



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Budownictwo ziemne Składowiska odpadów**

**Jerzy Flisiak  
Michał Kowalski**

**Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii  
Nazwa katedry: Geomechaniki, Budownictwa  
i Geotechniki**

## Definicja składowiska odpadów

**Składowiska odpadów** są obiektami służącymi do składowania odpadów na powierzchni terenu lub też pod powierzchnią terenu w sposób, który nie będzie uciążliwy dla środowiska zarówno w czasie eksploatacji składowiska jak i po jej zakończeniu.





AGH

## Składowiska odpadów





- 1. Instrukcja ITB nr 340/96 - Projektowanie i wykonywanie badań do lokalizacji składowisk odpadów [46],**
- 2. Instrukcja ITB nr 337 - Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych [41],**
- 3. Instrukcja ITB nr 339/2003 - Badania gruntów do budowy przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów [44], która zastąpiła Instrukcję ITB nr 339/96 - Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów [4],**
- 4. Instrukcja ITB nr 411/2005 - Badania gruntów i kontrola jakości wykonanych z nich przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów [37],**
- 5. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [13],**
- 6. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [12].**

- 7. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o opakowaniach i odpadach opakowaniowych [11],**
- 8. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarki niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej [10].**
- 9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów [Dz. U. Nr 61 poz. 549 z 24 marca 2003 r.] [5],  
które zastąpiło rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych [Dz. U. Nr 145, póź. 942 z póź. zm. Dz. U. Nr 22, póź. 251 z 5 marca 2001 roku [3].**

- **Instrukcja - Zasady budowy składowisk odpadów, ITB 2009,**

## Kategorie geotechniczne

Ze względu na zagrożenie środowiska, składowiska należą do **trzeciej kategorii geotechnicznej** w klasyfikacji obiektów budowlanych i do wykonania projektu budowlanego konieczne staje się wykonanie **dokumentacji geologiczno-inżynierskiej z określeniem geotechnicznych warunków posadowienia.**

Składowiska są budowlami inżynieryjnymi, które należą do grupy najtrudniejszych obiektów budowlanych, co spowodowane jest dużą powierzchnią obiektu (od kilku do kilkuset tysięcy m<sup>2</sup>), dużą pojemnością (rzędu nawet kilkunastu milionów m<sup>3</sup>), miąższością (do kilkudziesięciu metrów), okresem eksploatacji (kilkadziesiąt lat) oraz uwarunkowaną maksymalną szczelnością obiektu i jego minimalnym oddziaływaniem na otoczenie.



AGH

## Podział składowisk

pod kątem  
organizacji  
składowisk

- **niezorganizowane** – zajmujące najczęściej naturalne zagłębienia terenu lub też wyrobiska bez jakichkolwiek zabezpieczeń,
- **półorganizowane** – na których zastosowanie ma izolowanie składowanych odpadów od podłoża przy zastosowaniu geomembran,
- **zorganizowane** – które posiadają wszystkie niezbędne cechy wymienione w rozporządzeniu Ministra ds. Środowiska czyli uwzględniono tu wszystkie kryteria hydrogeologiczne, geotechniczne oraz spełniające wymogi techniczne i eksploatacyjne.



pod kątem  
składowanych  
odpadów  
składowiska

- **dla odpadów niebezpiecznych**  
– odpady niebezpieczne  
wymienione są w załączniku
- **dla odpadów uciążliwych,**
- **dla odpadów inertnych**  
(obojętnych).

pod kątem  
położenia  
składowisk  
względem rzeźby  
terenu

- **położenie wgłębne,**
- **położenie zboczowe (skarpowe),**
- **położenie płaskie,**
- **składowiska nadpoziomowe** - na terenie płaskim,
- **składowiska podpoziomowe** - w obniżeniach terenu,
- **składowiska boczne** – oparte o zbocza (wgłębne i napowierzchniowe).

**pod kątem  
panujących  
stosunków  
wodnych**

- **składowiska  
odpływowe,**
- **składowiska  
bezodpływowe.**

pod kątem  
uwarunkowań  
krajobrazowych i  
wysokości  
położenia ponad  
otaczającym  
terenem

- **składowiska wysokie** – o wysokości ponad 12 m,
- **składowiska średnie** – o wysokości 4-12 m,
- **składowiska niskie** – o wysokości do 4 m.

## **Lokalizacja składowisk**

**Aby składowisko spełniało wymagania lokalizacji powinno być prawidłowo uszczelnione to jest posiadać naturalną barierę geologiczną uszczelniającą podłoże i ściany boczne [9].**

**Rozróżniono trzy rodzaje uszczelnienia podstawy i ścian bocznych jako jednego z elementów konstrukcyjnych składowiska:**

- **naturalna bariera geologiczna,**
- **sztucznie wykonana bariera geologiczna,**
- **izolacja syntetyczna,**

**oraz dwa rodzaje uszczelnienia powierzchni składowiska:**

- **warstwa ekranująca,**
- **izolacja syntetyczna.**

## Lokalizacja składowisk

**Zgodnie z rozporządzeniem założono, że minimalna miąższość i wartość współczynnika filtracji  $k$  naturalnej bariery geologicznej powinna wynosić:**

- **dla składowisk odpadów niebezpiecznych - miąższość nie mniejsza niż 5 m, współczynnik filtracji  $k \leq 1.0 \times 10^{-9}$  m/s,**
- **dla składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i odpadów obojętnych - miąższość nie mniejsza niż 1 m, współczynnik filtracji  $k \leq 1.0 \times 10^{-9}$  m/s.**



## Lokalizacja składowisk

oraz, że:

- **bariera geologiczna powinna mieć rozciągłość poziomą przekraczającą obszar projektowanego składowiska odpadów,**
- **w miejscach, gdzie naturalna bariera geologiczna nie spełnia warunków wyżej określonych, stosuje się sztucznie wykonaną barierę geologiczną o minimalnej miąższości 0.5 m, zapewniającą przepuszczalność  $\leq 1.0 \times 10^{-9}$  m/s, którą wykonuje się w taki sposób, by procesy osiadania na składowisku odpadów nie mogły spowodować jej zniszczenia,**
- **uzupełnieniem naturalnej lub sztucznej bariery geologicznej jest izolacja syntetyczna,**
- **uszczelnienie powierzchni składowiska wykonuje się z warstwy ekranującej składającej się z warstwy mineralnej o wartości współczynnika filtracji  $k \leq 1.0 \times 10^{-9}$  m/s i miąższości  $\geq 0.5$  m oraz izolacji syntetycznej.**



**AGH**

## **Lokalizacja składowisk**

**Składowiska lokowane winny być na terenach należących do nieużytków gruntowych suchych i na najśłabszych gruntach ornym (klasy IV i V) oraz nie podmokłych pastwiskach klasy VI. Oczywiście mogą zaistnieć warunki, kiedy brak jest takich gruntów wtedy istnieje możliwość lokalizacji na gruntach wyższych kategorii.**

**Generalnie najlepszym gruntem wśród "najgorszych" bywa grunt piaskowy z głęboko zlokalizowanym zwierciadłem wód podziemnych (zwierciadło poniżej 2-3 m, brak wahań zwierciadła). Przy lokalizacji należy wykazać się pewną przewidywalnością.**

## Projektowanie izolacji składowisk odpadów

**Najnowsze zasady projektowania i wykonywania składowisk odpadów oparte są na opracowanej w USA koncepcji wielokrotnych barier zabezpieczających (Multi Barrier Concept). System uszczelnienia składowiska, zaproponowany przez amerykańców i wprowadzony w wielu krajach, ma następujące elementy składowe:**

- **warstwa nośna podłoża,**
- **warstwa uszczelniająca (przesłony mineralne i przesłony syntetyczne),**
- **warstwa drenażowa (z układem drenów lub bez),**
- **warstwa ochronna.**

**Rozwiązanie takie prawie całkowicie zapobiega rozprzestrzenianiu się szkodliwych substancji ze składowiska odpadów do środowiska naturalnego, zarówno w okresie eksploatacji, jak również po całkowitym wypełnieniu i zamknięciu składowiska. W projektowaniu składowiska głównym problemem staje się zapewnienie izolacji mas odpadów od otaczającego je gruntu poprzez wykonywanie przesłon mineralnych lub doszczelnianie barier geologicznych.**

## Projektowanie izolacji składowisk odpadów

**Podstawowe mineralne i geosyntetyczne elementy konstrukcji uszczelnienia składowiska składowisk odpadów to:**

- 1. przesłony mineralne (uszczelnienia mineralne, przesłony iłowe) - warstwy o niskiej przewodności hydraulicznej służące za barierę przed infiltracją cieczy z i do składowiska, które możemy podzielić na:**
  - bariera geologiczna to naturalnie występujące warstwy gruntów praktycznie nieprzepuszczalnych o odpowiedniej miąższość, ciągłości i jednorodności, stanowiące rodzime podłoże,**
  - mineralna przesłona izolacyjna to warstwy specjalnie sprawdzonych, odpowiednio uformowanych i zagęszczonych gruntów spoistych w dnie i na skarpach, a także na powierzchni rekultywacyjnej składowiska czasami z domieszką np.: bentonitu lub innych dodatków ulepszających (sztuczna bariera geologiczna, warstwa ekranująca),**

## Projektowanie izolacji składowisk odpadów

- **geomata zazwyczaj mata bentonitowa (wykładzina geosyntetyczno - ilasta, itp.) - mata wykonana z materiałów syntetycznych i wypełniona aktywnym, przerobionym materiałem naturalnym - bentonitem. Zaliczenie mat bentonitowych do przesłon mineralnych przyjęto na podstawie literatury. Należy pamiętać, że mata bentonitowa nie może zastąpić mineralnej przesłony**



