

**METODY REKULTYWACJI I  
ZASTOSOWANIA INŻYNIERSKIE****3.1. Wprowadzenie**

Termin Gospodarka Odpadami Stałymi (GOS) obejmuje wszystkie procesy od powstania odpadów stałych aż do ich utylizacji. Zintegrowana Gospodarka Odpadami Stałymi (ZGOS) jest pojęciem bardziej kompleksowym niż GOS, ponieważ zawiera wiele elementów składowych, np. zdrowie publiczne, ekonomię, estetykę itp. Rekultywacja nieuporządkowanych wysypisk śmieci może być analizowana w ramach ZGOS. W związku z tym, ZGOS można opisać jako wszystkie techniki i zastosowania mające na celu zminimalizowanie szkodliwych dla środowiska skutków odpadów stałych i przekształcenie ich w użyteczny produkt.

Metoda nieuporządkowanego składowania odpadów była stosowana przez gminy do usuwania Stałych Odpadów Komunalnych (SOK) ze względu na łatwość, ekonomiczność, braki techniczne i nieodpowiedzialność środowiskową. Metoda nieuporządkowanego składowania odpadów jest niewłaściwą metodą usuwania odpadów stałych ze względu na braki w projekcie inżynierskim i eksploatacji.

Odpady organiczne i biodegradowalne pochodzące z odpadów komunalnych stanowią główną przyczynę negatywnych skutków funkcjonowania nieuporządkowanych wysypisk. Tego typu odpady stałe po zdeponowaniu na nieuporządkowanym wysypisku zaczynają rozkładać się najpierw tlenowo, a następnie beztlenowo. Duża zawartość materii węglowej w odpadach biodegradowalnych powoduje wzrost stężenia chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) w odciekach i objętości gazu składowiskowego na terenie składowiska. Źródłem odcieków jest przede wszystkim zawartość wody w organicznych odpadach stałych oraz opad atmosferyczny. Jak wspomniano powyżej, stężenie ChZT w odcieku jest wysokie ze względu na wysoką zawartość organiczną stałych odpadów komunalnych. Ponadto odciek charakteryzuje się na ogół wysoką zawartością lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) metali ciężkich, azotu amonowego i niskim pH. Dlatego też określa się je jako ścieki o wysokiej wytrzymałości pod względem charakterystyki i możliwości oczyszczania. Jeśli odcieki dostaną się do wód podziemnych,

spowoduje to nieodwracalne skutki. Jak wiadomo, nieuporządkowane wysypiska nie mają systemu rur zbierających odcieki. Innym głównym problemem nieuporządkowanych składowisk jest gaz wysypiskowy, zwłaszcza metan. Gaz metanowy powoduje wybuchy i pożary na terenie i wokół nieuporządkowanych wysypisk. Ponadto metan jest gazem bardziej niebezpiecznym niż dwutlenek węgla pod względem efektu cieplarnianego i zmian klimatycznych. Gaz metanowy jest uwalniany do atmosfery, ze względu na brak systemu zbierania gazu wysypiskowego na nieuporządkowanych wysypiskach. Innym problemem wynikającym z istnienia nieuporządkowanych wysypisk śmieci jest odór. W szczególności przedmieścia narażone są na negatywne skutki funkcjonowania nieuporządkowanych wysypisk. Nieuporządkowane wysypiska muszą być rekultywowane ze względu na ich szkodliwe i szkodzące zdrowiu działanie.

Podczas gdy kraje rozwinięte stosują nowoczesne systemy utylizacji odpadów stałych, takie jak spalanie, kompostowanie i składowanie, to niestety w krajach nierozwiniętych i rozwijających się nadal stosuje się niekontrolowane wysypiska. Rekultywacja nieuporządkowanych wysypisk śmieci jest ważnym zagadnieniem, które powinno znaleźć się w programie działań. Nawet jeśli nieuporządkowane wysypiska nie są już używane, muszą być rekultywowane ze względu na zachodzące na nich szkodliwe procesy.

Do rekultywacji nieuporządkowanych składowisk odpadów stosuje się różne metody. Do najczęściej stosowanych metod rekultywacji należą: rekultywacja in-situ, rekultywacja po mechanicznej separacji oraz rekultywacja poprzez przeniesienie odpadów stałych na składowisko. Decyzja o tym, którą metodę zastosować, zależy od sytuacji niekontrolowanych składowisk i potrzeb. Ponadto ważnym parametrem jest również koszt rekultywacji. Efektywnymi parametrami związanymi z wyborem metody są: lokalizacja, wielkość obszaru, ilość usuniętych odpadów stałych na składowiskach nieuporządkowanych oraz bliskość wód podziemnych i powierzchniowych. Czynniki topograficzne i geologiczne są również ważne przy podejmowaniu decyzji o przeprowadzeniu rekultywacji in-situ. Charakterystyka odpadów może być badana poprzez pobranie próbek z różnych punktów nieuporządkowanego składowiska. W wyniku badania charakterystyki, rekultywacja może być zastosowana po rozdzieleniu mechanicznym. Na przykład, jeśli ilość odpadów nadających się do recyklingu jest wysoka, a wskaźnik materiału pod sitem jest niski, separacja mechaniczna będzie niezwykle użyteczną procedurą. Należy jednak wziąć pod uwagę czynniki ekonomiczne i analizę kosztów. Zastosowania inżynierskie składają się z tego typu ocen i zastosowań.

Zastosowania inżynierskie mogą być rozpatrywane pod kątem oceny stanu obecnego i planowanej rekultywacji. Ocena stanu obecnego obejmuje ocenę sytuacji obszaru przed usunięciem, planowanie obszaru docelowego, badania geologiczne i hydrogeologiczne oraz rodzaje i ilość zdeponowanych odpadów. Po tym etapie następuje planowanie i realizacja rekultywacji. Etapy te obejmują odpowiednio: stabilizację zbocza i budowę nasypu, system odprowadzania wód powierzchniowych, system odprowadzania gazu, pokrywę końcową, budowę otworu wentylacyjnego, budowę drogi i komina, planowanie krajobrazu, studnię kontrolną oraz planowanie kontroli. Chociaż etapy te różnią się w ramach różnych metod rekultywacji, stanowią one główny proces.

Celem tego rozdziału jest zapoznanie czytelnika z metodami rekultywacji i zastosowaniami inżynierskimi nieuporządkowanych składowisk odpadów. W tym kierunku w kolejnych tytułach omówione zostaną: rekultywacja in-situ, rekultywacja po separacji mechanicznej oraz rekultywacja poprzez transfer odpadów stałych na składowisko jako metody rekultywacji. Ponadto wyjaśnione zostaną zastosowania inżynierskie.

### **3.1. Metody rekultywacji**

W krajach europejskich nie ma określonych przepisami prawa zasad rekultywacji nieuporządkowanych składowisk odpadów. Dyrektywa Unii Europejskiej w sprawie składowania odpadów (nr: 1999/31/WE) określa postępowanie, które należy przeprowadzić, aby całkowicie zapobiec lub zminimalizować wpływ działalności związanej ze składowaniem odpadów na środowisko. Składowiska odpadów zamknięte przed wejściem w życie tego rozporządzenia nie muszą spełniać określonych w nim "kryteriów zamknięcia składowiska". Kraje członkowskie muszą jednak dokonać ustaleń zgodnych z dyrektywą Unii Europejskiej w sprawie składowania odpadów w odniesieniu do składowisk, które obecnie prowadzą (w tym nieuporządkowanych składowisk). Rekultywacja nieuporządkowanych składowisk odpadów jest jednym z priorytetowych zagadnień wśród problemów środowiskowych i zazwyczaj pozostawiona jest inicjatywie samorządów lokalnych. Proces rekultywacji nieuporządkowanych składowisk odpadów jest wieloczynnikowym procesem, który obejmuje ocenę stanu, etapy planowania i realizacji. W procesie rekultywacji można wymienić kontrolę wód powierzchniowych i odcieków oraz systemy odprowadzania gazów jako procesy, które powinny być stosowane podczas rekultywacji. Różne metody rekultywacji mogą obejmować różne kroki, jak również wymienione procesy. Inne procedury rekultywacji mogą obejmować inne kroki i

procesy oprócz tych wymienionych. Podejścia do rekultywacji zostaną w tej części omówione w trzech kluczowych obszarach.

### **3.1.1. Rekultywacja in situ**

Rekultywację in situ, jak sama nazwa wskazuje, można określić jako rekultywację nieuporządkowanych składowisk odpadów na terenie, na którym się znajdują, bez przenoszenia ich w inne miejsce. Ta metoda rekultywacji przewiduje rekultywację składowisk, które zostały porzucone lub są nadal użytkowane. Priorytetami tej metody rekultywacji jest zapobieganie problemom takim jak odór, owady i rozprzestrzenianie się mikroorganizmów chorobotwórczych oraz uczynienie zamkniętego terenu wysypiska bezpiecznym siedliskiem dla przyrody i istot żywych. Cele, do których może być wykorzystany zamknięty teren po procesie rekultywacji, zostaną wymienione w rozdziale 7.

