najlepszym sposobem ograniczenia emisji do środowiska i jego zanieczyszczenia. Na tle obowiązujących przepisów, w tym w Unii Europejskiej a także umów międzynarodowych proceder wypuszczania biogazu bezpośrednio do atmosfery, bez spalania w pochodniach metanowych lub wyboru innego sposobu jego utylizacji jest niedopuszczalny.

15.2.1. Możliwości wykorzystania biogazu

W gospodarce odpadami istotny problem stwarza wybór właściwej metody postępowania z ujętych ze składowiska biogazem. Najbardziej racjonalną metoda jest jego gospodarcze wykorzystanie, które przynosi korzyści ekonomiczne. Jednak biogaz przeznaczony do gospodarczego wykorzystania wymaga poniesienia dodatkowych nakładów inwestycyjnych, na przygotowanie obiektów do jego magazynowania, oczyszczania i przerabiania, a także podjęcia kroków na znalezienie jego odbiorcy lub odbiorcy odzyskanej energii.

Ujęty z wnętrza składowiska biogaz może być unieszkodliwiony lub wykorzystany poprzez:

- *bezpośrednie wypuszczenie do atmosfery*, jednak jest to metoda bardzo niekorzystna między innymi z uwagi na jego właściwości odorowe, wybuchowe, cieplarniane, a także metoda nieekonomiczna i niekorzystna dla środowiska naturalnego;
- *oczyszczenie z substancji szkodliwych i również wypuszczenie do atmosfery*, jednak metoda ta również jest nieekonomiczna i niekorzystna dla środowiska naturalnego;
- *spalenie* na składowisku w pochodniach metanowych, jednak metoda ta nie odzyskuje energii zgromadzonej w biogazie i również nie jest ekonomiczna;
- *oczyszczenie, osuszenie i wykorzystanie do własnych potrzeb składowiska lub dla zaspokojenia potrzeb lokalnej społeczności*, na przykład poprzez odzyskanie energii cieplnej i/lub elektrycznej (metoda ekonomiczna);
- *oczyszczenie, osuszenie, poddanie przeróbce i przemysłowe wykorzystanie biogazu* (metoda ekonomiczna), na przykład w celu wykorzystania jako:
 - *paliwo silnikowe*, z możliwością odzysku zmagazynowanej w biogazie energii mechanicznej oraz z lub bez odzysku energii cieplnej,

- *paliwo do turbin* z możliwością odzysku zmagazynowanej w biogazie energii elektrycznej oraz z lub bez odzysku energii cieplnej,
- *paliwo do pojazdów* z możliwością odzysku zmagazynowanej w biogazie energii mechanicznej,
- *surowca do produkcji chemikaliów*,

Mając na uwadze wymienione możliwości wykorzystania gospodarczego biogazu niejednokrotnie niezbędne jest jego magazynowanie. Wynika to z faktu, że w całym okresie produkcji biogazu, ilość zawartego w nim metanu ulega zmianom według kolejno następujących po sobie fazach rozkładu substancji organicznej. Wahania zawartości metanu wpływają na sprawność spalania, dlatego magazynowanie biogazu ma na celu wyrównanie niedoborów metanu w okresach szczytowego jego zapotrzebowania lub wyrównania różnic jakości biogazu czy też wahań w produkcji i ciśnien.

15.2.2. Oczyszczanie biogazu

Gospodarcze wykorzystanie biogazu wymaga zwrócenia uwagi na własności fizyczne, chemiczne i cieplne, które wymagają przygotowania odpowiedniego sprzętu do jego przetworzenia. Biogaz wymaga bowiem obróbki wstępnej w celu usunięcia z niego cząstek stałych, zredukowania ilości substancji niepalnych lub wprowadzenia paliw uszlachetniających (gaz ziemny, gaz koksowniczy). Dobór metod oczyszczania biogazu wynika z przewidywanego sposobu dalszego wykorzystania. Oczyszczanie prowadzi się po analizie i ustaleniu składu chemicznego biogazu. Wybór metod oczyszczania biogazu ilustruje tabela 16.

Oczyszczanie biogazu z zanieczyszczeń mechanicznych, czyli cząstek stałych, ma na celu zapobieżenie możliwości zalepiania elementów sieci przetwarzającej biogaz i tworzenia naskorupień (nagarów).

Osuszanie biogazu ma na celu usunięcie pary wodnej, której obecność wpływa na trudności eksploatacyjne podczas transportu i procesów przeróbki biogazu.

Biogaz nasycy się parą wodną, w wyniku kontaktu z odciekami we wnętrzu składowiska. Zawartość pary wodnej zależy od czasu kontaktu gazu z odciekami, składu gazu, zawartości soli w odciekach, temperatury i ciśnienia we wnętrzu składowiska (im większa jest temperatura i ciśnienie, tym zawartość pary wodnej jest mniejsza). Przy zmianie temperatury i ciśnienia woda wykrapla się lub gaz staje się nienasycony względem pary wodnej. Wykraplanie wody rozpoczyna się w temperaturze punktu rosy. Jest to temperatura, do której należy ochłodzić gaz, pod danym ciśnieniem i przy stałej zawartości pary wodnej, aby stał

się tą parą nasycony (ze wzrostem ciśnienia temperatura punktu rosy wzrasta, zaś pod stałym ciśnieniem jest ona tym niższa, im mniejsza jest zawartość pary wodnej w gazie).

Odsysany ze składowiska odpadów biogaz może osiągnąć temperaturę około 50⁰C i więcej, a jego nasycenie wodą może dochodzić nawet do 100%. Biogaz po wydobyciu na powierzchnię ulega ochłodzeniu, a tym samym następuje częściowe skroplenie się pary wodnej. W wyniku osuszenia, z 1 m³_n biogazu można otrzymać nawet około 0,8 kg wody w postaci pary. Wykroplona woda może zamarzać w przewodach instalacyjnych.

Tabela 16. Wybrane metody oczyszczania biogazu z lotnych zanieczyszczeń

Nazwa procesu oczyszczania	Środki używane do oczyszczania z:				
	pary wodnej	dwutlenku węgla	siarkowodoru	rtęci i jej związków	węglowodorów chlorowanych
Absorpcja chemiczna	glikole etylenowe, metanol, chlorek wapnia	etanoloaminy, węglan potasu, aminy, węglan potasu	etanoloaminy, węglan potasu aminy, węglan potasu		
Absorpcja fizyczna		węglan propylenu, N-metylopirolidon, fosforan tri-n-butylowy, metanol, ester dimetylowy, polietylenoglikolu	węglan propylenu, N-metylopirolidon, fosforan tri-n-butylowy, metanol, ester dimetylowy polietylenoglikolu		metanol, glikole etylenowe
Absorpcyjno-utleniający		arsenin i arsenian sodu lub potasu,	arsenin i arsenian sodu lub potasu, wodorotlenek żelaza, węglan wapnia, sole wanadu, kompleksy chelatowe metali wielowartościowych,		
Adsorpcja	żel krzemionkowy, sита molekularne (zeolity), tlenek glinu, chlorek wapnia		węgiel aktywny, tlenek żelaza, sита molekularne, tlenek cynku	włókna szklane, węgiel aktywny	węgiel aktywny

Stopień zawilgocenia biogazu charakteryzuje wilgotność bezwzględna oraz wilgotność względna. *Wilgotność bezwzględna*, czyli wilgotność gazu, jest to ilość gramów pary wodnej zawartej w 1 m³ gazu. Wyrazić ją można jako stosunek masy pary wodnej zawartej w 1 m³ wilgotnego gazu do maksymalnie możliwej masowej zawartości tej pary w tym gazie, w tych samych warunkach temperatury i ciśnienia. Natomiast *wilgotność względna* gazu jest to stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej zawartej w gazie do ciśnienia nasyconej pary wodnej w tej samej temperaturze.

Odazotowanie i usuwanie *dwutlenku węgla* z biogazu prowadzone jest w celu usunięcia związków, które (podobnie jak woda) rozcieńczają biogaz i znacznie zmniejszają jego wartość opałową.

Oczyszczanie z siarkowodoru i halogenów ma na celu usunięcie składników kwaśnych, które powodują korozję instalacji przetwarzania biogazu i szybkie niszczenie sprzętu. Ponadto usunięcie siarkowodoru konieczne jest z uwagi na jego toksyczne właściwości. Dla porównania: biogaz uważany jest za gaz naturalny, gdy zawartość H₂S jest mniejsza od 5 mg/m³ biogazu, natomiast dopuszczalne stężenie H₂S w powietrzu wynosi poniżej 10 mg/m³ powietrza, przy czym na obszarach chronionych 0,02 mg H₂S/ m³ powietrza, na obszarach specjalnie chronionych 0,0008 mg H₂S/m³ powietrza. Przy stężeniu 1 mg H₂S/dm³ następuje zatrucie. Podczas chemicznej przeróbki biogazu siarkowódor dezaktywuje katalizatory, co wpływa na pogorszenie jakości produktów chemicznego przerobu.

16. ODCIEKI NA SKŁADOWISKU

Odcieki stanowią mieszaninę składającą się z wody naturalnej, jaka zawarta jest w składowanych odpadach stałych (około 40%÷50%), wód opadowych, które weszły w kontakt ze składowanymi odpadami oraz każdej innej cieczy będącej z nimi w kontakcie. Mogą być więc wzbogacane przez podnoszące się zwierciadła wód podziemnych i gruntowych przy braku spągowych warstw izolacyjnych. Woda jest także produktem oddychania komórkowego (aerobowego), czyli procesów utleniania cukrów, tłuszczów, białek i innych związków organicznych, zachodzących w żywych komórkach mikroorganizmów, dostarczających im energii niezbędnej do podtrzymania życia. Pomijając środowisko zewnętrzne, największa ilość wody powstaje w procesach aerobowych.

Woda jest doskonałym rozpuszczalnikiem związków zawartych w składowanych odpadach, pierwiastków biogennych, pierwiastków śladowych, jak również toksycznych metali ciężkich. Tym samym stanowi mieszaninę wodnych substancji mineralnych, organicznych i gazowych. Nadmiar tych związków w wodzie staje się bezpośrednim zanieczyszczeniem prowadzącym do jej skażenia oraz pośrednim zanieczyszczeniem gleby, wód powierzchniowych i podziemnych, w przypadku niekontrolowanego wycieku tych wód poza obszar składowiska. Odcieki są więc „medium” stwarzającym określone problemy środowiskowe.

Odcieki są mieszaniną:

- **właściwych roztworów** - zawierających cząsteczki rozpuszczone o średnicy poniżej 10^{-7} cm;
- **roztworów koloidalnych** - zawierających cząsteczki i jony o średnicy $10^{-7} - 10^{-5}$ cm;
- **zawiesin** - zawierających cząstki o średnicy powyżej 10^{-5} cm.

Ilość odcieków z upływem czasu zmienia się w bardzo szerokim zakresie, podobnie jak ich skład fizyko-chemiczny. W procesie biochemicznego rozkładu, który zachodzi w całym pionowym przekroju składowiska (od warstw powierzchniowych do poziomu jego spągu), substancja organiczna przechodzi do wodnego roztworu w wyniku procesów wietrzenia, utleniania i redukcji, ługowania (rozpuszczania) i strącania.

W wodnych roztworach zachodzą procesy asocjacji prowadzące do powstania $(H_2O)_n$ i dysocjacji cząstek wody prowadzące do uwolnienia jonów H^+ oraz OH^- . Zawarte w wodzie substancje dysocjują podobnie jak woda. Rozpuszczanie ciał stałych prowadzi do obecności w wodnych roztworach jonów i niezdisocjowanych cząsteczek. Substancje rozpuszczone ulegają hydrolizie (w różnym stopniu) pod wpływem cząsteczek zdysocjowanych, przy czym hydroliza zwiększa intensywność rozpuszczania ciał stałych. W wodnym roztworze rozpuszczają się gazy, a stopień ich rozpuszczania zwiększa się ze wzrostem ciśnienia i maleje ze wzrostem temperatury oraz stężenia soli w wodzie. Procesom tym towarzyszy sorpcja na cząstkach koloidalnych (*adsorpcja*, gdy proces zachodzi na powierzchni cząstki i *absorpcja*, gdy proces zachodzi w całej objętości cząstki), wymiana jonowa, desorpcja i uwalnianie jonów (proces odwrotny do wymiany jonowej), które decydują o dyfuzji i migracji substancji. Uzupełnieniem wszystkich procesów biochemicznych jest proces wzajemnego mieszania się substancji. Mieszanie się substancji prowadzi do rozcieńczenia jednych związków z (lub bez) wydzieleniem substancji gazowych i mineralnych, zastępowania jednych związków innymi, wytrącania, rozpuszczania związków a także ługowania złoża odpadów.

Złożoność procesów chemicznych i fizycznych zachodzących w odciekach wpływa na ich cechy chemiczne i fizyczne. Charakteryzują się specyficzną barwą, mętnością, smakiem, zapachem, deficytem tlenowym, obecnością substancji rozpuszczonych.

Rozpuszczone *substancje mineralne* mogące się pojawić w odciekach to -między innymi - węglany, wodorowęglany, siarczany, związki azotu (azotany, azotyny), chlorki, wapń, magnez, sól, potas, żelazo, mangan, metale ciężkie (m.in. Zr, Cd, Pb, As, Ni, Cr, Hg). Znaleźć się tu mogą także i radionuklidy (Ra-228, Ra-226, U-235, U-234) stanowiące mikrozanieczyszczenia.

Do *substancji organicznych pochodzenia naturalnego* należą, między innymi substancje humusowe, kwasy: fulwowe, huminowe, hymatomelanowe oraz produkty przemiany materii organicznej i związki pochodzące z rozkładu obumarłych organizmów.

Natomiast do *substancji organicznych pochodzenia antropogenicznego* należą, między innymi fenole, chlorowane związki organiczne (ChZO), polichlorowane bifenyle (PCB), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), substancje powierzchniowo czynne, bituminy, pestycydy chloroorganiczne (DDT, eldrin, dieldrin, lindan), dioksyny (PCDD), furany (PDCF), związki chlorofluorowęglowe (CFC), związki chlorofluorowęglodorowe (HCFC), substancje chlorowcopochodne adsorbowalne (AOX), wtalany i lotne związki organiczne (di-, tri i tetrachloroetery, dichlorobenzen, izomery p-nonylfenolu oraz alkilobenzeny).

Rozpuszczone w odciekach gazy to najczęściej N_2 , O_2 , CO_2 , NH_3 , SO_2 , HCl , HF , H_2 , H_2S , He i wiele związków odoroczynnych.

Substancje, jakie powstają w wyniku biochemicznych procesów nie są dokładnie poznane, bowiem - jak już wcześniej wspomniano - ich skład chemiczny zależy od rodzaju odpadów i rodzaju mikroorganizmów biorących udział w procesie. Organizmy żywe biorące udział w procesie rozkładu powodują biotransformację zanieczyszczeń organicznych, która prowadzi do powstania związków jeszcze bardziej szkodliwych i uciążliwych od produktu wyjściowego (na przykład metylek rtęci - CH_3Hg^+ lub dwumetylek rtęci - $(CH_3)_2Hg$).

Najczęściej występujące w odciekach pierwiastki i związki stanowiące zanieczyszczenie przedstawia tabela 17.

Ilość odcieków powstających na składowisku odpadów zależy także od warunków klimatycznych panujących w danym regionie geograficznym. W Polsce ilość ta jest największa na przełomie września i kwietnia, kiedy wielkość opadów atmosferycznych (fazy ciekłej i stałej) jest największa. Natomiast na przełomie maja i sierpnia, czyli w miesiącach o najniższym poziomie wód opadowych, ilość odcieków jest najmniejsza. Skala ta ulega więc zmianom, w zależności od wahań w ilości opadów atmosferycznych w danym roku kalendarzowym, a także w wyniku zachodzących procesów „starzenia” się składowiska. Starzenie się składowiska wiąże się z ilością powstających odcieków w skali kolejnych lat.

Ilość powstających odcieków można zmniejszyć poprzez zastosowanie technicznych zabiegów, do których należą:

- dokładne uszczelnienie i zabezpieczenie podłoża składowiska (spągu) przed dopływem i wpływem wód podziemnych i powierzchniowych, a zwłaszcza kapilarnym podciąganiem wody w przypadku naturalnego podłoża;

- dokładne zabezpieczenie i uszczelnianie kolejnych warstw składowanych odpadów przed wodami opadowymi (w fazie ciekłej i stałej);
- dokładne uszczelnienie i zabezpieczenie skarp i powierzchni składowiska przed kontaktem wód opadowych z warstwami odpadów;
- wprowadzenie na zrehabilitowane składowisko roślinności, która do prawidłowej vegetacji wymaga zwiększonej ilości wody;
- dokładne osuszanie osadów ściekowych, trafiających na składowisk.

Tabela 17. Typowy skład odcieków ze składowisk odpadów komunalnych w Polsce (J.Cebula i inni, 2000)

Parametr oznaczany (składnik)	Przeciętne wartości	Wartości w odciekach - stare wysypisko	Wartości w odciekach - nowe wysypisko	Wartości dopuszczalne dla wód do picia i do celów gospodarczych
pH ⁽¹⁾	6,4 – 8,0	6,6 – 8,3	5,7 – 8,0	
ChZT (mg O ₂ /dm ³)	100 – 62400	23800	1160	-
BZT (mg O ₂ /dm ³)	2 – 3800	11900	260	-
Lotne kwasy organiczne (mg _(CH₃COOH) /dm ³)	0 – 3700	5688	5	-
Azot amonowy (mgN _(NH₄) /dm ³)	5 – 1000	790	370	0,5
Fosforany (mgP _(PO₄) /dm ³)	0,02 – 2	0,73	1,4	-
Chlorki (mg/dm ³)	100 – 3000	1315	2080	300
Sód (mg/dm ³)	40 – 2800	960	1300	200
Magnez (mg/dm ³)	20 – 480	252	185	-
Potas (mg/dm ³)	20 – 2050	780	590	-
Wapń (mg/dm ³)	0,05 – 1,0	1820	250	-
Mangan (mg/dm ³)	0,03 – 250	27	2,1	0,1
Miedź (mg/dm ³)	0,01 – 0,15	0,12	0,3	0,5
Cynk (mg/dm ³)	0,05 – 130	21,5	0,4	5,0
Ołów (mg/dm ³)	0,05 – 0,60	8,4	0,14	0,05

⁽¹⁾ – wielkość bezwymiarowa

Jakość, skład chemiczny i ilość odcieków, a także ich właściwości chemiczne i fizyczne kształtowane są przez procesy zachodzące we wnętrzu składowiska. Ilość powstających odcieków jest zmienna w czasie, więc charakter odcieków także ulega zmianom w czasie. Na zmiany te wpływ mają różnorodne czynniki środowiskowe, a są to:

- warunki geologiczne, hydrogeologiczne i topografia terenu, na którym zlokalizowane jest składowisko,
- sposób i stopień uszczelnienia spągu, stoków i czaszy składowiska, które wpływają na wielkość kontaktu (lub brak) z wodami opadowymi, gruntowymi i podziemnymi,
- ilość i kierunek spływu wód opadowych oraz rodzaj powierzchni spływu (woda nie mająca kontaktu z odpadami jest woda nieaktywną),

- prędkość i natężenie przepływu wód decydujących o wymianie jonowej między substancjami,
- szybkość mieszania się różnego rodzaju wód (odcieków),
- warunki klimatyczne regionu,
- wielkość składowiska,
- technika układania odpadów,
- czas składowania i wiek składowiska,
- rodzaj składowanych odpadów, ich ilość i skład chemiczny,
- rodzaj, liczba i zróżnicowanie kolonii mikroorganizmów oraz ich aktywność metaboliczna,
- zdolność sorpcyjna wilgoci przez złożę odpadów,
- intensywność procesów parowania,
- pojemność wodna złoża odpadów, która charakteryzuje:
 - ✓ udział frakcji organicznej,
 - ✓ stopień rozdrobnienia odpadów (im większy jest stopień rozdrobnienia, tym powierzchnia kontaktu odpadów z wodą jest większa),
 - ✓ stopień zagęszczenia odpadów (im bardziej odpady są zagęszczone, tym trudniej przeniknąć wodom przez ich warstwę i tym samym dłuższy jest proces przenikania wód przez odpady, także prędkość filtracji i przepływu zależy od stopnia zagęszczenia),
- procesy wymiany materii między odciekami a odpadem i produktem powstałym z odpadu,
- gatunek roślinności porastającej składowisko.

Szacuje się, że ilość odcieków przyjmuje poziomom około 70÷90% w pierwszych 3 latach pracy składowiska. Także skład chemiczny odcieków jest wówczas najbardziej zróżnicowany. Następnie w fazie stabilizacji, czyli po upływie około 6 do 8 lat odcieki osiągnąć mogą poziom około 25÷50%. W tym przypadku 25% osiągają składowiska dobrze zagęszczone, a 50% składowiska słabo zagęszczone. Odcieki z okresu pierwszych 3 lat pracy składowiska charakteryzują się największą ilością bakterii chorobotwórczych, gdyż okres ten jest okresem intensywnego rozwoju różnorodnych bakterii i wirusów, w tym patogennych.

16.1. Ujmowanie wód i odcieków

Odcieki ujmowane są systemem drenażu wód odciekowych. Sieć drenarską stanowi układ perforowanych rur odpornych na chemiczne oddziaływanie zbieranych wód przez co najmniej 30 lat po jego zamknięciu.

Jako pierwszy powinno układać się **drenaż do ujmowania wód gruntowych**. Jego zadaniem jest przeciwdziałanie ewentualnym uszkodzeniom uszczelnienia podstawy składowiska, w wyniku naporu wód gruntowych. Drenaż zabezpiecza także przed kontaktem odcieków z wodami gruntowymi w wyniku utworzenia lejka depresyjnego o zasięgu lokalnym. Korzystną rolę odgrywa, gdy formację geologiczną charakteryzuje wysoki poziom wód gruntowych. Szczególne przypadki, w których zalecane jest ułożenie drenażu wód gruntowych występują, gdy:

1. zwierciadło wód gruntowych występuje nawet okresowo ponad poziomem dna składowiska;
2. poziom wód gruntowych znajduje się w odległości mniejszej niż 1 metr pod projektowaną podstawą składowiska.

Drenaż wód gruntowych wykonuje się po wcześniejszym wykonaniu makroniwelacji podłoża gruntowego, to znaczy jeszcze przed wykonaniem uszczelnienia (mineralnego, sztucznego, mieszanego lub syntetycznego) podłoża składowiska. Zebrane wody gruntowe odprowadzane są do zbiornika odcieków.

Po wykonaniu drenażu wód gruntowych wykonuje się **mikroniwelację** podłoża gruntowego pod składowiskiem odpadów. Mikroniwelację wykonuje się w celu ułożenia uszczelnienia podłoża. W tym celu podłoże gruntowe, po zakończeniu ewentualnego jego osiadania, wyrównuje się i kształtuje ze spadkiem poprzecznym (około 3%) i spadkiem podłużnym (około 1,5%) w kierunku głównych zbieraczy wód odpływowych. następnie podłoże pokrywa się podsypką piaskową grubości około 15 cm. W ciągu kolejnych sączków drenarskich zachowuje się około 2% spadek, który pozwala na swobodny spływ odcieków.

Po wykonaniu mikroniwelacji podłoża wykonuje się jego **uszczelnienie**. Uszczelnienie stanowi materiał rodzimy, sztuczny, mieszany lub z materiałów syntetycznych. W przypadku materiału sztucznego (lub syntetycznego) zaleca się ułożenie na jego powierzchni specjalnej geowłóki ochronnej, która zabezpieczy sztuczną wykładzinę uszczelniającą przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Na warstwie uszczelnienia podłoża układa się **warstwę odwodnienia** składowiska, która jest podsypka żwirowo-piaskowa o współczynniku wodoprzepuszczalności $K = 10^{-4}$ m/s i miąższości rzeczywistej nie mniejszej niż 0,5 m. Warstwę tę równomiernie rozkłada się

na całej drenowanej powierzchni z zachowaniem spadów poprzecznych, podłużnych i 2% spadku pod ciągiem rur drenażowych. Zadaniem obsypki jest ochrona całego układu drenarskiego przed kolmatacją perforowanych rur.

W wykonanej podsypce, układa się **sieć drenażu głównego do odprowadzania wód odciekowych** do głównego kolektora zbiorczego.

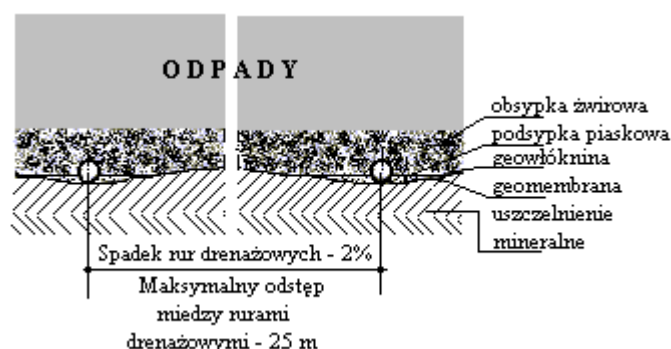
Prawidłowe wykonanie profilu regulacyjnego podłoża ilustruje rysunek 34. Niezbędne elementy technologiczno-konstrukcyjne przekroju nowoczesnego drenażu ujmowania odcieków wraz z uszczelnieniem i ze żwirową warstwą odwodnienia składowiska ilustruje rysunek 35 i 36 (dane przyjęte są według normy niemieckiej DIN 19667 Dränung von Deponien (drenaże składowisk odpadów)).

Zbocza składowiska odpadów wyposaża się w system drenażu umożliwiający spływ odcieków do głównego systemu drenażu.

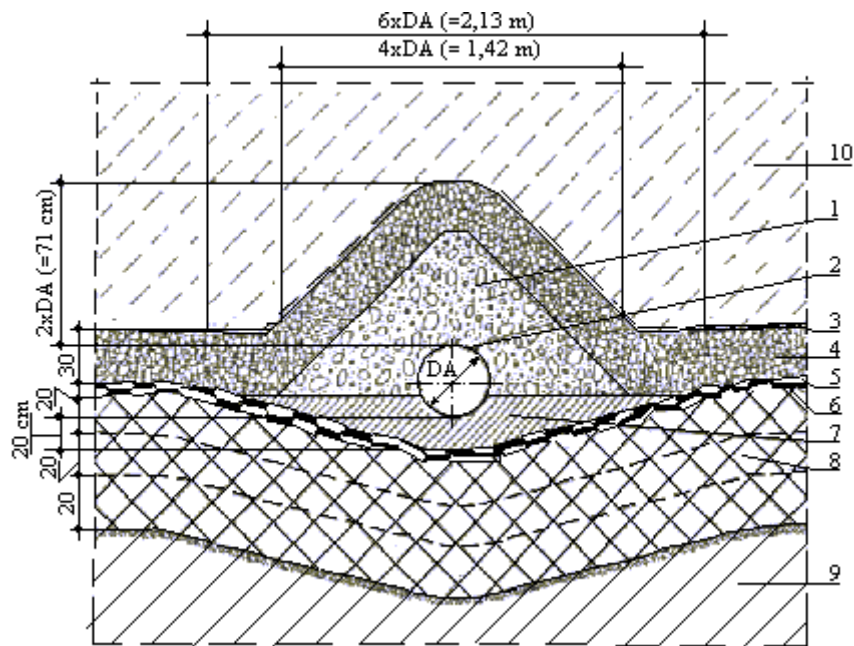
Wydzielone na składowisku odpadów kwatery do składowania odpadów niebezpiecznych lub przemysłowych wyposaża się w odrębny system drenażowy, opasujący każdą kwaterę.

Odcieki kanalizowane są poprzez piaskową warstwę drenażową do zewnętrznych rowów drenażowych dla odcieków, które opasują całą bryłę składowiska. System zewnętrznych rowów drenażowych opasuje każdą wydzieloną kwaterę składowiska dla odpadów niebezpiecznych. Zadaniem zewnętrznego systemu rowów jest uniemożliwienie dopływu wód powierzchniowych i podziemnych do składowiska odpadów.

Rowy odciekowe łączone są przy zbiorniku-pompowni (lub stawie odciekowym), którego zadaniem jest przyjmowanie, uśrednianie składu odcieków i odprowadzanie wody ze wszystkich drenaży do kolektora kanalizacyjnego. Stąd odcieki są przepompowywane do cystern, którymi wywożone są do oczyszczalni komunalnej lub zagospodarowywane według propozycji prezentowanych w następnych rozdziałach.

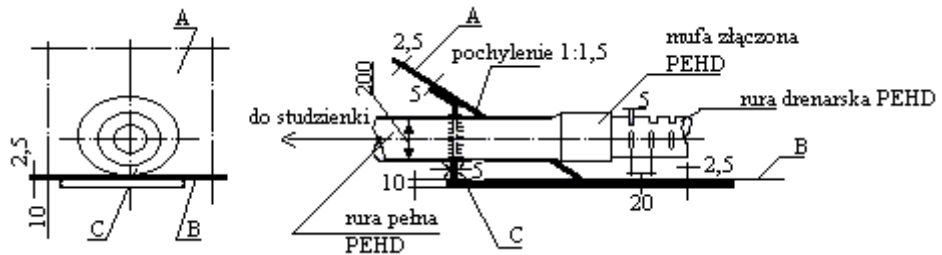


Rysunek 34. Profil regulacyjny dna składowiska odpadów (M.Żygadło, 1998)



Rysunek 35. Konstrukcja drenażu odcieków z obsypką żwirową i uszczelnieniem podłoża gruntowego (st.Stepniak, 1997)

1- żwir mieszany 16/32 mm, 2- rura drenarska (PEHD) o średnicy max. 355 mm i grubości ścian 20 mm, 3- włóknina oddzielająca, 4- warstwa żwiru drobnego 8/16 mm, 5- włóknina ochronna, 6- wykładzina uszczelniająca (PEHD) o grubości 2,5 mm, 7- warstwa piasku 0/8 mm, 8- glina albo il, 9- podłoże ziemne



Rysunek 36. Konstrukcja przepustu drenażu odcieków przez skarpę składowiska (St.Stepniak, 1997)

Pojemność zbiorników określa się na podstawie bilansu hydrogeologicznego.

Cały układ drenarski kontrolowany jest poprzez studzienki rewizyjne, które zazwyczaj pełnią podwójną rolę. Wykorzystywane są bowiem do jednoczesnego ujmowania odcieków i biogazu.

16.2. Oczyszczanie odcieków

Postępowanie z odciekami regulują przepisy prawa wodnego, przy czym dopuszczają aby ocieki ze składowisk odpadów, na których odpady ulegają biodegradacji wykorzystywane były do celów technologicznych.

Ocieki, z uwagi na swój specyficzny skład fizyko-chemiczny i bakteriologiczny, muszą być poddane szczegółowemu oczyszczeniu przed zrzutem do wód powierzchniowych czy do gleby. Konieczność ta wynika z możliwości rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych, nieprzyjemnych zapachów, ponadto zbyt duża zawartość w wodzie azotanów i fosforanów wpływa na ich zbytnią eutrofizację. Ocieki, posiadają specyficzny skład chemiczny, który w bardzo szybkim tempie prowadzi do zatrucia wód powierzchniowych i podziemnych, a odbudowanie naturalnej biocenozy wodnej odbywa się w długim okresie czasu. Metodę oczyszczania odcieków dobiera się w zależności od ich składu chemicznego, bakteriologicznego, przewidywalnych reakcji z odczynnikami chemicznymi stosowanymi do jej oczyszczania. Ważny jest tutaj stopień oczyszczenia wody, gdyż od niego uzależnione jest dalsze jej przeznaczenie. Oczyszczanie odcieków może być prowadzone poprzez:

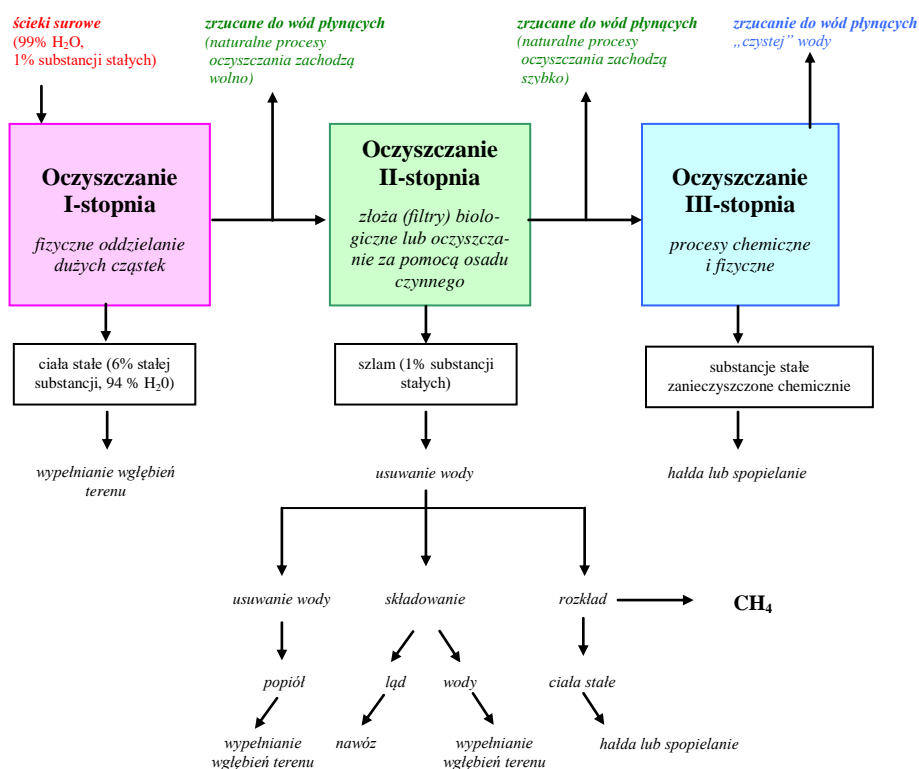
1. ***Odbiór odcieków i ich transport do oczyszczalni komunalnej.*** Metoda ta wymaga zastosowania odpowiedniego parku samochodowego lub budowy kanalizacji odciekowej. Z uwagi na charakter odcieków stanowi dodatkowe obciążenie dla oczyszczalni komunalnej.
2. ***Oczyszczanie odcieków na terenie składowiska poprzez zastosowanie samooczyszczania w gruncie, z użyciem lub bez roślinności wodnej.*** Wodna roślinność posiada zdolność wiązania metali ciężkich i mikrozanieczyszczeń. Metoda jest optymalna w okresach niskiego spływu odcieków. Ponadto metoda wymaga zachowania okresu przestoju w zimowych miesiącach, z uwagi na minimalną wegetację roślin. Oczyszczona woda może służyć do zraszania powierzchni składowiska, lasów lub może być wykorzystana w celach przemysłowych. W okresie zimowym ocieki magazynowane są w zbiornikach.
3. ***Oczyszczanie odcieków na terenie składowiska, we własnej oczyszczalni odcieków.*** Otrzymany w procesie oczyszczania osad ściekowy składowany jest bezpośrednio na składowisku, w wydzielonych kwaterach. Woda może być wykorzystana do celów grzewczych, może służyć do zraszania powierzchni składowiska lub być wypuszczona do gruntu lub do wód.
4. ***Oczyszczanie odcieków na terenie składowiska poprzez ich zawracanie i zraszanie powierzchni składowiska.*** Metoda ta prowadzi do redukcji objętości odcieków, z których część odparowuje, część służy do nawadniania gruntu porośniętego przez roślinność, która

wiąże zanieczyszczenia. Ocieki, które przeniknęły przez zabezpieczenia składowiska, wiązane są przez odpady.

5. **Spryskiwanie obszarów leśnych.** Drzewostan, podobnie jak roślinność wodna ma duże zapotrzebowania na substancje mineralne, w tym i pierwiastki należące do grupy metali ciężkich, a także mikrozanieczyszczenia. Metoda ta wymaga zachowania okresu przestoju w okresie zimowym z uwagi na zmniejszoną wegetację. Ocieki wymagają magazynowania w zbiornikach (zdjęcie 6).



Zdjęcie 6. Zbiornik na ocieki (składowisko odpadów w Dukli)



Rysunek 37. Schemat technologiczny przebiegu trójstopniowego oczyszczania ścieków (P.O'Neill, 1998)

Metody 2, 3, 4 i 5 są metodami pośrednimi oczyszczania odcieków, stosowanymi w przypadku niewielkich składowisk, na których ilość powstających odcieków jest minimalna. Stosowane mogą być także w okresach stabilizacji pracy składowiska, kiedy ilość powstających odcieków ulega znacznemu zmniejszeniu.

W przypadku składowisk dużych i stosunkowo „młodych” oczyszczanie odcieków powinno być prowadzone najbardziej efektywną, bezpieczną i ekonomiczną metodą oczyszczania, jaką jest *zintegrowany system oczyszczania odcieków składowiskowych* (rysunek 37). Oparty jest on na sprzężeniu kilku procesów oczyszczania jednocześnie, co prowadzi do:

1. *wydzielenia* ze ścieków osadów, szlamów i stałych substancji szkodliwych na drodze mechanicznej,
2. *usunięcia* substancji szkodliwych ze ścieków i oddzielenia szlamów przy wykorzystaniu naturalnych procesów rozkładu biochemicznego przez mikroorganizmy,
3. *odsączenia* wody od szlamów w celu zmniejszenia ich objętości.

16.2.1. Procesy jednostkowe oczyszczania odcieków w oczyszczalni komunalnej

Ocieki oczyszczane są metodami fizycznymi (mechanicznymi), chemicznymi i biologicznymi. Metody te mogą być łączone w układy fizyko-chemiczne, fizyko-biologiczne i biologiczno-chemiczne. Bez względu na rodzaj zastosowanych metod i sposób ich połączenia powinny one obejmować procesy, w których woda poprocesowa osiągnie wymagany stopień oczyszczenia. Metody oczyszczania obejmują więc procesy:

1. wstępnego odsączania w celu usunięcia żwiru, piasku i ciał stałych,
2. wstępnego zatrzymywania w osadnikach, w celu całkowitego usunięcia tłuszczów i ciał stałych,
3. wtórnego oczyszczania poprzez mikrobiologiczne utlenianie substancji organicznej i NH_3 oraz dalsze usuwanie ciał stałych,
4. filtracji przez złoża filtracyjne (np. z piasku) w celu usunięcia ciał stałych bardzo małych,
5. oczyszczanie w warunkach beztlenowych, w celu usunięcia azotu i fosforu.

Procesy te składają się z procesów jednostkowych, do których należą (rysunek 38):

- ***Napowietrzanie i usuwanie gazów oraz lotnych związków organicznych***; prowadzi do zwiększenia zawartości tlenu, który poprawia warunki hydrolizy i utleniania oraz zwiększa odczyn pH wody.
- ***Koagulacja***, metoda polegająca na usuwaniu z wody koloidów i zawiesin trudno opadających. Prowadzi ona do destabilizacji i agregacji cząstek koloidalnych, czyli

otrzymania większych agregatów. Są one łatwo usuwane w procesach sedymentacji, flotacji i filtracji.

- **Sedymentacja** jest procesem usuwania opadających cząstek ziarnistych i kłaczkowych o gęstości większej od gęstości wody.
- **Flotacja** jest procesem rozdziału fazy stałej (cząstek zawieszonych) od fazy ciekłej (wody). Stosowana jest zamiast sedymentacji w przypadku, gdy cząstki stałe mają gęstość mniejszą od gęstości wody lub gdy różnica gęstości zawiesin i wody jest niewielka (glony, cząstki włókniste).
- **Filtracja** jest procesem, który zapewnia usunięcie z oczyszczonej wody cząstek o średnicy powyżej 0,1 μm (zawiesin i zasocjowanych z nimi zanieczyszczeń).
- **Adsorpcja** na porowatych adsorbentach (np. węgiel aktywny) prowadzona jest w celu usunięcia z wody rozpuszczonych zanieczyszczeń organicznych (refrakcyjnych) i produktów ich niepełnego utlenienia. Wyróżnia się tutaj dwa procesy: *adsorpcji chemicznej*, która jest procesem nieodwracalnym, gdyż występujące w procesie siły wiążące (siły kowalencyjne) są bardzo duże i mają naturę chemiczną. W tym przypadku rozdzielenie adsorbenta od adsorbentu wymaga zastosowania drastycznych środków chemicznych. Drugi proces to *adsorpcja fizyczna*, która jest procesem odwracalnym, siły wiążące są niewielkie (siły Van der Waalsa), cząsteczki adsorbentu mogą się przemieszczać po powierzchni adsorbenta i łatwo można je z tej powierzchni usunąć.
- **Wymiana jonowa** jest procesem, w którym usuwane są z wody substancje rozpuszczone organiczne i nieorganiczne oraz niektóre kationy i aniony. Zawarte w wodzie jony i cząsteczki o określonym ładunku, podczas wymiany jonowej, wiązane są przez jonit oddając jednocześnie do roztworu jony „nieškodliwe” (OH^- , H^+ , Na^+ , Cl^-).
- **Odkwaszanie** wody ma na celu usunięcie z niej, przy pomocy metod fizycznych i chemicznych, agresywnego CO_2 .
- **Odżelazianie i odmanganawianie** wody w celu usunięcia nadmiaru żelaza i manganu sprzyjających rozwojowi bakterii żelazowych i manganowych.
- **Infiltracja** stosowana jest jako proces doczyszczający wodę. Polega na zastosowaniu basenów infiltracyjnych, które są zalewane i napełniane wodą, a przesiąkająca przez powierzchnie gruntu woda ulega w ten sposób doczyszczeniu;
- **Dezynfekcja** polega na zniszczeniu żywych i przetrwalnikowych form organizmów patogennych i zapobieganiu ich wtórnemu rozwojowi. Obejmuje procesy gotowania wody, pasteryzacji, stosowania ultradźwięków, promieni ultrafioletowych lub promieniowania gamma.

kuli ziemskiej stanowią wody słodkie. Wody wykorzystywane są dla zaspokojenia potrzeb życiowych ludzi, roślin i zwierząt. Z całej masy zasobów wód słodkich 97% występuje w postaci stałej (około $2,5 \cdot 10^7$ mln km^3), pozostałą część stanowią słodkie wody powierzchniowe i podziemne (około $5,0 \cdot 10^5$ mln km^3). Zasoby wód słonych szacuje się na około $1,37 \cdot 10^9$ mln km^3 . Niewielka część wody występuje w postaci pary wodnej i skroplin (około $1,3 \cdot 10^4$ mln km^3).

Do celów gospodarczo-produkcyjnych wykorzystać można jedynie około 0,04% globalnych zasobów wody słodkiej. Polska jest najuboższym w zasoby wodne krajem Europy. Na jednego mieszkańca przypada około $1,8 \text{ dam}^3$, a jest to trzykrotnie mniej niż średnio w Europie. Na potrzeby gospodarcze w 1999 roku zużyto w Polsce:

- ze źródeł wód powierzchniowych około 92821 hm^3 ,
- ze źródeł wód podziemnych około $1619,1 \text{ hm}^3$.

Jednym ze sposobów zwiększających możliwości wykorzystania zasobów wodnych jest jej magazynowanie w zbiornikach retencyjnych. Wskaźnik ten jest jednak również niewielki dla Polski, wynoszący zaledwie 6% średniego dopływu rocznego, który w 1999 roku wynosił 70 km^3 . W takiej sytuacji każda kropla czystej wody jest bardzo cenna. Konieczność jej oczyszczania i zwracania do obiegu przyrodniczego jest więc oczywista.

Woda jako dobry rozpuszczalnik zawiera prawie wszystkie składniki mineralne występujące w skorupie ziemskiej. Ponadto zawiera rozpuszczone substancje antropogeniczne. Zawartość w wodzie substancji wpływających negatywnie na środowisko i zdrowie organizmów żywych, stanowi jej zanieczyszczenie. Czystość wody oceniana jest na podstawie norm klasyfikacyjnych, które dopuszczają obecność określonych ilości różnych substancji w wodzie. W Polsce na podstawie cech fizyczno-chemicznych i biologicznych wody dzieli się na trzy klasy czystości :

- **Klasa I** - obejmuje wody, które nadają się do picia, hodowli ryb łososiowatych, produkcji przemysłowej wymagającej wody do picia.
- **Klasy II** - obejmuje wody, które nadają się do hodowli ryb innych niż łososiowate, pojenia zwierząt gospodarskich, zorganizowanych kąpielisk, rekreacji i sportów wodnych,
- **Klasa III** - obejmuje wody, które nadają się do nawadniania upraw, produkcji przemysłowej nie wymagającej wody do picia. Z wód klasy III wydzielona jest podgrupa wód pozaklasowych, które obejmują około 82% wszystkich wód.

Dopuszczalne wartości zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych w Polsce ilustruje tabela 18.

Tabela 18. Normatywne wartości zanieczyszczeń w wodach śródlądowych powierzchniowych (wg Rozporządzenia MOŚZNiL z 5.XI.1991 r. – Dz.U. Nr 116, poz.503).

Parametr lub zanieczyszczenie	Klasa czystości		
	I	II	III
Temperatura (°C)	≤ 22	≤ 26	≤ 26
Zapach	≤ 3R	naturalny	-
Barwa (mg Pt/l)	-	naturalna	-
pH	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0	6,0 – 9,0
Zawiesiny ogólne (z wyjątkiem nagłych przyborów wody) (mg/l)	≤ 20	≤ 30	≤ 50
BZT ₅ (mg O ₂ /l)	≤ 4	≤ 8	≤ 12
Azot amonowy (mg N _{NH4} /l)	≤ 1,0	≤ 3,0	≤ 6,0
Azot azotanowy (mg N _{NO3} /l)	≤ 5,0	≤ 7,0	≤ 15,0
Azot azotynowy (mg N _{NO2} /l)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,06
Przewodność elektrolityczna właściwa (μS/cm)	≤ 800	≤ 900	≤ 1200
Chlorki (mg Cl/l)	≤ 250	≤ 300	≤ 400
Siarczany (mg SO ₄ /l)	≤ 150	≤ 200	≤ 250
Żelazo ogólne (mg Fe/l)	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 2,0
Arsen (mg As/l)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,2
Cynk (mg Zn/l)	wszystkie klasy ≤ 1,0		
Chrom ⁺⁶ (mg Cr/l)	wszystkie klasy ≤ 0,05		
Kadm (mg Cd/l)	≤ 0,005	≤ 0,03	≤ 0,1
Mangan (mg Mn/l)	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,8
Miedź (mg Cu/l)	wszystkie klasy ≤ 0,05		
Nikiej (mg Ni/l)	wszystkie klasy ≤ 1,0		
Ołów (mg Pb/l)	wszystkie klasy ≤ 0,05		
Rtęć (mg Hg/l)	≤ 0,001	≤ 0,005	≤ 0,01
Selen (mg Se/l)	wszystkie klasy ≤ 0,01		
Fluorki (mg F/l)	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2,0
Fenole lotne (mg/l)	≤ 0,005	≤ 0,02	≤ 0,05
Benzo(a)piren (μg/dm ³)	wszystkie klasy ≤ 0,2		
Miano Coli typu kałowego	≥ 1,0	≥ 0,1	≥ 0,01
Bakterie chorobotwórcze	niewykrywalne		

Jakość wody i możliwość jej gospodarczego wykorzystania określana jest na podstawie *wskaźników jakości wody*.

Wskaźniki jakości wody określane są na podstawie badań fizyczno-chemicznych, biologicznych i bakteriologicznych. Na tej podstawie dzielą się na:

- *Wskaźniki fizyczne*, do których należą: barwa, mętność, smak, zapach i temperatura.
- *Wskaźniki chemiczne*, do których należą, m.in.: odczyn (pH), kwasowość i zasadowość, stężenia substancji rozpuszczonych organicznych i nieorganicznych, BZT, ChZT, OWO.
- *Wskaźniki biologiczne*, do których należy, m.in.: miano coli.

Wskaźniki te służą również do oceny jakości wody otrzymanej po oczyszczeniu odcieków ze składowisk odpadów.

16.1.3. Wybrane wskaźniki jakości wody

Barwa wody. Wywołana może być przez wiele czynników: substancje humusowe, plankton, roślinność, jony metali (żelaza, manganu) i ścieki. Powodują ją drobne cząsteczki tych substancji zawieszona w wodzie łącznie z substancjami rozpuszczonymi. Wody naturalne mają zazwyczaj barwę $5 \div 25 \text{ mg/dm}^3 \text{ Pt}$ (jednostka barwy).

Mętność i przezroczystość. Wywołane są obecnością różnych nierozpuszczonych związków organicznych i nieorganicznych: gliny, łąy, wytrącające się związki żelaza i manganu, plankton, substancje humusowe i inne. Mętność wody czystej nie może przekraczać $5 \text{ mg zawiesiny/dm}^3$.

Temperatura. Zależy od pory roku oraz od pochodzenia wody. Wody powierzchniowe i zaskórne mają zazwyczaj temperaturę około $0 \div 25^\circ\text{C}$, natomiast wody podziemne charakteryzują się temperatura pomiędzy $8 \div 12^\circ\text{C}$, w zależności od głębokości zalegania.

Zapach. Może być wywołany obecnością w wodzie lotnych związków organicznych, gazów, produktów rozkładu substancji organicznych i ścieków. Zależy on od sposobu uzdatniania wody. Zapach naturalny mają wody z obecnością substancji organicznych, nie znajdujących się w stanie rozkładu gnilnego i nie nadających wodzie cech przykrych. Dopuszczalne normy zapachu to: zapach naturalny, nieuciążliwy dopuszczalny zapach chloru przy dezynfekcji chlorem.

Potencjał oksydacyjnoredukcyjny. Wody zanieczyszczone mają niski potencjał redox. Z uwagi na duże stężenie substancji redukujących i małe stężenie substancji utleniających. W czasie samooczyszczania się wód, czyli biochemicznego utleniania, zawartość substancji redukujących maleje, wzrasta stężenie substancji utleniających. W tym również stężenie rozpuszczonego tlenu. Rośnie więc potencjał redox. Woda czysta, w równowadze z tlenem atmosferycznym, wykazuje potencjał redox na poziomie około 800 mV .

Przewodność elektryczna. Roztwór wodny zawierający jony dodatnie i ujemne, których obecność jest wynikiem dysocjacji kwasów, zasad i soli nazywa się elektrolitem. Ma on zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego, pod wpływem przyłożonego napięcia do elektrod w nim umieszczonych. Zdolność ta nazywa się przewodnością elektryczną. Dla wód naturalnych przewodność elektryczna waha się w granicach $50 \div 1000 \text{ }\mu\text{S}$. Przewodność elektryczna ścieków może sięgać granicy $10000 \text{ }\mu\text{S}$.

Związki azotu. W wodach naturalnych mogą występować w postaci azotu organicznego, azotu amonowego, azotu azotynowego i azotu azotanowego. Azot ogólny można wyrazić:

$$N_{\text{og}} = N_{\text{org}} + N_{\text{NH}_4} + N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$$

Obecność azotanów jest niepożądana z uwagi na toksyczne działanie dla ludzi. Ponadto wpływają na zakwity glonów w ciekach wodnych. Azot amonowy (w postaci amoniaku) występuje w ściekach wskutek rozkładu organicznych związków azotowych. Azot organiczny obejmuje rozkład aminokwasów, związków białkowych, polipeptydów, mocznika i inne organiczne związki azotowe. Azotany występują w świeżych odciekach. W zagnitych odciekach szybko ulegają redukcji do azotynów i amoniaku. Zawartość azotu ogólnego w ściekach odprowadzanych do wód i do ziemi nie może przekraczać $30,0 \text{ mg/dm}^3 \text{N}_{\text{og}}$ ($6 \text{ mg/dm}^3 \text{N}_{\text{NH}_4}$; $30,0 \text{ mg/dm}^3 \text{N}_{\text{NO}_3}$).

Fosforany. Związki fosforu ulegają podobnym przemianom jak związki azotowe, a ostatnim stadium mineralizacji są fosforany. Stanowią one produkt rozkładu związków organicznych i mogą pochodzić z wydaliny ludzkiej czy ścieków przemysłowych. W zasadzie są nietoksyczne, jednak uważa się je za podstawowy czynnik wpływający na eutrofizację wód. Fosfor występuje pod postacią różnych związków: ortofosforanów, polifosforanów i organicznie związanych fosforanów. Formy te występują w stanie rozpuszczonej jako zawiesiny lub składniki organizmów wodnych. Dopuszczalna zawartość fosforu ogólnego w ściekach kierowanych do wód i do ziemi nie może przekraczać $5,0 \text{ mg/dm}^3 \text{P}$.

Siarczany. Pochodzą z odpadów przemysłowych, z odpadów bytowych. Ich obecność powoduje choroby przewodu pokarmowego, korozję betonu i żelbetu. Dopuszczalne stężenie siarczanów w ściekach odprowadzanych do wód i do ziemi nie może przekroczyć $500,0 \text{ mg/dm}^3 \text{SO}_4$.

Siarczyny. Pochodzą z odpadów przemysłowych, z wód chłodniczych i pogazowych. Mogą występować w postaci rozpuszczonego SO_2 , jako siarczyny i wodorosiarczyny. Mogą powodować zatrucie powietrza w kolektorach odciekowych. Są jednak nietrwałe i łatwo się utleniają.

Siarkowódór i siarczki. Pochodzą przede wszystkim z rozkładu w warunkach anaerobowych substancji organicznych zawierających siarkę. Mogą pochodzić z odpadów przemysłowych. Siarkowódór posiada właściwości toksyczne. Siarczki powodują korozję betonu i części metalowych zbiorników i kanałów odciekowych. Związki siarkowodorowe mogą występować w odciekach w postaci wolnego siarkowodoru niezjonizowanego oraz siarczków rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych. Dopuszczalne stężenie siarczków w ściekach odprowadzanych do wód i do ziemi nie może przekroczyć $0,2 \text{ mg/dm}^3 \text{S}$.

Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT). Umowny wskaźnik zawartości związków organicznych. BZT oznacza ilość tlenu potrzebną do utlenienia związków organicznych w reakcjach biochemicznych (przy współdziałaniu mikroorganizmów), w danej

ilości wody lub ścieków, w warunkach tlenowych i w temperaturze 20⁰C. Wynik podaje się w miligramach tlenu zużytego w jednym decymetrze sześciennym wody lub ścieków (mg O₂/dm³), w określonym czasie. Najczęściej zużycie tlenu określa się po pięciu dobach uzyskując tzw. *pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT₅)*.

Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT - inaczej utlenialność). Umowny wskaźnik zawartości związków organicznych. Wielkość ta określa ilość związków organicznych, które podlegają rozkładowi (utlenieniu) na drodze chemicznej, w danej ilości wody (lub ścieków), w obecności silnego utleniacza i w podwyższonej temperaturze. Wynik podaje się w miligramach tlenu pobranego z utleniacza chemicznego i zużytego w jednym decymetrze sześciennym wody (lub ścieków) w warunkach umownych (mg O₂/dm³). Stosuje się badanie z zastosowaniem utleniaczy chemicznych: nadmanganianu potasu (ChZT-KmnO₄) i dwuchromianu potasu (ChZT-K₂Cr₂O₇). Wskaźnik ten jest wielkością umowną bowiem zazwyczaj obok związków organicznych utlenieniu ulegają też związki nieorganiczne, jak sole żelazawe, azotyny, siarczany, siarczki, chlorki.

Wskaźnik ChZT określa również ilość substancji trudno podatnych na rozkład biochemiczny, dlatego wartość ChZT jest większa od BZT₅.

Odczyn roztworu (pH) – jest to ujemny logarytm dziesiętny aktywności jonów wodorowych i wodorotlenowych ($\text{pH} = -\log a_{\text{H}_3\text{O}^+}$, gdzie $a_{\text{H}_3\text{O}^+} = 10^{-7}$ mol/dm³). W zależności od wielkości pH, czyli stężenia jonów wodorowych, odczyn środowiska może być kwaśny, gdy pH < 7; zasadowy, gdy pH > 7 lub obojętny, gdy pH = 7. Czysta woda podziemna ma pH = 6,5.

Ogólny węgiel organiczny (OWO) - wskaźnik umowny, określający zawartość węgla w związkach organicznych znajdujących się w ściekach (mg/dm³). Oznaczenie to pozwala na pełne określenie zawartości wszystkich związków organicznych występujących w wodzie (lub ściekach). Zawartość OWO oznacza się po spaleniu związków organicznych zawartych w próbce do CO₂. Następnie CO₂ oznacza się różnymi metodami, np. metodą spektrofotometrii w podczerwieni i chromatografii gazowej.

Ekstrakt węglowo-chloroformowy (EWCh) - określa poziom zanieczyszczenia związkami refrakcyjnymi (mg/dm³). Związki refrakcyjne są związkami nie podlegającymi wcale lub w niewielkim stopniu rozkładowi biologicznemu. Należą do nich, między innymi, niektóre detergenty, pestycydy, związki aromatyczne, humusowe.

Miano coli – jest to najmniejsza objętość wody lub ścieków wyrażona w dm³, w której można stwierdzić obecność jednej pałeczki okrężnicy *Escherichia coli*. Bakterie grupy coli nie wywołują w zasadzie efektów chorobowych, ale ich obecność świadczy o

zanieczyszczeniu wody fekaliami i wskazuje na potencjalne niebezpieczeństwo występowania bakterii chorobotwórczych. W zastępstwie tego wskaźnika wykorzystuje się Indeks coli. Jest to liczba bakterii coli w 100 cm³ wody.

Szczegółowe grupy wszystkich wskaźników zanieczyszczeń reguluje rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzone do wód lub do ziemi (Dz.U. Nr 116/91, poz. 503).

163. Osady ściekowe i popłuczyny

Każdemu oczyszczaniu zanieczyszczonej wody towarzyszy powstawanie określonych ilości osadów ściekowych i ścieków poprocesowych nazywanych popłuczynami, które zawierają usunięte z wody zanieczyszczenia. Osady ściekowe i popłuczyny należą do odpadów nieorganicznych, jednak mogą zawierać pewne ilości substancji organicznej. Stanowią mieszaninę zanieczyszczeń, jakie zostały z wody usunięte i zastosowanych chemikaliów. Ilość i skład fizyczno-chemiczny, biologiczny i bakteriologiczny tych substancji jest różny. Zależy od ilości i poziomu zanieczyszczeń zawartych w wodzie poddanej oczyszczaniu, od stopnia usunięcia z niej zanieczyszczeń, rodzaju i ilości stosowanych środków chemicznych i kolonii mikroorganizmów. Zawartość substancji biologicznej uzależniona jest od bakteriologicznego skażenia ścieków (bakterii, wirusów, pasożytów i ich jaj, cyst, glonów) oraz od rodzaju zastosowanego jednostkowego procesu dezynfekcji wstępnej przed koagulacją i sedymentacją. Teoretyczne ilości powstających osadów w procesach oczyszczania wody ilustruje tabela 19.

Tabela 19. Teoretyczne ilości powstających osadów w procesach oczyszczania wody (A.L.Kowal, M.Świdorska-Bróż, 2000)

Zanieczyszczenie lub reagent	x – ilość kg suchej masy osadu powstającego z 1 kg zanieczyszczenia lub reagenta
Zawiesiny	1,0
Substancje organiczne	1,0
Siarczan glinowy	0,23 jako Al(OH) ₃ ⁽¹⁾
Chlorek żelazowy	0,66 jako Fe(OH) ₃ ⁽²⁾
Polimery	1,0
Pylisty węgiel aktywny	1,0
Wapno	0,1 – 0,2 jako frakcje nierozpuszczalne
Żelazo	1,91 jako Fe(OH) ₃ wytrącający się w wyniku utleniania
Ca ²⁺	2,5 jako CaCO ₃
Mg ²⁺	2,4 jako Mg(OH) ₂
W wypadku dawkowania: ⁽¹⁾ Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O; ⁽²⁾ FeCl ₃ · 6H ₂ O	

Osady ściekowe, jako produkt uboczny oczyszczania wody i ścieków (odcieków) tworzą:

- *skratki* – zanieczyszczenia zatrzymane na kratkach lub sitach (tworzywa sztuczne, szmaty, włókna itp.);
- *piasek* – wydzielony w piaskownikach (piasek, żwir, szkło);
- *osad*:
 - *wstępny*, który stanowią zawiesiny oddzielone od ścieków w osadnikach wstępnych,
 - *wtórny*, którym jest biomasa powstała w procesie biologicznego oczyszczania ścieków i wydzielona w osadnikach wtórnych,
 - *chemiczny*, otrzymany w efekcie chemicznego strącania i koagulacji,
 - *mieszany*, będący mieszaniną wymienionych rodzajów osadów.

Surowe osady ściekowe (*nieustabilizowane*) zawierają duże ilości wody przez co mają postać ciekłą, czyli uwodnioną. Duża zawartość wody wpływa na znaczną ich objętość, przy niewielkiej ilości części stałych. Ilość otrzymanego osadu ściekowego ocenia się na około 3% całkowitej objętości oczyszczanych ścieków. Obecność w „leżakujących” osadach ściekowych substancji organicznej wpływa na pobudzenie samorzytnego procesu fermentacji, często gnica jeśli rozkład beztlenowy jest procesem niekontrolowanym.

Uwodnione osady ściekowe charakteryzują się różnym stopniem konsystencji, na podstawie którego dzieli się je na:

- *płynne* lub *półpłynne*, gdy uwodnienie mieści się w granicach 85÷100% (ich transport może odbywać się przez pompowanie),
- *maziste* lub *stałe* (tzw. *szlamy*), gdy uwodnienie zawiera się w granicach 70÷80% (transport może odbywać się na przenośnikach),
- *sypkie*, o uwodnieniu około 65%,
- *suche*, o uwodnieniu około 30%,
- *pyliste* gdy uwodnienie jest mniejsze od 15%.

Gospodarka popłuczynami i osadami ściekowymi obejmuje procesy minimalizowania ich objętości, czyli zmniejszania ilości zawartej w nich wody oraz zagospodarowywania w sposób bezpieczny dla środowiska. Tworzą one system gospodarczego uzdatniania osadowego produktu odpadowego.

Podstawowymi procesami jednostkowymi uzdatniania popłuczyn i osadów ściekowych są procesy grawitacyjnego zagęszczania, odwadniania, odzyskiwania chemikaliów, stabilizacji i suszenia.

Wymienione procesy poprzedzane są procesami kondycjonowania, czyli zwiększania ich podatności do zagęszczania i odwodnienia. Konieczność ta wynika z różnej podatności osadów na odwodnienie:

- dobrze oddaje wodę osad wstępny i chemiczny,
- źle oddaje wodę osad wtórny, z uwagi na obecność wody w komórkach mikroorganizmów zamkniętą przez ich ściany komórkowe.

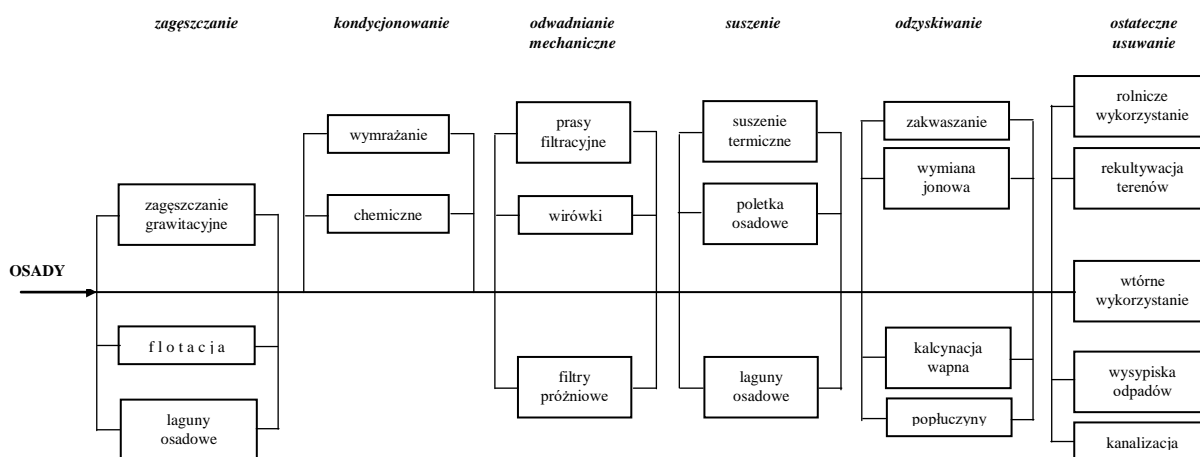
Stabilizacja osadów ma na celu zapobieganie procesom gnicia lub fermentacji. Osad stabilizuje się na drodze:

- biologicznego rozkładu – stabilizacja biologiczna,
- likwidacji bakterii gnilnych lub zapobiegania ich rozwojowi.

Otrzymany z procesów uzdatniania zagęszczony osad ściekowy jest suszony.

W procesie fermentacji powstaje biogaz, który może być gospodarczo wykorzystywany, np. do własnych celów energetyczno-cieplnych oczyszczalni ścieków. Ilość wytworzonego biogazu uzależniona jest od rodzaju oczyszczanych wód i ścieków, rodzaju osadów ściekowych i prowadzonego jednostkowego procesu stabilizacji beztlenowej.

Schemat blokowy metod i urządzeń stosowanych do przeróbki i unieszkodliwiania osadów ściekowych ilustruje rysunek 39.



Rysunek 39. Metody i urządzenia stosowane do przeróbki i unieszkodliwiania osadów powstających w zakładzie uzdatniania wody (A.L.Kowal, M.Świdarska-Bróz, 2000)

Wymienione czynności przygotowują szlamy do składowania na wydzielonej części składowisk odpadów, utylizacji poprzez spopielenie w procesach termicznych a także może być gospodarczo wykorzystany.

