

PORADNIK PROJEKTANTA

REKULTYWACJA SKŁADOWISK ODPADÓW INNYCH NIŻ NIEBEZPIECZNE I OBOJĘTNE



*CETCO Poland, Zielona Góra
ul. Wojska Polskiego 37
tel. 68 453 91 31*

*CETCO Poland, Szczytno
Korpele 13A-Strefa
tel. 89 624 73 00*

*geoinzynieria@cetco.pl
www.cetco.com*

PORADNIK PROJEKTANTA

REKULTYWACJA SKŁADOWISK ODPADÓW INNYCH NIŻ NIEBEZPIECZNE I OBOJĘTNE

Część 1 – Informacje wstępne

- 1.1 Podstawy prawne rekultywacji i zagospodarowania terenu składowisk odpadów
- 1.2 Składowanie jako metoda unieszkodliwiania odpadów
- 1.3 Rekultywacja jako proces – etapy rekultywacji składowisk odpadów
- 1.4 Kryteria doboru metod rekultywacji technicznej

Część 2 – Rekultywacja techniczna składowisk odpadów

- 2.1 Roboty przygotowawcze i makroniwelacja kwatery
- 2.2 Konstrukcja warstwy okrywowej
 - 2.2.1 Okrywa typu 'A' – Aktywne składowiska odpadów
 - 2.2.2 Okrywa typu 'B' – Starsze składowiska odpadów
 - 2.2.3 Okrywa typu 'C1' – składowiska odpadów bez izolacji lub składowiska stanowiące szczególne zagrożenie dla środowiska
 - 2.2.4 Okrywa typu 'C2' – składowiska odpadów bez izolacji lub składowiska stanowiące szczególne zagrożenie dla środowiska
 - 2.2.5 Kryteria doboru materiałów
 - 2.2.5.1 Geokompozyt przeciwoerozyjny
 - 2.2.5.2 Geokompozyt drenażowy
 - 2.2.5.3 Drenaż gazowy
 - 2.2.5.4 Warstwa izolacyjna
 - 2.2.5.5 Stateczność okrywy na skarpach
 - 2.2.5.6 Wymiarowanie warstwy drenażowej

Część 3 – Rekultywacja biologiczna

- 3.1 Warstwa glebotwórcza
- 3.2 Siew i nasadzenia roślinności rekultywacyjnej
- 3.3 Hydroobsiew z zastosowaniem komunalnych osadów ściekowych

Część 4 – Rysunki

CZĘŚĆ 1 – INFORMACJE WSTĘPNE

1.1 Podstawy prawne rekultywacji i zagospodarowania terenu składowisk odpadów

- [1] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (Dz.U. nr 25 z 2008 r. poz. 150, tekst jednolity).
- [2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Ustawa o odpadach (Dz.U. nr 185 z 2010 r. poz. 1243, tekst jednolity).
- [3] 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 (Dz.U. Nr 61, poz. 549, z późn. zm.).
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 lutego 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk (Dz.U. Nr 39, poz. 320).
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. Nr 49, poz. 356).
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. Nr 134, poz. 1140).
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. Nr 220, poz. 1858).
- Krajowe i Wojewódzkie Programy Gospodarki Odpadami.

1.2 Składowanie jako metoda unieszkodliwiania odpadów

Składowanie odpadów na składowisku jest metodą ich unieszkodliwiania. Złożone odpady w wyniku procesów przemian biochemicznych ulegają dekompozycji i mineralizacji, przekształcając się w nieszkodliwy dla ludzi materiał antropogeniczny. Prawidłowy przebieg tych procesów zależy od wielu parametrów, warunkujących czas potrzebny do unieszkodliwienia złożonych odpadów – od kilku do kilkudziesięciu lat. Jednym z warunków poprawnego przebiegu procesów rozkładu odpadów, będących jednocześnie źródłem powstawania gazu składowiskowego (metanogenezy), jest odpowiednia wilgotność złoża. Spadek wilgotności odpadów poniżej 18-20% powoduje spowolnienie lub całkowite zatrzymanie procesów biochemicznych.

Z powyższych względów istotne jest prawidłowe zaprojektowanie warstwy okrywowej zamkniętego składowiska odpadów. Szczelne przykrycie kwatery, z ujęciem biogazu, będzie prowadzić do przesuszenia złoża i znacznego spowolnienia procesów biochemicznych wewnątrz nasypu. W efekcie proces naturalnego unieszkodliwiania składowanych odpadów zostanie wydłużony. Jeżeli z jakichkolwiek przyczyn w przyszłości dojdzie do ponownego nawodnienia złoża odpadów, wznowione procesy rozkładu mogą wznowić produkcję gazu składowiskowego, na co obiekt może być nieprzygotowany. Szczelne przykrycie złoża odpadów utrudnia na ogół wykonanie prawidłowej zabudowy biologicznej składowiska.

W zależności od konstrukcji niecki składowiska odpadów, na ogół bardziej celowe jest wykonanie półprzepuszczalnej okrywy kwatery składowiska, pozwalającej na utrzymanie optymalnego poziomu wilgotności zdeponowanych odpadów.

1.3 Rekultywacja jako proces

– etapy rekultywacji składowisk odpadów

Rekultywacja jest procesem przywracania ponownej użyteczności zdegradowanym terenom. Jest to proces ciągły, trwający nawet kilkanaście lat do chwili, gdy rekultywowany teren będzie można zagospodarować zgodnie z przewidywanym przeznaczeniem. W projekcie rekultywacji konieczne jest określenie kryteriów, których osiągnięcie będzie jednoznaczne z zakończeniem procesu rekultywacji. Na ogół uznaje się, że osiągnięcie trwałej szaty roślinnej na całej powierzchni rekultywowanego terenu jest jednoznaczne z zakończeniem procesu rekultywacji.

Proces rekultywacji nowoczesnego składowiska odpadów rozpoczyna się z chwilą jego uruchomienia i eksploatacji. Po zakończeniu eksploatacji następuje właściwa rekultywacja składowiska odpadów, którą można podzielić na cztery etapy:

ETAP I – PRZYGOTOWANIE REKULTYWACJI

1. Ustalenie przyczyn i zakresu degradacji środowiska na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych oraz odpowiednich ekspertyz
2. Wykonanie dokumentacji geodezyjnej składowiska
3. Identyfikacja głównych problemów rekultywacji
4. Ustalenie kierunku zagospodarowania terenu
5. Opracowanie dokumentacji projektowej

ETAP II – REKULTYWACJA TECHNICZNA

1. Odpowiednie ukształtowanie złoża odpadów
2. Odgazowanie złoża odpadów
3. Ukształtowanie warunków wodnych na złożu i w jego otoczeniu
4. Odtworzenie warstwy glebotwórczej
5. Budowa dróg dojazdowych i niezbędnej infrastruktury

ETAP III – REKULTYWACJA BIOLOGICZNA I SZCZEGÓŁOWA

1. Zabezpieczenie przeciwozyjne obudową roślinną
2. Zabezpieczenie stateczności skarp obudową biologiczną
3. Sanitacyjna zabudowa biologiczna terenu.

ETAP IV – MONITORING EFEKTÓW REKULTYWACJI I ZAGOSPODAROWANIE DOCELOWE

1. Zagospodarowanie wstępne
2. Zagospodarowanie ostateczne

1.4 Kryteria doboru metod rekultywacji technicznej

KRYTERIA ŚRODOWISKOWE

Konstrukcja niecki rekultywowanego składowiska – kwatery wyposażone w skuteczną izolację podstawy składowiska i system zagospodarowania odcieków można rekultywować w sposób pozwalający na kontrolę wilgotności złoża odpadów. Konieczna jest dokumentacja z budowy kwatery.

Stopień zagrożenia dla środowiska – kryterium najbardziej istotne. Np. kwatery składowiska odpadów zlokalizowana na zbiorniku wód podziemnych, bez naturalnej lub sztucznej bariery geologicznej w podstawie, wymaga bezwzględnego odizolowania odpadów – rekultywacja typu „sarkofag”.

Kierunek rekultywacji – Na terenach przeznaczonych pod zabudowę bardzo istotne będą kwestie bezpieczeństwa geotechnicznego i odgazowania. Na terenach pod zalesienie dopuszcza się większe deformacje powierzchni a także odprowadzenie biogazu do atmosfery.

Wymagany czas rekultywacji – często wynikający z zagospodarowania terenów przyległych. Na składowiskach zlokalizowanych na terenach zurbanizowanych należy stosować metody dające szybsze efekty i umożliwiające dokładniejszą kontrolę procesów zachodzących w złożu.

KRYTERIA EKONOMICZNE

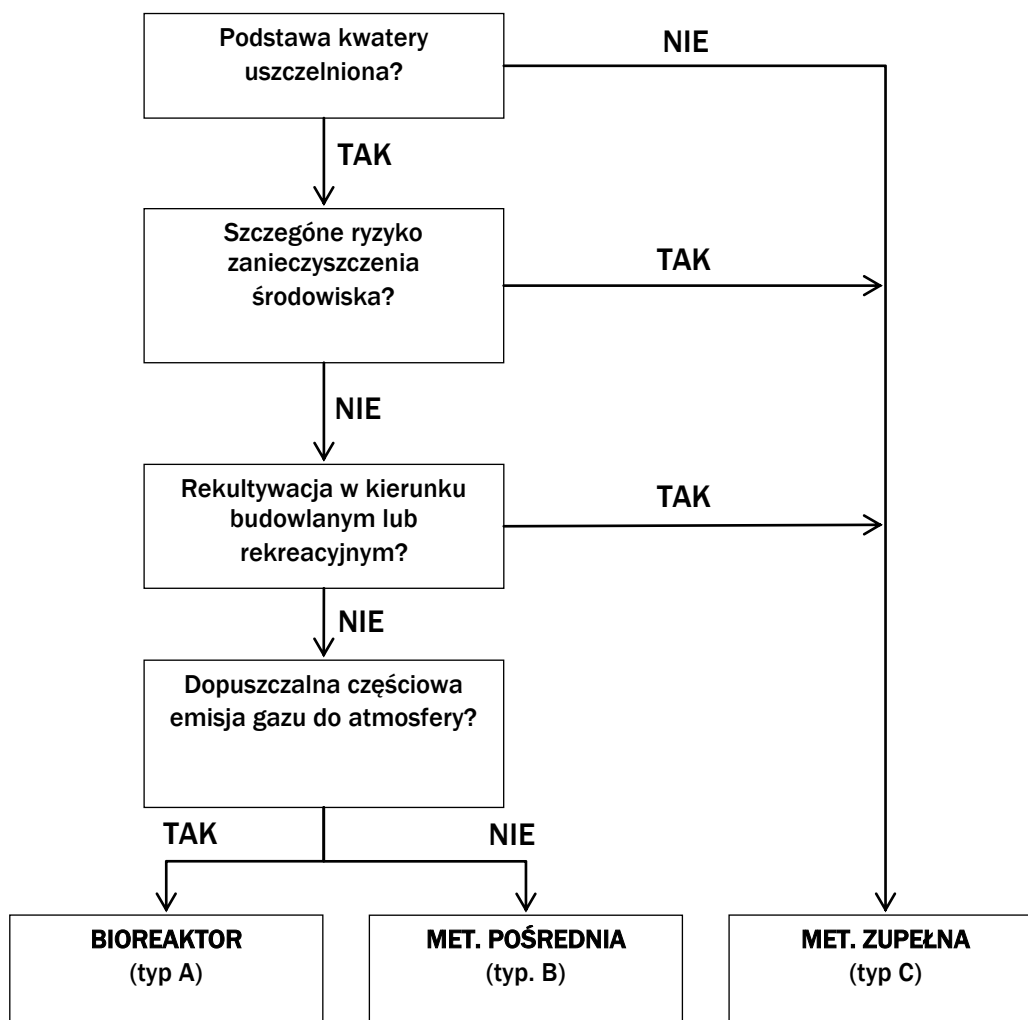
Koszt materiałów i robót związanych z rekultywacją – Rozwiązania radykalne typu „sarkofag” będą droższe od rozwiązań aktywnych, półprzepuszczalnych.