W metodzie rekultywacji in-situ procedury podane na rysunku 3.1 są wykonywane kolejno. Bieżąca sytuacja jest oceniana przede wszystkim w odniesieniu do obszaru składowiska, który ma zostać zrehabilitowany. W wyniku tej oceny określa się ostateczny stan obszaru, jego strukturę geologiczną i hydrogeologiczną, rodzaj i ilość składowanych odpadów oraz planuje się sposób zastosowania procesu zamykania. Po zakończeniu planowania przeprowadzane są odpowiednio prace związane ze stabilnością zbocza i wypełnieniem, system odprowadzania wód powierzchniowych, system odprowadzania odcieków, system odprowadzania gazu, warstwa pokrywy końcowej, szczegóły dotyczące przepustów i dróg, plan krajobrazu oraz studnie obserwacyjne i procesy związane z planem kontroli. Etapy te zostaną szczegółowo wyjaśnione w części dotyczącej zastosowań inżynierskich.



Rysunek 3.1. Schemat rekultywacji in-situ.

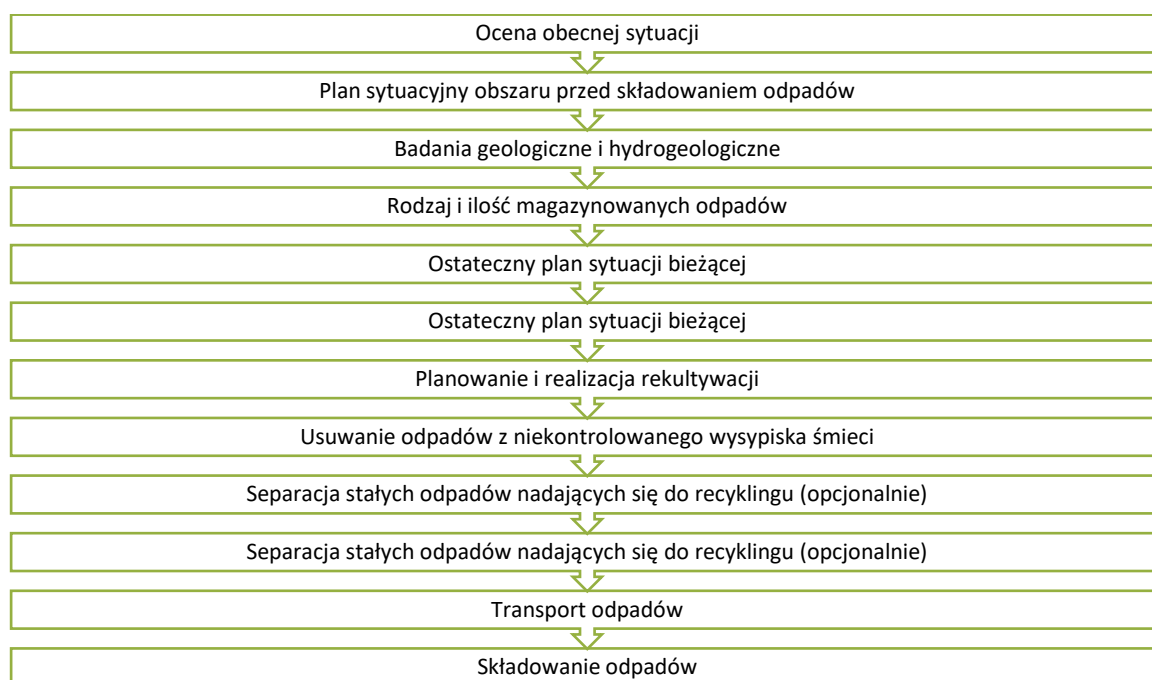
Podczas określania stabilności skarpy i granic terenu, odpady umieszczone na powierzchni są nieco przemieszczane. Wraz z układaniem i zagęszczaniem warstw przykrywających, odpady na otwartym składowisku są nieco bardziej zagęszczane. W procesie rekultywacji in-situ nie stosuje się innych usprawnień w stosunku do odpadów. Odpady organiczne na składowisku ulegają biodegradacji jeszcze przez wiele lat po zakończeniu procesu rekultywacji. Podczas tego procesu rozkładu uwalniana jest woda i gazy składowiskowe. Z tego powodu obecność systemów odprowadzania odcieków i gazów w zamkniętych nieuporządkowanych składowiskach jest ważna, aby nie zanieczyszczać wód gruntowych i uniknąć ryzyka pożaru lub wybuchu.

Ponieważ nieuporządkowane składowiska na całym świecie są eksploatowane w sposób niekontrolowany od wielu lat, nie można oszacować ilości odpadów na danym obszarze oraz wielkości składowanej powierzchni. Z tego powodu rekultywacja większości nieuporządkowanych składowisk prowadzona jest metodą rekultywacji in-situ.

### 3.1.2. Rekultywacja poprzez transport odpadów

W niektórych przypadkach rekultywacja in-situ nieuporządkowanych składowisk odpadów nie jest możliwa. W takich przypadkach rekultywację nieuporządkowanych składowisk przeprowadza się poprzez transport odpadów z ich dotychczasowych miejsc na składowiska zorganizowane. Szczególnie, gdy ilość odpadów na nieuporządkowanych składowiskach jest

niewielka, metoda transportu odpadów może być łatwo zastosowana. Poza tym takie powody, jak przynależność nieuporządkowanego składowiska do obszaru wrażliwego ekologicznie (np. specjalnej strefy ochrony środowiska), wysoki poziom wód gruntowych, obecność w pobliżu składowiska odpadów sanitarnych, są czynnikiem decydującym w wyborze metody rekultywacji poprzez transport odpadów. W tej metodzie pierwszym krokiem jest również ocena obecnej sytuacji. Następnie odpady są przenoszone na składowisko. Podczas transportu można również oddzielić odpady nadające się do recyklingu na danym terenie. Po całkowitym opróżnieniu składowiska, w zależności od stanu terenu, na istniejący obszar nakładana jest warstwa wypełniająca lub przykrywająca. Zrekultywowany obszar może być wykorzystany do różnych celów. Schemat przepływu dla tej metody przedstawiono na rysunku 3.2.



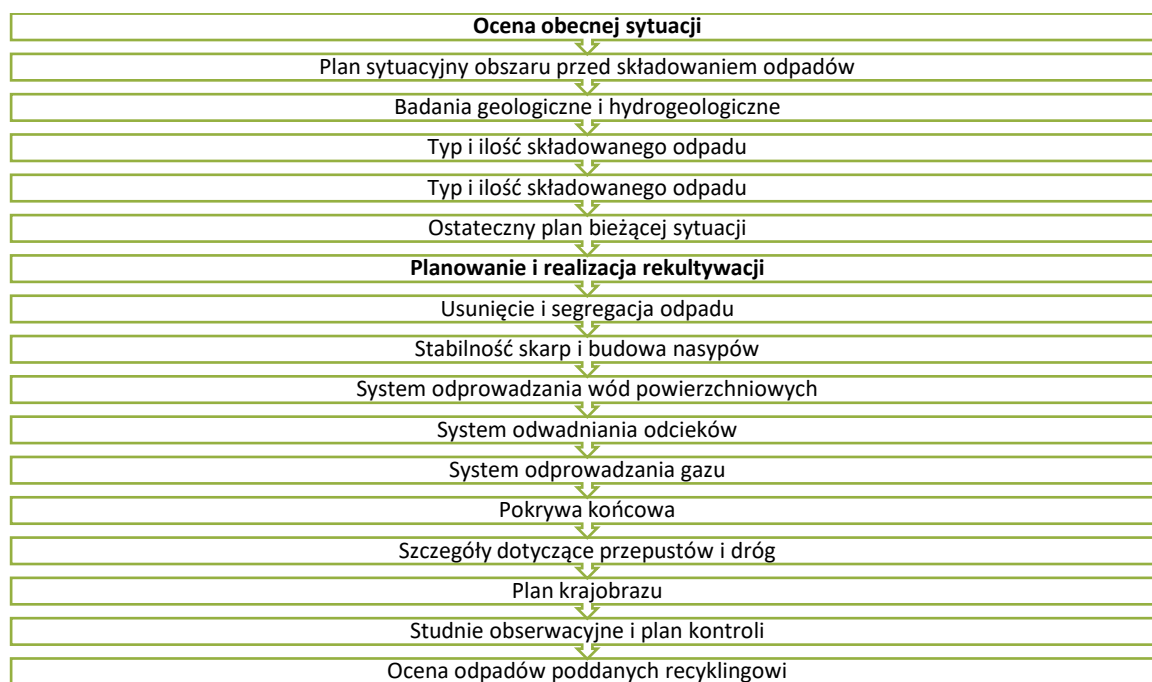
Rysunek 3.2. Schemat przebiegu rekultywacji sposobem transportu odpadów