Wybór odpowiedniego gospodarczego sposobu wykorzystania osadów ściekowych zależy od ich składu chemicznego. Skład chemiczny osadów w przybliżeniu jest następujący:

- substancja organiczna 35÷80% s.m. (średnio około 60%),
- substancja organiczna łatwo rozkładalna 10÷57% s.m. (często 20÷30%),
- azot ogólny 0,3÷6,0% s.m.,
- stosunek C:N 10÷13:1,
- P₂O₅ do 6,0% s.m.,
- K₂O około 0,1÷0,5% s.m.,
- CaO około 10% s.m. (często 2÷4%),
- MgO około 0,02÷1,81% s.m.

Gospodarcze wykorzystanie osadów i szlamów może być bezpośrednie, poprzez zastosowanie ich w „stanie surowym”, czyli bez wstępnej obróbki lub po obróbce.

Metoda zastosowania osadów i szlamów w stanie surowym stwarza określone zagrożenia dla środowiska naturalnego. Wynikają one z faktu, że osady ściekowe i szlamy stanowią centrum akumulacji niebezpiecznych, toksycznych związków organicznych, metali ciężkich, organizmów patogennych, jakie występowały w odciekach. Związki chemiczne, w procesach uzdatniania wody, ulegają częściowo kolejnym przemianom, w których jedne ulegają destrukcji, a inne tworzą jeszcze bardziej kancerogenne i mutagenne substancje (na przykład podczas chlorowania powstają trójhalogenometany (THM), będące pochodnymi metanu: CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl czy też CHBr₃). Z tego powodu, gdy nie jest możliwe zastosowanie osadów ściekowych z uwagi na przekroczenie dopuszczalnych wartości granicznych zawartych w nich substancji, poddaje się je obróbce (neutralizacji). Niektóre metale (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B, S i inne) są pierwiastkami egzogennymi (niezbędnymi), podtrzymującymi procesy życiowe biocenozy w danym biotopie. Obróbka osadów ściekowych powinna być więc prowadzona w przypadkach, w których następuje przekroczenie dopuszczalnych wartości pierwiastków i ich związków.

16.3.1. Wybrane sposoby wykorzystania osadów ściekowych i szlamów

Osady ściekowe mogą być surowcem wykorzystywanym w sposób:

- a) przemysłowy, np. w przemyśle budowlanym, górniczym, energetycznym, drogowym;
- b) nieprzemysłowy w celach:
- c) rolniczych do:
 - uprawy roślin służących do produkcji kompostu,

- uprawy roślin stanowiących surowiec w procesach technicznych (np. produkcja oleju technicznego),

d) nierolniczych:

- rekultywacji składowisk,
- rekultywacji terenów zdegradowanych antropogenicznie,
- dostosowanie terenów do określonych potrzeb gospodarczych,
- organicznego nawożenia gleb ubogich w substancją organiczną,
- spopielanie,
- składowanie.

Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych wynika z poglądu, że nagromadzone w nich pierwiastki nadają osadom charakter chemiczny, zbliżony do charakteru substancji organicznej zgromadzonej w glebie. powinny więc charakteryzować się odpowiednią wartością nawozową, która może wynosić, między innymi N około 0,5÷3,5%, P około 0,3÷0,8% i K około 0,1÷0,3%.

Rolnicze wykorzystanie jest jednak ograniczone z uwagi na nadmiar w osadach ściekowych i szlamach metali ciężkich i niektórych toksycznych pierwiastków. Obecność tych związków w osadach ściekowych wynika z ich adsorpcji i wytrącenia z oczyszczonych ścieków. Mogą one ulec kumulacji w glebie i płodach rolnych, co stwarza określone toksyczne zagrożenie dla ludzi i zwierząt.

Ilość osadu ściekowego, który użyty może zostać na polach ornych w Polsce, nie może przekraczać 10 t suchej masy osadów na 1 hektar, przy czasie nawożenia co cztery lata. W przypadku rekultywacji gleb jednorazowo może być użyte około 40÷220 t suchej masy osadów na 1 hektar. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w glebach, na których można prowadzić nawożenie ściekami ilustruje tabela 20. Tabela 21 ilustruje z kolei dopuszczalną zawartość metali ciężkich w ściekach, która mają być wykorzystane rolniczo, według norm Unii Europejskiej. Natomiast dopuszczalną zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych wykorzystywanych rolniczo ilustruje tabela 22. Ponieważ istotne są wymagania sanitarne wobec ścieków przeznaczonych do rolniczego wykorzystania, ilustruje je tabela 23.

Surowe osady ściekowe, szlamy i popłuczyny, z uwagi na znacząco zawartość metali ciężkich i toksycznych mikroskładników, nie mogą być stosowane na obszarach będących w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł i ujęć wody, na obszarach okresowo zalewanych wodą i o wysokim poziomie wód gruntowych, obszarach górniczych wód uzdrowiskowych i obszarach objętych ochroną flory i fauny, na terenach kąpielisk, a także na terenach płytkiego zalegania skał szczelinowych. Zabronione jest także ich stosowanie na obszarach rezerwatów i parków

narodowych, a także na obszarach wykorzystywanych rolniczo w celach spożywczych (sadownicze, warzywnicze) lub wykorzystywanych jako pastwiska czy do produkcji pasz zwierzęcych. Wyłączone są także tereny stanowiące grunty przepuszczalne, grunty czasowo pokryte śniegiem lub zamrożnięte.

Tabela 20. Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w glebach, na których można prowadzić nawożenie ściekami wg przepisów polskich i norm Unii Europejskiej (M.P.86, nr 23, poz.169; Dyrektywa 86/278/EEC) (Z.M.Karaczun, L.G.Indeka, 1999)

Składnik	Zawartość metali w mg/kg s.m. w glebach		
	lekkich ⁽¹⁾	ciężkich ⁽¹⁾	zakres wartości wg Dyrektywy UE
Kadm (Cd)	3	3	1 – 3
Miedź (Cu)	50	100	50 – 140 ⁽²⁾
Nikiel (Ni)	30	100	30 – 75 ⁽²⁾
Ołów (Pb)	50	100	50 – 300
Cynk (Zn)	200	300	150 – 300 ⁽²⁾
Rtęć (Hg)	1	2	1 – 1,5
Chrom (Cr)	100	300	-

⁽¹⁾ zgodnie z przepisami polskimi;
⁽²⁾ jeśli pH gleby przekracza 7, zawartość tych pierwiastków może być o 50% większa.

Tabela 21. Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w ściekach wykorzystywanych rolniczo wg norm Unii Europejskiej (Dyrektywa 86/278/EEC) (Z.M.Karaczun, L.G.Indeka, 1999)

Składnik	Zakres dopuszczalnej zawartości w mg/kg s.m.
Kadm (Cd)	20 – 40
Miedź (Cu)	1000 – 1750
Nikiel (ni)	300 – 400
Ołów (Pb)	750 – 1200
Cynk (Zn)	2500 – 4000
Rtęć (Hg)	16 – 25

Tabela 22. Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych wykorzystywanych rolniczo (P.Kowalik, 2001)

Składnik	Dyrektywa 86/278/EEC w kg · ha ⁻¹ · rok ⁻¹	Rozporządzenia MOŚZNiL z 1999 r. kg · ha ⁻¹ · rok ⁻¹
Kadm (Cd)	od 20 do 40	10
Miedź (Cu)	od 100 do 1750	800
Nikiel (Ni)	od 300 do 400	100
Ołów (Pb)	od 750 do 1200	500
Cynk (Zn)	od 2500 do 4000	2500
Rtęć (Hg)	od 16 do 25	5
Chrom (Cr)	nie ustalono	500

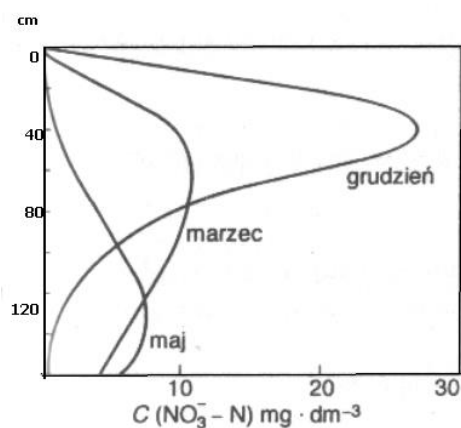
Tabela 23. Wymagania sanitarne dla ścieków przeznaczonych do rolniczego wykorzystania wg przepisów polskich (M.P.86, nr 23, poz.169) (Z.M.Karaczun, L.G.Indeka, 1999)

Wskaźnik	Dopuszczalna wielkość
Bakterie chorobotwórcze (w tym z rodzaju <i>Salmonella</i>)	niewykrywalne
Miano Coli	nie mniej niż 0,01
Obecność jaj: <i>Ascaris cumbricoides</i> lub <i>Trichocephalus trichuria</i>	do 10 / litr

Wymienione ograniczenia wynikają z chemizmu gleby, będącej siedliskiem roślin i mikroorganizmów wzajemnie na siebie oddziałujących. Pierwiastki zawarte w

osadach ściekowych mogą być rozpuszczane w fazie ciekłej gleby, mogą przechodzić do jej fazy gazowej lub mogą być kumulowane na cząstkach fazy stałej.

Gleby, które mają wysoką wartość pH i pojemność wymiany jonowej wykazują wysoką immobilizację większości metali. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że z upływem czasu następuje zmiana warunków w środowisku prowadząca do spadku wartości jego pH. Zmniejszenie wartości pH prowadzić może do uwalniania toksycznych substancji zawartych w glebie (rysunek 40). Część z nich zostanie wykorzystana w procesie metabolizmu biocenozy, nadmiar infiltrować może w głąb gleby osiągając poziom wód gruntowych i podziemnych. Pozostała część tych substancji wraz z wodami opadowymi spływać może do wód powierzchniowych. Zaburzony zostanie w ten sposób naturalny chemizm tych wód prowadząc do ich skażenia.



Rysunek 40. Migracja azotanów w profilu gleby lessowej w Niemczech w okresie zimowym (P.kowalik, 2001)

16.3.2. Wykorzystanie osadów ściekowych w celach nierolniczych

Nierolnicze wykorzystanie osadów ściekowych polega na zastosowaniu ich do rekultywacji terenów zdegradowanych antropogenicznie, terenów przemysłowych (nieużytki przemysłowe), zwałowisk, hałd, wyrobisk i kopalni, składowisk odpadów, terenów pobudowlanych, nieużytków piaskowych i erozyjnych.

W procesie rekultywacji dużo uwagi należy poświęcić możliwości biotechnicznego zagospodarowania powierzchni rekultywowanego terenu.

Biotechniczne zagospodarowanie polega na pokryciu nawierzchni warstwą gleby rekultywacyjnej i gleby rodzimej, które obsadza się następnie rodzimą roślinnością. Skarpy składowisk, zwałowisk, hałd, itp. realizuje się najczęściej metodą usypiskową, przez co są one niestabilne. Większe kawałki gruntu mogą spadać ze zboczy i gromadzić się u podnóża

tworząc usypiska. Aby zapobiec tego typu zjawiskom, prowadzi się stabilizację skarp poprzez wzmocnienie ich materiałem wiążącym. Jako materiał wiążący, który służy do wzmocniania warstw izolacyjnych powierzchni składowisk odpadów, proponuje się użycie popiołów lotnych zawierających znaczne ilości CaO i MgO. Związki te, w połączeniu z wodą, posiadają właściwości wiążące. Popioły lotne zawierają także znaczne ilości związków mineralnych (Fe, Si, Al., Na, K, Cl, Cr, Ni, Cu, Cd, Zn.). Stanowią więc znakomity dodatek nawozowy dla ubogich w składniki mineralne (pokarmowe) gleb rekultywacyjnych.

Ponadto, w celu oszczędzenia zasobów wodnych, proponuje się użycie zamiast wody płynnych osadów ściekowych. Osady ściekowe zawierają również znaczne ilości związków mineralnych i organicznych (N, P, K, Fe, Cu, Zn, mikroorganizmów), które powoli się uwalniają, stanowią wartościowy materiał nawozowy dla rekultywowanych terenów (składowisk odpadów, hałd, terenów silnie zdegradowanych antropogenicznie).

W osadach nieodwodnionych występują wyższe wartości składników nawozowych. Zawartość substancji organicznej waha się w granicach około 36÷80% (średnio 60%) suchej masy. Przefermentowane osady ściekowe zawierają przeciętnie: N – 2,2% s.m.; P-0,7% s.m.; K-0,4% suchej masy. Zawartość wapnia jest na ogół duża, średnio wynosi około 2÷4% suchej masy. Wśród metali ciężkich zawartych w osadach znajdują się zarówno cenne składniki pokarmowe (mikroelementy), jak też składniki uciążliwe dla środowiska (Pb, Cd, Cr). Stąd też zawartość tych metali w przyrodniczym (rolniczym) zagospodarowaniu osadów ściekowych nie może przekroczyć wartości dopuszczalnych

Uwodnione osady ściekowe charakteryzują się znaczną lepkością, szybkim i dokładnym mieszaniem się z komponentami otoczenia, jak z odpadami czy cząsteczkami gleby. Wykazują się brakiem segregacji po zakończeniu procesu mieszania, dokładnym przyleganiem do powierzchni, przez co zapewniają równomierne jej pokrycie. Wprowadzenie odpowiedniej masy osadu ściekowego do gruntu bezglebowego, z zachowaniem głębokości wymieszania substancji organicznej z gruntem co najmniej 0,15 ÷ 0,20 m, nadaje mu cechy właściwe glebie. Porównanie stężeń metali ciężkich w suchym osadzie ściekowym i w glebie ilustruje tabela 24.

Osady ściekowe nie nadające się do tego rodzaju wykorzystania, lub ich nadmiar mogą zostać zredukowane w procesie termicznej utylizacji. Aby było to możliwe muszą posiadać odpowiednią wartość opałową, która wynosi:

- dla osadu suchego:
 - ustabilizowanego, w granicach około 16÷20 kJ/g s.m.,
 - niestabilizowanego, w granicach 10÷15 kJ/g s.m.

Tabela 24. Porównanie stężeń metali ciężkich w suchym osadzie ściekowym i w glebie (P.O'Neill, 1998)

Stężenie w osadzie ściekowym			Stężenie w glebie	Średnie stężenie w osadzie
metal	średnie	zakres		Średnie stężenie w glebie
Rtęć (Hg)	2	0 – 5	0,25	8
Kadm (Cd)	20	0 – 300	0,4	50
Miedź (Cu)	250	1 – 3000	50	5
Chrom (Cr)	500	10 – 5000	50	10
Ołów (Pb)	700	50 – 5000	25	28
Cynk (Zn)	3000	500 – 25000	100	30
Żelazo (Fe)	16000	2000 – 42000	30000	0,5

Różnica ta jest wynikiem obniżenia zawartości substancji organicznej.

Osady uwodnione, o zawartości suchej masy w granicach około 20÷30 można spalać przy użyciu paliwa wspomagającego. Jeśli zawartość suchej masy wynosi około 40% spalanie może odbywać się bez dodatku takiego paliwa. Osady ściekowe o zawartości suchej masy około 92% mogą być stosowane jako paliwo uzupełniające, np. w elektrociepłowniach lub cementowniach.

Składowanie osadów ściekowych jest ostatecznym rozwiązaniem. Na podstawie regulacji prawnych w Unii Europejskiej szcuje się, że około roku 2005 proces ten będzie całkowicie zabroniony w krajach Wspólnoty.

17. OCZYSZCZANIE INFILTRACYJNE ODCIEKÓW

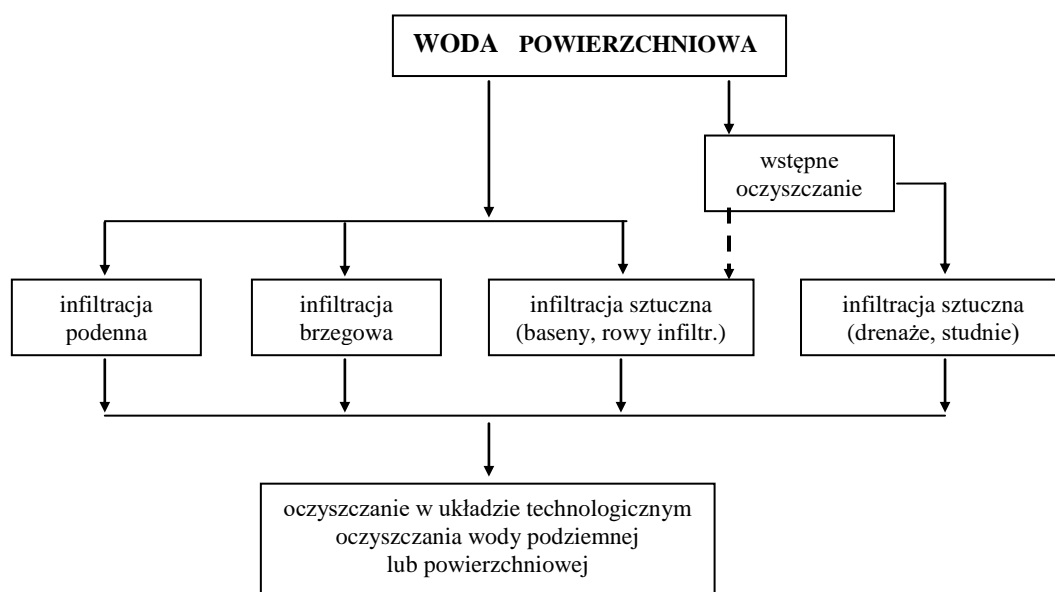
Odcieki ze składowiska odpadów, ujęte rowem opaskowym, odprowadzane są do oczyszczalni. Od zastosowanej metody oczyszczania zależy stopień oczyszczenia wody i sposób jej dalszego wykorzystania. Wody odciekowe stanowią jednak dodatkowe obciążenie dla oczyszczalni komunalnych, które oczyszczają ścieki bytowo-gospodarcze o odmiennym składzie jakościowym wody. Ponadto uruchomiony musi być dodatkowy tabor samochodowy wywożący odcieki składowiskowe do oczyszczalni. Rozwiązaniem może być budowa sieci kanalizacyjnej, którą odcieki spływają bezpośrednio do oczyszczalni, ale jest to możliwe tylko w przypadku niewielkich odległości pomiędzy obiektami.

Dla ściśle określonych warunków lokalnych najprostszą i najbardziej ekonomiczną metodą oczyszczania wód odciekowych może okazać się oczyszczalnia zlokalizowana na terenie składowiska odpadów. Wody oczyszczone przez własną oczyszczalnię wykorzystane

mogą być do zraszania zrehabilitowanego składowiska lub odprowadzane do gruntu. W gruncie zachodzi dalszy, naturalny proces samooczyszczania (doczyszczania wody).

Oczyszczanie ścieków w środowisku glebowym, stanowiącym naturalny filtr, prowadzone jest od zarania dziejów samoczynnie, przez siły naturalne działające w środowisku przyrodniczym i jest naturalnym procesem uzdatniania wody. Naturalny proces wykorzystuje złożone środowisko glebowe, jako siedlisko różnorodnych mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych oraz współwystępującej roślinności do wiązania zanieczyszczeń zawartych w wodzie.

Wykorzystując zjawisko samooczyszczania się wód w przyrodzie, proces ten może być prowadzony w sposób kontrolowany, poprzez zastosowanie metody oczyszczania odcieków w procesie infiltracji. Oczyszczanie odcieków metodą infiltracyjną w środowisku glebowym jest jedną z najbardziej naturalnych metod oczyszczania, możliwą do wykorzystania w miejscu zagospodarowywania odpadów, efektywną i odciążającą oczyszczalnie komunalne. Poszczególne procesy infiltracyjnego oczyszczania ilustruje rysunek 41.



Rysunek 41. Schemat oczyszczania wody powierzchniowej z wykorzystaniem infiltracji (A.L.Kowal, M.widerska-Bróz, 2000)

Infiltracja jest naturalnym, bezreagentowym procesem oczyszczania wody, który prowadzony jest w naturalnym środowisku glebowym z warstwą wodonośną, lub w sztucznie utworzonym środowisku glebowym o podwyższonej wilgotności (złoże

filtracyjne). Środowiska te noszą nazwę „oczyszczalni infiltracyjnych”, w których - w wyniku przesiąkania wody przez warstwę gleby - zachodzą jednostkowe procesy samooczyszczania. Współwystępują tutaj procesy fizyczne, chemiczne, biochemiczne, fizyczno-chemiczne i biologiczne, które współdecydują także o stopniu oczyszczenia wody. Do podstawowych jednostkowych procesów infiltracji należą: wytrącanie (węglanów, metali ciężkich), wiązanie (związków azotu, fosforu), sedymentacja, samokoagulacja, hydroliza, nityfikacja, denityfikacja, wymiana jonowa, biosorpcja, fotoliza i uśrednianie składu wody, biochemiczny rozkład materii organicznej, wyrównywanie temperatury wody i inne. Procesy te prowadzone są przy współdziałaniu mikroorganizmów licznie zasiedlających środowisko glebowe. Mikroorganizmy skoncentrowane na cząstkach gleby tworzą „błonę biologiczną”. **Błona biologiczna** jest to śluzowaty nalot, składający się z różnych gatunków bakterii, glonów, pierwotniaków, wirusów (celulolityczne, denityfikatory, azotobakterie, bakterie amonifikujące i inne), które przyłączone są do porowatych cząstek fazy stałej, czyli cząstek gleby i korzeni roślin. Tak zróżnicowana biomasa mikroorganizmów prowadzi proces zatrzymywania, pochłaniania, utleniania i redukcji substancji organicznej. Szybkość zachodzących procesów zależy od ilości biomasy zgromadzonej w środowisku glebowym, wielkości powierzchni kontaktu „odcieki-gleba-mikroorganizmy”, szybkości wymiany masy pomiędzy biomasą, odciekami, glebą i przepływającym tlenem atmosferycznym. Błona biologiczna ma budowę warstwową, w której, w zależności od warunków środowiska, występuje strefa aerobowa, anaerobowa i endogenna. W każdej z tych stref rozwija się, optymalna dla panujących w niej warunków, kolonia drobnoustrojów.

Jakość oczyszczonej wody infiltrującej przez infiltracyjne złożo gruntowe zależy od jakości i ilości procesów zachodzących w objętości złoża gruntowego wypełnionego odciekami. Na jakość oczyszczanej wody mają także wpływ procesy zachodzące w osadzie dennym.

Osad denny stanowi obumarła materia organiczna roślinna i zwierzęca oraz wytrącone związki mineralne. Przebiegają w nim procesy biochemiczne utleniania, redukcji, sorpcji, hydrolizy, wymiany jonowej, filtracji, wytrącania i uśredniania składu wody. Procesy te prowadzone są zawsze przy współdziałaniu beztlenowej mikroflory gnilnej, beztlenowców celulolitycznych, bakterii metanogennych, bakterii redukujących siarczany, purpurowych bakterii bezsiarkowych i wielu innych. Na całość zachodzących procesów wywiera wpływ temperatura otoczenia i wnętrza basenu infiltracyjnego, stopień nasłonecznienia odcieków, pH, potencjał oksydacyjno-redukcyjny, ilość i rodzaj mikroorganizmów. Optymalny czas przepływu pionowego odcieków przez złożo infiltracyjne wynosi od kilku godzin do

kilkudziesięciu dni. Okres zatrzymywania wody w stawie sprzyja procesom sedymentacji, samokoagulacji i uśredniania składu wody. Ograniczona wodoprzepuszczalność osadów dennych, stanowi specyficzną membranę, na której zatrzymywane są zasocjowane zanieczyszczenia.

Uśrednianie składu wody jest procesem samorzutnego mieszania się odcieków doprowadzonych do poziomów infiltracyjnych z wodą w nich zgromadzoną. Proces ten korzystnie wpływa na destabilizację koloidów i samokoagulację. Proces koagulacji jest pod bezpośrednim wpływem pH środowiska wodnego, które zmienia się w ciągu roku. Powodem zmian stężenia jonów H^+ są zakwity glonów zachodzące, między innymi, pod wpływem zmian temperatury otoczenia.

Wielkość wskaźników, których przekroczenie wymaga infiltracyjnego oczyszczenia wody powierzchniowej ilustruje tabela 25.

Tabela 25. Wymagania stawiane wodzie powierzchniowej, których przekroczenie wymaga infiltracyjnego oczyszczenia ((A.L.Kowal, M.widerska-Bróz, 2000)

Wskaźnik wody	Dopuszczalna wartość
Mętność, g/m^3	20 – dla piasków o $d = 0,5 - 1,0$ mm; 10 – dla piasków o $d = 0,15 - 0,3$ mm
Barwa, $g Pt/m^3$	60 – gdy woda zawiera do 50% kwasów humusowych powodujących barwę; 40 – gdy woda zawiera więcej niż 50% kwasów humusowych powodujących barwę
Plankton, liczba komórek/ cm^3	10000
Ogólna liczba bakterii, liczba komórek/ cm^3	1000 – dla piasków o $d = 0,5 - 1,0$ mm; 5000 – dla piasków o $d = 0,15 - 0,3$ mm
Fenole, g/m^3	0,001
SPC, g/m^3	0,5
Produkty naftowe, g/m^3	1,5 (w tym 0,3 rozpuszczalnych)
Żelazo, g/m^3	3,0
Ołów, g/m^3	0,1
Miedź, g/m^3	1,0
Rtęć, g/m^3	0,05
Cynk, g/m^3	5,0
Fosforany, g/m^3	1,0
DDT, g/m^3	0,1
Polichloropiren, g/m^3	0,2
Chlorofos, g/m^3	0,05
Utlenialność, $g O_2/m^3$	15
ChZT, $g O_2/m^3$	30
Temperatura, $^{\circ}C$	$25^{\circ}C$ z krótkotrwałymi przedziałami do $30^{\circ}C$
Tlen rozpuszczony, $g O_2/m^3$	pełne nasycenie

Spośród wielu czynników wpływających na efekt „pracy” systemu infiltracyjnego nie można pominąć podstawowego czynnika, jakim jest tlen. Tlen przenika z atmosfery do złoża filtracyjnego w procesie fizycznym, jakim jest dyfuzja. Proces dyfuzji tlenu uzależniony jest od rodzaju struktury i wilgotności gruntu. Istotnymi parametrami są także: wielkość i kształt ziarn złoża, porowatość i przepuszczalność, połączenie poszczególnych porów, czyli krętość. Przy dużej wilgotności złoża, a małej porowatości gazowej, występuje mała liczba wolnych porów powietrznych. Z powodu zaniku ciągłości kanalików powietrznych, wolne pory izolowane są korkami wodnymi. Tlen stopniowo jest zużywany w procesach oddychania tlenowego mikroorganizmów, aż do całkowitego zaniku. Zjawisko to jest bardzo niekorzystne z uwagi na aktywność biologiczną złoża, które w takim przypadku nie nadaje się do procesu oczyszczania odcieków.

Z uwagi na specyficzny charakter odcieków składowiskowych do ich oczyszczania zalecane jest zastosowanie sztucznego środowiska glebowego, czyli basenów infiltracyjnych, w których możliwa jest wymiana złoża filtracyjnego.

17.1. Basen infiltracyjny

Basen infiltracyjny jest obiektem budowlanym z uszczelnionym podłożem gruntowym i bokami. Uszczelnienie może być naturalne lub sztuczne, podobnie jak przy uszczelnianiu składowisk odpadów. Na warstwie uszczelnienia kładzie się podsypkę, na której układa się drenaż do spływu wody oczyszczonej. Drenaż zabezpieczony jest przed kolmatacją zasypką żwirową lub piaskową. Powierzchnia basenu wypełniona jest złożem, który stanowi żwir i piasek o określonym uziarnieniu, odpowiednio dobranym współczynnika filtracji, porowatości, wysokości i długości warstwy filtracyjnej. Baseny infiltracyjne do oczyszczania odcieków składowiskowych mają zazwyczaj długość 15÷20 m oraz wysokość wypełnienia basenu odciekami od 1,5 m do 2,0 m. W zależności od położenia geograficznego i panujących warunków klimatycznych, dla zapewnienia właściwej prędkości filtracji odcieków przez złożę, głębokość ta może dochodzić do 3 m. Dla wykorzystania właściwości uśredniających, stosunek długości do szerokości basenu powinien wynosić minimum 4:1.

Cykl pracy oczyszczalni infiltracyjnych rozpoczyna etap zalewania basenu odciekami. Z upływem czasu zalewania zmniejszeniu ulega prędkość wsiąkania odcieków w złożę w wyniku uszczelnienia dna usuwanymi zanieczyszczeniami, zmiany wilgotności złoża oraz pojawienia się błony biologiczno – mechanicznej. Intensywność zalewania złoża odciekami wpływa na proces przesiąkania odcieku w złożę. Tutaj zalecane jest prowadzenie

intensywności zalewania większej od intensywności początkowego przesiąkania odcieków. Ogranicza to zasięg kolmatacji dna basenu.

Po napełnieniu basenu odciekami do wymaganego poziomu rozpoczyna się etap eksploatacji basenu. Czas przepływu odcieków przez złożę powinien wynosić od 3 do 10 dni. W tym czasie intensywność infiltracji zmienia się, z powodu uszczelnienia dna maleje jej prędkość, a po osiągnięciu wartości mniejszej od minimalnej basen zostaje wyłączony z pracy w celu jego oczyszczenia. Oczyszczanie basenu polega na jego odwodnieniu, osuszeniu, a następnie mechanicznym lub ręcznym usunięciu złoża zakolmatowanego osadem. Usunięte złożę może być ponownie użyte po procesie oczyszczania przy pomocy płuczek wodnych.

Powstające podczas infiltracji osady stanowią mieszaninę substancji organicznych i nieorganicznych, a także mikroorganizmów, które również biorą udział w procesach oczyszczania (sorpcji, wymiany jonowej, hydrolizy i innych).

Metody infiltracyjne stosuje się również do oczyszczania zanieczyszczonych wód powierzchniowych.

18. OCZYSZCZALNIA HYDROBOTANICZNA

Interesującym technicznym rozwiązaniem oczyszczania odcieków na terenie składowiska jest metoda infiltracyjnego oczyszczania w gruncie z zastosowaniem roślinności oczeretowej. Miejsce oczyszczania nosi nazwę „oczyszczalnia hydrobotaniczna”, czyli biologiczno-oczyszczająco-retencyjna.

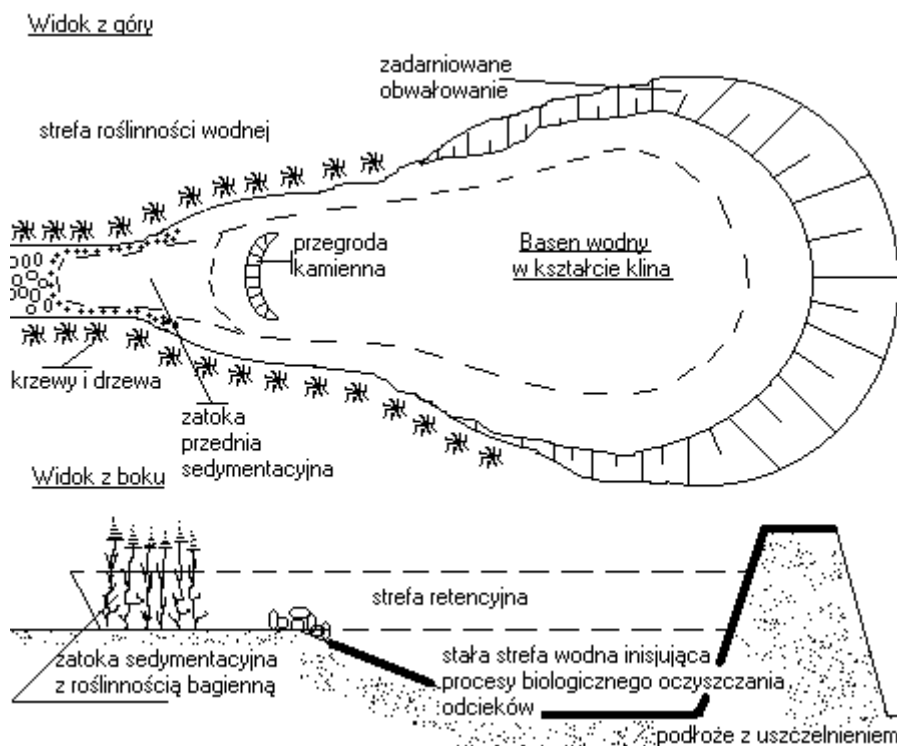
Oczyszczalnia hydrobotaniczna stanowi cenne dla środowiska naturalnego siedlisko roślin i mikroorganizmów, które dla podtrzymania swych procesów życiowych asymilują substancje zawarte w odciekach. Flora i fauna hydrobotaniczna jest zakładem utylizacyjnym dla zanieczyszczeń zawartych w wodzie, atmosferze i glebie. Oczyszczalnie hydrobotaniczne stanowią bardzo prosty system technologiczny neutralizacji odcieków, a zastosowanie roślinności aktywnej w okresie wegetacyjnym (około 200 dni w roku) powoduje, że wytrącające się zawiesiny nie tworzą zwartych osadów. Ilość otrzymanego osadu ściekowego jest znikoma, a tym samym prędkość filtracji zmniejsza się znacznie wolniej niż w basenach infiltracyjnych nie obsadzonych roślinnością. Wpływa to na czas pracy oczyszczalni, bowiem osadu przez wiele lat nie trzeba usuwać. Wydajny okres pracy oczyszczalni może wynosić ponad 20 lat, czyli tyle ile mniej więcej wynosi czas intensywnego rozkładu odpadów na składowisku i intensywnej „produkcji” odcieków. Zmniejszenie ilości osadu

(mułu) jest wynikiem usuwania, asymilowania przez rośliny związków stanowiących zanieczyszczenie: azotu, fosforu, metali ciężkich, substancji refrakcyjnych i wielu innych.

Technologia oczyszczania hydrobotanicznego opiera się na współdziałaniu ze sobą procesów chemicznych, biologicznych, fizycznych i biochemicznych, które w efekcie prowadzą do naturalnego, samooczyszczającego się procesu odcieków. Proces samooczyszczania się odcieków opiera się na zjawisku sorpcji (zatrzymywania zanieczyszczeń na cząstkach gleby), desorpcji (proces odwrotny do sorpcji), chemicznych reakcjach utleniania i redukcji, sedymentacji (osiadanie cząstek zanieczyszczeń), filtracji, wytrącania i rozpuszczania, biologicznej aktywności roślin oraz mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych, biochemicznego rozkładu substancji organicznej pod wpływem mikroorganizmów, światła i temperatury. Podobnie jak w przypadku basenów infiltracyjnych, cały proces uzależniony jest od ilości, jakości i aktywności wytworzonej błony biologicznej, która oczyszcza odcieki.

Oczyszczalnię hydrobotaniczną stanowi ekosystem bagienny. Funkcjonuje on w optymalnych dla siebie warunkach środowiskowych, w których przez znaczną część roku kalendarzowego poziom wody gruntowej znajduje się tuż pod powierzchnią terenu lub nieco powyżej tej powierzchni. Biocenoza bagienna, czyli docelowa, charakteryzuje się odpornością na zalewanie, dużą ilością pędów, kłaczy i rozłogów korzeniowych oraz zdolnością szybkiej regeneracji. Zazwyczaj stanowi ona biocenozę obcą dla naturalnych siedlisk i niezgodną z warunkami jej naturalnego rozwoju, gdyż oczyszczalnia hydrobotaniczna jest systemem sztucznie wytworzonym przez człowieka. W celu minimalizacji wpływu środowiska sztucznie utworzonego na rozwój roślinności bagiennej nie przystosowanej do panujących warunków siedliskowych, należy prowadzić planową ocenę biotechnicznego zastosowania danego gatunku roślinności. Uzyskuje się to poprzez fitosocjologiczną ocenę otoczenia naturalnego, naturalnego biotopu i naturalnych warunków siedliskowych. Na podstawie aktualnego, naturalnego zbiorowiska roślinności można dobrać roślinność bagienną typową i towarzyszącą, o pożądanym właściwościach, najbardziej optymalną dla wytworzonych warunków sztucznych i otaczającego środowiska. Najczęściej wykorzystywaną roślinność stanowi trzcina (*Phragmites australis*), pałka wodna (*Typha latifolia*), sitowie (*Juncus*), turzyce (*Carex*) i inne. Należą one do bylin tworzących w warunkach naturalnych roślinność oczeretową. Strefę przybrzeżną obsadza się najczęściej wierzbą krzewiastą oraz wikliną konopianką (*Salix viminalis*). Biocenoza ta posiada duże wymagania pokarmowe, pochłania więc składniki odżywcze występujące w środowisku w nadmiarze, czyli stanowiące zanieczyszczenia.

Oczyszczalnie hydrobotaniczne najczęściej wykonuje się w formie stawu o kształcie serpentyny (rysunek 42). Kształt ten wpływa na maksymalne wykorzystanie terenu. Ponadto wymusza zatrzymywanie ścieków przez długi okres czasu, co wpływa na odpowiednie ich natlenienie i całkowity przebieg reakcji chemicznych procesu oczyszczania. Dno stawu powinno być dokładnie zaizolowane warstwą nieprzepuszczalną (analogicznie jak na składowisku odpadów) o takiej konsystencji, która uniemożliwi przenikanie zanieczyszczeń do wód gruntowych. Brzegi i powierzchnia stawu obsadzana jest roślinnością oczeretową.

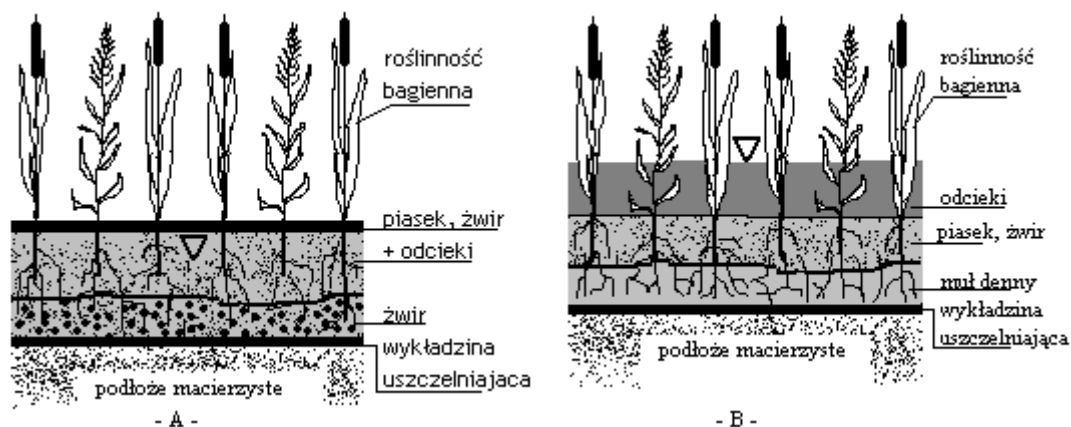


Rysunek 42. Schemat stawu biologicznego oczyszczającego i retencjonującego odcieki (M.Głażewski, 1997; zmienione)

18.1. System hydrobotaniczny oczyszczania wody i ścieków

Staw hydrobotaniczny, może być wykonany na dwa sposoby (rysunek 43):

1. w *systemie z powierzchniowym przepływem wody*, jako obiekt, w którym poziom wody gruntowej stale utrzymuje się nieco powyżej powierzchni gruntu;
2. w *systemie z podpowierzchniowym przepływem wody*, jako obiekt, w którym poziom wody gruntowej utrzymuje się okresowo nieco poniżej powierzchni gruntu.



Rysunek 43. System oczyszczalni hydrobotanicznej z:
 A) podpowierzchniowym, B) powierzchniowym przepływem wody.

W systemie hydrobotanicznym z powierzchniowym przepływem wody dolne części roślin, którymi obsadzony jest teren oczyszczalni, tworzą silnie rozbudowane w mule dennym korzenie (kłącza, rozłogi). Umożliwiają one roślinom rozwój w grząskim czy półpłynnym podłożu. Podłoże stawu stanowi sztucznie utworzone złożo filtracyjne o odpowiednim składzie granulometrycznym i mineralogicznym, współczynnika filtracji (powyżej 10^{-3} m/s), porowatości, odsączalności jednolitych żwirów lub piasków. Staw zalewany jest odciekami do poziomu nieco powyżej powierzchni złoża filtracyjnego. Wysokość warstwy filtracyjnej wynosi co najmniej $1,2 \div 1,5$ m, a długość warstwy filtracyjnej około $15 \div 20$ m. Stosunek długości do szerokości nie powinien być jednak mniejszy jak 4:1. Nachylenie terenu dla swobodnego spływu wody powinno wynosić około $1 \div 3$ %. Korzenie i część łodyg roślinności oczeretowej znajduje się pod powierzchnią wody (odcieków), pozostała część roślin wyrasta ponad jej powierzchnię.

W systemie hydrobotanicznym z podpowierzchniowym przepływem wody dolne części roślin rozbudowane są w podobnie uformowanym złożu filtracyjnym. Różnica polega na przepływie wody (odcieków), który odbywa się pod powierzchnią terenu.

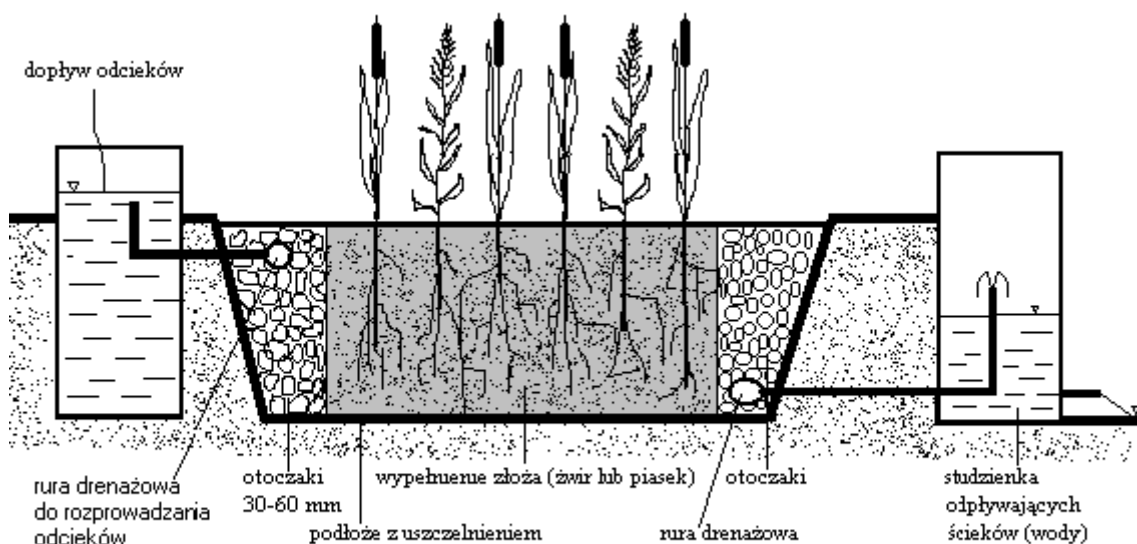
Bez względu na przyjęty system przepływu, roślinność sadzona powinna być w specjalnych koszach, które ułatwiają ich pielęgnację, wymianę i natlenianie stawu. Kosze usytuowane powinny być co $1 \div 2$ m od siebie, aby korzenie zbyt ekspansywnie nie przerastały warstwy złoża.

Doprowadzenie ścieków do stawu hydrobotanicznego prowadzone powinno być w miarę równomierny sposób, który uniemożliwia kontakt odcieków z powietrzem atmosferycznym. Do tego celu stosuje się dwie technologie (rysunek 44):

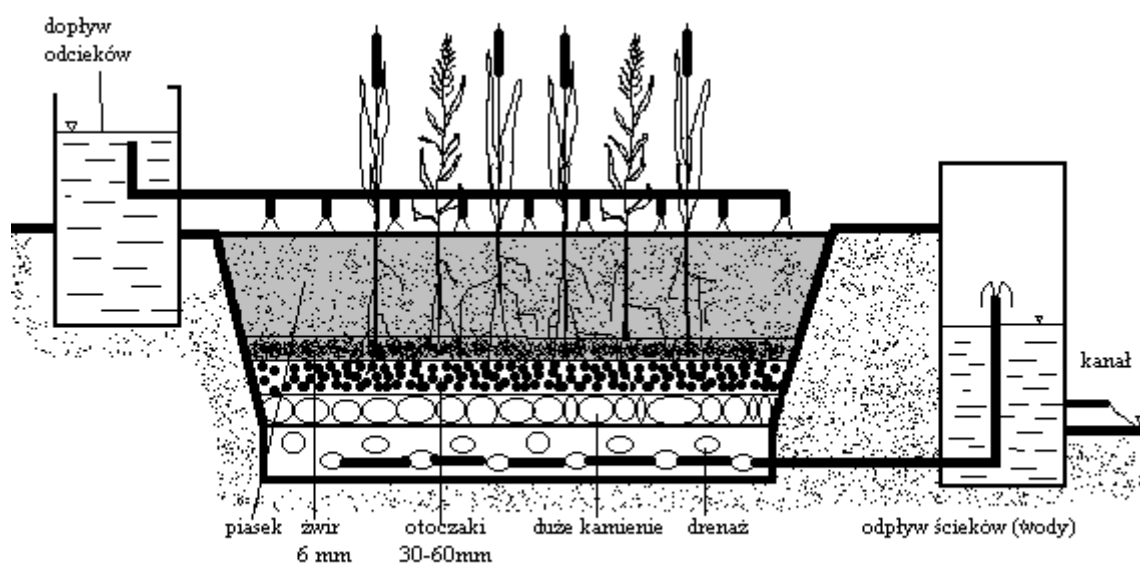
1. W uformowanym sztucznie złożu filtracyjnym wykonany jest drenaż doprowadzający odcieki w miarę równomierny sposób w *kierunku poziomym*. Rozprowadzanie odbywa się w warstwie o szerokości 0,5 m ułożonej z kamieni o wymiarach 50÷200 mm, umieszczonych w ażurowych koszach z siatki.
2. Ścieki doprowadzane są punktowo na powierzchnię złoża filtracyjnego, poprzez którą infiltrują w *kierunku pionowym* w głąb gruntu. Złoże filtracyjne jest wielowarstwowe, na dnie złoża układa się warstwę kamieni, które przysypuje się warstwą otoczków o średnicy około 30÷60 mm, otoczaki przysypuje się warstwą żwiru o średnicy ziarn około 12 mm i 6 mm. Ostatnią, wierzchnią warstwę stanowi piasek.

Odbiór oczyszczonej wody ze złoża powinien umożliwiać regulację poziomu ścieków w złożu w zależności od pory roku. W tym celu przewód odpływowy dla oczyszczonej wody połączony powinien być ze studzienką odpływową, która umożliwia regulację poziomu wypływu oczyszczonej wody.

Efektywną metodą oczyszczania odcieków jest łączenie omówionych sposobów w system dwustopniowego oczyszczania. W tym celu złoża z przepływem poziomym i pionowym łączy się szeregowo. System ten intensyfikuje oczyszczanie odcieków.



Podpowierzchniowy przepływ ścieków (poziomy)



Powierzchniowy przepływ ścieków (pionowy)

Rysunek 44. Systemy hydrobotaniczne: z podpowierzchniowym i powierzchniowym przepływem wody

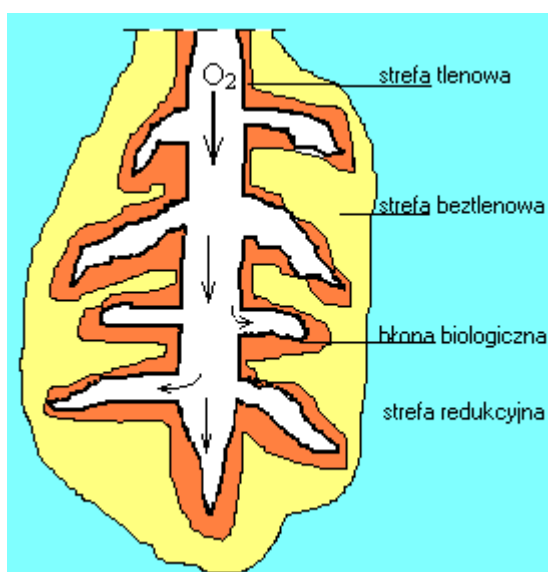
18.2. Zasada działania oczyszczalni hydrobotanicznej

Oczyszczalnia hydrobotaniczna należy do podmokłych ekosystemów. Woda utrzymywana jest stale lub okresowo nieco powyżej poziomu powierzchni gleby przez znaczną część roku. „Praca” oczyszczalni opiera się na procesach fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych, jakie zachodzą w całym pionowym przekroju złoża filtracyjnego. Roślinność oczeretowa, jaką jest obsadzony staw hydrobotaniczny oraz mikroorganizmy tlenowe i beztlenowe żyją ze sobą w symbiozie. Rola mikroorganizmów omówiona została w rozdziale dotyczącym oczyszczalni infiltracyjnych, omówiona więc zostanie jedynie rola roślinności. Roślinność oczeretowa należy do ekosystemu, który ma wysokie wymagania pokarmowe. Substancję odżywczą rośliny mogą pobierać z wodnego roztworu glebowego jedynie w postaci jonowej (CO_2 , sole azotu, siarczany i inne). Do podstawowych pierwiastków, które zapewniają prawidłowe procesy życiowe roślin należą, między innymi: B, C, Ca, Cl, Cu, Fe, H_2 , K, Mg, Mn, Mo, N_2 , O_2 , P, S, Zn. Substancja mineralna ulega szybkiemu wyczerpaniu i jej dalsze pobieranie przez rośliny możliwe jest tylko dzięki mikroorganizmom, które mineralizują substancję organiczną i rozkładają złożone związki mineralne na związki proste.

Substancja pokarmowa pobierana jest przez rozbudowany system korzeniowy roślin. Tworzą się wokół niego dwie strefy: strefa aerobowa i anaerobowa, które stymulują rozwój drobnoustrojów. Obie przykorzeniowe strefy noszą nazwę *ryzosfery* (rysunek 45). Ryzosfera jest siedliskiem mikroorganizmów celulolitycznych, amonifikujących, denitryfikacyjnych, azotobakterii i wegetatywnych form grzybów i innych, tworzących błonę biologiczną na powierzchni korzeni roślin i ziarn złoża. Skład mikroflory ryzosfery zależy od gatunku roślinności i ich stadium rozwojowego.

Organy asymilujące roślin, znajdujące się nad powierzchnią wody, prowadzą wymianę gazową z atmosferą. System przewietrzający, złożony jest z dużych przestworów międzykomórkowych, które wypełnione są powietrzem. Dostarcza on tlen do korzeni roślin. Korzenie uwalniając tlen, tworzą wokół siebie strefę aerobową (nitryfikacyjną), zaś ich kłącza rosną w mule dennym złoża filtracyjnego, w którym panują warunki anaerobowe (denitryfikacyjne, defosfatowe). System korzeniowy roślin, oprócz wymiany gazowej uwalnia również substancje organiczne, stanowiące źródło pokarmu dla mikroorganizmów, jak cukry, witaminy, kwasy organiczne, aminokwasy, związki taninowe itp. Wydzielane przez rośliny substancje wpływają pobudzająco lub hamująco na rozwój określonych kolonii mikroorganizmów. Jednak dzięki specyficznej współzależności tychże drobnoustrojów wiele związków, jak na przykład związki fosforu, azotu, węgla i innych pierwiastków należących do najważniejszych substancji biogennych, zostaje „unieszkodliwiona”.

Optymalna prędkość przepływu wody regulowana jest przez system korzeniowy roślin porastających staw oraz 1÷3-procentowe nachylenie terenu.



Rysunek 45. Szczegół ryzosfery z „pracującą” częścią korzenia

Docierające do powierzchni stawu światło słoneczne wywołuje proces fotolizy, który prowadzi do rozkładu niektórych substancji zawartych w złożu (np. nitrozoamin i herbicydów). Proces ten zwiększa także ilość O_2 rozpuszczonego w odciekach oraz wartość pH. Wzrost wartości pH wpływa na samorzutne wytrącanie się węglanów wapnia i wodorotlenków różnych metali.

Światło słoneczne powoduje ogrzanie powierzchni złoża, które charakteryzuje się określoną pojemnością i przewodnością cieplną.

Pojemność cieplna złoża pozwala na gromadzenie pewnej ilości ciepła. Ilość ta jest równa stosunkowi ilości ciepła pobranego przez złoże do przyrostu jego temperatury.

Przewodność cieplna jest zdolnością złoża do przewodzenia ciepła przez jego warstwy. Efektem tego jest wzrost temperatury złoża wraz z jego głębokością.

Dodatkowym źródłem ciepła w złożu są egzotermiczne reakcje chemicznego rozkładu materii organicznej. Wymienione parametry wpływają na dobowe zmiany temperatury złoża (dzień, noc) oraz roczne zmiany temperatury w zależności od pory roku. Temperatura złoża jest czynnikiem wpływającym na szybkość zachodzących procesów oczyszczania pod wpływem dyfundującego z atmosfery i powstającego w złożu tlenu.

W wyniku rozkładu substancji organicznej złoże pobiera O_2 i wydziela CO_2 w procesie zwanym „oddychaniem” złoża. W nocy, gdy temperatura otoczenia spada, spada także temperatura złoża filtracyjnego. Ze spadkiem temperatury stężenie O_2 i wartość pH ulegają zmniejszeniu, by w ciągu dnia ponownie wzrosnąć (wraz ze wzrostem temperatury). Zmiany te wpływają na cykliczną dynamikę procesów tlenowych i beztlenowych, które są źródłem odpowiednich reakcji rozkładu. Warunkiem utrzymania procesów mikrobiologicznych, a tym samym efektywności oczyszczalni, jest utrzymanie optymalnej temperatury złoża i odcieków powyżej $8^{\circ}C \div 10^{\circ}C$, szczególnie w sezonie zimowym. Efekt ten uzyskać można poprzez obniżenie poziomu odcieków w złożu.

Zakumulowane zanieczyszczenia w osadzie dennym i w obumarłej biomase roślinności oczeretowej stanowią wtórne zanieczyszczenia, które usuwać można metodami stosowanymi podczas utylizacji osadów ściekowych.

18.2.1. Przyczyny złej pracy oczyszczalni hydrobotanicznej

Oczyszczalnia hydrobotaniczna nie będzie prawidłowo spełniać swojego zadania w przypadkach, gdy:

1. Złoże filtracyjne zbudowane jest z rodzimego gruntu, przez który odcieki nie infiltrują. Gleba może tworzyć mało- lub nieprzepuszczalną warstwę, w której drobnoziarniste cząstki o wymiarach mniejszych od 0,075 mm, stanowią ponad 50%.
2. Zastosowano warstwę nieprzepuszczalną (glebę rodzimą) na warstwie właściwego złoża, co wpływa na brak lub zmniejszenie ilości tlenu dopływającego do odcieków.
3. Wprowadzono naprzemiennie warstwy gleby rodzimej i warstwy złoża filtracyjnego. Z upływem czasu dochodzi do zakolmatowania warstwy rodzimego gruntu. Odcieki przepływając przez warstwę o większej przepuszczalności mieszają się i zbierają odcieki z warstw nieprzepuszczalnych, nie infiltrując już przez niżej położone warstwy złoża. Prowadzi to do zmniejszenia wydajności oczyszczalni.
4. Źle dobrano współczynnik filtracji, porowatości, przewodności hydraulicznej dla złoża filtracyjnego, które zbyt wolno lub szybko przepuszcza odcieki.
5. Spływ odcieków przez złoże jest zbyt szybki, przez co nie jest możliwe wytworzenie przez mikroorganizmy błony biologicznej na powierzchni cząsteczek złoża i korzeni roślinności, a to ona sprzyja procesom tlenowego i beztlenowego oczyszczania wody.
6. Brak regulacji odpływu oczyszczonej wody do studzienki odpływowej prowadzi do zbyt szybkiego spadku poziomu odcieków w złożu. Wpływa to na niepożądany rozwój chwastów na powierzchni złoża.
7. Niewłaściwie dobrane wymiary geometryczne złoża: długość, szerokość, głębokość negatywnie wpływają na zapewnienie przebiegu wszystkich i w pełnym wymiarze procesów oczyszczania, jakie powinny zachodzić w złożu.
8. Usunięte zostają szczątki roślin porastających złoże przed okresem zimowym. Szczątki roślinne w procesach rozkładu organicznego wydzielają ciepło, chroniąc tym samym złoże przed nadmiernym spadkiem temperatury.
9. W okresie zimowym poziom odcieków nie jest obniżony co najmniej do poziomu 60 cm od powierzchni złoża. Wpływa to na obniżenie temperatury złoża poniżej 8⁰C, ginie wówczas wiele mikroorganizmów i proces oczyszczania zostaje zahamowany.
10. Staw obsadzany jest roślinnością szybko przerastającą złoże, bez zastosowania perforowanych koszy. Utrudnia to dostęp tlenu do systemu korzeniowego roślin, które nadmiernie przerastają złoże.

19. PRACE WYKONYWANE NA SKŁADOWISKU

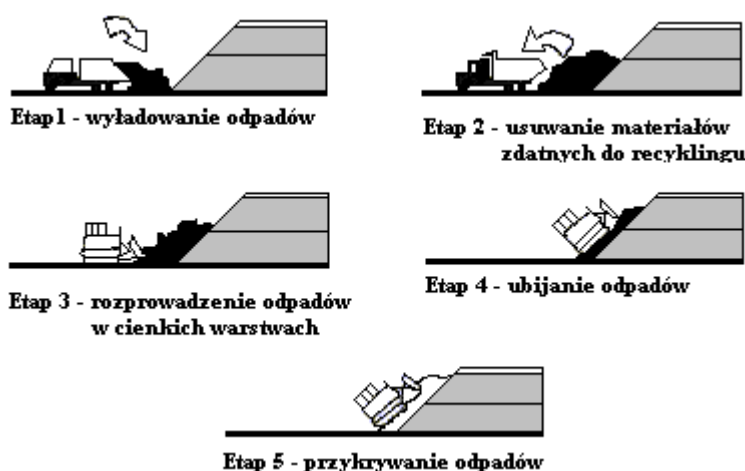
Mając na uwadze ochronę terenów, które mogą być w perspektywie czasowej oddawane pod kolejne składowiska odpadów, należy w sposób jak najbardziej racjonalny i oszczędny prowadzić gospodarkę odpadami, tak lokalną, jak i regionalną oraz krajową.

Oszczędna gospodarka odpadami, to nie tylko selektywna zbiórka odpadów, ale przede wszystkim oszczędzanie każdego m³ pojemności składowiska, które stanowi bezcenną wartość użytkową. Dlatego należy zwrócić uwagę na proces odpowiedniego składowania i zagęszczania odpadów, element niezwykle ważny, bo wpływający na czas eksploatacji składowisk i ich wydajność.

Dla każdego składowiska odpadów komunalnych określić można, na podstawie wielkości strumienia odpadów, wydajność eksploatacji składowiska i czas jego eksploatacji. Służą do tego wskaźniki nagromadzenia odpadów, które określają masę i objętość strumienia odpadów w cyklu miesięcznym i rocznym (scharakteryzowane w rozdziale wcześniejszym).

Codzienna eksploatacja składowiska odpadów oparta jest na następujących po sobie cyklach:

- dowozu odpadów na składowisko,
- rozładowania odpadów u podstawy roboczej powierzchni czołowej składowiska lub na górnej jego powierzchni (rysunek 45),
- wyselekcjonowaniu surowców wtórnych, przemysłowych lub niebezpiecznych (jeżeli nie dokonano tego u źródła),
- wyrównaniu warstwy odpadów, zagęszczeniu i przesypaniu warstwą inertną (gruz budowlany, stłuczka szklana, popiół, żwir, piasek, ziemia z odkrywek) (zdjęcie 7).



Rysunek 45. Skarpowa, codzienna eksploatacja składowiska odpadów komunalnych



Zdjęcie 7. Kwaterna składowiska stopniowo wypełniana strumieniem odpadów (składowisko odpadów w Dukli)

19.1. Plan zagospodarowania składowiska

Trzeba być świadomym faktu, że każde składowisko posiada określona pojemność, która łączy się albo z objętością pustki, w przypadku składowisk wgłębnych (podpowierzchniowych), albo z powierzchnią terenu dla składowisk powierzchniowych. Bez względu na lokalizację składowiska odpadów, dla sprawnego funkcjonowania systemu wypełniania składowiska, konieczne jest opracowanie planu zagospodarowania składowiska.

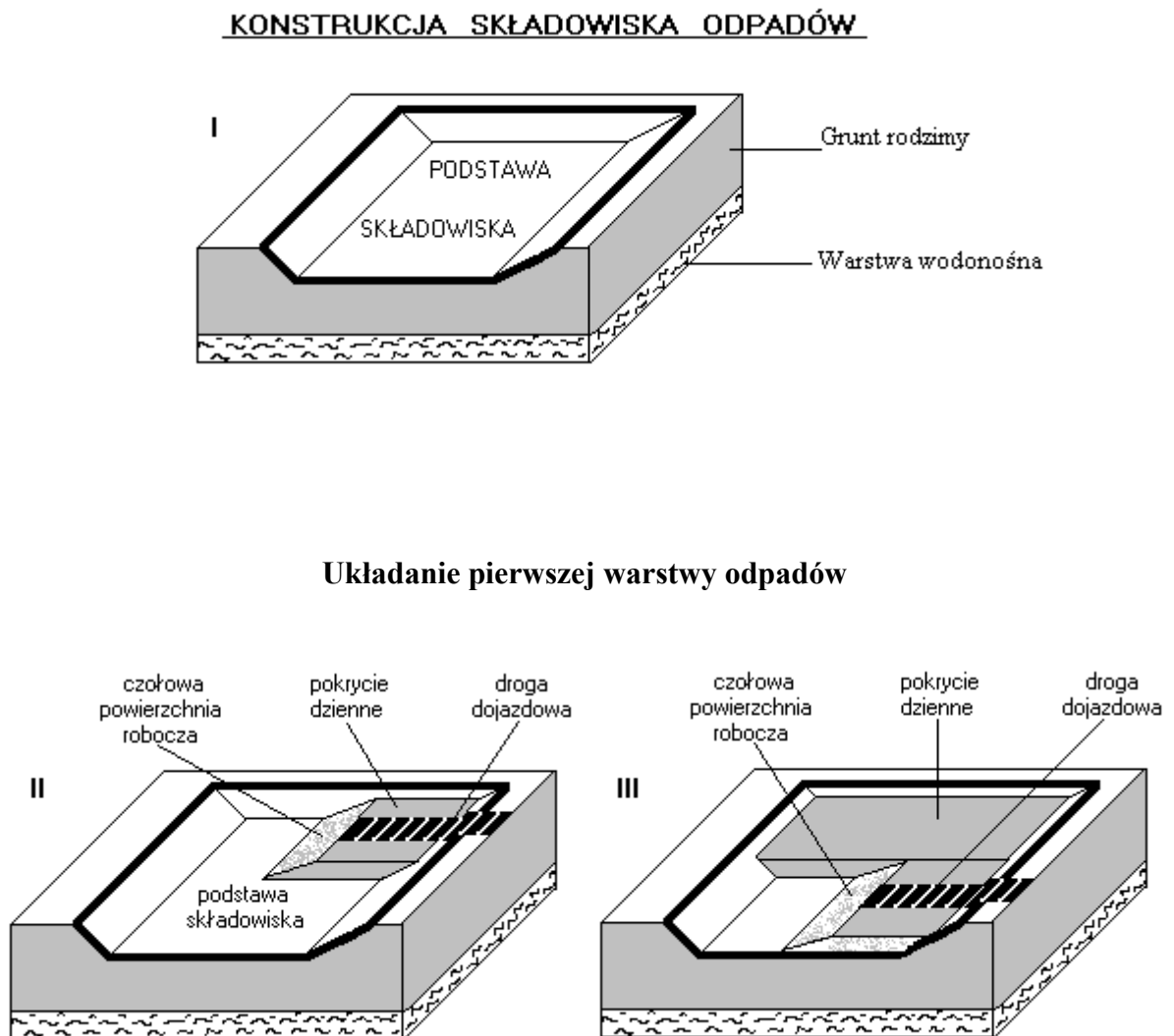
Plan zagospodarowania składowiska powinien cechować się:

- optymalną eksploatacją, polegającą na maksymalnym i całkowitym wykorzystaniu objętości składowiska i jego wydajności,
- możliwością systematycznego odprowadzania wód opadowych, odcieków i biogazu,
- możliwością układania, zagęszczania poszczególnych warstw odpadów w sposób uniemożliwiający lub minimalizujący przenikanie wód opadowych do wnętrza składowiska,
- możliwością codziennego przykrywania warstwą inertną (nieaktywną) warstw odpadów w celu ograniczenia rozsiewania odpadów przez wiatry, roznoszenia przez gryznie, ptaki, owady, chwilowego wydzielania odorów,
- możliwością zdejmowania warstw izolacyjnych codziennego pokrycia warstw odpadów na danym poziomie, dla umożliwienia pionowego spływu odcieków (w kierunku dna składowiska), co zapobiega powstawaniu przecieków na skarpach,
- takim układem drenaży, który nie utrudnia ruchu taboru samochodowego po składowisku, czy rozładunku odpadów,
- układem poziomów i tras dojazdowych na powierzchni składowiska, który zapewnia sprawne poruszanie się pojazdów po jego terenie,
- utrzymanie odpowiedniego pochylenia skarp składowiska,

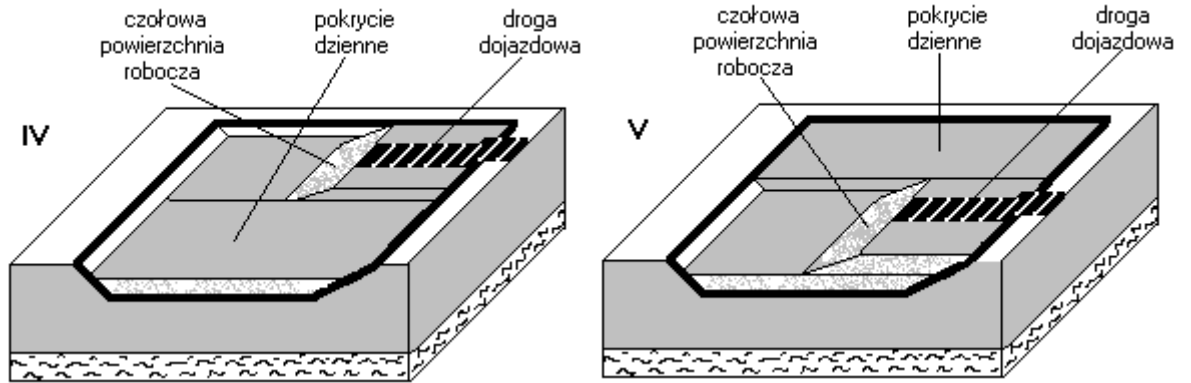
- utrzymanie jednokierunkowego pochylenia powierzchni składowiska,
- możliwość wykonywania tarasowych trawers wokół składowiska, które ułatwiają poruszanie się sprzętu samochodowego oraz umożliwiają wykonanie dodatkowego zabezpieczenia skarp.

