



Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska  
Katedra Geotechniki

## **Doszczelnianie gruntów naturalnych za pomocą bentonitu**

**Etap III Analiza wymagań i zaleceń dotyczących projektowania  
doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu.  
Analiza wymagań dotyczących kontroli jakości robót związanych  
z doszczelnianiem gruntów naturalnych za pomocą bentonitu.**

Autorzy opracowania:

dr inż. Włodzimierz Cichy

mgr inż. Jakub Bryk



Sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej na zamówienie Ministra Środowiska

Gdańsk, 30.06.2006 r.

---

*Autorzy opracowania zastrzegają sobie wszelkie rzeczowe prawa autorskie. Jedyne Minister Środowiska i NFOŚiGW mają prawo do udostępniania, upowszechniania i publikowania części lub całości pracy z podaniem nazwisk autorów opracowania.*

**SPIS TREŚCI**

<b>A) Analiza wymagań i zaleceń dotyczących projektowania doszczelnienia gruntów naturalnych za pomocą bentonitu</b>	<b>4</b>
1. Wprowadzenie	4
2. Rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych na potrzeby doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu	6
3. Wybór gruntu na doszczelnianie	7
4. Wybór bentonitu	8
5. Wstępne określenie zawartości bentonitu w mieszance	10
6. Badania mieszanek bentonitowo-gruntowych	11
7. Projektowanie poletka doświadczalnego	13
7.1 Konieczność projektowania i budowy poletka doświadczalnego	13
7.2 Lokalizacja poletka doświadczalnego	14
7.3 Mieszanka uszczelniająca	15
7.4 Wymiary poletka	16
7.5 Wykonanie poletka	16
7.6 Badania na poletku doświadczalnym	17
<b>B) Analiza wymagań dotyczących kontroli jakości robót związanych z doszczelnianiem gruntów naturalnych za pomocą bentonitu</b>	<b>18</b>
1. Wprowadzenie	18
2. Wymagania dotyczące zapewnienia i kontroli jakości robót w poszczególnych etapach wykonawstwa warstwy uszczelniającej	19
2.1 Przygotowanie podłoża pod uszczelnieniem	19
2.2 Układanie mieszanki	20
2.3 Kontrola właściwości mieszanki przed zagęszczeniem	21
2.4 Kontrola grubości warstwy przed zagęszczeniem	23
2.5 Zagęszczanie mieszanki	24
2.6 Kontrola zagęszczenia mieszanki	25
2.7 Zalecane częstotliwości badań	26
2.8 Dopuszczalne odchyłki	26

2.9 Siatka próbkowania	29
2.10 Badania wodoprzepuszczalności	30
2.11 Naprawa otworów po pobieraniu próbek i po badaniach terenowych	31
2.12 Maksymalna grubość warstwy po zagęszczeniu	31
2.13 Odbiór wykonanego uszczelnienia	32
3. Dokumentacja zapewnienia i kontroli jakości robót	32
3.1 Wprowadzenie	32
3.2 Dokumentacja dzienna	33
3.3 Dokumentacja etapu robót	36
3.4 Odbiór etapu robót przez projektanta	37
3.5 Dokumentacja końcowa odbioru robót	37
LITERATURA	38

## **A) Analiza wymagań i zaleceń dotyczących projektowania doszczelnienia gruntów naturalnych za pomocą bentonitu**

### **1. Wprowadzenie**

Projektowanie uszczelnień mineralnych z mieszanek bentonitowo-gruntowych polega na wspomaganiu procesu projektowania za pomocą badań laboratoryjnych i terenowych. Projektowanie to powinno być poprzedzone dobrym rozpoznaniem uwarstwienia podłoża gruntowego w miejscu projektowanego składowiska jak i dostępnych źródeł gruntów przydatnych na tradycyjne uszczelnienia mineralne.

Decyzja o zastosowaniu doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu jest nierozdzielnie związana z właściwą lokalizacją składowiska, na którą oprócz czynników technicznych istotny wpływ mają również czynniki społeczno-kulturowe. Bardzo często inwestorzy nie mają specjalnego wyboru, co do potencjalnych lokalizacji składowiska w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego terenu i doszczelnianie gruntów naturalnych staje się jedyną możliwą do przyjęcia alternatywą.