Koszt nadzoru i utrzymania zrekultywowanego obiektu – Każde zrekultywowane składowisko wymaga monitoringu i ewentualnych bieżących napraw warstwy rekultywacyjnej.

Wartość użytkowa terenów w miejscu składowiska – w miejscu zrekultywowanych składowisk odpadów można lokalizować tereny wypoczynkowe, parki, parkingi itp.

DOBÓR METODY REKULTYWACJI

Zalecaną procedurę wyboru metody rekultywacji składowiska odpadów zobrazowano na poniższym diagramie.



CZĘŚĆ 2 – REKULTYWACJA TECHNICZNA SKŁADOWISK ODPADÓW

2.1 Roboty przygotowawcze i makroniwelacja kwatery

Przed przystąpieniem do robót ziemnych należy wykonać prace przygotowawcze polegające na:

- Odpowiednim oznakowaniu placu budowy oraz wjazdu na teren składowiska,
- Usunięciu zbędnej roślinności,
- Likwidacji zbędnej infrastruktury technicznej (np. drogi, stacje wagowe),
- Usunięciu nadmiaru wody i odcieków z ewentualnych zastoisk,
- Uprzątnięciu luźnych odpadów pozostających poza obrysem kwatery,
- Wykonaniu pionowych barier przeciwfiltracyjnych wokół kwatery, jeżeli są przewidywane.

Następnie należy uformować bryłę kwatery składowiska do kształtu wskazanego w projekcie rekultywacji technicznej (makroniwelacja). Zaleca się projektowanie docelowej bryły rekultywowanej kwatery w kształcie zbliżonym do stanu istniejącego, wyprowadzonego na etapie eksploatacji kwatery, jednak z uwzględnieniem potrzeby odprowadzenia wód opadowych oraz zapewnienia stateczności skarp składowiska.

W przypadkach wymagających wykonania znacznych robót ziemnych zaleca się formowanie bryły kwatery z przemieszczeniem składowanych odpadów, co pozwala na zoptymalizowanie bilansu robót ziemnych. Do ostatecznego ukształtowania bryły można stosować odpady wymienione w załączniku do rozporządzenia [4] lub materiał inertyny. Wszelki materiał wypełniający należy możliwie dobrze zagęścić, stosując dostępny sprzęt mechaniczny – kompaktory, walce, ciężkie spycharki.

KWATERY PODPOZIOMOWE

Kwatery podziemne należy wypełnić do poziomu terenu je otaczającego. Powierzchnię wypełnionej kwatery należy wyprowadzić w taki sposób, aby najniższy punkt w obrysie kwatery znajdował się przynajmniej 30 cm ponad otaczającym terenem, przy czym na każdy metr materiału wypełniającego kwaterę należy przewidzieć 10 cm naddatku na ewentualne osiadania.

Przygotowaną powierzchnię kwatery należy uformować do spadków możliwie zbliżonych do projektowanych. Zaleca się stosowanie pochyleń powierzchni nie mniejszych niż 5% w kierunku na zewnątrz kwatery.

KWATERY NADPOZIOMOWE

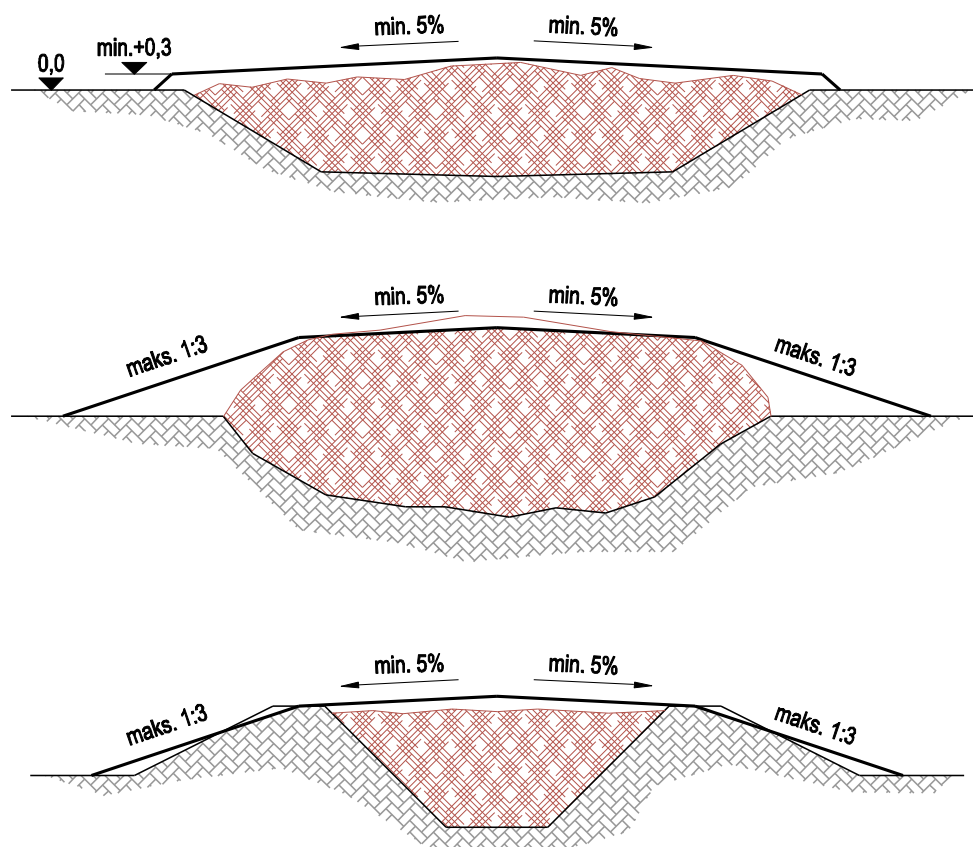
Zewnętrzne skarpy rekultywowanej kwatery należy ukształtować do projektowanych pochyleń. W niniejszym poradniku zaleca się stosowanie skarp o nachyleniu 1:3 (33%), gwarantującym stateczność warstw okrywy rekultywacyjnej oraz skuteczność przyjętego systemu odwodnienia okrywy. W przypadku większych pochyleń zboczy zaleca się wykonanie obliczeń stateczności skarp oraz skonsultowanie przyjętych rozwiązań z dostawcami proponowanych geosyntetyków.

W przypadku kwater otoczonych obwałowaniem, o skarpach zewnętrznych nachylonych ponad 33%, zaleca się przebudowanie skarp do nachylenia projektowego 1:3. Zalecenie to nie dotyczy przypadków, w których na skarpach zewnętrznych nie będą instalowane geosyntetyki a skarpy w momencie rekultywacji są już pokryte trwałą okrywą roślinną.

Przy kształtowaniu pochyleń skarp kwatery zaleca się stosowanie metody nasypów dociążających, zwiększających stateczność skarpy.

Wierzchofinę kwatery należy niwelować podobnie jak w przypadku składowisk podziemnych, tj. do spadków możliwie blisko projektowanych pochyleń. Zaleca się stosowanie pochyleń powierzchni nie mniejszych niż 5% w kierunku na zewnątrz kwatery w taki sposób, aby środek kwatery był jej najwyższym punktem.

Rys. 2.1. Zalecane ukształtowanie bryły składowiska odpadów.



2.2 Konstrukcja warstwy okrywowej

2.2.1 Okrywa typu 'A' - Aktywne składowiska odpadów

Rekultywacja typu „bioreaktor”, okrywa półprzepuszczalna

Okrywy typu A stosuje się na ogół przy rekultywacji składowisk względnie młodych, generujących gaz składowiskowy, rekultywowanych na krótko po zaprzestaniu składowania odpadów (< 5 lat od zamknięcia). Ze względu na prawdopodobieństwo uwalniania części gazu składowiskowego do atmosfery, okrywy typu A rekomendowane są głównie dla terenów niezurbanizowanych, na których dopuszcza się częściową emisję gazu składowiskowego do atmosfery.

Okrywa typu A umożliwiła infiltrację pewnej części wód opadowych do złoża odpadów i z tego względu nie powinna być stosowana na składowiskach niewyposażonych w izolację dna odpadów i system drenażu odcieków.

Zastosowanie kompozytu drenażowego Drintube FTP, zabezpieczonego igłowaną powłoką polietylenową pozwala na kontrolę nad infiltracją wód opadowych. Rozwiązanie to pozwala na ograniczenie ilości wody przenikającej przez wierzchofinę do odpadów poniżej 15% całkowitej objętości wody opadowej. Na skarpach kwatery dopuszcza się zastosowanie drenażu bez osłony polietylenowej

(Draintube FT) ze względu na większe spadki hydrauliczne a tym samym większą skuteczność geokompozytu w odprowadzaniu wód opadowych.

Podczas opadów atmosferycznych geokompozyt Draintube odprowadza niepożądany nadmiar wody opadowej do drenażu obwodowego, u podstawy skarp kwatery. W okresie suchym drenaż rurkowy wspomaga drenaż gazowy w zbieraniu i odprowadzaniu gazu składowiskowego do kolektorów gazowych zainstalowanych na koronie skarp oraz w najwyższej linii wierzchołkowej. Skuteczność systemu jest zapewniona przez trwałe połączenie rurek drenażowych z kolektorem gazowym, za pośrednictwem szybkozłączek.

Ze względu na niewielką miąższość warstwy glebotwórczej na okrywie typu 'A' dopuszcza się jedynie rośliny o płytkim systemie korzeniowym (trawy, motylkowate), z koniecznością pielęgnacji okrywy roślinnej po zakończeniu rekultywacji technicznej.