**izolacyjnej. W konstrukcji uszczelnienia składowiska jest traktowana jako warstwa syntetyczna i może być układana w miejscu geomembrany lub stanowić dodatkową warstwę w profilu uszczelnienia.**

## Projektowanie izolacji składowisk odpadów

2. przesłony syntetyczne - zazwyczaj geomembrana (uszczelnienie sztuczne, wykładziny geomembranowe, folia, itp.) przesłona syntetyczna nieprzepuszczalna lub o bardzo małej przepuszczalności,





## Projektowanie izolacji składowisk odpadów

- 3. warstwy drenażowe - warstwy zbudowane z naturalnych lub sztucznych materiałów służące do odprowadzania ze składowiska odcieków i gazu.**
- **drenaż odcieku (warstwa drenażowa, drenaż, itp.) - drenaż wewnątrz niecki i pod czaszą składowiska zbierający ciecze z wnętrza składowiska, nie zezwalający na migracje zanieczyszczeń do środowiska,**
  - **drenaż kontrolny - występujący pomiędzy geomembraną, a mineralną warstwą izolacyjną, w celu wykrycia nieszczelności,**

## Projektowanie izolacji składowisk odpadów

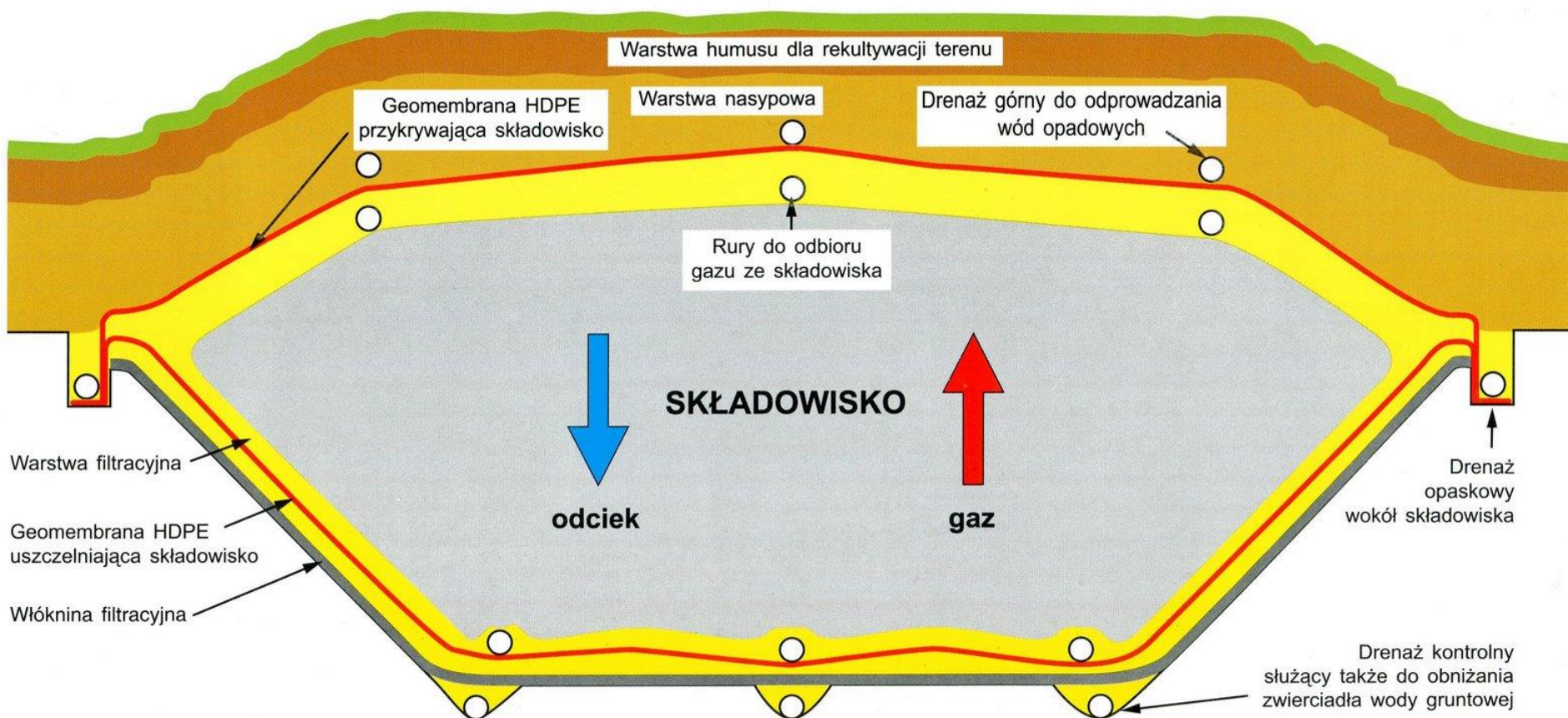
- **drenaż gazu - drenaż nad warstwą odpadów zbierający gazy powstające na skutek procesów biochemicznych w składowisku i odprowadzający je na zewnątrz składowiska, następnie wykorzystywany.**





AGH

## Projektowanie izolacji składowisk odpadów





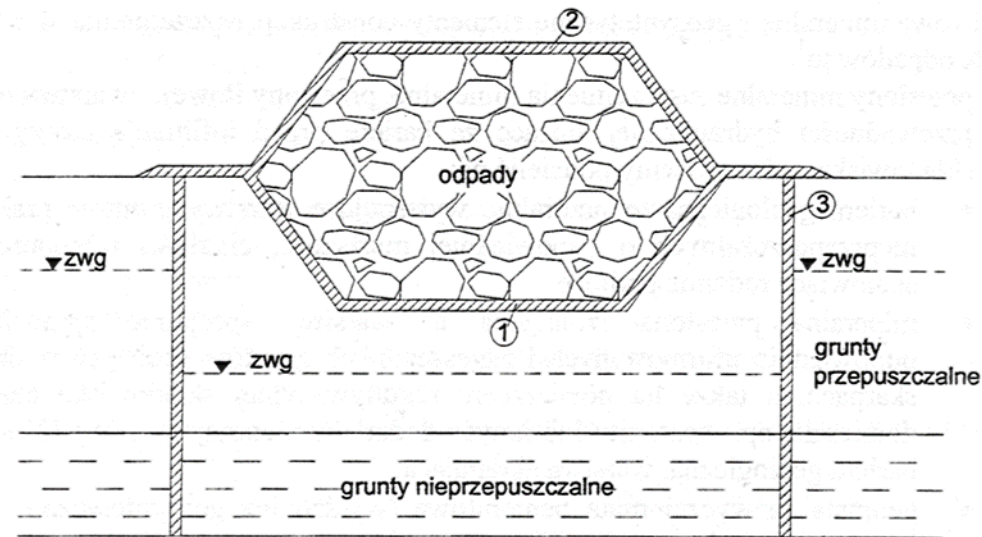
**AGH**

## **Projektowanie izolacji składowisk odpadów**

- 4. warstwy ochronne, separacyjne, filtracyjne - to zazwyczaj geowłókniny o różnej gramaturze, wykonane z włókien syntetycznych przez igłowanie, tkanie lub wiązanie,**
- 5. warstwa glebotwórcza - warstwa mineralna posiadająca właściwości glebotwórcze, uformowana na powierzchni składowiska i stanowiąca podłoże dla wegetacji roślin.**



## Projektowanie izolacji składowisk odpadów



**Mineralne przesłony izolacyjne na składowiskach odpadów ze względu na miejsce wbudowania w składowisku można podzielić ogólnie, zgodnie z rysunkiem, na:**

- przesłony uszczelniające podstawę i skarpy - 1,
- przesłony uszczelniające powierzchnię - 2,
- przesłony pionowe - 3.

## **Przesłony uszczelniające podstawę i skarpy**

**Zadaniem przesłon uszczelniających podstawę i skarpy składowiska jest:**

- **stworzenie nieprzepuszczalnego i stabilnego w czasie uszczelnienia,**
- **niedopuszczanie do przesiąkania odcieków w naturalne podłoże składowiska, adsorpcja szkodliwych związków chemicznych np.: metali ciężkich,**
- **utworzenie pod składowiskiem podłoża o dobrej nośności i niewielkim osiadaniu.**

**Mięszość wykonywanych mineralnych przesłon izolacyjnych w podstawie składowiska zależy od przepisów, zaleceń oraz rodzaju składowiska i waha się od 0.5 m do 1.5 m.**