Plan kolejności wypełniania składowiska powinien być okresowo kontrolowany w celu wykonania niezbędnych (i w odpowiednim czasie) korekt odchyleń od założonego planu, co zwiększa wydajność i efektywność zagospodarowania powierzchni. Przykład planu kolejności wypełniania składowiska ilustruje rysunek 47.

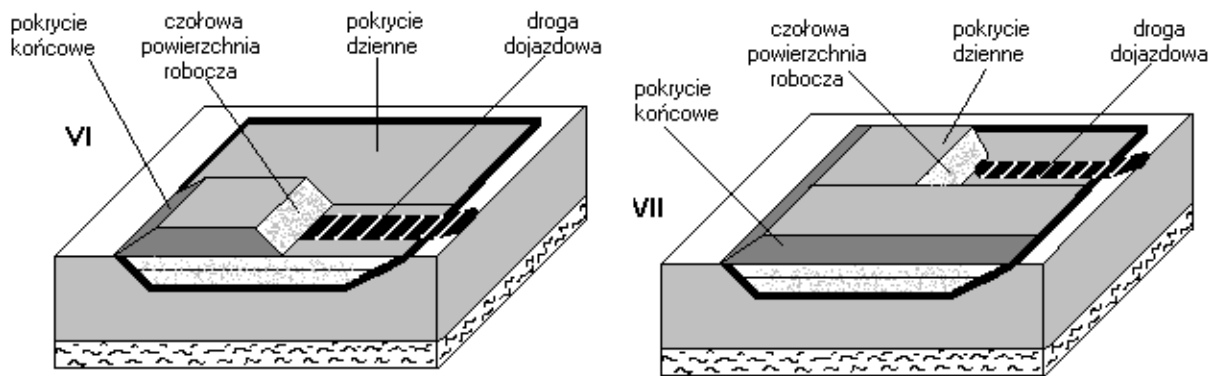
Rysunek 47. Plan kolejności wypełniania składowiska



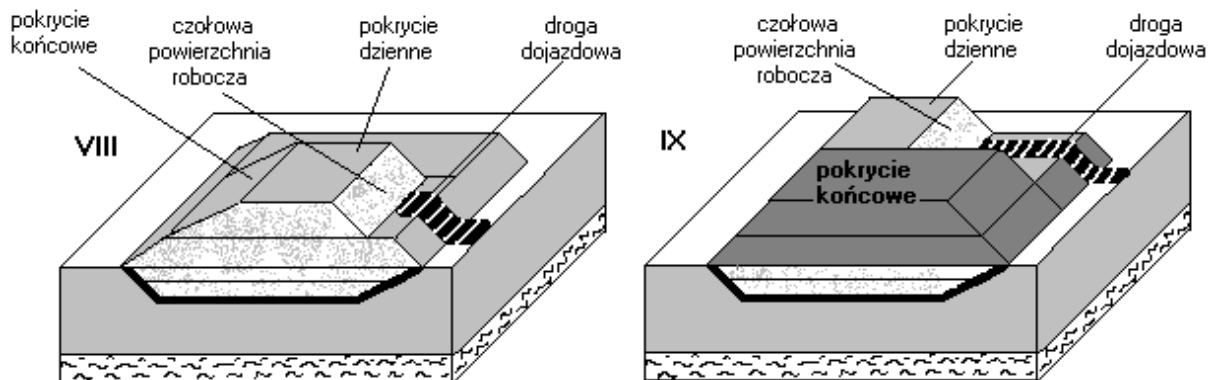
Układanie drugiej warstwy odpadów



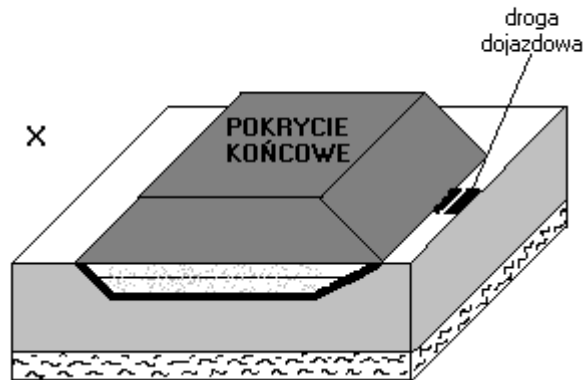
Układanie trzeciej warstwy odpadów



Układanie czwartej warstwy odpadów



ZAMKNIĘTE SKŁADOWISKO



Składowisko odpadów musi pracować w taki sposób, aby jego otwarta na działanie powietrza atmosferycznego powierzchnia była jak najmniejsza. Efekt ten osiąga się poprzez systematyczne przykrywanie powierzchniowych warstw odpadów warstwami izolacyjnymi.

Poszczególne warstwy odpadów układa się na składowisku w wydzielonych kwadratach. Składowiska o niewielkim spadku skarp (poniżej 30°) powinny mieć warstwy o wysokości około 2÷3 m. Całkowita wysokość jednej warstwy odpadów i materiału przykrywającego nie powinna przekraczać 3 m. Jeśli nachylenie skarp składowiska jest większe od 30° , wówczas maksymalna wysokość jednej warstwy odpadów i materiału przykrywającego nie powinna przekraczać 2 m.

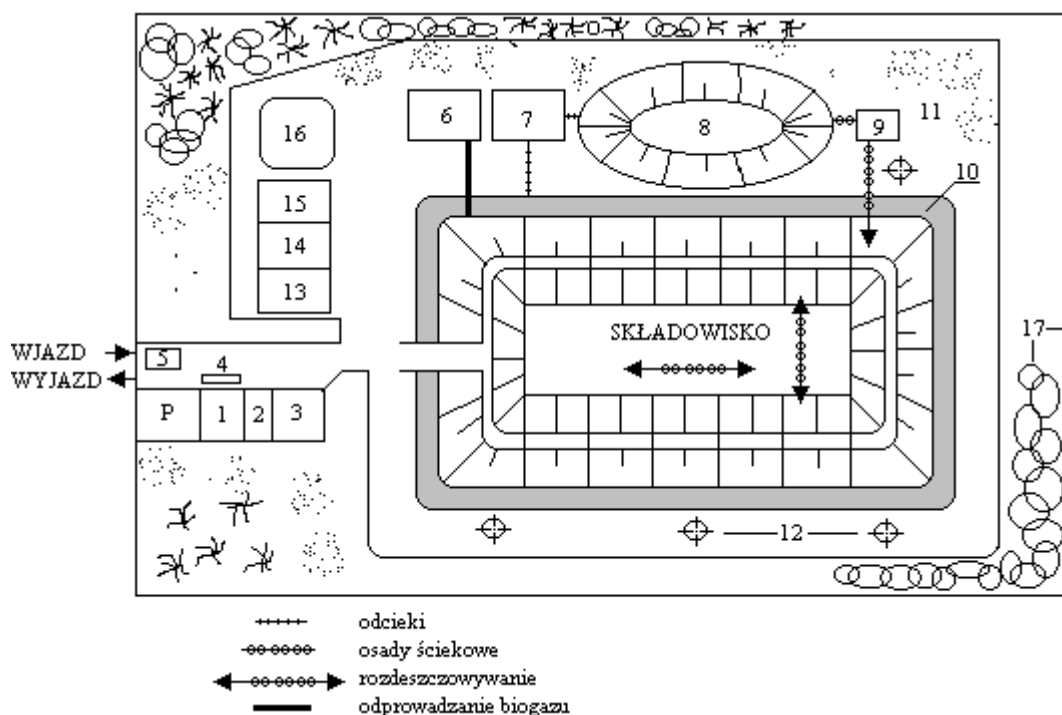
Układanie pojedynczych warstw odpadów powinno rozpoczynać się na powierzchni składowiska, z niewielkim spadkiem i z zachowaniem zasady jednokierunkowości spadków. Jest to ważne z uwagi na utrzymanie jednokierunkowego spływu wód opadowych oraz odcieków ze składowiska.

Na czas pracy składowiska wpływa objętość złoża odpadów. Aby czas ten był maksymalnie wydłużony, każdą pojedynczą warstwę nowo ułożonych odpadów powinno się dokładnie wałować i zagęszczać. Proces ten zmniejsza objętość odpadów o co najmniej około 50%. W ten sposób ogranicza się także dostęp tlenu atmosferycznego, prowadząc do wystąpienia sprzyjających warunków dla dominacji procesów anaerobowych nad aerobowymi w złożu odpadów. Tym samym zmniejsza się ilość powstających odcieków (produktem procesu utleniania jest dwutlenek węgla i woda). Dokładne wałowanie i zagęszczanie odpadów pozwala również na swobodne poruszanie się po powierzchni składowiska ludzi i ciężkiego sprzętu, którzy nie „toną” w unieszkodliwianej masie. Dla określenia stopnia zagęszczenia strumienia odpadów, wyznacza się *współczynnik zagęszczenia odpadów*.

Współczynnik zagęszczenia odpadów jest to stosunek grubości warstw w stanie zagęszczonym do grubości warstw świeżo usypanych odpadów i zazwyczaj mieści się w granicach około $0,5 \div 0,8$. Warunkiem prawidłowego zagęszczenia odpadów na składowisku jest więc zachowanie tego przedziału.

Każdą zagęszczoną warstwę odpadów przesypuje się warstwą inertną o miąższości co najmniej 0,15 m. Ponadto odpady przesypuje się warstwą inertną po zakończeniu każdego dnia roboczego, w celu zabezpieczenia składowiska przed rozwiewaniem odpadów, czy dostępem owadów, ptaków lub gryzoni. Grubość tej warstwy izolacyjnej powinna wynosić około $0,5 \div 1,0$ m.

Składowisko musi pracować w taki sposób aby jego otwarta na działanie powietrza atmosferycznego powierzchnia była jak najmniejsza. Efekt ten osiąga się poprzez systematyczne przykrywanie powierzchniowych warstw odpadów warstwami izolacyjnymi. Ponadto systematyczne wykonywanie warstw izolacyjnych i zabezpieczeń chroniących skarpy składowiska. Przykład planu zagospodarowania składowiska ilustruje rysunek 48.



Rysunek 48. Plan zagospodarowania składowiska:

P – parking dla pracowników, 1-biuro zarządzającego składowiskiem, 2- laboratorium, 3- garaż na sprzęt składowiskowy, 4- waga samochodowa, 5- myjnia kół samochodowych, 6- stacja poboru i wykorzystania biogazu, 7- studzienki odcieków, 8- retencyjny staw hydrobotaniczny, 9- ciągnik z hydrosiewnikiem, 10- rów opaskowy zbierający wody opadowe i spływowe, 11- droga wewnętrzna, 12- piezometry, 13- recykling odpadów, 14- sortownia odpadów, 15- wiaty na surowce wtórne, 16- zbiornik na wydzielone odpady niebezpieczne i przemysłowe, 17- ogrodzenie z zagospodarowaną wewnętrzną strefą ochronną

20. SKŁADOWANIE ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH

Współczesne składowiska odpadów to swoisty rodzaj fabryki chemicznej, w której zachodzą różne procesy chemiczne, biologiczne i biochemiczne prowadzące do rozkładu odpadów we wnętrzu składowiska i ich degradacji. Zjawiska rozkładu mogą być wspomagane lub hamowane i ograniczane przez wspólne mieszanie z odpadami komunalnymi odpadów innego rodzaju. Mieszanie różnego typu odpadów negatywnie wpływa na niektóre gatunki mikroorganizmów, prowadząc do zahamowania ich rozwoju a nawet wyginięcia.

Na składowisko odpadów komunalnych, w wyniku nieselektywnej zbiórki odpadów lub niedbałości, mogą trafiać również odpady przemysłowe. Jednak dla tej grupy odpadów tworzy się miejsca składowiskowe do ich deponowania. Tworzą one odkryte hałdy, które nawadniane wodami odpadowymi ulegają rozmywaniu, wyługowane i wymywane zostają związki chemiczne. Często związki te stanowią grupę metali ciężkich, charakteryzują się możliwością całkowitego przechodzenia do wód podziemnych, pomimo że stanowią śladowe ilości, np. około 10^{-2} ÷ 10^{-5} % wagowych suchej masy gruntu. Głównymi nośnikami metali ciężkich są związki glinu, wapnia i alkali.

20.1. Składowiska odpadów przemysłowych

Składowiska odpadów przemysłowych stanowią specjalną grupę obiektów budowlanych. Lokalizowane są na terenach należących do zakładu produkcyjnego, będącego ich wytwórcą, który w pierwszej kolejności ma obowiązek odzysku odpadów, wtórnego wykorzystania a na końcu unieszkodliwienia z uwzględnieniem zasad ochrony środowiska.

Składowiska odpadów przemysłowych mogą zawierać najbardziej szkodliwą grupę odpadów, obejmującą:

- popioły lotne, żużle, szlamy, pyły filtracyjne (odpad paleniskowy, odpad z oczyszczania gazów, odpad z energetycznego spalania węgla),
- odwodnione osady i szlamy z oczyszczalni przemysłowych (rafinerii, myjni, galwanizerni, lakierni, szlifierni, elektrowni, trawialni, spalarni, hut i innych),
- zużyte piaski formierskie oraz odpady mineralne z procesów metalurgicznych,
- szlamy poneutralizacyjne.

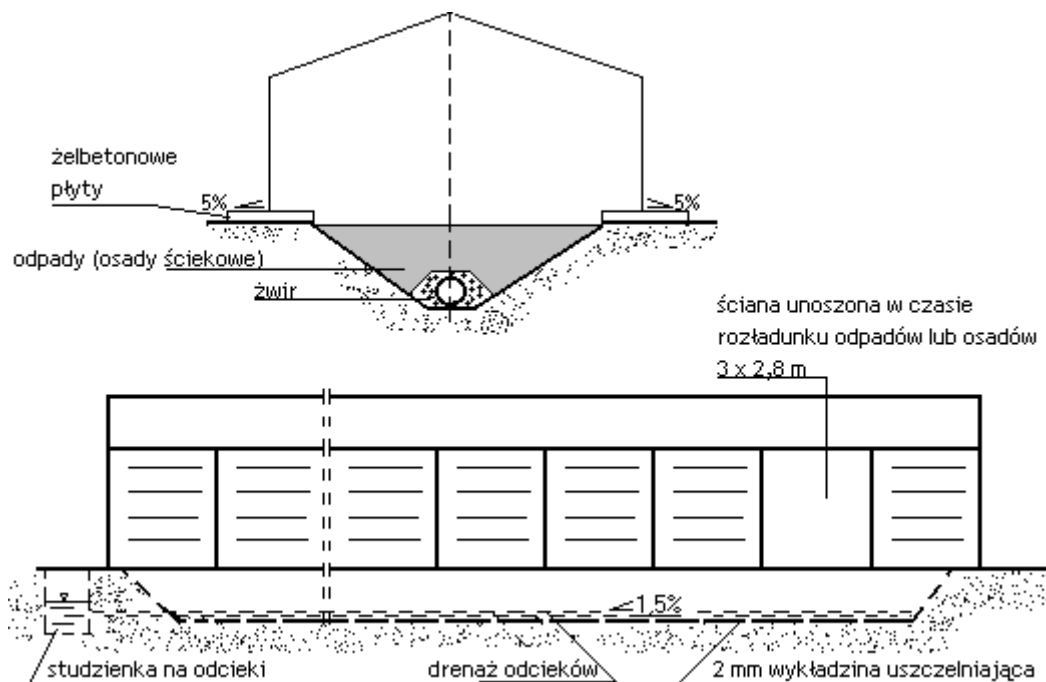
Odpady przemysłowe zawierają około 98% substancji mineralnej, więc praktycznie nie ulegają fermentacji i procesom biochemicznego rozkładu. Oprócz wykorzystywania pewnej części z tej grupy odpadów w celach przemysłowych (np. do produkcji klinkieru i w budownictwie, czy w rolnictwie), znaczna ich część musi zostać zdeponowana. Do tego celu

wykorzystuje się składowiska odpadów przemysłowych, które lokalizowane są na terenach własnych zakładów produkcyjnych. Pewna część z tych odpadów trafia także na składowiska odpadów komunalnych.

Konstrukcja składowisk odpadów przemysłowych uwzględniać powinna zasady projektowania składowisk odpadów komunalnych oraz dodatkowo takie elementy, jak:

- powierzchnia składowiska powinna być podzielona na kwatery, które umożliwiają szybką i bieżącą ich rekultywację po całkowitym zapełnieniu - dopiero w następnej kolejności przechodzi się do wypełniania kolejnej kwatery;
- „pracujące” kwatery powinny być osłonięte przed wodami opadowymi zadaszeniem, które jest łatwe do szybkiego demontażu i zmiany miejsca ustawienia; zadaszenie pełniąc swoją ochronną rolę wpływa na zmniejszenie ilości odcieków oraz zabezpiecza odpady przed ich rozmywaniem, czy wyługowywaniem składników.

Przykład składowiska przemysłowego zlokalizowanego na terenie myjni cystern kolejowych ilustruje rysunek 49.



Rysunek 49. Przykład rozbieralnego, namiotowego przykrycia deponowanych odpadów przemysłowych (np. osadów ściekowych zaolejonych); (St. Stępnia, 1998; zmienione)

20.2. Podziemne składowanie odpadów przemysłowych

Odpady przemysłowe, a szczególnie energetyczne i pogórnice znajdują miejsca lokalizacji w podziemnych wyrobiskach górniczych. Proces ten regulują zapisy trzech ustaw:

1. ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku - Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627), która wymaga przeprowadzenia postępowania w sprawie OOS i wydania decyzji – *koncesji* na poszukiwanie lub rozpoznawanie złóż kopalin, na wydobywanie kopalin ze złóż, na bezzbiornikowe magazynowanie substancji oraz składowanie odpadów w górotworze, w tym w podziemnych wyrobiskach górniczych;
2. ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku – Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. Nr 27, poz. 96), która wymaga uzyskania *koncesji* na bezzbiornikowe magazynowanie substancji w górotworze oraz składowanie odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych, a także na poszukiwanie i wydobywanie surowców mineralnych znajdujących się w odpadach powstałych po robotach górniczych oraz po procesach wzbogacania kopalin;
3. ustawy z dnia 23 grudnia 1988 roku o działalności gospodarczej (Dz.U. Nr 41, poz. 324), która wymaga uzyskania *koncesji* na podjęcie działalności gospodarczej w zakresie poszukiwania, rozpoznawania i wydobywania kopalin oraz surowców mineralnych znajdujących się w odpadach powstałych po robotach górniczych oraz po procesach wzbogacania kopalin, bezzbiornikowego magazynowania substancji w górotworze oraz składowania odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Koncesji udziela Minister Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w uzgodnieniu z właściwym organem samorządu terytorialnego. W tym celu wydane zostaje stosowne postanowienie, na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Koncesji udziela się na podstawie złożonego wniosku. Wniosek o udzielenie koncesji na *bezzbiornikowe magazynowanie substancji w górotworze oraz składowanie odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych* powinien zawierać:

- oznaczenie podmiotu ubiegającego się o koncesję, jego siedziby oraz wskazanie pełnomocników, jeżeli zostali ustanowieni,
- określenie przedmiotu projektowanej działalności,
- określenie prawa wnioskodawcy do terenu (przestrzeni), w ramach którego projektowana działalność ma być wykonywana lub prawa, o ustanowienie którego ubiega się wnioskodawca,
- określenie czasu, na jaki koncesja ma być udzielona wraz ze wskazaniem daty rozpoczęcia działalności,

- określenie środków, jakimi dysponuje podmiot ubiegający się o koncesje w celu zapewnienia prawidłowego wykonywania działalności objętej wnioskiem,

Poza tymi standardowymi wymaganiami wniosek powinien określać:

- aktualne i przewidywane warunki geologiczne, hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie,
- rodzaj, ilość i właściwości substancji lub odpadów,
- miejsce i technologię magazynowania lub składowania,

Do wniosku załączone powinny być dokumenty będące:

1. oceną przewidywanego wpływu magazynowania substancji lub składowania odpadów na środowisko, sporządzoną zgodnie z przepisami o ochronie zasobów środowiska,
2. analizą zagrożenia radiacyjnego w zakresie określonym przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki w razie zamierzonego składowania odpadów promieniotwórczych.

W przypadku *akceptacji wniosku o udzielenie koncesji* powinna ona wyraźnie określać:

- rodzaj i sposób prowadzenia działalności objętej koncesją,
- przestrzeń, w granicach której ma być prowadzona ta działalność, tj. obszar górniczy,
- okres ważności koncesji ze wskazaniem terminu rozpoczęcia działalności,
- inne wymagania dotyczące wykonywania działalności objętej koncesją w szczególności w zakresie bezpieczeństwa powszechnego i ochrony środowiska;

Obszar górniczy, musi być wyznaczony dla każdej kopaliny, nawet w przypadku złoża różnych kopalin występujących w bezpośrednim sąsiedztwie; może on obejmować część złoża, jeżeli nie zagraża to prawidłowemu jego wykorzystaniu. Rejestr obszarów górniczych, dla wyznaczenia których podstawą jest dokumentacja geologiczna, prowadzi Minister Ochrony Środowiska.

Dla *terenu górniczego* sporządza się *miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego obszaru*, który ujmuje wszystkie możliwe działania, jakie będą podejmowane w granicach terenu górniczego.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa osób pracujących w zakładzie górniczym, bezpieczeństwa pożarowego, bhp pracowników, prawidłowej i racjonalnej gospodarki złożem, ochrony środowiska wraz z obiektami budowlanymi, zapobiegania szkodom i ich naprawiania, likwidację zakładu górniczego - sporządza się *plan ruchu zakładu górniczego* (MP Nr 36, poz. 325 – zarządzenie prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 20 czerwca 1994 roku w sprawie planów ruchu zakładów górniczych).

Plan ruchu zakładu górniczego powinien zawierać takie *podstawowe informacje*, jak:

- zasięg obszaru działania i składowania odpadów zgodnie z udzieloną koncesją,
- charakterystykę zakładu górniczego,
- główne metody składowania odpadów łącznie z terminami rozpoczęcia i zakończenia składowania,
- opis zagospodarowania obszaru górniczego w granicach objętych koncesją i zasięgu możliwych wpływów składowiska,
- charakterystykę geologiczną, hydrogeologiczną i geologiczno-inżynierską w części zakładu górniczego, w której przewiduje się składowanie,
- właściwości fizyczne i chemiczne odpadów odnośnie zawartości substancji szkodliwych,
- ocenę przewidywanego wpływu składowiska na środowisko, w tym prognozę zanieczyszczeń wód podziemnych oraz powietrza kopalnianego,
- niezbędne przedsięwzięcia dla ochrony środowiska.

Informacje szczegółowe planu ruchu zakładu górniczego dotyczą:

- sposobu udostępniania wyrobiska do składowania odpadów,
- charakterystyki podziemnego wyrobiska, przeznaczonego do składowania odpadów, ze wskazaniem: miejsca lokalizacji, rodzaju, wymiarów, rodzaju obudowy, sposobu przewietrzania oraz pojemności całkowitej, planowanej chłonności, wydajności składowania,
- niezbędnych prac adaptacyjnych, w tym uszczelnienia, ekranizacji górotworu, likwidacji zbędnych wyrobisk,
- wpływu robót górniczych na stabilność wyrobisk, w których przewiduje się składowanie odpadów,
- prac zabezpieczających odpady przed ich przemieszczaniem,
- zamierzeń dotyczących zwiększenia zdolności składowania,
- charakterystyki składowanych odpadów, która ujmuje:
 - rodzaj, stan skupienia, pozycję klasyfikacyjną,
 - miejsce pochodzenia,
 - właściwości fizyczne (odsączalność, odporność termiczną),
 - wyniki badań: składu chemicznego, radioaktywności, toksyczności i wytrzymałości,
- charakterystyki jakości i ilości użytych nośników i komponentów,
- opisu procesu składowania,
- opisu środków transportu odpadów do wyrobisk,
- sposób przygotowania odpadów przed składowaniem,
- odprowadzenia wód z rejonu składowania odpadów,

- sposobu zamknięcia składowiska,
- opisu zagrożeń, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo powszechne, z podaniem sposobu przeciwdziałania tym zagrożeniom,
- przewidywanych działań zapobiegawczych w przypadku niekontrolowanego przedostawania się odpadów ze składowiska w trakcie składowania lub po jego zamknięciu,
- przewidzianych kontroli warunków składowania, w tym zakres i częstotliwość,
- warunków szkodliwych dla zdrowia, profilaktyki technicznej i medycznej.

Jako załączniki do planu ruchu zakładu górniczego służą:

- odpis koncesji wraz z odpisem umowy o ustanowieniu użytkowania górniczego,
- odpis decyzji zatwierdzającej hydrogeologiczną dokumentację warunków składowania,
- odpis decyzji zatwierdzającej geologiczno-inżynierską dokumentację budowy składowiska podziemnego,
- mapę sytuacyjno-wysokościową w skali nie mniejszej niż 1:10 000, z uwidocznieniem sytuacji powierzchni w granicach możliwego zasięgu wpływu składowiska, z zaznaczeniem granic działania określonych w koncesji na składowanie, z lokalizacją obiektów zakładu, dróg transportu odpadów, szybów i miejsc udostępniania składowiska z powierzchni, ujęć wód podziemnych i powierzchniowych,
- mapy i podstawowe przekroje geologiczne przez rejon składowiska odpadów,
- mapę rozmieszczenia odpadów w wyrobisku.

21. SKŁADOWANIE ODPADÓW NIEBEZPIECZNYCH

Metody postępowania z odpadami niebezpiecznymi regulują stosowne akty prawne.

Miedzy innymi są to:

- Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz.U. Z 18 stycznia 2001 r., Nr 3, poz.18);
- 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, z późniejszymi zmianami).

Odpady niebezpieczne obejmują substancje, które można podzielić na grupy substancji ogólnie trujących, które powodują ostre lub chroniczne zatrucia, prowadzące nawet do śmierci oraz na grupy substancji ogólnie szkodliwych, które na skutek zatrucia wywołują schorzenia organizmu.

Odpady niebezpieczne stanowią najbardziej uciążliwy odpad pochodzenia przemysłowego. Określa się je często mianem odpadów specjalnych, stąd w klasyfikacji odpadów stanowią odrębną, specjalną listę. Spośród wszystkich metod unieszkodliwiania odpadów, nie dopracowano się metody i technologii odpowiedniej dla tej grupy. Wynika to z faktu, że odpady niebezpieczne muszą być izolowane w sposób szczególny od naturalnego środowiska. Lokalny lub regionalny system zarządzania odpadami niebezpiecznymi działa w oparciu o podstawowe funkcje, czyli:

- gromadzenie odpadów niebezpiecznych we wszystkich rozproszonych źródłach,
- zbiórkę zgromadzonych odpadów niebezpiecznych z tych źródeł,
- transport potencjalnych surowców wtórnych do miejsc ich ponownego wykorzystania,
- transport odpadów niebezpiecznych do miejsc ich neutralizacji i *destrukcji*,
- kontrolę wymienionych procesów.

Wszystkie te czynności powinny być wykonane w miarę szybko i sprawnie, bowiem nie można przewidzieć zdarzeń, jakie mogą wystąpić w miejscach występowania i przebywania odpadów niebezpiecznych.

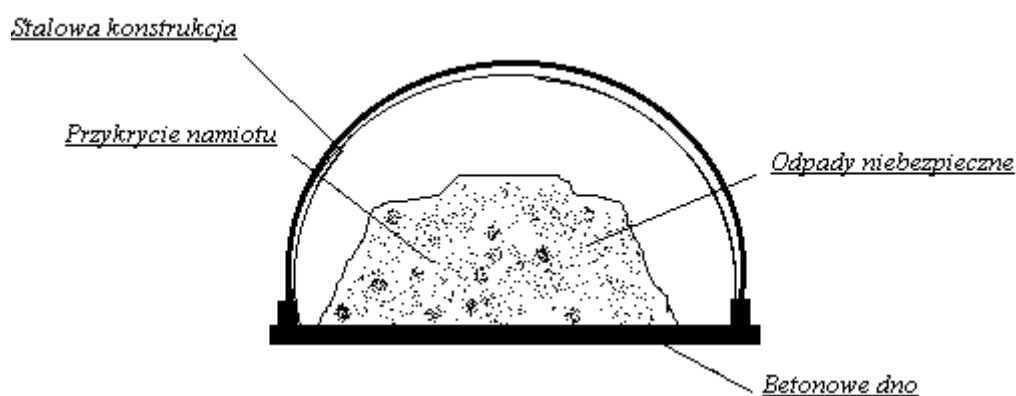
Podstawowym celem unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych jest doprowadzenie ich do stanu, w którym nie wykazują zagrożenia ze strony substancji toksycznych wchodzących w skład budowy chemicznej odpadów. Najprostszą i najbardziej efektywną metodą destrukcji odpadów niebezpiecznych jest ich spalanie. Jednak nie wszystkie odpady tej grupy można poddać temu procesowi, ponadto pozostają odpady z palenisk, które również zaliczane są do odpadów niebezpiecznych. Do innych metod ich unieszkodliwiania należą więc metody deponowania w specjalnie przygotowywanych betonowych, żelbetowych czy stalowych mogilnikach, bunkrach, podziemnych wyrobiskach górniczych, nieczynnych kopalniach. Odpady deponowane są luzem lub w pojemnikach szklanych, metalowych, z tworzyw sztucznych, które każdorazowo muszą być odporne na destrukcyjne oddziaływanie substancji zawartych w odpadzie. Zdarza się, że ta grupa odpadów deponowana jest na składowiskach odpadów przemysłowych, a także odnajduje się je na składowiskach odpadów komunalnych. Każdorazowo odpady te powinny być składowane w specjalnie do tego celu wyznaczonych i odizolowanych kwaterach. Każda partia odpadów niebezpiecznych, zaraz po zdeponowaniu, musi być pokrywana warstwą materiału obojętnego (inertnego), jak piasek, żwir, stłuczka szklana i inne.

Optymalnym rozwiązaniem dla składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych jest uwzględnienie, już na etapie projektu budowlanego, osobnego, specjalnie wykonanego miejsca na deponowanie odpadów niebezpiecznych. Zasady projektowania takiego miejsca –

kwater - są takie same, jak w przypadku składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Uwzględniają jednak dodatkowy element, jakim jest możliwość umiejscowienia kwatery na żelbetonowych słupach. Słupy żelbetonowe tworzą rodzaj podpiwniczenia pod kwaterami. Wysokość podpiwniczenia umożliwia kontrole poziomu wód gruntowych i poziomu odcieków. Podstawową zaletą podpiwniczenia jest możliwość szybkiego dotarcia do punktów awaryjnych i wykonanie niezbędnych napraw.

Awaria spowodowana może być różnymi czynnikami zewnętrznymi. Może to być dopływ wód gruntowych, które przenikają do składowanych odpadów, a w przypadku ich cofnięcia, rozpuszczone przez nie i wyługowane substancje toksyczne, zanieczyszczają wody powierzchniowe, podziemne i glebę. Inny przykład awarii może dotyczyć niekontrolowanego wycieku wód odciekowych, które także należą do odcieków specjalnie niebezpiecznych.

Odpady niebezpieczne dowożone na teren składowisk komunalnych lub przemysłowych mogą być deponowane w specjalnych magazynach – namiotach. Magazyn-namiot posadowiony jest na betonowym podłożu, a jego pokrycie stanowi powłoka z tworzywa sztucznego, rozpięta na lekkiej stalowej konstrukcji (rysunek 50). Tego typu magazyny-namioty stosowane są na składowiskach odpadów komunalnych w Szwecji.



Rysunek 50. „Magazyn-namiot” do deponowania odpadów niebezpiecznych na składowiskach odpadów komunalnych

Odrębną grupę przemysłowych odpadów niebezpiecznych stanowią odpady promieniotwórcze. W przypadku tej grupy odpadów stosuje się specjalne środki ostrożności i bezpieczeństwa. W celu zachowania minimalnych zasad bezpieczeństwa odpady promieniotwórcze deponowane są w szczelnie zamkniętych pojemnikach i składane pod

ziemią w wyrobiskach górniczych, sztolniach, zrobach lub w specjalnie budowanych bunkrach. Ściany, strop i podłóżę takiego obiektu wykonuje się z betonu, o grubości warstwy co najmniej 1,5 m. Zdeponowany materiał poddaje się neutralizacji poprzez zalewanie masą betonową i asfaltową. Metoda zabezpiecza składniki odpadów przed wymywaniem w przypadku dotarcia do nich wód (opadowych, powierzchniowych lub gruntowych).

Pomimo tych zabezpieczeń odpady promieniotwórcze należą do „specjalnego prezentu”, jaki zostawia się przyszłym pokoleniom.

22. REKULTYWACJA SKŁADOWISKA ODPADÓW

Po osiągnięciu przez składowisko projektowanej objętości (masy) i wysokości składowanych odpadów, następuje kolejny etap prac, który polega na zamknięciu składowiska i jego rekultywacji. Obowiązek rekultywacji składowiska odpadów spoczywa na użytkowniku (właścicielu) składowiska, czyli osobie prawnej lub fizycznej, której działalność wpłynęła na utratę wartości użytkowej terenów.

Rekultywacja składowisk odpadów ma na celu:

- minimalizowanie oddziaływania składowiska na środowisko,
- przywrócenie i ukształtowanie nowych walorów krajobrazowych,
- uregulowanie warunków hydrogeologicznych,
- przywrócenie wartości użytkowej powierzchniowej warstwie gleby, poprzez jej neutralizację czynników szkodliwych w glebie i użyźnienie,
- przywrócenie warunków rozwoju dla rodzimej biocenozy,
- przywrócenie zdolności produkcyjnej i użytkowej całego terenu składowiska

Proces ten jest długotrwały, bowiem zamierzony efekt uzyskuje się po kilku miesiącach a nawet latach, w zależności od siedliska biotopu. Szczegółowe przepisy ochrony i rekultywacji gruntów rolnych i leśnych zawarte są w ustawie „o ochronie gruntów rolnych i leśnych” (Dz.U. Nr 16 z 22 lutego 1995 r.)

Warunkiem skuteczności rekultywacji jest przestrzeganie kolejnych jej etapów, jakie muszą być zaprojektowane i realizowane w trakcie postępu prac inwestycyjnych.

Proces rekultywacji opiera się na trzech etapach:

- I. Etap. **Rekultywacja przygotowawcza**. Wprowadzana jest już na etapie planowania inwestycyjnego. W jej ramach rozpoznaje się i ustala kierunki zagospodarowania, czyli określa się kierunki i jednostkowe etapy przyszłej rekultywacji. Porządkuje się informacje na temat budowy geologicznej terenu, stosunków wodnych, właściwości rodzimego gruntu, możliwych sposobów ochrony powierzchniowej warstwy gleby. Celem jej jest rozpoznanie

maksymalnie dużej liczby czynników warunkujących prawidłowość przyjętych rozwiązań rekultywacyjnych, w procesie planowanych przekształceń terenu.

- II. Etap. **Rekultywacja techniczna** (*podstawowa*). Wprowadzana jest już na etapie eksploatacji składowiska poprzez układanie warstw inertnych i stopniowe kształtowanie bryły składowiska i otaczającego terenu. Osiąga się to poprzez wyrównywanie powierzchni składowiska, kształtowanie nachylenia skarp i tworzenie tarasów. Reguluje się stosunki wodne i odtwarza warstwy gleby na powierzchni już zamkniętego składowiska. Poprawia się jakość gleby neutralizując grunty skażone i użyźniając grunty jałowe. Buduje się drogi dojazdowe i dojścia piesze, umożliwiające użytkowanie terenu.
- III. Etap. **Rekultywacja biotechniczna**. Prowadzona jest w oparciu o budownictwo biotechniczne. Wykonuje się ostateczne ukształtowanie bryły składowiska, poprzez zapewnienie stateczności budowli. Wprowadza się naturalną, rodzimą biocenozę, która zapobiega erozji. Ostatecznie reguluje się stosunki wodne przez wykonanie melioracji terenu i kształtowanie zbiorników wodnych.

Prace związane z zagospodarowaniem terenu pod składowisko odpadów oraz prace rekultywacyjne na tym terenie stanowią nierozłączny element.

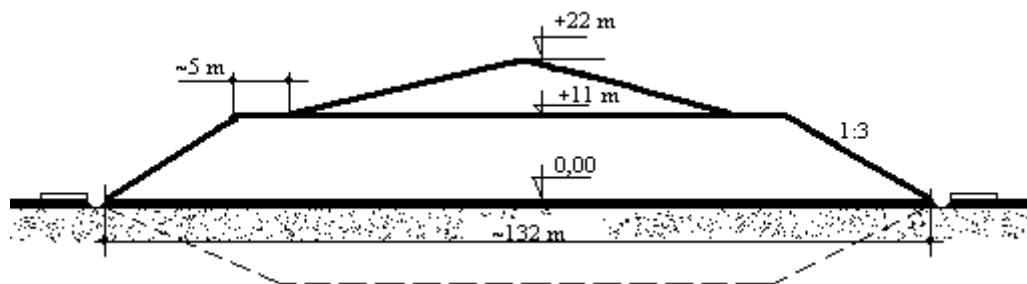
Wybór metody rekultywacji każdorazowo zależy od takich czynników, jak kształt miejsca lokalizacji składowiska, do którego dostosowuje się jego powierzchniową formę, rodzaj składowanego materiału, rodzaj zastosowanych izolacji, jakość gruntów rodzimych i zdjętego nadkładu. Wpływ na metodę rekultywacji mają warunki geologiczne, hydrogeologiczne, hydrologiczne, przyrodnicze, a także techniczne, ekonomiczne i społeczne.

Po wykonaniu pełnej rekultywacji terenu składowiska odpadów niebezpiecznych i innych niż niebezpieczne i obojętne, przez okres co najmniej 50 lat (licząc od daty zamknięcia składowiska) nie wolno stawiać na nim budynków, robić wykopów, zakładać instalację naziemną lub podziemną (jeśli nie dotyczy ona działalności składowiska). Wymienione czynności, po upływie wymaganego okresu czasu można prowadzić tylko w przypadku uzyskania zgody oraz na podstawie wykonanej ekspertyzy geotechnicznej i sanitarnej. Wykonane ekspertyzy mogą być także podstawą do skrócenia okresu wyłączenia danego terenu z eksploatacji.

22.1. Jednostkowe prace rekultywacyjne

Zakończeniem etapu rekultywacji technicznej jest *zamknięcie składowiska*. Ma ono na celu zabezpieczenie składowiska przed rozwiewaniem odpadów, wydobywaniem się kurzu składowiskowego (pylenie), zalewaniem wodami opadowymi.

Wykonanie stosownych zabezpieczeń rozpoczyna się od wyrównania powierzchni składowiska. Powierzchnię kształtuje się w formie czaszy ze spadkiem od środka na zewnątrz wynoszącym około 3%, co umożliwi swobodny spływ wód opadowych. Formuje się skarpy, tak aby były stateczne. Wykonuje się tarasy lub stopnie, jeśli składowisko ma wysokość większą od 10 m. Tarasy pełnią funkcję przeciwoerozyjną, gromadzą nadmiar wody, która może infiltrować w głąb składowiska lub siecią drenaży spływa do zbiornika odcieków. Wokół składowiska kształtuje się drogę dojazdową o szerokości około 15 m. Lokalizuje się ją na tzw. półce komunikacyjnej, wokół której, po obu jej stronach, wykonuje się odwodnienie. Przykład ukształtowania bryły składowiska ilustruje rysunek 51.



Rysunek 51. Składowisko odpadów komunalnych po wykonaniu rekultywacji na skarpach o pochyleniu 1:3 (M.Głażewski, B.Osmulski-Mróz, 1994)

Po wstępnym uformowaniu rzeźby składowiska przystępuje się do ostatecznych prac „okrywających” całą bryłę. W tym celu na powierzchnię odpadów pokrywa się ostatnią jednorodną warstwą mineralną wyrównującą, inertną, z materiałów niewiążących, o miąższości co najmniej 0,5 m.

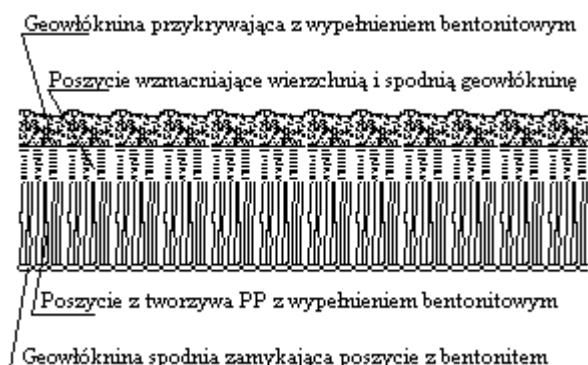
Na tej warstwie układa się obsypkę żwirową (lub z tłuczni szklanego czy gruboziarnistego piasku) o miąższości co najmniej 0,35 m, w celu ułożenia ostatniej sieci drenażu odprowadzającego biogaz. Jest to ostatnia mineralna warstwa odgazowująca, w której zawartość węglanu wapnia nie powinna przekraczać 10% wagowych. Ponad powierzchnię wyrównującą–odgazowującą wyprowadza się studzienki biogazowe do uporządkowanego i kontrolowanego odprowadzania biogazu ze składowiska.

Warstwę drenażu wyrównująco-odgazowującego pokrywa się kolejną mineralną warstwą ochronną (np. z piasku szklarskiego) o miąższości około 0,3–0,5 m i współczynniku wodoprzepuszczalności $K \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s.

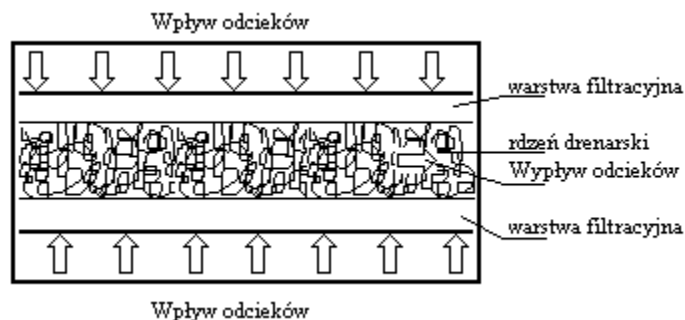
Na warstwie ochronnej układa się mineralne warstwy uszczelniające (np. żwirowe) o miąższości w granicach co najmniej 0,60÷0,75 m. Mineralne warstwy uszczelniające mogą być zastąpione sztuczną wykładziną uszczelniającą (np. PEHD) o miąższości co najmniej 2,5 mm. Dla składowisk odpadów niebezpiecznych i przemysłowych zaleca się sztuczne wykładziny z mat bentonitowych, których grubość w stanie suchym nie powinna być mniejsza niż 6 mm, a współczynnik wodoprzepuszczalności $K \leq 5 \times 10^{-11}$ m/s (rysunek 52). Warstwę ochronną pokrywa się folią polietylenową, obustronnie szorstką, o grubości około 2÷6 mm. Tak ukształtowana bryła składowiska odpadów powinna mieć nachylenie powierzchni powyżej 5% już po ustabilizowaniu się procesu osiadania warstw uszczelniających.

Na wykonane „okrycie” składowiska nanosi się mineralną warstwę, która pełni funkcje odwodnienia. Miąższość warstwy powinna być nie mniejsza niż 0,3 m. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie sztucznych materiałów odwadniających w formie równomiernie ułożonych mat drenarskich (rysunek 53). Grubość wierzchniej i dolnej warstwy maty drenarskiej powinna wynosić nie mniej niż 2,5 mm, zaś współczynnik wodoprzepuszczalności $K \leq 10^{-3}$ m/s. Zadaniem warstwy odwodnienia jest odprowadzenie wód opadowych do pierścieniowego rurociągu, wykonanego na tarasach, skąd przykanalikami odprowadzane są do wspólnego rowu opaskowego.

Mineralną warstwę odwodnienia lub maty drenarskie pokrywa się warstwą gleby rekultywacyjnej o miąższości co najmniej 0,7÷1,0 m.



Rysunek 52. *Maty bentonitowa* (M. Głażewski, B. Osmulska-Mróż, 1994): Górna warstwa geowłókniny stanowi geomineralny układ wypełniony proszkiem bentonitowym. Część górna połączona jest z dolną, nośną warstwą geowłókniny



Rysunek 53. Mata drenarska (M. Głażewski, B. Osmulska-Mróż, 1994):
 Górna i dolna warstwa maty wykonana jest z geotekstyliów poliestrowych, pomiędzy którymi znajduje się rdzeń drenarski, stanowiący przestrzennie splecione i sprasowane żyłki z tworzywa polipropylenowego. Poszczególne warstwy maty połączone są przez zgrzewanie punktowe. System drenarski chroniony jest, przez warstwy filtracyjne, przed wnikaniem cząstek gleby, umożliwiające ponadto swobodny przepływ wody

W przypadku składowania odpadów niebezpiecznych uszczelnienie powierzchni składowiska wykonuje się z warstw (licząc od najniższej położonej):

- *ekranującej*, złożonej z warstwy mineralnej o wartości współczynnika filtracji k nie większej niż 10^{-9} m/s oraz izolacji syntetycznej. Miąższość tej warstwy powinna wynosić co najmniej 0,5 m;
- *drenażowej*, żwirowo-piaskowej o współczynniku filtracji $\geq 10^{-4}$ m/s, z systemem drenów. Miąższość tej warstwy wynosi co najmniej 0,5 m;
- *wierzchniej warstwy ziemnej* o miąższości co najmniej 1,0 m, z warstwą gleby żyznej.

Ułożone warstwy izolacyjne tworzą parasol ochronny nad całą bryłą składowiska. Powinny być wykonane z materiałów, których dobór uzależniony jest od czasu eksploatacji składowiska, sposobu jego rekultywacji i dalszego przeznaczenia. W ten sposób chronią składowisko przed niekontrolowaną ucieczką biogazu i przed infiltracją wód opadowych do jego wnętrza. Po warstwie okrywającej umożliwiają odprowadzenie wód opadowych do rowu opaskowego, jaki wykonany jest wokół składowiska u jego podstawy. System rowów opaskowych powinien opasywać każdą kwaterę składowiska. Spływające po jego powierzchni wody opadowe należą do wód obojętnych (nie miały kontaktu z odpadami) więc mogą być odprowadzane z rowu opaskowego, przy pomocy pomp, do zbiornika wód opadowych. Stąd mogą być kierowane do zraszania zrekultywowanej bryły składowiska

obsadzonej roślinnością, bądź bezpośrednio odprowadzone do środowiska przyrodniczego (gleby lub wód powierzchniowych).

Warstwy izolacyjne chronią bryłę składowiska przed kolejnymi cyklami zamarzania i odmarzania oraz przed niepożądaną penetracją korzeni roślin.

Tak ukształtowany i zabezpieczony teren prowadzi do uzyskania stabilnych i trwałych skarp, zaokrąglonych krawędzi uskoków i półprzeskoków, stabilizacji luźnego gruntu.

Kolejny etap to rekultywacja biotechniczna terenu składowiska. Zadaniem jej jest zabezpieczenie powierzchni składowiska przed możliwością powstawania osuwisk przed wpływem erozji wodnej i wietrznej. Konstrukcja warstwy biotechnicznej uzależniona jest od właściwości odpadów. Jednak, bez względu na rodzaj składowanej substancji, należy trzymać się zasady, że minimalna miąższość gleby rekultywacyjnej musi zapewnić trwałą okrywą roślinną. Zamierzony efekt osiąga się przez pokrycie warstwy gleby rekultywacyjnej konstrukcją kratownicową stabilizująco-wzmacniającą. tego typu konstrukcje pokrywa się warstwą gleby rodzimej o miąższości około 0,60 m. Tworzy ona dogodne warunki do rozwoju zwartej szaty roślinnej, która doprowadzi bryłę i teren wokół składowiska do stanu użyteczności gospodarczej.

Istotnym punktem, w projekcie budowy składowiska odpadów komunalnych (ale również i innego typu składowisk) jest określenie kierunku rekultywacji, czyli dokonanie wyboru, jaki krajobraz w perspektywie czasowej ma przedstawiać teren składowiska. Wybór krajobrazu i dostosowanie do niego architektury składowisk może być różnorodny, np. leśny, rolny, rekreacyjny. Powinien on jednak stanowić optymalne estetyczne rozwiązanie, które będzie zabezpieczać środowisko naturalne przed szkodliwym oddziaływaniem składowiska oraz będzie zmierzać do ponownego, funkcjonalnego przywrócenia terenów lokalnej społeczności.

Przyjęcie jakiegokolwiek kierunku rozwoju wiąże się z odbudową rodzimej biocenozy, na którą przeznaczają się pierwsze miesiące czy lata rekultywacji składowisk. Największe problemy w rekultywacji tego typu terenów dotyczą składowisk „starych”, w których nie były stosowane żadne zabezpieczenia i uszczelnienia podłoża. Brak jest drenaży odprowadzających odcieki, odpady usypywane były bez zagęszczania, składowiska nie mają kwater segregujących poszczególne typy odpadów. Obiekty te najczęściej prowadzą do awarii w środowisku naturalnym, niszcząc naturalny biotop, zanieczyszczając gleby, wody powierzchniowe i podziemne.

22.2. Rola biocenozy

Architektura składowiska powinna stanowić naturalny element otaczającego krajobrazu. Ważne jest to w przypadkach, gdy składowiska znajdują się w pobliżu zabudowań osiedleńczych, zakładów przemysłowych, miejsc turystycznych i podróży ludzi. Miejsce to nie powinno straszyć swoją odrębnością, lecz stanowić powinno wyjątkowy element krajobrazu. Wyjątkowość terenów składowiskowych wynikać może z przywróconych im walorów estetycznych, widokowych i użytkowych.

Przykładem koncepcji wykorzystania w perspektywie czasowej terenu składowiska jest stworzenie na jego obszarze naturalistycznego ogrodu botanicznego. Ogród botaniczny może stać się atrakcją turystyczną dla niejednokrotnie ubogiego w turystykę regionu gminy.

Ukształtowanie terenów zieleni, z odpowiednią ekspozycją obiektów towarzyszących składowisku i stanowiących jego stały element (studzienki biogazowe, zbiorniki odcieków, staw oczyszczający), może być prezentacją pewnego procesu zachodzącego ze współudziałem każdego człowieka. Tym samym może być ekspozycją edukacyjną „WSTYDLIWEGO” obecnie i „NIEZAUWAŻALNEGO” przez lokalne społeczności problemu zagospodarowywania tego co sami w ogromnych ilościach produkują.

Koncepcja ta może stanowić krok do realizowania zasad zrównoważonego rozwoju w praktyce, poprzez stałe harmonizowanie rozwoju społecznego, gospodarczego i przestrzennego z możliwościami i potrzebami przyrody. Nie należy przy tym próbować zatrzeć gospodarczego wykorzystania obszaru, wręcz przeciwnie, jego elementy powinny być inspiracją dla ukształtowania z nich form ozdobnych. Wokół tych elementów można ukształtować ścieżki spacerowe, miejsca wypoczynkowe, drogi rowerowe i inne formy. Atrakcją obszaru powinna być zieleń z siedliskiem różnorodnych owadów (np. motyle, pszczoły, trzmiele) i ptactwa. Teren obsadzony może zostać różnorodną roślinnością drzewiastą, krzewiastą, a także bylinami, które szybko, skutecznie i ekspansywnie zadarniają jego powierzchnię. Poszczególne piętra widokowe, w zależności od stopnia nasłonecznienia i warunków hydrologicznych, obsadza się dostosowaną do nich roślinnością łatwą w uprawie. A istnieje duża grupa wspaniałych roślin, pochodzących z natury i ich ogrodowych krewniaków, które swobodnie i szybko rozrastają się prawie bez opieki. W przypadku terenów składowisk odpadów szczególnie wartościowe są byliny, które rozrastają się za pomocą wydłużonych kłaczy lub rozłogów, dzięki którym „wędrują” po terenie, szybko tworząc gęste kobierce. Wiele z tych roślin pięknie kwitnie, a pokrywając liśćmi powierzchnie gleby, ułatwiają walkę z jednorocznymi chwastami, które na świeżo zagospodarowywanych terenach mogą stanowić nieestetyczny problem. Zadarnianie

powierzchni składowiska powinno uwzględniać rabaty mieszane, składające się z roślin zimotrwałych i zimozielonych. Właściwie skomponowany dobór roślinności i ich układ przestrzenny przekształcić może składowisko odpadów w piękny „ogród botaniczny” w okresie 3÷5 lat po jego zamknięciu.

Spośród ogromnej liczby różnorodnych gatunków roślin o właściwościach biotechnicznych, proponuje się byliny i krzewy osiągające wysokość pomiędzy 10-300 cm:

- *na miejsca półcieniste:*
 - byliny (wysokość około 10÷200 cm): tawułka chińska, rdest ostrokończysty i pokrewny, dziurawiec kielichowaty, bokkonia sercowata, bodziszek korzeniasty, bluszcz kurdybanek, oman wielki, rabarbar dłoniasty;
 - krzewy: kamelia, ligustr, skimia, mahonia, berberys, ostrokrzew, wajgela, tamaryszek, enkiant, tawlina, jaśminowiec, pustokrzętnik, hortensja;
- *na miejsca słoneczne:*
 - byliny (wysokość około 10÷200 cm): aster krzaczasty i nowobelgijski, barszcz Mantegazziego, czyściec wełnisty, nawłóć, przegorzan, pustynnik, trawy: kostrzewa miotlasta, miskant chiński, mozga trzcinowata, ukwap dwupienny;
 - krzewy: hebe, kalina, kalmia, budleja, kolkwiteja, forsycja, róża, magnolia, fotergilla, trzmielina, ognik, lilak, porzeczka, hibiskus, tawuła, escallonia, klon, świdośliwa;
- *na miejsca cieniste:*
 - byliny (wysokość około 10÷200 cm): barwinek pospolity, dąbrówka rozłogowa, jęczyczka pomarańczowa, parzydło leśne, pióropusznik strusi, rodgersja, jęczyczka Przewalskiego;
 - krzewy: runianka, kalina, berberys, dziki bez, śnieguliczka, ostrokrzew.

Niezbędnym elementem jest odpowiednie wkomponowanie drzew liściastych o liściach opadających na zimę i zimozielonych, drzew iglastych oraz całą gamę różnorodnych pnączy.

Na zastosowanie roślinności do zadarniania składowisk odpadów wpłynęły cechy wytrzymałościowe i odpornościowe systemu korzeniowego. Odporność na rozciąganie jednorocznych korzeni o średnicy około 2 mm przykładowo wynosi:

- dla perzu około 700 – 2530 N/cm²,
- dla lucerny około 2540 – 6650 N/cm²,
- dla wierzby kruchej około 970 – 2550 N/cm²,
- dla wierzby iwy około 940 – 2560 N/cm².

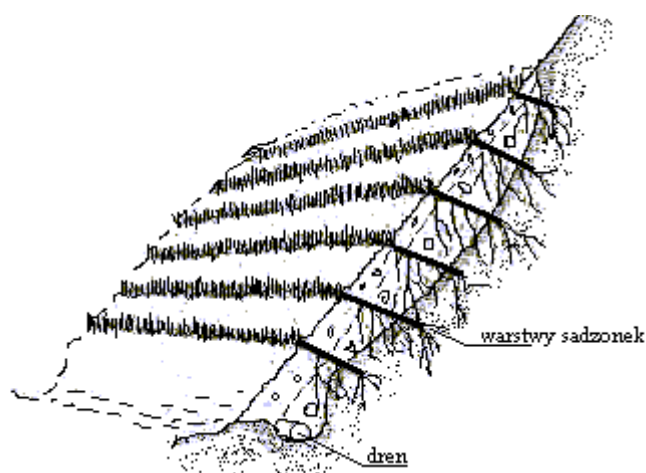
Biorąc pod uwagę wytrzymałość drewna budowlanego na rozciąganie, która wynosi średnio 10 MPa, należy stwierdzić, że system korzeniowy roślin wytwarza wytrzymałą warstwę darni, która jest czynnikiem poprawiającym stabilność mechaniczną składowiska odpadów.

Objętość przerośniętego korzeniami gruntu, po jednym sezonie wegetacyjnym, może wynosić od 0,414 m³ do 0,896 m³.

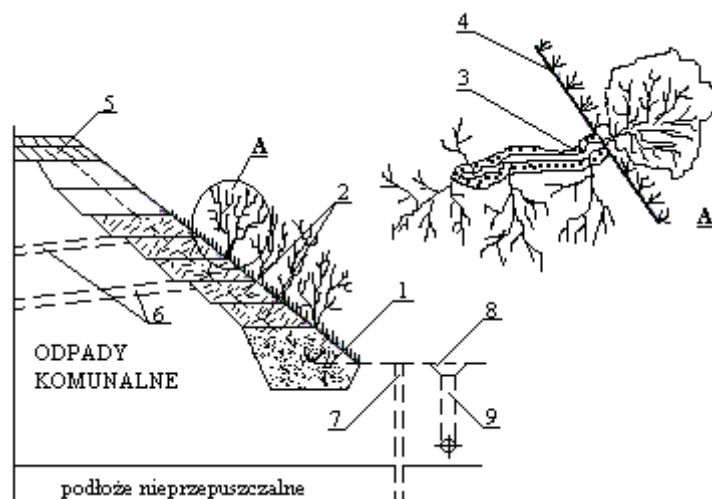
22.3. Technika wprowadzania biocenozy

W procesie rekultywacji składowisk znaczącą rolę pełni biocenoza, która wytwarza dużą masę ekspansywnych korzeni, jest odporna na suszę, na zasypywanie, jest niewrażliwa na uszkodzenia mechaniczne i rozmnaża się wegetatywnie. Dzięki zastosowaniu techniki zadarniania roślinnością otrzymuje się ciekawą architektonicznie bryłę wkomponowaną w krajobraz otoczenia, tworzącą z nim spójną całość, która z czasem stanie się siedliskiem różnorodnej biocenozy i stanowić może ciekawe miejsce naturalnego ogrodu botanicznego.

„Zbrojenie” bryły składowiska roślinami zapewnia także aktywne jej odwodnienie powierzchniowe (rysunek 54 i 55). Odwodnienie jest tym skuteczniejsze, im więcej różnych gatunków roślin zastosowano do obsadzenia terenu oraz im więcej pięter one zajmują (piętro roślin zadarniających, piętro roślin krzewiastych, piętro drzew). Rośliny mają duże zapotrzebowanie na wodę, działają więc jak aktywne urządzenia odwadniające, szerzej i głębiej niż drenaż ceramiczny. Jest to istotne w przypadku trudnych do odwodnienia skarp. Pobór wody zależy od siły ssącej danego gatunku roślin i zawiera się w granicach około 5÷10 barów. Przykład szybkości spływu wód deszczowych po zboczach, w różnym stopniu zagospodarowanych, ilustruje rysunek 56.

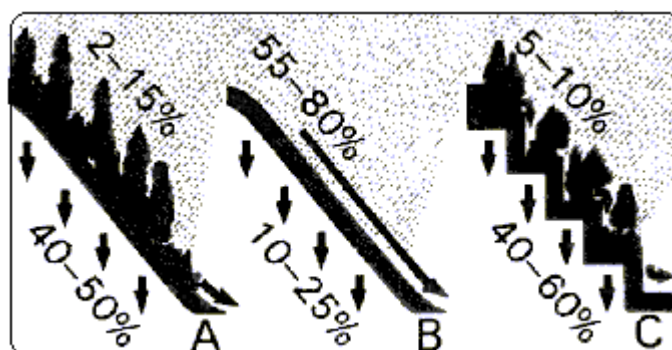


Rysunek 54. Odwodnienie skarpy poprzez zastosowanie nasypu z porostem wierzbowym (B.Schiechl, 1999)



Rysunek 55. Koncepcja modernizacji skarpy składowisk (M.Głażewski, 1999)

1- popiół zeskalony (beton popiołowy), 2- popioły zagęszczone (odwodnione), 3- wiązki faszynowe ułożone w warstwie odwodnionych osadów ściekowych, 4- zazielenione powierzchnie, 5- warstwy ochronne (odwodnione popioły wymieszane z osadami ściekowymi) obsiane mieszankami traw i roślin motylkowych, 6- warstwy wyrównawczo-sanitarne (mieszanki osadowo-popiołowe), 7- ekran przeciwfiltracyjny (z zawiesziny twardniejącej), 8- rów opaskowy, 9- drenaż (rów opaskowy); (7,8- wybór zależy od wyników badań geotechnicznych i hydrogeologicznych)



Rysunek 56. Przykłady szybkości splywu wód deszczowych (Z.M.Karaczun, L.G.Indeka, 1999)

A- na zboczach zalesionych, B- na zboczach pozbawionych roślinności, C- na zboczach zagospodarowanych tarasowo

Poszczególne gatunki roślin stosowanych w budownictwie biotechnicznym, muszą szybko sprostać wymaganiom obiektu budowlanego, dlatego dobiera się je z uwzględnieniem ich naturalnych właściwości siedliskowych. Wyboru dokonuje się w oparciu o wysokość nad poziomem morza, długość i szerokość geograficzną, warunki geologiczne, rodzaj i aktywność gleby, biologię wód powierzchniowych, okresy wegetacji, okresy zwiększonej transpiracji roślin, rozkład opadów atmosferycznych, wahania temperatury.

Rośliny mogą być wprowadzane jako:

- **mieszanka nasion**, wówczas obsiew prowadzi do szybkiego ustabilizowania powierzchni gruntu bez szaty roślinnej. Zastosowanie wielogatunkowej mieszanki daje najbardziej naturalną i stabilną darr;
- **sadzonki pędowe**, które szybko przerastają i wzmacniają korzeniami powierzchnię gruntu. Dla sadzonek zaleca się ich wymiarowanie: 30-50 cm; 40-60cm; 60-100 cm i sadzenie w rozstawie około 0,5 x 0,5m lub 0,6 x 0,6m.

Spośród sadzonek pędowych rozróżnia się:

- różgi, elastyczne pędy o długości około 120 cm lub większe;
- paliki, pędy o długości około 25÷60 cm i średnicy około 1÷5 cm;
- tyczki, proste pędy o długości minimalnej 50 cm i średnicy około 3 cm;
- gałęzie, pędy rozgałęzione o długości minimum 50 cm;
- drągi, pędy proste o długości około 1,5÷2,5 m.

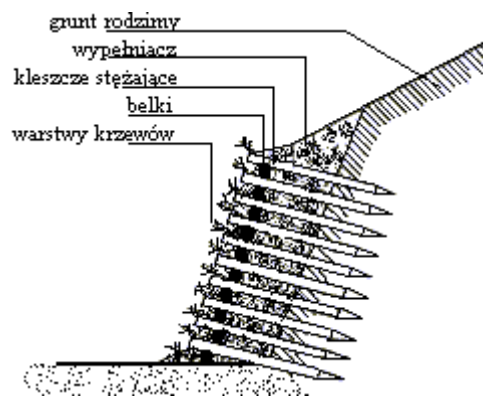
W planowaniu zagospodarowania bryły składowiska należy rozpoznać stan:

- wyjściowy, czyli możliwy rozwój roślin
- docelowy, czyli co chcemy osiągnąć, z uwzględnieniem:
 - naturalnego siedliska biocenozy (flora i fauna),
 - ekologicznych wad gruntu,
 - sił niszczących (zmierzonych i obliczonych),
 - wprowadzenia trwałych konstrukcji biotechnicznych adekwatnych do sił niszczący,
 - wybrania odpowiednich roślin jako budulca, który tworzy efektywną biocenozę docelową.

22.4. Konstrukcje stabilizujące bryłę składowiska

Najbardziej trwałą bryłę składowiska odpadów otrzymuje się przez zastosowanie złożonej konstrukcji: tradycyjnego materiału budowlanego i budulca roślinnego. Spełnia ona swoją ochronną rolę zaraz po wykonaniu, a jej skuteczność powiększa się wraz z rozwojem korzeni.

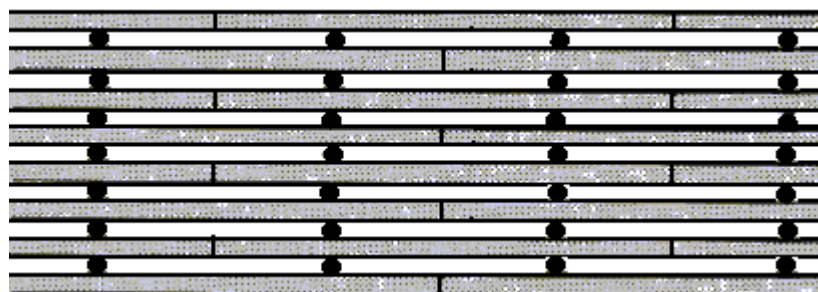
Rodzaj zastosowanej konstrukcji zależy od kształtu bryły składowiska, powierzchni i skarp. Ważny jest także efekt, jaki docelowo chce się uzyskać, czyli ostateczna architektura krajobrazu składowiskowego. Przykładem takiej złożonej konstrukcji jest umocnienie techniczne wykonane z pojedynczej lub podwójnej ściany ażurowej, rysunek 57.