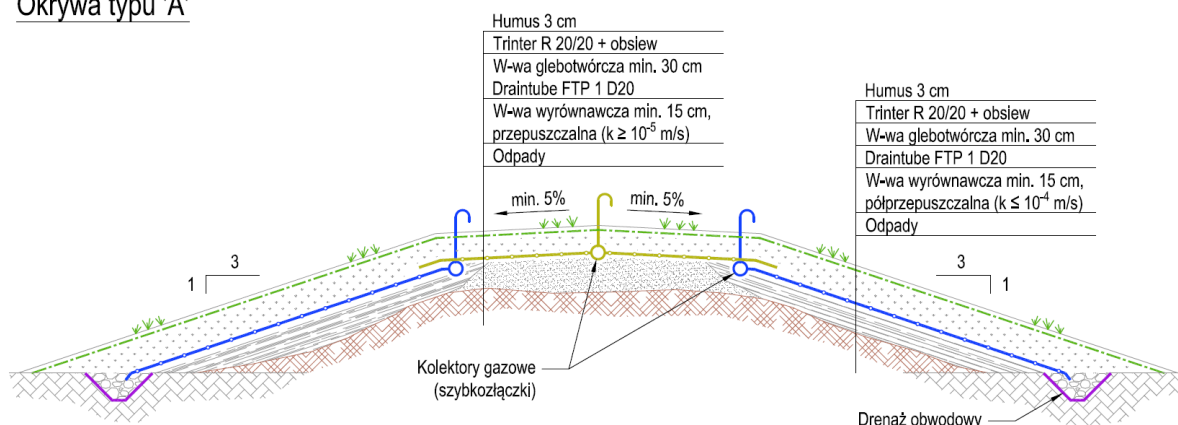
KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA WIERZCHOWINIE

- Geomata przeciwoerozyjna Trinter R + obsiew + 3 cm humusu
- Zagęszczona warstwa glebotwórcza gr. min 30 cm
- Geokompozyt drenażowy Draintube FTP, z filtrem geosyntetycznym i igłowaną membraną przeciwfiltracyjną
- Warstwa wyrównawcza / drenaż gazowy z gruntu przepuszczalnego, ($k \geq 10^{-5}$ m/s) – gr. min. 15 cm
- Zagęszczone odpady

KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA SKARPACH

- Geomata przeciwoerozyjna Trinter R + obsiew + 3 cm humusu
- Zagęszczona warstwa glebotwórcza gr. min 30 cm
- Geokompozyt drenażowy, rurkowy, Draintube FT, z filtrem geosyntetycznym
- Warstwa wyrównawcza z gruntu mało przepuszczalnego ($k \leq 10^{-4}$ m/s) – gr. min. 15 cm
- Zagęszczone odpady

Okrywa typu 'A'



2.2.2 Okrywa typu 'B' - Starsze składowiska odpadów

Rekultywacja metodą pośrednią, okrywa mało przepuszczalna, odgazowanie kwatery

Okrywy typu B stosuje się na ogół przy rekultywacji starszych składowisk, po ustabilizowaniu najbardziej intensywnego procesu rozkładu odpadów, generującego największe ilości biogazu.

Okrywa typu B umożliwia infiltrację niewielkiej ilości wody do kwatery, co stymuluje dalszy rozkład unieszkodliwianych odpadów. Objętość wody dostarczanej do odpadów jest jednak mniejsza (poniżej 5%

wody całkowitej wody opadowej) a drenaż gazowy jest bardziej skuteczny i hermetyczny niż w przypadku okrywy typu 'A'. Stąd rekultywację typu 'B' można stosować w pobliżu terenów zurbanizowanych, pod warunkiem istnienia uszczelnienia dna składowiska oraz systemu zagospodarowania odcieków składowiskowych.

W rekultywacji 'B' należy stosować drenaże rurkowe Drintube FT/PE, zabezpieczone szczelną geomembraną HDPE laminowaną do geokompozytu. Nieznaczna ilość wody opadowej sączy się do odpadów jedynie poprzez zakłady geomembrany, których nie należy zgrzewać. Geokompozyty zabezpieczone geomembraną należy stosować zarówno na wierzcholinie jak i na skarpach, sprowadzając dolną krawędź geokompozytu do drenażu obwodowego u podstawy skarp.

Ze względu na stateczność warstwy okrywowej bardzo istotne jest, aby geomembrana była trwale połączona z geokompozytem drenażowym poprzez klejenie, laminowanie lub zgrzewanie. Na skarpach należy stosować geomembraną teksturowaną o grubości nie mniejszej niż 0,75 mm. Na wierzcholinie dopuszcza się geomembrany gładkie i o grubości min. 0,5 mm.

W celu kontrolowanego odprowadzenia gazu składowiskowego poniżej geomembrany należy zainstalować pasy geokompozytu rurkowego Drintube FT połączone za pomocą szybkozłączek z kolektorami gazowymi umieszczonymi na koronie skarp oraz w najwyższej linii wierzcholiny. Należy zapewnić przynajmniej 20% pokrycie powierzchni bryły składowiska pasami drenażu rurkowego (np. rolki o szerokości 2 m w rozstawie co 10 m).

Ze względu na niewielką miąższość warstwy glebotwórczej na okrywie typu 'B' dopuszcza się jedynie rośliny o płytkim systemie korzeniowym (trawy, motylkowate), z koniecznością pielęgnacji okrywy roślinnej po zakończeniu rekultywacji technicznej.

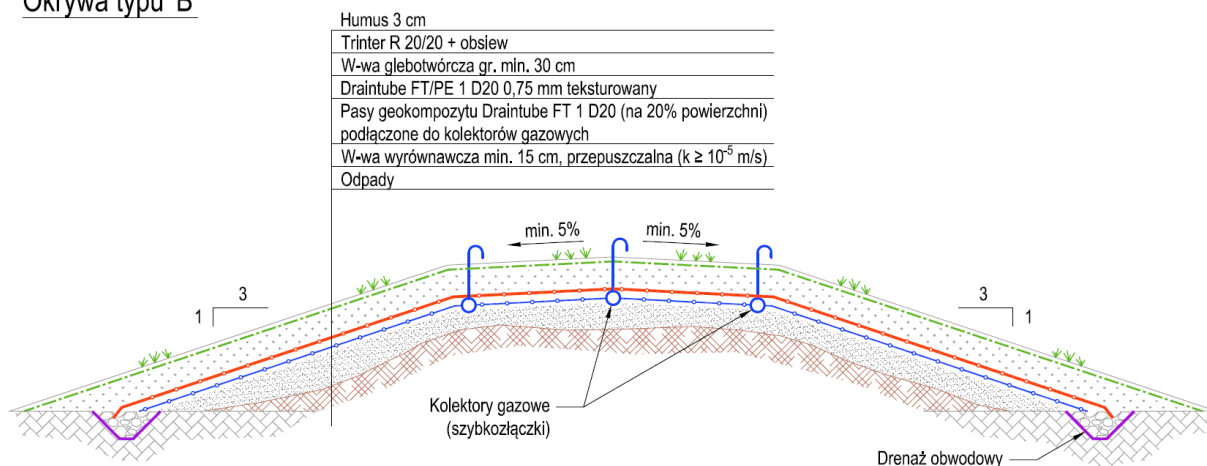
KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA WIERZCHOWINIE

- Geomata przeciwoerozyjna Triner R 20/20 + obsiew + 3 cm humusu
- Zagęszczona warstwa glebotwórcza gr. min 30 cm
- Geokompozyt drenażowy, rurkowy Drintube FT/PE, z filtrem geosyntetycznym i geomembraną HDPE gr. min. 0,5 mm, układany na zakład
- Pasy geokompozytu rurkowego Drintube FT, łączone przez szybkozłączki do kolektorów gazowych
- Warstwa wyrównawcza / drenaż gazowy z gruntu przepuszczalnego, ($k \geq 10^{-5}$ m/s) – gr. min. 15 cm
- Zagęszczone odpady

KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA SKARPACH

- Jak na wierzcholinie ale z geomembraną teksturowaną grubości min. 0,75 mm

Okrywa typu 'B'



- Uwagi:
1. Nie zgrzewać geomembrany.
 2. Pasma geokompozytów łączyć na zakład, zgrzewając punktowo geotekstylią.
 3. Na wierzcholinie dopuszcza się zastosowanie geomembrany gładkiej, gr. 0,5 mm.

2.2.3 **Okrywa typu 'C1' - Składowiska bez izolacji lub składowiska stanowiące szczególne zagrożenie dla środowiska**

Rekultywacja z pełną izolacją kwatery i odbiorem gazu składowiskowego, z niską zabudową biologiczną.

Okrywy typu C stosuje się do tych rekultywacji, w których nadrzędnym celem jest całkowite odizolowanie złoża odpadów od otoczenia.

Okrywy typu C są całkowicie szczelne, uniemożliwiając infiltrację wody do kwatery. Drenaż rurkowy Drintube FT/PE, zabezpieczony geomembraną HDPE laminowaną do geokompozytu, odprowadza nadmiar wody opadowej oraz gaz składowiskowy. Geokompozyty zabezpieczone geomembraną należy stosować zarówno na wierzcholinie jak i na skarpach, sprowadzając dolną krawędź geokompozytu do drenażu obwodowego u podstawy skarp.

Ze względu na stateczność warstwy okrywowej bardzo istotne jest, aby geomembrana była trwale połączona z geokompozytem drenażowym poprzez klejenie, laminowanie lub zgrzewanie. Na skarpach należy stosować geomembraną teksturowaną o grubości nie mniejszej niż 1,0 mm. Na wierzcholinie dopuszcza się geomembrany gładkie. Wszystkie połączenia geomembrany należy trwale zgrzać.

W celu kontrolowanego odprowadzenia gazu składowiskowego poniżej geomembrany należy zainstalować pasy geokompozytu rurkowego Drintube FT połączone za pomocą szybkozłączy z kolektorami gazowymi umieszczonymi na koronie skarp oraz w najwyższej linii wierzcholiny. Należy zapewnić przynajmniej 20% pokrycie powierzchni bryły składowiska pasami drenażu rurkowego (np. rolki o szerokości 2 m w rozstawie co 10 m).

Ze względu na niewielką miąższość warstwy glebotwórczej na okrywie typu 'C1' dopuszcza się jedynie rośliny o płytkim systemie korzeniowym (trawy, motylkowate), z koniecznością pielęgnacji okrywy roślinnej po zakończeniu rekultywacji technicznej.