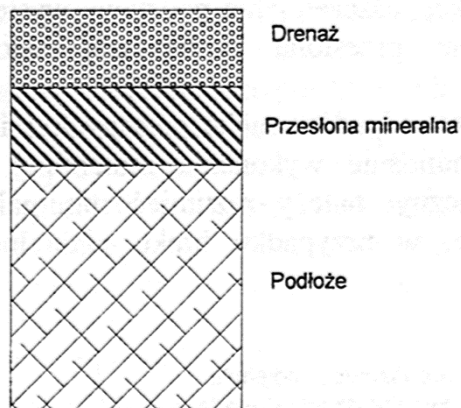




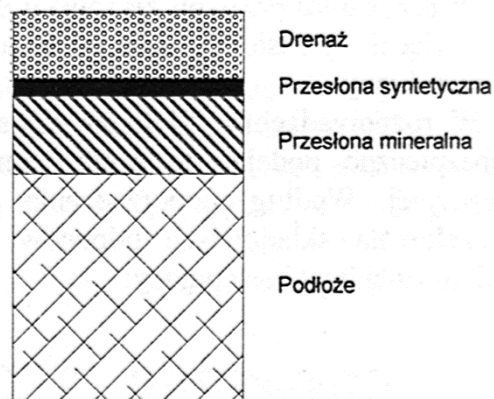
AGH

## Rodzaje przesłon

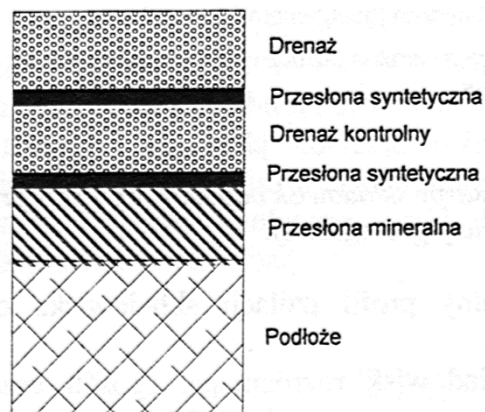
1. POJEDYNCZA



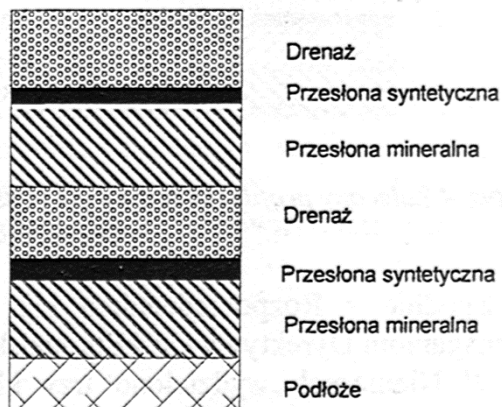
2. POJEDYNCZA - ZŁOŻONA



3. PODWÓJNA



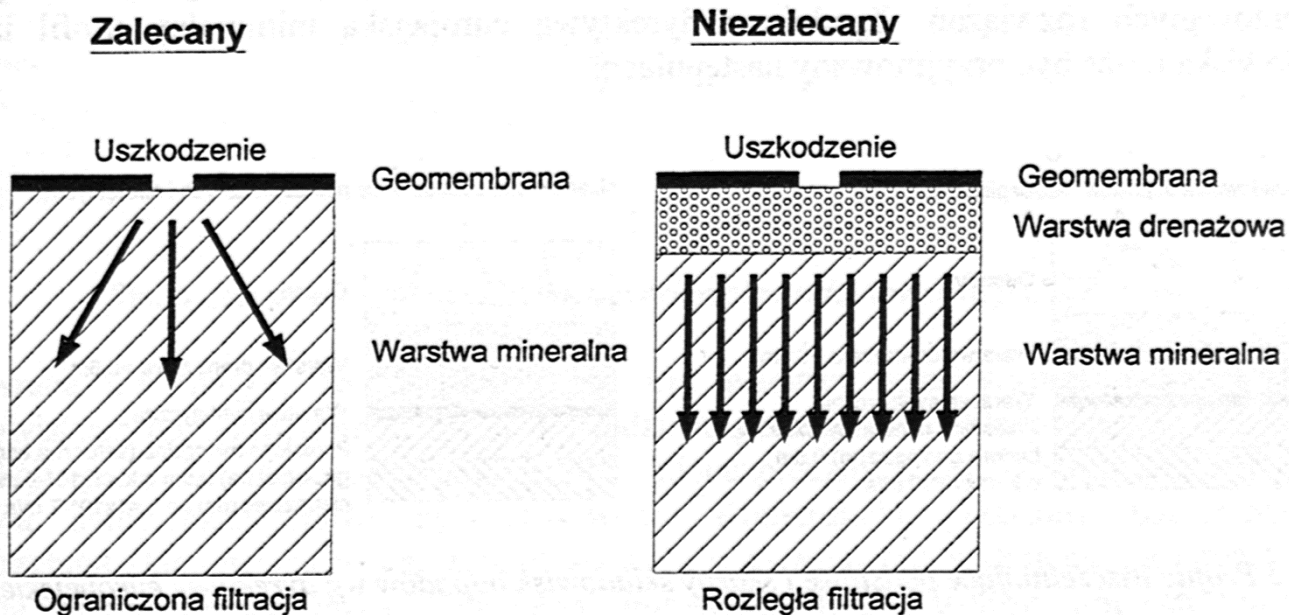
4. PODWÓJNA - ZŁOŻONA



1. pojedyncze, uszczelnienie tworzy warstwa izolacyjna wykonana z jednego materiału, mineralna lub syntetyczna,
2. pojedyncze - złożone, mineralno-syntetyczne,
3. podwójne, w wielu różnych możliwych wariantach konstrukcji; zasadą są tu dwie warstwy drenażowe,
4. podwójne - złożone, uszczelnienie zawiera dwie lub więcej warstw uszczelniających i drenażowych.

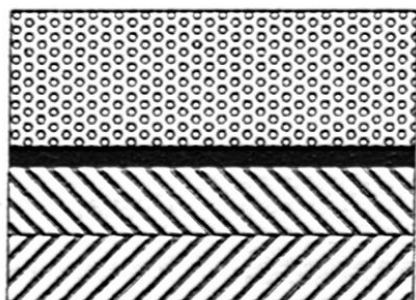
## Rodzaje przesłon

**W przypadku przesłon pojedynczych mineralną przesłonę izolacyjną układamy bezpośrednio na podłożu składowiska. W przypadku przesłon pojedynczych złożonych bezpośrednio na przesłonę układana jest geomembrana w celu zabezpieczenia przed infiltracją odcieku w mineralną przesłonę izolacyjną na całej jej powierzchni**



## Rodzaje przesłon

**W rozporządzeniu [9] łączy się składowiska odpadów niebezpiecznych i innych niż niebezpieczne podając te same wymagania odnośnie wykonania mineralnej przesłony izolacyjnej. Według rozporządzenia [9] konieczny – należy rozumieć minimalny – profil uszczelnienia składowiska odpadów w Polsce, w przypadku braku naturalnej bariery geologicznej, jest następujący:**

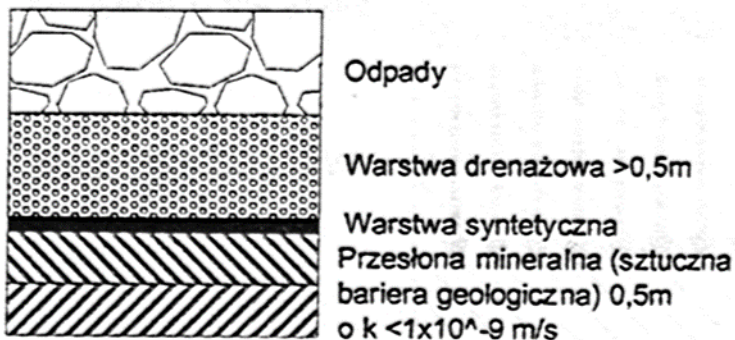


- ← 50cm warstwa drenażowa z materiału żwirowo-piaszczystego ok  $>1 \times 10^{-4}$  m/s
- ← warstwa syntetyczna (geomembrana, mata bentonitowa)
- ← 50cm warstwa mineralna (sztuczna bariera geologiczna) o  $k < 1 \times 10^{-9}$  m/s

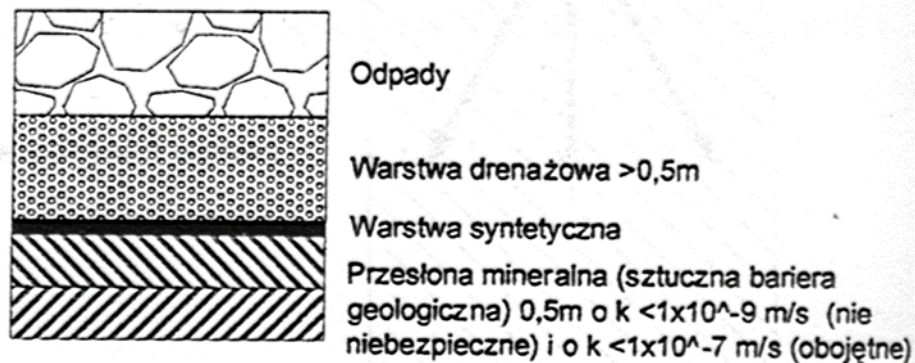
## Rodzaje przesłon

**Minimalny profil zgodny z Rozporządzeniem [9] odpowiada wymaganiom Dyrektywy Unii Europejskiej [1].**

składowiska odpadów niebezpiecznych



składowiska odpadów nie niebezpiecznych i obojętnych



## **Projektowanie izolacji składowisk odpadów c.d.**

**W Niemczech wydzielono trzy klasy składowisk różniąc sposób uszczelnienia podstawy i skarp. Niemieckie przepisy wymagają najgrubszych przestłon o najniższym współczynniku filtracji ustalonym jako  $k \leq 5 \times 10^{-10}$  m/s.**

**Minimalne wymagania stawiane zagęszczonym warstwom mineralnym w Stanach Zjednoczonych to: od 0.3 do 0.9 m grubości przy minimalnej przepuszczalności  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s dla izolacji podłoża. W przypadku składowisk odpadów niebezpiecznych i komunalnych wymagane są warstwy syntetyczne kładzione na warstwy mineralne w obu wymienionych przypadkach uszczelnień.**