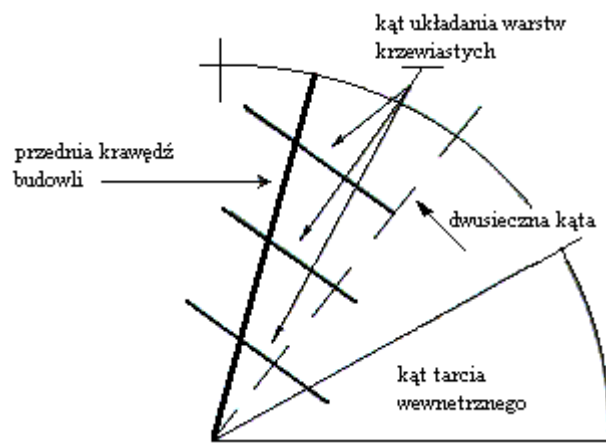
Rysunek 57. Przekrój poprzeczny kaszycy
(B.Schiechtl, 1999)

W konstrukcji tej okorowane belki drewniane umieszcza się pionowo na skarpie, przytrzymując je przy pomocy kleszczy stężających wbitych w stok pod kątem 90° do planowanej powierzchni skarpy. Kleszcze działają jak kotwa, przenosząc siły parcia gruntu na podłoże budowli. Przyjmuje się, że najbardziej optymalne wymiary belek to średnica około 16 cm i długość 4 m. Średnice kleszczy przyjmuje się na około 14 cm. Belki łączy się ze sobą za pomocą płyty stalowej z obustronnym wieńcem stalowych zębów. Ponieważ tworzą one ścianę poddawaną działaniu sił poziomych, aby je rozprowadzić, kłody na połączeniach muszą na siebie zachodzić (rysunek 58).

W niszach pomiędzy kłody sadi się rośliny zadarniające. Przyjmuje się, że kąt układania warstw krzewiastych wyznacza prostopadła do dwusiecznej kąta między przednią krawędzią konstrukcji a ramieniem kąta tarcia wewnętrznego (rysunek 59). Podobny rezultat uzyskuje się przy zastosowaniu betonowych ażurowych elementów prefabrykowanych.



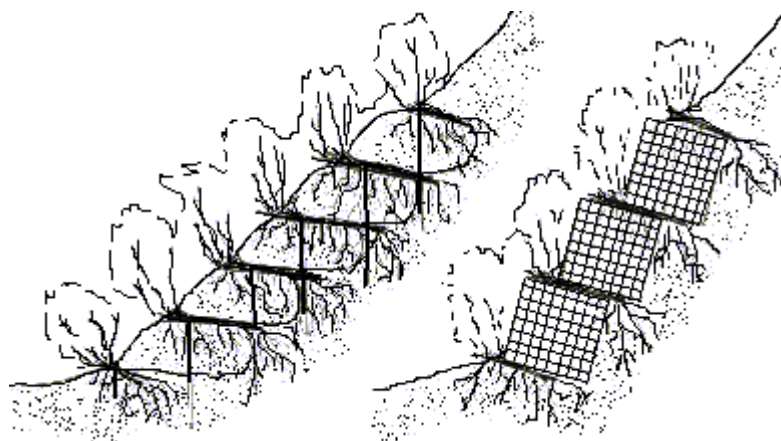
Rysunek 58. Ułożenie kłód (B.Schiechtl, 1999)



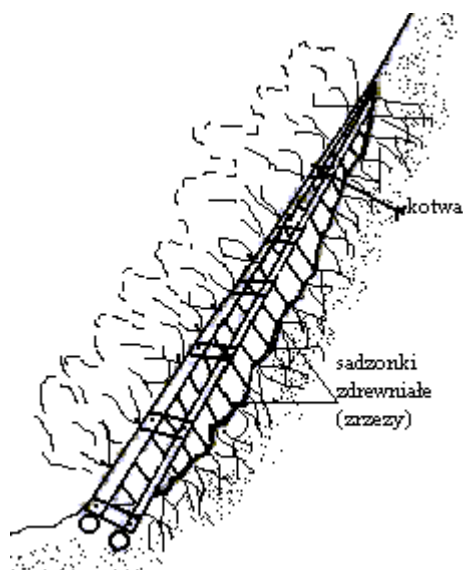
Rysunek 59. Ułożenie warstw krzewiastych (B.Schiechl, 1999)

Innym rozwiązaniem jest zastosowanie:

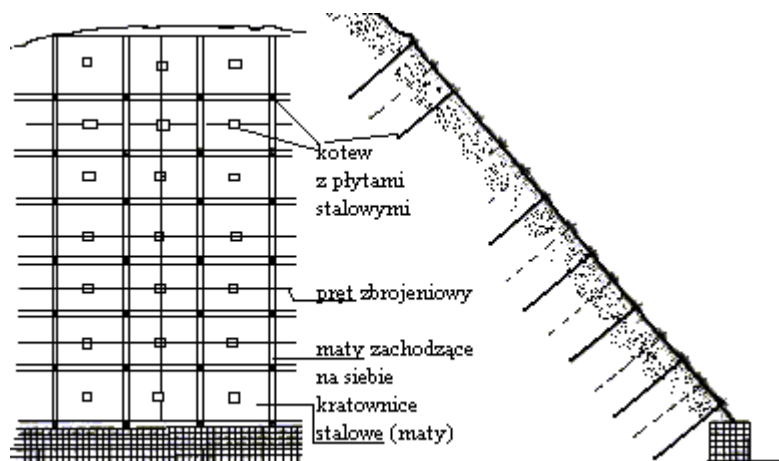
- muru kamiennego układanego na sucho, zbrojonego sadzonkami roślin,
- okładzin biotekstylnych (tkanin z włókien naturalnych), przetykanych sadzonkami roślin,
- ukośnych, półokrągłych rynien lub skrzyń z siatek drucianych o sześciokątnych okach (średnica drutu 1,4 mm), na które układa się (ukośnie) paski juty, a całość wypełnia glebą i obsadza roślinnością, metoda nie wymaga dodatkowego mocowania palikami (rysunek 60),
- drewnianego rusztowania drabinowego lub z kłód (ewentualnie prefabrykowanych elementów lub kształtowników metalowych) opartego o skarpe i połączonego przy pomocy kotew, również obsadzonego roślinnością (rysunek 61),
- siatek drucianych o małych okach, układanych na płaskiej powierzchni, zabezpieczonych przed przesuwaniem prętami stalowymi wbijanymi w grunt, po posadzeniu roślin oka wypełnia się żwirem (rysunek 62),
- kratownicy stalowej przymocowanej do podłoża za pomocą kotew.



Rysunek 60. Skrzynie ze żwirem – z siatki drucianej (lewa strona) i z zespawanych kratownic stalowych (prawa strona), w połączeniu z porostem wierzbowym (B.Schiechl, 1999)



Rysunek 61. Rusztowanie drewniane na skarpie uzupełnione o sadzonki wypuszczające odrośle (B.Schiechl, 1999)



Rysunek 62. Umocnienie kratownicowe – zabezpieczenie skarpy siatkowymi matami metalowymi (B.Schiechl, 1999)

22.5. Obsiew i hydroobsiew

Zastosowanie techniki obsiewu nasionami traw powierzchni bryły składowiska odpadów prowadzi do szybkiej stabilizacji gruntu i jego zadarniania. Obsiew zabezpiecza przed rozsiewaniem, pyleniem i erozją powierzchniową cząstek gruntu. Mieszanka nasion rozprowadzana może być ręcznie lub w sposób zmechanizowany.

Wygodną techniką obsiewu jest **hydroobsiew**. Polega on na powierzchniowym natryskiwaniu gleby jednolitą zawiesiną składającą się z:

- mieszanki traw, roślin motylkowych i bylin w proporcji około 300 kg/ha,

- płynne mieszanki nawozów mineralnych, o stosunku N:P:K wynoszącym 1:0; 8:1,2 w proporcji około 200 kg/ha czystego N i z dodatkiem mikroelementów,
- płynnych osadów ściekowych, zawierających od 3 do 12 % suchej masy osadu, w proporcji około 60 m³/ha.

Użycie płynnych osadów ściekowych prowadzi do ich utylizacji i ma tę cechę, że zawartość w nich, nawet znacznych ilości, substancji toksycznych pozwala na trwałą i szybki rozwój niektórym gatunkom roślin darniowych (np. traw). Osady ściekowe posiadają właściwości wiążące, zabezpieczają nasiona przed erozją wodną i wietrzną, a także przed nadmiernym wysychaniem.

Hydroobsiew prowadzi się przy użyciu mechanicznego sprzętu „hydrosiewnika”. Podstawowymi elementami hydrosiewnika jest obracający się zbiornik na zawieszinę. Zawieszina jest więc stale mieszana i nie ulega rozwarstwieniu. Pompa o wydajności około 400-800 dm³/min, przystosowana do gęstego płynu, rozprowadza mieszkankę pod ciśnieniem około 0,4 – 1,0 MPa na opryskiwaną powierzchnię.

23. NIELEGALNE - „DZIKIE” - SKŁADOWISKA ODPADÓW

Zgodnie z polskim ustawodawstwem, zapewnienie warunków niezbędnych do ochrony środowiska przed odpadami oraz dbanie o utrzymanie porządku i czystości należy do właściwych organów gminy. Organy te zobowiązane są do zapobiegania powstawaniu i likwidacji już istniejących nielegalnych składowisk odpadów komunalnych. Tworzenie nielegalnych wysypisk jest konsekwencją niskiego poziomu edukacji ekologicznej społeczeństwa, wieloletnich nawyków i niewłaściwych przyzwyczajzeń. To także konsekwencja braku odpowiednio zorganizowanych składowisk, mało sprawnego systemu zbiórki i odbioru odpadów z indywidualnych gospodarstw domowych, zwłaszcza wiejskich.

Nielegalne składowiska odpadów komunalnych, nazywane „dzikimi” wysypiskami są głównym zagrożeniem i uciążliwością dla środowiska naturalnego i człowieka (zdjęcie 8). Odpady składowane są w środowisku, w sposób przypadkowy, bez jakiegokolwiek zabezpieczenia otoczenia, bez kontroli, bez planu rekultywacji środowiska, w pobliżu strumieni wodnych, gleb uprawianych rolniczo, w lasach i zagajnikach. Do tego procederu wykorzystywane są różne wgłębienia terenu, rowy, wyrobiska, w których dodatkowo gromadzą się wody opadowe lub napływowe z otaczającego obszaru, utrudniając dotarcie do wnętrza i jego oczyszczenie.

„Dzikie” wysypiska, związane są głównie z aglomeracją wiejską. Z tego względu wykazują znaczne zróżnicowanie jakościowe odpadów, które stanowią mieszkankę odpadów

domowych, rolniczych, przemysłowych i niebezpiecznych (odchody i odpadki zwierzęce, środki ochrony roślin, smary, oleje, elementy maszyn rolniczych itp.). Mieszanina ta znacząco wpływa na degradację gleb typu: chemicznego (zakwaszenie, alkalizacja, zasolenie, zanieczyszczenie metalami ciężkimi), biologicznego (zmęczenie gleb i wyginiecie mikroorganizmów), hydrologicznego (zawodnienie odciekami), fizycznego (pogarszanie struktury glebowej). Ponadto, procesy beztlenowe prowadzą do ulatniania się toksycznych gazów grożących trudnymi do zlokalizowania zatruciami, niekontrolowanymi wybuchami, a nawet pożarami w wyniku samozapalenia się odpadów. Stanowią istotne zagrożenia ujęć wody i studni. Wiatry powodują rozwiewanie odpadów oraz pylenie, co z kolei powoduje zanieczyszczenie znacznych obszarów w otoczeniu wysypisk. Prowadzi to do nadmiernego rozwoju ptactwa drapieżnego i gryzoni.



Zdjęcie 8. "Dzikie" wysypisko w gminie Dukla, woj. podkarpackie (2002 r.)

Likwidacja skutków skażenia pochodzącego ze strony dzikich wysypisk odpadów, może przebiegać w ciągu bardzo długiego okresu, nawet 5÷15 lat. Rekultywacja skażonego terenu jest utrudniona, gdyż źródło skażenia trudno jest zlokalizować. Znaczną trudność sprawia przy tym ustalenie charakteru odpadów, bowiem z upływem czasu leżakowania ulegają całkowitemu lub w znacznej części rozkładowi. Nieznana jest także ich ilość, a są to parametry konieczne do wybrania odpowiedniej, optymalnej technologii oczyszczania i rekultywacji skażonego obszaru. Oczyszczanie podłoża gruntowego, likwidacja skutków skażenia i zanieczyszczenia wymaga zastosowania specjalistycznych metod, które dodatkowo podnoszą koszty gospodarki odpadami w gminie.

Część 3.

KOMPOSTOWANIE ODPADÓW

24. PROCES KOMPOSTOWANIA

W procesie zintegrowanej gospodarki odpadami obok składowisk odpadów komunalnych, drugim korzystniejszym środowiskowo kierunkiem ich unieszkodliwiania jest *kompostowanie*.

Kompostowanie odpadów jest najstarszą formą utylizacji nieprzydatnej materii organicznej, prowadzoną przez biotyczne czynniki środowiska naturalnego od milionów lat. Jest to proces biochemicznego rozkładu związków organicznych, które bezpośrednio lub pośrednio powstały w wyniku fotosyntezy i asymilacji dwutlenku węgla i przechodzą proces odwrotny – desymilacji. Jest to rozkład umożliwiający odzyskanie substancji użyźniających glebę. Kompostowaniu poddawane są przede wszystkim substancje zawarte w odpadach komunalnych, rzadziej w odpadach przemysłowych i osadach ściekowych. Proces rozkładu zachodzi w warunkach aerobowych. W tych warunkach substancja organiczna zostaje przekształcona w kompost, przy zmniejszeniu objętości do około 70÷90%. Przy tak znacznym minimalizowaniu objętości odpadów, włączony do gospodarki odpadami proces kompostowania, w optymistyczny sposób wpływa na możliwość minimalizowania objętości i masy składowanych odpadów komunalnych. Przy obecnej długości czasu pracy składowisk odpadów komunalnych ich „żywność” może zostać przedłużona nawet o około 50% żywotności pierwotnej. W ten sposób obniżają się koszty składowania odpadów komunalnych, minimalizuje ilość powstającego biogazu i uciążliwość odorów. Ze strumienia odpadów komunalnych wyłączone mogą być wszystkie te odpady, które w budowie strukturalnej cząsteczek zawierają atomy węgla organicznego. Stanowią one około 30% i więcej łatwo rozkładalnych odpadów organicznych, bogatych w składniki nawozowe. Będą to więc organiczne odpadki:

- domowe (resztki jedzenia, fusy z kawy, herbaty, skorupki jaj, obierki, resztki warzyw i owoców, popiół z palenisk domowych),
- ogrodowe (liście, pokosy traw, rozdrobnione gałęzie, słoma, trawy, wióry drewniane),
- pochodzenia rolniczego (gnojówka, gnojowica, skóry, soki kiszonkowe, surowiec kiszonkowy, pokosy roślin uprawnych, itp.),

- przemysłu spożywczego (ze wszystkich jego gałęzi: mleczarnie, masarnie, browary, fabryki słodocy i czekolady, cukrownie, słodownie, krochmalnie, jadalnie itp.)
- przemysłu drzewnego (wióry, kora, próchno, dykty, fornir, węgiel drzewny, makulatura itp.),
- odpady z oczyszczania miast (zmiotki uliczne, szlamy z rowów, odpady z terenów zieleni miejskiej i cmentarzy, torfy, węgiel brunatny)
- i wszystkie inne substancje, które w swej budowie cząsteczkowej zawierają węgiel organiczny.

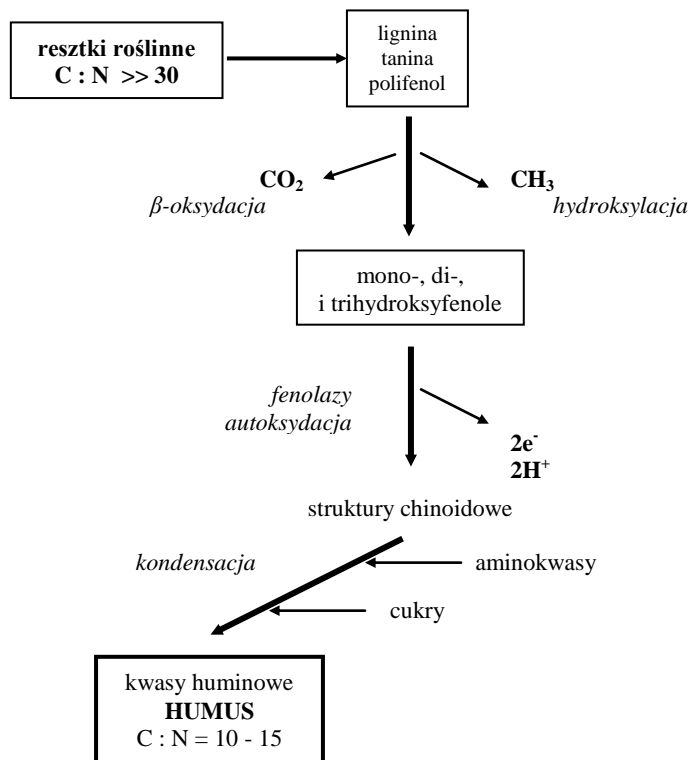
Dodatek popiołów lotnych i osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków wpływa na uzyskanie optymalnej wilgotności kompostu (około 50÷60%), zwiększa jego przewiewność, zapewnia optymalny stosunek C/N (około 30), wzbogaca o związki mineralne: 30% ÷ 40% CaO, 3% ÷ 5% MgO, 0,7% ÷ 1,2% K₂O, 0,5% ÷ 0,8% P₂O₅ i wpływa na odkwaszenie gleb (pH popiołów lotnych wynosi 11,5÷13,5).

Do kompostowania nie nadają się substancje mineralne, które nie ulegają biochemicznemu rozkładowi, jak szkło, metale, tkaniny syntetyczne. Nieprzydatne są surowe kości i mięso, których ich rozkład może być przyczyną powstania patogennych wirusów i odorów. Także nie jest wskazane kompostowanie skórek z owoców cytrusowych, których dodatek wpływa hamująco na rozwój niektórych drobnoustrojów, a tym samym na proces rozkładu substancji organicznej.

Kontrolowany proces kompostowania oparty jest na tych samych zjawiskach, jakie przebiegają w naturalnym procesie krążenia materii, czyli na drodze mikrobiologicznego i fizyko-chemicznego rozkładu. W naturalnych warunkach przyrodniczych substancja organiczna dostaje się do gleb w wyniku obumierania roślin i zwierząt. Podstawowymi związkami organicznymi, które budują organizmy roślinne i zwierzęce, są węglowodany (cukry), białka, tłuszcze i kwasy tłuszczowe oraz lignina. Po obumarciu organizmu, substancje te ulegają różnym przemianom. Na przemiany substancji organicznej mają wpływ warunki klimatyczne i biologiczne. Dlatego substancja organiczna może ulec całkowitemu rozkładowi, czyli mineralizacji lub częściowej mineralizacji i przekształceniu w próchnicę, czyli humifikacji. Najczęściej zachodzą dwa etapy rozkładu materii organicznej:

1. **Mineralizacja, czyli butwienie.** W procesie tym około $\frac{3}{4}$ ÷ $\frac{4}{5}$ materii organicznej zostaje rozłożona na proste związki mineralne, produkty pełnego utlenienia, jak: CO₂, H₂O, NH₃, CH₄, H₂S, H₂O₂, jony: Na⁺, K⁺, Al³⁺, Ca²⁺, H⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄²⁻, HPO₄²⁻ i inne;

2. **Humifikacja**, w procesie której około $\frac{1}{4} \div \frac{1}{5}$ materii organicznej zostaje przekształcona w procesach polimeryzacji i kondensacji w złożoną, koloidalną, amorficzną substancję o cechach **próchnicy, czyli humusu** (rysunek 63).



Rysunek 63. Schemat tworzenia próchnicy – humusu (W.J.H.Kunicki-Goldfinger, 2001)

Próchnica jest „nawozem pełnym” i stanowi najcenniejszą część gleby, bowiem od jej ilości i jakości zależy żyzność i struktura gleb. W skład próchnicy (humusu) wchodzi wszystkie pierwiastki, z których zbudowane są resztki poddane kompostowaniu, a zawartość próchnicy, w ogólnej ilości części organicznych przyjmuje się na poziomie około 80÷90%.

Proces kompostowania przebiega w warunkach aerobowych, o charakterze egzotermicznym, czyli z wydzielaniem ciepła. Samozagrzewanie się kompostu w procesie utleniania uwalnia związki i jony, które stanowią substancję odżywczą (pożywkę) dla mikroorganizmów saprofitycznych (cudzożywnych), głównie mezofilnych i termofilnych. Proces przebiega przy współdziałaniu bakterii autotroficznych (samożywnych). Przez ciała tych drobnoustrojów, na drodze ich metabolizmu (przemiany materii), wędruje cała organiczna materia. Pękają skomplikowane wiązania chemiczne związków organicznych, tworząc substancje prostsze, odgrywające ważną funkcję w dalszych procesach. Do mikroorganizmów biorących udział w procesie rozkładu należą drobnoustroje glebowe, między innymi: bakterie (*Schizomycetes*), wirusy (*Virales*), grzyby (*Mikromycetes*),

pierwotniaki (*Protozoa*), glony (*Algae*), promieniowce (*Actinomycetes*), stawonogi (*Arthropoda*), nicienie (*Nematoda*), wrotki (*Rotatoria*), wirki (*Turbellaria*), a ich ekskrementy i obumarłe szczątki wzbogacają strukturę kompostu (tabela 26).

Mineralizacji ulegają głównie białka, lipidy, cukry, skrobia, proteiny, pektyny, celuloza, hemiceluloza, lignina, woski, żywice, garbniki i inne podzespoły tworzące strukturę chemiczną całego związku organicznego. Procesy biochemiczne wpływają na powstanie substancji o charakterze antybiotyków, które higienizują (dezynfekują) kompostowaną masę. Zniszczone zostają insekty, larwy, jaja pasożytów (w tym helmintów), wiele chorobotwórczych drobnoustrojów, a także nasiona chwastów i ich przetrwalniki.

Tabela 26. Przeciętne liczebności i masy najważniejszych (wybranych) grup organizmów glebowych w przeliczeniu na 1 m² i warstwę o miąższości 30 cm (St. Wiąckowski, 1998)

Grupy organizmów	Liczebność	Biomasa w g
Mikroflora		
Bakterie (<i>Bacteria</i>)	$1 \cdot 10^{12}$	50
Promieniowce (<i>Actinomycetes</i>)	$1 \cdot 10^{10}$	50
Grzyby (<i>Fungi</i>)	$1 \cdot 10^9$	100
Glony (<i>Algae</i>)	$1 \cdot 10^6$	1
Mikrofauna (0,002 – 0,2 mm)		
Wiciowce (<i>Flagellate</i>)	$5 \cdot 10^{11}$	
Korzenionóżki (<i>Rhizopoda</i>)	$1 \cdot 10^{11}$	10
Orzęski (<i>Ciliata</i>)	$1 \cdot 10^6$	
Mezofauna (0,2 – 2,0 mm)		
Wrotki (<i>Rotatoria</i>)	$2,5 \cdot 10^4$	0,01
Nicienie (<i>Nematoda</i>)	$1 \cdot 10^6$	1
Roztocze (<i>Acarina</i>)	$1 \cdot 10^5$	1
Skoczogonki (<i>Clembola</i>)	$5 \cdot 10^4$	0,6

24.1. Wykorzystanie kompostu

Kierunki wykorzystania kompostu określone są przez jego cechy:

- stopień dojrzałości,
- zawartość metali ciężkich,
- zawartość rozpuszczalnych soli mineralnych,
- zawartość związków fototoksycznych, czyli związków, które pod wpływem promieniowania słonecznego działają toksycznie na organizmy roślinne i zwierzęce.

Dojrzały kompost, nie zawierający pasożytów i związków kancerogennych stanowi cenny materiał glebotwórczy. Próchnica, w zależności od frakcji w niej występujących (i ich właściwości) w różny sposób wpływa na właściwości gruntów, nawet przy tej samej jej ilości. Wynika to z faktu różnego stosunku ilościowego poszczególnych frakcji próchnicy, a

zwłaszcza kwasów huminowych do fulwowych. Stosunek ten zależy jest także od warunków środowiska, w jakim dana próchnica powstaje, występuje i głębokości jej zalegania.

Średni skład próchnicy to około: C – 58%, O – 28%, H – 4÷5%, N – 1,5%, popiół 2÷8%. Pierwiastki te stanowią podstawowy materiał glebotwórczy, użyźniający gleby zdegradowane antropogenicznie. Gleby wzbogacone kompostem powinny charakteryzować się prawidłową strukturą i zawartością, w porcji objętościowej, około 45 % związków mineralnych, 5 % próchnicy (humusu), 25% fazy gazowej (powietrza) i 25% fazy ciekłej (wody).

Kompost wykorzystany może być do kształtowania antropogenicznego krajobrazu. Użyźniając gleby zdegradowane (np. przemysłowe), wzbogaca i poprawia ich strukturę. Stanowi wartościowy składnik poprawiający strukturę gleb rekultywacyjnych (np. na składowiskach, hałdach, lagunach). Jest wartościowym nawozem organicznym dla ogrodów działkowych, zieleni miejskich, ogrodów botanicznych, terenów rekreacyjnych. Stanowić użyteczny nawóz, który poprawia strukturę gleb leśnych. Wykorzystany może być w rolnictwie, ogrodnictwie i warzywnictwie do poprawy żyzności gleb. Wykazano także jego korzystny wpływ na ptactwo drobiowe, gdy stosuje się go jako dodatek do pasz. W gospodarstwach domowych kompost stosowany jest w postaci ziemi doniczkowej, pobudzającej wzrost roślin i poprawiającej jej jakość.

Możliwości wykorzystania przyrodniczego kompostu jest bardzo wiele. Podkreślić jednak jeszcze raz należy, że w niektórych działach gospodarki jest on cennym materiałem nawozowym tylko w przypadku spełnienia określonych norm, dotyczących zawartości w kompoście substancji toksycznych i kancerogennych. Wynika to ze zdolności roślin do asymilowania różnorodnych substancji mineralnych, które stanowią dla nich składnik odżywczy i w ten sposób wchodzi do łańcucha troficznego.

25. WARUNKI KOMPOSTOWANIA

Optymalne warunki dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania zależą od takich czynników środowiska, jak:

- skład chemiczny kompostowanej materii organicznej, w tym zawartość węgla organicznego powinna wynosić około 50%,
- wilgotności materii organicznej, która powinna wynosić około 40% ÷ 70%,
- temperatura procesu, która powinna być utrzymana na poziomie około 50⁰C ÷ 80⁰ C,
- stopień natlenienia, czyli około 0,6 ÷ 1,9 m³/kg s.m. na dobę,
- gatunki mikroorganizmów biorących udział w procesie,

- ilość i aktywność mikroorganizmów,
- stopień przyswajalności materii organicznej przez mikroorganizmy,
- stopień rozdrobnienia materii organicznej, której frakcja powinna mieścić się w granicach około 10÷15 mm (maksymalnie 20÷40 mm),
- stosunek węgla do azotu, który powinien być mniejszy od 20,
- pH materii organicznej, które powinno być na poziomie około 4,5 ÷ 9,5 (optymalne pH = 6,5),
- ilość pierwiastków eutroficznych, czyli N, K, P,
- brak substancji toksycznych, które niszczą większość mikroorganizmów.

Kompost, zwany inaczej humusem, jest nawozem organicznym, zawierającym 85÷90% materii organicznej oraz takie związki, jak enzymy, hormony, kwasy fulwowe (w tym krenowe, apokrenowe), kwasy huminowe (w tym hymatomelanowe, huminowe brunatne i szare), huminy. Skład chemiczny substancji poddawanej kompostowaniu, wpływa na rodzaj szczepów drobnoustrojów biorących udział w rozkładzie oraz na skład chemiczny otrzymanej próchnicy.

25.1. Fazy kompostowania

Metody kompostowania różnią się pomiędzy sobą technologią prowadzenia procesu. Jednak bez względu na zastosowaną technologię ilość etapów kompostowania i czas trwania pojedynczych metod są podobne.

Rozkład substancji organicznej przebiega w trzech podstawowych fazach:

- **Faza I** – to faza intensywnego rozwoju drobnoustrojów tlenowych i mezofilnych. W miarę postępowania rozkładu przez organizmy mezofilne uwalnia się ciepło, temperatura zagrzewanej masy rośnie osiągając granicę optymalną, pomiędzy 45÷80⁰C. W miarę podnoszenia się temperatury zaczynają rozwijać się organizmy termofilne, które stopniowo zaczynają dominować. Organizmy mezofilne, w wyniku wzrostu temperatury powoli zanikają. Wraz ze wzrostem temperatury proces rozkładu jest najintensywniejszy.
- **Faza II** – rozpoczyna się powolnym spadkiem temperatury do przedziału około 45÷55⁰C. Jest to faza higienizacji kompostu. Unieszkodliwione zostają drobnoustroje chorobotwórcze, jaja pasożytów, nasiona chwastów i ich przetrwalniki. Im dłużej trwa faza higienizacji, tym dokładniej odkażony jest kompost. Utrzymanie temperatury powyżej 55⁰C przez co najmniej 10 dni zapewnia całkowite zniszczenie drobnoustrojów chorobotwórczych i substancji antybiotycznych wytwarzanych przez niektóre grzyby-

pleśnie. W miarę spadku temperatury ponownie zaczynają rozwijać się drobnoustroje mezofilne, jednak termofile nadal dominują.

- **Faza III** – rozpoczyna się, gdy temperatura w kompoście spada poniżej 43⁰C. Gina powoli termofile, dominować zaczynają mezofile. Gdy temperatura we wnętrzu kompostu osiąga temperaturę otoczenia, proces zostaje zakończony.

25.2. Ocena właściwości kompostu

Na jakość otrzymanego kompostu ma wpływ wstępna obróbka strumienia odpadów: dokładne wyselekcjonowanie materiału organicznego, oddzielenie substancji gnilnych, odpadów niebezpiecznych i toksycznych oraz nieaktywnych, wielkogabarytowych. W dalszej kolejności konieczne jest mechaniczne rozdrobnienie materii, przesianie i wymieszanie składników z ewentualnym dodaniem wody dla utrzymania optymalnej wilgotności procesu.

Jakość kompostu zależy także od stopnia jego higienizacji, zawartości związków mineralnych i organicznych, a także obecności metali ciężkich i innych pierwiastków toksycznych (tabela 27). Dojrzały kompost powinien charakteryzować się czarną barwą, zapachem świeżej ziemi i strukturą gruzełkową gleby. Są to jego podstawowe cechy organoleptyczne.

Tabela 27. Przykładowe wyniki analiz jakościowych metali ciężkich zawartych w kompoście z czterech sezonów 1994 r. (C.Rosik-Dulewska, 2000)

Pierwiastek w mg/kg s.m.	WIOSNA					LATO				
	Frakcja w mg/kg s.m.					Frakcja w mg/kg s.m.				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Cd	3,2	2,0	7,0	1,0	3,5	0,8	1,0	8,6	2,1	3,1
Cr	19,2	2,0	2,5	0,5	33,0	33,8	23,4	51,1	18,9	33,8
Cu	2,7	2,5	125,0	84,5	86,5	0,8	1,6	118,6	209,9	65,2
Ni	6,7	6,5	23,5	5,5	38,5	3,1	6,3	18,3	16,5	25,9
Pb	15,7	8,0	338,0	124,5	123,9	7,1	13,0	597,5	456,0	283,0
Zn	1,2	2,0	1250	87,0	425,0	3,1	1,6	556,0	395,4	558,5
Pierwiastek w mg/kg s.m.	JESIEŃ					ZIMA				
	Frakcja w mg/kg s.m.					Frakcja w mg/kg s.m.				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Cd	0,7	0,7	6,3	0,7	2,1	3,0	1,5	13,0	2,0	3,0
Cr	21,1	22,5	36,5	17,6	47,7	13,7	0,5	22,5	2,5	34,0
Cu	0,7	2,1	106,7	237,4	96,9	2,2	2,2	1240	1010	770,0
Ni	0,7	6,3	21,1	10,5	40,0	5,7	5,2	27,0	9,0	47,5
Pb	0,7	2,1	522,5	376,4	251,4	13,7	10,2	363,5	153,0	111,5
Zn	2,1	0,7	502,1	344,1	358,1	1,7	1,0	1530	160,0	310,0

Próchnica kompostowa w swoim składzie zawiera różnorodne związki mineralne, których ilość i jakość wpływa nie tylko na jakość kompostu, ale także na sposób jego wykorzystania, w tym gospodarczego. W Polsce brak jest przepisów szczegółowo regulujących proces kompostowania odpadów. Metody badań cech charakterystycznych

kompostu zawarte są w kilku normach (BN-88/9103-07, BN-80/0520-13, BN-88/9103-06, BN-88/9103-05, N-72/0520-09, BN-88/9103-07, BN-72/0520-10, BN-88/9103-08, PN-81/C-04570).

Cechy kompostu ustalane są na podstawie jakości klas kompostu. Klasy kompostu: I klasa, II klasa i III klasa, dzielone są na dwie podgrupy: D-kompost drobny i G – kompost gruby (tabela 28). Dopuszczalne ilości metali ciężkich w kompoście zawierają się w granicach przedstawionych w tabeli 29.

Brak jest znormalizowanych metod do oznaczania wskaźników mikrobiologicznych w kompoście, dlatego zaleca się prowadzenie badań metodami, jakie używane są w wojewódzkich stacjach sanitarno-epidemiologicznych (tabela 30).

Tabela 28. Cechy dojrzałego kompostu

Cechy kompostu	Klasa kompostu				
	I		II		III
	D*	G*	D	G	
Zawartość substancji organicznej, % suchej masy nie mniejszy niż	40		30		20
Zawartość węgla organicznego, % suchej masy nie mniejszy niż	18		13		8
Zawartość azotu organicznego, % suchej masy nie mniejszy niż	0,8		0,6		0,3
Zawartość fosforu, % P ₂ O ₅ w suchej masie nie mniejszy niż	0,6		0,4		0,3
Zawartość potasu, % K ₂ O w suchej masie nie mniejszy niż	0,2		0,1		0,1
Odczyn – pH w H ₂ O	6,5 – 8,0		6,5 – 8,0		6,0 – 9,0
Zawartość wody w %	25 – 40		25 – 40		50
Wielkość cząsteczek frakcji w mm	0 – 15	15 – 25	0 – 15	15 – 25	0 – 40
Zawartość szkła i ceramiki w %, nie mniej niż	0,5		1,0		2,0

D - drobny kompost; G* - gruby kompost*

Tabela 29. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w kompoście (PN-81/C-04570)

Zawartość metali ciężkich, w mg/kg suchej masy, nie więcej niż	Klasa kompostu			
	I		II	III
Chrom (Cr)	300	(200)*	500	800
Kadm (Cd)	5	(5)	15	25
Miedź (Cu)	300	(200)*	600	800
Nikiel (Ni)	100	(50)*	200	200
Ołów (Pb)	350	(200)*	500	800
Cynk (Zn)	1500	(500)*	2500	2500

** W nawiasie podano dopuszczalne wartości metali ciężkich w kompoście według normy niemieckiej.*

Tabela 30. Wskaźniki mikrobiologiczne kompostu, niezbędne do oznaczania, a dla których brak jest znormalizowanych metod (F.Maciak, 1999)

Nazwa wskaźnika	Klasa kompostu		
	I	II	III
Miano bakterii grupy coli, nie mniej niż	10^{-3}	10^{-3}	nie normalizuje się
Miano bakterii grupy coli typu kałowego, nie mniej niż	10^{-2}	10^{-2}	
Miano Cl.perfringens, nie mniej niż	10^{-4}	10^{-4}	
% bakterii w postaci spor, poniżej	20	20	
Jaja helmintów (żywe), szt./kg suchej masy, nie więcej niż	0	0	

26. TECHNOLOGIE KOMPOSTOWANIA

Kompostowanie prowadzone może być w oparciu o wcześniejsze rozdrobnienie odpadów lub bez rozdrobnienia, na drodze:

- **technologii przydomowej**, która prowadzona jest w warunkach tlenowych, w formie kształtowanych z odpadów pryzm, zatok i kompostowników. Przyjeta forma może być otwarta lub zamknięta;
- **technologii specjalistycznych**, prowadzonych w warunkach tlenowych lub beztlenowych. Technologie te oparte są o proces:
 - *jednostopniowego kompostowania*: w pryzmach i zatokach – otwartych lub zamkniętych,
 - *dwustopniowego kompostowania* (lub wielostopniowego) w bioreaktorach, wieżach kompostowych, brykietach i w innych formach.

Wstępne przygotowanie odpadów polega na ich rozselekcjonowaniu, wydzieleniu substancji biologicznie nieodegradowalnych i rozdrobnieniu. Rozdrobniona frakcja odpadowa znacznie przyspiesza ich rozkład.

Teren, na którym prowadzone jest kompostowanie powinien posiadać zabezpieczenia techniczne i sanitarne. Do podstawowych zabezpieczeń należą:

- prawidłowo przygotowane podłoże, które powinno być wyrównane i utwardzone ze spadkiem około 1÷3%, w celu odprowadzenia odcieków i wód opadowych;
- prawidłowo dobrany poziom wód gruntowych, które powinny znajdować się co najmniej poniżej 1,5 ÷ 2,0 m pod powierzchnią gruntu;
- wykonany drenaż opaskowy dla odprowadzania odcieków, wód opadowych i gruntowych;

- wykonana kanalizacja deszczowa i drenażowa;
- prawidłowo wykonane dojścia i drogi dojazdowe do i wokół zakładu kompostowni, co umożliwi ekonomiczną eksploatację terenu kompostowni
- pas zieleni sanitarnej wokół zakładu kompostowni, który ogranicza do minimum negatywne oddziaływanie zakładu na otaczające go środowisko.

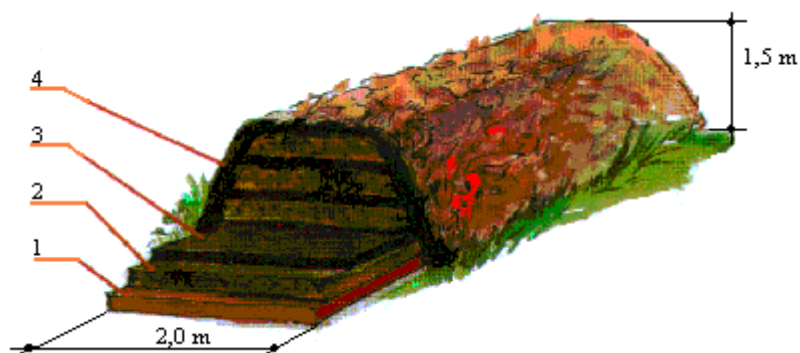
Otwarte systemy kompostowania na wolnym powietrzu mogą być przyczyną pylenia przyzmy, z których cząsteczki unoszone są przez wiatry w okresach dojrzwania kompostu, przerzucania, napowietrzania, przesiewania, suszenia i pakowania humusu. Systemy kompostowania w przyzmach zamkniętych w znacznym stopniu eliminują emisje pyłów.

26.1. Kompostowanie przydomowe

Technologia kompostowania przydomowego jest najtańszą i najefektywniejszą formą minimalizowania strumienia odpadów komunalnych u „źródła”, czyli w indywidualnych gospodarstwach domowych. Kompostowanie prowadzi się w naturalnych warunkach środowiska przyrodniczego, w wydzielonym miejscu ogrodu przydomowego.

Z masy odpadów formuje się:

- *przyzmy* w kształcie równoramiennego trapeza (rysunek 64);
- *zatoki*, które stanowią dwie równoległe ściany (np. z desek lub z tworzywa sztucznego) wypełnione odpadami;
- *kompostowniki*, którymi są ażurowe pojemniki murowane, drewniane, z tworzywa sztucznego, metalowe lub gotowe termokompostowniki, będące w sprzedaży handlowej (rysunek 65).



Rysunek 64. Przyzma kompostowa przydomowa (J. Więsyk, 2000):
 1- podkład z torfu, 2- odpady organiczne, 3- ziemia kompostowa lub nawóz,
 4- wierzchnia warstwa ochronna

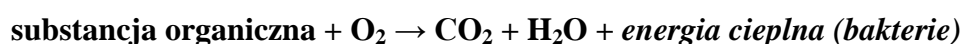


Rysunek 65. Termokompostownik (J.Więsyk, 2000): odpady, przy pomocy specjalnej dźwigni wprowadzane są do wnętrza masy kompostowej

Prawidłowy dobór kompostowanej substancji odpadowej nie prowadzi do niekontrolowanych zmian w czystości powietrza otaczającej kompostowaną materię.

Proces mikrobiologicznego rozkładu i brązowienia (dojrzewania) kompostowanej masy może zostać przyspieszony poprzez wzbogacenie zgromadzonej masy odpadowej *komposterami*, czyli preparatami zawierającymi niezbędne mikroelementy oraz mikroorganizmy glebowe (otrzymywanymi w sprzedaży handlowej). Dla przyspieszenia rozkładu stosuje się także metodę „zaszczepiania” świeżej masy odpadów już dojrzałym kompostem.

Proces mikrobiologicznego rozkładu przebiega według reakcji stechiometrycznej:



W każdej z form kompostowania odpady powinny być mieszane, aby tlen atmosferyczny miał bezpośredni dostęp do całej struktury odpadów. Sprzyja to metabolizmowi mikroorganizmów tlenowych a nie gnilnych. Ważny jest więc również sposób układania odpadów i ich mieszania, który powinien umożliwiać dostęp tlenu do najgłębiej zalegających warstw. Ma to również wpływ na ujednoczenie składu końcowego produktu oraz na częściowe odparowania nadmiaru wody. Wskazane jest co najmniej dwukrotne „przerabianie” złożonej masy, w ciągu 5÷6-miesięcznego okresu kompostowania.

Ponieważ składowane są „czyste odpady” (bez substancji toksycznych i niebezpiecznych) i o stosunkowo małej ilości masowej i objętościowej, odcieki mogą bezpośrednio przenikać do gleby, gdzie w procesie infiltracji następuje ich samooczyszczenie. Mogą być również odprowadzane na zewnątrz formy kompostowej, ujmowane i zużywane do zraszania złoża odpadów.

Całkowity proces przydomowego rozkładu odpadów trwa około 1,5÷2 lat. Rozkład wzmocniony jest w okresie wiosenno-letnim, gdy temperatura otoczenia wynosi powyżej 8°C i hamowany w okresie jesienno-zimowym, gdy temperatura otoczenia spada poniżej 8°C. Przedział temperatury 5 ÷ 8°C stanowi zerowy punkt rozwojowy (tzw. zero biologiczne), po osiągnięciu którego zostają zahamowane procesy życiowe i rozwojowe mikroorganizmów. Podniesienie temperatury o każde 10°C wpływa na 2÷3-krotne przyspieszenie procesów biochemicznych. Dla utrzymania optymalnej temperatury bryłę kompostową wskazane jest okrywać na okres chłodnych miesięcy w roku. Za okrycie może służyć torf, na który nakłada się warstwę gliny lub iłu. Inne zabezpieczenia to folie z tworzyw sztucznych.

Widoczną oznaką zakończenia rozkładu jest znaczne zmniejszenie ukształtowanej pierwotnie bryły. Przed użyciem kompostu należy go rozsortować przez przesianie na siatce o wymiarach oczek około 2 cm. Oddzielone zostają w ten sposób cząstki organiczne o większych rozmiarach, które można przeznaczyć do „zaszczepienia” świeżej substancji organicznej lub przeznaczają się do spalania.

26.2. Jednostopniowy proces kompostowania - proces tlenowy

Jednostopniowy proces kompostowania odpadów należy do technologii specjalistycznych. Proces prowadzi się w specjalnie uformowanych przyzmach lub zatokach kompostowych:

- **otwartych**, prowadzonych w warunkach środowiska naturalnego;
- **zamkniętych**:
 - lokalizowanych w warunkach środowiska naturalnego, lecz izolowanych od niego szczelnym okryciem z torfu, gliny, iłu, ich mieszanin lub z tworzywa sztucznego. Izolacja może być całkowita, częściowa lub z minimalnym dopływem tlenu;
 - lokalizowanych w zamkniętych, wentylowanych obiektach. Stanowią je hale wyposażone w instalację do napowietrzania i odciągania oraz biologicznego oczyszczania powietrza, odsysania biogazu i odciągania odcieków.

Optymalne wymiary przyzmy (lub zatoki), które zachowują jej stabilność i możliwie szybki rozkład materii organicznej, dobiera się w zależności od technologii procesu.

Pryzmy nienapowietrzane mają na ogół wymiary:

- wysokość około $1,5 \div 2,0$ m; szerokość podstawy (spągu) około $3,0 \div 9,0$ m; szerokość stropu około $1,5 \div 2,0$ m; całkowita długość około $30 \div 60$ m (ale może być też dowolna).

Pryzmy napowietrzane mogą mieć wymiary:

- wysokość około $3,0 \div 4,0$ m; szerokość podstawy (spągu) około $6,0 \div 10,0$ m; szerokość stropu $3,0 \div 6,0$ m; całkowita długość około $30 \div 60$ m (ale także może być dowolna); średnica przewodów rurowych perforowanych około $0,3 \div 0,4$ m a odstępy między przewodami około $5 \div 8$ m.

Właściwie dobrana technologia kompostowania jednostopniowego, w tlenowym procesie, zbliżona jest do metody kompostowania przydomowego. Wymaga selektywnego gromadzeniem odpadów, właściwego ich przygotowania, właściwego usypania pryzmy. cechą charakterystyczną jest mechanizacja całego ciągu technologicznego.

Pryzmy i zatoki stanowią naturalną budowlę o formie równoramiennej trapezu, utworzonego z odpadów ułożonych warstwowo. Tlen atmosferyczny doprowadzany jest poprzez system naturalnego lub wymuszonego (grawitacyjnego) przewietrzania masy odpadów. System ten składa się z układu perforowanych rur, które są umieszczane wzdłuż lub w poprzek pryzmy na izolowanym podłożu. Wymuszony przepływ powietrza odbywa się więc w sposób kontrolowany, poprzez pomiar ilości powietrza dopływającego oraz ilości powietrza odpływającego z pomieszczenia. Bada się także zawartość O_2 , CO_2 , NH_3 , H_2S w odsypanym powietrzu, które poddaje się oczyszczeniu. W tym celu przepływa ono przez ododoryzujący biofiltr, którego zasada działania oparta jest na biologicznych zjawiskach adsorpcji, kondensacji, absorpcji i utleniania. Prędkość przepływu wynosi poniżej 50 m^3 powietrza przez 1 m^2 filtru w ciągu 1 godziny. Jednostkowy przepływ masy powietrza przez filtr trwa około 30 sekund, w czasie których usuwana jest większość związków odorowych (tabela 31).

Podłoże bryły kompostowej wyposaża się w drenaż odcieków, który połączony jest z ich odbieralnikiem. Wykonuje się także drenaż wód opadowych i napływowych z otaczających warstw gleby. Wody te (tak ścieki odcieki jak i wody opadowe) mogą być wykorzystywane do zraszania pryzm.

Wzdłuż pryzm montowane są urządzenia poruszające się po szynach, których zadaniem jest przewracanie zawartości pryzm w celu zachowania w całej objętości odpadów warunków tlenowych, utrzymania jednolitego procesu rozkładu, co prowadzi do ujednoczenia składu otrzymanego humusu. Przewracanie odpadów prowadzi się od momentu, gdy temperatura wnętrza pryzmy spadnie poniżej $250C$, czyli po około $30 \div 35$

dniach. W tym celu warunki panujące we wnętrzu przyzmy kontrolowane są przez czujniki temperatury oraz wilgotności, napowietrzenia, ilości i składu powstającego biogazu.

Tabela 31. Progowe zawartości związków odorowych wyczuwanych w powietrzu (J.Cebula i inni, 2000)

Związek	Wzór chemiczny	Zawartość progowa w ppm*
Etyloamina	$C_2H_5NH_2$	0,83
Amoniak	NH_3	0,037
Metyloamina	CH_3NH_2	0,021
Etanol	CH_3CHO	0,004
Skatol	C_9H_9N	0,0012
Merkaptan metylowy	CH_3SH	0,0011
Siarczek dimetylowy	$(CH_3)_2S$	0,001
Siarkowodór	H_2S	0,00047
Merkaptan pentylowy	$CH_3(CH_2)_3CH_2SH$	0,0003
Merkaptan butylowy	$C_3H_7CH_2SH$	0,00019
Merkaptan etylowy	C_2H_5SH	0,00019
Merkaptan propylowy	$CH_3CH_2CH_2SH$	0,000075
Merkaptan difenylowy	$(C_6H_5)_2S$	0,000048
Merkaptan krotylowy	$CH_3=CHCH_2SH$	0,000029

ppm* - część na milion części

Dojrzewanie kompostu w jednostopniowym procesie kompostowania odpadów trwa około 4 ÷ 7 miesięcy, w zależności od stopnia rozdrobnienia wsadu.

W okresach wczesnej wiosny, czy jesienno-zimowych przyzmy dociepla się dla podtrzymania procesów rozkładu. Stosuje się tutaj, podobnie jak w systemach zamkniętych, okrycie z torfu, gliny, łu czy z tworzywa sztucznego.

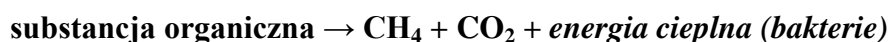
Nowoczesnym rozwiązaniem są żelbetowe lub stalowe osłony w kształcie podwójnego trapeza, poruszane na szynach. Szyny montowane są wzdłuż przyzmy, co w prosty i szybki sposób pozwala na zasłonięcie lub odsłonięcie kompostowanej substancji. Rozwiązanie to pozwala również na stosowanie technologii okresowego zamknięcia przyzmy. Metoda polega na osłonięciu przyzmy po jej usypaniu na okres około 28÷35 dni. Następuje intensywny rozkład i samozagrzewanie się odpadów. Następnie proces prowadzi się już bez osłon przez około 2÷3 miesiące. Zastosowanie tej technologii nie wymaga przerzucania rozkładanej substancji organicznej. Prowadzi się jedynie jej napowietrzanie, z jednoczesnym odprowadzaniem odcieków. Metoda ta znacznie oszczędza czasu prowadzonego procesu i zużycie sprzętu.

Po zakończeniu procesu przyzmy rozsortowuje się, przesiewa na sitach wyodrębniając klasę pierwszą kompostu, czyli frakcję o cząstkach poniżej 15 mm. Oddziela się nie rozłożone części mineralne stanowiące "balast". Frakcje powyżej 15 mm kieruje się do

handlu jako kompost gorszej jakości. inne rozwiązanie polega na zawróceniu do kolejnego procesu kompostowania lub kieruje się do spalenia.

26.3. Jednostopniowy proces kompostowania - proces beztlenowy

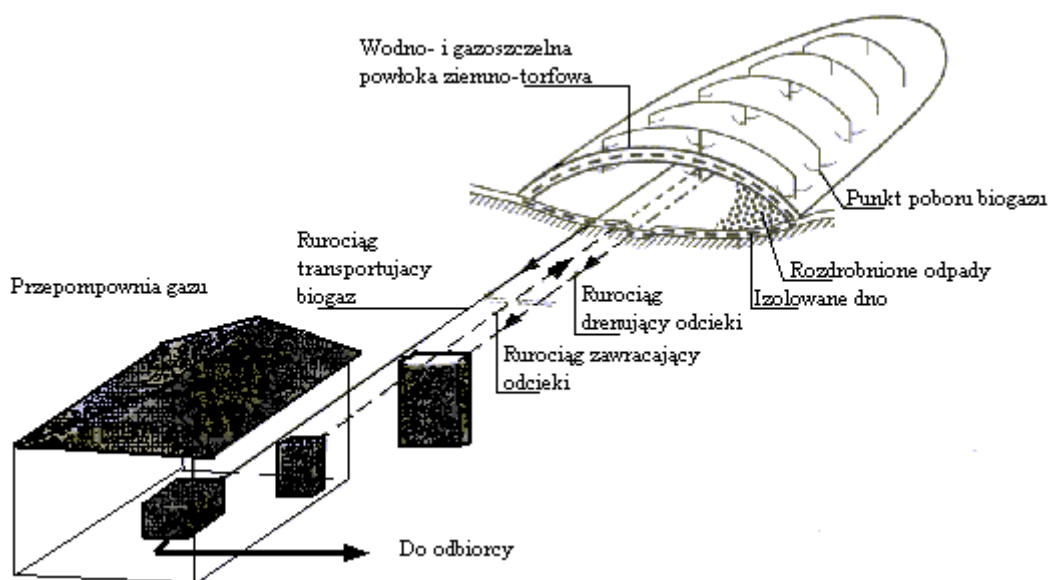
Beztlenowy proces kompostowania odpadów prowadzony jest w formie pryzmy energetycznej (rysunek 66). Beztlenowe warunki rozkładu oparte są na fermentacji metanowej, według reakcji:



Proces rozkładu beztlenowego składa się z trzech etapów:

1. rozdrobnienia masy odpadów do frakcji $10 \div 15$ mm,
2. beztlenowej fermentacji w zamkniętej pryzmie,
3. osuszeniu przefermentowanego humusu.

Pryzmę energetyczną wykonuje się na naturalnym podłożu, uszczelnionym warstwą uszlachetnionego gruntu, o niskim współczynniku filtracji (podobnie jak w przypadku składowisk odpadów). Najczęściej przyjmowane wymiary pryzmy mają całkowitą długość około 85 m przy szerokości 55 m. Pryzmy usypuje się w wykopie o głębokości około 2 m. Maksymalna wysokość pryzmy nad powierzchnią ziemi wynosi około 9 m.



Rysunek 66. Pryzmy energetycznej wg SWECO (M.Żygadło, 1998)

Rozkład odpadów i dojrzewanie humusu trwa około 5 lat. W pierwszych tygodniach rozkładu następuje stopniowe uwalnianie się biogazu o składzie około 15 % CH_4 i 80% CO_2

z domieszką H_2 . Z upływem czasu następuje zmiana warunków wewnątrz pryzmy, co wpływa na wzrost zawartości CH_4 przy malejącym udziale CO_2 i H_2 . Proces ten zachodzi do momentu ustabilizowania się składu gazu, czyli wyrównania się zawartości CH_4 i CO_2 , których udziały są prawie równe, przy minimalnej ilości H_2 (około 4%). Następuje to po około 6 miesiącach rozkładu. Faza stabilizacji składników gazu może trwać do około 2 lat. Po tym okresie ilość produkowanego gazu zaczyna maleć, aż do zakończenia eksploatacji pryzmy, czyli po około 5 latach.

Pryzmę energetyczną odsłania się, rozsortowuje, oddziela części nierozkładalne (balast), kompost i klasy gospodarczo wykorzystuje, zaś kompost pozostały albo kieruje do nowej pryzmy albo spala.

Najintensywniejszy okres eksploatacji pryzmy przypada na pierwsze 2,5 roku rozkładu substancji organicznej. W tym okresie produkowane jest około 60÷70% całkowitej energii. Otrzymany biogaz jest mieszaniną, zawierającą około 60 ÷ 70% metanu i 30÷40% dwutlenku węgla. Biogaz poprzez instalacje do odsysania gazu odprowadzany jest do zbiornika, w którym następuje stabilizacja jego składu. Wykorzystany może być do własnych celów energetycznych kompostowni lub do innych celów gospodarczych (podobnie jak biogaz składowiskowy).

Ekonomicznym rozwiązaniem w technologii beztlenowego rozkładu jest utrzymanie ciągłej produkcji biogazu. Efekt taki uzyskuje się w systemie „przyłączania” kolejnych dwóch pryzm, po każdym roku eksploatacji pryzmy pierwotnej. W zbiorniku do ujmowania biogazu następuje uśrednianie jego składu (wymieszanie gazu „młodego” z wcześniej odzyskanym).

26.4. Dwustopniowe procesy kompostowania

Podobnie jak jednostopniowe procesy kompostowania, tak i dwustopniowe procesy należą do technologii specjalistycznych.

Technologia kompostowania dwustopniowego obejmuje dwa etapy:

- Etap I – **kompostowanie wstępne w bioreaktorach** (biostabilizatorach) otwartych lub zamkniętych, w których dominują procesy biochemicznego rozkładu. Odpady mogą być wstępnie rozsortowane lub też stanowią tak zwaną „surową” masę niesegregowanych składników.
- Etap II – **„dojrzwanie” kompostu na polu pryzmowym**, w warunkach naturalnych.

W wyniku dwustopniowego kompostowania rozkład odpadów przebiega znacznie szybciej. Etap I trwa około 3-14 dni, zaś etap II około 8 ÷ 12 tygodni, po których otrzymuje się „dojrzały” kompost. Biostabilizatory nowej generacji umożliwiają zaszczepienie wsadu

odpadowego kompozytami, co skraca czas ich pracy do około 30 godzin. Ponadto wstępne przygotowanie odpadów - poprzez ich rozdrobnienie - również skraca czas ich rozkładu.

Bioreaktory są urządzeniami zautomatyzowanymi o charakterze statycznym, bądź dynamicznym.

Biostabilizator statyczny jest to szczelnie zamknięty zbiornik betonowy lub stalowy z izolacją cieplną, instalacją do wymuszonego przepływu powietrza i pełną automatyczną kontrolą powietrza odbieranego. Ponadto wyposażony jest w wałki służące do rozcierania substancji organicznej. Dzięki takiemu rozwiązaniu substancje bio-nierozkładalne pozostają na wałkach i usuwane są w procesie przesiewania wypadu z bioreaktora.

Biostabilizator dynamicznym jest to stalowy zbiornik obracający się na łożyskach rolkowych z prędkością około 0,6 obrotów na minutę podczas pierwszej zmiany dziennej oraz 0,8 obrotów na minutę w pozostałym czasie. Przy ciągłym procesie rozkładu prędkość obrotów może być w dowolny sposób regulowana. Ponadto wyposażony jest od strony technicznej, podobnie jak bioreaktor statyczny, w izolację cieplną, instalację wymuszonego przepływu powietrza, automatyczną kontrolę powietrza odbieranego i w wałki rozcierające odpady.

Cechą charakterystyczną biostabilizatorów jest ich funkcjonalność, która spełnia warunki umożliwiające wytworzenie maksymalnej ilości CO₂ z odpadów, uzyskanie i zachowanie optymalnej wilgotności, natlenienia i temperatury dojrzewającego kompostu. Dla spełnienia tych warunków biostabilizatory są zautomatyzowane i wyposażone w stosowne instalacje.

W pierwszym etapie kompostowania, biostabilizator wypełniany jest mieszaniną rozdrobnionych lub nierozdrobnionych odpadów. Jako urządzenia wielofunkcyjne i o kontrolowanym procesie biochemicznego rozkładu utrzymują warunki wnętrza na optymalnym poziomie: temperatura około 60÷80⁰C; wilgotność około 50÷60% optymalny stopień napowietrzenia. Wymienione warunki sprzyjają metabolizmowi mikroorganizmów mezofilnych. Odpady ścierane są na specjalnym ożebrowaniu zamocowanym we wnętrzu biostabilizatora. W wyniku ruchu obrotowego bębna są one mieszane i homogenizowane. W procesie nie ulegają roztrączeniu odpady nie degradowalne biologicznie, jak szkło, metale, tworzywa sztuczne i inne odpady mineralne. Uzyskany balast odsiewany jest po zakończeniu pracy bioreaktora i rozsortowaniu mieszaniny.

Powstałe w biostabilizatorze gazy odsysane są do zbiornika, w którym odseparowuje się części stałe i skondensowaną parę wodną. Wstępnie oczyszczony gaz kierowany jest do filtra biologicznego (żwirowo-kompostowego), gdzie następuje jego dezodoryzacja.

W drugim etapie kompostowania wyselekcjonowany świeży „kompost grzejny” układany jest w przyzmac, gdzie zachodzi *dojrzewanie i stabilizacja humusu*.

„Dojrzały” kompost poddaje się selekcji na frakcje mniejsze od 15 mm – jest to kompost klasy I, który kierowany jest do handlu. „Gruby” odsiew, czyli frakcje powyżej 15 mm, kieruje się do kompostowania lub do handlu, jako produkt gorszej jakości.

26.5. Inne (wybrane) technologie kompostowania

Kompostowanie w wieżach (rysunek ...). Metoda oparta jest na dwustopniowym procesie kompostowania. Pierwszy etap polega na wstępnym rozdrobieniu substancji organicznej, która wprowadzana jest do betonowej lub stalowej wieży. Wieża wyposażona jest w układ poziomych półek, na których odpady są nawilżane, napowietrzane ogrzanym powietrzem i mieszane. Technologia prowadzona jest w sposób kontrolowany. Proces wstępnego kompostowania trwa od 1 ÷ 8 dni. Otrzymany świeży kompost grzejny kierowany jest do drugiego etapu kompostowania, który odbywa się na polu przyzmowym. Dojrzewanie kompostu trwa około 6 tygodni. Przyzmy się rozsortowuje i postępuje z kompostem podobnie jak we wcześniej omówionych przykładach.

Płyta fermentacyjna. Technologia kompostowania na płycie fermentacyjnej jest procesem trwającym około 3÷10 tygodni. Polega ona na usypywaniu frakcji kompostowej, otrzymanej z biostabilizatora, w stosy. Stosy usypywane są na specjalnie utwardzonym podłożu, nazywanym płytą fermentacyjną. Co 2÷3 dni stosy są przerzucane, w celu natlenienia rozkładającej się materii organicznej i intensyfikacji procesu tlenowego, czyli fermentacji pierwotnej). Gdy temperatura wnętrza stosu spadnie poniżej 40⁰C, co następuje po około 10÷12 dniach, rozpoczyna się etap beztlenowego rozkładu (czyli fermentacja wtórna). W tym celu stosy fazy rozkładu tlenowego przesuwają się na stosy fazy rozkładu beztlenowego. Otrzymuje się jeden stos o większym przekroju poprzecznym (lub więcej stosów, w zależności od ich rozmiarów). Rozkład beztlenowy trwa około 6÷10 tygodni i nie wymaga już przerzucania przyzmac.

Kompostowanie z zastosowaniem vermikultur. Technologia oparta jest o hodowlę dużej ilości bezkręgowców glebowych, czyli dżdżownic, głównie z rodziny *Lumbricidae*, gatunek *Eisenia foetida*, lub gatunek wschodnio-afrykański *Eudrilus eugeniiae*, które wprowadzane są do kompostowanej masy. Vermikultury intensyfikują proces humifikacji substancji organicznej.

Metoda należy do biologicznych procesów kompostowania i oparta jest na dwóch etapach procesu. W I etapie masa organiczna poddawana jest biostabilizacji w napowietrzanych. Pryzmy są ponadto nawilżane i przerzucane, w celu ujednoczenia ich składu. W tym samym czasie temperatura we wnętrzu pryzm może osiągnąć $40\div 70^{\circ}\text{C}$, a nawet około 80°C . Samoistne obniżenie się temperatury wewnątrz pryzmy, do około $25\div 30^{\circ}\text{C}$, następuje w okresie około 36 dni. Po tym czasie rozpoczyna się drugi etap kompostowania.

W II etapie kompostowania, czyli po obniżeniu się temperatury we wnętrzu pryzmy, wprowadza się do niej vermikultury. Dżdżownice konsumując materię organiczną przerabiają dziennie odpady o wadze kilkakrotnie przekraczającej wagę ich ciała. Wędrująca przez ciała dżdżownic masa organiczna wydalana jest w postaci organicznego nawozu dżdżownicowego o jednolitej strukturze i średnicy cząstek około 2 mm, a masa odpadów obniża się o około 50%. Nawóz ten w mieszaninie z przerobioną materią organiczną w procesie tlenowym, daje humus o najwyższej wartości użytkowej. Dla porównania: naturalny nawóz mineralnym, jakim jest obornik zwierzęcy, zawiera w 1 g masy około 300 milionów kolonii bakteryjnych, natomiast nawóz organiczny dżdżownicowy zawiera 1 g humusu około 2000 miliardów takich kolonii.

Kompostowanie z zastosowaniem dżdżownic trwa około 2 miesięcy. Po tym okresie pryzmę kompostową rozsortowuje się na frakcję dżdżownicową i frakcję dojrzałego humusu.

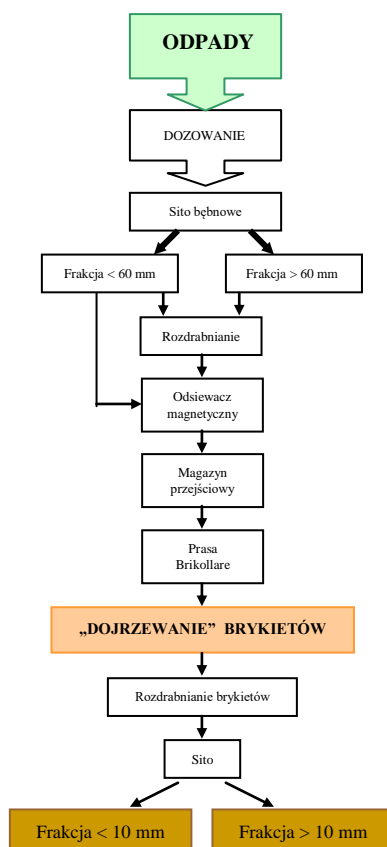
Vermikultury, a szczególnie ich wzrost i rozwój stanowią swoisty test zanieczyszczenia substancji organicznej metalami ciężkimi. Metale ciężkie ograniczają procesy życiowe tych zwierząt.