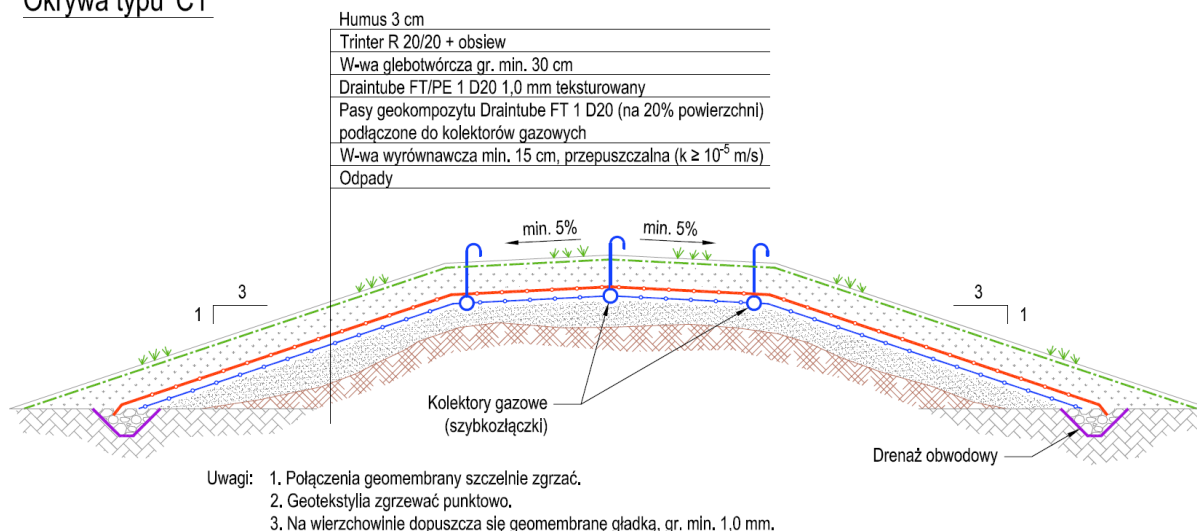
KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA WIERZCHOWINIE

- Geomata przeciwoerozyjna Trinter R 20/20 + obsiew + 3 cm humusu
- Zagęszczona warstwa glebotwórcza gr. min 30 cm
- Geokompozyt drenażowy rurkowy Drintube FT/PE, z filtrem geosyntetycznym i geomembraną HDPE gr. min. 1,0 mm, zakłady szczelnie zgrzewane
- Pasy geokompozytu rurkowego Drintube FT łączone przez szybkozłączy do kolektorów gazowych
- Warstwa wyrównawcza / drenaż gazowy z gruntu przepuszczalnego, ($k \geq 10^{-5}$ m/s) – gr. min. 15 cm
- Zagęszczone odpady

KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA SKARPACH

- Jak na wierzcholinie ale z geomembraną teksturowaną grubości min. 1,0 mm

Okrywa typu 'C1'



2.2.4 Okrywa typu 'C2' - Składowiska bez izolacji lub składowiska stwarzające stanowiące szczególne zagrożenie dla środowiska

Rekultywacja z pełną izolacją kwatery i odbiorem gazu składowiskowego, z możliwością wprowadzenia niskich drzew do zabudowy biologicznej.

Podobnie jak okrywe C1, okrywy typu C2 stosuje się do tych rekultywacji, w których nadrzędnym celem jest całkowite odizolowanie złoża odpadów od otoczenia. Okrywa typu C2 pozwala na wprowadzenie niskiego zadrzewienia na teren zrekultywowanego składowiska. Zakres niezbędnej pielęgnacji okrywy roślinnej na zrekultywowanym terenie jest ograniczony do minimum.

W okrywie typu C2 szczelność obudowy zapewniona jest przez zastosowanie maty bentonitowej Bentomat STL laminowanej geomembraną HDPE. Geokompozyt Draintube FT układany na geomembranie odprowadza nadmiar wody opadowej. Geokompozyty (Bentomat) zabezpieczone geomembraną należy stosować zarówno na wierzchowinie jak i na skarpach, sprowadzając dolną krawędź geokompozytu do drenażu obwodowego u podstawy skarp.

Ze względu na stateczność warstwy okrywowej bardzo istotne jest, aby geomembrana była trwale połączona z matą bentonitową poprzez klejenie, laminowanie lub zgrzewanie. Na skarpach należy bezwzględnie stosować geomembranę teksturowaną o grubości nie mniejszej niż 1,0 mm. Na wierzchowinie dopuszcza się geomembrany gładkie. Wszystkie połączenia geomembrany należy trwale zgrzać.

W celu kontrolowanego odprowadzenia gazu składowiskowego poniżej geomembrany należy zainstalować pasy geokompozytu rurkowego Draintube FT połączone za pomocą szybkozłączek z kolektorami gazowymi umieszczonymi na koronie skarp oraz w najwyższej linii wierzchowiny. Należy zapewnić przynajmniej 20% pokrycie powierzchni bryły składowiska pasami drenażu rurkowego (np. rolki o szerokości 2 m w rozstawie co 10 m).

Mięszość warstwy glebotwórczej układanej na geosyntetykach powinna wynosić minimum 70 cm. Przy tak przygotowanej okrywie dopuszczalne jest wprowadzenie zabudowy biologicznej w postaci krzewów i niewielkich drzew, o płaskim systemie korzeniowym. Pielęgnacja okrywy może zostać ograniczona do okresowych kontroli okrywy roślinnej (np. co 2 lata) i usuwania gatunków roślin o zbyt głębokim systemie korzeniowym.

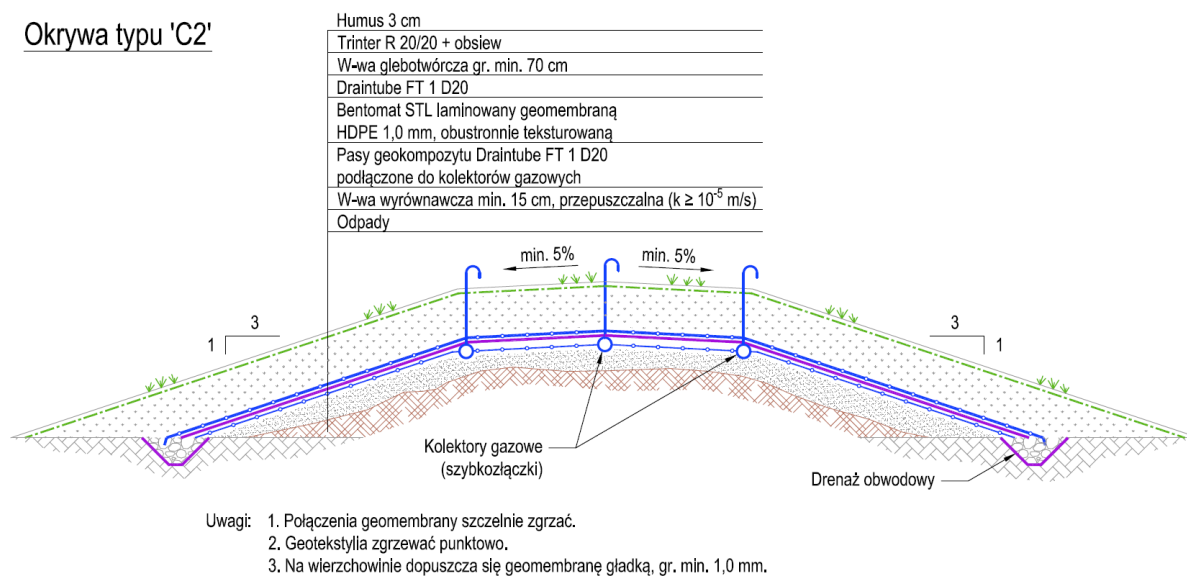
KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA WIERZCHOWINIE

- Geomata przeciwoerozyjna Trinter R 20/20 + obsiew + 3 cm humusu
- Zagęszczona warstwa glebotwórcza gr. min 70 cm
- Geokompozyt drenażowy Draitube FT, z filtrem geosyntetycznym, zakłady zgrzewane punktowo
- Bentomat STL laminowany geomembraną HDPE gr. min 1,0 mm, zakłady szczelnie zgrzewane
- Pasy geokompozytu rurkowego Draitube FT łączone przez szybkozłączki do kolektorów gazowych
- Warstwa wyrównawcza / drenaż gazowy z gruntu przepuszczalnego, ($k \geq 10^{-5}$ m/s) – gr. min. 15 cm
- Zagęszczone odpady

KONSTRUKCJA WARSTWY OKRYWOWEJ NA SKARPACH

- Jak na wierzcholinie ale z geomembraną teksturowaną grubości min. 1,0 mm

Okrywa typu 'C2'



2.2.5 Kryteria doboru materiałów

2.2.5.1 Geokompozyt przeciwoerozyjny

Należy stosować przestrzenne geokompozyty (GCO) zabezpieczające przed erozją zrehabilitowanego terenu i stymulujące proces zazieleniania powierzchni. Geokompozyt przestrzenny musi być w stanie utrzymać nasiona roślin wraz z cienką okrywą ziemną, zapewniającą ochronę i wilgotność dla nasion.

Geokompozyty przestrzenne należy dobierać w zależności od nachylenia skarp oraz metody wykonania obsiewu. Kompozyty zbrojone geosiatką należy stosować w przypadku skarp o nachyleniu powyżej 1:3 oraz zawsze wtedy, gdy podczas obsiewu i po jego zakończeniu po geosyntetykach będą się poruszać robotnicy. Na skarpach przeznaczonych pod hydroobsiew, nachylonych poniżej 1:3, można stosować geokompozyty niezbrojone. W sytuacjach wątpliwych zaleca się stosowanie materiałów zbrojonych.

Ze względu na odporność chemiczną, zaleca się aby elementy geokompozytu były wykonane z polietylenu i/lub polipropylenu. W przypadku geokompozytów zbrojonych siatkami poliestrowymi, siatki należy zabezpieczać powłoką ochronną z PCW.

Wszystkie geokompozyty powinny posiadać deklarację zgodności CE.

WYMAGANE PARAMETRY TECHNICZNE:

	TRINTER Przestrenny geokompozyt przeciwoerozyjny	TRINTER R 20/20 Przestrenny geokompozyt przeciwoerozyjny, zbrojony
Elementy geokompozytu	<ul style="list-style-type: none"> ❶ Romboidalna siatka przeciwoerozyjna, HDPE ❷ Podstawowa siatka PP, dwukierunkowa ❸ Wierzchnia siatka romboidalna, HDPE, falista 	<ul style="list-style-type: none"> ❶ Podstawowa siatka PP, dwukierunkowa ❷ Romboidalna siatka przeciwoerozyjna, HDPE ❸ Dwukierunkowa siatka PP ❹ Wierzchnia siatka romboidalna, HDPE, falista
Rodzaj polimeru	PP + HDPE	PP + HDPE
Połączenie elementów	Zgrzewanie	Zgrzewanie
Oczka siatek przeciwoerozyjnych	10 x 10 mm	10 x 10 mm
Trwałość	Min. 36 miesięcy	Min. 36 miesięcy
Kolor	Czarny, brązowy lub zielony	Czarny, brązowy lub zielony

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE		TRINTER Przestrenny geokompozyt przeciwoerozyjny	TRINTER R 20/20 Przestrenny geokompozyt przeciwoerozyjny, zbrojony
Grubość geokompozytu	PN-EN 964-1	25 mm	25 mm
Masa powierzchniowa	PN-EN 965	320 g/m ²	535 g/m ²
Wytrzymałość na rozciąganie	PN-EN ISO 10319	<ul style="list-style-type: none"> ≥ 1,7 kN/m przy wydł. 10% ≥ 3,0 kN/m przy wydł. 20% 	<ul style="list-style-type: none"> ≥ 20 kN/m w obu kierunkach Wydłuż. przy zerwaniu < 12%

WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWOEROZYJNE		TRINTER Przestrenny geokompozyt przeciwoerozyjny	TRINTER R 20/20 Przestrenny geokompozyt przeciwoerozyjny, zbrojony
Współczynnik erozji gleby C ₁	ECTC #2 ²		
Natężenie deszczu	<ul style="list-style-type: none"> q = 50 mm/h q = 100 mm/h q = 150 mm/h 	<ul style="list-style-type: none"> ≥ 2,72 ≥ 3,10 ≥ 3,35 	<ul style="list-style-type: none"> ≥ 2,72 ≥ 3,10 ≥ 3,35

¹ – współczynnik C – stosunek masy gruntu niespoistego wypłukanego z niezabezpieczonej powierzchni gruntu do masy gruntu wypłukanej z takiej samej powierzchni gruntu zabezpieczonej geokompozytem, podczas 30 minut deszczu, przy nachyleniu 1:3.