Jak stwierdzono powyżej, zastosowanie tej metody w przypadkach, gdy nieuporządkowane składowisko jest małe, ilość odpadów jest niska lub obszar, który ma być przeniesiony, znajduje się w pobliżu nieuporządkowanego składowiska, może być metodą uzasadnioną ekonomicznie. Jeżeli obszar, na którym powstaje nieuporządkowane składowisko, znajduje się w pobliżu jakiegokolwiek źródła wody powierzchniowej lub podziemnej, należy bardzo dobrze zaplanować system odprowadzania odcieków lub wód powierzchniowych. W takim przypadku transport odpadów będzie wygodniejszym rozwiązaniem, które pozwoli uniknąć większych wydatków. Właściwe może być zastosowanie metody transportu w przypadku

nieuporządkowanego wysypiska, które jest nadal użytkowane, ponieważ degradacja odpadów organicznych na młodym składowisku jest w dużej mierze niekompletna. Po rekultywacji i zamknięciu tego typu nieuporządkowanego składowiska, odpady organiczne na tym terenie ulegają dalszej biodegradacji. W wyniku rozkładu następuje zmniejszenie objętości odpadów, a na składowanym obszarze dochodzi do zapadnięć. Osiadanie na terenie może naruszyć ostateczną warstwę przykrycia i uszkodzić systemy odprowadzania wód powierzchniowych i gazu. Z tych powodów, jeśli jest to ekonomicznie uzasadnione, odpowiednim rozwiązaniem może być rekultywacja poprzez transport odpadów z nieuporządkowane składowiska na działające składowisko zorganizowane.

### **3.1.3. Rekultywacja po segregacji mechanicznej**

Rekultywację nieuporządkowanego składowiska odpadów metodą po separacji mechanicznej można zdefiniować jako rekultywację wykonywaną poprzez oddzielenie od gleby i drobnych cząstek odpadów nadających się do recyklingu, takich jak metal, plastik, szkło i palne odpady organiczne znajdujące się na nieuporządkowanym składowisku. Ponieważ mamy tu do czynienia z odzyskiem materiałowym, w literaturze zamiast określenia "rekultywacja po mechanicznej separacji odpadów nadających się do recyklingu" można spotkać się z terminem "urabianie składowiska". W tej metodzie, podobnie jak w wyżej wymienionej, po ocenie aktualnej sytuacji, odpady są wydobywane i dzielone na określone klasy (rys. 3.3). Elementy wydobyte w wyniku urobku można sklasyfikować głównie jako warstwę gleby, odpady nadające się do odzysku, odpady metalowe oraz drobne cząstki. Ocena odpadów nadających się do odzysku odbywa się na ogół na dwa sposoby. W pierwszej metodzie procesowi recyklingu poddawane są odpady metalowe, plastikowe i szklane, które nie ulegają większej degradacji i zanieczyszczeniu. W drugiej metodzie, wszystkie palne części są wykorzystywane do produkcji energii po oddzieleniu odpadów metalowych.



Rysunek 3.3. Schemat przebiegu rekultywacji po mechanicznej segregacji odpadów nadających się do recyklingu

Ponieważ koszt zastosowania tej metody jest wysoki, należy ustalić realność uzyskania zysku poprzez przeprowadzenie badań pilotażowych. Takie studium wykonalności zostało zrealizowane w badaniu rehabilitacji nieuporządkowanego wysypiska śmieci na Florydzie (Jain et al., 2013). W tym artykule najpierw przeprowadzono badanie w skali pilotażowej na 1 hektarze z około 18,2 ha terenu, a następnie przeprowadzono pełnowymiarowe badania rekultywacyjne na 6,8 ha. W innym badaniu zbadano dwa różne scenariusze wykorzystania odpadów nadających się do recyklingu jako paliwa metodą wydobywania odpadów na otwartym wysypisku śmieci w Sri Lance. Stwierdzono jednak, że wydobycie odpadów nie jest odpowiednie dla tego obszaru, ponieważ koszty transportu są większe niż zysk z wytwarzania energii elektrycznej (Maheshi i in., 2015).

### 3.3. Zastosowania inżynierskie

#### 3.3.1. Ocena aktualnej sytuacji

Przed rozpoczęciem prac rekultywacyjnych należy określić aktualną sytuację nieuporządkowanego składowiska odpadów, które jest planowane do rekultywacji. Dla planowania rekultywacji ważne jest posiadanie informacji o planie sytuacyjnym terenu przed wypełnieniem, badaniach geologiczno-hydrogeologicznych, rodzaju i ilości składowanych odpadów oraz planie sytuacyjnym końcowym. Informacje te mogą być przydatne w wielu



kwestiach, począwszy od wyboru metody rekultywacji, a skończywszy na określeniu technik, które zostaną wykorzystane w zastosowaniach rekultywacyjnych.

### **3.3.1.1. Stan terenu przed wypełnieniem**

Przed rozpoczęciem prac związanych z rekultywacją nieuporządkowanego wysypiska śmieci wymagane są informacje na temat stanu terenu przed jego wypełnieniem. Ponadto, zanim teren zostanie wykorzystany jako składowisko, niezbędne jest uzyskanie informacji o celu, w jakim jest wykorzystywany, a także o kryteriach stosowanych przy wyborze tej lokalizacji.

W unieszkodliwianiu odpadów metodą składowiskową istnieją pewne kryteria wyboru lokalizacji składowiska. Pierwszym z tych kryteriów jest to, aby teren, który ma być wykorzystany jako składowisko, był na tyle duży, aby można było na nim składować odpady przez 25-30 lat. Kolejnym ważnym kryterium jest odległość tego terenu od osiedli mieszkaniowych, na których gromadzone są odpady stałe. Wybrany obszar nie powinien znajdować się tak blisko terenów mieszkalnych, aby negatywnie wpływać na zdrowie, ani tak daleko, aby pojazdy do odbioru odpadów stałych nadmiernie zwiększały koszty paliwa i amortyzacji. Ponadto należy zwrócić uwagę na szczególne warunki panujące na wybranym obszarze, takie jak odległość od terenów rolniczych, leśnych i specjalnych stref ochronnych, bliskość zasobów wód podziemnych i powierzchniowych, warunki topograficzne, geologiczne i hydrogeologiczne, ryzyko powodzi, osunięć ziemi i lawin oraz dominujący kierunek wiatru i opady. Jednak, jak stwierdzono powyżej, kryteria te są ważne przy wyborze składowiska. Jednak w metodzie nieuporządkowanego wysypiska, czyli masowego składowania odpadów, większość z tych kryteriów nie jest stosowana na etapie wyboru miejsca. Generalnie na miejsce składowania wybiera się obszar wyrobiska, gdzie odpady mogą być łatwo zrzucone. Przy wyborze składowiska nieuporządkowanego nie jest wymagana żadna szczególna sytuacja, a przypadkowe składowanie odbywa się na terenach niedaleko osiedla, aby ułatwić przemieszczanie odpadów. Bliskość terenu do osiedli mieszkaniowych niesie ze sobą problemy związane z ochroną środowiska i zdrowia ludzi. Nieuporządkowane wysypiska mogą znajdować się w pobliżu terenów rolniczych (rysunek 3.4.a), lasów (rysunek 3.4.b), a także koryt rzek. Niestety, nawet linie uskoków mogą być wykorzystywane jako nieuporządkowane wysypiska (Rysunek 3.4.c).



a. nieuporządkowane wysypisko śmieci w pobliżu terenów rolniczych (winnica obok pola)





### b. nieuporządkowane wysypisko śmieci na terenie lasu



### c. nieuporządkowane składowisko odpadów w obrębie linii uskoku

Rysunek 3.4. Niektóre negatywne skutki działania nieuporządkowanych wysypisk śmieci.

Znajomość stanu nieuporządkowanego składowiska odpadów przed jego wypełnieniem jest czynnikiem, który przyczyni się do każdego kroku zastosowanego podczas rekultywacji nieuporządkowanego składowiska odpadów oraz pomoże określić do jakich celów powinien być wykorzystany teren po rekultywacji. Z tego powodu prace rekultywacyjne należy rozpocząć od określenia stanu terenu przed jego wypełnieniem.

#### **3.3.1.2. Badania geologiczne i hydrogeologiczne**

Informacje o składnikach gleby i zasobach wodnych pod i wokół nieuporządkowanego składowiska odpadów, ujawnione w wyniku badań geologicznych i hydrogeologicznych, są istotne dla obliczenia ryzyka zanieczyszczenia składowiska dla wód podziemnych lub gleby.