Hodowla dżdżownic może być prowadzona bezpośrednio w zakładzie kompostowni. Środowisko życia dżdżownic powinno być utrzymane na poziomie pH pomiędzy $6\div 7$ i przy temperaturze hodowli pomiędzy $18\div 22^{\circ}\text{C}$ w warunkach powietrza atmosferycznego. Przygotowywane są na podłożu zawierającym odpady roślinny, obornik lub glebę.

Nadmiar wyhodowanych dżdżownic lub dżdżownice pochodzące z rozsortowania wykorzystać można jako paszę dla drobiu, ryb, do produkcji proszków do prania lub w przemyśle kosmetycznym.

Kompostowanie w brykietach (rysunek 67). Metoda polega na wstępnym wyselekcjonowaniu i rozdrobieniu substancji organicznej. Następnie odpady poddawane są prasowaniu w brykiety o kształcie regularnych kostek. Kostki mają wyprofilowane bruzdy, w celu łatwiejszego dostępu tlenu. Porcja brykietów, o masie około 20 kg, układana jest na

specjalnych paletach, które kierowane są do komory dojrzewania kompostu. W komorze utrzymywana jest temperatura około 70⁰C i tutaj następuje dojrzewanie kompostu. Proces trwa około 6 tygodni. Dojrzałe brykiety są następnie rozdrabniane i przesiewane na frakcje mniejsze od 10 mm i większe od 10 mm. Frakcja drobniejsza kierowana jest do handlu, jako kompost klasy I. Frakcja gruba, powyżej 10 mm, zawracana jest do kompostowania, ewentualnie kierowana jest na składowisko lub do spalenia.



Rysunek 67. Schemat blokowy procesu kompostowania metodą BRIKOLLARE (M. Żygadło, 1998)

Technologia MUT-DANO. Technologia rozkładu substancji organicznej MUT-DANO funkcjonuje w oparciu o trzy ciągi technologiczne. Każdy ciąg ma ściśle określone funkcje do spełnienia (rysunek 68).

Pierwszy ciąg technologiczny obejmuje wstępną obróbkę odpadów. Dostarczone do zakładu kompostowni odpady są rozładowywane do specjalnego zbiornika (silosa) magazynowego. Silos ma objętość dobowego dowozu odpadów. Stąd, przy pomocy przenośnika taśmowego, odpady kierowane są bezpośrednio do biostabilizatora. Odpady wielkogabarytowe usuwane

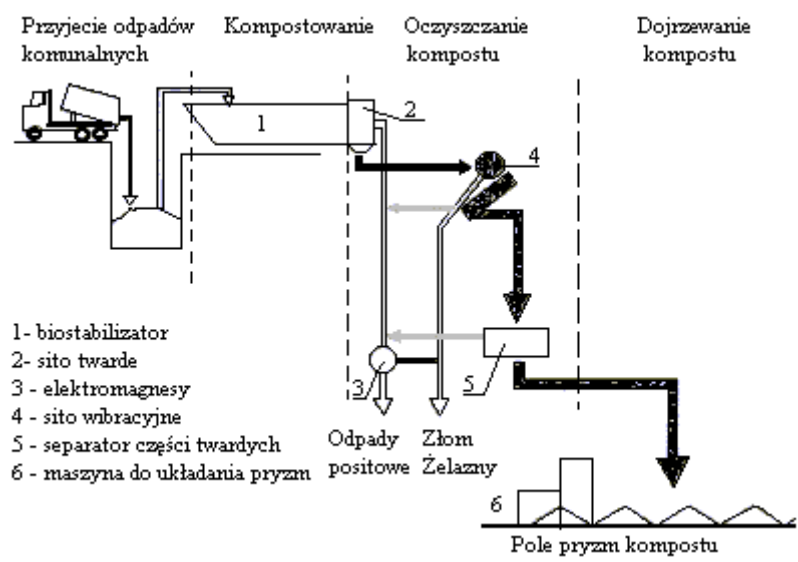
są w sposób zautomatyzowany przed dokonaniem wsadu. Ponieważ uważa się, że metale stanowią dodatek, który wspomaga proces rozdrabniania odpadów, nie są usuwane.

W bębnie biostabilizatora utrzymywane są warunki tlenowe, optymalna temperatura, wilgotność, co pozwala na rozkład masy organicznej w okresie około 24÷48 godzin. Następnie z biostabilizatora, w sposób automatyczny usuwane są gazy, które tłoczy się do zbiornika. Tam następuje oddzielenie rozproszonych w gazie drobnych cząstek stałych (organicznych i nieorganicznych) i skondensowanej pary wodnej. Gaz kierowany jest następnie do dezodoryzacji.

Kompost grzeiny z biostabilizatora kierowany jest na sita o rozmiarach oczek około 60 mm. Frakcja powyżej 60 mm, jako balast, kierowana jest na składowisko technologiczne lub do spalania. Natomiast odsiew, czyli frakcja o cząstkach mniejszych od 60 mm, podawana jest na przenośnik taśmowy, nad którym znajduje się separator elektromagnetyczny. Dopiero na tym etapie części metalowe usuwane są z frakcji odpadów. „Oczyszczona” z odpadów mineralnych frakcja kompostowa kierowana jest na kolejne sito wstrząsowe o rozmiarach oczek 24 mm. Przed sitem znajduje się kolejny separator elektromagnetyczny, którego zadaniem jest wychwycenie najdrobniejszych cząstek metalowych. Po kolejnym przesianiu, frakcja o rozmiarach 0÷24 mm, podawana jest na separator szkła i części twardych. Po ich wyselekcjonowaniu otrzymana masa kompostowa kierowana jest na taśmociąg, którym podawana jest do kompostowania na polu pryzmowym. Frakcja o rozmiarach powyżej 24 mm, również jako balast, kierowana jest na składowisko technologiczne lub do spalania.

Drugi ciąg technologiczny obejmuje proces dojrzewania kompostu w pryzmach. Proces odbywa się w naturalnych warunkach, przy bezpośrednim dostępie powietrza atmosferycznego. Kompostowana substancja jest przerzucana, co korzystnie wpływa na jej napowietrzanie. Proces prowadzony jest w czasie około 6÷12 tygodni, aż do uzyskania dojrzałego kompostu.

Trzeci ciąg technologiczny obejmuje proces uzdatniania dojrzałego kompostu. Polega na wyselekcjonowaniu frakcji drobnej, poniżej 15 mm, a także ostatecznym wyselekcjonowaniu odpadów mineralnych niedegradowalnych (szkła i części twardych). Frakcja drobna kierowana jest do sprzedaży detalicznej. Frakcja gruba, jako balast, ponownie jest kierowana do ciągu technologicznego lub do spalania. Frakcja ta, jako kompost gorszej jakości, może być również przeznaczona do sprzedaży.



Rysunek 68. Kompostownia systemu MUT-DANO w Katowicach (Cz.Rosik-Dulewska, 2000)

Część 4.

TERMICZNA UTYLIZACJA ODPADÓW

27. TERMICZNA UTYLIZACJA ODPADÓW

Termiczna utylizacja odpadów prowadzona jest na świecie od ponad 100 lat. Pierwsze spalarnie odpadów komunalnych powstały w Wielkiej Brytanii z końcem XIX wieku, gdy okazało się, że jest to sposób na zatrzymanie epidemii duru brzuszego.

Spalanie uznawane jest za metodę niszczenia odpadów, jednak w rzeczywistości jest to jedynie sposób na ograniczanie ilości. Pozwala jednak uzyskać pożądany efekt w postaci rozkładu wszystkich związków organicznych. Kraje prowadzące utylizacje termiczną oraz ilość spalarni na ich terenie ilustruje tabela 32.

Tabela 32. Spalanie odpadów komunalnych w wybranych krajach (Z.Makles, A.Świątkowski, S.Grybowskai, 2001)

Kraj	Liczba spalarni	Wydajność w mln t/rok	Udział odpadów spalanych w %
Austria	2	0,3	11
Dania	30	1,3	48
Francja	225	8,4	42
Hiszpania	15	0,8	6
Holiandia	10	2,7	35
Japonia	1893	32	-
Kanada	17	1,7	-
Niemcy	49	9,0	36
Szwecja	21	1,6	47
Szwajcaria	30	2,4	80
USA	168	28,6	-
Węgry	3	1,0	-
Wielka Brytania	31	2,4	8
Włochy	28	3,7	16
Europa	437	34	24

Dominującą rolę zajmuje tu Japonia, kraj wysoko rozwinięty, poszukujący wciąż nowych rozwiązań. W termicznym unieszkodliwianiu odpadów z krajów europejskich pierwsze miejsce zajmuje Francja. Udział spalanych odpadów z całego strumienia oraz wydajność spalarni wskazuje, jak duże oszczędności można uzyskać w zużyciu paliw pierwotnych, jeśli do ich spalania zostaną odpowiednio przystosowane elektrociepłownie węglowe. Przedstawione w tabeli liczby są także miernikiem stopnia bezpieczeństwa tego

typu obiektów. Nowoczesna spalarnia odpadów, z nowoczesną instalacją spalania, z automatyczną analizą gazów odlotowych (spalin), z nowoczesnymi urządzeniami oczyszczającymi te gazy może być bezpieczna dla środowiska naturalnego.

Rozpatrując możliwość budowy spalarni odpadów, zawsze należy mieć na uwadze zintegrowaną gospodarkę odpadami. Zintegrowana gospodarka odpadami w sposób planowy rozdziela odpady na grupy i procesowi termicznej utylizacji poddawane są tylko te odpady, które spełniają wymogi paliwowe. Ponadto są to odpady, których nie da się wykorzystać w procesie kompostowania. Również z uwagi na zawartość substancji organicznej nie nadają się one do składowania na składowiskach odpadów.

Biorąc pod uwagę czynnik ekonomiczny, inwestycja budowy obiektów spalarni odpadów komunalnych musi spełniać warunek określonej (minimalnej) liczby mieszkańców, dla których budowa tego typu obiektów będzie uzasadniona. Koszty inwestycyjne mogą być znacznie obniżone w wyniku dostosowania istniejących już elektrociepłowni węglowych.

28. PROCESY TERMICZNEJ UTYLIZACJI ODPADÓW

Termiczna utylizacja (przekształcanie) odpadów jest procesem unieszkodliwiania odpadów palnych stałych, ciekłych i gazowych. Prowadzona jest w procesie:

- **spalania**, czyli w procesie fizycznego i chemicznego przekształcenia materii organicznej w obecności tlenu i wysokiej temperatury (około $1100 \div 1400$ °C),
- **pirolizy**, czyli w procesie fizycznego i chemicznego przekształcania materii organicznej bez udziału tlenu, pod wpływem wysokiej temperatury (około $450 \div 900$ °C),
- **spalania w plazmie**, czyli w procesie fizycznego i chemicznego przekształcania materii organicznej w reaktorach plazmowych, przy temperaturze około $3000 \div 20\ 000$ °C.

Termiczna utylizacja odpadów prowadzona jest w specjalnie do tego celu przystosowanych instalacjach spalarni odpadów komunalnych, niebezpiecznych lub innych niż komunalne i niebezpieczne. Odpady niebezpieczne można utylizować w innych spalarniach niż niebezpieczne, pod warunkiem zachowania przewidzianych dla tych spalarni wymagań. Podobnie, jak w przypadku budowy składowisk odpadów komunalnych czy zakładów kompostowni, spalarnie są projektowane, budowane i wyposażane w sposób, którego wpływ na środowisko, życie i zdrowie ludzi nie występuje lub jest jak najmniejszy.

Poddając odpady komunalne termicznemu przekształceniu, należy określić wielkość strumienia odpadów: ilość oraz skład fizyko-chemiczny. W przypadku termicznej utylizacji odpadów niebezpiecznych określa się ponadto ich właściwości, substancje, z którymi mogą być łączone w procesie termicznego przekształcania. Informacja obejmuje również niezbędne,

dotatkowe zabezpieczenia, jakie musi posiadać instalacja spalarni oraz przydatność utylizowanej grupy odpadów niebezpiecznych do takiej właśnie formy destrukcji. Dla wszystkich spalanych odpadów poddaje się analizie i ocenie, między innymi:

- udział wilgoci w spalanej masie, która nie powinna przekraczać 50% wilgotności bezwzględnej,
- wartość opałową, a przy tym udział palnej substancji organicznej, która powinna stanowić minimum 25% ogólnej masy odpadów
- a także ilość powstającego popiołu, która nie powinna przekraczać 60% masy ogólnej masy odpadów.

Ważne jest ustalenie ilości części lotnych, w tym chloru i fluoru, które wchodzą w skład ksenobiotyków i są trudne do destrukcji.

W wyniku termicznej utylizacji odpadów powstają *odpady wtórne* stałe i gazowe (żużel, popiół, spaliny), a ich właściwości fizyczne i chemiczne poddaje się szczegółowemu badaniu i analizie. Bada się zawartość metali ciężkich, związków kwasowych, związków chloroorganicznych i inne. Próbkę lotnych odpadów wtórnych przechowuje się przez okres co najmniej 1 miesiąca. Wtórne odpady stałe magazynuje się i transportuje w szczelnie zamkniętych pojemnikach. Składowanie tych odpadów wymaga przygotowania oddzielnych kwater na składowiskach odpadów komunalnych. Oddzielne kwatery powinny być wydzielone także na składowiskach odpadów przemysłowych, jeśli tam składowane są odpady wtórne ze spalarni komunalnych. Mogą być również składowane pod ziemią.

Spalarnie odpadów komunalnych stanowią istotny obiekt budowlany do pozbywania się odpadów na obszarach, gdzie brakuje terenów pod lokalizację składowisk. Ponadto istotne jest, by istniał zbyt na odzyskaną z odpadów energię. Energia odzyskana z masy odpadów może zostać przetworzona na energię cieplną lub elektryczną, co jest pozytywnym czynnikiem ekonomicznym dla takiej inwestycji. Może ona zostać wykorzystana do ogrzewania wody dla mieszkańców miast i wsi lub może służyć do oświetlania. Kolejnym ważnym czynnikiem dla lokalizacji spalarni odpadów jest transport, czyli dowóz odpadów z miejsc ich pozyskania, który nie powinien obejmować dużych odległości. Ten czynnik jest szczególnie istotny w przypadku transportu do spalarni odpadów niebezpiecznych. Z tego też względu spalarnie odpadów toksycznych i niebezpiecznych powinny być lokalizowane w obrębie zakładów przemysłowych, sprzyja to także odciążeniu spalarni komunalnych.

Obiekty spalarni odpadów muszą, podobnie jak składowiska i kompostownie, spełniać wymogi lokalizacyjne. Oprócz spełnienia warunków geologicznych, hydrogeologicznych nie mogą one być lokalizowane na terenach występowania źródeł zaopatrzenia w wodę pitną, na

terenach choćby okresowo, ale zalewanych wodą, na terenach podmokłych, bagnistych i o niskim poziomie wód gruntowych. Przeciwnicy tego typu zakładów do destrukcji odpadów komunalnych, w tym i niebezpiecznych, sprzeciwiają się lokalizacji spalarni w bliskiej odległości od terenów mieszkalnych. Zważywszy na obecny poziom techniki w dziedzinie wykonawstwa nowoczesnej aparatury spalarnie stanowią obiekt bezpieczny dla środowiska, a na pewno nie bardziej niebezpieczny jak składowiska odpadów. W świecie zdarzają się spalarnie w samych centrach miast – przykładem jest Paryż (Francja), gdzie w obrębie centralnej części miasta działają trzy duże spalarnie odpadów Issy les Moulineaux od 1965 roku, spalająca 500000 ton rocznie; Ivry-sur-Seina od 1969 roku, spalająca 700000 ton rocznie i Saint Quen od 1990 roku, spalająca 630000 ton rocznie odpadów. Inny przykład to spalarnia Spittelau w Wiedniu, rzucająca się w oczy, bo usytuowana w samym centrum miasta, udostępniana także dla turystów – spala rocznie 300000 Mg odpadów komunalnych.

W wyniku termicznej destrukcji odpadów uzyskać można zmniejszenie masy odpadów do około 40% jej początkowej wartości, zaś objętości do około 10% początkowej wartości. Tym samym pozwala to na dziesięciokrotne zmniejszenie ilości odpadów wywożonych na składowiska. W wyniku spalania następuje także redukcja (i destrukcja) substancji szkodliwych zawartych w masie odpadów, neutralizacja stałych i gazowych produktów spalania oraz odzysk energii zawartej w odpadach.

Współpraca w systemie regionalnej gospodarki odpadami pomiędzy samorządem lokalnym, administracją państwową i zakładami przemysłowymi, które istnieją na określonym terenie stanowić może ważny czynnik ekonomiczny danego regionu. Lokalne zakłady przemysłowe, wyposażone w instalacje do spalania odpadów, mogą stać się intratnymi partnerami dla systemu lokalnej lub regionalnej gospodarki odpadami. Możliwość ta jest istotna z uwagi na konieczność szybkiego pozbywania się i destrukcji odpadów niebezpiecznych. Właściwie działające samorzady tworzą układ partnerski z zakładami przemysłowymi. Układ taki wspólnie organizuje prowadzenie tej formy utylizacji odpadów i zapewnia finansowanie inwestycji.

29. SPALANIE

Spalanie odpadów jest najprostszym sposobem utylizacji wszystkich palnych odpadów, szczególnie odpadów toksycznych i niebezpiecznych (stałych, ciekłych i gazowych). Jest to również najefektywniejszy sposób zmniejszania ich objętości. Spalane odpady określa się ogólnym mianem „*paliwa*” (stałego, ciekłego lub gazowego).

Przebieg procesu spalania uzależniony jest od rodzaju spalanej masy (paliwa), ilości dostarczonego powietrza, w tym czystego tlenu oraz od ilości powstających odpadów poprocesowych, jak żużle, popioły, spaliny. Parametrem, który wpływa na efektywność chemicznego procesu utleniania oraz na ilość odpadów poprocesowych jest temperatura spalania. Im wyższa jest temperatura spalania, tym dokładniejszy i efektywniejszy jest proces spopielenia substancji stałej i destrukcji substancji gazowej. Drugim parametrem jest czas retencji (zatrzymania) spalanych gazów w ogniu. Im bardziej czas retencji jest wydłużony, tym więcej składników lotnych ulega utlenieniu. Wydajność procesu spalania zależy także od rodzaju użytego paleniska z rusztem i sposobu przeprowadzenia procesu.

Objętość i masę powietrza (w tym czystego tlenu) potrzebnego do spalania danego paliwa można określić na podstawie reakcji stechiometrycznych utleniania. Na podstawie tych samych reakcji określić można objętość powstających odpadów wtórnych. Natomiast na podstawie analiz fizyko-chemicznych określić można skład fizyczny i chemiczny otrzymanych z procesu żużli, popiołów i gazów spalinowych.

Przebieg procesu spalania zależy od rodzaju użytego paliwa. Wyróżnia się:

- **Paliwa stałe**, które ulegają kolejno procesom: suszenia, odgazowania, zgazowania, spalania pozostałości stałych i części lotnych oraz dopalania nie spalonych substratów lotnych. Produktami spalania są: popioły lub żużle z substancji nieorganicznych (żużel powstaje wskutek stopienia popiołu).
- **Paliwa ciekłe**, które ulegają kolejno procesom: odparowania, osuszenia, zgazowania suchej pozostałości, dopalania nie spalonych substratów i spalania powstałego gazu. W przypadku niedokładnego rozpylenia cząstek gazowych w powietrzu, produktem spalania są sadze.
- **Paliwa gazowe** ulegają bezpośredniemu spalaniu lub w przypadku zawilgocenia gazów następuje ich odparowanie i spalanie.

Z uwagi na ilość zachodzących procesów fizycznych i chemicznych podczas spalania paliw stałych, należą one do najbardziej skomplikowanych.

Jednostkowe procesy spalania charakteryzują następujące parametry:

- temperatura **suszenia** około $100 \div 250^{\circ}\text{C}$,
- temperatura **odgazowania** z bardziej lotnych substancji powyżej 250°C (proces endotermiczny, czyli zachodzący bez udziału tlenu),
- temperatura **zapłonu gazów** procesowych wynosi około $250 \div 300^{\circ}\text{C}$.
- temperatura **zgazowania**, czyli przejścia, przy udziale pary wodnej i powietrza, paliwa stałego w paliwo gazowe, około 700°C ,

- równoległe z procesem zgazowania przebiega proces *spalania*, czyli utleniania substancji a produktami spalania jest para wodna i dwutlenek węgla.

Pewną część nie całkiem spalonego odpadu w żużlu stanowi tak tzw. *przepał*.

Otrzymany w procesie odpad w postaci żużła powinien być sortowany na sitach według uziarnienia z jednoczesnym usuwaniem metali ciężkich. Skład żużła uzależniony jest od składu odpadów.

29.1. Wady i zalety termicznej utylizacji odpadów

Jak każdy proces działalności gospodarczej człowieka ma swoje zalety i wady, tak składowanie, kompostowanie i spalanie odpadów nie są procesami doskonałymi.

Do zalet procesu spalania należą:

- zmniejszenie powierzchni terenów pod lokalizację składowisk odpadów komunalnych, przemysłowych i niebezpiecznych,
- zmniejszenie objętości odpadów komunalnych, przemysłowych i niebezpiecznych, zawierających substancje organiczne i które mogą być składowane o około 90% i wagi o około 60%,
- niszczenie odpadów organicznych w około 99,999%, w tym ksenobiotyków chloroorganicznych (z zachowaniem odpowiednio wysokiej temperatury procesu, czyli ponad 850⁰C),
- zmniejszenie toksycznego wpływu składowanych odpadów na środowisko naturalne o 60 ÷ 90% (w zależności od stopnia niezawodności instalacji do spalania),
- możliwość odzysku i wykorzystania gospodarczego energii elektrycznej i cieplnej,
- zmniejszenie zużycia paliw pierwotnych: gazu ziemnego, węgla kamiennego i brunatnego oraz wpływu ich produktów spalania na środowisko,
- obniżenie opłat za korzystanie ze środowiska naturalnego.

Do wad termicznej utylizacji odpadów należą:

- strata surowców wtórnych w wyniku źle lub nie prowadzonego recyklingu,
- powstawanie odpadowych substancji mineralnych: żużli i popiołów stałych (około 50% wag. pierwotnej masy odpadów), zaś popiołów lotnych (około 5-8% wag. pierwotnej masy odpadów) , które w zależności od rodzaju spalanych odpadów uznane mogą być za odpady niebezpieczne,
- przy niewłaściwie dobranej instalacji, źle dobranych parametrach spalania i niewłaściwie prowadzonym procesie spalania występuje możliwość syntezy niektórych związków i

emisja ksenobiotyków (dioksyn, furanów, kwaśnych gazów, metali ciężkich, pyłów, oraz HCl, HF, CO, SO₂, NO_x, i innych) (tabela 33),

- wysokie koszty budowy spalarni zachowującej maksymalne normy bezpieczeństwa dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi.

Tabela 33. Dopuszczalne zakresy emisji zanieczyszczeń ze spalarni odpadów komunalnych w krajach Europy Zachodniej (Z. Makles, A.Świątkowski, S.Grybowski, 2001)

Rodzaj zanieczyszczenia	Zakresy emisji zanieczyszczeń w mg/m ³⁽¹⁾				
	Niemcy	Austria	Holandia	Szwecja	UE (2)
Lotny Popiół	10	15	5	10	10
Ditlenek siarki (SO ₂)	50	50	40	50	50
Tlenki azotu (NO _x)	200	100	70	80	200
Tlenek węgla (CO)	50	50	50	50	50
Chlorowódor (HCl)	10	10	10	20	10
TOC ⁽³⁾	10	20	10	20	10
Rtęć (Hg)	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
Kadm (Cd) + Tal (Ta)	0,5	0,5	0,5	0,1	0,05
Metale ciężkie: Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5	0,5	0,5	1	0,5
PCDDs/PCDFs ⁽⁴⁾ ng I-TEQ ⁽⁵⁾ /m ³	0,1	0,1	0,1	-	0,1
Fluorowódor					1
Węglowodory					20

⁽¹⁾ w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury (T= 273 K, p = 1,013 MPa)
⁽²⁾ dyrektywa UE COM 1998/558
⁽³⁾ całkowita zawartość węgla organicznego
⁽⁴⁾ polichlorowane dibenzo-p-dioksyny / polichlorowane dibenzofurany
⁽⁵⁾ międzynarodowy równoważnik toksyczności

29.2. Optymalne warunki termicznej utylizacji odpadów.

Optymalne parametry spalania odpadów w nowoczesnej spalarni to:

- temperatura spalania nie mniejsza niż 850⁰C w pierwszej komorze (zapewnia ona destrukcję dioksyn),
- czas retencji spalin w komorze pieca nie mniejszy niż 2-3 sekundy, szczególnie dla związków o zawartości masowej chloru poniżej 1% i nie niższej niż 6% zawartości tlenu w gazach opuszczających instalację,
- temperatura spalania co najmniej 1100⁰C i podobny czas retencji dla związków, które zawierają chlor w ilości masowej powyżej 1%,
- utrzymanie minimalnej zawartości tlenu węgla i węgla organicznego w spalinach, co uwarunkowane jest obecnością tlenu w gazach odlotowych (uniemożliwia to rekombinację dioksyn),

- utrzymanie minimalnej zawartości pyłów lotnych i chlorowodoru w gazach odlotowych (uniemożliwia to powstawanie wtórnych dioksyn).

Standardowa spalarnia odpadów komunalnych powinna spełniać trzy podstawowe parametry emisji gazowych zanieczyszczeń:

1. rozkład i usuwanie wybranych związków wskaźnikowych (np. heksahlorobenzenu, heksachloroetanu, tetrachloroetylenu) nie powinien być niższy niż 99,99%,
2. emisja HCl nie powinna być wyższa niż 0,01 m³/h,
3. emisja pyłów w spalinach nie powinna przekraczać 180 mg/m³.

Utrzymanie wysokiej temperatury procesu i odpowiednio długiego czasu zatrzymywania spalin prowadzi do maksymalnej redukcji gazowych zanieczyszczeń. Bowiem na proces destrukcji substancji organicznej znaczący wpływ mają warunki, w jakich odbywa się spalanie. Będą one różne dla substancji stałych, dla substancji ciekłych i dla substancji lotnych. O szybkości spalania decydować będzie, między innymi, szybkość mieszania danego paliwa z powietrzem.

Technologia spalania oparta powinna być o:

- stałe monitorowanie temperatury procesu i zawartości tlenu w komorze spalania,
- zapewnienie odpowiedniej ilości tlenu w całej przestrzeni komory spalania,
- paleniska dobrane odpowiednio do rodzaju spalanego paliwa,
- odpowiednie wymieszanie odpadów z tlenem i paliwem uzupełniającym,
- dopalanie spalin przed ich odprowadzeniem do atmosfery, oczyszczanie gazów odlotowych z popiołów lotnych, pyłów i kwaśnych składników gazu oraz dioksyn.

29.3. Instalacja procesu spalania

W zależności od rodzaju spalanego paliwa dobiera się odpowiednie urządzenia i aparaturę składające się na instalację do termicznej utylizacji. Współczesne spalarnie odpadów, nie stwarzające zagrożenia dla środowiska, co świadczy o ich lokalizacji w centrach miast europejskich, posiadają nowoczesną instalację i ciągi technologiczne, na które składają się następujące elementy:

- magazyn odpadów z podajnikiem,
- kocioł spalania, czyli komora z przystosowanym rusztem do podawania odpadów,
- komora dopalania odpadów (dopalacz),
- instalacja oczyszczania gazów spalinowych,
- układ oczyszczania i regeneracji sorbentów,
- układ chłodzenia, oczyszczania i frakcjonowania popiołów,

- komin.

Jednym z istotnych elementów instalacji spalarni jest kocioł, czyli *komora spalania*, która wyposażona jest w ruszt z odpowiednio dobranym paleniskiem. Cały piec przystosowany musi być do zmiennych obciążeń paliwowych i musi umożliwiać stałą kontrolę spalania. Komora spalania, wykonana z materiałów ogniotrwałych, może nie posiadać możliwości odzysku energii lub też może być wyposażona w ścianę wodną służącą jej odzyskowi. Energia ta może zostać przetworzona na energię cieplną lub elektryczną.

Proces spalania jest pod stałą kontrolą i obejmuje:

- jednostkowy wsad paliwa oraz tempo zasilania komory paliwem,
- etap dostarczania powietrza, w tym objętość czystego tlenu,
- koncentrację tlenu w strefie spalania, w różnych jej punktach,
- temperaturę procesu spalania,
- czas spalania i przebywania paliwa w komorze,
- czas retencji gazów,
- objętość powstających gazów i ich skład chemiczny.

Wymienione parametry istotnie wpływają na dokładność spalania wszystkich nowych połączeń produktów powstających podczas spalania, a które są nieobecne w odpadach wyjściowych.

Odpady mogą być spalane:

- ***bez wstępnej segregacji*** i obróbki paliwa, czyli bez wcześniejszego rozdzielania materiałów różniących się wartością opałową - bez rozdrabniania, zagęszczania i uszlachetniania paliwem łatwopalnym. Paliwo takie nosi nazwę „*paliwa surowego*”;
- ***po wstępnej segregacji i obróbce paliwa***, prowadzącej do rozdzielania materiałów o różnych wartościach opałowych i usunięcia substratów niepalnych. Frakcja palna jest rozdrabniana (kruszona, mielona), mieszana z odpadami o podobnych lub zbliżonych właściwościach paliwowych, suszona, zagęszczana (np. w brykiety) z dodatkiem paliwa uszlachetniającego (np. oleju opałowego, gaz koksowniczy);
- ***zawsze w sposób kontrolowany***, prowadzący do minimalizacji ilości emitowanych zanieczyszczeń, poprzez kompleksowe oczyszczanie spalin.

Ponieważ paliwa stałe, ciekłe czy gazowe wymagają innych warunków spalania, bardzo ważny jest dobór odpowiedniej technologii procesu. Spalanie może więc przebiegać:

- ***jednoetapowo***, wówczas spala się najlepiej paliwo gazowe, a jego proporcje z powietrzem stosunkowo łatwo się dobiera. W procesie łatwo jest regulować płomieniem od utleniającego do redukującego i na odwrót. Następuje szybkie i pełne spalanie przy

wysokiej temperaturze procesu, a tym samym łatwo odzyskuje się energię cieplną z gazów spalinowych.

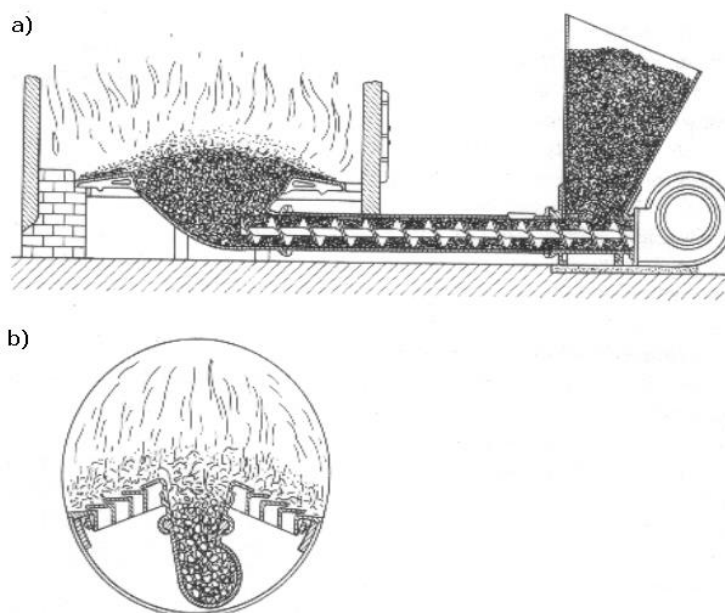
- **dwuetapowo**, poprzez:

- **spalanie wstępne** paliwa w pierwszej komorze pieca, prowadzące do powstania popiołu i gazów (zwłaszcza przy niedoborze tlenu lub zbyt niskiej temperaturze),
- **spalanie wtórne** w drugiej komorze pieca (tzw. komora dopalania), polegające na dopalaniu gazów przy nadmiarze tlenu i użyciu paliwa uzupełniającego dla zainicjowania procesu.

Najważniejszą częścią instalacji jest komora spalania: jej kształt i rodzaj paleniska. Elementy te decydują o jakości całego procesu.

Paleniska posiadają ruszta, na których odbywa się transport, suszenie, odgazowanie i spalanie paliwa. Wyróżnia się paleniska z rusztem:

- **poziomym**, które łatwo jest przystosować do zmiennych obciążeń; pochyłym i schodkowym,
- **ruchomym**, taśmowo-łańcuchowym, rotującym, stokerowym (rysunek 69),
- **ze złożem fluidalnym** (przystosowane do spalania w zawieszynie).



Rysunek 69. Palenisko typu stoker: a) przekrój podłużny; b) przekrój poprzeczny (Z.Makles, A.Świątkowski, S. Grybowska, 2001)

Spalanie odpadów stałych w **paleniskach z rusztem poziomym** sprawia określone problemy, które związane są z małą wydajnością procesu spalania. Powodem jest

zmniejszanie się grubości warstwy paliwa w miarę jego spalania. Uzupełnienie wsadu wpływa na chwilowe *odcięcie powietrza* w chwili wprowadzania nowej „porcji”. Brak dopływu powietrza i zmniejszenie ilości palącego się paliwa powoduje obniżenie się temperatury procesu. Obniżenie temperatury procesu poniżej 850°C grozi syntezą związków występujących w gazach spalinowych i powstanie toksycznych substancji. Wady te nie występują w pozostałych typach rusztów.

Ruszt pochyle, schodkowe i ruchome oraz poziome posiadają wadę, polegającą na zatykaniu kanałków powietrznych paliwa stałego (które stanowi mieszaninę różnych materiałów), przesypywaniu się przez ruszt odłamków paliwa niezdegradowanego oraz na obtapianiu paliwa zeszkliwiającymi się składnikami popiołu. Na tego rodzaju rusztach nie następuje więc całkowite spalanie paliwa.

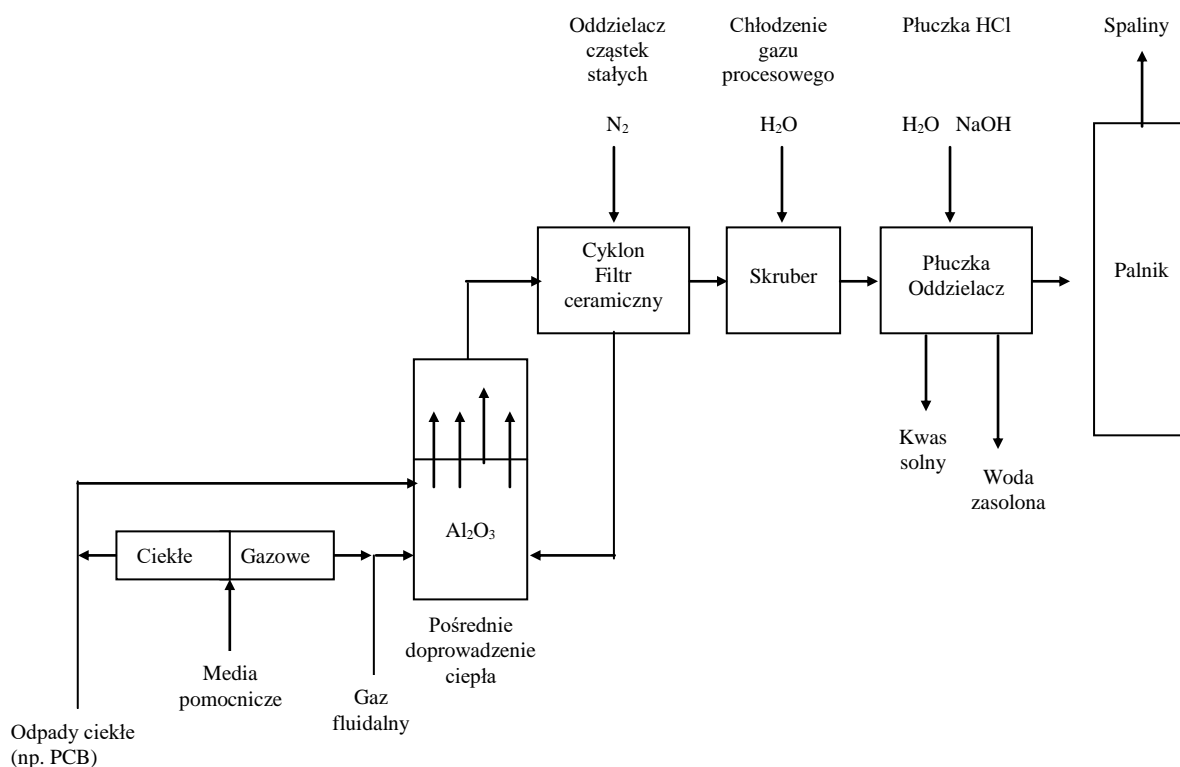
Najlepszy efekt spalania paliwa stałego uzyskuje się w paleniskach z rusztem obrotowym, stokerowym i w paleniskach ze złożem fluidalnym.

Paleniska z rusztem obrotowym i stokerowym, jedno- lub dwukomorowe, wyposażone są w ruchomy podajnik paliwa, który umożliwia utrzymanie stałej wysokiej temperatury procesu i nie następuje wypadanie niedopalonych cząstek paliwa. Spalanie prowadzone jest w dwóch komorach, co umożliwia maksymalne dopalenie wszystkich składników stałych i gazowych. Świeży wsad (odpady i paliwo uszlachetniające) przesuwany jest w stronę już żażącego się paliwa, pod jego spodnią warstwę, przy pomocy ruchomego „ślimaka”. Ślimak umożliwia doprowadzenie paliwa bez dostępu powietrza, ale bez przerywania procesu spalania. Powietrze jest wtryskiwane bezpośrednio do komory spalania. Podczas przesuwania świeży wsad powoli się nagrzewa, początkowo bez udziału powietrza, następnie osusza, oddaje części lotne i całkowicie spala. Spalają się organiczne części stałe paliwa. Czas przebywania paliwa stałego w komorze pozwala na pełne jego spalanie w temperaturze około $1200 \div 1450^{\circ}\text{C}$ (I komora). Wydzielone części lotne przechodzą do dopalacza (II komora). Tutaj przechodząc przez strefę najwyższej temperatury, pomiędzy $900 \div 1150^{\circ}\text{C}$, ulegają całkowitemu, bezdymnemu spalaniu, w czasie około 1 – 3 sekund.

Paleniska ze złożem fluidalnym (rysunek 70) umożliwiają utylizację odpadów zarówno stałych, jak i ciekłych, z równoczesnym rozkładem i spalaniem prekursorów ksenobiotyków (zawierających w swojej cząsteczce chlor, fluor lub brom). Optymalna do ich degradacji temperatura wynosi powyżej 2000°C i taką temperaturę można otrzymać w paleniskach ze złożem fluidalnym. Tego typu paleniska wymagają dokładnego rozdrobnienia odpadów stałych. Paliwo podawane jest pod ciśnieniem do pieca zgazowującego, wypełnionego materiałem inertym, który tworzy złożo fluidalne i gazem ochronnym

(mieszanina wodoru i azotu). Złoże fluidalne stanowi granulata z tlenku glinu, wapienia lub dolomitu, piasek kwarcowy i inne minerały o wysokiej temperaturze topnienia, nawet powyżej 2000⁰C. Rozpylone cząsteczki paliwa, łącznie z rozpylonymi cząsteczkami odpadów stałych lub gazowych, oddają części lotne. W warunkach wysokiej temperatury pieca zgazowującego następuje dechloracja związków chloroorganicznych do prostych węglowodorów.

Z pieca zgazowującego części lotne przekazywane są pod ciśnieniem do cyklonowej komory spalania (2000⁰C). Tutaj wprowadzane są w ruch wirowy z dodatkową ilością powietrza, w celu dokładniejszego spalania składników gazowych. O szybkości spalania decyduje fizyczny proces, jakim jest szybkość dyfuzji tlenu do rozpylonych cząsteczek paliwa.



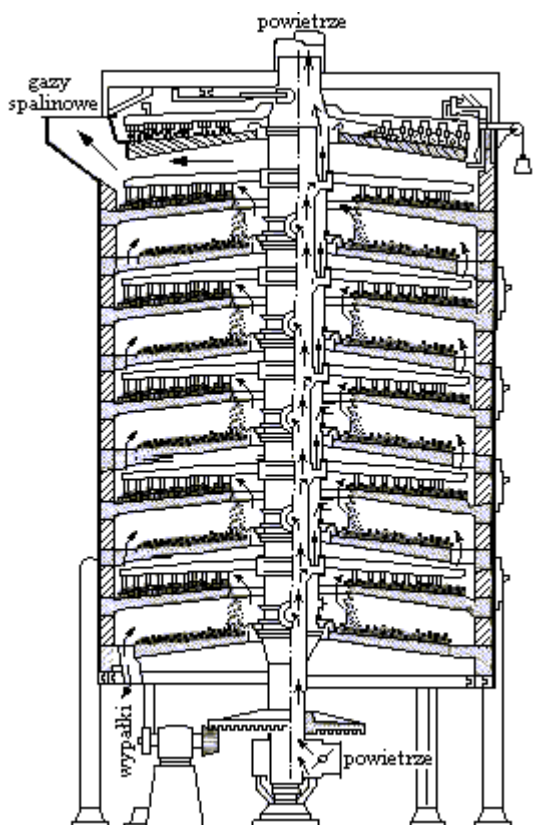
Rysunek 70. Schemat instalacji ze złożem fluidalnym do likwidacji chlorowanych węglowodorów (Z.Makles, A.Świątkowski, S.Grybowska; 2001).

29.4. Przykłady zastosowania technologii termicznej utylizacji odpadów

Przykładem sprzężenia pracy dwóch palenisk o różnych rusztach jest instalacja do termicznej utylizacji odpadów niebezpiecznych, w tym związków chloroorganicznych (instalacja w Dąbrowie Górniczej – rysunek 71). Składa się ona z dwóch pieców:

1. *Pieca półkowego*, w którym spalane są wilgotne odpady z oczyszczalni ścieków. Piec wyposażony jest w mokry skrubler oczyszczający spaliny. Temperatura spalania sięga 1000°C . Wydajność pieca wynosi około 2 ton paliwa (odpadów) na godzinę.
2. *Pieca obrotowego*, w którym spalane są pozostałe odpady poprodukcyjne, łącznie z chloroorganicznymi stałymi i ciekłymi. Temperatura spalania sięga około $800 \div 900^{\circ}\text{C}$ przy wydajności pieca około 400 kg paliwa na godzinę. W komorze dopalania następuje dopalanie gazów odlotowych w temperaturze spalania około $1000 \div 1400^{\circ}\text{C}$. Piec wyposażony jest w dodatkowe urządzenia: napowietrzające komorę spalania wentylatory, mokry odżuźlacz do chłodzenia żużła otrzymanego w procesie i zgrzeblowy przenośnik żużła.

Spaliny, przed odprowadzeniem do atmosfery, oczyszczane są w płuczkach pianowo absorpcyjnych dwustopniowych: zgrubnego odpylania cząstek stałych i ługowej do pochłaniania kwaśnych zanieczyszczeń gazowych.



Rysunek 71. Przekrój pieca półkowego (Z.Makles i inni, 2001)

Nowoczesną metodą destrukcji *osadów ściekowych* z oczyszczalni ścieków jest ich spalanie. Przykładem takiej instalacji jest instalacja spalarni w Dordrecht (Holandia), która stosuje jednocześnie technologię odzysku i wykorzystania energii (rysunek 72).

Dostarczany do zakładu termicznej utylizacji osad ściekowy podawany jest do zbiornika-bunkra (1) o pojemności około 4000 ton osadu. Bunkier podzielony jest na trzy kwatery i wyposażony w powietrzne śluzy. Zadaniem ich jest minimalizowanie uciążliwości zapachowych. Część odciągniętego powietrza przechodzi przez filtr biologiczny (2) i kierowana jest do atmosfery, pozostała część bezpośrednio jest kierowana komory spalania (5). Osad, po dokładnym wymieszaniu chwytakiem suwnicy, kierowany jest do trzech magazynowych silosów (3) przy pomocy pompy osadowej. Stąd podawany jest do suszarni tarczowej osadu (4). Suszarnia zasilana jest parą wodną z własnej produkcji. Opary powstające w procesie suszenia, jako ścieki, kierowane są przez kondensator pary (17) do oczyszczalni ścieków. Wysuszony osad, zawierający około 40% suchej masy, podawany jest do pieca fluidalnego (6), stanowiącego I komorę spalania.

Podkreślić należy, że cały system transportowy osadu składa się z dwóch równoległych linii, które zasilają trzy, równoległe pracujące, piece fluidalne. Złoże fluidalne pieców stanowi piasek o temperaturze około $850 \div 950^{\circ}\text{C}$. Tutaj zachodzi proces pełnego dosuszania osadu, odparowywania, zgazowywania i spalania. Wydzielone pary i gazy dopalane są w drugiej komorze (7) o temperaturze spalania powyżej 850°C , z dodatkiem 6% objętościowych tlenu. Czas przebywania spalin w tej temperaturze wynosi około 2 sekund.

Ciepło z gazów spalinowych odzyskiwane jest w kotle stanowiącym podgrzewacz powietrza (8) do temperatury około 450°C . Następnie w kotle ciepła odpadowego (8) produkowana jest para nasycona o ciśnieniu 10 bar. Para ta wykorzystywana jest do własnych celów spalarni, np. do osuszania osadu lub kierowana jest na turbinę zasilającą generator prądu. Taki sposób odzysku energii pozwala na oszczędność około 60 mln m³ gazu ziemnego w ciągu roku. Gazy spalinowe przechodzą następnie przez elektrofiltr (9), a pozyskana z nich energia cieplna spożytkowana zostaje w teflonowym wymienniku ciepła (19), w celu podgrzania oczyszczonych gazów spalinowych. Zapobiega to powstawaniu mgły ze skroplonej pary nad kominem (15), gdy gazy wypuszcza się do atmosfery.

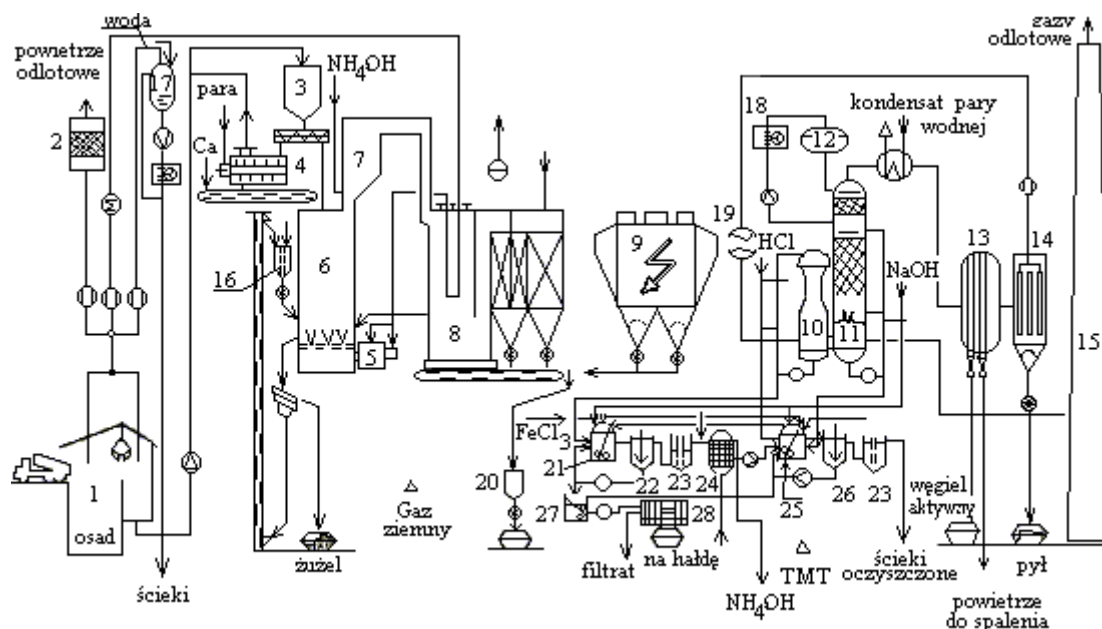
Gazy z kotłów parowych kierowane są do instalacji oczyszczania, która stanowi największą część wewnętrznej instalacji spalarni. Oczyszczanie gazów spalinowych odbywa się poprzez kolejne stopnie:

- elektrofiltr dwustopniowy, gdzie usuwane są popioły lotne (9) (około 99,99%),
- kwaśną płuczkę Venuriego, gdzie usuwa się HCl, HF, metale ciężkie i pozostałości pyłu (10, 25),
- płuczkę radialną (płuczka obojętna), gdzie usuwa się kwaśne zanieczyszczenia SO₂ i metale ciężkie (11, 25),

- stopień schładzania gazów do temperatury około 64⁰C, a wykroplona para wodna wykorzystywana jest w obiegu zamkniętym w płuczkach (12, 18),
- stopień podgrzewania gazów do temperatury wymaganej w kolejnym stopniu oczyszczania,
- absorber ze stałym złożem (np. węgiel aktywny, zeolit, które po zużyciu zwracane są do komory spalania) do usuwania Hg i innych pozostałości (13),
- filtr tkaninowy usuwający pył, wydzielony z absorbera (14, 23),
- instalacje do usuwania NO_x (24).

W trakcie spalania powstaje odpad wtórny w postaci popiołu (20) i placek filtracyjny z podczyszczania ścieków oraz ścieki. Popiół nie jest zaliczany do odpadów niebezpiecznych, jako wypełniacz może zostać użyty do otrzymywania asfaltu.

Ścieki powstające z płukania gazów spalinowych przed odprowadzeniem do oczyszczalni ścieków są wstępnie podczyszczane. Polega to na koagulacji chlorkiem żelazowym po korekcie pH (21), a następnie flokulacji wspomaganej polielektrolitem i TMT-15 (15% roztwór trójmerkaptotriazyny). Wytrącony osad (22, 27) odwadniany jest na prasie filtracyjnej (28). Odwodniony osad, jako niebezpieczny odwożony jest w specjalnym zbiorniku na składowisko odpadów niebezpiecznych.



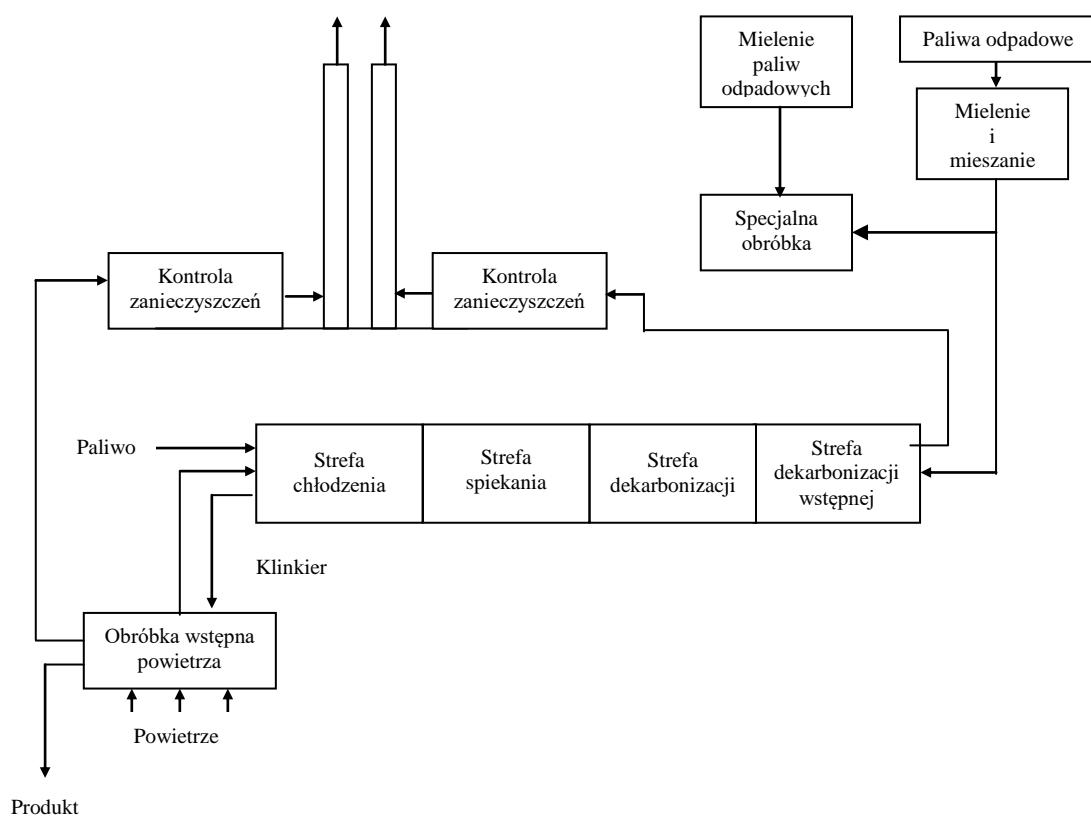
Rysunek 72. Schemat spalarni osadów komunalnych (A.Sterniński, 1997)

1- bunkier na osad, 2- biofiltr, 3- silos magazynowy osadu, 4- suszarnia, 5- komora paleniskowa, 6- piec fluidalny, 7- komora dopalania, 8- podgrzewacz powietrza (kocioł), 9- suchy elektrofiltr, 10- płuczka Venturiego, 11- płuczka radialna, 12- zbiornik pośredni wody płucznej, 13- adsorber, 14- filtr tkaninowy, 15- filtr tkaninowy, 16- silos magazynowy piasku, 17- skraplacz oparów, 18- chłodnica wody płucznej, 19- wymiennik ciepła gazów spalinowych, 20- zbiornik popiołu, 21- neutralizacja, 22- osadnik, 23- filtr piaskowy, 24- stripper amoniaku, 25- strącanie ciężkich metali, 26- osadnik z wkładem lamelowym, 27- zbiornik osadu, 28- prasa komorowa

Unieszkodliwianie odpadów może być oparte na wykorzystaniu ich jako paliwa w piecach cementowych, wapiennikach, piecach hutniczych i szklarskich. Tego typu metody stosowane są powszechnie w Niemczech, Szwecji, Wielkiej Brytanii, Kanadzie, Japonii. Zaletą wykorzystania pieców cementowych jest możliwość utylizacji termicznej odpadów komunalnych oraz odpadów niebezpiecznych. Wpływ na to mają takie czynniki, jak:

- wysoka temperatura procesów spalania,
- wysoka turbulencja strumienia gazów poprocesowych,
- obecność w strumieniu gazów poprocesowych rozproszonej alkalicznej fazy stałej,
- bardzo duża powierzchnia wymiany masy i ciała,
- alkaliczny charakter surowca, z uwagi na dominującą obecność w nim tlenku wapnia.

Piece cementowe zapewniają wysoką temperaturę spalania, około 1450 °C, przy temperaturze płomienia przekraczającej 2000°C (rysunek 73).



Rysunek 73. Schemat spalania odpadów o małej lotności w piecu cementowym (Z.Makles i inni, 2001)

W zależności od rodzaju i długości pieca zapewniają długi czas przebywania spalin w wysokiej temperaturze, wynoszącej około 6-10 sekund. Warunki te wpływają na pełne spalanie niebezpiecznych substancji organicznych, w tym dioksyn (około 99,999%). Pozostałe gazy, powstające w procesie spalania (np. HCl, HF, SO₂, Cl, CN i metale ciężkie –

tabela 34), absorbowane są na powierzchni rozproszonej fazy stałej w alkalicznej zawieszynie mieszanki surowcowej cementu lub klinkieru. Aby uzyskać ten efekt odpady stałe i ciekłe, uszlachetnione paliwem (węgiel, koks naftowy, olej opałowy lub gaz koksowniczy), podawane są do pieca obrotowego poprzez dyszę. Gazy spalinowe zostają oczyszczone w wyniku kontaktu ze strumieniem silnie alkalicznych surowców (np. w reakcji chemicznej z tlenkiem wapnia zostaje związany chlorowódor i inne chlorowcowodory). Uzyskane ciepło spalania odpadów wykorzystywane jest w procesie, przez co zużycie paliwa konwencjonalnego zostaje znacznie zmniejszone. Cały proces pozbawiony jest odpadu wtórnego w postaci żużla czy popiołów, które, jako części niepalne, prawie w całości wbudowują się w klinkier (około 99,70 ÷ 99,99%). Tworzące się w procesie spalania pyły kondensują chlorki metali alkalicznych, związki metali, których tlenki są lotne w danej temperaturze spalania. Pyły cementowe oddzielane są od spalin na elektrofiltrach lub filtrach workowych lub wraz ze spalinami zawracane są do procesu klinkieryzacji.

Tabela 34. Średnia emisja metali ciężkich z pieców cementowych w odniesieniu do ilości metali wprowadzonych do procesu (R.Oleniacz, 1998)

Pierwiastek	Cementownie Southwestern Portland Cement Co. w Houston (USA)		Cementownie Ash Grove Cement Co. w Chanute (USA)	
	Ilość wprowadzonego metalu w kg/h	Emisja w %*	Ilość wprowadzonego metalu w kg/h	Emisja w %*
Antymon (Sb)	0,1602 – 0,3012	0,266	0,281	0,052
Arsen (As)	0,0068 – 2,9896	0,022	8,210	0,027
Bar (Ba)	15,0219 – 34,4567	0,03	11,340	0,293
Beryl (Be)	0,00014 – 0,3253	0,114	0,034	0,108
Chrom (Cr)	0,2559 – 4,6255	0,128	10,886	0,035
Cynk (Zn)	4,1618 – 16,2401	0,22	-	-
Kadm (Cd)	0,0392 – 0,1789	0,44	1,034	2,252
Nikiel (Ni)	0,8841 – 2,2798	0,048	-	-
Ołów (Pb)	0,7149 – 19,1798	0,167	20,911	3,449
Rtęć (Hg)	0,0021 – 0,0425	10 – 90	-	-
Srebro (Ag)	0,0199 – 0,2257	0,163	0,222	0,065
Tal (Tl)	0,0081 – 0,3337	10 – 20	< 0,036	< 0,823
Wanad (V)	2,2495 – 14,2033	0,004	-	-

* procent w stosunku do ładunku metalu wprowadzonego do pieca

Utylizacja odpadów w piecach cementowych jest jedynym sposobem unieszkodliwiania odpadów gazowych zawierających np. organiczne związki fluoru i freony. Uwagę należy zwrócić na obecność w spalonym paliwie odpadowym lotnych substancji organicznych (VOC), które nie ulegają destrukcji i wraz ze strumieniem gazów odlotowych zostają wyemitowane do atmosfery.

Zaletą metody jest znaczne obniżenie kosztów budowy nowych spalarni, zmniejszenie ilości spalarni, ograniczenie emisji pyłów zawierających ksenobiotyki, powstawanie

minimalnej ilości odpadów wtórnych (żużli, popiołów) oraz zmniejszenie zużycia paliw pierwotnych (tabela 35).

Tabela 35. Koncentracje zanieczyszczeń w spalinach emitowanych z pieców cementowych podczas spalania paliwa tradycyjnego i paliwa z odpadów komunalnych (R. Oleniacz, 1998)

Rodzaj zanieczyszczenia	Koncentracje zanieczyszczeń w spalinach w mg/m ³ ⁽¹⁾				
	Emisja z pieca cementowego opalanego		Wartości dopuszczalne dla procesu spalania		
	wyłącznie węglem	węglem i paliwem odpadowym ⁽²⁾	paliw mieszanych	odpadów	
				TA-Luft'86	17.BimSchV'90
Pył całkowity	50	50	38	50	10
Tlenek węgla (CO)	203	164	85	100	50
Suma C _{org} (węgiel organiczny)	51,5	43,5	17	20	10
Ditlenek siarki (SO ₂)	131	50	295	400	50
Ditlenek azotu (NO ₂)	837	841	970	1300	200
Chlorowódór (HCl)	5,5	4,0	24	30	10
Fluorowódór (HF)	0,3	0,9	3,8	5	1
Kadm (Cd), Tal (Tl)	0,0038	0,0014	0,155	0,2	0,05
Rtęć (Hg)	0,022	0,024	0,155	0,2	0,05
Pozostałe metale ciężkie	0,01	0,021	3,65	5	0,5
PCDDs/PCDFs ⁽³⁾ w ng TEQ/m ³ ⁽⁴⁾	n.w.	n.w.	0,031	-	0,1

⁽¹⁾ stężenia zanieczyszczeń odnoszą się do warunków normalnych: $t = 0^{\circ}\text{C}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$, 11 % O₂, gaz suchy
⁽²⁾ paliwo zastępcze pozyskane z odpadów komunalnych
⁽³⁾ polichlorowane dibenzo-p-dioksyny / polichlorowane dibenzofurany
⁽⁴⁾ TEQ – równoważnik toksyczności stanowiący sumę iloczynów stężeń poszczególnych kongenerów i ich współczynników TEF (TEF - współczynnik równoważnika toksyczności)

Wprowadzenie metody destrukcji odpadów w piecach cementowych wiąże się z pewnymi warunkami, jakie musi spełnić produkt przemysłu cementowego. Szczególnie jeśli utylizowane są odpady niebezpieczne. Dla utrzymania jakości produkowanego klinkieru oraz zachowania stabilności pracy pieca ustalone są więc progi bezpieczeństwa technologicznego i ekologicznego.

Wartość progowa bezpieczeństwa procesu i jakości produktów określa dopuszczalne zawartości metali ciężkich, alkaliów i chloru w substancji mineralnej odpadu oraz w otrzymanym klinkierze.

Próg bezpieczeństwa ekologicznego określa dopuszczalna ilość odpadu, możliwego do spalania, aby otrzymany produkt (klinkier) oraz gazy odlotowe zapewniały bezpieczeństwo środowiska. Próg bezpieczeństwa dla środowiska ustala się na poziomie 10÷20-krotnie niższym od progu bezpieczeństwa technologicznego.

Kryteria, jakie musi spełnić odpad będący składnikiem materiału budowlanego to:

- szkodliwe metale ciężkie muszą zostać trwale związane ze składnikami tworzywa w formach krystalochemicznych, nie poddających się ługowaniu,
- odpad nie może zawierać związków rtęci i galu, gdyż związki te szkodliwie sublimują do atmosfery w procesie klinkieryzacji,
- przenikający do masy klinkieru chrom nie może przyjmować postaci chromu Cr^{+6} , którego zawartość jest ściśle limitowana jako, że uznany został za szczególnie niebezpieczny dla zdrowia,
- odpad nie może wykazywać radioaktywności.

Obecność odpadu w materiale budowlanym, oprócz wymienionych kryteriów, nie powinna przekraczać 2% w przypadku odpadów nieselekcjonowanych i 3% w przypadku odpadów wyselekcjonowanych. Natomiast obecność odpadu w klinkierze nie powinna przekraczać 10÷15%, w wyjątkowych wypadkach 30%. Kryterium to wynika z uwagi na właściwości toksyczne, jakie odpady posiadały przed ich przetworzeniem.

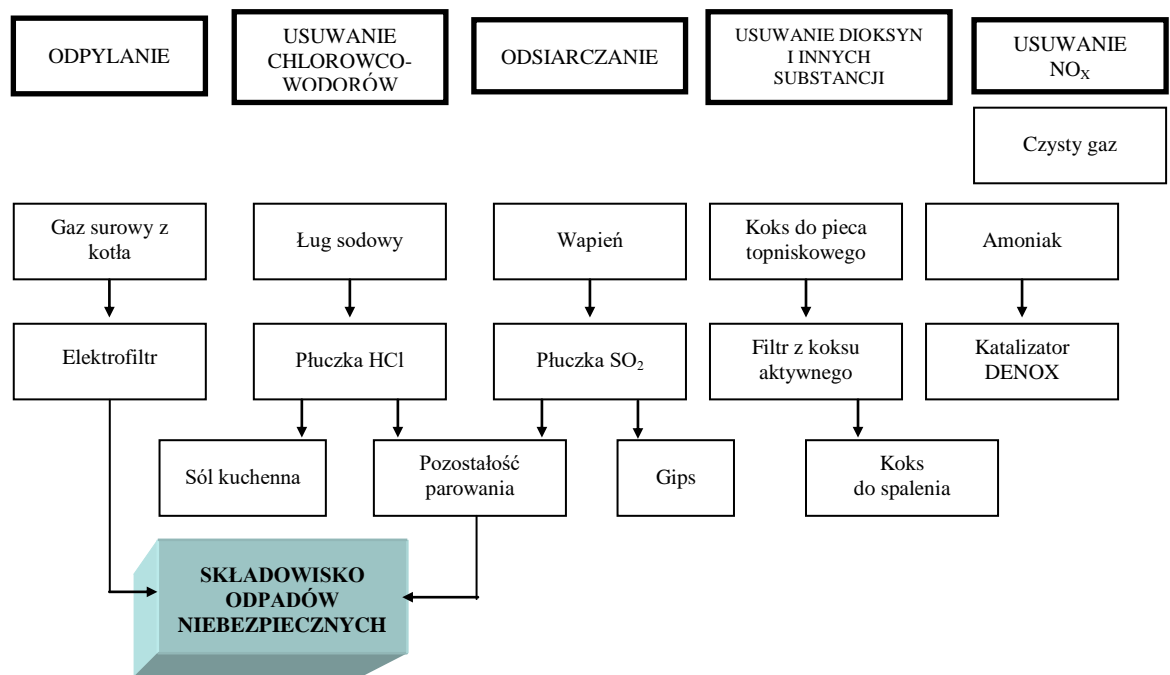
30. OCZYSZCZANIE GAZÓW ODLOTOWYCH (SPALIN)

W wyniku realizacji wielu procesów technologicznych, związanych nie tylko ze spalaniem odpadów, lecz także z innymi działaniami gospodarki, do atmosfery przedostaje się kilka tysięcy ton zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. Pomimo znacznego zmniejszenia tej emisji od 1990 roku w wyniku zastosowania urządzeń oczyszczających, nadal jest to znaczący problem. Wynika on z konieczności utrzymania instalacji do oczyszczania spalin na wysokim poziomie dyspozycyjności. Poziom ochrony środowiska, oprócz zapewnienia wysokiej skuteczności oczyszczania gazów spalinowych, wymaga również dyspozycyjności ze strony samych urządzeń do ich oczyszczania. Przez dyspozycyjność danego urządzenia rozumie się czas przeznaczony na nienaganne wykonanie postawionego przed nim zadania, odniesiony do wymaganego czasu prowadzonego procesu technologicznego. Równie znaczący problem dotyczy różnorodności substancji i związków chemicznych, jakie powstają w poszczególnych procesach technologicznych i konieczność dostosowywania aparatury oczyszczającej gazy odlotowe do ich oczyszczania.