² – Erosion Control Technology Council (ECTC) Test Method 2 - Determination of Unvegetated RECP Ability to Protect Soil From Rain Splash and Associated Runoff Under Bench-Scale Conditions

2.2.5.2 Geokompozyt drenażowy

Należy stosować geokompozyty (GCO) drenażowe w postaci perforowanych, małośrednicowych rurek drenarskich na osnowie geotekstylnej, zabezpieczonych filtrem z geowłókniny. Wszystkie warstwy geotekstylne powinny być trwale połączone poprzez igłowanie.

Przepuszczalność właściwą (w płaszczyźnie geosyntetyku) należy projektować, odpowiednio do warunków hydrologicznych, dobierając odpowiednio średnicę i rozstaw rurek drenarskich.

Ze względu na odporność chemiczną, wszystkie elementy geokompozytu drenażowego powinny być wykonane z polipropylenu a membrany zabezpieczające geokompozyt powinny być wykonane z polietylenu wysokiej gęstości.

Wszystkie geokompozyty powinny posiadać deklarację zgodności CE.

WYMAGANE PARAMETRY TECHNICZNE:

	DRAINTUBE FT 1 D20 Geokompozyt rurkowy z filtrem	DRAINTUBE FTP 1 D20 Geokompozyt rurkowy z folią przeciwfiltacyjną	DRAINTUBE FT/PE 1 D20 Geokompozyt rurkowy z geomembraną
Elementy geokompozytu (od góry)	<ul style="list-style-type: none"> ❶ Filtr ochronny z geowłókniny ❷ Mata drenażowa (rurki drenarskie na geowłókninie filtracyjnej) 	<ul style="list-style-type: none"> ❶ Filtr ochronny z geowłókniny ❷ Mata drenażowa (rurki drenarskie na geowłókninie filtracyjnej) ❸ Folia PE gr. 0,2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> ❶ Filtr ochronny z geowłókniny ❷ Mata drenażowa (rurki drenarskie na geowłókninie filtracyjnej) ❸ Geomembrana HDPE, szorstka lub gładka
Rodzaj polimeru	PP	PP + folia PE	PP + geomembrana HDPE
Połączenie elementów	Iglowanie	Iglowanie (również folia)	Iglowanie geowłóknin, geomembrana laminowana do kompozytu
Zalecany układ rurek drenarskich	Min. $\phi 20$ co 1 m	Min. $\phi 20$ co 1 m	Min. $\phi 20$ co 1 m

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE		DRAINTUBE FT 1 D20	DRAINTUBE FTP 1 D20	DRAINTUBE FT/PE 1 D20
Wytrzymałość na przebicie CBR	PN-EN ISO 12236	$\geq 2,5$ kN	$\geq 2,5$ kN	$\geq 3,5$ kN
Średnica otworu w badaniu na przebicie dynamiczne	PN-EN ISO 13433	≤ 10 mm	≤ 10 mm	≤ 5 mm
Wytrzymałość na rozciąganie (w obu kierunkach)	PN-EN ISO 10319	≥ 12 kN/m	≥ 12 kN/m	≥ 25 kN/m
Wydłużenie przy zerwaniu (w obu kierunkach)	PN-EN ISO 10319	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
Wytrzymałość rurek drenarskich na ściskanie między sztywnymi płytami	PN-EN 50086-2-2	700 kPa	700 kPa	700 kPa
Grubość geowłókniny filtracyjnej pod naciskiem 20 kPa	PN-EN ISO 9863-1	$\geq 3,9$ mm	$\geq 3,9$ mm	$\geq 3,9$ mm

WŁAŚCIWOŚCI HYDRAULICZNE		DRAINTUBE FT 1 D20	DRAINTUBE FTP 1 D20	DRAINTUBE FT/PE 1 D20
Charakterystyczna wielkość porów filtra geotekstylnego, O_{90}	PN-EN ISO 12956	$80 \mu\text{m} \div 110 \mu\text{m}$	$80 \mu\text{m} \div 110 \mu\text{m}$	$80 \mu\text{m} \div 110 \mu\text{m}$
Wodoprzepuszczalność filtra geotekstylnego	PN-EN ISO 11058	≥ 50 l/s/m ²	≥ 50 l/s/m ²	≥ 50 l/s/m ²
Zdolność przepływu w płaszczyźnie geowłókniny filtracyjnej, pod naciskiem 20 kPa, $i=5\%$	PN-EN ISO 12958	$\geq 1,8 \times 10^{-2}$ l/m/s	$\geq 1,8 \times 10^{-2}$ l/m/s	$\geq 1,8 \times 10^{-2}$ l/m/s
Zdolność przepływu w płaszczyźnie wyrobu, $q_{s,g}$	PN-EN ISO 12958			
	Nacisk 20 kPa, $i=0,1$	$\geq 0,25$ l/s/m	$\geq 0,25$ l/s/m	$\geq 0,25$ l/s/m
	Nacisk 100 kPa, $i=0,1$	$\geq 0,25$ l/s/m	$\geq 0,25$ l/s/m	$\geq 0,25$ l/s/m
	Nacisk 400 kPa, $i=0,1$, Po 100 h badania (próba pełzania)	$\geq 0,25$ l/s/m	$\geq 0,25$ l/s/m	$\geq 0,25$ l/s/m

2.2.5.3 Drenaż gazowy

Do drenażu gazowego należy stosować geokompozyty rurkowe Drintube FT, opisane w p. 2.2.5.2.

Drenaż gazowy należy łączyć z kolektorami gazowymi stosując szybkozłączki montowane na końcówkach rurek drenarskich i osadzone w otworach w kolektorze przygotowywanych na miejscu. Średnica wewnętrzna szybkozłączki powinna nie być mniejsza od średnicy wewnętrznej rurki drenarskiej.

2.2.5.4 Warstwa izolacyjna

Należy stosować maty bentonitowe składające się z geotkaniny, granulowanego bentonitu sodowego oraz geowłókniny, trwale zespolonych w procesie igłowania. Mata powinna być laminowana geomembraną HDPE o grubości minimum 1,0 mm, obustronnie teksturowaną. Wytrzymałość na ścinanie wewnętrzne pomiędzy geotekstyliami oraz wytrzymałość na połączeniu mata / geomembrana powinny odpowiadać minimalnym parametrom wytrzymałościowym niezbędnym dla zachowania stateczności zboczy.

Wszystkie produkty powinny posiadać deklarację zgodności CE.

WYMAGANE PARAMETRY TECHNICZNE:

Mata bentonitowa BENTOMAT STL 1,0 mm	
Elementy geokompozytu (od góry)	❶ Geomembrana HDPE min. 1,0 mm, obustronnie teksturowana ❷ Geotkanina PP ❸ Granulowany bentonit sodowy, min. 3 kg/m ² ❹ Geowłóknina PP
Rodzaj polimeru	Geotekstylia PP, geomembrana HDPE
Połączenie elementów	Geotekstylia igłowanie, geomembrana klejona do tkaniny

WŁAŚCIWOŚCI BENTONITU W MACIE		BENTOMAT STL 1,0 mm
Rodzaj bentonitu	-	Bentonit sodowy, granulowany
Masa bentonitu (przy wilgotności 12%)	ASTM D 5993	≥ 3000 g/m ²
Wilgotność bentonitu podczas dostawy	PN-88/B-04481	≤ 25%
Swobodne pęcznienie	ASTM D 5890	≥ 24 ml/2g
Oddawanie fazy ciekłej	ASTM D 5891	≤ 18 %
Wskaźnik aktywności koloidalnej	PN-88/B-04481	A ≥ 5
Zawartość smektytów	Dyfraktometria proszkowa (XPRD)	≥ 70%

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE		BENTOMAT STL 1,0 mm
Wytrzymałość na rozciąganie	PN-EN ISO 10319	≥ 8,5 kN/m
Wytrzymałość na oddzieranie geotekstyliów	ASTM D 6496	≥ 85 N / 10 cm
Wytrzymałość na przebicie CBR (z geomembraną)	PN-EN ISO 12236	≥ 3,5 kN
Odporność na utlenianie geomembrany	PN-EN 14575	< 25% redukcji wytrz. na rozciąganie

WŁAŚCIWOŚCI HYDRAULICZNE		BENTOMAT STL 1,0 mm
Wodoprzepuszczalność maty przy pełnym nasyceniu wodą (bez geomembrany)	ASTM D 5084	≤ 5 x 10 ⁻¹¹ m/s
Gazoprzepuszczalność (z geomembraną)	ASTM D 1434	≤ 3,3 x 10 ⁻³ m ³ /(m ² d)

2.2.5.5 Stateczność okrywy na skarpach

Wszystkie elementy okrywy rekultywacyjnej, w tym szczególnie geosyntetyki, powinny charakteryzować się wytrzymałością na ścinanie odpowiednią do nachylenia skarpy i obciążenia okrywy rekultywacyjnej. Dotyczy to również oporów tarcia na styku dwóch materiałów, np. geokompozyt drenażowy / podłoże.

Minimalna wytrzymałość na ścinanie wewnętrzne materiałów powinna wynosić $\tau_f \geq 5$ kPa.

Minimalne dopuszczalne parametry na styku geosyntetyku z podłożem:

- minimalny kąt tarcia wewnętrznego materiałów $\min \phi \geq 25^\circ$,
- minimalna spójność pozorna $c \geq 3$ kPa.

Dla każdej okrywy rekultywacyjnej należy każdorazowo przeprowadzić obliczenia stateczności lokalnej skarp aby wykazać, że współczynnik bezpieczeństwa dla najsłabszego elementu okrywy wynosi $F_{\min} \geq 1,3$.

SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI OKRYWY TYPU A, B LUB C1

Powierzchnią najbardziej narażoną na utratę stateczności będzie styk pomiędzy geokompozytem drenażowym z filtrem a warstwą wyrównawczą poniżej. Na styku drenaż / w-wa wyrównawcza przyjęto kąt tarcia $\delta_{\min} = 29^\circ$, $c = 0$.

Nachylenie skarpy 1:3 odpowiada kątowi nachylenia $\beta = 18,4^\circ$.

Współczynnik bezpieczeństwa skarpy o nieskończonej długości (Matasovic, N., 1991):

$$F = \frac{\frac{c}{\gamma \cdot z \cdot \cos\beta} + \operatorname{tg}\delta \cdot \left(1 - \frac{u}{\gamma \cdot z}\right) - k_s \cdot \operatorname{tg}\beta \cdot \operatorname{tg}\delta}{k_s + \operatorname{tg}\beta}$$

Gdzie: δ – kąt tarcia w płaszczyźnie poślizgu
 c – spójność pozorna w płaszczyźnie poślizgu
 β – kąt nachylenia skarpy
 γ – ciężar objętościowy materiału nad płaszczyzną poślizgu
 z – miąższość warstwy nad płaszczyzną poślizgu
 u – ciśnienie wody w porach gruntu lub ciśnienie gazu
 k_s – współczynnik sejsmiczny

W obliczeniach stateczności okryw składowisk odpadów zaleca się przyjmowanie minimalnej poprawki na nadciśnienie gazu składowiskowego w wysokości $u = 1$ kPa.