Dzięki przeprowadzonym badaniom geologicznym na terenie nieuporządkowanego składowiska odpadów można określić rodzaje gleb i skał występujących na tym terenie. Rodzaj warstw gleby pod składowiskiem wskazuje, jak głęboko mogą sięgać odcieki i mieszać się z wodami gruntowymi. Zatem rodzaj podłoża wpływa na transport zarówno wody, jak i zanieczyszczeń. Ponieważ przepuszczalność gleby piaszczystej jest wysoka, ryzyko wymieszania się odcieku z wodami gruntowymi będzie większe. Natomiast gleba gliniasta ma mniejszą przepuszczalność i większą zdolność wychwytywania zanieczyszczeń. Rodzaj podłoża wpływa również na wielkość

osiadania. Na przykład osiadanie nie jest duże w glebach piaszczystych, natomiast osiadanie jest większe w glebach gliniastych i torfowych. Jeśli warstwa podglebia na otwartym składowisku odpadów składa się z gleby gliniastej lub torfowej, należy również wziąć pod uwagę, że może wystąpić pewne zapadanie się po nałożeniu ostatecznej warstwy przykrywającej (Mcbean et al., 1995). Z tych powodów ważne jest określenie struktury gruntu przed rozpoczęciem prac rekultywacyjnych.

W badaniach geologicznych, oprócz struktury gruntu, dostępne są również informacje o ogólnych formacjach tektonicznych, fałdach, biegach i upadach, osiach fałdowych, fleksach, antyklinach i synklinach oraz ich osiach, strukturach zamkniętych i ich kierunkach nieuporządkowanych lub zamkniętych, uskokach i ich typach, uderzeniach i spadkach płaszczyzn uskokowych, poślizgach uskokowych (DSI 2019). Po przeprowadzeniu badań geologicznych dane te powinny zostać uwidocznione na mapie, wyjaśnione i zrelacjonowane. W świetle tych informacji można prognozować kwestie kompresji gazu składowiskowego, wycieków gazu oraz zmian kierunku wypływu odcieków na skutek pęknięć, które mogą wystąpić na otwartym składowisku w wyniku trzęsienia ziemi, które może mieć miejsce.

Przy badaniu struktury hydrogeologicznej regionu istotnym zagadnieniem, które należy wziąć pod uwagę jest klimat regionu oraz określenie zasobów wodnych w jego sąsiedztwie. Dane dotyczące opadów, temperatury i parowania w regionie można uzyskać ze stacji meteorologicznych zlokalizowanych w pobliżu nieuporządkowanego składowiska odpadów. Oceniając te dane, należy obliczyć miesięczne i roczne sumy opadów. Przy pomocy tych danych można także obliczyć ilość wody opadowej, która może mieszać się z wodą gruntową z powierzchni składowiska. Jak widać na rysunku 3.5, nieuporządkowane składowiska odpadów mogą znajdować się w pobliżu źródeł wody. Inną korzyścią z przeprowadzonych badań hydrogeologicznych jest identyfikacja rzek, jezior i bagien, zapór i stawów oraz zasobów wód podziemnych w pobliżu. Raporty z badań hydrogeologicznych mogą zawierać wielkość, kierunki przepływu, natężenie przepływu i cele wykorzystania tych źródeł wody. W wyniku oceny tych danych, w połączeniu z informacjami klimatycznymi, ujawniają się miesięczne i roczne zmiany zasobów wodnych.



Rysunek 3.5. Przykład nieuporządkowanego składowiska odpadów w pobliżu źródła wody

Określenie poziomu wód gruntowych jest ważnym procesem pozwalającym na określenie poziomów zanieczyszczeń, które mogą wystąpić w wodach gruntowych pochodzących z nieuporządkowanego składowiska. W przypadkach, gdy poziom wód gruntowych znajduje się blisko dna składowiska, nieuniknione jest, że zanieczyszczenia niesione przez odcieki w składowisku mieszają się z wodami gruntowymi i zanieczyszczają je. Przepuszczalność warstwy gleby znajdującej się na dnie składowiska również skutecznie determinuje poziom tego zanieczyszczenia. Do sprawozdania z badań hydrogeologicznych należy również dołączyć stężenia parametrów zanieczyszczeń zmierzone poprzez pobranie próbek z wód podziemnych.

### **3.3.1.3. Rodzaj i ilość składowanych odpadów**

Jedną z niezbędnych informacji na etapie określania stanu nieuporządkowanego składowiska są dane dotyczące odpadów składowanych na tym terenie. Dane te obejmują czas użytkowania wysypiska, objętość, gęstość i masę odpadów na składowisku oraz rodzaje odpadów. Znajomość ilości odpadów nadających się do recyklingu i organicznych w składowanych odpadach jest jednym z ważnych parametrów, które można wykorzystać przy określaniu metody rekultywacji. Na przykład, jeśli ilość odpadów nadających się do recyklingu na danym terenie jest wysoka, to rekultywacja nieuporządkowanego składowiska może być przeprowadzona metodą mechanicznej segregacji przed rekultywacją.

Jeżeli nieuporządkowane składowisko jest prowadzone przez przedsiębiorstwo komunalne, wszelkie informacje o odpadach można uzyskać od odpowiedniej jednostki w przedsiębiorstwie komunalnym. Na składowisku odpadów, na którym korporacja miejska nie prowadzi ewidencji, lub na nielegalnych wysypiskach, ilość i rodzaje składowanych odpadów określa się dwoma sposobami. Pierwsza metoda opiera się na szacowaniu. W tej metodzie określa się powierzchnie mieszkalne, które przywożą odpady na nieuporządkowane składowisko. Przeprowadza się badania charakterystyki odpadów, określając gospodarstwa domowe z tych osiedli i oblicza się ilość wytwarzanych odpadów na osobę. W badaniach charakterystyki należy również uwzględnić obecność osób rozgrzebujących śmieci. Ilość odpadów na składowisku szacuje się na podstawie ilości wytwarzanych odpadów na osobę oraz tego, jak długo nieuporządkowane składowisko jest użytkowane. W drugiej metodzie, po obliczeniu objętości, masy i gęstości odpadów poprzez pobranie próbek z określonych punktów nieuporządkowanego składowiska, można przeprowadzić badanie charakterystyki. Powodem pobierania próbek z różnych punktów jest to, że odpady mają różne współczynniki kompresji w różnych regionach, a wielkość stopnia degradacji odpadów organicznych na otwartym składowisku jest zmienna w zależności od okresu składowania. Jeśli nieuporządkowane wysypisko, które ma być zrehabilitowane, jest obszarem, który nie był używany przez długi czas, można powiedzieć, że ten obszar może być bardziej odpowiedni dla nieuporządkowanego wysypiska dla metody mechanicznej separacji, ponieważ większość odpadów organicznych ulegnie rozkładowi w czasie.

#### **3.3.1.4. Końcowy plan sytuacyjny**

Przed przystąpieniem do rekultywacji nieuporządkowanego składowiska odpadów należy przygotować plan sytuacyjny zawierający informacje, które uznaje się za przydatne w planowaniu i realizacji rekultywacji. W planie sytuacyjnym w pierwszej kolejności należy zawrzeć informacje o położeniu geograficznym i pomiarach powierzchni terenu. Informacje te mogą być poparte mapami terenu, fotografiami przedstawiającymi aktualny stan terenu oraz informacjami o osiedlach mieszkaniowych znajdujących się w jego sąsiedztwie. Oprócz tego należy również obliczyć głębokość i objętość odpadów i dodać je do planu terenu. Kolejnym ważnym czynnikiem jest to, jak długo nieuporządkowane wysypisko jest użytkowane i kiedy kończy się proces składowania odpadów. Dzięki tym informacjom można również określić ilość gazu składowiskowego, który może się wydzielić w wyniku rozkładu odpadów organicznych na tym terenie, czas wypływu gazu oraz ilość odcieków. Będą to istotne informacje przy projektowaniu systemu zbierania gazu i odcieków w następnym kroku.



Plany sytuacji bieżącej mogą obejmować również problemy środowiskowe. Włączenie do planu kwestii wpływających na zdrowie środowiskowe, takich jak odór i problem owadów w obszarze składowania, pozwala na podjęcie niezbędnych środków ostrożności podczas rekultywacji. Ponadto, gdy zostanie to uznane za konieczne, można pobrać próbki z wód powierzchniowych lub podziemnych i dodać do planu informacje o obecności bakterii coli typu kałowego. Informacje o katastrofach, takich jak trzęsienia ziemi, osunięcia ziemi, eksplozje i pożary w regionie, mogą być również dodane do planu sytuacji bieżącej. Podczas rekultywacji należy zwrócić uwagę na uwieszenie gazu, który może rozprzestrzenić się z otwartej przestrzeni do środowiska, stwarzając ryzyko wybuchu i pożaru.