**Porównując dane z Dyrektywy Rady 1999/31/EC z dnia 26 kwietnia 1999 roku o składowiskach odpadów z przedstawionymi wyżej sposobami uszczelnień podstawy składowisk widać, że wymagania Unii Europejskiej i Polski są najbardziej łagodne z pośród prezentowanych rozwiązań.**



## **Przesłony uszczelniające powierzchnię**

**Przesłony uszczelniające powierzchnię składowiska pełnią następujące funkcje:**

- **nie dopuszczają do infiltracji wód opadowych w głąb korpusu składowiska,**
- **odprowadzają w maksymalnym stopniu wody opadowe poza obręb składowiska,**
- **zapobiegają przed wydostaniem się gazów pochodzących z procesów biochemicznych poza obręb składowiska,**
- **zapobiegają pyleniu i roznoszeniu przez wiatr lekkich części składowanych odpadów,**
- **tworzą barierę biologiczną dla korzeni roślin oraz dla gryzoni, zapobiegają erozji powierzchni wysypiska.**

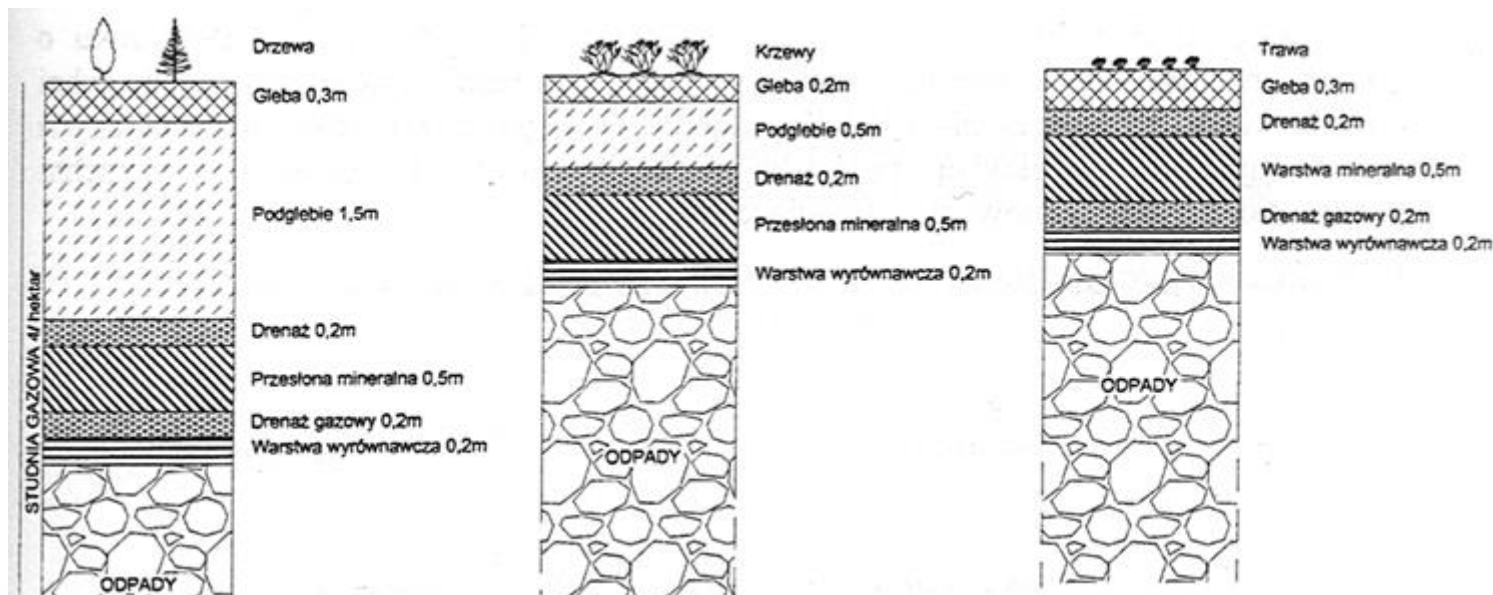




AGH

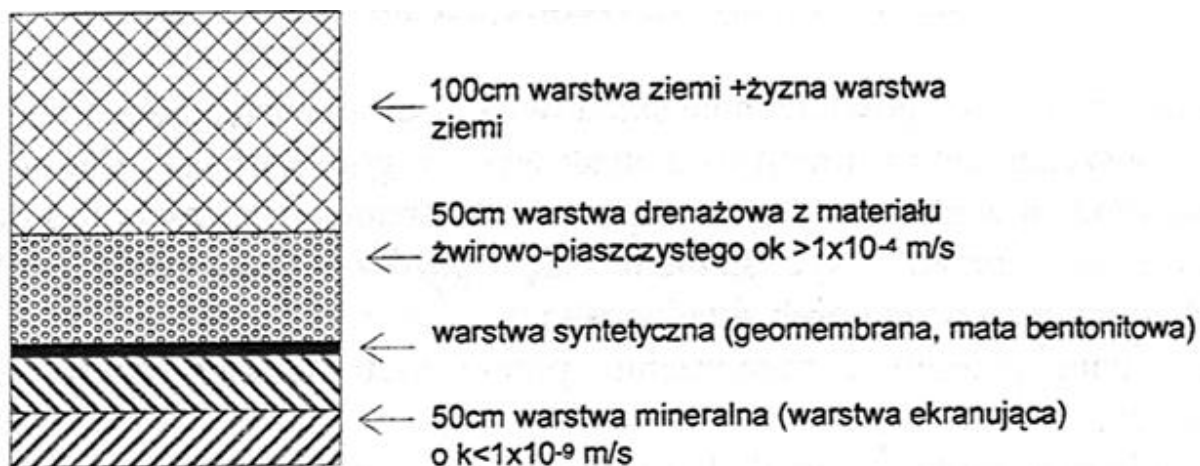
## Przesłony uszczelniające powierzchnię

Przesłony uszczelniające powierzchnię składowiska konstruowane powinny być jako wielowarstwowe z materiałów naturalnych. Miąższość wykonywanych uszczelnień powierzchniowych (łącznie z warstwą rekultywacyjną i drenażową) może wynosić nawet 2÷2.5 m i zależy od sposobu rekultywacji. Warstwa zakrywająca ma stwarzać środowisko, w którym rozwijać się będą korzenie roślin w pierwszych latach wegetacji. Warstwę pokrywającą stanowi: ziemia urodzajna (humus), ziemia żyzna, piasek.



## Przesłony uszczelniające powierzchnię

Zwraca się uwagę, że w profilu **nie ma warstwy syntetycznej**. Warstwa ta w składowiskach odpadów komunalnych prowadzi do przesuszenia składowiska i zatrzymania produkcji gazu. W składowiskach odpadów niebezpiecznych, w których nie ma gazu, warstwa syntetyczna może być stosowana. Konstrukcja przesłony uszczelniającej powierzchnię składowiska to najczęściej warstwa wyrównawcza wykonana na odpadach, a nad nią kolejno drenaż gazowy, przesłona mineralna, drenaż wodny, warstwa filtrująca, bariera biologiczna oraz powierzchniowa warstwa rekultywacyjną. Według rozporządzenia [5] konieczny profil uszczelnienia powierzchni składowiska odpadów w Polsce jest następujący:



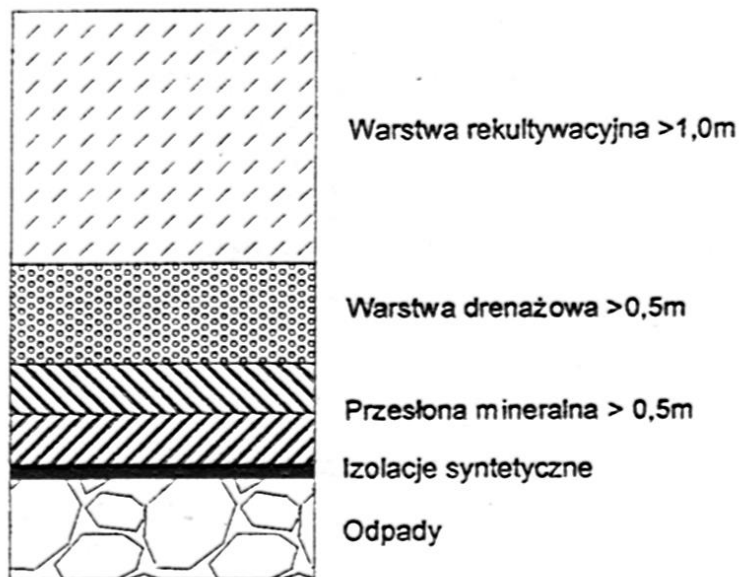


AGH

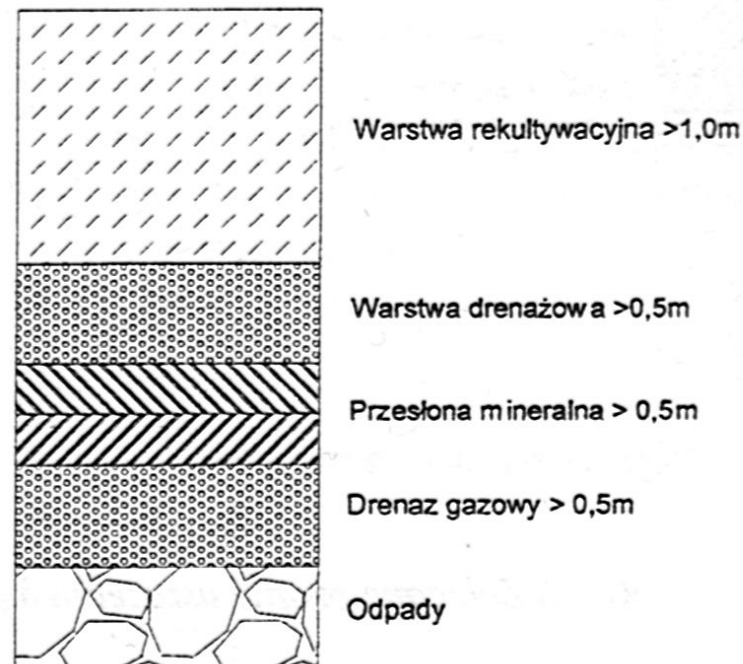
## Przesłony uszczelniające powierzchnię