Podstawiając do wzoru $c = 0$ i $k_s = 0$ otrzymujemy:

$$F = \frac{\operatorname{tg}\delta \cdot \left(1 - \frac{u}{\gamma \cdot z}\right)}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{\operatorname{tg}(29^\circ) \cdot \left(1 - \frac{1 \text{ kPa}}{17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,3 \text{ m}}\right)}{\operatorname{tg}(18,4^\circ)} = 1,34$$

Współczynnik bezpieczeństwa $F = 1,34 > F_{\min} = 1,3 \rightarrow$ Stateczność na styku geokompozyt / warstwa wyrównawcza jest zapewniona.

SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI OKRYWY TYPU C2

Przyjęto, że utrata stateczności lokalnej nastąpi na skutek ścinania wewnętrznego w geokompozycie. Założono minimalne dopuszczalne parametry wytrzymałościowe dla geokompozytu: $\phi = 25^\circ$, spójność pozorna $c = 3 \text{ kPa}$.

Współczynnik bezpieczeństwa skarpy:

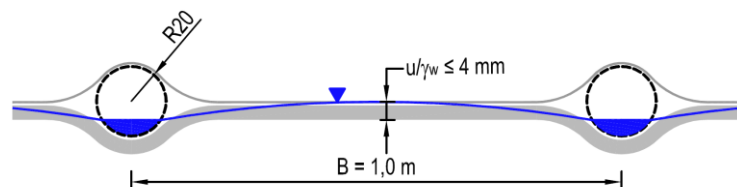
$$F = \frac{c}{\gamma \cdot z \cdot \cos\beta} + \frac{\text{tg}\delta \cdot \left(1 - \frac{u}{\gamma \cdot z}\right)}{\text{tg}\beta}$$
$$F = \frac{3 \text{ kPa}}{17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,7 \text{ m} \cdot \cos(18,4^\circ)} + \frac{\text{tg}(25^\circ) \cdot \left(1 - \frac{1 \text{ kPa}}{17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,7 \text{ m}}\right)}{\text{tg}(18,4^\circ)} = 2,08$$

Współczynnik bezpieczeństwa $F = 2,08 > F_{\min} = 1,3 \rightarrow$ Stateczność wewnętrzna geokompozytu jest zapewniona.

2.2.5.6 Wymiarowanie warstwy drenażowej

Skuteczność rozwiązań przyjętych w zakresie drenażu wód opadowych oraz gazu składowiskowego należy każdorazowo potwierdzić obliczeniami sprawdzającymi. Dla rozwiązań zaproponowanych w okrywach typu A-C zaleca się stosowanie oprogramowania komputerowego, umożliwiającego analizę przepływu przez złożone geokompozyty drenażowe (np. oprogramowanie Lymphaea). Program powinien mieć możliwość analizy przepływu przy różnych spadkach hydraulicznych, różnych przepuszczalnościach właściwych geotekstyliów oraz różnych konfiguracjach rurek drenażowych, częściowo lub całkowicie napełnionych wodą.

SPRAWDZENIE WYDAJNOŚCI GEOKOMPOZYTU DRENAŻOWEGO



Założenia:

- Maksymalna długość drenażu $L = 50 \text{ m}$
- Spadek hydrauliczny $i = 5\%$ (na wierzcholinie)
- Maksymalne naprężenie pionowe na geokompozyt $\sigma_{v,\max} \leq 20 \text{ kPa}$
- Przepuszczalność właściwa geowłókniny filtracyjnej w geokompozycie, pod naciskiem 20 kPa , $\theta_{\text{GTX,NW}} = 1,9 \times 10^{-2} \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
- Rozstaw rurek drenarskich w geokompozycie $B = 1,0 \text{ m}$
- Średnica rurek drenarskich $d = 20 \text{ mm}$

W obliczeniach przyjmuje się, że wysokość ciśnienia wody pomiędzy rurkami drenarskimi powinna być nie większa od grubości geokompozytu. Stąd: $(u/\gamma_w) \leq 4 \text{ mm}$.

Dla powyższych założeń, w warunkach częściowego napełnienia rurek drenarskich, obowiązuje zależność:

$$\frac{u}{\gamma_w} = \frac{Q_D \cdot B^2}{8 \cdot \theta_{\text{GTX,NW}}} + a \left(\frac{Q_D \cdot B}{2} \right)^b$$

Gdzie: a, b – stałe określone empirycznie w badaniach modelowych
 Q_D – maksymalny dopływ wody do geokompozytu

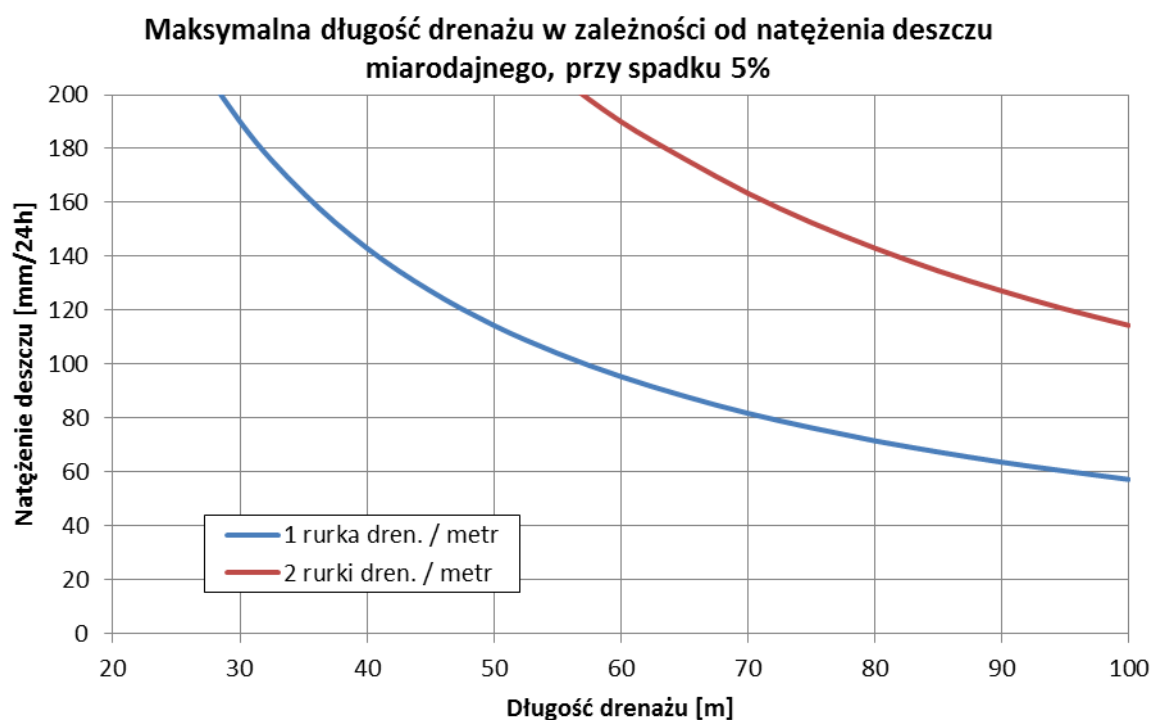
Z powyższej zależności otrzymujemy maksymalny dopuszczalny dopływ wody do geokompozytu

$$Q_D = 6,62 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$$

Po uwzględnieniu współczynnika spływu, retencji i parowania $\psi = 0,5$, dopływ wody odpowiada natężeniu deszczu miarodajnego $q_m = 114 \text{ mm/d}$.

Z obliczeń wynika, że przy opadach deszczu o intensywności nieprzekraczającej 114 mm/d wysokość ciśnienia wody będzie się zawierać wewnątrz geokompozytu drenażowego, który skutecznie odprowadzi wodę na odległość do 50 m .

Z podobnych obliczeń przeprowadzonych dla różnych długości drenażu ustalono zależność między natężeniem deszczu miarodajnego, który może być swobodnie odprowadzony przez geokompozyt, a długością drenażu. Wykres uwzględnia współczynnik spływu powierzchniowego i retencji $\psi = 0,5$.



PORÓWNANIE WYDAJNOŚCI GEOKOMPOZYTU DRAINTUBE 1 D20 I DRENAŻU MINERALNEGO

Maksymalny przepływ wody w geokompozycie, na 1 m szerokości:

$$Q_{GCO} = Q_D \times L = 3,31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m/s}$$

Korygując przepływ ze względu na spadek hydrauliczny ($i = 5\%$) otrzymujemy średnią zdolność przepływu w płaszczyźnie geokompozytu: $q_{GCO} = Q_{GCO} / i = 6,62 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m/s}$

Przepływ laminarny przez warstwę drenażu mineralnego $Q_M = k \times i \times A$, gdzie $A = h \times 1 \text{ m}$

Przyjmując przepływ przez drenaż mineralny równy przepływowi przez geokompozyt, $Q_M = Q_{GCO}$ oraz wodoprzepuszczalność drenażu mineralnego $k = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, otrzymujemy: $h = \frac{Q_{GCO}}{k \cdot i \cdot 1\text{m}} = 0,662 \text{ m}$

Z powyższych obliczeń wynika, że przepuszczalność przyjętego geokompozytu Drintube FT 1 D20 odpowiada warstwie drenażu mineralnego o wodoprzepuszczalności 10^{-3} m/s i grubości 66 cm .

CZĘŚĆ 3 – REKULTYWACJA BIOLOGICZNA

Odtworzenie zabudowy biologicznej jest nieodłącznym elementem procesem rekultywacji składowiska odpadów.

Pokrycie okrywy rekultywacyjnej roślinnością wymaga starannego przemyślenia i zaplanowania. W przypadku sztucznie wykonanej okrywy rekultywacyjnej nie mamy do czynienia z glebą a wprowadzana roślinność często musi odgrywać rolę pionierską w procesie glebotwórczym.

Pochylenie skarp okrywy sprawia, że nakładana warstwa ziemi urodzajnej - zabieg niezbędny do uzyskania polepszenia warunków siedliskowych - ma tendencję do zsuwania się, podobnie jak przemieszczane są nawozy czy nasiona, z górnej części skarpy ku dołowi. Stąd wynikają różne warunki bytowe u góry i u dołu skarpy. W górnej części, gdzie jest najbardziej sucho, roślinność jest szczególnie narażona na działanie wiatru, a system korzeniowy często ulega obnażaniu z gleby (ziemi urodzajnej). W zimie wiatry bardzo często zwiewają pokrywę śnieżną w tych partiach skarpy przyczyniając się do wymarzania i osłabiania roślin. U dołu skarpy gromadzi się ziemia urodzajna, poziom próchnicy ma większą miąższość, stąd też tworząca się gleba ma większe możliwości gromadzenia zapasu wody, a więc i roślinność znajduje stosunkowo niezłe warunki bytowania oraz rozwoju.