Ponieważ aktualne plany sytuacyjne są dokumentami, do których sięga się po pierwsze informacje przed rozpoczęciem pracy, wszelkie zidentyfikowane informacje powinny zostać włączone do planu sytuacyjnego nieuporządkowanego składowiska odpadów. Po stworzeniu planu sytuacyjnego można z większą pewnością przystąpić do prac rekultywacyjnych.

### **3.3.2. Planowanie i realizacja rekultywacji**

Po przeprowadzeniu obserwacji i zebraniu informacji o nieuporządkowanym składowisku odpadów planuje się rekultywację i przystępuje do badań. Planowane prace rekultywacyjne obejmują wiele etapów. Są to ważne kwestie, które należy podjąć, aby uczynić nieuporządkowane składowisko bezpiecznym, a prace wykonane na każdym z etapów bezpośrednio lub pośrednio wpływają na pozostałe. W tym rozdziale omówione zostaną: stabilność skarp i konstrukcja nasypu, system odprowadzania wód powierzchniowych, system odprowadzania odcieków, system odprowadzania gazów, warstwa pokrycia końcowego, szczegóły dotyczące przepustów i dróg, plan krajobrazu i studnie obserwacyjne oraz podpozycje planu kontroli.

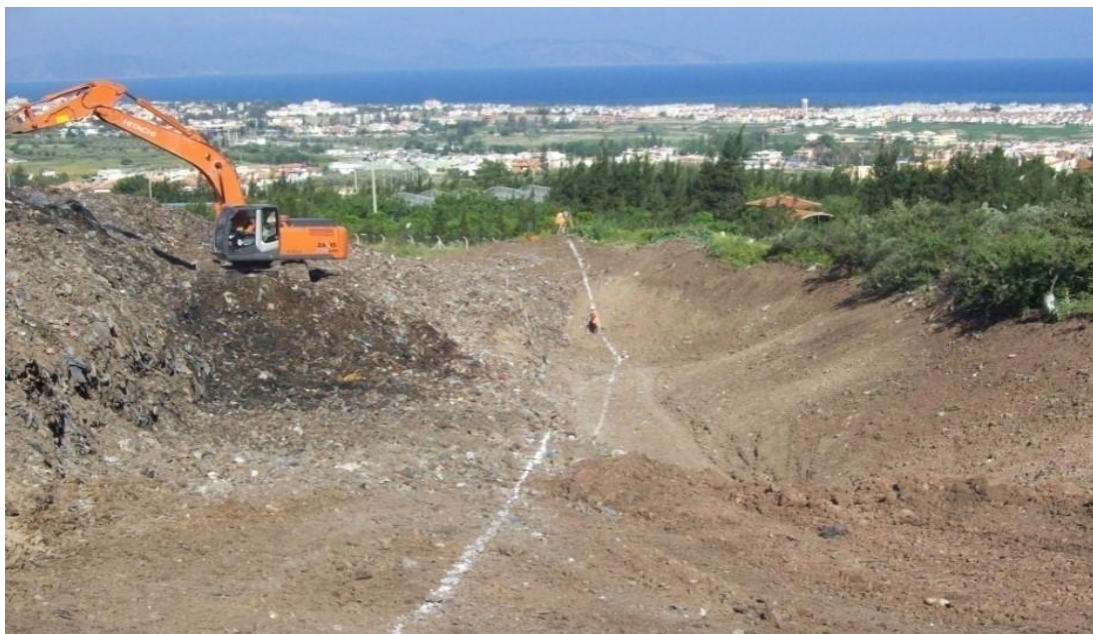
### **3.3.2. Planowanie i realizacja rekultywacji**

Po przeprowadzeniu obserwacji i zebraniu informacji o nieuporządkowanym składowisku odpadów planuje się rekultywację i przystępuje do badań. Planowane prace rekultywacyjne obejmują wiele etapów. Są to ważne kwestie, które należy podjąć, aby uczynić nieuporządkowane składowisko bezpiecznym, a prace wykonane na każdym z etapów bezpośrednio lub pośrednio wpływają na pozostałe. W tym rozdziale omówione zostaną: stabilność skarp i konstrukcja nasypu, system odprowadzania wód powierzchniowych, system odprowadzania odcieków, system odprowadzania gazów, warstwa pokrycia końcowego,

szczegóły dotyczące przepustów i dróg, plan krajobrazu i studnie obserwacyjne oraz podpozycje planu kontroli.

### 3.3.2.1. Stabilność skarpy i budowa nasypu

Ponieważ nieuporządkowane wysypisko nie jest odpowiednią metodą składowania odpadów stałych, kształt i wymiary sterty odpadów nie są jednoznaczne. W niektórych przypadkach wysokość wzgórza odpadów jest bardzo duża, a czasami nieuporządkowane składowisko jest rozłożone na dużym obszarze. Z tego powodu najpierw należy określić krawędzie odpadów na nieuporządkowanym składowisku. Jak widać na rysunku 3.6, rysowane są granice i określany jest region, w którym odpady powinny pozostać w tych granicach. Następnie odpady znajdujące się poza tymi granicami są transportowane do planowanego obszaru.



Rysunek 3.6. Wyznaczenie granicy odpadów

Po tym etapie należy wzmocnić składowisko pod kątem wytrzymałości na ścinanie. Należy nadać hałdzie nachylenie 3:1, aby utrzymać odpady w stabilnej pozycji i zapobiec osuwaniu się ostatecznej warstwy pokrycia, która zostanie na nią nałożona (Blight, 2008). Przykład takiej sytuacji przedstawiono na rysunku 3.7. Górna część hałdy powinna być wykonana płasko, aby nie powodować tworzenia się oczek wodnych. Górna część przyzmy, która będzie wykonana w formie trapezu, może być lekko nachylona (co najwyżej 1-3%), aby umożliwić odpływ wody deszczowej.





Rysunek 3.7. Transport odpadów wewnątrz granicy i nachylenie terenu.

W niektórych przypadkach może być konieczne tarasowanie stosu zamiast jednolitego kształtu trapezowego. Ma to zastosowanie w przypadku, gdy wysokość odpadów przekracza 1,5 m lub w pobliżu znajduje się osiedle, które może być narażone na osuwanie się, gdyż trudno jest od razu utworzyć skarpe o nachyleniu 3:1. Przykład takiego rozwiązania został wdrożony po zawaleniu się nieuporządkowanego składowiska odpadów Meethotamulla na Sri Lance (Jayaweera i in., 2019). Aby zapobiec dodatkowemu osuwaniu się, obszary nieuporządkowanego wysypiska, które znajdowały się dość blisko rezydencji, zostały tarasowane. Tę samą metodę zastosowano po wystąpieniu problemu osunięcia na otwartym wysypisku Payatas w mieście Quezon na Filipinach (Jafari i in., 2013). W obu przykładach interwencja została przeprowadzona po tym, jak na niekontrolowanych wysypiskach wystąpiły problemy z zapadaniem się i osuwaniem. Rekultywacja nieuporządkowanych wysypisk ma ogromne znaczenie dla uniknięcia takich katastrof.

### 3.3.2.2. System odprowadzania wód powierzchniowych

Woda jest jednym z istotnych parametrów, które powinny być oceniane przy unieszkodliwianiu odpadów metodą składowania, podobnie jak w wielu dziedzinach życia. Z tego powodu w rekultywacji nieuporządkowanych składowisk odpadów konieczne jest zachowanie kontroli nad bilansem wodnym. Istnieje wiele wejść i wyjść, które będą miały wpływ na bilans wodny na

nieuporządkowanych wysypiskach (rysunek 3.8). Te wejścia i wyjścia określają ilość i jakość odcieków. Zawartość wilgoci w odpadach stałych na składowisku oraz niewielka ilość wody wytwarzanej podczas beztlenowego rozkładu odpadów zwiększają ilość odcieków. Oprócz nich źródłami zwiększającymi ilość odcieków spoza terenu składowiska są infiltracja wód opadowych padających na bryłę odpadów oraz dopływy wód przeciekających z wód gruntowych do bryły odpadów. Część opadu, która odparowuje z powierzchni oraz część, która przechodzi w przepływ powierzchniowy stanowią wyjścia. Oceniając łącznie takie źródła, można obliczyć bilans wodny na danym obszarze. Bilans masy wody na składowisku przedstawiono w równaniu 3.1 (Worrell et al. 2011). W wyniku zestawienia tych danych powstaje infrastruktura do wyboru materiałów, które zostaną wykorzystane w ostatecznej warstwie pokrywy, systemie zbierania wód powierzchniowych oraz systemie zbierania odcieków.