Skuteczność odpylania, usuwania związków gazowych oraz oczyszczania samego ośrodka pyłowo-gazowego w danym urządzeniu zależy, między innymi, od parametrów zanieczyszczeń w spalinach. Należą do nich: skład ziarnowy pyłu, kształt ziaren, własności chemiczne pyłu i gazu, oporność elektryczna pyłu, ciężar właściwy pyłu i gazu, wielkość stężenia zanieczyszczeń pyłowych w strumieniu gazów spalinowych. Biorąc pod uwagę urządzenie oczyszczające, to podstawowymi jego parametrami będą: rodzaj i kształt

katalizatora, jego aktywność, żywotność, wielkość obciążenia i inne. Wynika stąd, że ocena efektywności i stopnia oczyszczenia gazów odlotowych przez urządzenia i aparaturę oczyszczająco-odpylającą będzie w znacznym stopniu zależała od możliwej do osiągnięcia skuteczności działania tych urządzeń.

Nieoczyszczone gazy odlotowe z kominów spalarni odpadów należą do gazów toksycznych, uciążliwych dla środowiska atmosferycznego. Podstawowymi emitowanymi zanieczyszczeniami są gryzące dymy, aerozole, pyły, które zawierają SO_2 , NO_x , CO_2 , CO , Cd , Hg , Pb , NH_3 , H_2S , HCl , PCDD i PCDF, węglowodory aromatyczne, utleniacze fotochemiczne, Pb , polichlorowane bifenyle, freony, cząstki stałe i wiele innych. Usunięcie tych zanieczyszczeń lub ich minimalizacja jest niezbędnym elementem w prawidłowym funkcjonowaniu spalarni odpadów. Metodę oczyszczania gazów spalinowych ilustruje rysunek 74.



Rysunek 74. Metoda oczyszczania gazów odlotowych w spalarniach odpadów (M.Żygadło, 1998)

Stopień oczyszczenia gazów odlotowych zależy od jakości i właściwości zastosowanych urządzeń oraz użytych do oczyszczania związków chemicznych. W procesie oczyszczania gazów spalinowych duże znaczenie ma stopień zanieczyszczenia gazów lotnymi składnikami. Nie może on przekroczyć wartości dopuszczalnych dla gazów kierowanych do atmosfery (tabela 36).

Tabela 36. Normy emisji zanieczyszczeń dla spalarni odpadów⁽¹⁾ (B.J.Alloway, C.D.Ayres, 1999)

Zanieczyszczenie	Emisja zgodna z Zarządzeniem UE, w ng/m ³		Emisja zgodna z HMP (IPR5/3), w ng/m ³ dla spalarni > 1 t/h ⁽²⁾
	dla spalarni 1 – 3 t/h ⁽²⁾	dla spalarni > 3 t/h ⁽²⁾	
Pył ogółem	100	30	30
Tlenek węgla (CO)	100	100	100
Lotne związki organiczne (VOC) – poza pyłem	20	20	20
Gazy kwasowe			
Ditlenek siarki (SO ₂)	300	300	300
Chlorowodów (HCl)	100	50	30
Fluorowodór (HF)	4	2	2
Tlenki azotu (NO _x) – jako ditlenek azotu (NO ₂)	-	-	350
Metale ciężkie			
Kadm (Cd) i rtęć (Hg)	0,2	0,2	0,1 każdego
Nikiel (Ni) i arsen (As)	1	1	1
Inne metale	5	55	1
Dioksyny, ng równoważnika dioksyn/m ³	-	-	1
⁽¹⁾ wymagane warunki spalania, to: temperatura minimalna 850 ^o C w ciągu co najmniej 2 sekund, 6% tlenu (lub inna skuteczna technika utleniania dioksyn) (RCEP, 1993); ⁽²⁾ wielkość spalarni wyrażono w tonach odpadów spalanych w ciągu 1 godziny.			

Gazy spalinowe opuszczające komorę spalania i dopalania odpadów kierowane są do instalacji ich oczyszczania. Instalacja ta wyposażona jest w takie podstawowe urządzenia, jak:

- cyklony i multicyklony do usuwania unoszonych ze spalinami ciężkich i o większych rozmiarach cząstek stałych (> 10 μm), w wyniku ich grawitacyjnego osadzania;
- filtry workowe do usuwania lekkich i o małych wymiarach cząstek stałych (gazy i aerozole o wymiarach cząstek < 5 μm), które usuwane są w porach złoża filtracyjnego, jakim jest np. tkanina bawełniana, włókno szklane, włókno azbestowo-celulozowe;
- osadniki elektrostatyczne (elektrofiltry) do wychwytywania lotnych cząstek stałych na zasadzie przyciągania elektrostatycznego przez materiał o przeciwnym ładunku elektrycznym (wydajność oczyszczania około 99%);
- płuczki, czyli absorbery do mokrego i adsorbery do suchego usuwania siarkowodoru, dwutlenku węgla, metanu, azotu, metali ciężkich i innych składników gazów. Usuwany związek reaguje z absorberem lub adsorberem tworząc związki chemiczne łatwo rozkładające się na absorbent (adsorbent) i zaabsorbowany (zaadsorbowany) składnik gazowy w procesie pochłaniania i regeneracji (wydajność oczyszczania około 90%);

- komory oczyszczania ścieków (neutralizacja roztworów z płuczek), w których zanieczyszczenia oddzielane są od wody w postaci placka filtracyjnego, zaś woda zawracana jest do obiegu.

Do najbardziej skutecznych metod usuwania zanieczyszczeń z gazów spalinowych, odcieków, szlamów i popiołów należą fizyczne, chemiczne i biologiczne metody ich rozkładu. Podstawą zmniejszenia ilości zanieczyszczeń w gazach spalinowych jest właściwie prowadzony proces spalania odpadów i stosowanie optymalnych parametrów spalania, które eliminują trudne do destrukcji związki organiczne i nieorganiczne, zawierające chlor, fluor lub brom. Także istotne jest skuteczne usuwanie tlenków azotu, których obecność i stężenie odzwierciedlają, przez analogię, obecność i stężenie PCDD, PCDF i PCB.

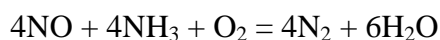
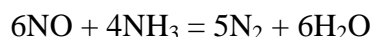
30.1. Usuwanie tlenków azotu

Tlenki azotu usuwa się w katalitycznej i niekatalitycznej redukcji, metodą SCR (Selective Catalytic Reduction) i metodą SNCR (Selective Noncatalytic Reduction). Metody te są również skuteczne do obniżania stężeń dioksyn. W zależności od możliwych do poniesienia kosztów, stosuje się następujące rozwiązania:

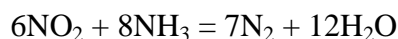
- układ oczyszczania spalin o dużym stopniu zapylenia (high-dust), w którym SCR stosowany jest bezpośrednio za podgrzewaczem wody w kotle, gdzie temperatura gazów spalinowych wynosi około 300÷400⁰C, a spaliny zawierające około 20 g pyłu na m³ nie są odpylane przez SCR;
- układ dostosowany do spalin o małym stopniu zapylenia (low-dust), w którym gazy spalinowe przed podaniem na SCR są oczyszczane z pyłu w elektrofiltrze (do 0,1 g/m³);
- układ dostosowany do cząstek spalin (clean-gas), w którym SCR znajduje się za elektrofiltrem i stopniem odsiarczania.

Selektywna redukcja tlenków azotu na złożu katalitycznym odbywa się w komorze spalania. Polega ona na dostarczaniu do komory spalania amoniaku, jako gazu redukującego, w obecności katalizatora, tlenki azotu. Tlenki azotu ulegają rozkładowi na azot i wodę, czyli składniki powietrza atmosferycznego, według reakcji:

a) tlenek azotu:



b) dwutlenek azotu:



c) mieszanina tlenku i dwutlenku azotu:



Stechiometryczna ilość azotu powinna zapewnić wymaganą skuteczność redukcji NO_x , przy jednoczesnym minimalnym stężeniu nieprzereagowanego amoniaku na wylocie z komory spalania.

Wydajność procesu usuwania NO_x z gazów spalinowych zależy od temperatury procesu, stężenia NO_x i obecności tlenu w gazach spalinowych, a także od stosunku molowego amoniaku do tlenków azotu i obecności innych zanieczyszczeń w spalinach (np. SO_2).

W metodzie SNCR amoniak wtryskiwany jest do komory dopalania w temperaturze $800\div 1000^\circ\text{C}$.

Skuteczność stosowania katalizatorów w metodach SCR i SNCR do obniżania stężenia dioksyn w spalinach obrazuje tabela 37.

Tabela 37. Skuteczność usuwania PCDD/PCDF z gazów spalinowych spalarni Spittelau w Wiedniu, dla strumienia objętościowego spalin $200000 \text{ m}^3/\text{h}$ i temperatury 280°C (Z.Makles, A.Świątkowski, S.Grybowska, 2001; zmienione)

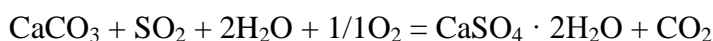
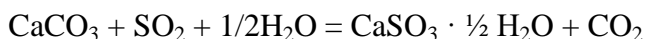
Zawartość PCDD i PCDF w gazach, w ng I-TEQ*/m ³ , przed stosowaniem metody SCR	Zawartość PCDD i PCDF w gazach, w ng I-TEQ*/m ³ , po stosowaniu metody SCR	Stopień redukcji, w %
1,64	0,051	96,90
1,40	0,093	93,40
3,28	0,065	98,02
1,91	0,036	98,01
0,95	0,052	94,53
3,48	0,068	98,05

* I-TEQ – międzynarodowy równoważnik toksyczności

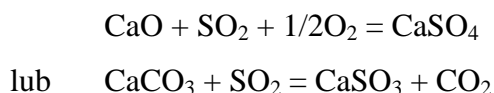
30.2. Usuwanie dwutlenku siarki

Zasiarczone gazy odlotowe poddaje się oczyszczaniu przez usunięcie z nich SO_2 . W tym celu stosuje się:

- **metody mokre** z wykorzystaniem np. kamienia wapiennego, jako sorbenta: czynnikiem odsiarczającym jest wodna zawiesina kamienia wapiennego, w której rozpuszcza się SO_2 zawarty w gazach spalinowych, według reakcji:

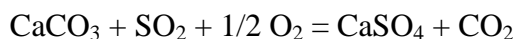


- *metody półsuche* z wykorzystaniem np. kamienia wapiennego, jako sorbenta, których mechanizm działania jest podobny jak w metodzie mokrej. Podstawowa różnica polega na ograniczeniu ilości wody podawanej z sorbentem. W metodzie tej uzyskuje się suche produkty odsiarczania;
- *metody suche* z wykorzystaniem np. kamienia wapiennego, jako sorbenta, w których proces przebiega bezpośrednio między fazą gazową I ciałem stałym (sorbentem), według reakcji:



otrzymany siarczyn wapnia jest nietrwały i rozkłada się w temperaturze powyżej 400°C.

Najbardziej efektywny proces odsiarczania uzyskuje się według reakcji:



W zależności od rodzaju sorbenta reakcje wiązania gazowego przebiegają w temperaturze pomiędzy 600÷1480 K. Sorbenty w metodzie suchej są więc stosowane w strefie spalania gazu. Do odsiarczania gazów spalinowych stosuje się jako sorbenty: tlenek wapnia, wodorotlenek wapniowy, siarczek żelazawy, węglany sodu i potasu, cytrynian sodu, tlenek magnezowy, kamień wapienny, kwas adypinowy.

Wprowadzenie do spalin pylistej mieszaniny tlenku wapnia i węgla aktywnego skutecznie absorbuje i usuwa również dioksyny (tabela 38).

Uzyskany związek wapniowo-węglowy z zaadsorbowanymi ksenobiotykami zawracany jest do komory spalania.

Tabela 38. Skuteczność redukcji dioksyn metodą strumieniowo-sorpcyjną z zastosowaniem mieszaniny węgiel aktywny-wapno

Zawartość PCDD i PCDF w gazach	PCDD i PCDF, w ng I-TEQ/m ³		Stopień redukcji, w %
	przed	po	
Minimalna	4,67	0,022	99,53
Maksymalna	27,77	0,082	99,70
Średnia	10,04	0,048	99,50

Bez względu na rodzaj zastosowanej technologii, nie są one doskonałe w stu procentach. Zawsze pozostaje choćby milionowa część zanieczyszczeń usuwanych do atmosfery. Natomiast o efektywności działania każdego systemu oczyszczania spalin i innych gazów odlotowych świadczą wyniki obowiązkowych analiz składu spalin opuszczających instalację gazową. Dlatego konieczny jest tu ciągły monitoring tych substancji.

30.3. Biologiczne oczyszczanie gazów odlotowych

Metody biologicznego oczyszczania gazów odlotowych ze związków organicznych emitowanych do atmosfery, wykorzystujące w tym celu mikroorganizmy, nabierają coraz większego znaczenia. Okazują się być przydatne w tych przypadkach, gdy emitowane gazy mają niską temperaturę i niezbyt wysokie wartości stężenia zanieczyszczeń. Metody biologiczne stosuje się do usuwania z gazów związków organicznych, siarkowodoru, amoniaku, które występują jako domieszki. Proces oczyszczania opiera się na dwóch podstawowych zjawiskach:

1. sorpcji zanieczyszczeń, czyli oczyszczenia gazów odlotowych;
2. biologicznym rozkładzie zanieczyszczeń, czyli oczyszczenie sorbentu.

Zjawiska te tworzą samoregenerujący się układ, w którym ilość powstających odpadów jest tak mała, że metodę uznaje się powszechnie za bezodpadową.

Metoda biologicznego oczyszczania gazów może mieć szeroki zakres zastosowań pod warunkiem, że:

- usuwane z gazów zanieczyszczenia muszą być podatne na rozkład biologiczny,
- zanieczyszczenia muszą być rozpuszczalne, nawet słabo, w wodzie lub tłuszczach (lipidach wchodzących w skład błony komórkowej mikroorganizmów),
- temperatura oczyszczanych gazów musi się mieścić w zakresie, który gwarantuje biologiczną aktywność mikroorganizmów,
- oczyszczane gazy nie mogą zawierać składników toksycznych dla mikroorganizmów, jak np. związków metali ciężkich czy oparów kwasów.

W celu spełnienia tych warunków gazy odlotowe poddaje się wstępnej obróbce, np. poprzez zraszanie gazów wodą, co prowadzi do obniżenia temperatury oraz zapewnia wymycie substancji toksycznych.

Biologiczne oczyszczanie gazów odlotowych prowadzi się w dwóch typach instalacji: biofiltrach i w płuczkach biologicznych.

Biofiltry są to urządzenia do biologicznego oczyszczania gazów. Głównym elementem filtru biologicznego jest warstwa porowatego materiału filtracyjnego zasiedlonego przez mikroorganizmy. Podczas powolnego przedmuchiwania gazów przez warstwę materiału filtracyjnego zanieczyszczenia są sorbowane, a następnie rozkładane przez mikroorganizmy. Działanie mikroorganizmów prowadzi do regeneracji złoża (sorbentu). W biofiltrach, inaczej niż w płuczkach biologicznych, sorpcja i rozkład zanieczyszczeń zachodzą w tym samym miejscu urządzenia. Poprawne działanie biofiltru zależy od właściwego doboru materiału filtracyjnego, w którym uwzględnia się charakterystykę uziarnienia, zdolność zatrzymywania

wody, trwałość, powierzchnię właściwą, zapach własny, opory przepływu gazów, gęstość zasiedlenia przez mikroorganizmy, koszty. Dobrymi złożami do biofiltrów okazują się materiały organiczne, jak: żyzna gleba o spulchnionej strukturze, torf oraz odpady torfowe, komposty z odpadów komunalnych oraz komposty z kory drzew i odpadów drzewnych. Trwałość dobrze dobranych materiałów filtracyjnych wynosi zwykle kilka lat.

Pluczka biologiczna jest układem złożonym z dwóch głównych elementów: absorbera i komory napowietrzania osadu czynnego. Gazy odlotowe przepuszcza się przez absorber, w którym spotykają się przeciwprądowo z sorbentem (osadem czynnym). Oczyszczanie osadu czynnego następuje w komorze napowietrzania, gdzie zachodzi proces jego samoregeneracji.

31. PIROLIZA

Piroliza jest to termiczny rozkład substancji palnej, polegający na rozpadzie cząstek o dużej masie cząsteczkowej na cząstki o mniejszej masie cząsteczkowej, **bez udziału powietrza** (tlenu), w wysokiej temperaturze (około $450 \div 900^{\circ}\text{C}$). Obejmuje ona proces odgazowania materii, wylewania, koksowania i konwersji, które prowadzi się przez kilka godzin. Procesy te wchodzi w schemat technologiczny pirolizy:

- niskotemperaturowej, o temperaturze procesu około $300 \div 600^{\circ}\text{C}$ (utleniają się przede wszystkim substancje organiczne),
- wysokotemperaturowej, o temperaturze procesu około $600 \div 900^{\circ}\text{C}$ (utleniają się tworzywa sztuczne, opony gumowe).

Wymienione procesy zapewniają pełny proces utylizacji odpadów łącznie z toksycznymi i niebezpiecznymi substancjami. Odpady przygotowuje się do procesu poprzez ich rozdrobnienie i homogenizację. W warunkach beztlenowych procesu pirolizy odpady ulegają zgazowaniu z wytworzeniem prostych gazowych i ciekłych połączeń chemicznych w postaci gazów lub olei pirolitycznych oraz produktu stałego pod nazwą „koksik pirolityczny”. Bardzo istotne jest, że w tym procesie związki chloroorganiczne, jak np. PCDD, PCDF i PCB, którymi zanieczyszczone są odpady, mogą być utylizowane do produktów bezpiecznych dla środowiska.

Piroliza przekształca materię w fazę:

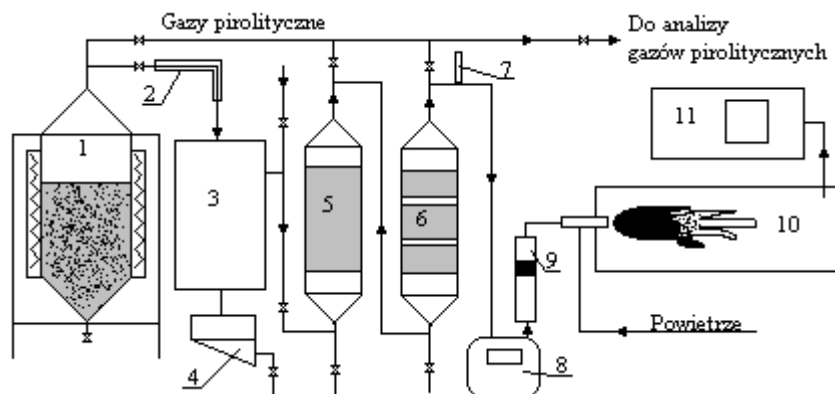
- **gazową**, w procesie odgazowania i wylewania. Powstaje gaz pirolityczny (wytłewny), który zawiera przede wszystkim alifatyczne węglowodory ($\text{C}_2\text{-C}_4$), tlenek i dwutlenek węgla oraz H_2S , NH_3 , HCl , HF , HCN i inne (skład gazu pirolitycznego uzależniony jest od temperatury procesu);

- **stalą**, w której stałe produkty odpadów zostają przekształcone w koksik pirolityczny (faza koksowania), substancje obojętne oraz pyły ze znaczną zawartością metali ciężkich i innych związków;
- **ciekłą**, czyli kondensaty wodne i oleiste, które składają się z mieszaniny olejów i smół, wody oraz składników organicznych, jak kwasy i alkohole.

Wzajemne proporcje poszczególnych faz zależą od temperatury procesu. W początkowym jej etapie następuje odgazowanie, następnie powstaje faza płynna węglowodorowa i faza stała mineralna, jako popiół. Kropelki fazy płynnej unoszone są we wnętrzu komory i osiadają na osuszonych warstwach odpadów. Popioły i stopiony żużel odprowadzane są w sposób ciągły do zbiornika chłodzenia i granulacji. Węglowodory zawracane są do procesu. Nadmiar wody i kondensat są rozdzielane i biologicznie oczyszczane.

W skład instalacji do pirolitycznej utylizacji odpadów wchodzi: piec pirolityczny i układ oczyszczający gazy pirolityczne (rysunek 75).

Z uwagi na brak dostatecznego poziomu niezawodności procesu, jego małą wydajność z uwagi na długi czas destrukcji odpadów, poroliza nie jest jeszcze stosowana w praktyce przemysłowej.



Rysunek 75. Doświadczalna instalacja do prowadzenia procesu pirolizy odpadów olejowych, celulozowych i komunalnych (Z.Makles i inni, 2001):
 1- reaktor pirolityczny; 2- skraplacz; 3- wykraplacz; 4- zbiornik kondensatu;
 5, 6- filtry; 7- termometr; 8- gazomierz; 9- rotametr; 10- komora spalania;
 11- analizator gazów spalinowych

Innym rozwiązaniem jest **proces quasipirolityczny** polegający na termicznej utylizacji materii organicznej, zachodzący przy **ograniczonym dostępie powietrza**. Przykładem jest proces Thetmoselect (Niemcy, Włochy), w którym proces utylizacji odpadów oparty jest na:

- zagęszczaniu odpadów, prowadzące do 10% zmniejszenia ich objętości, wyrównania rozkładu wilgoci i minimalizacji zawartego w nich powietrza,
- osuszeniu i odgazowaniu w komorze pirolitycznej, w temperaturze około 600⁰C,
- zgazowaniu stałego produktu pirolizy w wysokotemperaturowym reaktorze, w obecności czystego tlenu,
- wityfikacji mineralnych pozostałości, w temperaturze powyżej 2000⁰C,
- szokowym schłodzeniu gazu syntezowego (co zapobiega powstaniu związków chloroorganicznych) i jego oczyszczeniu,
- gospodarczym wykorzystaniu gazu pirolitycznego, którego skład i wartość opała zależy od temperatury procesu.

Ponadto w procesie oczyszcza się poprocesowe wody oraz gazy spalinowe. Z pozostałości poprocesowych wytwarza się użyteczne substraty, jak na przykład wityfikacyjny granulaty, czy koncentrat metali ciężkich.

32. SPALANIE W PLAZMIE

Spalanie w plazmie polega na całkowitym zniszczeniu ciekłej substancji organicznej i nieorganicznej w reaktorze plazmowym, w którym temperatura osiąga próg około 3000 ÷ 20000⁰C. Metoda spalania w plazmie jest totalną destrukcją materii organicznej i nieorganicznej. Plazmę otrzymuje się w wyniku wprowadzenia gazów w stan jonizacji, zawierający wolne elektrony, jony, atomy, cząsteczki i rodniki. Dodatkowo ładunki jonów i ujemne elektronów są wobec siebie wzajemnie obojętne – jest to *stan quasiinertny*.

Spalanie w plazmie obejmuje proces:

- utworzenia plazmy,
- wprowadzenia odpadów do strumienia plazmy,
- szokowego schłodzenia gazów wylotowych,
- oczyszczania gazów wylotowych,
- usunięcia żużla i popiołów przez ich wityfikację,
- oczyszczania cieczy i osadów.

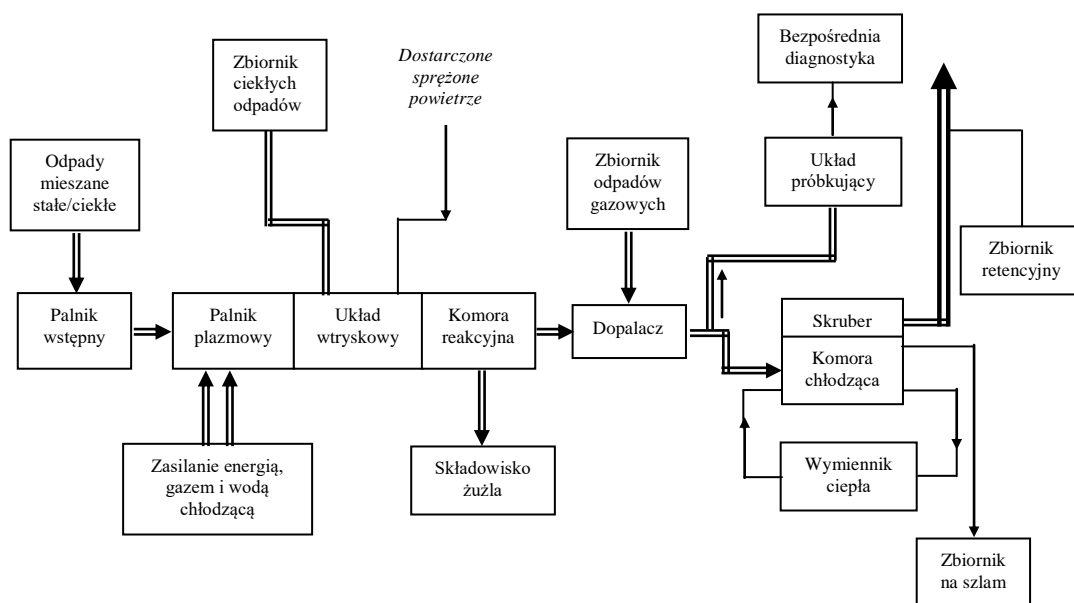
Stopień efektywności destrukcji (rozkładu) odpadów przyjmuje się na poziomie około 99,999999%, co oznacza, że ze spalinami przedostaje się do atmosfery milionowa część zanieczyszczeń. Schemat instalacji do plazmowej destrukcji odpadów ilustruje rysunek 76.

Plazmowa destrukcja odpadów przebiega w trzech fazach:

- *faza spalania*, w której w reaktorze plazmowym, o temperaturze wnętrza około 5000⁰C ciekłe odpady podlegają odparowaniu i destrukcji przez zatomizowanie. W strumieniu

gazów ulegają utlenieniu do produktów prostych, jak dwutlenek węgla, chlorowódor i woda;

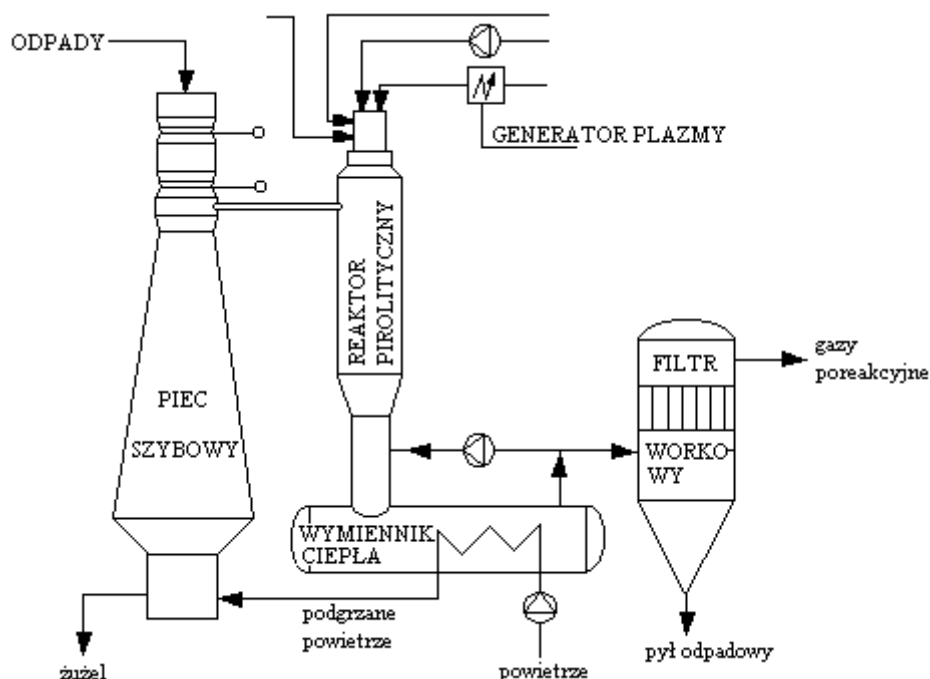
- **faza dopalania**, w której do reaktora kierowane są gazy generatorowe, po wcześniejszym ich schłodzeniu do temperatury około 1400°C i wymieszaniu z nadmiarem powietrza. Następuje dopalanie gazów i obniżenie temperatury spalin do około 1200°C . W strefie dolnej reaktora następuje dalsze gwałtowne, szokowe schłodzenie gazów do temperatury około $100\div 150^{\circ}\text{C}$. Szokowe schładzanie gazów spalinowych zapobiega powstawaniu wtórnych związków chloroorganicznych;
- **faza oczyszczania**, w której gazy spalinowe przechodzą z reaktora przez skrubler z czynnikiem zasadowym do wychwytywania kwaśnych gazów. W kąpieli zasadowej powstają chlorki, chlorany, resztki ługu. Do atmosfery dostają się jedynie N_2 , CO_2 i H_2O , czyli składniki powietrza atmosferycznego.



Rysunek 76. Schemat instalacji do plazmowej destrukcji odpadów zawierających PCB
(Z.Kołaciński, K.Cedzyńska, 1996)

Proces plazmowej utylizacji odpadów może być wykorzystywany, między innymi o destrukcji płynnych związków chloroorganicznych, w tym PCB, odpadów chemicznych, odpadów komunalnych, ciekłych odpadów organicznych. Destrukcja w plazmie może być połączona z konwencjonalnymi metodami utylizacji odpadów. Przykładem jest konwencjonalne spalanie odpadów komunalnych a następnie dopalanie wydzielonych gazów

spalinowych w reaktorze plazmowym (rysunek 74). Pozwala to na destrukcję ksenobiotyków z grupy chlorowanych węglowodorów w granicach poniżej ich wykrywalności analitycznymi metodami, czyli poniżej 10^{-10} g/m³.



Rysunek 77. Schemat instalacji do destrukcji odpadów komunalnych metodą konwencjonalną i plazmową (A.Huczko, J.Jurewicz, 1994)

Wybrane techniki plazmowej utylizacji niektórych substancji ilustruje tabela 39.

Tabela 39. Plazmowe techniki utylizacji wybranych substancji niebezpiecznych (A.Huczko, 1994)

Nazwa plazmy	Rodzaj procesu	Substancja utylizowana	Produkty utylizacji	Skala procesu
Plazma wodorowa	redukcja	odpady organiczne i chloroorganiczne	tlenek węgla, węglowodory, chlorowodór	laboratoryjna
Plazma wodorowa	redukcja	odpady chloroorganiczne	chlorowodór, acetylen, etylen	półtechniczna
Plazma powietrzna	piroliza	PCB	chlorowodór, tlenek węgla, dwutlenek węgla, woda	techniczna
Plazma powietrzna z para wodną	piroliza	odpady komunalne, zeszkliwianie popiołu	tlenek węgla, wodór	techniczna
Plazma wodna	konwersja	odpady chloroorganiczne	tlenek węgla, ditlenek węgla, woda	laboratoryjna
Plazma wodorowa	redukcja	odpady medyczne	wodór, tlenek węgla,	ćwierćtechniczna
Plazma termiczna	piroliza	dichloroetan, dichloropropan	chlorowodór, acetylen, etylen	modelowanie matematyczne

W Polsce istnieje wiele różnych technologii plazmowych i wykonanych na ich podstawie reaktorów plazmowych. Technologia ta jest jednak stosowana w zakresie naukowo-badawczym z uwagi na wysokie koszty technologiczno-konstrukcyjne. Składają się na nie takie czynniki, jak wysokie zużycie energii elektrycznej, znaczne zużycie materiałów konstrukcyjnych wysokiej jakości oraz konieczność wprowadzania automatyki procesu.

33. INNE – WYBRANE - METODY UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW

Technologie unieszkodliwiania odpadów są wciąż udoskonalane, unowocześniane i wciąż poszukuje się nowych rozwiązań. Wiele z tych metod wykorzystuje warunki naturalne środowiska przyrodniczego, ale wykorzystuje się również fizyczne, chemiczne i biologiczne procesy lub ich kombinacje. Szczególną uwagę przywiązuje się do technologii umożliwiających destrukcję substancji toksycznych, zawierających ksenobiotyki. Jednak wybór właściwej metody unieszkodliwiania odpadów poprzedzony być musi dokładną analizą stopnia zanieczyszczenia, rodzaju odpadów, czasu działania określonej metody, efektów ubocznych i możliwych do poniesienia kosztów.

Baseny. Baseny są zbiornikami budowanymi w podłożu naturalnym, odpowiednio uszczelnionym lub stanowią betonowe i stalowe zbiorniki, wyłożone materiałem izolacyjnym, nie reagującym z deponowanymi odpadami. Budowle te służą do przechowywania odpadów ciekłych, nie wydzielających par i gazów toksycznych. Ponieważ stanowią one budowle otwarte muszą być wyposażone w system odprowadzania nadmiaru wód nadosadowych, które kieruje się do oczyszczalni ścieków.

Boksy. Boksy należą do są otwartych zbiorników przeznaczonych do deponowania stałych odpadów (np. osadów ściekowych, odpadów niebezpiecznych). Zbiorniki wykonane być muszą z materiału nie ulegającemu oddziaływaniu substancji, którą przechowują. Ochroną przed zalewaniem wodami opadowymi są wiaty, stanowiące zadaszenie nad boksem (boksami).

Biotechnologia. Metoda wykorzystuje osiągnięcia inżynierii genetycznej do wyhodowania wyspecjalizowanych, wyselekcjonowanych szczepów mikroorganizmów, które służą do rozkładu specyficznych grup odpadów organicznych i nieorganicznych. Przykładem mogą być bakterie chemolitotroficzne, służące np. do wydobywania metali z ubogich pokładów rud, co ma zasadnicze znaczenie w związku z wyczerpywaniem się zasobów niektórych kopalni. Mikroorganizmy wykorzystuje się do oczyszczania ścieków w procesach tlenowych i beztlenowych do rozkładu odpadów stałych i ciekłych. Niektóre mikroorganizmy

posiadają materiał zapasowy w postaci polimeru poli- β -hydroksymaślan, który jest substancją wyjściową dla wielu tworzyw termoplastycznych. Dzięki tym bakteriom materiały te ulegają biodegradacji do postaci drobnego, białego proszku. Wspecjalizowane szczepy bakterii usuwają zanieczyszczenia ze środowiska przyrodniczego, rozkładając je na proste związki nieorganiczne, jak dwutlenek węgla i woda.

Selekcja mikroorganizmów ma na celu wybranie tych drobnoustrojów, dla których składniki pokarmowe zawarte w utylizowanym odpadzie stanowią optymalną materię pokarmową. Różnorodność mikroorganizmów świadczy o różnorodnym metabolizmie, jakie prowadzą. Dlatego też należy mieć na uwadze, że metody biologiczne mogą mieć często nieznaną, nieprzewidywalną a nawet niewymierzalną wpływ na środowisko naturalne. Zastosowanie biotechnologii do ściśle określonego zadania powinno więc być sprawdzone pod kątem jej skuteczności i niezawodności w środowisku.

Metody termociśnieniowe. W niektórych krajach europejskich funkcjonuje system pierwszej obróbki odpadów metodami termociśnieniowymi. Oparte są o metody ciśnieniowego odprowadzania wody, powodujące zmniejszenie objętości odpadów o 25% a nawet 50% masy pierwotnej (redukcja masy). Otrzymany surowiec, przypominający płyty paździerzowe jest bezzapachowy, łatwy w transporcie i układaniu z uwagi na regularne kształty. Wpływa na zwiększenie objętości strumienia odpadów, jaki może zostać zdeponowany na składowisku, tym samym zmniejszając o 25÷50% powierzchnię terenów zajmowanych pod te składowiska.

Mogilniki. Mogilniki są podziemnymi zbiornikami betonowymi, żelbetonowymi lub stalowymi ze szczelnym zamknięciem. Buduje się je z kręgów i wykorzystuje dla najgroźniejszych grup odpadów. W zależności od rodzaju zdeponowanych odpadów, wewnątrz mogilników wyłożone jest materiałem odpornym na chemiczne oddziaływanie złożonych substratów. Służą do zdeponowania (magazynowania) przeterminowanych odpadów niebezpiecznych.

Odwierty negatywne i poeksploatacyjne. Odpady toksyczne, które nie ulegają chemicznemu i bakteriologicznemu rozkładowi, nie nadają się do składowania, kompostowania i spalania, także wykorzystanie ich w przemyśle górniczym jest niemożliwe, mogą być izolowane od środowiska poprzez ich zdeponowanie w poeksploatacyjnych odwiertach, w wyeksploatowanych złożach ropy naftowej i gazu ziemnego, a także w negatywnych otworach wiertniczych. Otwory wiertniczo-poszukiwawcze charakteryzują się dobrym stanem technicznym, posiadają odpowiedni sprzęt wiertniczy, umożliwiając zatłaczanie odpadów oraz pozwalając na zastąpienie materiałów służących do ich likwidacji

odpadami przemysłowymi lub komunalnymi – stałymi, ciekłymi, w tym niebezpiecznymi. Metoda posiada istotny aspekt ekonomiczny, jakim jest wykorzystywanie przeznaczonych do likwidacji odwiertów poszukiwawczych, rozpoznawczych czy poeksploatacyjnych oraz aspekt społeczny, oparty na oszczędności miejsc pod kolejne składowiska, kompostownie czy spalarnie odpadów.

Zatłaczanie odpadów przemysłowych do otworów wiertniczych może być stosowane w przypadkach, gdy spełnione są kryteria dotyczące warunków technicznych, hydrogeologicznych, geologicznych i ochrony sanitarnej konkretnego otworu wiertniczego. Kryteria te odnoszą się do:

- prawidłowo wytypowanej struktury chłonnej,
- dobrego stanu technicznego otworu,
- uzbrojenia otworu w głowicę eksploatacyjną,
- niewielkich odległości transportowych od miejsca pobrania odpadów, po miejsce jego złożenia w otworze,
- usytuowania otworu w warunkach ograniczonego występowania warstw użytecznych,
- warunku powolnej migracji wód występujących w warstwach wodonośnych,
- konieczności występowania w profilu otworu naturalnych warstw nieprzepuszczalnych, izolujących horyzonty wodonośne, zwłaszcza wody słodkiej,
- charakteru występowania wód złożowych, szczególnie tych o niewielkim stopniu mineralizacji, co wpływa na zmniejszenie prawdopodobieństwa ich korozyjnego oddziaływania na płaszcz cementowy otworu i rury okładzinowe,
- złożę musi być stabilne sejsmicznie.

Uwzględniając powyższe kryteria, jakie musi spełnić otwór wiertniczy i jego otoczenie, należy zwrócić szczególną uwagę na rodzaj składowanych odpadów, konsystencję, sposób oddziaływania na środowisko, maksymalną neutralizację przed wtłoczeniem do otworu.

Z uwagi na różnorodny charakter odpadów istotne jest wydzielenie stref do ich składowania oraz odpowiedniej grubości poziomów izolujących. Wydzielenie izolujących poziomów magazynowych (tzw. interwałów) umożliwia składowanie w jednym otworze odpadów o odmiennych właściwościach fizyko-chemicznych.

Strefy magazynowe typuje się w oparciu o szczegółową analizę profilu geologicznego i projekt konstrukcji otworu. Strefy te oddziela się od siebie za pomocą korków uszczelniających, którymi są zaczyny cementowe lub chemiczne.

Odpady przeznaczone do zatłaczania do otworów wiertniczych powinny być dokładnie upłynnione. Upłynnianie odpadów ma na celu doprowadzenie ich do stanu, w którym uzyskają takie parametry reologiczne, że ułatwione będzie ich zatłaczanie do otworu oraz zapewnią utrzymanie odpadów w otworze. Przy niewłaściwie dobranych parametrach mogą się zdarzyć „ucieczki” upłynnionych odpadów poza strefę płaszczu cementowego i rur okładzinowych.

Upłynnianie odpadów polega na poddaniu ich obróbce chemicznej za pomocą upłynniaczy (np. lignosulfonianów lub dyspergatorów) i plastyfikatorów polepszających właściwości reologiczne oraz homogenizacji. Ze względu na dużą agresywność chemiczną substancji wchodzących w skład odpadów, w stosunku do metalu i zaczynu cementowego, do masy odpadowej dodaje się odpowiednich inhibitorów korozji.

Wybór technologii przygotowania odpadów do magazynowania w otworach wiertniczych powinien być każdorazowo uzależniony od ich składu fizyko-chemicznego i konsystencji.

Pokłady lub wysady solne. Wykorzystanie pokładów lub wysadów solnych do deponowania w nich odpadów wiąże się z własnościami fizyko-chemicznymi takiego złoża. Są to złoża, które charakteryzują się dużą miąższością pokładu, zwięzłością, jednorodnością i nieprzepuszczalnością. Znaczna miąższość pokładów umożliwia wykonanie w nich kawern (komór) o dużych objętościach. Do kawern mogą być zatłaczane odpady o znanych właściwościach fizyko-chemicznych, nie wchodzące w reakcje z substancją złożową. Technika wykonania komory polega na ługowaniu złoża solnego wodą przez otwory wiertnicze z powierzchni ziemi. Jest to więc stosunkowo prosta i łatwa do wykonania inwestycja. Aspekt ekonomiczny metody wiąże się z możliwością jednoczesnego wykorzystania gospodarczego otrzymanej solanki.

Przerabianie odpadów na paliwo modyfikowane. Metoda oparta jest na wstępnej segregacji odpadów, z których wydziela się „czystą” materię organiczną o wysokiej wartości opałowej. Wyselekcjonowany odpad organiczny jest suszony i prasowany z uformowaniem brył umożliwiających łatwe magazynowanie, a następnie spalanie.

Przewoźne urządzenia do spalania unieszkodliwiania odpadów. Metoda oparta jest o techniczne wykorzystanie urządzenia, które składa się z komór łączących w sobie proces: rozdrabniania odpadów, mieszania odpadów z substancją zestalającą, homogenizowania odpadów i ostateczne ich zestalanie. Cała konstrukcja stanowi przewoźne urządzenie, wyposażone w kółka, które pozwalają na jego ustawienie w dowolnym miejscu. Urządzenie ma rozmiary umożliwiające samochodowy transport do miejsc aktualnie wymagających

unieszkodliwienia odpadów. Przewoźny proces zestalania odpadów nie powoduje emisji pyłów, gazów ani ścieków.

Składowanie w górotworze (wyróbiska górnicze i zroby, nieczynne kopalnie i sztolnie). Niektóre odpady mogą być wykorzystane jako materiał do izolacji, konsolidacji i wypełniania wyrobisk górniczych, zrobów, nieczynnych i wyeksploatowanych kopalni oraz sztolni. Odpady mogą także służyć w górniczych zabezpieczeniach przeciwpożarowych do wykonywania podsadzek górniczych. Najczęściej deponowane są odpady przemysłowe, jak popioły, pyły i żużle, których hałdy zajmują na powierzchni ziemi ogromne obszary. Aby odpady mogły być składowane w górotworze, musi być wykonana ekspertyza geologiczna, hydrogeologiczna odnosząca się do konkretnego miejsca deponowania odpadów.

Porowate lub szczelinowate warstwy przepuszczalne, powinny być otoczone i ograniczone mocnymi kompleksami skalnymi warstw nieprzepuszczalnych, które izolują horyzonty wodonośne, zwłaszcza wody słodkiej. Miejsca te stanowią komorę do zatłaczania odpadów ciekłych i nietoksycznych. Złoże musi być stabilne sejsmicznie.

Deponowane odpady muszą być poddane badaniom pod kątem uciążliwości ekologicznej dla środowiska. Prowadzi się więc badania od strony ich właściwości fizykochemicznych łącznie z analizą możliwości zastosowania takiej metody do pozbywania się balastu. Analizuje się ich pH, zawartość siarczanów i chlorków, ilość substancji rozpuszczalnych, ilość rozpuszczalnych substancji mineralnych, w tym oznacza się metale ciężkie jak: Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn.

W przypadkach, w których odpad (popiół) ma posłużyć jako materiał do podsadzki hydraulicznej w przemyśle górniczym, parametrem, który decyduje o dopuszczalności do stosowania jest poziom jego radioaktywności. Wyznacznikami dopuszczalności do składowania są radionuklidy ^{226}Ra i ^{228}Ra , dla których graniczne wartości stężeń wynoszą 350 Bq/kg (^{226}Ra) i 230 Bq/kg (^{228}Ra).

Stopień bezpieczeństwa dla środowiska metody składowania odpadów we wnętrzu ziemi wynika z:

- dużego stopnia szczelności zbiornika magazynowego,
- stosunku powierzchni przekroju poprzecznego zgromadzonego odpadu do powierzchni przekroju poprzecznego udostępnionych warstw, który jest bardzo mały,
- sposobu wprowadzania odpadów do wnętrza kopalni, wyróbiska, sztolni.

Zaletą metody jest aspekt ekonomiczny, który w najbardziej optymalny sposób pozwala na likwidację antropogenicznych deformacji wnętrza ziemi. Aspekt społeczny jest równie ważny, bowiem z jednoczesnym pozbywaniem się odpadów przemysłowych

gromadzonych na powierzchni ziemi, obszary przez nie zajmowane oddane zostają do użytku społecznego.

Spalanie odpadów na morzu. Metoda spalania odpadów na statkach morskich lub oceanicznych stosowana jest z uwagi na założenie, że wydobywająca się z komina smuga dymu nie wymaga oczyszczania, gdyż reagując z wodą morską ulega samooczyszczeniu.

Sterylizacja w strumieniu gorącej pary wodnej. Metoda oparta jest na termicznej destrukcji zanieczyszczeń niebezpiecznych. Instalacja do sterylizacji zamontowana może być na urządzeniu przewoźnym. Składa się z komory, do której wprowadza się skażone odpady, a następnie strumień gorącej pary wodnej, o temperaturze około 450⁰C. Odpady i para wodna spotykają się w przeciwnym kierunku, co daje dużą efektywność separowania i usuwania zanieczyszczeń, jak VOC, SVOC, PCB, pestycydy, fungicydy i inne lotne substancje organiczne. Zawarte w odpadach połączenia nietlotne mogą być zestalane metodą ich cementacji.

Sterylizacja sonolityczna. Metoda polega na nasycaniu odpadów specjalnym rozpuszczalnikiem, a następnie poddawaniu ich działaniu ultradźwięków. Zawarte zanieczyszczenia ulegają rozpadowi do nietoksycznych połączeń. W metodzie tej nie występuje emisja gazów odlotowych. Następuje rozkład takich substancji jak PCB, PCP, PCDD i PCDF, pestycydów, herbicydów, węglowodorów chlorowanych i innych związków zawierających w cząsteczce chlor.

Zatapianie w morzu. Metoda zatapiania odpadów w morzu polega na ich magazynowaniu w szczelnych pojemnikach, które deponowane są na dnie mórz i oceanów. W ten sposób w latach 1986/87 zatopiono w morzu 579 000 ton odpadów (z czego 50% stanowiły odpady niebezpieczne) pochodzących z Anglii i Walii. Metoda bardzo niebezpieczna dla flory i fauny morskiej, jeśli nie obecnie to z upływem czasu. Okazać się może bombą ekologiczną dla świata morskiego niezwykle trudną do destrukcji, choćby z uwagi na konieczność pokonania znacznych głębokości morskich, w celu wydobywania z dna zatopionego materiału. Materiału, który wycieka z już uszkodzonego zbiornika magazynowego. Aktualnie sposób ten został zabroniony.

Zestalanie zanieczyszczeń. Metoda oparta jest na chemicznej destrukcji odpadów stałych, ciekłych, szlamów i osadów, poprzez ich wymieszanie z cementem lub lotnymi pyłami, wodą i substancją chemiczną (np. chloranem). Pod wpływem substancji chemicznych atomy chloru ze związków chloroorganicznych są wymieniane na atomy wodoru, a metale ciężkie są wiązane, tworząc nierozpuszczalne połączenia chemiczne. Całość immobilizowana jest w masie cementowej. Gdy mieszanina zaczyna tężeć, można z niej formować bryły o

różnych kształtach, które ułatwiają dalsze wykorzystanie lub składowanie. Metoda ta pozwala na destrukcję odpadów bezpośrednio na terenie składowiska odpadów lub na terenie spalarni.

OCHRONA ŚRODOWISKA W ZAKŁADACH ZAGOSPODAROWYWANIA ODPADÓW

34. CIEKŁE ODPADY KOMUNALNE

Mówiąc o odpadach nie można pominąć problemu ciekłych odpadów komunalnych, czyli ścieków. Stanowią one mieszaninę ścieków bytowo-gospodarczych, ścieków przemysłowych oraz ścieków opadowych. Stąd mają bardzo zróżnicowany skład fizyczno-chemiczny, biologiczny i bakteriologiczny, który często wywiera szkodliwy wpływ na środowisko przyrodnicze. Skład i ilość odprowadzanych ścieków zależy od wielu czynników środowiska, do których należą między innymi: stopień uprzemysłowienia miast i wsi, rodzaj produkcji gospodarczo-przemysłowej, ilość zużywanej wody, stopień skanalizowania jednostek osiedleńczych, wyposażenie w urządzenia sanitarne, pora roku, urządzenia i środki do oczyszczania ścieków oraz wiele innych.

Ciekłe odpady komunalne tworzą układ wielofazowy, składający się z substancji rozpuszczalnych w wodzie i zawiesin (substancji nierozpuszczalnych). Zawierają *substancje organiczne*, jak białka, węglowodany, tłuszcze, oleje, żywice, barwniki, fenole, produkty naftowe, detergenty, pestycydy i wiele innych związków. Do *zanieczyszczeń mineralnych* należą metale ciężkie, jak Pb, Cu, Hg, Zn, Cd, Cr, chlor wodny, siarkowodór, siarczany, chlorki, azotany, związki aminowe, fosforany, glina, kreda i również wiele innych związków.

Ścieki bytowo-gospodarcze są to ciekłe odpady płynne pochodzące z indywidualnych gospodarstw domowych, z obiektów użyteczności publicznej, zakładów pracy, które wykorzystują wodę do celów sanitarno-higienicznych, wody pochodzące z prania, mycia pomieszczeń, przygotowywania posiłków, spłukiwania urządzeń sanitarnych itp.

Ścieki przemysłowe są to ciekłe odpady płynne, powstające w czasie procesów technologicznych różnych gałęzi przemysłu, rzemiosła i usług. Do tej grupy należą także słone wody kopalniane pochodzące z odwadniania kopalń, a także wody chłodnicze z procesów technologicznych. Skład ich i charakter są bardzo zróżnicowane. Ilość ścieków powstających w danym procesie technologicznym waha się w szerokich granicach, w zależności od ilości zużywanej wody przypadającej na jednostkę surowca lub jednostkę

produktu. Do wyjątkowo uciążliwych należą ścieki z koksowni, petrochemiczne, garbarskie, z produkcji celulozy i inne.

Ścieki opadowe są to ciekłe odpady płynne powstające podczas opadów atmosferycznych, jako spływy powierzchniowe (z ulic, dachów, zieleńców, terenów zabudowanych itp.), które są kierowane do sieci kanalizacyjnej.

Część odpadów komunalnych kierowana jest bezpośrednio siecią kanalizacyjną do oczyszczalni ścieków lub jest tam dowożona wozami asenizacyjnymi. Pozostała część, z uwagi na zbyt duże obciążenie zanieczyszczeniami, a tym samym duży koszt oczyszczania lub ze względu na brak sieci kanalizacyjnej czy też ze względu na zbyt dużą odległość do oczyszczalni ścieków, kierowana jest na *wylewiska odpadów komunalnych*. W ten sposób w 1999 roku na wylewiskach zdeponowano około 15 hm³ ciekłych odpadów komunalnych, ale jest to o około 11,6% mniej niż w roku 1990. Metoda ta jest wyjątkowo niekorzystna i uciążliwa dla środowiska naturalnego, dlatego należy dążyć do jej całkowitej likwidacji. Obecnie traktowane są jako magazyn przed ostatecznym zagospodarowaniem.

Ciekłe odpady komunalne mogą stanowić czynnik nawozowy dla niektórych rodzajów gleb. Są to na przykład gleby użytkowania rolniczego lub gleby rekultywacyjne terenów przejściowych lub terenów suchogruntowych.

Tereny przejściowe stanowią obszary zdegradowane antropogenicznie. Mogą to być tereny powierzchniowe i wgłębne, przemysłowe i pokopalniane, w zależności od prowadzonej działalności przemysłowo-gospodarczej. *Tereny suchogruntowe* są to obszary ubogie w opady atmosferyczne, o glebach ubogich w składniki pokarmowe. Ciekłe odpady stosuje się w ilości zapewniającej odpowiednie nawilżenie gruntu, w ciągu całego okresu wegetacyjnego roślinności.

Użyźnianie gruntów zdegradowanych metodą wylewania ciekłych odpadów oparte jest o wykonanie specjalnych kwater na odcieki. Kwatery rozmieszcza się równomiernie po obu stronach drogi dojazdowej. Droga dojazdowa wyniesiona jest ponad powierzchnię terenu około 1,5 m. Kwatery wykonuje się o powierzchni około 50 x 100 m (5 arów) i jednokierunkowym spadku wynoszącym około 0,5% dla gruntów spoistych i około 1% dla gruntów sypkich, od strony drogi dojazdowej. Spadek terenu umożliwia dokładne, samoistne rozprowadzenie ciekłych odpadów po całej powierzchni kwatery. Wokół każdej kwatery wykonuje się groble o wysokości około 0,3÷0,5 m. Droga dojazdowa stanowi jednocześnie groblę dla jednej strony kwatery. Kwatery wypełnia się w całości płynnymi ściekami, w ilości nie większej niż 3 x 0,15 m powierzchni (około 0,45 m). Przy takim nawodnieniu okres zalegania odpadów ciekłych wynosi około 20 dni. Gdy grunt wchłonie wodę kwaterę z

odwodnionym osadem zaorywuje się na głębokość około $0,25 \div 0,3$ m. Zaoraną powierzchnię gruntów wskazane jest obsiać roślinnością, szczególnie gdy jest to okres wiosny lub lata. Roślinność wykorzystuje składniki pokarmowe, wiąże metale ciężkie i pierwiastki śladowe, a mikroorganizmy zawarte w ściekach tworzą wokół korzeni roślin ochronną powłokę. Jednocześnie stanowią one przyszlą ściółkę.

Jeżeli ciekłe odpady wykorzystuje się do użyźniania gruntu już obsadzonego roślinnością, wówczas wokół takiego terenu wykonuje się rowy nawadniające. Rowy wypełnia się odpadami płynnymi, w ilości około $0,3 \div 0,5$ m na powierzchnię gruntu. Po odsączeniu wody, otrzymany osad miesza się z warstwą rodzimej gleby do głębokości około $0,20$ m poniżej powierzchni terenu. Wierzchnią warstwę, która równa rowy z terenem, stanowi rodzima gleba. Optymalne wymiary rowów to około: $0,6 \div 1,0$ m głębokości i $0,80 \div 1,50$ m szerokości. Czas przesiąkania wody w głąb gruntu wynosi około kilkunastu dni. Proponuje się aby na terenach suchogruntowych suma rocznych dawek ciekłych odpadów nie przekraczała ilości $3 \times 0,10 \div 0,20$ m na powierzchnię gruntu, czyli około $3 \div 6$ tys. m^3/ha rocznie. Początkowe, optymalne dawki dla gruntów piaskowych to około $4 \times 0,05 \div 0,10$ m, zaś dla gruntów słabo przepuszczalnych to około $3 \times 0,05 \div 0,10$ m.

Odprowadzone do gruntu ciekłe odpady komunalne ulegają samooczyszczeniu podczas przesiąkania przez strefę aeracji, a następnie przez strefę saturacji. Jednak jak wcześniej wspomniano, nie wszystkie tego typu odpady nadają się do wprowadzania w grunt. Nie mogą to być odpady ciekłe, które zawierają ponad normatywne ilości stężeń metali ciężkich, substancji toksycznych, substancji węglowodorowych czy zawierających rozpuszczone farmaceutyki. Spełniając ściśle określone warunki, do gruntu mogą być wprowadzone ścieki, których w inny sposób nie można wykorzystać. Są to:

- ścieki bytowo-gospodarcze,
- ścieki przemysłu rolniczego, jak gnojowica,
- biologiczne ścieki przemysłowe pozbawione mikroorganizmów chorobotwórczych,
- upłynnione osady ściekowe z komunalnych oczyszczalni ścieków i oczyszczalni biologicznych.

Ilość wprowadzanej do gruntu porcji odpadów ciekłych powinna być każdorazowo dobierana indywidualnie dla określonego rodzaju gleby.

35. STREFA OGRANICZONEGO UŻYTKOWANIA

Bez względu na sposób postępowania prowadzący do unieszkodliwienia strumienia odpadów, każdy zakład gospodarujący odpadami jest obiektem uciążliwym dla naturalnego

środowiska. Do uciążliwości środowiska naturalnego należą wszelkie jego zanieczyszczenia oraz hałas. W celu minimalizacji tej uciążliwości tworzy się strefy ograniczonego użytkowania (strefy ochrony sanitarnej). Strefa ta stanowi niezbędny element ochrony sanitarnej składowiska odpadów. Zakłada się ją dla wszystkich składowisk o eksploatacji powyżej 5 lat. Zadaniem jej jest zmniejszenie do minimum szkodliwego wpływu składowiska na otoczenie. Ma chronić tereny otaczające składowisko przed skażeniem gleby, wód powierzchniowych i podziemnych drobnoustrojami chorobotwórczymi, jajami pasożytów, zaś powietrze atmosferyczne przed roznoszeniem się nieprzyjemnych zapachów, jakie powstają w okresie rozkładu części organicznych odpadów. Otoczenie składowiska ma chronić przed pyleniem i rozwiewaniem śmieci, tworzeniem aerozoli, oddziaływaniem zwierząt, powstawaniem pożarów.

Strefa ograniczonego użytkowania (strefa ochronna) jest wydzielonym wokół źródła uciążliwości dla środowiska terenem, odpowiednio zagospodarowanym i zabezpieczonym (rysunek 78). **Wielkość** wydzielonego terenu zależy od zasięgu dopuszczalnych stężeń i natężeń substancji szkodliwych w powietrzu atmosferycznym, otaczającym źródło ich emisji. **Granica** strefy ograniczonego użytkowania pokrywa się z linią oddzielającą obszar dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych, zawartych w powietrzu atmosferycznym, od obszaru przekraczającego te wartości.

W zależności od rodzaju i źródła zanieczyszczeń szerokość strefy ochronnej przyjmuje się w granicach 50÷1000 m. Jej wielkość i granice, czyli zasięg wokół źródła uciążliwości, określić można na podstawie:

1. obliczeń wielkości i zasięgu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz hałasu,
2. pomiarów i badań zasięgu oraz wielkości szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń i hałasu na obszarach otaczających.

W przypadku, gdy na tej podstawie nie można ustalić szerokości strefy ograniczonego użytkowania ustala się ją na podstawie orientacyjnych wskaźników. Podstawowym wskaźnikiem jest powierzchnia składowiska. Przyjmuje się dla składowisk:

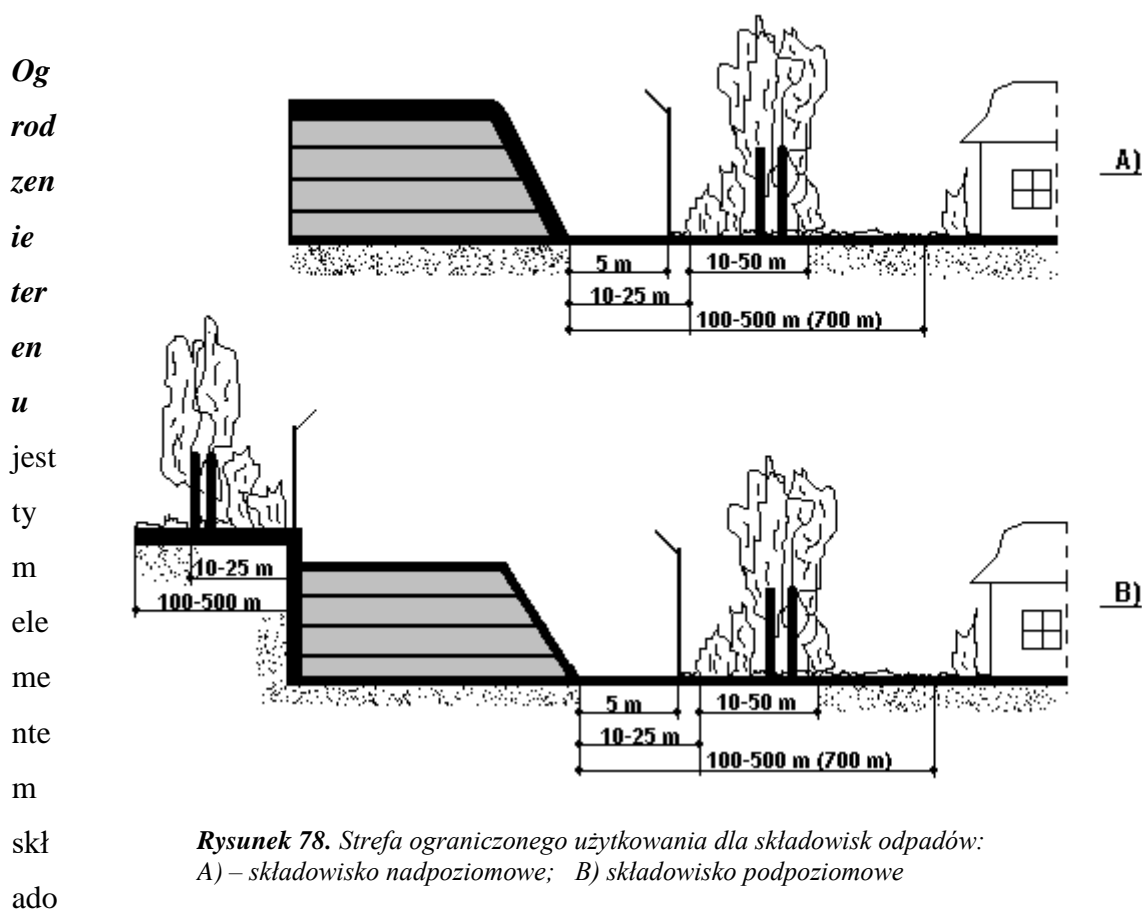
- **bardzo dużych**, czyli powyżej 10 ha i dużych, o powierzchni w granicach 5÷10 ha, szerokość strefy ochronnej – **500 m**;
- **średnich**, o powierzchni w granicach 1÷5 ha, szerokość strefy ochronnej – **300 m**;
- **małych**, o powierzchni w granicach 0,5÷1,0 ha, szerokość strefy ochronnej – **200 m**;
- **bardzo małych**, o powierzchni do 0,5 ha, szerokość strefy ochronnej – **100 m**.

Dla składowisk uporządkowanych, znajdujących się na otwartej przestrzeni szerokość strefy ochronnej przyjmuje się najczęściej w granicach **500÷700 m**.

Kolejnym ważnym wskaźnikiem, na którego podstawie określa się wielkość, czyli szerokość i zasięg strefy ochronnej jest miejsce jego lokalizacji, czyli topografia terenu. Teren silnie urzeźbiony, zagłębiony i otoczony naturalnymi pasami zieleni wymaga strefy ochronnej o mniejszej szerokości niż teren płaski, otwarty na otoczenie i ubogi w naturalne rzeźby architektoniczne. Ponadto ważnymi czynnikami wpływającymi na wielkość strefy ochronnej są: technologia układania odpadów, rozległość terenu i największe zagłębienia, ukształtowanie otoczenia składowiska, naturalne strefy ochronne, rodzaj i ilość sprzętu pracującego na składowisku.

Strefa ochronna aby spełniała należycie swoje zadanie powinna posiadać takie podstawowe elementy jak:

1. ogrodzenie terenu,
2. pas izolacyjnej zieleni niskiej,
3. pas izolacyjnej zieleni wysokiej,
4. pas neutralizacyjny.



zatrzymuje rozwiewane przez wiatr śmieci. Wykonuje się go z siatki stalowej lub z elementów żelbetowych. Wysokość ogrodzenia powinna wynosić co najmniej 2 m, z jednometrową nadbudową z drutu kolczastego, pochyloną w kierunku składowiska. Odległość ogrodzenia od krawędzi składowiska powinna wynosić co najmniej 5 m.

Pas zieleni izolacyjnej pełni rolę naturalnego filtra biologicznego dla otoczenia zewnętrznego. Zatrzymuje, rozrzedza i wytrąca ulatujące i roznoszone przez wiatr zanieczyszczenia chemiczne i bakteriologiczne, jak pyły, gazy, odory, metale ciężkie, wirusy i bakterie. Prawidłowo zaprojektowana funkcjonalnie i architektonicznie zieleń w sposób zamierzony kieruje masy powietrza tak, aby stężenia zanieczyszczeń szybko malały w przestrzeni. Pas zieleni niskiej tworzą krzewy i drzewa niskopienne, natomiast pas zieleni wysokiej tworzą krzewy i drzewa wysokopienne (drzewa liściaste, iglaste, krzewy, trawy, rośliny motylkowe itp.). Najbardziej optymalny układ to wybór różnorodnych gatunków liściastych i iglastych, które tworzą specyficzny mikroklimat w zależności od pory roku.