Okrywy rekultywacyjne składowisk, szczególnie ich skarpy, są narażone na erozję w trakcie ich wykonywania i późniejszej eksploatacji. Usuwanie skutków erozji może pochłaniać do 20% kosztów robót ziemnych. Dlatego istotne jest, aby skutecznie chronić powierzchnie skarp przed działaniem czynników erozyjnych.

Trawy (w formie trzeciego listka) przejmują funkcję przeciwoerozyjną oraz uzyskują odporność na mróz po 40 - 60 dniach od obsiewu (w zależności od wystawy skarpy, wystawa północna 40 dni, południowa 60 dni). Do tego czasu niezbędne jest tymczasowe zabezpieczenie przeciwoerozyjne obsianych powierzchni za pomocą geokompozytów przeciwoerozyjnych.

3.1 Warstwa glebotwórcza.

Założenie skutecznej obudowy biologicznej składowiska wymaga odpowiedniego przygotowania warstwy glebotwórczej. Warstwa glebotwórcza powinna składać się z warstwy ziemi urodzajnej o miąższości min. 10 - 15 cm oraz warstwy podglebia.

Warstwę glebotwórczą można wykonywać z gruntów rodzimych, bogatych w substancje odżywcze niezbędne do poprawnego wzrostu roślin. W przypadku braku stosownych gruntów stosuje się materiały importowane lub odpowiednie zabiegi agrotechniczne mające na celu użyczenie dostępnego materiału gruntowego.

Przy ocenie jakości gruntów można posługiwać się klasyfikacją zaproponowaną w CIRIA C708.

Grunty klasy A będą miały największy potencjał wzrostu okrywy roślinnej.

Na żyznych gruntach wyrosnie gęsta i silna okrywa roślinna, która może wymagać większych nakładów pielęgnacyjnych i przyspieszyć sukcesję gatunkową. Szybki i intensywny wzrost roślin może być niepożądany. Stąd żyzne grunty klasy A powinny być stosowane na terenach intensywnie kultywowanych lub przeznaczonych pod wypas.

Grunty klasy B będą również stwarzały bardzo korzystne warunki wegetacyjne, jednak wzrost będzie wolniejszy a roślinność mniej bujna niż w przypadku klasy A. Klasa B może wymagać nawożenia. Grunty klasy B mogą być stosowane jako podglebie, poniżej klasy A.

Klasa C będzie również stwarzać warunki do wzrostu roślin, pod warunkiem odpowiedniej obsługi okrywy. Nawożenie może być konieczne we wstępnej fazie wzrostu roślin. Grunty te mogą być stosowane w warunkach ograniczonych możliwości pielęgnacji szaty roślinnej. Zalecany obsiew roślinami motylkowatymi. Grunty klasy C mogą być stosowane jako podglebie pod grunty klas A i B. Mniej korzystne warunki rozwoju roślin mogą powodować zwiększenie nakładów na naprawę okrywy biologicznej, we wstępnej fazie wzrostu.

Klasy przydatności gruntów wg CIRIA C708 ¹:

Parametr	Jednostka	Klasa przydatności			Nieprzydatny N
		A	B	C	
Rodzaj gruntu					
Uziarnienie	Opis + zawartość frakcji ilowej f_i [%]	Pg, P/Pg, Pg/P π ,	Pg/P, Pg/Gp, Pg/P π	Gp, G π , P $f_i < 45\%$	$f_i < 45\%$
Zawartość kamieni	% objętości	< 5	5 - 10	10 - 15	> 15
Woda dostępna dla roślin ²	% objętości ³	> 20	15 - 20	10 - 15	< 10
pH	-	5,7 - 7,0	5,5 - 5,7 7,0 - 7,3	4,7 - 5,5 7,3 - 7,8	< 4,7 > 7,8
Konduktywność (przewodnictwo właściwe)	mmho/cm = 1×10^{-4} S/cm	< 4	4 - 8	8 - 10	> 10
Siarczan żelaza (piryt)	% masy	0	< 0,2	0,2 - 3,0	> 3,0
Urodzajność gruntu					
Azot ogólny	% masy	> 0,2	0,05 - 0,2	< 0,05	Nie dotyczy
Fosfor ogólny	mg/kg	> 37	27 - 37	< 27	
Potas ogólny	mg/kg	> 360	180 - 360	< 180	
Fosfor dostępny dla roślin	mg/kg	> 20	14 - 20	< 14	
Potas dostępny dla roślin	mg/kg	> 185	90 - 185	< 90	

¹ Na podstawie CIRIA C708 Use of vegetation in civil engineering, London, 2007

² przy zagęszczeniu do 1,4 - 1,75 kN/m³

³ od ogólnej pojemności wodnej

Zgodnie z ogólną specyfikacją techniczną GDDP nr D - 06.01.01 „Umocnienie powierzchniowe skarp, rowów i ścieków”, wierzchnia warstwa ziemi urodzajnej powinna spełniać następujące kryteria:

Optymalny skład granulometryczny:

- frakcja ilasta (d < 0,002 mm)	12% - 18%
- frakcja pylasta (0,002 - 0,05 mm)	20% - 30%
- frakcja piaszczysta (0,05 - 2,0 mm)	45% - 70%
Zawartość fosforu (P ₂ O ₅)	> 20 mg/m ²
Zawartość potasu (K ₂ O)	> 30 mg/m ²
Kwasowość pH	≥ 5,5

Skuteczność zakładanej obudowy biologicznej będzie w dużym stopniu zależała od odpowiedniego przygotowania warstwy glebotwórczej. Oprócz starannego doboru materiału gruntowego, bardzo istotne jest staranne zagęszczenie warstwy, szczególnie podglebia. Warstwy te należy zagęszczać przy wilgotności optymalnej, do wskaźnika zagęszczenia $I_s \geq 0,9$. Zagęszczenie warstwy podglebia powinno podlegać odbiorowi na zasadach przyjętych w ogólnych robotach ziemnych.

W przypadku niemożliwości zagęszczenia cienkich warstw podglebia należy stosować odpowiednie naddatki technologiczne.

3.2 Siew i nasadzenia roślinności rekultywacyjnej.

Gatunki roślin wprowadzane na składowisko odpadów powinny mieć predyspozycje:

- Ekologiczne, tj. odporność na gaz składowiskowy, ekspansywność i konkurencyjność w stosunku do gatunków istniejących;
- Biologiczne, tj. duże przyrosty biomasy i wysoka oraz intensywna transpiracja, tworzenie zróżnicowanych zbiorowisk zbliżonych do naturalnych, łatwość krzewienia i implantowania, rozwinięty system korzeni i dobre pokrycie terenu;
- Ekonomiczne, tj. dostępność materiału roślinnego, niskie koszty pozyskania nasion i sadzonek oraz ich implantacji.

Okrywa roślinna powinna wiązać i stabilizować grunt, zapobiegać pyleniu podłoża, rozprzestrzenianiu się odorów i aerozoli. Jest też niezbędna do uzyskania wysokiej ewapotranspiracji odcieków.

Podstawowymi warunkami intensywnej wegetacji roślin są korzystne stosunki wodne i pokarmowe oraz minimalna zawartość substancji toksycznych w środowisku glebowym. Korzystne warunki można stworzyć niemal wszędzie, stosując odpowiednie zabiegi agrotechniczne.

Przy doborze gatunków i mieszanek (kompozycji) roślin do zadarnień należy uwzględnić następujące warunki i cele:

- Funkcja (sposób użytkowania) powierzchni zadarnionej na terenie ziemnego obiektu budowlanego;
- Skład profilu glebowego i żyzność gleb - w tym zawartość próchnicy i składników pokarmowych;
- Wilgotność warstwy glebotwórczej;
- Skład mechaniczny oraz wartość użytkowa wierzchniej warstwy utworów antropogenicznych (np. zastosowanie popiołów lotnych);
- Poziom i rodzaj zanieczyszczenia atmosfery;
- Zadania sanitarne szaty roślinnej w stosunku do atmosfery i gleby.

Do wstępnego i trwałego zagospodarowania terenu, w miejscach o umiarkowanie korzystnych warunkach wegetacyjnych, najlepiej nadają się mieszanki traw. Dziko rosnące gatunki i ekotypy traw pochodzenia lokalnego, ze względu na trudności w pozyskaniu nasion, nie mają dużego znaczenia dla planowanego zagospodarowania stref ochronnych. Z tego względu stosuje się starannie skomponowane i sprawdzone mieszanki (kompozycje) traw.

Trawami najlepiej nadającymi się do zagospodarowania rekultywowanej powierzchni są trawy niskie, posiadające dobrze rozwinięty i gęsty system korzeniowy, tworzące zwartą obudowę roślinną. Gatunki podstawowe, nadające się do komponowania mieszanek do obsiewu, to:

- kostrzewa czerwona rozłogowa (*Festuca rubra genuina Hack*),
- kostrzewa owcza (*Festuca ovina L.*), kępowa,
- kostrzewa różnolistna (*Festuca heterophylla Lam.*), luźnokępowa,
- mietlica biaława (*Agrostis alba L.*), rozłogowo - luźnokępowa,
- mietlica pospolita (*Agrostis vulgaris With* lub *Agrostis tennis Sib.*), rozłogowo - luźnokępowa,
- wiechlina łąkowa (*Poa pratensis L.*), rozłogowo - luźnokępowa,
- życica trwała (*Lolium perenne L.*), zwana rajgrasem angielskim, luźnokępowa.

Oprócz w/w gatunków traw w mieszankach należy uwzględnić nasiona roślin motylkowatych drobnonasiennych, np.:

- komonica rożkowa (*Lotus corniculatus L.*),
- koniczyna biała (*Trifolium regens L.*),
- lucerna nerkowata (*medicago lupulina L.*).

Do zazieleniania okrywy rekultywacyjnej można stosować mieszanki traw zalecane w ogólnej specyfikacji technicznej GDDP nr D - 06.01.01 „Umocnienie powierzchniowe skarp, rowów i ścieków”:

Kostrzewa owcza	<i>Festuca ovina</i>	50%
Kostrzewa czerwona	<i>Festuca rubra</i>	30%
Życica trwała	<i>Lolium perenne</i>	10%
Stokłosa prosta	<i>Bromus erectus</i>	5%
Kłosownica pierzasta	<i>Brachypodium pinnatum</i>	5%

3.3 Hydroobsiew z zastosowaniem komunalnych osadów ściekowych.

Alternatywą dla humusowania skarp i ręcznego siewu jest hydroobsiew. Technologia hydroobsiewu polega na hydromechanicznym nanoszeniu na skarpy (również na wierzchowinę) mieszanek siewnych, środków użyźniających i emulsji przeciwozyjnych w celu biologicznego umocnienia rekultywowanej powierzchni.

Mieszanina do hydroobsiewu powinna składać się z:

- przefermentowanych osadów ściekowych,
- kompozycji nasion traw i roślin motylkowatych,
- ściółki, tj. substancji poprawiających strukturę podłoża i osłaniających kielkujące nasiona oraz siewki (np. sieczki, trociny, strużyn, konfetti),
- popiołów lotnych, spełniających rolę nawozów o wydłużonym działaniu oraz składników odkwaszających glebę,
- nawozów mineralnych, np. w sytuacjach gdy osady ściekowe mają niską wartość odżywczą.