$$C = P (1 - R) - S - E$$

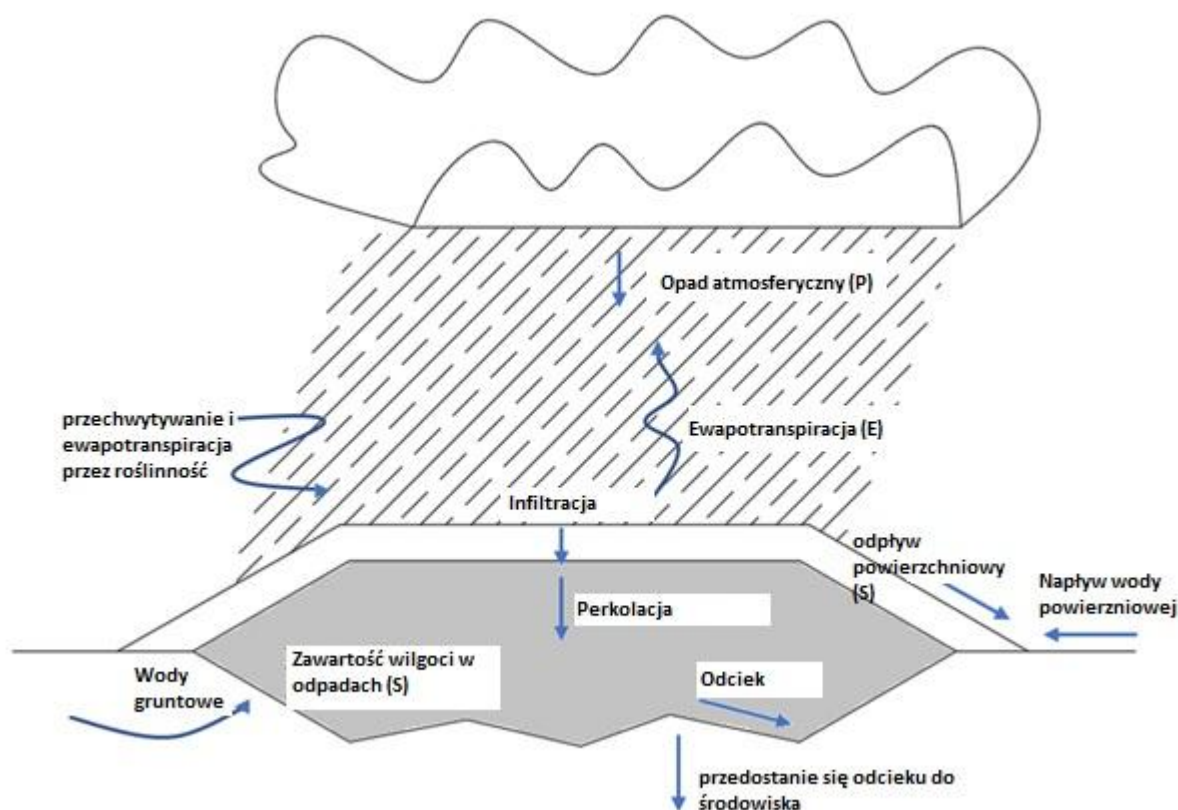
C : całkowite przesiąkanie do górnej warstwy gleby, mm/rok

P : opad atmosferyczny, mm/rok

R: współczynnik odpływu

S : magazynowanie w glebie lub odpadach, mm/rok

E : ewapotranspiracja, mm/rok



Rysunek 3.8. Schematyczne przedstawienie bilansu wodnego na terenie składowiska

W celu zmniejszenia ilości odcieków powodowanych przez wody opadowe na składowiskach odpadów podejmowane są pewne działania. Można wśród nich wymienić umożliwienie spływu powierzchniowego poprzez zwiększenie spadku powierzchni, zmniejszenie ilości wody wyciekającej z bryły odpadów poprzez stworzenie nieprzepuszczalnej warstwy pokrywy końcowej, zablokowanie wycieków wody z powierzchni poprzez zapobieganie zapadaniu się i pękaniu bryły składowiska.

Jednym z najważniejszych czynników zapobiegających mieszaniu się wód powierzchniowych na składowisku z korpusem odpadów jest warstwa drenażowa w warstwie pokrywy końcowej. Konieczne jest wykonanie warstwy drenażowej w celu usunięcia nadmiaru wody z górnej warstwy gleby i zmniejszenia obciążenia wodą nieprzepuszczalnej warstwy izolacyjnej. Po osiągnięciu przez górną warstwę gruntu nasycenia opadami atmosferycznymi, wody przechodzą do tej warstwy. Dzięki tej warstwie drenażowej, składającej się z piasku o niskiej zawartości próchnicy i wysokiej przepuszczalności, woda napływająca z powierzchni szybko opuszcza teren, nie dostając się do korpusu odpadów. Jeśli sytuacja ekonomiczna jest odpowiednia, woda deszczowa może przepływać z rur wykonanych z materiału HDPE umieszczonych w tej



warstwie do głównych rur znajdujących się na bocznych krawędziach poprzez przyciąganie. Rury zbiorcze zapewniają odprowadzenie nadmiaru wody ze składowiska. Woda napływająca do warstwy drenażowej może być zbierana przez nachylenie powierzchni bez rur. Na bocznych krawędziach formowane są kanały zbierające wodę deszczową przechodzącą przez spływ powierzchniowy (rysunek 3.9).



Rysunek 3.9. Kanał odbioru wody powierzchniowej

### 3.3.2.3. System odprowadzania odcieków

Gospodarka odciekami na otwartym wysypisku jest prowadzona przy pomocy badań geologicznych i hydrogeologicznych wykonanych przed planowaniem. Jeśli jest to ekonomicznie i technicznie uzasadnione, do zbierania odcieków na składowiskach można wykorzystać rury. Czynniki takie jak głębokość zalegania odpadów, wiek odpadów, topografia terenu i leżąca pod spodem warstwa gleby są skuteczne w tworzeniu systemów odprowadzania odcieków. Oprócz tych informacji określa się różne zastosowania drenażu odcieków w zależności od wysokości wód gruntowych. Możliwe jest zapobieganie mieszanemu się odcieków z wodami gruntowymi za pomocą niektórych metod, takich jak ściana odcinająca, rury zbierające lub rowy zapobiegawcze uformowane zgodnie z kierunkiem odcieków. Odcieki zgromadzone w

odpadzie są przekazywane rurami do stawów zbiorczych odcieków budowanych przy podłożu. Dzięki tym rozwiązaniom zapobiega się zanieczyszczeniu wód powierzchniowych i podziemnych w pobliżu nieuporządkowanego wysypiska. Zebrane odcieki mogą być oczyszczane metodami biologicznymi i chemicznymi. Nie ma jednak potrzeby zakładania oczyszczalni, ponieważ po rekultywacji na niekontrolowanych wysypiskach powstawanie odcieków nie będzie nadmierne. Systemy odprowadzania odcieków zostaną szczegółowo omówione w rozdziale 4.

#### **3.3.2.4. System odprowadzania gazów**

Jednym z problemów na nieuporządkowanych składowiskach odpadów są tworzące się i gromadzące na nich gazy. Biogaz, który powstaje w wyniku rozkładu odpadów organicznych w warunkach beztlenowych na nieuporządkowanych składowiskach, nazywany jest gazem wysypiskowym. Gaz ten zawiera około 50-60% metanu, 35-40% dwutlenku węgla i 3-10% azotu. Gdy gazy te wydostają się z terenu w sposób niekontrolowany, powodują różne problemy środowiskowe, zwłaszcza globalne ocieplenie. Istnieje ryzyko wybuchu i pożaru, w wyniku gromadzenia się i sprężania gazów oraz mieszania z powietrzem w różnym tempie w obszarze składowania. Gazy wysypiskowe powodują wybuch, gdy mieszają się z powietrzem w tempie 5-15%, a pożar, gdy mieszają się w tempie wyższym. Jak wspomniano w rozdziale 1, jako przykład takiej sytuacji można podać wybuch na otwartym składowisku Ümraniye-Hekimbaşı (İstanbul, Turcja) w 1993 roku (Kocasoy & Curi, 2000). Aby uniknąć takich problemów, na nieuporządkowanych składowiskach należy zainstalować systemy odprowadzania gazu.

Ilość gazu wysypiskowego zmienia się w zależności od ilości odpadów organicznych w obszarze składowania i okresu składowania. System odprowadzania gazu, który obejmuje systemy zbierania i transportu gazu, znajduje się w warstwie nieprzepuszczalnej. Rury zbiorcze są umieszczone w warstwie nieprzepuszczalnej, aby zapewnić kontrolowane zbieranie gazu. W przypadkach, gdy ilość gazu przewidywana w bieżącym i przyszłych latach jest duża, system ten jest wspomagany przez pionowe kominy zbierające gaz. Zebrany gaz, w zależności od sytuacji, jest spalany za pomocą automatycznego systemu palników lub transportowany do obiektu w celu wytworzenia energii. Systemy odprowadzania gazu zostaną szczegółowo omówione w rozdziale 4.