Zgodnie z dyrektywą europejską minimalny profil uszczelnienia powierzchni składowisk może być przyjmowany następująco:

składowiska odpadów niebezpiecznych



składowiska odpadów niebezpiecznych i obojętnych



## Przesłony uszczelniające powierzchnię

**W Niemczech dla wszystkich trzech klas składowisk jest wymagane uszczelnienie o grubości 50 cm i współczynnika filtracji  $k \leq 5 \times 10^{-9}$  m/s oraz geomembrana w przypadku składowisk klasy II i III. Minimalne wymagania stawiane zagęszczonym warstwom mineralnym w uszczelnieniach powierzchniowych w Stanach Zjednoczonych to: od 0,5 do 0,9 m grubości przy minimalnej przepuszczalności  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s dla składowisk odpadów niebezpiecznych i  $k \leq 1 \times 10^{-7}$  m/s dla składowisk odpadów komunalnych, przy czym geomembrana jest wymagana tylko dla składowisk odpadów komunalnych.**

## Przesłony pionowe

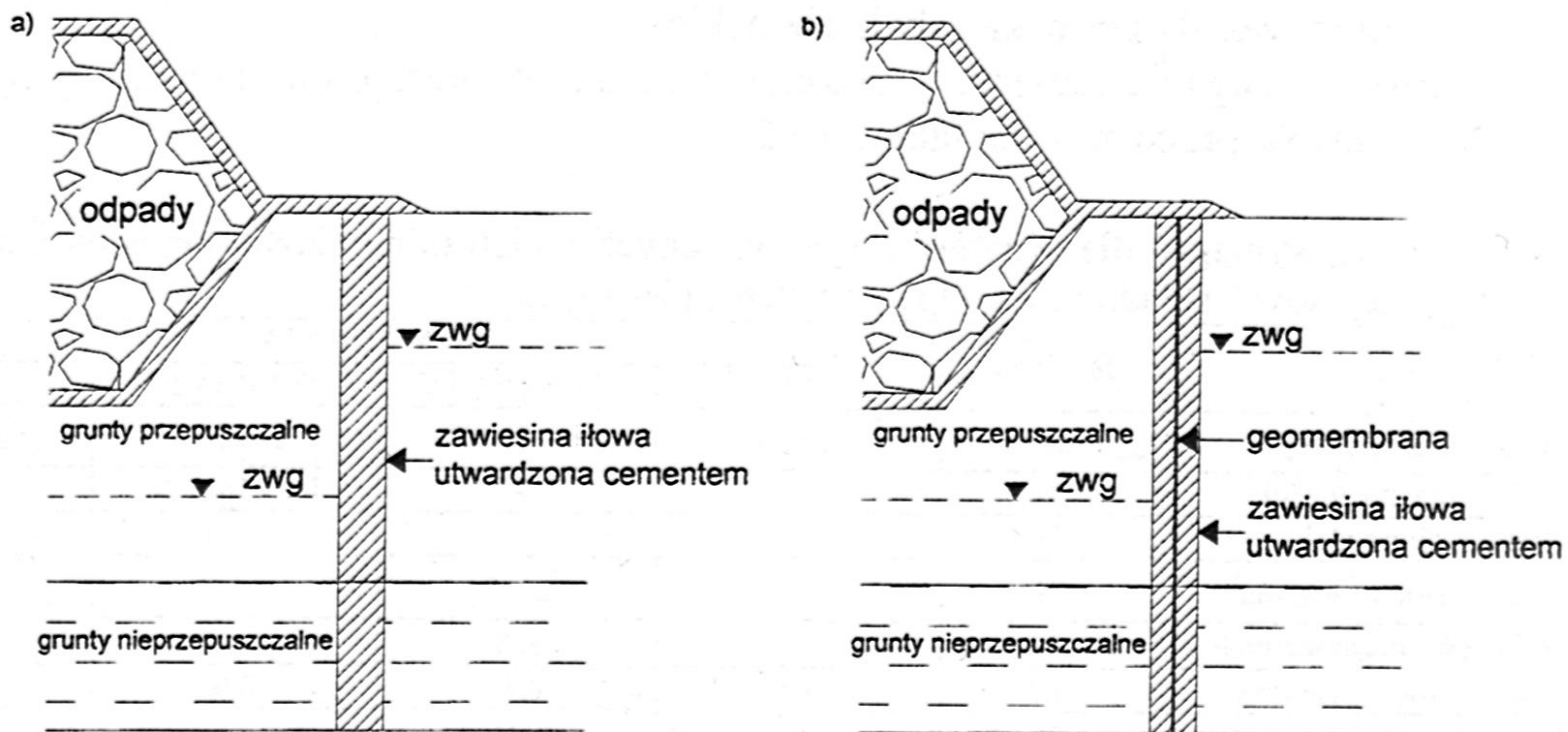
**Przesłony pionowe składowisk odpadów są drogim, dlatego rzadko stosowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym. Zazwyczaj wykonywane są przy składowiskach odpadów niebezpiecznych o wysokiej toksyczności oraz w odpowiednich warunkach gruntowych, gdy występuje naturalna warstwa z gruntów nieprzepuszczalnych pod warstwą gruntów przepuszczalnych w podłożu składowiska. Zadaniem przesłon pionowych jest: zabezpieczenie wód gruntowych przed poziomą migracją skażonych wód ze składowiska, utworzenie wokół składowiska zamkniętego i szczelnego „zbiornika”, utrzymanie niższego poziomu wód gruntowych w „zbiorniku” niż na zewnątrz, zgromadzenie wód skażonych w „zbiorniku”.**

**Istnieje szereg rodzajów uszczelnień pionowych stosowanych na składowiskach, z których najistotniejsze to: ścianki szczelne, ściany szczelinowe, ścianki wykonywane metodami iniekcyjnymi np.: jet-grouting. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem są ściany szczelinowe - ekrany przeciwfiltracyjne. Mają one grubość od 0,4 m do 1,0 m i mogą mieć głębokość nawet do 50 m.**



AGH

## Przesłony pionowe



**Uszczelnienia pionowe ze ścian szczelinowych. a) klasyczna ściana szczelinowa, b) ściana szczelinowa z geomembraną**



# Wymagania dotyczące gruntów do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów

**Mineralne przesłony izolacyjne w składowisku odpadów powinny charakteryzować się następującymi właściwościami:**

- **zawartością frakcji uziarnienia umożliwiającą uzyskanie, po odpowiednim zagęszczeniu, wymaganego współczynnika filtracji,**
- **zdolnością do adsorbowania zanieczyszczeń znajdujących się w odciekach, które w przypadku braku geomembrany, bezpośrednio infiltrują w przesłonę lub w przypadku uszkodzenia geomembrany, przedostają się przez lokalne nieszczelności, odpowiednią wilgotnością, konsystencją i stanem, zapewniającymi właściwą urabialność i zagęszczalność układanych warstw przesłony,**
- **odkształcalnością, zapewniającą przenoszenie różnicy osiadań w podłożu składowiska,**
- **wystarczającą wytrzymałością przy występowaniu w podłożu naprężeń normalnych od odpadów lub do przeniesienia składowej stycznej naprężenia w warstwie uszczelniającej na skarpie,**
- **długotrwałością i stabilnością chemiczną zapewniającą niezmienną przepuszczalność w okresie co najmniej 100 lat.**

## Wymagania dotyczące gruntów do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów

Do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych możemy stosować grunty spoiste, które po wbudowaniu w przesłonę spełnią wymagania zawarte w rozporządzeniu oraz w przygotowywanych „Zasadach oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych”. Główne zalety stosowania gruntów spoistych do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych to przede wszystkim: niski koszt, mała przepuszczalność, wytrzymałość, dostępność, odporność chemiczna.

W Polsce grunty, które mogą mieć zastosowanie przy budowie składowisk odpadów to: **iły neogeńskie: plejstoceńskie, plioceńskie, mioceńskie i oligoceńskie, iły jurajskie, iły triasowe**, iły różnowiekowe zgromadzone na hałdach i w złożach wtórnych i o mniejszym znaczeniu: iły kredowe, iły permskie, iły karbońskie.