Naturalnie ukształtowane obszary leśne, których krawędzie przylegają bezpośrednio do terenu składowiska, stanowią już ukształtowaną naturalną barierę ochronną. Natomiast jeśli las jest nieco oddalony od terenu składowiska wówczas tworzy się strefę ochronną od strony lasu szerokości w granicach 10÷25 m.

Szerokość pasa zieleni izolacyjnej zależy od wielkości składowiska i przyjmuje się:

- dla składowisk **bardzo dużych**, w granicach **35÷50 m**,
- dla składowisk **dużych**, w granicach **25-35 m**,
- dla składowisk **średnich**, w granicach **20÷25 m**,
- dla składowisk **małych** w granicach **15÷20 m**,
- składowisk **bardzo małych**, w granicach **10÷15 m**.

Składowiska, które są eksploatowane w okresie nie przekraczającym 5 lat nie muszą posiadać pasa zieleni izolacyjnej. Jednak powinny posiadać ogrodzenie, które wskazane jest obsadzić pnączami tworzącymi zwarty system gałęzi, zdolnych do zatrzymywania zanieczyszczeń rozwiewanych wokół terenu składowiska.

Pas neutralizacyjny stanowi strefę obojętną, jak powstaje po zewnętrznej stronie pasa zieleni izolacyjnej, pomiędzy składowiskiem odpadów a środowiskiem życia człowieka. Pas neutralizacyjny wzbogacony jest mikroklimatem pochodzącym ze strony izolacyjnego pasa zieleni mieszanej.

Oprócz wymienionych zabezpieczeń w obrębie strefy ochronnej można wykonywać zabezpieczenia techniczne w formie rowów odprowadzających wody opadowe, rowów wypełnionych wodą i porastanych roślinnością, także wały ochronne i bariery ekranowe.

Forma wykonanych zabezpieczeń zależy od stopnia uciążliwości określonego źródła, który zależy nie tylko od charakteru składowiska ale także od położenia geograficznego, warunków hydrogeologicznych i geologicznych terenu, jego klimatu, ilości i natężenia opadów atmosferycznych, kierunku wiatrów, temperatury w różnych porach roku, stopnia dostosowania źródła do wymogów ekologicznych i technicznych.

W przypadku składowisk odpadów innych niż komunalne, konieczność utworzenia pasa zieleni i pasa neutralizującego, jego szerokość i usytuowanie uzależniona jest od uciążliwości i lokalizacji składowiska.

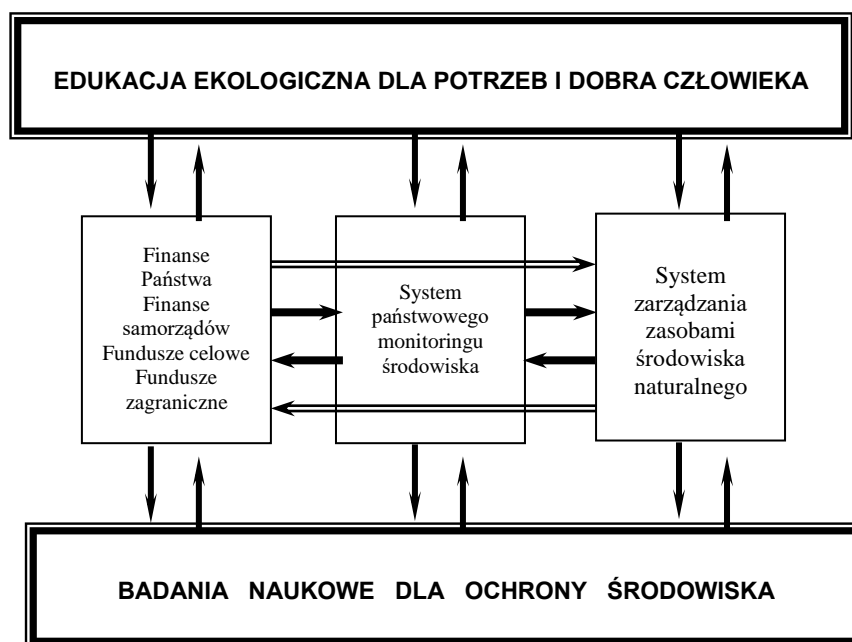
36. MONITOROWANIE ŚRODOWISKA

Źródłami substancji szkodliwych mogą być albo odosobnione źródła punktowe, albo źródła rozciągłe (nie punktowe). Substancje szkodliwe emitowane przez źródło ulegają w środowisku rozproszeniu w powietrzu (np. dym, CH₄, SO_x, NO_x, i PbClBr), wodzie (np. ścieki przemysłowe, pestycydy, fenole, wycieki z odpadów zakopanych, NO₃⁻) i w glebie (np. metale ciężkie, PCB, PCDD, PCDF). W przypadku źródeł punktowych, oprócz emisji z kominów lub instalacji ściekowej, może wystąpić emisja będąca skutkiem wycieku z układów zamkniętych. Aby w sposób maksymalny zapobiec niekontrolowanej emisji i imisji substancji szkodliwej do środowiska przygotowuje się specjalne programy jego ochrony.

Opracowanie i realizacja programów ochrony środowiska wymaga dokładnej znajomości analizowanego środowiska, czyli jakie było w przeszłości, jakie jest obecnie i jakie to środowisko ma być w przyszłości. Analiza musi określać przyczyny zmian środowiska oraz możliwe skutki podejmowanych inwestycji. Funkcję „kontrolera” środowiska, skuteczności i efektywności realizowanych programów ochrony środowiska, pełni „państwowy monitoring środowiska” (PMŚ). Podstawy prawne funkcjonowania Państwowego Monitoringu Środowiska stworzyła, uchwalona przez Sejm, ustawa z 20 lipca 1991 roku (Dz.U. Nr 77, poz.335) o Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. Na mocy ustawy koordynatorem systemu państwowego monitoringu ochrony środowiska został Główny Inspektor Ochrony Środowiska.

Monitoring środowiska, zgodnie z ustawą stanowi system pomiarów, analiz, ocen i prognoz dotyczący aktualnej jakości i stanu środowiska naturalnego. Porównanie otrzymanych wyników ze stanem środowiska z lat ubiegłych, wyciągnięcie wniosków oraz podjęcie niezbędnych kroków w przypadku stwierdzenia zagrożenia dla środowiska w czasie przyszłym. Monitoring może być realizowany przez jednostki organów administracji rządowej, państwowej od szczebla krajowego, po szczebel wojewódzki i gminny, przez

podmioty gospodarcze i szkoły wyższe. Umieszczenie PMŚ w gospodarce narodowej oraz wzajemne powiązania z gospodarczymi podmiotami ilustruje rysunek 79



Rysunek 79. Schemat blokowy powiązań Państwowego Monitoringu Środowiska z jego społeczno-gospodarczym otoczeniem

Podstawowym celem Państwowego Monitoringu Środowiska jest zwiększenie skuteczności działań na rzecz ochrony środowiska poprzez zbieranie, analizowanie i udostępnianie danych dotyczących stanu środowiska i zmian w nim zachodzących. Wyznaczony cel ten może być osiągnięty poprzez wypełnianie przez PMŚ zadań, do których należy zbieranie informacji o:

- aktualnym stanie i stopniu zanieczyszczeń poszczególnych komponentów środowiska, ich ilości oraz źródeł emisji i rozkładu przestrzennego,
- wpływu tych substancji na ludzi, uprawy, inwentarz, ekosystemy i konstrukcje,
- wszystkich przyczyn wzrostu stężenia tych substancji w czasie,
- do jakiego stopnia emisja, stężenie, wpływ na otoczenie i zachowanie się substancji szkodliwych mogą być modyfikowane, jakimi sposobami i jakim kosztem,
- podstawowych stężeń substancji szkodliwych w celu porównania z danymi pochodzącymi z innych obszarów oraz z danego obszaru po rozpoczęciu procesu skażenia,

- wymagań dla kontroli prawnej emisji substancji szkodliwych i zapewnienia wypełnienia obowiązujących przepisów,
- procedur awaryjnych w obszarach wysokiego ryzyka (np. awarie w zakładach chemicznych lub niebezpieczne gromadzenie się substancji szkodliwych w wyniku ruchu drogowego),
- przydatności zasobów wodnych i gruntów do różnych celów użytkowych,
- ładunkach zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska,
- dynamice antropogenicznych przemian środowiska przyrodniczego,
- przewidywanych skutkach użytkowania środowiska.

Do wymienionych zadań i informacji im służących należy dodać jeszcze jedno podstawowe zadanie PMŚ, jakim jest *obowiązek informowania społeczeństwa o zagrożeniach ekologicznych występujących (lub mogących wystąpić) w skali lokalnej, krajowej i globalnej*.

Uzyskane informacje są wykorzystywane do wypracowania decyzji o wyborze najlepszej (optymalnej) strategii rozwoju gospodarczego i przestrzennego zarówno w skali kraju, jak i poszczególnych jego regionów.

Monitorowanie może dotyczyć:

1. **Źródeł**, czyli badanie natury i szybkości emisji substancji szkodliwych do atmosfery, wody lub gleby.
2. **Mechanizmów transportu**, czyli stężenia substancji szkodliwych, odległości, na jakie są przenoszone oraz czy ulegają przemianom fizyko-chemicznym.
3. **Celów**, czyli ilości i wyszczególnienia rodzajów substancji szkodliwych, jakie docierają do poszczególnych celów (ludzi, zwierząt, roślin, ekosystemów lub konstrukcji).

Niezbędnym warunkiem wspomagania procesów zarządzania ochroną środowiska przez system PMŚ jest jego wiarygodność, która zwiększa użyteczność programu. W tym celu, aby można było uzyskać potrzebne informacje, monitorowanie i kontrola środowiska muszą być poprzedzone planowaniem wstępnym i wstępnym badaniem monitorowanych obszarów. Zapewnienia to gwarancję wysokiej jakości uzyskiwanych danych. Najbardziej wiarygodne dane uzyskuje się na podstawie wyboru najbardziej ekonomicznej procedury pobierania próbek do analiz ze ściśle określonych miejsc. Wszelkie metody analityczne stosowane do oznaczania nieorganicznych i organicznych substancji szkodliwych wymagają szczegółowego określenia zasady pobierania próbek do analizy. Wynika to z faktu, że niezależnie od dokładności i precyzji stosowanej metody, wyniki pomiarów mogą być pozbawione znaczenia, jeżeli analizie poddano niewłaściwie przygotowane próbki. Z tego względu, w celu zapewnienia najbardziej ekonomicznej procedury pobierania próbek należy

- monitoring gleby,
- monitoring roślinności.

Analizę prowadzi się w oparciu o szczegółowo wypracowany system poboru próbek do badań analitycznych i miejsc ich pobrania oraz na podstawie ściśle opracowanej strategii pomiarów, badań, ocen i prognoz (np. in situ lub in vitro). Pobieranie i przygotowywanie próbek do badań a następnie przebieg badań i dokonywanie oceny powinno być prowadzone w sposób odpowiedzialny, konsekwentny i dokładny. Czynniki te decydują bowiem o zachowaniu równowagi środowiskowej w okresie obecnym i w przyszłości. Przykład monitoringu zanieczyszczeń w rejonie typowego składowiska odpadów ilustruje tabela 40.

Tabela 40. Monitoring zanieczyszczeń w rejonie wysypiska Davamyran (Szwecja).

Punkty poboru prób	Częstotliwość poboru prób	Parametry badane
Staw na odcieki	2 razy w roku	barwa, pH, zawiesiny, tlen, BZT ₇ ^{*)} , chlorki, Fe, Zn, Pb, Cr, Al., Cu, Ni, As, Cd, Hg, N _{org} , P _{org} , bakterie Coli 35 ⁰ C, Coli 44 ⁰ C, węgiel organiczny.
Staw na odcieki	1 raz w roku	cyjanki, halogeny organiczne, PCB, tłuszcze.
Woda gruntowa	2 razy w roku	barwa, pH, przewodnictwo, zawiesiny, tlen, BZT ₇ , Cu, Ni, Al., Cr, As, Pb, Cd, Hg, Ca+Mg, SO ₄ ²⁻ , N _{org} , chlorki, węgiel organiczny.
Woda powierzchniowa		barwa, pH, przewodnictwo, zawiesiny, tlen, BZT ₇ , Cu, Ni, Zn, SO ₄ ²⁻ , N _{org} , P _{org} , węgiel organiczny.
Studnie gospodarcze	1 raz w roku	Hg, Cd, Pb.
Woda gruntowa	2 razy w roku	poziom wód gruntowych

**) W Szwecji coraz częściej wykonuje się oznaczenie BZT₇'.*

Szczegółowe informacje dotyczą:

- pochodzenia pobranych próbek odpadów, które może być naturalne, antropogenne lub mieszane,
- metod pobrania próbek i miejsc,
- struktury ilościowo-jakościowej próbek odpadów począwszy od ich wytwórcy, poprzez przemieszczanie, gospodarcze wykorzystanie, unieszkodliwianie tego, co nie da się w inny sposób zagospodarować,
- aktualnego stanu zakładu utylizacji (kompostowni, spalarni, składowiska), czyli całe jego otoczenie łącznie z systemem wychwytywania i oczyszczania odcieków, biogazu i gazów spalinowych,
- wydajności pracy oczyszczalni wód, instalacji do oczyszczania gazów spalinowych i odlotowych,
- aktualnego stężenia zanieczyszczeń w glebie, wodach podziemnych i powierzchniowych oraz w powietrzu atmosferycznym,

- wielkości i rodzaju ładunku zanieczyszczeń migrujących do środowiska glebowego i atmosferycznego,
- źródeł emisji tych zanieczyszczeń,
- dynamiki przemian zachodzących pod ich wpływem.

Monitorowanie powietrza atmosferycznego ma na celu uzyskanie informacji na temat chemicznych przemian kompostowanej, spalanej czy składowanej substancji, stopnia rozpraszania przez wiatr wydzielających się gazów i pyłów, a także na temat obecności w powietrzu areozoli, lotnych związków organicznych i nielotnych składników zawartych w przetwarzanych odpadach. Próbki do analizy uzyskuje się z powietrza bezpośrednio nad terenem składowiska i ze znanej jego powierzchni. W przypadku kompostowni lub spalarni próbki powietrza pobiera się z nad komina emitującego gazy i pyły lub pobiera się próbki emitowanych substancji bezpośrednio z wyrzucanego strumienia gazów i pyłów (wymaga to wprowadzenia próbника do wnętrza komina). Próbki pobiera się ze ściśle ustaloną prędkością przepływu powietrza nad lub we wnętrzu komina i w ściśle określonym przedziale czasowym. Niezależnie od tych pomiarów monitoruje się stężenie gazów i pyłów w powietrzu w sąsiedztwie zakładu utylizacji i w dalszym jego otoczeniu. Analiza taka wymaga określenia wahań kierunku wiatrów oraz zorientowania miejsc poboru próbek względem stron świata. Analizę dokonuje się poprzez porównanie powietrza nieskażonego z powietrzem skażonym. Do analizy pobiera się także próbki gazów zawartych w glebie.

Monitorowanie gleby ma na celu stwierdzenie, czy jakieś substancje toksyczne występują w stężeniu mogącym negatywnie wpłynąć na środowisko naturalne. Próbki gleby pobiera się losowo, z różnych głębokości aż do poziomu nienaruszonej gleby. Często jest to kilka warstw gruntu zalegających na głębokości do kilku metrów przez co uzyskuje się wiele różnych próbek. W przypadku rolniczego wykorzystywania gleb otaczających monitorowane źródło stosuje się zasady:

- w celu stwierdzenia obecności substancji szkodliwych opadających z atmosfery próbki pobiera się z cienkiej warstwy powierzchniowej gleby o miąższości w granicach 0÷2,5 lub 5 cm;
- w celu stwierdzenia substancji szkodliwych wprowadzanych z osadami ściekowymi, ściekami itp. próbki pobiera się z warstw o miąższości w granicach 0÷10 lub 15 cm oraz z warstw gleby położonych poniżej poziomu gruntu w granicach 15÷30 cm i 30÷45 cm.

Gleby o znacznym zróżnicowaniu lokalnym wymagają pobrania próbki kompozytowej składającej się z około 25 odwiertów wykonanych na obszarze 5 ha. Rdzenie glebowe pobiera

się na linii w kształcie litery „W”. W przypadku występowaniem gleb charakteryzujących się zróżnicowaniem pod względem wilgotnościowym, barwy i miąższości warstw próbki do badan pobiera się odrębnie dla każdej warstwy.

Gleby ogrodowe i działkowe wymagają innej techniki pobierania próbek. Rdzenie glebowe w ilości około 5 sztuk, z losowo wybranych miejsc, pobiera się z głębokości w granicach 0÷15 i 15÷30 cm.

Monitorowanie wód gruntowych prowadzi się z zachowaniem zasady ścisłego odzwierciedlania stanu wód powierzchniowych, gruntowych i podziemnych w chwili pobrania i w ściśle określonym miejscu ich poboru. W tym celu wykonuje się odwierty, a otwory zabezpiecza się przed przesiąkaniem skażeń powierzchniowych (piezometry).

Monitorowanie roślin polega na pobieraniu próbek z tej samej tkanki i miejsca rośliny, na tej samej wysokości nad ziemią. Próbkę pobiera się z roślin tego samego gatunku i będących w tym samym stadium rozwojowym. Celem badania jest oznaczenie obecności substancji szkodliwych w glebie, które przyswajane przez rośliny biorą udział w łańcuchu pokarmowym. Próbka musi być pobierana w sposób, który uniemożliwia jej wtórne skażenie substancjami zawartymi w powietrzu atmosferycznym i w wodzie (przez wtórne skażenie roślin wynik analizy może zostać zniekształcony).

Na podstawie przeprowadzonego monitoringu gospodarowania odpadami można podjąć właściwą politykę w tym zakresie, tak na szczeblu lokalnym, regionalnym, jak i krajowym. Monitoring ułatwia przede wszystkim:

- kształtowanie i administrowanie polityki ekologicznej na każdym jej szczeblu,
- opracowywanie programów gospodarki odpadami,
- opracowywanie priorytetowych działań inwestycyjnych,
- realizację zadań wynikających ze stosownych ustaw, rozporządzeń, uchwał i przepisów,
- angażowanie całego społeczeństwa w problematykę ochrony przed zagrożeniami.

34.2. System monitorowania w Polsce

System monitorowania gospodarki odpadami wdrożony został i funkcjonuje we wszystkich wojewódzkich urzędach administracji państwowej. Wojewódzkie bazy danych zawierają informacje na temat:

- gospodarki odpadami na terenach powiatów z podziałem na gminy,

- zezwoleń wydawanych posiadaczom odpadów prowadzących działalność w zakresie zbierania, transportu, odzysku lub unieszkodliwiania odpadów na terenie województwa,
- posiadaczy odpadów działających na terenie województwa.

Informacje te uzupełnione są o wiedzę z zakresu:

- ilości wytwarzanych odpadów według kodów i rodzajów odpadów,
- sposobu gospodarowania poszczególnymi rodzajami odpadów na terenie określonego powiatu, z uwzględnieniem ich odzysku, unieszkodliwiania, gospodarczego wykorzystania,
- instalacji służącej do odzysku lub unieszkodliwiania odpadów, z wyszczególnieniem instalacji służących do termicznego przekształcania odpadów na terenie określonego powiatu.

Szczegółowe informacje dotyczą:

- nazwy odpadu, nazwy procesu technologicznego, w którym odpad powstaje, krótką charakterystykę odpadu i jego własności fizyko-chemiczne;
- źródeł powstawania odpadów, z podaniem nazwy producenta, stanowiska osoby odpowiedzialnej za gospodarkę odpadami w przedsiębiorstwie, ilości wytworzonych odpadów, w tym wykorzystanych, unieszkodliwionych i składowanych;
- składowisk: ich nazwy, funkcji jaką pełnią, aktualnej fazy eksploatacji, całkowitej i aktualnej powierzchni, planowanej i aktualnej wysokości i głębokości składowania, kształtu i typu bryły, sposobu składowania, badania odcieków, gleby, pyłów itp., rodzaju gruntu i jego nośności, współczynnika filtracji, odległości od miejsc wymagających ochrony.

Wojewódzkie bazy danych dotyczące wytwarzania i gospodarowania odpadami udostępniają swoje informacje ministrowi do spraw środowiska w celu opracowania raportu o stanie środowiska w kraju. Ponadto informacje o gospodarce odpadami w województwie udostępniane są wojewodzie dla sporządzenia raportu o stanie środowiska w województwie, starosta ma dostęp do informacji na terenie swojego powiatu, natomiast wójt, burmistrz lub prezydent miasta uzyskują informację o gospodarce odpadami dotyczącą terenu ich gmin.

Z A Ł A C Z N I K I

Z A Ł A C Z N I K N R I

KATEGORIE ODPADÓW

(według Załączników do ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (Dz.U. Nr 62, poz.628)).

Q1	Pozostałości z produkcji lub konsumpcji, nie wymienione w pozostałych kategoriach.
Q2	Produkty nie odpowiadające wymaganiom jakościowym.
Q3	produkty, których termin przydatności do właściwego użycia upłynął.
Q4	Substancje lub przedmioty, które zostały rozlane, rozsypane, zgubione lub takie, które uległy innemu zdarzeniu losowemu, w tym zanieczyszczone wskutek wypadku lub powstałe wskutek prowadzenia akcji ratowniczej.
Q5	Substancje lub przedmioty zanieczyszczone lub zabrudzone w wyniku planowych działań (np. pozostałości z czyszczenia, materiały z opakowań, odpady opakowaniowe, pojemniki itp.).
Q6	Przedmioty lub ich części nie nadające się do użytku (np. usunięte baterie, zużyte katalizatory itp.).
Q7	Substancje, które nie spełniają już należycie swojej funkcji (np. zanieczyszczone kwasy, zanieczyszczone rozpuszczalniki, zużyte sole hartownicze itp.).
Q8	Pozostałości z procesów przemysłowych (np. żużle, pozostałości podestylacyjne itp.).
Q9	Pozostałości z procesów usuwania zanieczyszczeń (np. osady ściekowe, szlamy z płuczek, pyły z filtrów, zużyte filtry itp.).
Q10	Pozostałości z obróbki skrawaniem lub wykańczania (np. wióry, zgary itp.).
Q11	Pozostałości z wydobywania lub przetwarzania surowców (np. pozostałości górnicze itp.).
Q12	Podrobione lub zafałszowane substancje lub przedmioty (np. oleje zanieczyszczone PCB itp.).
Q13	Wszelkie substancje lub przedmioty, których użycie zostało prawnie zakazane (np. PCB itp.).
Q14	Substancje lub przedmioty, dla których posiadacz nie znajduje już dalszego zastosowania (np. odpady z rolnictwa, gospodarstw domowych, odpady biurowe, z placówek handlowych, sklepów itp.),
Q15	Zanieczyszczone substancje powstające podczas rekultywacji gleby i ziemi.
Q16	Wszelkie substancje lub przedmioty, które nie zostały uwzględnione w powyższych kategoriach (np. z działalności usługowej, remontowej).

ZAŁĄCZNIK NR II

KATEGORIE LUB RODZAJE ODPADÓW NIEBEZPIECZNYCH

LISTA A <i>(wymienione według ich charakteru lub działalności, wskutek której powstały)</i> obejmuje odpady wykazujące którąkolwiek z właściwości wyszczególnionych w załączniku nr IV i które składają się z niżej wymienionych:	
1.	Odpady medyczne i weterynaryjne.
2.	Środków farmaceutycznych, leków i związków stosowanych w medycynie lub w weterynarii.
3.	Środków do impregnacji lub konserwacji drewna .
4.	Biocydów i środków fitofarmaceutycznych.
5.	Pozostałości substancji stosowanych jako rozpuszczalniki.
6.	Halogenowanych substancji organicznych nie stosowanych jako rozpuszczalniki, z wyjątkiem obojętnych materiałów spolimeryzowanych.
7.	Soli hartowniczych zawierających cyjanki.
8.	Olejów mineralnych i substancji oleistych(np. z obróbki metali).
9.	Emulsji, mieszanin: olej-woda, węglowodór-woda.
10.	Substancji zawierających PCB (np. dielektryki itp.).
11.	Materiałów smolistych powstających w skutek rafinacji, destylacji lub jakiegokolwiek obróbki pirolitycznej (np. pozostałości podestylacyjne itp.).
12.	Tuszków, barwników, pigmentów, farb, lakierów lub pokostów.
13.	Żywic, lateksu, plastyfikatorów, klejów lub spoiw.
14.	Substancji powstających w wyniku prac naukowo-badawczych, rozwojowych lub działalności dydaktycznej, której nie są zidentyfikowanej lub są nowe i których oddziaływanie na człowieka lub środowisko jest nie znane (np. pozostałości laboratoryjne itp.).
15.	Środków pirotechnicznych i innych materiałów wybuchowych.
16.	Chemikaliów stosowanych w przemyśle fotograficznym lub do obróbki zdjęć(np. do wywoływania).
17.	Wszelkich substancji lub przedmiotów zanieczyszczonych dowolną pochodną polichlorowanego dibenzofuranu.
18.	Wszelkich substancji lub przedmiotów zanieczyszczonych dowolną pochodną polichlorowanej dibenzo-p-dioksyny

LISTA B obejmuje odpady, które zawierają którykolwiek ze składników wyliczonych w załączniku nr III i mają którekolwiek z właściwości wyliczonych w załączniku nr IV, oraz składają się z niżej wymienionych:	
19.	Mydeł, tłuszczów lub wosków pochodzenia zwierzęcego lub roślinnego.
20.	Niehalogenowanych substancji organicznych nie stosowanych jako rozpuszczalniki.
21.	Nieorganicznych substancji nie zawierających metali lub związków metali.
22.	Popiołów lub żużli.
23.	Gleby i ziemi, w tym urobku z pogłębiania.

24.	Soli hartowniczych nie zawierających cyjanków.
25.	Pyłów lub proszków metalicznych.
26.	Zużytych materiałów katalitycznych.
27.	Cieczy lub szlamów zawierające metale lub związki metali.
28.	Pozostałości z operacji usuwania zanieczyszczeń (np. pyły z filtrów), z wyjątkiem (29), (30) i (33).
29.	Szlamów z płuczek.
30.	Szlamów z zakładów uzdatniania wody.
31.	Pozostałości z dekarbonizacji.
32.	Pozostałości z kolumn jonowymiennych.
33.	Osadów ściekowych, nie poddanych unieszkodliwieniu lub nie nadających się do zastosowania w rolnictwie.
34.	Osadów z czyszczenia zbiorników lub urządzeń.
35.	Urządzeń zanieczyszczonych.
36.	Pojemników zanieczyszczonych po produktach, które zawierały jeden lub więcej składników wymienionych w załączniku nr 3 (np. opakowania, butle gazowe itp.).
37.	Baterii, akumulatorów i innych ogniw elektrycznych.
38.	Olejów roślinnych,
39.	Substancji lub przedmiotów pochodzących z selektywnej zbiórki odpadów z gospodarstw domowych.
40.	Innych odpadów.

ZALĄCZNIK NR III

Składniki odpadów z listy B, które kwalifikują je jako odpady niebezpieczne, jeśli posiadają właściwości opisane w załączniku nr IV.

C 1	Beryl i jego związki.
C2	Związki wanadu.
C3	Związki chromu (VI).
C4	Związki kobaltu.
C5	Związki niklu.
C6	Związki miedzi.
C7	Związki cynku.
C8	Arsen i jego związki.
C9	Selen i jego związki.
C10	Związki srebra.
C11	Kadm i jego związki.
C12	Związki cyny.
C13	Antymnon i jego związki.
C14	Tellur i jego związki.
C15	Związki baru z wyjątkiem siarczanu baru.
C16	Rtęć i jej związki.
C17	Tal i jego związki.
C18	Ołów i jego związki.
C19	Siarczki nieorganiczne.
C20	Nieorganiczne związki fluoru, z wyjątkiem fluorku wapnia.

C21	Cyjanki nieorganiczne.
C22	Następujące metale alkaliczne lub metale ziem alkalicznych: lit, sód, potas, wapń, magnez w postaci niezwiązanej.
C23	Kwaśne roztwory lub kwasy w postaci stałej.
C24	Roztwory zasadowe i zasady w postaci stałej.
C25	Azbest (pył i włókna).
C26	Fosfor i jego związki, z wyjątkiem fosforanów mineralnych.
C27	Karbonylki metali.
C28	Nadtlenki.
C29.	Chlorany.
C30.	Nadchlorany.
C31	Azydki.
C32	PCB.
C33	Farmaceutyki oraz związki stosowane w medycynie lub w weterynarii.
C34	Biocydy i substancje fitofarmaceutyczne (np. pestycydy).
C35	Substancje zakaźne.
C36	Kreozoty.
C37	Izocyjaniany, tiocyjaniany.
C38	Cyjanki organiczne (np. nityle).
C39	Fenole, związki fenolowe.
C40	Halogenowane rozpuszczalniki.
C41	Rozpuszczalniki organiczne, z wyjątkiem rozpuszczalników halogenowych.
C42	Związki halogenoorganiczne, z wyjątkiem obojętnych materiałów spolimeryzowanych i innych substancji, o których mowa w niniejszym załączniku.
C43	Aromatyczne, policykliczne i heterocykliczne związki organiczne.
C44	Aminy alifatyczne.
C45	Aminy aromatyczne.
C46	Etery.
C47	Substancje o właściwościach wybuchowych, z wyjątkiem substancji wyszczególnionych w innych punktach tego załącznika.
C48	Organiczne związki siarki.
C49	Jakąkolwiek pochodną polichlorowanego dibenzofuranu.
C50	Jakąkolwiek pochodną polichlorowanej dibenzo-p-dioksyny.
C51	Węglowodory i ich związki z tlenem, azotem lub siatką nie uwzględnione w inny sposób w tym załączniku.

ZALĄCZNIK NR IV

Określa właściwości odpadów, które powodują, że odpady są niebezpieczne

H 1	WYBUCHOWE: substancje, które mogą wybuchnąć pod wpływem ognia lub które są bardziej wrażliwe na wstrząs lub tarcie niż dinitrobenzen.
H2	UTLENIAJĄCE: substancje, które wykazują silne egzotermiczne reakcje podczas kontaktu z innymi substancjami, w szczególności z substancjami łatwopalnymi.
H3-A	WYSOCE ŁATWOPALNE: <ul style="list-style-type: none"> • ciekłe substancje o temperaturze zapłony poniżej 21 °C (w tym nadzwyczaj łatwopalne ciecze);

	<ul style="list-style-type: none"> • substancje, które mogą rozgrzać się, a w efekcie zapalić się w kontakcie z powietrzem w temperaturze otoczenia bez jakiegokolwiek dostarczenia energii; • stałe substancje, które mogą się łatwo zapalić po krótkim kontakcie ze źródłem zapłonu i które palą się nadal lub tlą po usunięciu źródła zapłonu; • gazowe substancje, które są łatwopalne w powietrzu pod normalnym ciśnieniem; • substancje, które w kontakcie z wodą lub wilgotnym powietrzem tworzą wysoce łatwopalne gazy w niebezpiecznych ilościach.
H3-B	ŁATWOPALNE: ciekłe substancje mające temperaturę zapłonu równą lub wyższą niż 21 ⁰ C i niższą lub równą 55 ⁰ C.
H4	DRAŻNIĄCE: substancje nie żrące, które poprzez krótki, długotrwały lub powtarzający się kontakt ze skórą lub błoną śluzową mogą wywołać stan zapalny.
H5	SZKODLIWE: substancje, które jeśli są wdychane lub dostają się drogą pokarmową lub wnikają przez skórę mogą spowodować ograniczone zagrożenie dla zdrowia.
H6	TOKSYCZNE: substancje (w tym wysoce toksyczne substancje i preparaty), które jeśli są wdychane lub dostają się drogą pokarmową lub wnikają przez skórę mogą spowodować poważne, ostre lub chroniczne zagrożenie zdrowia, a nawet śmierć.
H7	RAKOTWÓRCZE: substancje, które jeśli są wdychane lub dostają się drogą pokarmową lub wnikają przez skórę mogą wywołać raka lub też zwiększyć częstotliwość jego występowania.
H8	ŻRĄCE: substancje, które w zetknięciu z żywymi tkankami mogą spowodować ich zniszczenie.
H9	ZAKAŻNE: substancje zawierające 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.
H10	DZIAŁAJĄCE SZKODLIWIE NA ROZRODCZOŚĆ: substancje, które jeśli są wdychane lub dostają się drogą pokarmową lub jeśli wnikają przez skórę mogą wywołać niedziedziczne wrodzone deformacje lub też zwiększyć częstotliwość ich występowania.
H11	MUTAGENNE: substancje, które jeśli są wdychane lub dostana się droga pokarmową lub jeśli wnikają przez skórę mogą wywołać dziedziczne defekty genetyczne lub też zwiększyć częstotliwość ich występowania.
H12	Substancje, które w wyniku kontaktu z wodą, powietrzem lub kwasem uwalniają toksyczne lub wysoce toksyczne gazy.
H13	Substancje, które po zakończeniu procesu unieszkodliwiania, mogą w dowolny sposób, wydzielić inną substancję, bp. w formie odcieku, która posiada jakąkolwiek spośród cech wymienionych powyżej.
H14	EKOTOKSYCZNE: substancje, które stanowią lub mogą stanowić bezpośrednie lub opóźnione zagrożenie dla jednego lub więcej elementów środowiska.

ZAŁĄCZNIK NR V

WYBRANE POLSKIE PRZEPISY I REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE SPRAW ZWIĄZANYCH Z GOSPODARKĄ ODPADAMI I OCHRONĄ ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Rok 1961 - 1977

1. Uchwała nr 170/61 Rady Ministrów z dnia 1961 roku w sprawie ochrony przed promieniowaniem jonizującym.
2. Uchwała nr 266/64 rady Ministrów z dnia 29 sierpnia 1964 roku w sprawie użytkowania substancji promieniotwórczych.
3. Zarządzenie Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej, Ministra Spraw Wewnętrznych i Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 31 grudnia 1967 roku w sprawie trybu postępowania w razie wypadku radiacyjnego i transportu substancji promieniotwórczych oraz przekazywania danych pomiarowych o skażeniach promieniotwórczych (Dz.Urz. Min. Spr. Wewn. Nr 2, 1968 r.).
4. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 czerwca 1968 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu promieniowania jonizującego (Dz.U. nr 20, poz. 122).
5. Zarządzenie nr 27/70 Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej z dnia 22 czerwca 1970 roku w sprawie ustalenia jednostek organizacyjnych i uprawnionych do wydawania ocen i opinii.
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 września 1970 r. w sprawie ochrony środowiska przed odpadami i innymi zanieczyszczeniami oraz utrzymania czystości i porządku w miastach i wsiach (Dz. U. Nr 24, poz.91).
7. Ustawa z dnia 24 października 1974 r. prawo wodne (Dz.U. nr 38, poz. 230 z późniejszymi zmianami: 1980 r. Nr 3, poz. 6; 1983 r. Nr 44, poz. 201; 1989 r. Nr 26, poz. 139, Nr 35, poz.192; 1990 r. Nr 34, poz. 198, Nr 39, poz. 222; 1993 r. Nr 40, poz. 183).
8. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 31 maja 1977 roku w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze (Dz.U. Nr 18, poz. 72 z późniejszymi zmianami: 1990 r. Nr 35, poz. 205).

Rok 1980

9. Ustawa z dnia 31 stycznia 1980 roku o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz.U. Nr 3, poz. 6; z późniejszymi zmianami: 1983 r. Nr 44, poz. 201; 1987 r. Nr 33, poz. 180; 1989 r. Nr 26, poz. 139, Nr 35, poz. 192; 1990 r. nr 34, poz. 198, Nr 39, poz. 222; 1993 r. Nr 40, poz. 183).
10. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 roku w sprawie zasad tworzenia i zagospodarowywania stref ochronnych (Dz.U. Nr 24, poz. 92).
11. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 listopada 1980 roku w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym szkodliwym dla ludzi i środowiska (Dz.U. nr 25, poz. 101).

Rok 1982

12. Ustawa z dnia 26 marca 1982 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. Nr 11, poz. 79).

13. Zarządzenie Ministra Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 9 listopada 1982 roku w sprawie szczegółowych zasad wyznaczania granic i obszarów stref ochronnych oraz orientacyjnych wskaźników ich szerokości (M.P. Nr 27, poz. 241).

Rok 1985

14. Rozporządzenie Ministra Administracji i Gospodarki Przestrzennej z dnia 31 stycznia 1985 roku w sprawie warunków, jakie powinny spełniać jednostki opracowujące plany zagospodarowania przestrzennego oraz przygotowanie zawodowe do wykonywania funkcji w zakresie projektowania w planowaniu przestrzennym (Dz. U. Nr 3, poz. 14).
15. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 czerwca 1985 roku w sprawie podziału inwestycji oraz zakresu, zasad i trybu ustalania ich lokalizacji (Dz. U. z 1990 r. Nr 11, poz. 75).

Rok 1986

16. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1986 roku Prawo atomowe (Dz. U. Nr 12, poz. 170)

Rok 1987

17. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 stycznia 1987 roku w sprawie szczegółowych zasad ochrony powierzchni Ziemi (Dz.U. Nr 4, poz, 23).
18. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 grudnia 1987 roku w sprawie wysokości, zasad i trybu nakładania oraz ściągania kar pieniężnych za nieprzestrzeganie wymagań ochrony środowiska (Dz. U. Nr 41, poz.240, z późniejszymi zmianami: 1990 r. Nr 42, poz. 246, Nr 88, poz. 512; 1991 r. Nr 89, poz. 404).

Rok 1988

19. Zarządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 17 października 1988 r. w sprawie zasad sporządzania projektów założeń do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, projektów tych planów oraz kontroli ich realizacji (M.P. Nr 30, poz. 269).

Rok 1990

20. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 lutego 1990 roku w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniem (Dz.U. Nr 15, poz. 92).
21. Konwencja Wiedeńska o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową, sporządzona dnia 21 maja 1963 roku (Dz. U. nr 63, poz. 370).
22. Oświadczenie rządowe z dnia 17 maja 1990 roku w sprawie przystąpienia Rzeczypospolitej Polskiej do Konwencji wiedeńskiej o odpowiedzialności cywilnej za szkodę jądrową, sporządzonej w Wiedniu dnia 21 maja 1963 roku (Dz.U. Nr 63, poz. 371).
23. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 22 października 1990 roku w sprawie ustanowienia zakazy wywozu środków ochrony roślin oraz ich komponentów (Dz.U. Nr 73, poz. 435).

Rok 1991

24. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 10 stycznia 1991 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu i magazynowaniu środków ochrony roślin oraz nawozów mineralnych i sztucznych w rolnictwie (Dz. U. Nr 14, poz. 64).
25. Ustawa z dnia 9 marca 1991 roku o zmianie Prawa Górniczego (Dz. U. Nr 31, poz. 128).

26. Ustawa z dnia 9 marca 1991 roku o zmianie ustawy o prawie geologicznym (Dz. U. nr 31, poz. 129).
27. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 22 marca 1991 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczenia do stosowania w budownictwie nowych materiałów oraz nowych metod wykonywania robót budowlanych (Dz. U. nr 26, poz. 109).
28. Ustawa z dnia 20 lipca 1991 roku o Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz. U. Nr 77, poz. 335).
29. Ustawa z dnia 28 września 1991 roku o lasach (Dz. U. Nr 101, poz. 444).
30. Ustawa z dnia 16 października 1991 roku o ochronie przyrody (Dz. U. Nr 114, poz. 492).
31. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz. U. Nr 116, poz. 503).
32. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie zasad ustanawiania stref ochronnych źródeł i ujęć wody (Dz. U. Nr 116, poz. 504).
33. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 21 grudnia 1991 roku w sprawie opłat za szczegółowe korzystanie z wód i urządzeń wodnych (Dz. U. Nr 125, poz. 556, z późniejszymi zmianami: 1993 r. Nr 133, poz. 637).
34. Rozporządzenie Rady ministrów z dnia 21 grudnia 1991 roku w sprawie kar pieniężnych za naruszanie warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz. U. nr 125, poz. 557).
35. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 21 grudnia 1991 roku w sprawie opłat za gospodarcze korzystanie ze środowiska i wprowadzanie w nim zmian (Dz. U. nr 125, poz. 558, z późniejszymi zmianami: 1992 r. Nr 79, poz. 400; 1993 r. Nr 9, poz. 44).

Rok 1992

36. Konwencja wiedeńska o ochronie warstwy ozonowej sporządzona w Wiedniu dnia 22 marca 1985 roku (Dz.U. Nr 98, poz. 488).
37. Oświadczenie rządowe z dnia 25 maja 1992 roku w sprawie przystąpienia Rzeczypospolitej Polskiej do Konwencji Wiedeńskiej o ochronie warstwy ozonowej, sporządzonej w Wiedniu dnia 22 maja 1985 roku (Dz.U. Nr 98, poz. 489).
38. Protokół montrealski w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową sporządzony w Montrealu dnia 16 września 1987 roku (Dz. U. Nr 98, poz. 490).
39. Oświadczenie rządowe z dnia 26 maja 1992 roku w sprawie przystąpienia Rzeczypospolitej polskiej do Protokołu montrealskiego w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową, sporządzonego w Montrealu dnia 16 września 1987 roku (Dz. U. Nr 98, poz. 491).
40. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 lipca 1992 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie wykonania przepisów ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. nr 55, poz. 267).
41. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 25 sierpnia 1992 roku w sprawie szczegółowych zasad i trybu uznawania lasów za ochronne oraz szczegółowych zasad prowadzenia w nich gospodarki leśnej (Dz. U. nr 67, poz. 337).
42. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 24 listopada 1992 roku w sprawie warunków i sposobu ustalania kosztów ponoszonych w związku z prowadzeniem kontroli przestrzegania wymagań ochrony środowiska (Dz. U. Nr 95, poz. 471).

Rok 1993

43. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 22 stycznia 1993 roku w sprawie szczegółowych zasad przeciwpożarowego zaopatrzenia wodnego, ratownictwa technicznego, chemicznego i ekologicznego oraz warunków, którym powinny odpowiadać drogi pożarowe (Dz. U. Nr 8, poz. 42).
44. Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 8 lutego 1993 roku w sprawie nadania statutu radzie do Spraw Atomistyki (Dz.U. Nr 12, poz. 55).
45. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 16 marca 1993 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie oznaczania substancji trujących (Dz.U. Nr 25, poz. 115).
46. Oświadczenie rządowe z dnia 20 maja 1993 roku w sprawie wejścia w życie zmian do załączników A i B do Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 roku (Dz.U. Nr 61, poz. 293).
47. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 czerwca 1993 roku w sprawie określenia granic oraz szerokości pasa technicznego i pasa ochronnego (Dz.U. Nr 50, poz. 228).
48. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 3 sierpnia 1993 roku w sprawie ustalenia listy odpadów niebezpiecznych (Dz. U. Nr 76, poz. 362).
49. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 września 1993 roku w sprawie objęcia przepisami prawa górniczego prowadzenia niektórych robót podziemnych oraz bezzbiornikowego magazynowania kopaliny w górotworze (Dz. U. Nr 88, po. 408).
50. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 1 października 1993 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy eksploataowaniu, remontach i konserwacji sieci kanalizacyjnych (Dz.U. Nr 96, poz. 437).
51. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 1 października 1993 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w oczyszczalniach ścieków (Dz. U. Nr 96, poz. 438).

Rok 1994

52. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 17 stycznia 1994 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu środków chemicznych do uzdatniania wody i oczyszczania ścieków (Dz. U. Nr 21, poz. 73).
53. Ustawa z dnia 4 lutego 1994 roku Prawo geologiczne i górnicze (Dz. u. Nr 27, poz. 96).
54. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 8 lutego 1994 roku w sprawie wprowadzania obowiązku stosowania niektórych Polskich Norm i Norm Branżowych dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. nr 37, poz. 138).
55. Obwieszczenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 21 marca 1994 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz.U. Nr 49, poz. 196).
56. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 kwietnia 1994 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za gospodarcze korzystanie ze środowiska i wprowadzanie w nim zmian (Dz. U. nr 51, poz. 203).
57. Umowy Międzynarodowe – oświadczenie rządowe z dnia 13 czerwca 1994 roku w sprawie wejścia w życie w stosunku do Rzeczypospolitej Polskiej Wspólnego protokołu dotyczącego stosowania konwencji wiedeńskiej i Konwencji paryskiej (o odpowiedzialności za szkody jądrowe) sporządzonej w Wiedniu dnia 21 września 1988 roku (Dz. U. nr 129, poz. 634).

58. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 czerwca 1994 roku w sprawie objęcia przepisami Prawa geologicznego i górniczego prowadzenia określonych robót podziemnych z zastosowaniem techniki górniczej (Dz. U. Nr 91, poz. 422).
59. Ustawa z dnia 24 czerwca 1994 roku o zmianie ustawy Prawo atomowe (Dz. U. nr 90, poz. 410).
60. Konwencja bazylejska o kontroli transgranicznej przemieszczania i usuwania odpadów niebezpiecznych, sporządzona w Bazylei dnia 22 marca 1989 roku (Dz. U. z 1995 roku, Nr 19, poz. 88).
61. Oświadczenie rządowe z dnia 30 czerwca 1994 roku w sprawie ratyfikacji przez Rzeczypospolitą Polską Konwencji bazylejskiej o kontroli transgranicznej przemieszczania i usuwania odpadów niebezpiecznych, sporządzonej w Bazylei dnia 22 marca 1989 roku (Dz. U. z 1995 roku, Nr 19, poz. 89).
62. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku o zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. Nr 89, poz. 415, z późniejszymi zmianami; tekst jednolity: Dz. U. z 1999 r. Nr 15, poz. 139 z późniejszymi zmianami: Nr 41, poz. 412, Nr 111, poz. 1279; z 2000 r. Nr 12, poz. 136).
63. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku Prawo Budowlane (Dz. U. Nr 89, poz. 414, z późniejszymi zmianami: z 1996 r. Nr 100, poz. 465, Nr 106, poz. 496, Nr 146, poz. 680; z 1997 r. Nr 88, poz. 554, Nr 111, poz. 726; z 1998 r. Nr 106, poz. 668; z 1999 r. Nr 41, poz. 412, Nr 49, poz. 483, nr 62, poz. 682; z 2000 r. Nr 12, poz. 136, Nr 29, poz. 354).
64. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 1994 roku w sprawie ustanowienia czasowych ograniczeń obrotu towarowego z zagranicą substancjami zubożającymi warstwę ozonową i towarami zawierającymi te substancje (Dz. U. Nr 87, poz. 407, z późniejszymi zmianami: 1994 r. Nr 129, poz. 641).
65. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 grudnia 1994 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za gospodarcze korzystanie ze środowiska i wprowadzanie w nim zmian (Dz. U. Nr 140, poz. 772, z późniejszymi zmianami: 1995 r. Nr 153, poz. 775; 1996 r. Nr 154, poz. 747).
66. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 grudnia 1994 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za korzystanie z wód i urządzeń wodnych (Dz. U. Nr 140, poz. 773, z późniejszymi zmianami: 1995 r. Nr 153, poz. 776).

Rok 1995

67. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 6 stycznia 1995 roku w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt (Dz. U. Nr 13, poz. 61).
68. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 roku o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. Nr 16, poz. 78).
69. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 9 marca 1995 roku w sprawie określenia wymagań, jakim powinna odpowiadać prognoza skutków wpływu ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego na środowisko przyrodnicze (Dz. U. nr 29, poz. 150).
70. Ustawa z dnia 16 marca 1995 roku o ratyfikacji Konwencji o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów (Dz. U. Nr 47, poz. 242).
71. Ustawa z dnia 16 marca 1995 roku o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki (Dz. U. Nr 47, poz. 243).
72. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 6 kwietnia 1995 roku w sprawie ochrony gatunkowej roślin (Dz. U. nr 41, poz. 214).
73. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 26 kwietnia 1995 roku w sprawie wprowadzenia obowiązku stosowania wybranych

- Polskich Norm z zakresu ochrony środowiska, zasobów naturalnych i leśnictwa (Dz. U. Nr 50, poz. 273).
74. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13 maja 1995 roku w sprawie określenia rodzajów inwestycji szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi oraz ocen oddziaływania na środowisko (Dz. U. nr 52, poz. 284).
 75. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 czerwca 1995 roku w sprawie wysokości, zasad i trybu nakładania kar pieniężnych za nieprzestrzeganie wymagań ochrony środowiska oraz współczynników różnicujących wysokość kar pieniężnych (Dz. U. Nr 79, poz. 399).
 76. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 czerwca 1995 roku w sprawie zasad i trybu ustalania kar pieniężnych za naruszenie warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi, oraz współczynników różnicujących wysokość kar pieniężnych (Dz. U. nr 79, poz. 400).
 77. Ustawa z dnia 12 lipca 1995 roku o ochronie roślin uprawnych (Dz. U. Nr 90, po. 446).
 78. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 listopada 1995 roku w sprawie warunków wydawania zezwoleń na działalność związaną z wykorzystaniem energii atomowej (Dz. U. Nr 3, poz. 16).

Rok 1996

79. Umowa Międzynarodowa – Konwencja o ochronie gatunków dzikiej flory i fauny europejskiej oraz ich siedlisk, sporządzona w Bernie dnia 19 września 1979 roku (Dz. U. Nr 58, poz. 263).
80. Oświadczenie rządowe z dnia 31 stycznia 1996 roku w sprawie ratyfikacji przez Rzeczypospolitą polską Konwencji o ochronie gatunków dzikiej flory i fauny europejskiej oraz ich siedlisk, sporządzonej w Bernie dnia 19 września 1979 roku (Dz. U. Nr 58, poz. 264).
81. Ustawa z dnia 16 lutego 1996 roku o przystąpieniu Rzeczypospolitej Polskiej do Poprawek londyńskich oraz Poprawek kopenhadzkich do Protokołu montrealskiego w sprawie substancji zubażających warstwę ozonową (Dz. U. Nr 41, poz. 176).
82. Ustawa z dnia 16 lutego 1996 roku o zmianie ustawy o działalności gospodarczej (Dz.U. Nr 41, poz. 177).
83. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 26 czerwca 1996 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie określenia rodzajów inwestycji szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi oraz ocen oddziaływania na środowisko (Dz. U. Nr 96, poz. 446).
84. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 września 1996 roku w sprawie czynników rakotwórczych w środowisku pracy oraz nadzoru nad stanem zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (Dz. U. Nr 121, poz. 571).
85. Ustawa z dnia 13 września 1996 roku o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. Nr 132, poz. 622).
86. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 18 grudnia 1996 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wyroby ze względu na potrzeby ochrony zdrowia i środowiska (Dz.U. Nr 255, poz. 766).

Rok 1997

87. Ustawa z dnia 9 stycznia 1997 roku o ratyfikacji Konwencji o ocenach oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym (Dz. U. nr 18, poz. 96).
88. Umowa Międzynarodowa - Oświadczenie rządowe z dnia 26 marca 1997 roku w sprawie wejścia w życie poprawek do załączników I, II i III do Konwencji o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji, sporządzonej w

Moskwie, Waszyngtonie, Londynie i Meksyku dnia 29 grudnia 1972 roku, oraz ogłoszenia uaktualnionych jednolitych tekstów tych załączników (Dz. U. Nr 47, poz. 300).

89. Obwieszczenie Ministra Spraw Zagranicznych z dnia 7 lipca 1997 roku o sprostowaniu błędów w oświadczeniu rządowym z dnia 26 marca 1997 roku w sprawie wejścia w życie poprawek do załączników I, II i III do Konwencji o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji, sporządzonej w Moskwie, Waszyngtonie, Londynie i Meksyku dnia 29 grudnia 1972 roku, oraz ogłoszenia uaktualnionych jednolitych tekstów tych załączników (Dz.U. Nr 76, poz. 481).
90. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 13 maja 1997 roku w sprawie organizacji i sposobu zwalczania zanieczyszczeń na morzu (Dz.U. Nr 53, poz. 337).
91. Ustawa z dnia 27 czerwca 1997 roku o odpadach (Dz. U. Nr 96, poz. 592).
92. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 sierpnia 1997 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie określenia rodzajów inwestycji szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi oraz ocen oddziaływania na środowisko (Dz.U. Nr 101, poz. 634).
93. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 sierpnia 1997 roku w sprawie wprowadzenia obowiązku uzyskiwania zezwolenia Głównego Inspektora Ochrony Środowiska na wywóz do określonych państw odpadów innych niż niebezpieczne (Dz.U. Nr 102, poz. 646).
94. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 24 grudnia 1997 roku w sprawie klasyfikacji odpadów (Dz.U. Nr 162, poz. 1135).

Rok 1998

95. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 6 stycznia 1998 roku w sprawie trybu wydawania zezwoleń na usuwanie do morza urobku z pogłębiania dna oraz na zatapianie w morzu odpadów lub innych substancji (Dz. U. Nr 6, poz. 20).
96. Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 7 stycznia 1998 roku w sprawie określenia rodzajów odpadów, których wykorzystanie uprawnia do zezwolenia do zwolnienia od podatku dochodowego oraz szczegółowych zasad ustalania wartości odpadów wykorzystywanych w procesie produkcji (Dz. U. Nr 8, poz. 29).
97. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13 lutego 1998 roku w sprawie oznaczania opakowań (Dz. U. Nr 25, poz. 138).
98. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 6 kwietnia 1998 roku w sprawie określenia listy odpadów, których przywożenie z zagranicy nie wymaga zezwolenia Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (Dz. U. Nr 47, poz. 299).
99. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 28 kwietnia 1998 roku w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających w powietrzu (Dz.U. Nr 55, poz. 355).
100. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13 maja 1998 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 66, poz. 436).
101. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 1998 roku w sprawie określenia odpadów, które powinny być wykorzystane w celach przemysłowych oraz warunków, jakie muszą być spełnione przy ich wykorzystaniu (Dz. U. Nr 90, poz. 573).
102. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 roku w sprawie określenia rodzajów inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska

oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko tych inwestycji (Dz. U. Nr 93, poz. 589).

103. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 roku w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko inwestycji nie zaliczanych do inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska, obiektów oraz robót zmieniających stosunki wodne (Dz. U. Nr 93, poz. 590).
104. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 sierpnia 1998 roku w sprawie ewidencji i rejestru wykazów zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza (Dz.U. Nr 102, poz. 647).
105. Ustawa z dnia 24 lipca 1998 roku o zmianie niektórych ustaw określających kompetencje organów administracji publicznej w związku z reformami ustrojowymi państwa (Dz. U. Nr 106, poz. 668).
106. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1998 roku w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku, oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania (Dz.U. Nr 107, poz. 676).
107. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 24 września 1998 roku w sprawie wzorów dokumentów stosowanych na potrzeby ewidencji odpadów oraz służących do przekazywania informacji o rodzaju i ilości odpadów umieszczonych na składowiskach odpadów i o czasie ich składowania (Dz. U. Nr 121, poz. 794).
108. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 8 września 1998 roku w sprawie wprowadzania do powietrza substancji zanieczyszczających z procesów technologicznych i operacji technicznych (Dz.U. Nr 121, poz. 793).
109. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 12 września 1998 roku w sprawie wzorów dokumentów stosowanych na potrzeby ewidencji odpadów oraz służących do przekazywania informacji o rodzaju i ilości odpadów umieszczonych na składowisku odpadów i o czasie ich składowania (Dz.U. Nr 121, poz. 794).
110. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 18 września 1998 roku w sprawie szczegółowych zasad ustalania dopuszczalnych do wprowadzenia do powietrza rodzajów i ilości substancji zanieczyszczających oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacja niezbędna do wydania decyzji ustalającej rodzaje i ilości substancji zanieczyszczających dopuszczonych do wprowadzania do powietrza (Dz.U. Nr 124, poz. 819).
111. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 roku w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych (Dz.U. Nr 145, poz. 942).
112. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 22 grudnia 1998 roku w sprawie opłat za składowanie odpadów (Dz.U. Nr 162, poz. 1128).

Rok 1999

113. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 29 grudnia 1998 r. W sprawie szczegółowych zasad gospodarki finansowej Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej i wojewódzkich funduszy ochrony środowiska i gospodarki wodnej (Dz.U. Nr 3, poz. 17).
114. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 23 grudnia 1998 r. W sprawie szczegółowych warunków weterynaryjnych przy zbieraniu,

przetwarzaniu, grzebaniu lub spalaniu zwłok zwierzęcych i ich części oraz odpadów poubojowych (Dz.U. Nr 3, poz. 23).

115. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19 maja 1999 r. W sprawie warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych stanowiących mienie komunalne (Dz.U. Nr 50, poz. 501).
116. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 21 grudnia 1999 r. Zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za składowanie odpadów (Dz.U. Nr 110, poz. 1263).
117. Ustawa z dnia 19 listopada 1999 r. – Prawo działalności gospodarczej (Dz.U. Nr 101, poz. 1178).
118. Konwencja o ocenach oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym, sporządzona w Espoo dnia 25 lutego 1991 r. (Dz.U. Nr 96, poz. 1110).
119. Oświadczenie rządowe z dnia 24 listopada 1999 r. W sprawie ratyfikacji przez Rzeczypospolitą Polską Konwencji o ocenach oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym, sporządzonej w Espoo dnia 25 lutego 1991 r.

Rok 2000

120. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 1999 r. W sprawie wykazu wyrobów wyprodukowanych w Polsce, a także wyrobów importowanych do Polski po raz pierwszy, mogących stwarzać zagrożenie albo służących obronie lub ratowaniu życia, zdrowia lub środowiska, podlegających obowiązkowi certyfikacji na znak bezpieczeństwa i oznaczanie tym znakiem, oraz wyrobów podlegających obowiązkowi wystawienia przez producenta deklaracji zgodności (Dz.U. Nr 5, poz. 53).
121. Rozporządzenie Ministra gospodarki z dnia 13 stycznia 2000 r. W sprawie trybu wydawania dokumentów dopuszczających do obrotu wyroby mogące stwarzać zagrożenie, albo które służą ochronie lub ratowaniu życia, zdrowia i środowiska, wyprodukowane w Polsce lub pochodzące z kraju, z którym Polska zawarła porozumienie w sprawie uznawania certyfikatu zgodności lub deklaracji zgodności wystawionej przez producenta oraz rodzajów tych dokumentów (Dz.U. Nr 5, poz. 58).
122. Ustawa z dnia 21 stycznia 2000 r. O zmianie niektórych ustaw związanych z funkcjonowaniem administracji publicznej (Dz.U. Nr 12, poz. 136).
123. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 marca 2000 r. Zmieniające rozporządzenie w sprawie określenia listy odpadów, których przywożenie z zagranicy nie wymaga zezwolenia Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (Dz.U. Nr 20, poz. 251).
124. Ustawa z dnia 3 marca 2000 r. O zmianie ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz.U. Nr 22, poz. 272).
125. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 listopada 2000 r. W sprawie określenia odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, oraz warunków, jakie muszą być spełnione przy ich wykonywaniu (Dz.U. Nr 100, poz. 1078).
126. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2000 r. W sprawie listy rodzajów odpadów, które wytwarzający odpady może przekazywać osobom fizycznym do wykorzystania (Dz.U. Nr 51, poz. 620).
127. Ustawa z dnia 7 grudnia 2000 roku o zmianie ustawy o ochronie przyrody (Dz. U. z dnia 18 stycznia 2001 r. Nr 3, poz. 21).
128. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 grudnia 2000 r. Zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za składowanie odpadów (Dz.U. Nr 120, poz. 1284).

Rok 2001

129. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 lutego 2001 roku w sprawie określenia wzoru publicznie dostępnego wykazu danych o dokumentach zawierających informacje o środowisku i jego ochronie (Dz. U. Nr 15, poz. 164).

130. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lutego 2001 roku w sprawie stawek opłat za udostępnianie informacji o środowisku i jego ochronie (Dz. U. Nr 16, poz. 183).
131. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 5 marca 2001 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych (Dz. U. Nr 22, poz. 251).
132. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 marca 2001 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie klasyfikacji odpadów (Dz. U. Nr 17, poz. 204).
133. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 marca 2001 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków weterynaryjnych przy zbieraniu, przetwarzaniu, grzebaniu lub spalaniu zwłok zwierzęcych i ich części oraz odpadów publicznych (Dz. U. Nr 22, poz. 255).
134. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (Dz. U. Nr 62, poz. 628).
135. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 627).
136. Ustawa z dnia 11 maja 2001 roku o opakowaniach i odpadach opakowaniowych (Dz. U. Nr 63, poz. 638).
137. Ustawa z dnia 11 maja 2001 roku o obowiązkach przedsiębiorstw w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej (Dz. U. Nr 63, poz. 639).
138. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2001 roku w sprawie rocznych poziomów odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i użytkowych (Dz. U. Nr 69, poz. 719).
139. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 2 lipca 2001 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ochronie przyrody (Dz. U. Nr 99, poz. 1079).
140. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku – Prawo wodne (Dz. U. Nr 115, poz. 1229).
141. Ustawa z dnia 27 lipca 2001 roku o wprowadzeniu ustawy – Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz. U. Nr 100, poz. 1085).
142. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 lipca 2001 roku w sprawie wprowadzania do powietrza substancji zanieczyszczających z procesów technologicznych i operacji technicznych (Dz. U. Nr 87, poz. 957).
143. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 sierpnia 2001 roku w sprawie wymagań, jakim powinien odpowiadać plan operacyjno-ratowniczy podejmowanych na własnym terenie działań na wypadek nadzwyczajnych zagrożeń, oraz szczegółowych zasad jego weryfikacji (Dz. U. Nr 97, poz. 1057).
144. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 sierpnia 2001 roku w sprawie wymagań, jakim powinien odpowiadać raport bezpieczeństwa, oraz szczególnych zasad jego weryfikacji (Dz. U. Nr 97, poz. 1058).
145. Ustawa z dnia 18 września 2001 roku – Kodeks morski (Dz. U. Nr 138, poz. 1545).
146. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie Katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206).
147. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 września 2001 roku w sprawie wysokości jednostkowych stawek kar za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu (Dz. U. Nr 120, poz. 1285).
148. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 października 2001 roku w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska (Dz. U. Nr 130, poz. 1453).
149. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 listopada 2001 roku w sprawie szczegółowych warunków, jakie powinien spełniać przedsiębiorca produkujący w kraju oleje smarowe z udziałem wytwarzanych w kraju olejów bazowych pochodzących z

- regeneracji w celu włączenia ich do rzeczywiście uzyskanego poziomu recyklingu (Dz. U. Nr 131, poz. 1475).
150. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2001 roku w sprawie stwierdzenia kwalifikacji w zakresie gospodarowania odpadami (Dz. U. Nr 140, poz. 1584).
 151. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 listopada 2001 roku w sprawie rodzajów instalacji, których eksploatacja wymaga zgłoszenia (Dz. U. Nr 140, poz. 1585).
 152. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie zakresu informacji podawanych przy rejestracji przez posiadaczy odpadów zwolnionych z obowiązku uzyskiwania zezwolenia oraz sposobu rejestracji (Dz. U. Nr 152, poz. 1734).
 153. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie rodzajów odpadów lub ich ilości, dla których nie ma obowiązku prowadzenia ewidencji odpadów, oraz kategorii małych i średnich przedsiębiorstw, które mogą prowadzić uproszczoną ewidencję odpadów (Dz. U. Nr 152, poz. 1735).
 154. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie wzorów dokumentów stosowanych na potrzeby ewidencji odpadów (Dz. U. Nr 152, poz. 1736).
 155. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie zakresu informacji oraz wzorów formularzy służących do sporządzenia i przekazywania zbiorczych zestawień danych (Dz. U. Nr 152, poz. 1737).
 156. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie warunków i zakresu dostępu do wojewódzkiej bazy danych dotyczącej wytwarzania i gospodarowania odpadami (Dz. U. Nr 152, poz. 1738).
 157. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie zasad sporządzania raportu wojewódzkiego (Dz. U. Nr 152, poz. 1739).
 158. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie niezbędnego zakresu informacji objętych obowiązkiem zbierania i przetwarzania oraz sposobu prowadzenia centralnej i wojewódzkiej bazy danych dotyczącej wytwarzania i gospodarowania odpadami (Dz. U. Nr 152, poz. 1740).
 159. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 grudnia 2001 roku w sprawie wysokości jednostkowych stawek kar za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi (Dz. U. Nr 146, poz. 1640).
 160. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 grudnia 2001 roku w sprawie określenia przypadków, w których jest konieczne sporządzenie innej dokumentacji geologicznej (Dz. U. Nr 152, poz. 1741).
 161. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2001 roku w sprawie wzoru rocznego sprawozdania o wysokości należnej opłaty podatkowej (Dz. U. Nr 157, poz. 1865).
 162. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 grudnia 2001 roku w sprawie ustanowienia czasowego zakazu obrotu z zagranicą substancji zubożających warstwę ozonową i towarami zawierającymi te substancje (Dz. U. Nr 157, poz. 1841).
 163. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2001 roku w sprawie ustanowienia automatycznej rejestracji obrotu w wywozie i przewozie substancji zubożających warstwę ozonową (Dz. U. Nr 157, poz. 1844).

Rok 2002

164. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2001 roku w sprawie dopuszczenia w 2002 roku wyrobów zawierających azbest do produkcji lub do wprowadzenia na polski obszar celny (Dz.U. Nr 1, poz.).

165. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 13 grudnia 2001 roku w sprawie dokumentów stosowanych w pracach planistycznych oraz wymaganych przy ustalaniu warunków zabudowy i zagospodarowania terenu (Dz.U. Nr 1, poz.).
166. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 7 grudnia 2001 roku w sprawie wzoru sprawozdania o wielkościach wprowadzanych na rynek krajowy opakowań i produktów, osiągniętych wielkościach odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i użytkowych oraz wpływach z opłat produktowych (Dz.U. nr 2, poz.).
167. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2002 roku w sprawie rodzajów odpadów niebezpiecznych dopuszczonych do przywozu z zagranicy (Dz.U. nr 15, poz. 146).
168. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2002 roku w sprawie wprowadzenia obowiązku uzyskiwania zezwoleń na wywóz do określonych państw odpadów innych niż niebezpieczne (Dz.U. Nr 15, poz. 147).
169. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2002 roku w sprawie wzoru rejestru decyzji wydanych w zakresie międzynarodowego obrotu odpadami (Dz.U. Nr 15, poz. 148).
170. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 stycznia 2002 roku w sprawie trybu wydawania pozwoleń na prowadzenie działalności z wykorzystaniem toksycznych związków chemicznych lub ich prekursorów (Dz.U. Nr 17, poz. 160).
171. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 29 stycznia 2002 roku w sprawie rodzajów odpadów innych niż niebezpieczne oraz rodzajów instalacji i urządzeń, w których dopuszcza się ich termiczne przekształcenie (Dz.U. Nr 18, poz. 176).
172. Obwieszczenie Ministra Gospodarki z dnia 28 maja 2002 roku w sprawie listy dozwolonych technologii niszczenia substancji kontrolowanych oraz warunków stosowania tych technologii (M.P. Nr 22, poz. 397).
173. Ustawa z dnia 1 marca 2002 roku o zmianie ustawy o Inspekcji sanitarnej oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz.U. Nr 37, poz. 329).
174. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 roku w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz.U. Nr 37, poz. 339).
175. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 21 marca 2002 roku w sprawie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich zanieczyszczających glebę (Dz.U. Nr 37, poz. 344).
176. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 marca 2002 roku w sprawie określenia wzoru dokumentu stosowanego w międzynarodowym obrocie odpadami (Dz.U. Nr 56, poz. 511).
177. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 marca 2002 roku w sprawie listy odpadów innych niż niebezpieczne, których przywóz z zagranicy nie wymaga zezwolenia Głównego inspektora Ochrony Środowiska (Dz.U. Nr 56, poz. 512).
178. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2002 roku w sprawie wniosku o wydanie zezwolenia na przywóz lub na wywóz odpadów niebezpiecznych za granicę (Dz.U. nr 56, poz. 513).
179. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 26 marca 2002 roku w sprawie wymagań zasadniczych dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska (Dz.U. Nr 60, poz. 546).
180. Rozporządzenie ministra Spraw wewnętrznych i Administracji z dnia 13 maja 2002 roku w sprawie wykazu przejść granicznych, którymi może być realizowany międzynarodowy obrót odpadami (Dz.U. Nr 60, poz. 548).
181. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki

- bezcisnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów trujących lub żrących (Dz.U. Nr 63, poz. 572).
182. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 kwietnia 2002 roku w sprawie określenia wzorów dokumentów wymaganych przy przywozie z zagranicy substancji kontrolowanych pochodzących z odzysku (Dz.U. Nr 66, poz. 602).
183. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 8 maja 2002 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie zwalczania organizmów szkodliwych (Dz.U. Nr 66, poz. 605).
184. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 maja 2002 roku w sprawie połączenia Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego z Instytutem Gospodarki Odpadami oraz Instytutem Informatyki Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej (Dz.U. Nr 73, poz. 667).
185. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 17 maja 2002 roku uchylające rozporządzenie w sprawie ustanowienia automatycznej rejestracji i obrotu w wywozie i przywozie substancji zubożających warstwę ozonową (Dz.U. Nr 73, poz. 668).
186. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690).
187. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 6 czerwca 2002 roku w sprawie oceny poziomu substancji w powietrzu (Dz.U. Nr 87, poz. 798).
188. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 czerwca 2002 roku w sprawie sposobu oznakowania pojemników zawierających substancje kontrolowane oraz produktów i urządzeń w skład których takie substancje wchodzi (Dz.U. Nr 94, poz. 837).
189. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 czerwca 2002 roku w sprawie wzorów wykazów zawierających informacje i dane o zakresie korzystania ze środowiska i sposobu ich przedstawiania (Dz.U. Nr 100, poz. 920).
190. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2002 roku w sprawie określenia szczegółowego sposobu przeprowadzenia oceny zagrożeń dla zdrowia ludzi i środowiska w związku z podjęciem działań polegających na zamkniętym użyciu GMO, zamierzonym uwolnieniu GMO do środowiska, w tym wprowadzeniu do obrotu produktów GMO, oraz wymagań jakie powinna spełniać dokumentacja zawierająca ustalenia takiej oceny (Dz.U. Nr 107, poz. 944).
191. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 maja 2002 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz.U. Nr 111, poz. 970).
192. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 czerwca 2002 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. Nr 112, poz. 982).
193. Ustawa z dnia 10 maja 2002 roku o ratyfikacji porozumienia między Wspólnotą Europejską a Rzeczypospolitą Polską w sprawie uczestnictwa Polski w Europejskiej Agencji Środowiska oraz Europejskiej Sieci Informatyki i Obserwacji (Dz.U. Nr 115, poz. 994).
194. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 lipca 2002 roku w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy ochrony powietrza (Dz.U. Nr 115, poz. 1003).
195. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 20 lipca 2002 roku w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz.U. Nr 129, poz. 1108).
196. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 lipca 2002 roku w sprawie wzorów formularzy służących do składania rocznych sprawozdań o masie wytworzonych,

- przywiezionych z zagranicy oraz wywiezionych za granicę opakowań (Dz.U. Nr 122, poz. 1053).
197. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 lipca 2002 roku w sprawie raportów wojewódzkich dotyczących gospodarki opakowaniami (Dz.U. Nr 122, poz. 1054).
 198. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 lipca 2002 roku w sprawie rodzajów instalacji mogących powodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości (Dz.U. Nr 122, poz. 1055).
 199. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 3 lipca 2002 roku w sprawie wykazu substancji niebezpiecznych wraz z ich klasyfikacją i oznakowaniem (Dz.U. Nr 129, poz. 1110).
 200. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 3 lipca 2002 roku w sprawie karty charakterystyki substancji niebezpiecznej i preparatu niebezpiecznego (Dz.U. Nr 140, poz. 1171).
 201. Ustawa z dnia 5 lipca 2002 roku o ratyfikacji Poprawki do Konwencji bazylejskiej o kontroli transgranicznego przemieszczania i usuwania odpadów niebezpiecznych (Dz.U. Nr 135, poz. 1142).
 202. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 31 lipca 2002 roku w sprawie określenia szczegółowego funkcjonowania Krajowej Komisji do Spraw Ocen Oddziaływania na Środowisko oraz wojewódzkich komisji do spraw ocen oddziaływania na środowisko (Dz.U. Nr 134, poz. 1139).
 203. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. Nr 134, poz. 1140).

ZAŁĄCZNIK NR VI

WYBRANE WIELOKROTNOŚCI I PODWIELOKROTNOŚCI ORAZ JEDNOSTKI UKŁADU SI

Tabela I. Wielokrotności i podwielokrotności (ułamki) jednostek w układzie SI

Symbol	Przedrostek	10^n	Wartość
E	exa	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
P	peta	10^{15}	1 000 000 000 000 000
T	tera	10^{12}	1 000 000 000 000
G	giga	10^9	1 000 000 000
M	mega	10^6	1 000 000
k	kilo	10^3	1 000
h	hekto	10^2	100
da	deka	10^1	10
-	-	10^0	1
d	decy	10^{-1}	0,1
c	centy	10^{-2}	0,01
m	mili	10^{-3}	0,001
μ	mikro	10^{-6}	0,000001
n	nano	10^{-9}	0,000000001
p	piko	10^{-12}	0,000000000001
f	femto	10^{-15}	0,000000000000001
a	atto	10^{-18}	0,000000000000000001

*Przykłady: $1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g}$; $1 \mu\text{g} = 10^{-6} \text{ g}$; $1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$; $1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ g}$; $1 \text{ fg} = 10^{-15} \text{ g}$;
 $1 \text{ mm}^3 = 10^{-6} \text{ dm}^3$; $1 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ dm}^3$;
 $1 \text{ MPa} = 10^{12} \text{ Pa}$*

Tabela II. Metryczne miary długości

Symbol	Nazwa	10^n [m]	10^n [cm]	Symbol	Nazwa	10^n [m]	10^n [cm]
Tm	terametr	10^{12}	10^{14}	mm	milimetr	10^{-3}	10^{-1}
Gm	gigametr	10^9	10^{11}	μm	mikrometr	10^{-6}	10^{-4}
Mm	megametr	10^6	10^8	nm	nanometr	10^{-9}	10^{-7}
km	kilometr	10^3	10^5	Å	angstrom	10^{-10}	10^{-8}
hm	hektometr	10^2	10^4	pm	pikometr	10^{-12}	10^{-10}
dam	dekametr	10^1	10^3	X	jednostka	10^{-13}	10^{-11}
m	metr	10^0	10^2	fm	femtometr	10^{-15}	10^{-13}
dm	decymetr	10^{-1}	10^1	am	attometr	10^{-18}	10^{-16}

Tabela III. Metryczne miary pola

Symbol	Nazwa	10^n [m ²]	10^n [cm ²]	Symbol	Nazwa	10^n [m ²]	10^n [cm ²]
km ²	kilometr kwadratowy	10^6	10^{10}	dcm ²	decymetr kwadratowy	10^{-2}	10^2
ha	hektar	10^4	10^8	cm ²	centymetr kwadratowy	10^{-4}	10^0
a	ar	10^2	10^6	mm ²	milimetr kwadratowy	10^{-6}	10^{-2}
m ²	metr kwadratowy	10^0	10^4				

Tabela IV. Metryczne miary objętości

Symbol	Nazwa	10^n [m ³]	10^n [cm ³]	Symbol	Nazwa	10^n [m ³]	10^n [cm ³]
km ³	kilometr sześcienny	10 ⁹	10 ¹⁵	dm ³	decymetr sześcienny	10 ⁻³	10 ³
hm ³	hektometr sześcienny	10 ⁶	10 ¹²	cm ³	centymetr sześcienny	10 ⁻⁶	10 ⁰
dam ³	dekametr sześcienny	10 ³	10 ⁹	mm ³	milimetr sześcienny	10 ⁻⁹	10 ⁻³
m ³	metr sześcienny	10 ⁰	10 ⁶				
		10ⁿ litrów (l)				10ⁿ litrów (l)	
hl	hektolitr	10 ²		cl	centylitr	10 ⁻²	
dal	dekalitr	10 ¹		ml	mililitr	10 ⁻³	
l	litr	10 ⁰		μl	mililitr	10 ⁻⁶	
dl	decylitr	10 ⁻¹					
<i>1 litr = 1,000 028 dm³</i> <i>1 dm³ = 0,999972 l</i>							

Tabela V. Metryczne miary masy

Symbol	Nazwa	10^n [kg]	10^n [g]	Symbol	Nazwa	10^n [kg]	10^n [g]
t	tona	10 ³	10 ⁶	g	gram	10 ⁻³	10 ⁰
q	kwintal	10 ²	10 ⁵	dg	decygram	10 ⁻⁴	10 ⁻¹
kg	kilogram	10 ⁰	10 ³	cg	centygram	10 ⁻⁵	10 ⁻²
hg	hektogram	10 ⁻¹	10 ²	mg	miligram	10 ⁻⁶	10 ⁻³
dag	dekagram	10 ⁻²	10 ⁰	μg	mikrogram	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶

Jednostki ciśnienia:

1 pascal (1 Pa = 1 N/m²)

1 bar = 10⁵ Pa = 1,02 at (atmosfer technicznych)

1 at = 1 kg/cm² = 98066,5 Pa

1 atm (atmosfera fizyczna) = 76 mm sł Hg = 1,013 · 10³ hPa

1 mm sł. Hg = 1,333 hPa

1 cm Hg = 1,333 · 10³ Pa

1 cm H₂O = 90,0665 Pa

Temperatura:

temperatura absolutnego zera (0K) = -273,15⁰C

t = T - 273,15 (T – temperatura absolutna K; t – temperatura ⁰C)

temperatura w stopniach Fahrenheita:

⁰F = 9/5 ⁰C + 32

⁰C = (⁰F - 32) · 5/9

Warunki normalne:

temperatura

i

ciśnienie

⁰C

1013,25 mbar

lub

273 K

0,1013 Mpa (101,3 kPa)

ZALĄCZNIK NR VII

WYKAZ SKRÓTÓW

AOX	- substancje chlorowcopochodne adsorbowalne (halogenowe związkiorganiczne)
ATP	- adozynotrifosforan
Bq	- bekerel, jednostka układu SI, odpowiadająca 1 rozpadowi na sekundę
BZT	- biologiczne zapotrzebowanie na tlen
ChZO	- chemiczne zapotrzebowanie na tlen
Ci	- kiur, jednostka tradycyjna, odpowiada $2,2 \times 10^{12}$ dpm
CFC	- związki chlorofluorowęglowe
dpm	- rozpad na minutę
DDT	- związki dichlorodifenylotrichloroetanowe
Dz. U.	- Dziennik Ustaw
HCFC	- związki chlorofluorowęglowodorowe
GIOŚ	- Główny Inspektor Ochrony Środowiska
I-TEQ	- międzynarodowy równoważnik toksyczności
kWh	- kilowatogodzina
m_n	- metr normalny
Mg/T	- megagram na tydzień
MJ/kg	- megadžul na kilogram
MP	- Monitor Polski
mSv	- milisiwert
μ S/cm	- mikrosimens na centymetr
OOS	- ocena oddziaływania na środowisko
PCB	- polichlorowane pochodne bifenyli
PCDD	- polichlorowane dibenzo-p-dioksyny (dioksyny)
PCDF	- polichlorowane dibenzofurany (furany)
ppb	- part per billion: jedna część na miliard (bilion) części (np. ng/g, μ g/kg)
ppm	- part per million: jedna część na milion części (np. μ g/g, mg/kg)
ppt	- part per trillion: jedna część na bilion (trylion) części (np. pg/g, ng/kg)
Rozporz.	- rozporządzenie
S	- simens (odwrotność oma)
SI	- międzynarodowy system jednostek miar
s.m.	- sucha masa
TEF	- współczynnik równoważnika toksyczności
TEQ	- równoważnik toksyczności stanowiący sumę iloczynów stężeń poszczególnych kongenerów i ich współczynników TEF
rok	- 12 miesięcy lub 52 tygodnie
VOC	- lotne związki organiczne
WWA	- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

ZAŁĄCZNIK NR VIII

SŁOWNICZEK WYBRANYCH POJĘĆ

absorpcja – pochłanianie substancji (absorbentu) przez całą objętość innej substancji (absorbentu), stanowiącej odrębną fazę;

ADP – adenosynodifosforan, nukleotyr biorący udział w przemianach energetycznych każdego żywego organizmu. Ma zdolność przechodzenia, z pobraniem energii, w ATP (fosforylacja), z którego z kolei może się odtworzyć ADP, z wydzieleniem energii;

adsorpcja – proces skupiania się substancji rozpuszczonych lub zawieszonych w wodzie (adsorbentu) na powierzchni innej substancji (adsorbentu), stanowiącej odrębną fazę (najczęściej ciało stałe); adsorpcję w wyniku tworzenia się wiązań chemicznych między adsorbentem i adsorbentem nazywamy chemisorpcją;

aerobowy proces – proces biochemiczny zachodzący wyłącznie w warunkach tlenowych;

aeroby (aerobionty, bezwzględne tlenowce, oksybionty, tlenowce) – mikroorganizmy żyjące tylko w środowisku zawierającym tlen atmosferyczny niezbędny do zapewnienia im życia i rozwoju; ich właściwym środowiskiem są m.in. wody zawierające wolny tlen;

anaerobowy proces – proces biochemiczny zachodzący bez udziału tlenu atmosferycznego, wyłącznie w warunkach beztlenowych;

anaeroby (anaerobionty, anoksybionty, beztlenowce, bezwzględne beztlenowce) – mikroorganizmy żyjące w środowisku beztlenowym, których procesy życiowe mogą przebiegać bez udziału wolnego tlenu, a niezbędną do życia energię czerpią z różnych przemian chemicznych. Wyróżnia się anaeroby bezwzględne, czyli żyjące i metabolizujące materię organiczną tylko w nieobecności wolnego tlenu, który jest dla nich czynnikiem szkodliwym lub zabójczym oraz anaeroby względne, które mogą żyć, prowadzić swój metabolizm i rozmnażać się zarówno w warunkach beztlenowych, jak i tlenowych;

antropogeniczny – określenie utworu, zjawiska lub procesu będącego produktem działalności człowieka, ale włączonego w środowisko geologiczne i często czerpiącego tworzywo ze źródeł naturalnych (np. sztuczna hałda, wykop, erozja spowodowana czynnikami mechanicznymi);

AOX → halogenowe związki organiczne;

ATP – adenosynotrifosforan, nukleotyd, związek makroergiczny, magazynujący i przenoszący energię powstającą w procesach metabolicznych (utleniania biologicznego); zbudowany z zasady azotowej (adeniny), cukru (rybozy) oraz trzech reszt kwasu fosforowego. W wyniku odłączenia od cząsteczki ATP reszty kwasu fosforowego (defosforylacja), powstaje ADP (adenosynodifosforan), z jednoczesnym uwolnieniem zmagazynowanej w wiązaniach makroergicznych energii chemicznej wykorzystywanej w procesach życiowych organizmów;

azot amonowy – azot obecny w wodzie lub ściekach w postaci jonów amonowych NH_4^+ lub wolnego amoniaku;

azot azotanowy – azot obecny w wodzie lub ściekach w postaci jonów azotanowych NO_3^- ;

azot azotynowy – azot obecny w wodzie lub ściekach w postaci jonów NO_2^- ;

azot ogólny – suma zawartości azotu amonowego, azotu azotynowego, azotu azotanowego i azotu ogólnego w wodzie lub ściekach;

azot organiczny – azot obecny w wodzie lub ściekach wchodzący w skład związków organicznych, takich jak: białka, aminokwasy, peptydy, proteiny, mocznik;

bakterie – organizmy jednokomórkowe, rozmnażające się zwykle przez podział, będące jednym z głównych czynników utrzymujących krążenie materii w przyrodzie;

beztlenowce → anaeroby;

bezwzględne tlenowce → aeroby;

biocenoza – zespół organizmów zwierzęcych i roślinnych, żyjących na określonym terenie, stanowiący autonomiczną jednostkę ekologiczną o biologicznej równowadze dynamicznej;

biodegradacja – biochemiczny rozkład związków organicznych na prostsze składniki chemiczne;

biologiczne oczyszczanie ścieków – procesy enzymatyczne wywołane przez mikroorganizmy saprofityczne, polegające na częściowym, bezpośrednim utlenianiu substancji organicznej, a także na częściowym jej przyswajaniu przez te mikroorganizmy, w wyniku czego następuje przyrost masy komórkowej czynnych mikroorganizmów. Proces prowadzony może być w warunkach naturalnych (stawy ściekowe, pola nawadniane, filtry gruntowe) lub sztucznych (złóża biologiczne, osad czynny);

biomasa – ogólne zasoby substancji organicznej znajdujące się w ekosystemie, w określonym momencie;

biotop – naturalne środowisko (przestrzeń życiowa), stanowiące podłoże życia danej biocenozy, wraz z którą tworzy na określonym terenie ekosystem;

blona biologiczna – biologicznie czynny śluzowaty nalot, składający się z różnych gatunków bakterii, glonów, pierwotniaków, powstały na ziarnach mineralnych lub innych materiałach porowatych, zdolny do pochłaniania, zatrzymywania i utleniania zanieczyszczeń organicznych, obecnych w ściekach. Bona biologiczna ma budowę warstwową, w której w zależności do warunków penetracji substratu organicznego i tlenu, można wyróżnić strefy reakcji: aerobową, anaerobową oraz endogenną;

biotyczne czynniki – żywe elementy środowiska wywierające wpływ na procesy życiowe innych organizmów. Nieożywione elementy składowe środowiska noszą nazwę *czynników abiotycznych* (np. wiatr, temperatura, wilgotność, pH).

chemisorpcja → adsorpcja;

ciepło spalania gazu – ilość ciepła jaką można uzyskać z jednostkowej objętości gazu (kJ/m^3) podczas jego całkowitego spalania w warunkach normalnych i przy założeniu, że woda powstająca podczas spalania jest unoszona przez gazy spalinowe w postaci ciekłej;

denistryfikacja – enzymatyczna redukcja azotanów lub azotynów do amoniaku lub do azotu;

desorpcja – proces odwrotny do sorpcji, czyli uwalnianie absorbentu lub adsorbentu;

destruenci (reducenci) – organizmy cudzożywne (heterotrofy), których główna rola w biocenozie polega na rozkładzie martwej materii organicznej, czyli jej stopniowej mineralizacji, wykorzystujące uwalnianą przy tym energię (np. bakterie, grzyby). Destruenci tylko znikomą część rozkładanej materii zużywają na budowę własnego ciała, rozkładając stopniowo przeważającą jej część na proste związki mineralne, które mogą być ponownie przyswojone przez producentów. Destruenci powtórnie wprowadzają w obieg materię i energię uwięzioną w martwych organizmach.

destrukcja → mineralizacja;

dioksyny (PCDD) i furany (PCDDF)- chlorowane związki o dwóch pierścieniach benzenowych, połączonych jednym lub dwoma atomami tlenu. Silnie toksyczne, kancerogenne, mutagenne i teratogenne. Powstają w procesach termicznej utylizacji odpadów, także w paleniskach domowych i wielu technologiach przemysłowych;

drobnoustroje → mikroorganizmy;

dyfuzja – przenikanie cząsteczek jednej substancji do drugiej, przy bezpośrednim zetknięciu, spowodowane bezładnym ruchem cieplnym tych cząsteczek;

ekosystem – układ ekologiczny obejmujący żywe organizmy i środowisko nieożywione (biocenozę i jej biotop), w którym zachodzi obieg materii i przepływ energii. Organizmy zasiedlające ekosystem wypełniają w nim ściśle określone funkcje: producenci przetwarzają energię słoneczną i gromadzą ją w substancjach chemicznych, konsumenci zużywają te substancje i nagromadzoną w nich energię, destruenci zapewniają mineralizację substancji organicznej i zamykają wewnętrzny obieg materii w ekosystemie;

enzymy (biokatalizatory), czyli białka proste lub złożone, o właściwościach katalitycznych, wytwarzane przez każdy żywy organizm, regulujące przebieg procesów życiowych;

eutrofizacja – proces stopniowego użyźniania zbiornika wodnego wskutek doprowadzenia do niego dużej ilości biogennych soli (np. pochodzących z biologicznie oczyszczanych ścieków zawierających azotany i fosforany) oraz substancji organicznych zawartych m.in. w nieoczyszczonych ściekach. Następuje ewolucja zbiorników wodnych, polegająca na zwiększaniu ich zasobności (produkcji biologicznej), a w końcu ich spłycaaniu i zarastaniu roślinnością, nawet do całkowitego zaniku;

faza równowagi (stacjonarna) – faza, która charakteryzuje się równowagą pomiędzy szybkością podziałów komórkowych a powstawaniem komórek martwych, czyli że szybkości powstawania i zamierania komórek są jednakowe;

faza spoczynku (zastoju) – faza, w której masa komórek wzrasta, ale nie następuje ich podział, czyli nie wzrasta ich ilość. W okresie tym komórki adaptują się do nowego środowiska (przebudowują aparat enzymatyczny), powiększają biomasę, protoplazma zaś ulega zróżnicowaniu. Komórki wykazują wzmożone procesy metaboliczne ujawniające się w postaci większego zużycia tlenu i wydzielania CO₂ oraz NH₃. W fazie spoczynkowej komórki są najbardziej wrażliwe na czynniki zewnętrzne i łatwo ulegają zniszczeniu.

faza zamierania (wyciszenia) – faza, w której szybkość obumierania komórek przewyższa szybkość ich powstawania. Następuje w okresie wyczerpywania się składników pokarmowych lub zatrucia się produktami własnej przemiany materii.;

fermentacja – reakcje biochemiczne zachodzące pod wpływem enzymów wytwarzanych przez mikroorganizmy;

halogenowe związki organiczne (AOX) – rozległa grupa związków o podstawieniach chlorowych, jodowych, bromowych, które tworzą adsorbowalne na węglu aktywnym halogenki pochodzenia organicznego. stopień toksyczności tych związków zależy od ich struktury;

homogenizacja – rozbijanie w sposób mechaniczny cząsteczek substancji organicznej w celu uzyskania jednolitej (jednorodnej), trwałej mieszaniny;

humus (próchnica) – bezpostaciowy organiczny produkt mikrobiologicznego i fizykochemicznego procesu rozkładu obumarłej substancji organicznej (resztek roślinnych i zwierzęcych). Humus stanowi część składową gleby, nadaje jej pożądaną strukturę i jest jednym ze źródeł składników pokarmowych dla roślin;

inertny – bierny, niereaktywny, obojętny;

in situ – w naturalnym, prawidłowym czy pierwotnym miejscu lub położeniu;

in vitro – w innym, sztucznym położeniu;

kancerogeny (kancynogeny) – substancje rakotwórcze dzielące się na *genotoksyczne*, czyli związki, które oddziałują bezpośrednio lub pośrednio z DNA i mają możliwość zmieniania kodu genetycznego oraz *epigenetyczne*, czyli kancerogeny, które nie zostały sklasyfikowane jako genotoksyczne i można się spodziewać różnorodności mechanizmów oddziaływania z organizmem;

katabolizm (dysymilacja) – całość procesów biochemicznych zachodzących w żywym organizmie, prowadzących do rozkładu związków organicznych, także własnych złożonych składników ustroju, połączonych z uwolnieniem energii i wydalaniem powstałych

produktów. Stopniowe uwalnianie energii i jej wykorzystanie sterowane jest przez złożone układy enzymatyczne;

klinkierzacja – proces przebiegający w wysokiej temperaturze, która zapewnia przejście mieszaniny surowców w stan ciekły różniący się od kompletnego stopienia oraz od typowego spiekania. Na skutek chłodzenia ciekłej substancji występuje zjawisko jej krystalizacji i wzrostu kryształów;

kolmatacja (zamulanie) – naturalne lub sztuczne wypełnienie por w przepuszczalnych osadach przez przesączające się ciecz, zawierające ilastą lub mułową zawiesinę;

kolonia – skupisko mikroorganizmów wyrosłych na pożywce z jednej komórki. Ma budowę charakterystyczną dla danego gatunku i uzależnioną od składu podłoża;

komórka – podstawowa jednostka strukturalna i funkcjonalna organizmów stanowiąca podstawę życia ze względu na przemiany energii uwalnianej w nieustannych procesach przemiany materii. Komórka może stanowić samodzielny organizm (pierwotniaki, niektóre glony) lub wchodzić w skład wielokomórkowych roślin i zwierząt;

kompozyt – substancja złożona, składająca się z co najmniej dwóch składników w postaci odrębnych faz;

konsumenci – organizmy (głównie zwierzęta) cudzożywne (heterotrofy), które odżywiają się martwą materia organiczną lub żywymi organizmami. Znaczną część skonsumowanej materii przetwarzają na masę własnego ciała, a stosunkowo małą część mineralizują w procesie oddychania i wydalania;

ksenobiotyki – związki zsyntetyzowane chemicznie, które pojawiły się w środowisku naturalnym jako rezultat działalności człowieka, czyli albo w ogóle wcześniej nie istniały w przyrodzie albo ich stężenie było znikome. Istnieje pogląd że nie istnieją w przyrodzie organizmy zdolne do ich rozkładu, czyli są uznawane za nierozkładalne biologicznie. Do ksenobiotyków należą m.in.: fungicydy, herbicydy, pestycydy, nematocydy i wiele innych. Pod względem budowy najczęściej są to podstawione węglowodory, fenylowe glany i wiele innych podobnych związków.

kumulacja – gromadzenie się, np. w komórkach i tkankach organizmów żywych, substancji egzogennych (pochodzących z zewnątrz) w wyniku ich dużego stężenia w środowisku. Przyczyna kumulacji jest dostępność biologiczna danego związku. kumulacja substancji toksycznych, np. jonów metali ciężkich może doprowadzić do zahamowania metabolizmu i śmierci organizmu żywego;

ładunek zanieczyszczeń – ilość wagowa zanieczyszczeń zawartych w ściekach wprowadzanych do oczyszczalni lub odbiornika w danym okresie, wyrażona w jednostkach masy określonego wskaźnika na jednostkę czasu. Wielkość ładunku zanieczyszczeń określa się najczęściej w gBZT₅/dobę lub kgBZT₅/dobę;

łańcuch pokarmowy (troficzny) – zależności pokarmowe wiążące w danej biocenozie poszczególne gatunki producentów, konsumentów i reducentów, które są kolejnymi grupami ogni w układzie, gdzie każde ogniwo poprzedzające jest źródłem pokarmu dla następnego. Ogólny schemat łańcucha pokarmowego to: rośliny – zwierzęta roślinożerne – zwierzęta drapieżne – organizmy rozkładające martwą materię organiczną (heterotrofy);

makroelementy – pierwiastki chemiczne wchodzące w skład żywej materii w ilości około 0,01÷10% świeżej masy, pobierane przez organizm z otoczenia w stosunkowo dużych ilościach, niezbędne do jego prawidłowego rozwoju. Są to: O, H, C, P, N, Si, K, S, Ca, Na, Al., Mg, Ti, Fe;

metabolizm (przemiana materii) – wzajemnie ze sobą powiązane reakcje biochemiczne związane z procesami odżywiania, przetwarzania pokarmu, syntezy składników komórki, prowadzących z wykorzystaniem energii, pochodzącej z reakcji biochemicznych, do wzrostu i rozmnażania;

metale ciężkie – ogólny termin obejmujący grupę metali i półmetali o gęstości większej niż 6 g/cm^3 . Termin powszechnie używany do określenia metali: Cd, Cr, Hg, Cu, As, Ni, Pb, Zn i inne związanych z problemami skażenia i toksyczności. Występują w sposób naturalny w minerałach skałotwórczych i rudach, dlatego zawsze występują jako tło w glebach, osadach, wodach i żywych organizmach. Skażenie oznacza wystąpienie anomalnie dużego stężenia metali w stosunku do poziomu ich tła. Samo występowanie metalu nie jest wystarczającym dowodem skażenia, ważne jest jego stężenie w glebie. W geologii metale ciężkie zalicza się do grupy pierwiastków śladowych;

mikroelementy – pierwiastki chemiczne wchodzące w skład żywej materii w ilości około $0,00001 \div 0,01\%$ świeżej masy. Pobierane przez organizm z otoczenia w znikomych ilościach (śladowych), są niezbędne do prawidłowego przebiegu procesów fizjologicznych. Są to: Mn, Ba, Sr, Cu, Zn, Li, As, Br, J i inne;

mikroorganizmy (drobnoustroje) – mikroskopijne organizmy o stosunkowo prymitywnej budowie, do których zalicza się wirusy, bakterie, pleśniaki i drożdże, jak również glony i pierwotniaki. Reprezentują trzy podstawowe ogniwa sieci troficznej: producentów, konsumentów i reducentów;

mineralizacja (destrukcja) – jedno z podstawowych ogniw obiegu materii w biocenozie. W procesie biodegradacji następuje rozkład substancji organicznej na proste związki mineralne z udziałem wielu mikroorganizmów (destruentów). Mineralizacja może przebiegać w warunkach tlenowych, wówczas polega na utlenianiu (produktem rozkładu są m.in. azotany i fosforany), jak i w warunkach beztlenowych, wówczas oparta jest o procesy redukcji (produktem rozkładu są m.in. siarkowodór, amoniak i kwasy);

monitoring – kontrola ekosystemu, czyli cykliczne pomiary stężenia zanieczyszczeń i wybranych parametrów ekosystemu (fizycznych, chemicznych i biologicznych), pozwalające na śledzenie ich zmian w czasie. celem jest ochrona środowiska;

nitryfikacja – proces mikrobiologiczny utleniania amoniaku i soli amonowych do azotynów i azotanów, prowadzony przez nitryfikacyjne bakterie chemoautotroficzne, zdobywające energię konieczną do syntezy komórek przez utlenianie mineralnych związków azotu;

odazotowanie – usuwanie azotu z zaazotowanych gazów;

odpady energetyczne – wszystkie cząstki skały płonnej wydzielone zarówno w procesie rozdrabniania (mielenia) paliwa węglowego jak i wydalone z komory paleniskowej oraz wychwytywane w ciągu dynamicznego odprowadzania i oczyszczania spalin;

odpady górnicze – wszystkie skały uzyskiwane w trakcie eksploatacji nieselektywnej a wydzielane na różnych etapach procesu wydobywczo-przerobczego;

odpady hutnicze – cząstki rudy nie będące metalem z ich domieszkami wydzielane w procesie ich obróbki hutniczej, np. chemicznej, termicznej, elektrolitycznej;

odpady nagromadzone – zalegają na wydzielonych terenach w wyniku składowania;

odpady promieniotwórcze – powstające podczas pracy reaktorów jądrowych oraz przy produkcji nukleidów promieniotwórczych, których dalsze wykorzystywanie lub dekontaminacja są w danym czasie nieopłacalne lub niemożliwe;

odpady składowane – odprowadzane na naziemne lub podziemne składowiska, hałdy, do stawów osadowych zakładów je wytwarzających lub innych jednostek;

odpady unieszkodliwiane – poddane zabiegom technologicznym, polegającym na neutralizacji chemicznej, spalaniu, kompostowaniu itp.;

odpady wykorzystane gospodarczo – zużytkowane na własne potrzeby wytwórcy, sprzedane lub przekazane nieodpłatnie jako surowiec wtórny, a także odpady wykorzystane w celach nieprzemysłowych (np. do niwelacji terenu, podszadzenia i wypełniania wyrobisk podziemnych i odkrywkowych, niecek osiadań, do rekultywacji);

odsiarczanie – usuwanie siarki i jej związków z zanieczyszczonych gazów;

osuszanie gazu – usuwanie pary wodnej w celu ograniczenia wykrapłania się wody podczas procesów przeróbki lub transportu (następuje także obniżenie temperatury punktu rosy);

ogólny węgiel organiczny → węgiel organiczny;

organiczne związki – związki węgla połączonego z innymi pierwiastkami chemicznymi za pomocą wiązań atomowych (kowalencyjnych);

osad ściekowy – osad wydzielony z surowych ścieków, w procesie sedymentacji;

paliwo zastępcze (w procesie spalania odpadów) – gaz ziemny, olej opałowy, gaz koksowniczy, wprowadzane do komory spalania odpadów w celu zwiększenia ich wartości opałowej;

PCB → polichlorowane bifenyle;

PCDD → dioksyny i furany;

PCDDF → dioksyny i furany;

pierwiastki śladowe (rzadkie) – wszystkie pierwiastki chemiczne uczestniczące w śladowych ilościach w budowie minerałów tworzących skały. Stanowią łącznie 1% skał skorupy ziemskiej, a pozostałe 99% stanowią makroelementy. W procesach magmowych na ogół nie tworzą własnych minerałów. Większość z tych pierwiastków bierze udział w procesach pomagmowych, w których znajdują się sprzyjające warunki do ich koncentracji w stopniu umożliwiającym wydzielenie się we własnych minerałach, a nieraz nawet do nagromadzenia się w formie wartościowych złóż. Pierwiastki te w ilościach śladowych są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania biochemicznego organizmów żywych (ich nadmiar jest szkodliwy). Są to: Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Ag, As, Ba, Be, Br, Cd, Co, i inne;

plastyfikatory – substancje będące dodatkiem do podstawowego tworzywa, które wnikają między łańcuchy jego makrocząsteczek, zmniejszają oddziaływanie między nimi, a przez to zwiększają ich giętkość (np. oleje roślinne, ftalan dibutyłowy, adypinian diizooktyłowy, fosforan dietyloheksyłowy i fosforan dietyłowy);

polichlorowane bifenyle (PCB) – związki o różnej liczbie i układzie podstawień chlorowych. Tworzą około 200 podstawień, tzw. kongenerów;

polimery – organiczne związki wielkocząsteczkowe pochodzenia naturalnego (np. bitumy, drewno, kauczuk, niektóre oleje) lub syntetycznego (tworzywa sztuczne);

pozostałość po prażeniu – pozostałość, podana w mg/dm³, po wyprażeniu w temperaturze 550⁰C suchej pozostałości. Jest ona miarą zawartości substancji mineralnych (np. w osadzie). Różnica pomiędzy suchą pozostałością i pozostałością po prażeniu nazywa się *stratą przy prażeniu*;

proces biochemiczny – proces chemiczny zachodzący w żywym organizmie;

proces biotechniczny – zespół zabiegów technicznych wymagających zastosowania odpowiednich enzymów lub drobnoustrojów w celu wywołania w substracie żądanych przemian chemicznych lub namnożenia drobnoustrojów jako biomasy;

producenti (rośliny) – organizmy samożywne (autotrofy), syntetyzujące materię organiczną z substancji mineralnych. Wynik ich działalności życiowej, zwany produkcją pierwotną, ma podstawowe znaczenie w biocenozie, decyduje bowiem o wielkości produkcji wtórnej, czyli obfitości organizmów cudzożywnych;

produkt rozkładu – substancja, czyli związek chemiczny, powstająca w wyniku jednej lub wielu reakcji chemicznych lub biochemicznych. Produkt jednej reakcji może stanowić substrat następnej reakcji;

próchnica → humus;

przemiana materii → metabolizm;

równoważna liczba mieszkańców (RM) – ilość zanieczyszczeń przeliczona na liczbę mieszkańców, która wytworzyłaby daną ilość ścieków według określonych jednostkowych przeliczników. Jest ona ogólnym wskaźnikiem ładunku zanieczyszczeń ścieków;

screening – przegląd, przesiew, osłona chroniąca, obraz;

siedlisko – zespół warunków środowiska abiotycznego niezależny od biocenozy;

sorpcja – ogólna nazwa, która obejmuje absorpcję i adsorpcję;

stężenie zanieczyszczeń – ilość poszczególnych zanieczyszczeń w ściekach wyrażona w jednostkach masy lub energii przypadających na jednostkę objętości ścieków;

stopień oczyszczenia – stosunek ilości zanieczyszczeń usuniętych ze ścieków w procesie fizycznego, chemicznego, biologicznego i biochemicznego do początkowej ilości tych zanieczyszczeń (w %). Stopień oczyszczenia wyrażony jest jako BZT₅ lub ChZT i dla pełnego oczyszczenia ścieków wynosi powyżej 90%;

substrat – substancja lub związek chemiczny, ulegająca przemianom w wyniku reakcji chemicznej lub biochemicznej z wytworzeniem produktu. Substrat pewnej reakcji może być produktem innej reakcji;

sucha masa – masa materiału biologicznego pozbawionego wody przez wysuszenie w temperaturze 105⁰C;

sucha pozostałość – pozostałość, podana w mg/dm³, po odparowaniu i wysuszeniu do stałej masy próbki w temperaturze 105⁰C. Różnica pomiędzy suchą pozostałością i pozostałością po prażeniu nazywa się *stratą przy prażeniu (sucha pozostałość lotna)*;

sybioza – współżycie organizmów dwóch różnych gatunków, poprzez korzystanie jednego organizmu z drugiego i na odwrót ale przynoszące im korzyści;

środowisko – woda, powietrze, gleba oraz artykuły spożywcze, sposób życia, ekspozycja zawodowa, leki i wszystkie aspekty wzajemnych relacji człowieka z otoczeniem;

toksyczny (czynnik, związek, substancja) – szkodliwe dla organizmu czynniki fizyczne lub związki (substancje) chemiczne, przenikające ze środowiska. Zdolne są do wywołania zaburzeń procesów życiowych lub śmierci;

toksyny – związki (substancje) chemiczne wytwarzane przez organizmy żywe i mające właściwości trujące dla innych organizmów;

ultraelementy – pierwiastki chemiczne wchodzące w skład żywej materii w ilościach śladowych, czyli poniżej 0,00001% świeżej masy. Są to złoto, srebro, ołów, rtęć i inne;

uzdatnianie – poddawanie paliw gazowych określonym procesom mającym na celu dostosowanie ich właściwości do wymagań użytkownika;

wartość opałowa gazu – ilość ciepła, którą można uzyskać z jednostkowej objętości gazu (kJ/m³) podczas jej całkowitego spalania w warunkach normalnych i przy założeniu, że powstająca woda jest odprowadzana w składzie gazów spalinowych w postaci pary;

węgiel organiczny (całkowity, ogólny) – pojęcie umowne określające zawartość węgla w związkach organicznych znajdujących się w ściekach;

wielopierścieniowe związki aromatyczne (WWA) – związki będące połączeniami pierścieni benzenowych, powstające, m.in. w procesach spalania, przeróbki węgla i produktów naftowych;

wtórne zanieczyszczenie – zanieczyszczenie spowodowane antropogenicznym wprowadzeniem do odbiornika substancji zanieczyszczających;

WWA → wielopierścieniowe związki aromatyczne;

wypelniacze – substancje organiczne (np. sadza, skrawki włókien celulozowych) lub nieorganiczne (np. mączka kwarcowa, kaolin, talk, sproszkowane metale) stanowiące dodatek np. do produkcji tworzyw sztucznych, obniżające koszty produkcji materiału bez pogarszania jego właściwości, wpływające korzystnie na cechy mechaniczne i cieplne materiału i poprawiające jego odporność ogniową;

zasoby – elementy przyrody ożywionej i nieożywionej, które są wykorzystywane w stanie naturalnym przez człowieka. Dzielą się na *z.wyczerpywalne*, których eksploatacja może przyczynić się do ich wyczerpania i zniszczenia; *z.niewyczerpywalne*, których eksploatacja nie zagraża ich wyczerpaniu; *z. odnawialne*, które są uwarunkowane racjonalnym ich

wykorzystywaniem przez długi okres czasu; z. *nieodnawialne*, które wymagają bardzo długiego okresu powstawania i odnowienia.

LITERATURA

1. Alloway B.J., Ayres D.C.: *Chemiczne podstawy zanieczyszczania środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
2. Anielak A.M.: *Wybrane zagadnienia z technologii ścieków przemysłowych*. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1997.
3. Anielak A.M.: *Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
4. Baczyński T., Styka W.: *Charakterystyka osadów ściekowych*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
5. Bandrowska Cz.: *Wykorzystanie odpadów z neutralizacji ługów potrawiennych*. Materiały Budowlane, Nr 11/1991.
6. Barański A.: *Piroliza – nowa technologia unieszkodliwiania odpadów*. Eko-Problemy, Nr 2, 1993.
7. Barbusiński K.: *Leksykon biotechnologii środowiskowej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
8. Bedyk Cz., Ladra T.: *Spalarnia niebezpiecznych odpadów dla regionu centralnego*. Eko-problemy, Nr 2, 1994.
9. Bernacka J., Pawłowska L.: *Przeróbka i zagospodarowanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1996.
10. Betlej Z. i inni: *Wykorzystanie zredukowanych odpadów pochromowych*. Materiały Budowlane, Nr 4/1983.
11. Biernacka E., Obarska-Pempkowiak H.: *Postawmy na zielone*. Wiedza i Życie, Nr 9 (717), indeks 38142X, wrzesień 1994.
12. Blazej J.: *Deponace tekutych odpadu v hluboko ulozenych propustnych vrstvach*. Prednska, VSB, Ostrava, 1995.
13. Bijanowicz J.: *WABIO – biotermiczna utylizacja odpadów*. Eko-Problemy, 2, 1993.
14. Bolewski A.: *Mineralogia szczegółowa*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1982.
15. Borkowska M., Smulkowski K.: *Minerały skałotwórcze*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1973.
16. Bugajny R.: *Przygotowanie budowli ziemnych pod składowiska odpadów*. Eko-Problemy, Nr 2, 1993.
17. Bugajny R.: *PEHD czy PCV*. Eko-Problemy, Nr 4, 1993.
18. Bujok P.: *Analyza rizik ukladani tekutych odpadu do propustnych vestev se zamerenim na vytezena loziska uhlovodiku*. Ziemni plyn a nafta, 40, 3, Hodonin, 1996.
19. Buraczewski G., Bartoszek B.: *Biogaz wytwarzanie i wykorzystanie*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1990.
20. Buraczewski G.: *Biotechnologia osadu czynnego*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1994.
21. Cebula J., Górka P., Barbusiński K., Kościelniak H., Księżyk-Sikora A.: *Wybrane zagadnienia ochrony środowiska*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
22. Chełmicki W.: *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
23. Chodur M.: *Doświadczenia firm grupy Vivendi Water w zakresie termicznych procesów przeróbki osadów ściekowych*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St.

- Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
24. Ciba J., Trojanowska J., Zołotajkin M.: *Mała encyklopedia pierwiastków*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
 25. Cichy W.: *Nowe spojrzenie na uszczelnienia dna składowisk odpadów komunalnych*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 3, 1994.
 26. Ciesielczyk E., Jaracz Cz.: *Pozyskiwanie ciekłych paliw węglowodorowych z gazu ziemnego*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nafta-Gaz-2002. Tradycje i nowoczesność". Bóbrka 23-25 maj 2002 r. Wydawnictwo: Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego. Zarząd Główny.
 27. Coss Simon: *Skąd się biorą dyrektywy?* Dialog Europejski. Magazyn na Rzecz Integracji Europejskiej, Maj-Czerwiec 1999/3.
 28. Cywiński B., Gdula St., Kempa E., Kurbiel J., Płoszański H.: *Oczyszczanie ścieków. Oczyszczanie mechaniczne i chemiczne*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1983.
 29. Czarnomski K., Gościński W.: *Składowiska odpadów. Sposoby urządzania składowisk chroniących środowisko naturalne przed szkodliwymi następstwami gromadzenia odpadów*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 2, 1992.
 30. Czarnomski K.: *Unieszkodliwianie odpadów niebezpiecznych metodą spalania*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, nr 3, 1992.
 31. Czarnomski K., Gościński W.: *Instalacja pozyskania gazu opałowego ze składowiska odpadów komunalnych*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 4, 1992.
 32. Czarnomski K.: *Instrukcja pozyskiwania gazu ze składowiska odpadów*. Eko-problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 4, 1992.
 33. Dembicki E.: *Optymalne technologie uszczelnień składowisk odpadów*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 4, 1995.
 34. Dziędziela W.: *Procesy fermentacyjne w wysypiskach odpadów komunalnych*. MGPIB, OBREM, Łódź, 1991.
 35. Dziędziela W.: *Procesy fermentacyjne w wysypiskach odpadów komunalnych*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 3, 1993.
 36. Ewertowska-Madej Z., Nitecki T.: *Ocena odporności warstwy bitumicznej na oddziaływanie odcieku wysypiskowego*. Gospodarka Wodna Nr 12, 1990.
 37. Fanti K.: *Stawy osadowe i składowiska*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1980.
 38. Fechner W., Kotowski W.: *Przetwarzanie odpadów organicznych via biogaz do metanolu*. Gospodarka Paliwami i Energią, Nr 6, 1998.
 39. Fikus M.: *Biotechnologia*. Wiedza Powszechna, Warszawa 1989.
 40. Froński A., Klupa A.: *Inspekcja rurociągów podstawą bezpiecznego i sprawnego transportu gazu ziemnego i ropy naftowej*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nafta-Gaz-2002. Tradycje i nowoczesność". Bóbrka 23-25 maj 2002 r. Wydawnictwo: Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego. Zarząd Główny.
 41. Garstka J.: *Zagrożenie środowiska naturalnego skażeniami przemysłowymi i promieniotwórczymi*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Nr 4/1991.
 42. Głazewski M., Osmulska-Mróz B., Pachowski J.: *Koncepcja techniczno-biologicznej obudowy składowisk odpadów komunalnych z zastosowaniem popiołów lotnych i osadów ściekowych*. Konferencja Naukowo-Techniczna "Geotechniczne aspekty składowania odpadów", Gdańsk 1994.

43. Głazewski M., Ziaja W.: *Umocnianie skarp i zboczy budowli ziemnych metodą hydroobsiewu z wykorzystaniem osadów ściekowych*. Wia. Mel. I Łąk, 2/1994.
44. Głazewski M.: *Zastosowanie osadów ściekowych i popiołów lotnych do obudowy skarp wysypisk komunalnych z wykorzystaniem techniki hydroobsiewu*. Ochrona powietrza i problemy odpadów, Nr 2/1996.
45. Głowiak B., Kempa E., Winnicki T.: *Podstawy ochrony środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1985.
46. Golimowski J.: *Co z górą śmieci?*. Wiedza i Życie, Nr 9/1998.
47. Gomółka E., Szaynok A.: *Chemia wody i powietrza*. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1986.
48. Gomółka E.: *Usuwanie olejów ze ścieków*. Ochrona Środowiska, Nr 463/1(23), Wrocław 1985.
49. Góra E.: *Rolnicze wykorzystanie popiołów elektrownianych*. Ochrona Powietrza i Gospodarka Odpadami, Nr 5, 1994.
50. Gruszecki K.: *Ochrona prawna środowiska w Unii Europejskiej - źródła prawa europejskiego*. Aura 1/1999.
51. Jakubowicz K., Gmiński Zb., Czopera J., Staroń Ł.: *Rozwój techniki wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego w rejonie zachodniej Polski*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nafta-Gaz-2002. Tradycje i nowoczesność". Bóbrka 23-25 maj 2002 r. Wydawnictwo: Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego. Zarząd Główny.
52. Jaskólski T., Tatys Z., Radecki St.: *Górnictwo naftowe - osiągnięcia i perspektywy*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nafta-Gaz-2002. Tradycje i nowoczesność". Bóbrka 23-25 maj 2002 r. Wydawnictwo: Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego. Zarząd Główny.
53. Jędrzak A.: *Ilość i skład chemiczny odcieków z wysypisk*. Materiały konferencji szkoleniowej, Budowa Bezpiecznych Składowisk Odpadów, Wisła, 1993.
54. Kalus D., Bujok P.: *Moznosti fixace škodlivin ve vytezených ložiscích uhlovodíku*. 2. Mez. Konf. Ekotrend 93. VSB Ostrava, 1993.
55. Kalus D., Bujok P.: *Możliwości wykorzystania starych odwiertów eksploatacyjnych z wyeksploatowanych złóż węglowodorów do zatłaczania ciekłych odpadów*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie", Tom I, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, 20-21 czerwiec 1996.
56. Karaczun Z. M., Indeka L.G.: *Ochrona środowiska*. Agencja Wydawnicza ARIES, 1999.
57. Kaśmicki E.: *Społeczne aspekty zrównoważonego rozwoju*. Aura, 1/1999.
58. Kempa E.: *Gospodarka odpadami miejskimi*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1983.
59. Kempa E.: *Wysypiska lat dziewięćdziesiątych*. Sympozjum Szkoleniowe, Gospodarka Odpadami na Wysypiskach, Poznań, 21-22 maj, 1992.
60. Kempa E.: *Rozwiązania współczesnych wysypisk odpadów komunalnych*. Materiały Sympozjum Szkoleniowego, Ścieki i Odpady w Środowisku, Kiekrz, czerwiec 1993.
61. King P.M., Mc Terman W.F.: *Chemical coagulation of for sand procesing waste water procedings 28th*. Industrial waste Conference Purdue University, 1993.
62. Konopka E., Lewkiewicz-Małysa A.: *Influence of the Galvanizing industry on the Environmental Pollution in Poland*. International Scientific Conference "Envirinment and Industry", Frydek-Mistek/Ostrawa, czech Republic, 1995.

63. Kostuch R.: *Problemy zachowania różnorodności biologicznej środowiska rolniczego*. VIII Ogólnopolskie Forum „Ekologia Wsi”, Krosno-Solina 1998, Wydawnictwo CEEW, Krosno.
64. Kośmider J., Cichocki K., Zamelczyk-Pajewska M., Wyszyński B.: *Odory z produkcji kwasu fosforowego*. Ochrona Powietrza, Nr 6, 1999.
65. Kośmider J., Mazur-Chrzanowska B., Wyszyński B.: *Odory*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002.
66. Koter M.: *Chemia rolna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992.
67. Kowal A.L.: *Technologia wody*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1977.
68. Kowal A.L., Świdarska-Bróż M.: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław 2000.
69. Kowalik P.: *Ochrona środowiska glebowego*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
70. Kosioł W., Kawalec P.: *Produkcja kruszyw z surowców odpadowych i ich zastosowanie w budownictwie komunalnym i inżynierskim*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
71. Kozłowski S.: *Ekorozwój. Wyzwanie XXI wieku*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
72. Krogulec N.J.: *Spalanie odpadów przemysłowych*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Nr 1, 1994.
73. Książkiewicz M.: *Geologia dynamiczna*. Wydawnictwo Geologiczne, 1972.
74. Kugiel M., Barczyk J., Bednorz L., Jureczko A.: *Likwidacja zalewisk bezodpływowych z wykorzystaniem materiału odpadowego na obszarze wpływów eksploatacji Rybnickiej Spółki Węglowej S.A.* Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
75. Kunicki-Goldfinger W.J.H.: *Życie bakterii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
76. Kutera J.: *Wykorzystanie ścieków w rolnictwie*. PWRiL, Warszawa 1988.
77. Lemański J.: *Zasady uszczelniania wysypisk, ujmowania biogazu i odcieków*. Arka Konsorcjum, Poznań, 1993.
78. Lemberger M., Rychlicki S., Siemek J.: *Kierunki rozwoju badań naukowych i kształcenia inżynierów AGH dla potrzeb górnictwa naftowego w Polsce*. Konferencja Naukowo-Techniczna "Rola zaplecza naukowo-badawczego w realizacji zadań górnictwa naftowego", Warszawa, 8 listopad 1995.
79. Lewandowska K.: *Kompostowanie - jeden z elementów kompleksowej gospodarki odpadami w Polsce*. Część 1. Przegląd Komunalny 4/98.
80. Lewicki R.: *Środki techniczne do zapobiegania migracji gazu z wysypisk odpadów komunalnych*. MGPIB, OBREM, Warszawa-Łódź, 1991.
81. Lewkiewicz-Małysa A., Konopka E.: *Badanie galwanizatorskiego osadu poneutralizacyjnego ze względu na możliwość jego zagospodarowania*. Materiały z XXVII Międzynarodowej Konferencji naukowo-Technicznej Przeróbki Kopaliny, Zakopane, 1995.
82. Lewkiewicz-Małysa A., Konopka E.: *Poszukiwanie nowych efektywnych metod w unieszkodliwianiu odpadów przemysłu galwanizatorskiego*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie", Tom II, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, 20-21 czerwiec 1996.
83. Łaciak S., Lewkiewicz-Małysa A., Macuda J.: *Unieszkodliwianie odpadów przemysłowych z aktywnej biosfery poprzez magazynowanie ich w otworach*

- wiertniczych przeznaczonych do likwidacji. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji i gazownictwie", Kraków, 1992.
84. Makles Z., Świątoniowski A, Grybowska S.: *Niebezpieczne dioksyny*. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 2001.
 85. Markiewicz M.: *Hydrorafinacja olejów przepracowanych w Rafinerii Nafty Jedlicze S.A.* II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nafta-Gaz-2002. Tradycje i nowoczesność". Bóbrka 23-25 maj 2002 r. Wydawnictwo: Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego. Zarząd Główny.
 86. Marov V., Doobrevski I.: *Treatment of waste water containing oil*. Water Science and Technology. Nr 1 (21), 1989.
 87. Mazurkiewicz M. i inni: *Kierunki i uwarunkowania zagospodarowania odpadów powstających przy wydobywaniu i przeróbce węgla kamiennych*. Materiały konferencyjne "Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych", AGOS Katowice-Wisła 1995.
 88. Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś A.: *Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych*. Część I (ekologia i technologia), Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, 1997.
 89. Moffet H. A kol.: *Management of Hazardous wastes by Deep-Well Disposal*. University of Alabama, 1987.
 90. Molenda J.: *Gaz ziemny. Paliwo i surowiec*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
 91. Neterowicz J., Polkowski J.: *Unieszkodliwianie odpadów w przyłazach energetycznych*. Eko-Problemy, Nr 2, 1994.
 92. Nowak E.: *Termiczne metody unieszkodliwiania odpadów*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Nr 6, 1994.
 93. Oleniacz R.: *Piece cementowe – konkurencja dla spalarni odpadów*. Aura Ochrona Środowiska, Nr 2/1998.
 94. Olszewski J.: *Wymywanie zanieczyszczeń z osadów poneutralizacyjnych z galwanizerni pod wpływem opadów atmosferycznych*. Materiały Sympozjum "Usuwanie metali ciężkich z wody i ścieków", Warszawa, 1998.
 95. O'Neill P.: *Chemia środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław 1998.
 96. Paluch D.: *Wpływ składowisk odpadów metalurgicznych na środowisko*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 97. Panek K.: *Spalarnia na kółkach*. Eko-Problemy, Nr 1, 1994.
 98. Parys S.: *Kompost - produkt chciany czy nie chciany?* Eko-problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, 1993.
 99. Pawłowski L., Kozak Z.: *Chemiczne zagrożenie środowiska w Polsce*. Wiadomości Chemiczne, R 43, Nr 5-6/1989.
 100. Peszko A.: *Elementy organizacji i zarządzania przedsiębiorstwem*. Wydawnictwa AGH, Kraków 1996.
 101. Piotrowska H., Kwiatkowski-Bluhm J., Litwin B.: *Zbiór zaleceń do programowania, projektowania i eksploatacji wysypisk odpadów komunalnych*. MGPIB, OBREM, Łódź, 1993.
 102. Płaza K.: *Dioksyny – niebezpieczne związki*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, Nr 2, 1994.
 103. Projekt rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie

- szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów.
104. Przeniosło A.: *Unieszkodliwianie odpadów szpitalnych*. Eko-Problemy, Nr 2, 1995.
 105. Przywarska R.: *Uwarunkowania w zakresie programowania i projektowania wysypisk odpadów komunalnych*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 4/1994.
 106. Rosik-Dulewska Cz.: *Oddziaływanie osadów ściekowych na środowisko przy ich nieprzemysłowym wykorzystaniu*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 107. Rudolf Z., Mączyński M., Linowski Z., Skalmowski K.: *Usuwanie i wykorzystanie odpadów miejskich*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1967.
 108. Rule J.H.: *Problemy nauki o ochronie środowiska*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1994.
 109. Runowski H.: *Ograniczenia i szanse rolnictwa ekologicznego*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1996.
 110. Rymar S.: *Możliwość pozyskania metanu z wysypisk odpadów komunalnych*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie", Tom II. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, 20-21 czerwiec 1996.
 111. Schiechl B.: *Inżynieria ekologiczna w budownictwie wodnym i ziemnym*. Wydawnictwo ARKADY, Warszawa 1999.
 112. Schlegel H. G.: *Mikrobiologia ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
 113. Siemiński M.: *Środowiskowe zagrożenia zdrowia*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2001.
 114. Singleton P.: *Bakterie w biologii, biotechnologii i medycynie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
 115. Siuta J.: *Agrotechniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost*. Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin 1996.
 116. Skalmowski K., Chwastowska J.: *Metale ciężkie w kompostach odpadów komunalnych*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, nr 4, 1993.
 117. Skośkiewicz E.: *Kompostowanie - przegląd procesów*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 2, 1993.
 118. Soliński I.: *Ekonomika i organizacja sektorów systemu paliwowo-energetycznego*. Wydawnictwa naukowo-Dydaktyczne Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 2000.
 119. Soliński I.: *Efekty wykorzystania biogazu ze składowiska odpadów komunalnych*. Materiały Międzynarodowego Seminarium "Recykling Odpadów V". Ostrawa 2001.
 120. Soliński J.: *Biomasa. Energia odnawialna*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria z Lampką Górniczą Nr 9. Kraków 2001.
 121. Stefanicki J.: *Odpady komunalne i osady ściekowe - razem czy oddzielnie*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 1, 1993.
 122. Steliga T.: *Zastosowanie węgli aktywnych w procesach oczyszczania wód i ścieków na kopalniach ropy naftowej i gazu ziemnego*. Praca doktorska, AGH, 1994.
 123. Steliga T.: *Regeneracja węgla aktywnych po procesie adsorpcji zanieczyszczeń ze ścieków kopalnianych*. Nafta, Nr 1, 1996.
 124. Steliga T.: *Nowe metody oczyszczania ścieków i wód złożowych na kopalniach ropy naftowej i gazu ziemnego*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji

- otworowej i gazownictwie", Tom II, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, 20-21 czerwiec 1996.
125. Stępnia S.: *Emulsje olejowe i ścieki zaolejone*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Nr 9, 1991.
 126. Stępnia S.: *Elementy konstrukcyjno-technologiczne składowisk odpadów przemysłowych*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 1996.
 127. Stępnia S.: *Rozwiązania techniczne chroniące wody gruntowe pod wysypiskami. Ochrona wód przed zanieczyszczeniami*. Ochrona Powietrza i problemy Odpadów, Nr 2, 1996.
 128. Stępnia S.: *Nowoczesne przykrycia rekultywowanych składowisk*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 2, 1997.
 129. Stępnia S.: *Elementy konstrukcyjno-technologiczne składowisk odpadów komunalnych*. Biuro Projektowo-Technologiczne PREDOM-PROJEKT, Wrocław, 1997.
 130. Stępnia S.: *Ekologiczne przykrycia naziemnych składowisk odpadów*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 9/1998.
 131. Stobiecki S.: *Problem nieprzydatnych środków ochrony roślin w Polsce*. VIII Ogólnopolskie Forum „Ekologia Wsi”, Krosno-Solina 1998, Wydawnictwo CEEW, Krosno.
 132. Stobierska E.: *Otrzymywanie barwników czarnych nie zawierających związków kobaltu*. Materiały Budowlane, Nr 9/1988.
 133. Stolorz B.: *Problem zagospodarowania odpadów powęglowych*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 3, 1996.
 134. Styka W.: *Osady ściekowe w świetle ustawy o odpadach*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 135. Styka W.: *Systematyka metod przeróbki osadów ściekowych*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 136. Styka W.: *Osady ściekowe w świetle ustawy o odpadach*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 137. Sztaba K.: *Warunki zagospodarowania surowców wtórnych i odpadowych oraz kryteria doboru technologii ich przetwarzania*. Materiały Międzynarodowego Sympozjum "Gospodarka surowcami odpadowymi z górnictwa i energetyki", Kraków 1996.
 138. Szyszko J.: *Zasady zrównoważonego rozwoju a polityka ekologiczna Rzeczypospolitej Polskiej*. Środowisko 6 (150)/99.
 139. Święcicki. Cz.: *Gleboznawstwo melioracyjne*. Wydawnictwo PWN, Warszawa, 1974.
 140. Tietze B. I inni: *Wytwarzanie biogazu z odpadów gospodarstw rolnych oraz odpadów komunalnych*. Gospodarka Paliwami i energią, nr 1, 1996.
 141. Tyszk M., Starzyk K., Międzobrodzki J.: *Rola biocenozy w oczyszczaniu ścieków metodą osadu czynnego*. Aura 2/1998.
 142. Ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. *O badaniach i certyfikacji* (Dz.U. Nr 55, poz.250, z późn. zm.)
 143. Walczak W., Sobierajski W.: *Postępy w oczyszczaniu ścieków ropopochodnych sposobem mechanicznym i biosorpcyjnym*. GWiTS, Nr 10, 1992.
 144. Weryński B., Peukert S.: *Analiza krajowych metod technologicznego wykorzystania odpadowych surowców mineralnych z górnictwa i energetyki*. Materiały

- Międzynarodowego Sympozjum "Gospodarka surowcami odpadowymi z górnictwa i energetyki", Kraków 1996.
145. Wesołowski A.: *Współczesne metody unieszkodliwiania odpadów*. AURA Ochrona Środowiska, Nr 6/98.
 146. Wesołowski A.: *Współczesne metody unieszkodliwiania odpadów (2)*. AURA Ochrona środowiska, Nr 7/98.
 147. Wesołowski A.: *Współczesne metody unieszkodliwiania odpadów (III)*. AURA Ochrona Środowiska, Nr 8/98.
 148. Wiąckowski S.: *Ekologia Ogólna*. Oficyna Wydawnicza BRANTA, Bydgoszcz 1998.
 149. Więckowski Cz.: *Odnawialne źródła energii w polityce ekologicznej państwa*. Materiały Międzynarodowego Seminarium "Odnawialne źródła energii w strategii rozwoju zrównoważonego", Warszawa 1998.
 150. Więsyk J.: *Nie wyrzucaj! Zrób kompost*. Kwietnik. Rośliny doniczkowe. Balkony. Ogrody, nr 5 (65), maj 2000.
 151. Winnicki T.: *Polimery czynne w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1989.
 152. Woś A.: *Ekonomika odnawialnych zasobów naturalnych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.
 153. Wysokiński L.: *Budowa, modernizacja i rekultywacja składowisk odpadów komunalnych*. Przegląd Komunalny, Nr 4, 1998.
 154. Zakrzewski S. F.: *Podstawy toksykologii środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
 155. Zamelczyk-Pajewska M.: *Związki organiczne w gazach odlotowych z wytwórni kwasu fosforowego*. Ochrona Powietrza, Nr 1, 2000.
 156. Zareba J.: *Nikt nie chce spalarni*. Aura, Nr 5, 1990.
 157. Żak M.: *Przyczyny i sposoby przeciwdziałania pyleniu popiołów lotnych na składowiskach*. Ochrona Powietrza i Gospodarka Odpadami, Nr 1, 1994.
 158. Żakowska H.: *Nowe zasady odpowiedzialności za odpady opakowaniowe wynikające z regulacji prawnych obowiązujących od 1.01.2002 r.* Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 159. Żeglin-Kurbiel K.: *Kierunki rozwojowe odzysku i wykorzystania produktów z procesów przeróbki osadów ściekowych*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami 2002.
 160. Żygadło M.: *Zintegrowany system gospodarki odpadami*. Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych, Nr 4, 1995.
 161. Żygadło M.: *Organizacja wysypisk odpadów komunalnych w systemie zintegrowanej gospodarki odpadami w Szwecji*. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 2/1996.
 162. Żygadło M.: *Gospodarka odpadami komunalnymi*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1998.