### 3.3.2.5. Końcowa pokrywa wierzchnia

Informacje o źródle odcieków w miejscach składowania podano w rozdziale "System odprowadzania odcieków". W tym rozdziale zostanie wyjaśniona końcowa warstwa wierzchnia, zaprojektowana w celu zapobiegania wyciekowi wód opadowych poprzez infiltrację. Konstrukcja ostatecznej pokrywy wierzchniej odgrywa istotną rolę w zmianie bilansu wodnego nieuporządkowanego składowiska.

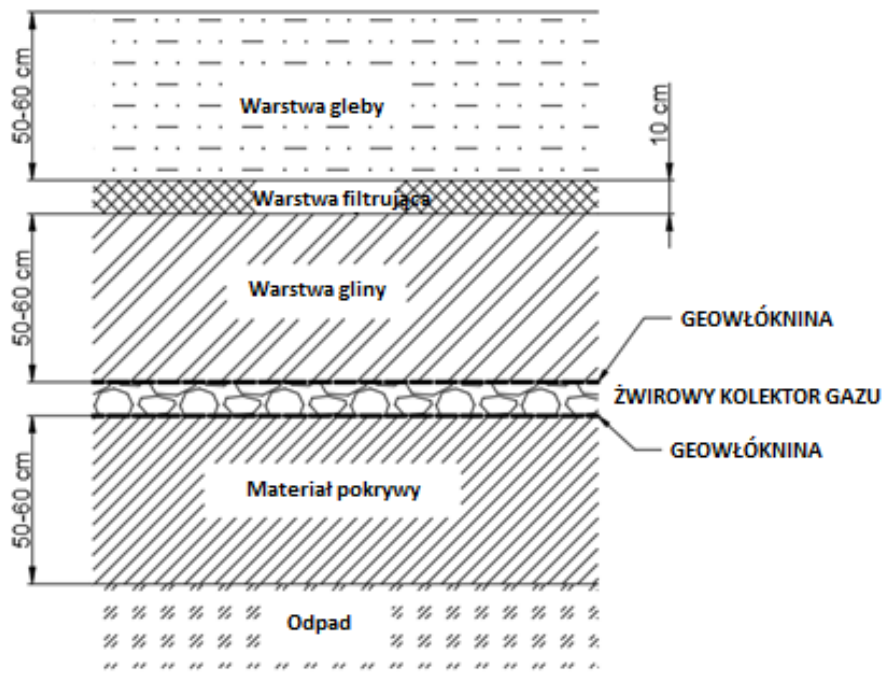
Zastosowanie końcowej warstwy wierzchniej umożliwia dostosowanie projektu systemów odprowadzania i oczyszczania odcieków do niższych przepływów poprzez zmniejszenie ilości odcieków i pozwala na zrównoważoną eksploatację systemu przez wiele lat bez pogorszenia jego stanu. Podczas tworzenia końcowej warstwy wierzchniej pokrycia należy wziąć pod uwagę pewne czynniki. Projekty wykonane bez zwrócenia uwagi na te czynniki, uniemożliwiają użytkowanie pokrywy przez wiele lat i powodują straty pieniędzy i czasu. W rekultywacji wysypisk niekontrolowanych zła końcowa warstwa wierzchnia oznacza również nieudaną rekultywację. Z tego powodu konieczne jest uwzględnienie czynników wpływających na wytrzymałość końcowej warstwy wierzchniej pokrywy. Materiał, który ma być użyty w ostatecznym pokryciu, nachylenie terenu, ilość materiału do utylizacji oraz grubość warstwy to czynniki, które wpływają na końcową warstwę pokrycia. Kolejnym ważnym elementem jest zapewnienie odpowiedniej stabilności, tak aby nie powodować erozji. Ponadto należy ocenić ilość opadów, które spadną na ten teren w przyszłości oraz ustalić, czy miejsca, do których będzie kierowana woda spływająca powierzchniowo, są odpowiednie. Przy projektowaniu warstwy przykrywającej należy dokonać niezbędnych kontroli, aby mogła ona być użytkowana przez wiele lat bez konieczności prowadzenia innych procesów. Ponadto, w celu określenia najwłaściwszej końcowej warstwy przykrywającej należy zastosować analizę kosztów.

Bardziej dopuszczalne byłoby rozszerzenie ostatecznej warstwy wierzchniego krycia o warstwy służące określonym celom, niż stosowanie jej jako pojedynczej warstwy. Warstwa powierzchniowa idealna dla rosnących roślin i warstwa bariery hydraulicznej to dwa rodzaje takich warstw. Z kolei warstwa bariery hydraulicznej może składać się z takich warstw, jak warstwa filtracyjna, drenażowa i nieprzepuszczalna. W tabeli 3.1 wymieniono cele, do których stosuje się te warstwy.

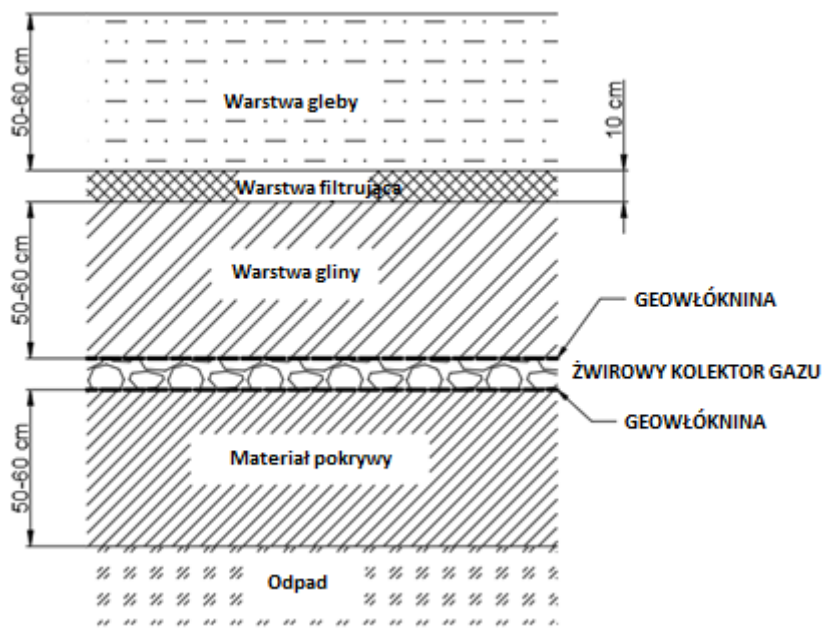
Tabela 3.1. Podstawowa rola poszczególnych warstw w pokrywie składowiska odpadów

Warstwa	Składnik warstwy	Rola
<b>Warstwa wierzchnia</b>	Warstwa gleby	Nadaje się do uprawy na niej roślin, zwiększa rozwój korzeni i zdolność zatrzymywania wody, zmniejsza infiltrację i erozję wietrzną.
	Warstwa filtracyjna	Zapobiega mieszaniu się warstwy gleby i pestycydów pochodzących z powierzchni z warstwą drenażową.
<b>Bariera Hydrauliczna</b>	Warstwa drenażowa	Dzięki niej woda pochodząca z powierzchni szybko opuszcza system.
	Warstwa nieprzepuszczalna	Tworząc nieprzepuszczalną warstwę, zapobiega się przeciekaniu wody do korpusu odpadów, a także jest gospodarzem systemu zbierania gazów.

Dla celów wymienionych w tabeli 3.1 nie ma określonych norm dotyczących doboru, grubości i ilości materiału, który ma być użyty w warstwach, a kombinację pozostawia się całkowicie do uznania projektanta. Różne kombinacje tych warstw podano jako przykłady na rysunkach 3.10. Jak wynika z rysunków, w warstwie górnej należy zawsze stosować glebę odpowiednią do uprawy roślin. Rośliny zasadzone w ziemi wypuszczają swoje korzenie, dzięki czemu ziemia staje się mocniejsza i chroni ją przed takimi katastrofami jak erozja. Nie należy jednak stosować roślin bardzo głęboko zakorzenionych. Rysunek 3.10.a pokazuje prosty projekt ostatecznego pokrycia. Tutaj warstwy drenażowe i filtracyjne są stosowane jako jedna warstwa. Jako warstwę drenażową pod warstwą gliny można zastosować warstwę geowłókniny i żwiru. Warstwa nieprzepuszczalna jest często wykorzystywana jako odpowiednia warstwa do zbierania gazu. Rysunek 3.10.b jest nieco bardziej szczegółową wersją rysunku 3.10.a, gdzie warstwy drenażowe i filtracyjne są oddzielone, a warstwa nieprzepuszczalna jest wzmocniona. Na rysunku 3.10.c nieprzepuszczalność została zapewniona za pomocą geomembrany, filtrowanie zostało zapewnione za pomocą geowłókniny, a środowisko odpowiednie do zbierania gazu zostało stworzone za pomocą geokraty (Republic of Turkey Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 2014).