# Wymagania dotyczące gruntów do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów

**Zestawienie wymagań dla gruntów i wykonywanych z nich mineralnych przesłon izolacyjnych według różnych przepisów - składowiska odpadów niebezpiecznych.**

Parametr	Jednostka	WYMAGANIA			
		UE[1]	TA-	US EPA	PL[5]
Współczynnik filtracji	m/s	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 5 \times 10^{-10}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Wskaźnik plastyczności	%	-	-	$10 < I_p < 30$	-
Granica płynności	%	-	-	-	-
Zawartość węgla wapnia	%	-	$\leq 15$	-	-
Zawartość części	%	-	$\leq 5$	-	-
Minimalna grubość warstwy	m	0,5	1,50	0,9	0,5
Zawartość minerałów ilastych	%	-	$\geq 10$	-	-
Zawartość frakcji iłowej	%	-	$\geq 20$	-	-
Zawartość frakcji drobnych	%	-	-	$\geq 30$	-

# Wymagania dotyczące gruntów do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów

**Zestawienie wymagań dla gruntów i wykonywanych z nich mineralnych przesłon izolacyjnych według różnych przepisów - składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne.**

Parametr	Jednostka	WYMAGANIA				
		UE[1]	TA-Siedlungsabfall [7]		US EPA [2, 9]	PL[5]
			I klasa	II klasa		
Współczynnik filtracji	m/s	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 5 \times 10^{-10}$	$\leq 5 \times 10^{-10}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Wskaźnik plastyczności	%	-	-	-	$10 < I_p < 30$	-
Granica płynności	%	-	-	-	-	-
Zawartość węgla wapnia	%	-	$\leq 15$	$\leq 15$	-	-
Zawartość części organicznych	%	-	$\leq 5$	$\leq 5$	-	-
Minimalna grubość warstwy	m	0,5	0,50	0,75	0,6	0,5
Zawartość minerałów ilastych	%	-	$\geq 10$	$\geq 10$	-	-
Zawartość frakcji iłowej	%	-	$\geq 20$	$\geq 20$	-	.
Zawartość frakcji drobnych (< 0,075 mm)	%	-	-	-	$\geq 30$	-

# Wymagania dotyczące gruntów do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów

Parametr	Jednostka	WYMAGANIA							
		ITB[41]	Daniel, Koemer [31]	Daniel [33]	Rowe [39]	Bagchi [25]	EPA [9]	Arch [24]	NRA [36, 40]
Współczynnik filtracji	m/s	10 <sup>-9</sup>	≤1x10 <sup>-9</sup>	≤1x10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-10</sup>	≤1x10 <sup>-9</sup>	≤1x10 <sup>-9</sup>	≤1x10 <sup>-9</sup> 1x10 <sup>-</sup>	≤1x10 <sup>-9</sup>
Wskaźnik plastyczności	%	>20	≥7 ≤30	≥12-15	>7	≥15 (10-15)	>10	10-30	≥6-12 ≤65
Granica płynności	%	>30				≥30 (25-30)		<90	≤ 90
Zawartość węgla wapnia	%	≤10							
Zawartość części organicznych	%	≤2							
Minimalna grubość warstwy	m	0,3-0,9	0,6-0,9 1,2-3,0		0,6 0,9-1,0		0,6-0,9		
Zawartość frakcji iłowej	%	≥20	≥ 10-20	≥ 20 - 25	15-20	≥25 (18-25)		>10	≥ 10
Zawartość frakcji drobnych (< 0,075 mm)	%		≥30-50	≥50		≥50 (40-50)	≥30		
Suma frakcji pyłowej i iłowej	%	>60						>30	
Zawartość frakcji żwirowej	%	brak	≤30-50					<10	
Aktywność	-				≥0,3				
Pojemność wymiany kationowej	meq/100g				≥10				
Maksymalny rozmiar brył łu	mm		25-50					50	

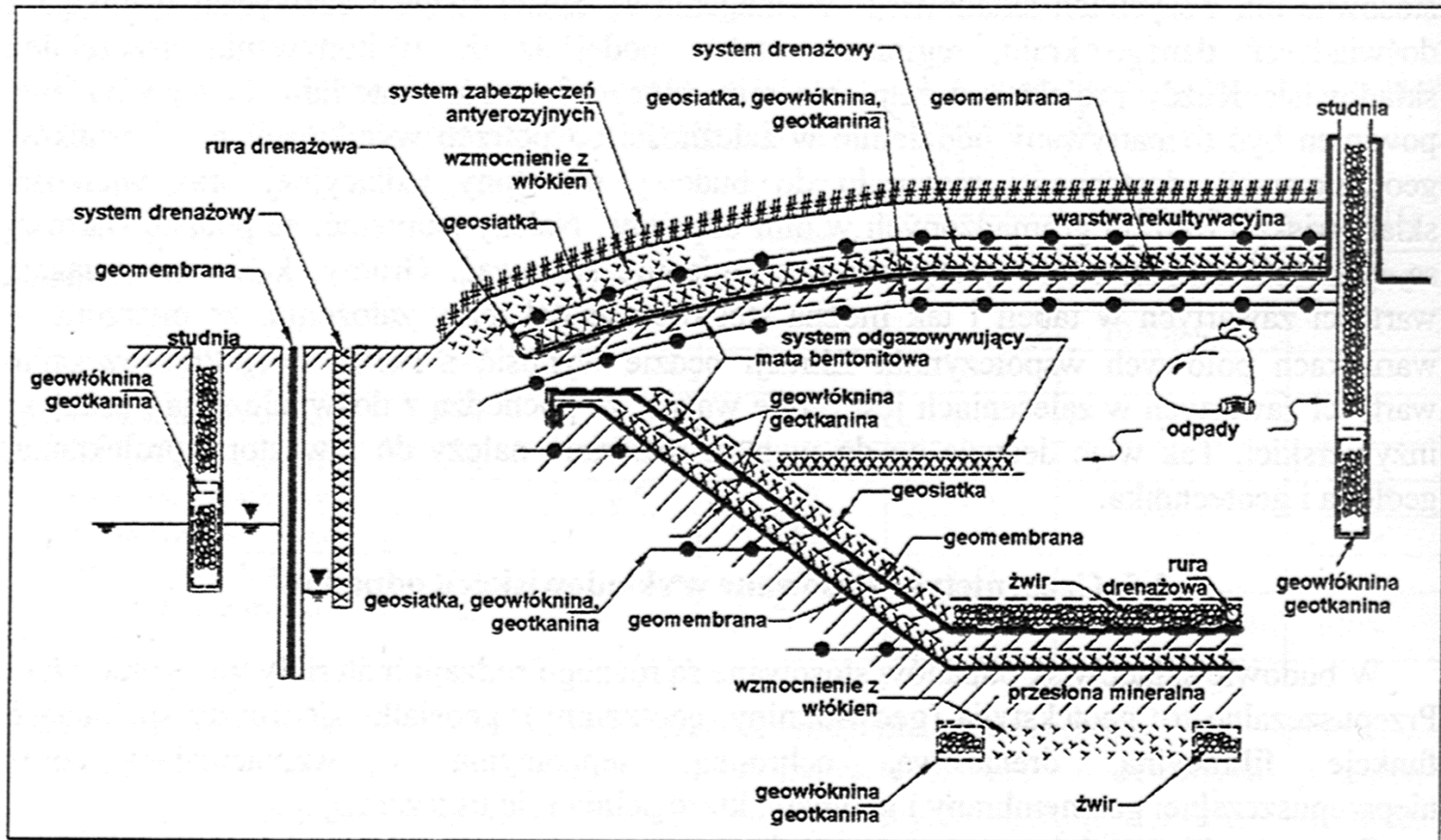
## **Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów**

**W budowie składowisk odpadów stosowane są różnego rodzaju materiały geosyntetyczne. Przepuszczalne to: geotekstylia (geowłókniny, geotkaniny), geosiatki, georuszty spełniające funkcje filtracyjną, drenażową, ochronną, separacyjną i wzmacniającą oraz nieprzepuszczalne: geomembrany i geomaty, które pełnią rolę uszczelniającą.**

## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

Rodzaj wyrobu	Funkcja					
	Filtrowanie	Drenaż	Rozdzielanie	Zbrojenie	Ochrona	Uszczelnianie
Geowłókniny	+	•	+		+	
Geotkaniny	+		+	+		
Geosiatki,			•	+	•	
Geokompozyty	•	+	•	•	+	+
Geomembrany						+
Geomaty						+
+ funkcja podstawowa			• funkcja drugorzędna			

# Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów



## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

**Geowłókniny** w budowie składowisk odpadów stałych stosowane są w roli warstwy filtracyjnej, ochronnej lub separacyjnej, podrzędnie drenującej. Pełnią rolę ochrony dla nieprzepuszczalnej geomembrany, zapobiegając jej uszkodzeniom mechanicznym w czasie budowy i eksploatacji składowiska. Geowłókniny pełniące funkcję ochrony muszą posiadać odpowiednie właściwości fizyczne i mechaniczne - masę powierzchniową, grubość, wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na przebicie. Dla pełnienia ponadto roli warstwy filtracyjnej i separacyjnej muszą zapewnić swobodny przepływ wody i zapobieganie kolmatacji, istotna jest ich przepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni oraz charakterystyczna wielkość porów.

## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

**Geosiatki i georuszty** stosowane są głównie w funkcji wzmocnienia, w mniejszym stopniu ochronnej lub separacyjnej. Ponieważ w konstrukcji przenoszą duże siły rozciągające, muszą charakteryzować się wysoką wytrzymałością na rozciąganie w obu kierunkach, przy małej odkształcalności oraz niskim odkształceniem przy pełzaniu.



## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

**Geokompozyty** są wyrobem złożonym, mającym w swym składzie co najmniej jeden wyrób geosyntetyczny. W budowie składowisk odpadów często są stosowane geokompozyty drenażowe, składające się dwóch lub trzech warstw: środkowej warstwy drenującej, o doskonałej przepuszczalności w płaszczyźnie, utworzonej najczęściej z luźnej siatki; warstwy zewnętrzne geokompozytu wykonywane są z geowłókniny, geotkaniny lub folii i pełnią rolę filtracyjną, rozdzielającą lub uszczelniającą.

## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

**Geokompozyty drenażowe** są elementem systemu drenażu składowiska, którego celem jest zbieranie i odprowadzanie odcieków. Istotną cechą warstwy drenującej jest zachowanie bardzo dobrej przepuszczalności w płaszczyźnie pod znacznym obciążeniem, zwiększającym się w miarę wypełniania składowiska. Charakterystyka wyrobu powinna uwzględniać wyniki badań przepuszczalności wyrobu w płaszczyźnie przy obciążeniu do 200 kPa.

## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

**Geomembrany** są jednym z głównych elementów konstrukcji systemu uszczelniającego składowisko odpadów. Są to wykładziny o bardzo niskiej przepuszczalności, produkowane z polimerowych tworzyw sztucznych, przede wszystkim z: PE-HD, PVC, PP. Są one odporne na działanie odcieków ze składowiska, a także na krótkotrwałe oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego (na czas budowy). Do uszczelniania dna i ścian składowiska stosuje się geomembrany o grubości co najmniej 2 mm, zaś na przekrycia wyeksploatowanego składowiska nie mniejszej niż 1,5 mm.

## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

Ważnym elementem wykonawstwa **geomembran** jest łączenie pasm za pomocą spoin zgrzewanych, spawanych lub wtłaczanych. Wymagane jest, aby spoina miała wytrzymałość nie mniejszą niż wytrzymałość folii, z której wykonana jest geomembrana. Na składowisku odpadów geomembrana układana jest najczęściej na podłożu gruntowym lub betonowym. Powierzchnia podłoża gruntowego, którym zwykle jest warstwa uszczelnienia mineralnego o  $k \leq 10^{-9}$  m/s, powinna być wyrównana, równomiernie zagęszczona, bez zagłębień, musi być sucha bez lokalnych kałuż i wysięków wody. Powierzchnia podłoża betonowego powinna mieć powierzchnię wygładzoną, bez spękań i ostrych występow, załamania powierzchni powinny być zaokrąglone, powinna być również oczyszczona i wysuszona. Niekiedy stosuje między geomembrana i betonowym podłożem stosuje się warstwę separującą z geowłókniny.

## Geosyntetyki stosowane w składowiskach odpadów

**Geomaty** - maty bentonitowe są stosowane również jako element konstrukcji uszczelnienia dna i ścian składowiska odpadów. Maty bentonitowe są geokompozytem wykonanym z geotekstyliów (geowłókniny, geotkaniny) i bentonitu. Wyrób ten składa się z trzech warstw: dwóch warstw zewnętrznych z geotekstyliów i środkowej z bentonitu; warstwy zewnętrzne połączone są zazwyczaj włóknami syntetycznymi metodą igłowania. Warstwą uszczelniającą jest tu warstwa bentonitu, który posiada właściwości pęczniące pod wpływem wody i stanowi barierę o bardzo małej przepuszczalności (wymagany współczynnik filtracji maty po nasyceniu wodą według ZUAT-15/IV.10 wynosi  $k \leq 5 \times 10^{-11}$  m/s). Z uwagi na charakter swobodnego pęcznienia łąków bentonitowych, uzyskanie pełnej skuteczności działania uszczelniającego maty wymaga obciążenia jej innymi elementami systemu uszczelnienia lub drenażu.

## **Wykonywanie mineralnych przesłon izolacyjnych**

**Proces formowania mineralnej przesłony izolacyjnej powinien być realizowany w trzech etapach:**

- 1. przez właściwe przygotowanie podłoża,**
- 2. przez spełnianie zasad określonych w technologii formowania przesłony mineralnej,**
- 3. przez obiektywną kontrolę zagęszczenia.**

**Zakres robót związanych z formowaniem mineralnych przesłon izolacyjnych powinien być ustalony indywidualnie w zależności od rodzaju materiału, harmonogramu prac, technologii układania i zagęszczania. Liczba zaprojektowanych badań musi w sposób wiarygodny określać jakość wykonanego uszczelnienia.**



## Wykonywanie mineralnych przesłon izolacyjnych

**Przygotowanie podłoża pod składowisko obejmuje następujące czynności:**

- **usunięcie humusu oraz usunięcie lub wymianę gruntów słabych,**
- **zagęszczenie powierzchniowej warstwy podłoża do osiągnięcia wymagań projektowych lub wskaźnika zagęszczenia  $I_s > 0,95$ ,**
- **powierzchniowe spulchnienie w celu lepszego związania z warstwami przesłony.**

**Na tak przygotowanej powierzchni możemy rozpocząć formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej.**



**AGH**

## **Formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej**

**Mineralne przesłony izolacyjne powinny być wykonywane warstwami o stałej grubości określonej w technologii formowania. Następna warstwa może być układana po spełnieniu wymaganego zagęszczenia i współczynnika filtracji przez warstwę już zagęszczoną. Dla uniknięcia przerw w robotach budowlanych powierzchnię formowanej przesłony można podzielić na pola robocze o odpowiedniej powierzchni (proponowana powierzchnia to 500 m<sup>2</sup>).**

## **Formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej**

**Grunty przywożone na składowisko powinny być pozbawione humusu, kamieni i innych zanieczyszczeń. Po dostarczeniu materiału na miejsce formowanej przesłony materiał powinien zostać rozciągnięty spychaczami w warstwę o grubości około 30 cm tak, aby po procesie zagęszczania uzyskać warstwę o grubości 25 cm lub inną zgodną z technologią formowania lub projektem.**

**Dostarczony grunt powinien być rozdrabniany aż do uzyskania możliwie najbardziej jednorodnej masy. Większe bryły gruntu należy rozdrabniać - nawet ręcznie. Procesy te mogą być rozpoczęte podczas pozyskiwania materiału w wyrobisku. Maksymalna wielkość brył nie powinna przekraczać 1/3 grubości warstwy gruntu przed zagęszczeniem. W trakcie homogenizacji materiału należy usuwać kamienie lub śmieci przypadkowo znajdujące się w jego masie do specjalnych pojemników.**

## **Formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej**

**Kolejnym krokiem jest nadanie masie odpowiedniej wilgotności. Wilgotność formowania gruntu przed zagęszczeniem powinna zostać określona w warunkach laboratoryjnych i ostatecznie potwierdzona na poletku doświadczalnym. Jeśli grunt posiada wilgotność niższą od dopuszczalnej należy go nawilżyć przez polewanie wodą. Jeżeli grunt jest zbyt wilgotny, to układamy go w warstwach i pozostawiamy do przeschnięcia, co pewien czas mieszając, by zapobiec tworzeniu się skorupy suchego gruntu na powierzchni warstwy. Zagęszczanie warstwy powinno być prowadzone po ujednoczeniu materiału oraz osiągnięciu wilgotności formowania. Zagęszczanie warstwy powinno odbywać się przy pomocy maszyny zagęszczającej przy określonej, w technologii formowania, liczbie przejazdów.**

## **Formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej**

**Formowanie warstw powinno odbywać się na podłożu nachylonym. Zalecany w literaturze optymalny spadek 3 % jest rzadko dotrzymywany ze względu na duże wymiary niecek składowisk. Minimalny spadek powinien wynosić 1,5 %. Każdą warstwę przed położeniem następnej należy wzruszyć na głębokość około 3-5 cm oraz połączyć wodą w celu lepszego połączenia warstw. Czynność ta powinna być wykonana na krótko przed ułożeniem następnej warstwy.**

**Zagęszczony i wygładzony materiał przesłony poddajemy kontroli jakości. Gdy warstwa wykonana jest dobrze, wykonuje się następną warstwę, jeżeli warstwa nie jest odpowiedniej jakości, zagęszczamy ją ponownie lub wymieniamy na nową. Zagęszczony grunt należy chronić przed utratą wilgotności przykrywając go szczelnie folią.**



**AGH**

## **Formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej**

**Podczas opadów atmosferycznych prace powinny być przerwane, a warstwy zabezpieczone w taki sposób, aby nie dopuszczać do powstawania zastoisk wody na powierzchni zagęszczonego gruntu. Podczas zagęszczania należy stosować przesunięcie styków roboczych o 3 m, aby zapobiec łączeniu się warstw w tym samym miejscu w pionie.**

**W przypadku wykonywania warstw mineralnych z wykorzystaniem granulatu bentonitowego receptura doboru odpowiedniej ilości materiałów w mieszance powinna zostać wcześniej określona w laboratorium. Granulat miesza się z gruntem w stanie suchym, a następnie dodaje wodę doprowadzając mieszankę do wilgotności formowania. Granulat można rozprowadzać siewnikiem równomiernie na całym polu, a następnie wymieszać go z gruntem glebogryzarką.**



## **Formowanie mineralnej przesłony izolacyjnej**

**Przy formowaniu skarp zaleca się formować je warstwami poziomymi o miąższości 0,25 m ze spadkiem do wewnątrz niecki składowiska. Pozostałe czynności należy wykonywać jak przy formowaniu warstw przesłony mineralnej. Po zagęszczeniu warstw skarpy wyrównuje się ją spychaczem do nachylenia określonego w projekcie.**

**Wymiary geometryczne przesłony powinny być dotrzymane zgodnie z projektem z dokładnością  $\pm 20$  cm dla wymiarów poziomych i  $\pm 5$  cm dla wymiarów wysokościowych (pionowych). Pomiary geodezyjne kontrolujące grubość warstw przesłony mineralnej powinny być wykonywane metodami laserowymi. Na obszarach, gdzie, nie można stosować technik laserowych wymaga się likwidacji otworów po palikach stosowanych do pomiarów geodezyjnych.**