W warunkach trudnej dostępności osadów ściekowych i popiołów lotnych dopuszcza się użycie wody i substancji zabezpieczających podłoże przed wysychaniem i erozją.

Osady ściekowe powinny pochodzić z oczyszczalni ścieków komunalnych i być ustabilizowane. Stężenia zanieczyszczeń, w tym szczególnie metali ciężkich, powinny być niższe od dopuszczalnych stężeń określonych w rozporządzeniu ministra środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych [6].

Ramowy skład mieszaniny na 1 m² powierzchni hydroobsiewu można przyjmować na podstawie specyfikacji GDDP nr D-06.01.01:

Przefermentowane osady ściekowe	12 - 30 dm ³ (4-10% s.m.)
Kompozycje (mieszanki) nasion traw i roślin motylkowatych	0,018 - 0,03 kg
Ściółka (sieczka, strużyny, substrat torfowy)	0,06 - 0,10 kg
Popioły lotne	0,08 - 0,14 kg
Nawozy mineralne (NPK)	0,02 - 0,05 kg

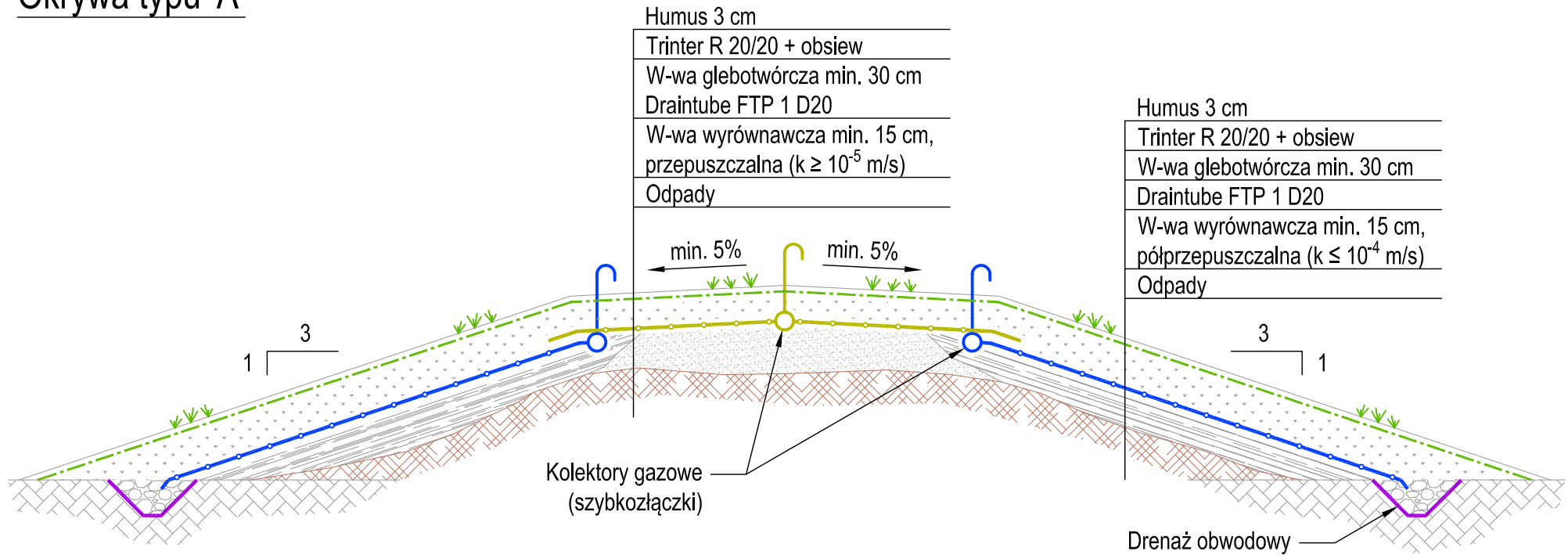
Hydroobsiew jest technologią szczególnie przydatną na skarpach o trudnym dostępie i w sytuacjach, gdy przywiezienie bądź odtworzenie żyznej warstwy ziemi urodzajnej jest niemożliwe. W takich przypadkach składniki odżywcze dla roślin mogą być dostarczane w mulczu, bezpośrednio na starannie przygotowaną warstwę podglebia. Zaleca się stosowanie hydroobsiewu w czasie okresu wegetacyjnego.

Bibliografia:

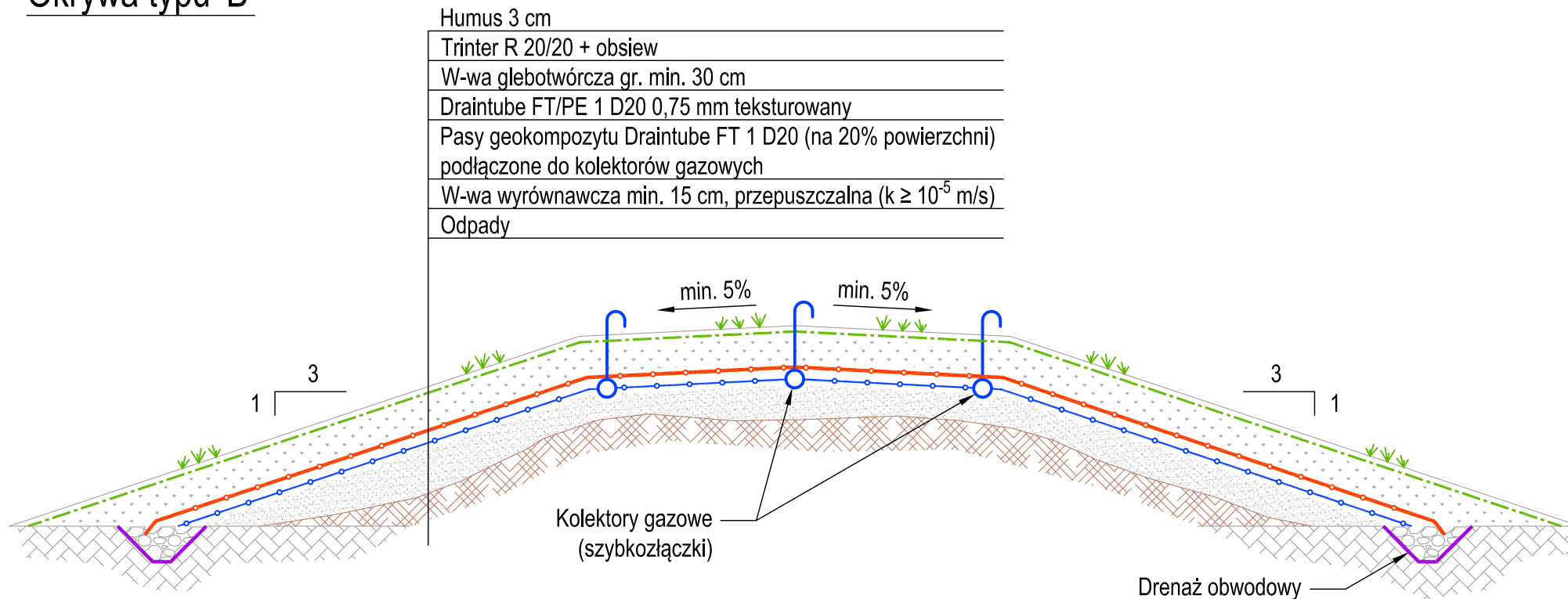
- Bilitewski, Haerdtle, Marek „Podręcznik gospodarki odpadami”, wyd. II, Seidel Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2006.
- Koda Eugeniusz, dr inż. „Techniczne i organizacyjne zasady prowadzenia procesu rekultywacji składowisk”, XXI ogólnopolska konferencja szkoleniowa Eksploatacja i Rekultywacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów, Chorzów 2011.
- Manczarski Piotr, dr inż. „Zamykanie składowisk odpadów - wymagania technologiczne”, XXI ogólnopolska konferencja szkoleniowa Eksploatacja i Rekultywacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów, Chorzów 2011.
- Skalmowski Andrzej, dr inż., „Zasady rekultywacji składowisk odpadów innych niż obojętne i niebezpieczne”, XX Jubileuszowa konferencja Budowa i Eksploatacja Bezpiecznych Składowisk Odpadów, Szklarska Poręba 2010.
- Wysokiński Lech, prof. dr hab. „Zasady budowy składowisk odpadów”, Instrukcja ITB 444/2009.

CZEŚĆ 4 – RYSUNKI

Okrywa typu 'A'



Okrywa typu 'B'



- Uwagi:
1. Nie zgrzewać geomembrany.
 2. Pasma geokompozytów łączyć na zakład, zgrzewając punktowo geotekstylią.
 3. Na wierzcholinie dopuszcza się zastosowanie geomembrany gładkiej, gr. 0,5 mm.

Okrywa typu 'C2'

Humus 3 cm

Trinter R 20/20 + obsiew

W-wa glebotwórcza gr. min. 70 cm

Draintube FT 1 D20

Bentomat STL laminowany geomembraną

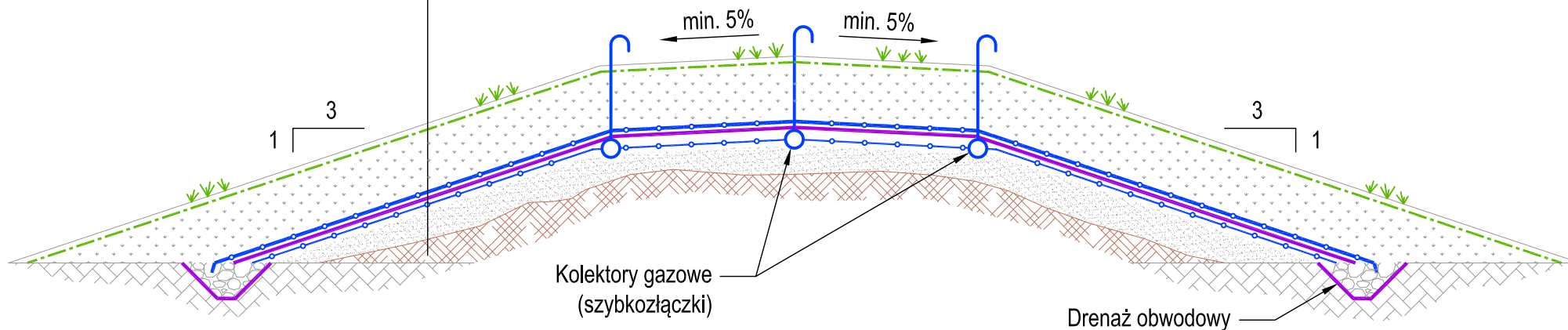
HDPE 1,0 mm, obustronnie teksturowaną

Pasy geokompozytu Draintube FT 1 D20

podłączone do kolektorów gazowych

W-wa wyrównawcza min. 15 cm, przepuszczalna ($k \geq 10^{-5}$ m/s)

Odpady



- Uwagi:
1. Połączenia geomembrany szczelnie zgrzać.
 2. Geotekstylia zgrzewać punktowo.
 3. Na wierzcholinie dopuszcza się geomembranę gładką, gr. min. 1,0 mm.