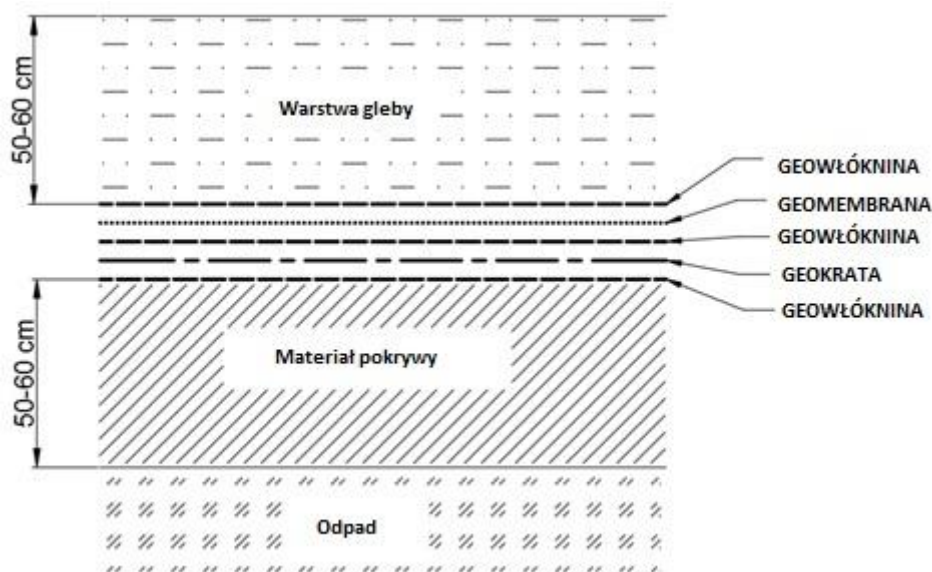


(a)



(b)





(c)

Rysunek 3.10. Przykłady warstw pokrycia końcowego

### 3.3.2.6. Szczegóły dotyczące przepustów i dróg

Rysunki wszelkich operacji technicznych, które mają być wykonane w terenie, powinny być zapisane podczas planowania rehabilitacji. Aby uniknąć zamieszania w fazie realizacji, ważne jest, aby określić wszystkie rodzaje operacji w fazie planowania. Przed rozpoczęciem prac należy również wykonać plany przepustów, które mają służyć do odprowadzania odcieków i wód powierzchniowych z terenu. Ponieważ warstwy, które zostaną użyte w ostatecznej warstwie pokrycia, będą miały również wpływ na ilość wody, która ma powstać, wymiary przepustów powinny być odpowiednio dostosowane. Przepust, który ma być użyty do odprowadzenia odcieków z terenu, powinien być zwymiarowany zgodnie z szacowaną ilością odcieków i powinien mieć wystarczającą wielkość i pojemność. Jeżeli przewiduje się budowę basenu do gromadzenia odcieków, przepusty podłącza się do zrehabilitowanego wysypiska. W przypadkach, gdy w planie nie ma basenu, przepusty umożliwiają podłączenie wody do najbliższej sieci kanalizacyjnej.

Ważne jest, aby przed rozpoczęciem prac urządzić drogę, która będzie służyła jako dojazd do nieuporządkowanego wysypiska, tak aby maszyny robocze, które będą wykorzystywane w tym procesie, mogły bez problemu przyjechać na miejsce i prowadzić działania na tym terenie. Nawierzchnia drogi powinna być mocna, aby nie uległa łatwo uszkodzeniu przez przejeżdżające

po niej ciężkie maszyny. Można zastosować zagęszczony grunt lub asfalt, w zależności od sytuacji ekonomicznej. Budowana droga musi być na tyle duża, aby umożliwić wzajemny przejazd co najmniej dwóch pojazdów. Ponieważ region ten będzie odwiedzany w celach kontrolnych i wykorzystywany w przypadku potencjalnego zagrożenia po zakończeniu prac, droga ta powinna być zaplanowana w taki sposób, aby interwencja była jak najprostsza.

### **3.3.2.7. Plan krajobrazu**

Nieuporządkowane składowiska odpadów mogą być po rekultywacji wykorzystane jako tereny zielone, rekreacyjne lub budowlane. Cel, w jakim teren zostanie wykorzystany, powinien być jasno określony na etapie planowania rekultywacji. Na przykład, jeśli na terenie planuje się budowę obiektu, nie byłoby właściwe stosowanie konstrukcji membranowych w końcowej warstwie pokrycia. Najbardziej opłacalnymi i właściwymi metodami oceny zrekultywowanych składowisk są tereny zielone lub użytkowanie rekreacyjne. Dla obu zastosowań teren musi być obsadzony roślinami. Dobór roślin jest ważnym kryterium na tym etapie. O ile obsadzenie tego terenu trawą lub roślinami typu łąkowego nie stanowi problemu, o tyle należy zachować ostrożność w doborze drzew, które zostaną posadzone na tym terenie. Nie należy preferować roślin o głębokim systemie korzeniowym, ponieważ ich korzenie mogą przebić warstwę izolacyjną i spowodować znoszenie wód powierzchniowych do wnętrza korpusu magazynowego. Rośliny odpowiednie dla flory regionu, których korzenie mogą pozostać w ostatniej warstwie pokrywy odpowiedniej dla wzrostu roślin, są najbardziej odpowiednie dla opracowań dotyczących zazielenienia.

### **3.3.2.8. Studnie obserwacyjne i plan kontroli**

Utrzymanie, monitoring i kontrola nieuporządkowanego składowiska, którego rekultywacja została zakończona, powinny być prowadzone przez władze przez pewien okres. Niektóre czynniki tych działań związanych z utrzymaniem, monitorowaniem i kontrolą różnią się w zależności od stanu składowiska. Czynniki te są podane poniżej:

- System zbierania gazu i instalacja spalania, jeśli istnieje, powinny być utrzymywane.
- Jeśli gaz wysypiskowy jest przetwarzany po zebraniu, systemy te należy utrzymywać.
- Jakość zebranego gazu musi być również stale monitorowana.
- Konserwacja systemu odprowadzania odcieków powinna być przeprowadzana regularnie.

- Kontrole jakości odcieków powinny być przeprowadzane poprzez pobieranie próbek z basenu w okolicy w regularnych odstępach czasu.
- Jeśli istnieje oczyszczalnia odcieków lub system transferowy, należy zapewnić, że są one regularnie sprawdzane i konserwowane.
- Jakość wody powinna być sprawdzana poprzez pobieranie próbek z wód powierzchniowych wokół składowiska.
- Obserwacyjne studnie dla wód gruntowych powinny być założone w celu monitorowania, czy nie występuje zanieczyszczenie z tego obszaru.
- Wreszcie, należy monitorować problemy, które mogą pojawić się w końcowych warstwach pokrywy na powierzchni obszaru, a także osunięcia i zapadnięcia na hałdzie.

## References

Blight, G. (2008). Slope failures in municipal solid waste dumps and landfills: a review. *Waste Management & Research*, 26, 448–463. <https://doi.org/10.1177/0734242X07087975>

Jafari, N. H., Stark, T. D., & Merry, S. (2013). The July 10 2000 Payatas Landfill Slope Failure. *International Journal of Geoengineering Case Histories*, 2(3), 208–228. <https://doi.org/10.4417/IJGCH-02-03-03>

Jain, P., Townsend, T. G., & Johnson, P. (2013). Case study of landfill reclamation at a Florida landfill site. *Waste Management*, 33(1), 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.011>

Jayaweera, M., Gunawardana, B., Gunawardana, M., Karunawardena, A., Dias, V., Premasiri, S., Dissanayake, J., Manatunge, J., Wijeratne, N., Karunaratne, D., & Thilakasiri, S. (2019). Management of municipal solid waste uncontrolled dumps immediately after the collapse: An integrated approach from Meethotamulla uncontrolled dump, Sri Lanka. *Waste Management*, 95, 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.019>

Republic of Turkey Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, (2014), The guide of the landfill operation.

Kocasoy, G., & Curi, K. (2000). the Umraniye-Hekimba \$ I open dump site Accident. *April 1994*, 305–314.

Maheshi, D., Steven, V. P., & Karel, V. A. (2015). Environmental and economic assessment of “open waste dump” mining in Sri Lanka. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.004>

Worrell, W. A., Vesilind, P. A. (2011), Solid waste engineering, Publisher: Global engineering