**Wykonaną powierzchnię przesłony należy niezwłocznie zabezpieczyć przed procesami wietrzenia prowadzącymi do dezintegracji i zmian właściwości gruntu przykrywając folią, która nie zostanie rozerwana przez wiatr i będzie odporna na uszkodzenia mechaniczne.**

## Warunki zabezpieczeń składowisk

**Prawidłowy projekt składowiska zawierać powinien wszystkie elementy które przewidziane są w ustawach dotyczących składowania odpadów. Niezbędne jest więc uzyskanie wszystkich danych dotyczących **WSZYSTKICH ODDZIAŁYWAŃ** dla danego składowiska. Wszelkie niedopatrzenia jakie powstaną zostaną ujawnione dopiero po jakimś czasie działania składowiska, najczęściej wówczas niemożliwe staje się naprawienie tych błędów lub też koszt naprawienie popełnionych błędów jest bardzo duży.**

## Warunki zabezpieczeń składowisk

Czynniki działające na składowisko można podzielić na **fizyczne, chemiczne oraz biologiczne**. Zabezpieczenie składowisk odpadów polega głównie na uszczelnieniu, którego celem jest uodpornienie składowiska na działalność czynników fizycznych, chemicznych oraz biologicznych. Raczej nie ma takiej możliwości aby któryś z czynników występował sam bez pozostałych. Należy przyjmować, że oddziaływanie następuje w kombinacji wszystkich trzech czynników. Przy projekcie zabezpieczeń należy wziąć również pod uwagę oddziaływania:

- związane z pracami występującymi na etapie budowy (roboty ziemne oraz prace budowlane),
- związane z ciężarem objętościowym, podatnością na zagęszczenie i ze sposobem układania odpadów,
- związane z ukształtowaniem składowiska oraz z instalacją na składowisku urządzeń budowlanych,
- związane z właściwościami mechanicznymi gruntów a zwłaszcza z ich ścisłością oraz podatnością na osiadanie.

## Warunki zabezpieczeń składowisk

Zabezpieczenia składowisk na celu ma:

- **uniemożliwienie migracji odcieków poza teren składowiska. Odcieki powstają w wyniku działania wód opadowych i mogą migrować drogą filtracyjną poprzez drenaże odcieków lub drogą filtracyjną przez podstawę składowiska oraz poprzez przepływ dyfuzyjny. Prędkość przepływu dyfuzyjnego może być wyższa niż transportu filtracyjnego. W przypadku przepływu dyfuzyjnego nadzwyczaj istotne staje się określenie właściwości mechanicznych gruntu oraz przepuszczalności materiału uszczelniającego. W czasie transportu filtracyjnego może następować odkładanie się w gruncie zanieczyszczeń a następnie zanieczyszczenia te mogą powtórnie ulegać odfiltrowaniu. Związane jest to ze zmiennymi warunkami w gruntach - metale ciężkie np. unieruchomione zostają przy wysokim pH jeśli odczyn się zmieni i spadnie do wartości  $\text{pH} < 5$  metale te ulegają będą powtórnemu wymyciu.**

## Warunki zabezpieczeń składowisk

- **umożliwienie migracji gazów powstających na składowiskach (głównie składowiskach odpadów komunalnych). Tworzenie się gazów następuje najczęściej w warunkach beztlenowych wskutek rozkładu materii organicznej. Powstające gazy głównie metan ale również CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> i N<sub>2</sub> i w mniejszych ilościach amoniak, siarkowodór i acetylen są dużym zagrożeniem ze względu na możliwość wybuchu.**
- **pozostałe formy zabezpieczeń mają zmniejszyć ewentualne pylenie, zaśmiecenie czy też zagrożenie sanitarne.**

## Warunki zabezpieczeń składowisk

**Uszczelnienia stosowane na składowiskach odpadów można podzielić na:**

- 1. uszczelnienia podstawy - zadaniem tego uszczelnienia jest:**
  - **stworzenie nieprzepuszczalnej i stabilnej w czasie warstwy uszczelniającej, która będzie odprowadzała wody infiltrujące przez składowisko, odcieki ze składowiska oraz powstające gazy,**
  - **niedopuszczenie do przenikania w podłoże pod uszczelnieniem wód i odcieków ze składowiska,**
  - **absorpcja szkodliwych związków chemicznych,**
  - **utworzenie pod składowiskiem wyrównanego i statecznego podłoża o dobrej nośności i odpowiednich cechach odkształceniowych.**
- 2. uszczelnienia skarp,**

## Warunki zabezpieczeń składowisk

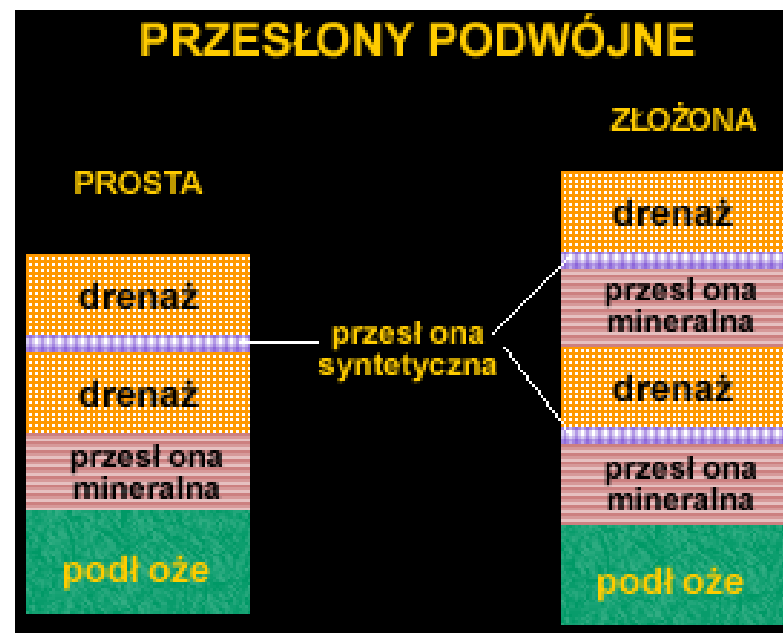
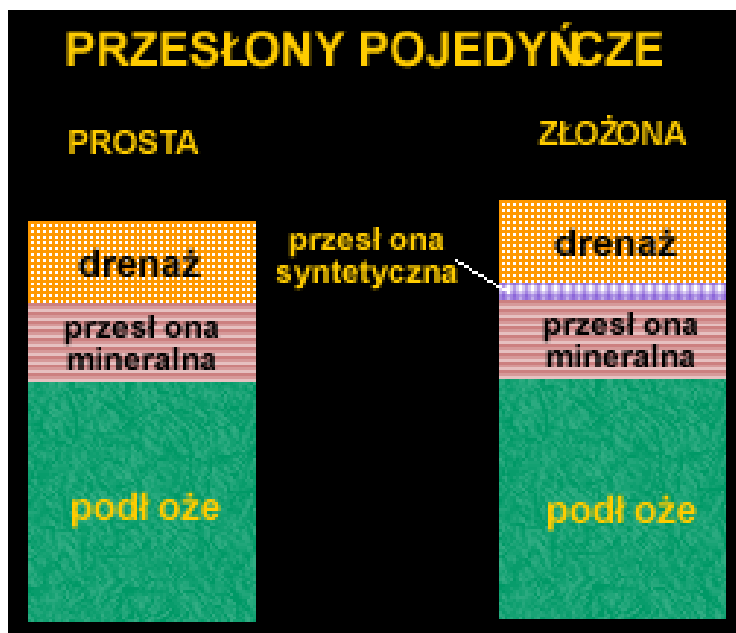
- 3. uszczelnienia zewnętrzne powierzchni rekultywowanych - zadania stojące przed tym uszczelnieniem są następujące:**
- **zabezpieczenie przed przenikaniem w głąb składowiska wód opadowych i jednocześnie odprowadzenie wód opadowych poza obręb składowiska,**
  - **zabezpieczenie przed wydostaniem się poza obręb składowiska gazów powstających wskutek rozkładu materii organicznej,**
  - **zapobieżenie pyleniu i roznoszeniu przez wiatr lekkich lub drobnych części odpadowych,**
  - **stworzenie bariery biologicznej dla korzeni roślin oraz dla gryzoni i ptactwa,**
  - **zapobieżenie erozji powierzchni składowiska.**
  - **uszczelnienia boczne.**





AGH

# Warunki zabezpieczeń składowisk



## Warunki zabezpieczeń składowisk

DOBÓR SYSTEMU PRZESŁON W ZALEŻNOŚCI OD WIELKOŚCI LUB POJEMNOŚCI SKŁADOWISKA ORAZ OD WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH				
		składowisko		
		małe do 2 ha powierzchni - do 100 000 m <sup>3</sup> pojemności	średnie do 10 ha powierzchni - do 800 000 m <sup>3</sup> pojemności	duże powyżej 10 ha powierzchni - powyżej 800 000 m <sup>3</sup> pojemności
<b>warunki geologiczne</b>	bardzo dogodne i dogodne	pojedyncza prosta	pojedyncza prosta lub pojedyncza złożona	pojedyncza prosta lub pojedyncza złożona
	mało dogodne	pojedyncza złożona	pojedyncza złożona	pojedyncza złożona lub podwójna prosta
	niedogodne	pojedyncza złożona	pojedyncza złożona lub podwójna prosta	podwójna prosta lub podwójna złożona