Ponieważ koszty transportu tradycyjnych gruntów ilastych stanowią znaczny procent kosztów budowy składowiska, wybór rodzaju uszczelnienia zależy od odległości transportu gruntów przydatnych na uszczelnienia mineralne. Doszczelnianie gruntów mineralnych w miejscu budowanego składowiska jest dobrą alternatywą budowy tradycyjnego uszczelnienia mineralnego w przypadku konieczności sprowadzania gruntów z dalszych odległości.

Projektant składowiska odpadów zazwyczaj przyjmuje przekrój składowiska na podstawie analizy warunków hydrogeologicznych w miejscu lokalizacji składowiska, uwarstwienia podłoża gruntowego oraz bilansu robót ziemnych wynikającego z przyjętej (na podstawie odrębnej analizy) objętości projektowanego składowiska. Istotnym elementem projektowania składowiska w tej fazie jest ocena wpływu projektowanego składowiska na środowisko. Duży wpływ na przekrój składowiska ma również wkomponowanie składowiska w otaczający je krajobraz, aby po zamknięciu i rekultywacji składowiska nie powstał element obcy w otaczającym składowisko krajobrazie.

Stąd bardzo istotnego znaczenia nabiera wybór z przekroju geotechnicznego warstwy gruntu najlepiej nadającego się do doszczelnienia za pomocą bentonitu. Wybór ten musi być poprzedzony przeprowadzeniem badań laboratoryjnych próbek gruntu pobranych z

wytypowanych wcześniej warstw. Właściwy wybór jest zawsze dyktowany kosztami budowy uszczelnienia, a na koszty wpływać będzie zarówno procentowa zawartość bentonitu w składzie przyszłej mieszanki jak i zastosowanie stosownej technologii do wykonania i ułożenia mieszanki w miejscu wbudowania. Dodatek bentonitu w grubo uziarnionych gruntach niespoistych jest wprawdzie większy, ale technologia mieszania i układania mieszanki, jak również koszty kontroli jakości w trakcie wykonawstwa są niższe. Z kolei w gruntach mało spoistych, aby uzyskać dobry efekt doszczelnienia należy zastosować bardziej kosztowną technologię przygotowania mieszanki.

Ze względu na ograniczenie kosztów realizacji tematu badawczego w niniejszym opracowaniu nie przewidziano omawiania technologii wykonywania mieszanek bentonitowo-gruntowych i technologii układania tych mieszanek na składowisku.

Projektowanie doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu odbywać się będzie w następujących etapach:

- a) rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych do celów projektowania doszczelnienia składowiska odpadów w miejscu zatwierdzonej lokalizacji tego składowiska,
- b) badania laboratoryjne gruntów do przyszłego doszczelnienia,
- c) wybór gruntu najlepiej nadającego się na doszczelnienie,
- d) wybór rodzaju bentonitu,
- e) ustalenie składu mieszanki bentonitowo-gruntowej (zawartości bentonitu),
- f) badania laboratoryjne wybranej mieszanki,
- g) projektowanie poletka doświadczalnego, poprzedzającego doszczelnianie gruntu naturalnego,
- h) plan zapewnienia i kontroli jakości robót związanych z doszczelnianiem gruntów naturalnych.

Powszechnie stosowana przy budowie składowisk odpadów procedura zamówień publicznych zmusza inwestora do przyjęcia w procedurze przetargowej zamówienia „pod klucz”. Czyli za wszystkie badania, projektowanie i wykonawstwo doszczelniania gruntów naturalnych odpowiadałby wykonawca dysponujący odpowiednią technologią robót. Właściwie dobrana technologia robót ma istotny wpływ na koszty budowy, ale również na możliwość spełnienia przyjętych w projekcie i wymaganych w odpowiednich przepisach technicznych (rozporządzenie, dyrektywa) kryteriów. Należy przy tym zaznaczyć, że zazwyczaj w tego rodzaju robotach wymagana jest bardzo wysoka jakość robót, duża kultura wykonawstwa robót, a także odpowiednia kontrola jakości robót. A to oznacza wcale nie najmniejsze koszty wykonawstwa.

W dokumentacji przetargowej należy żądać od wykonawcy dostarczenia szczegółowej specyfikacji technicznej prowadzonych robót w poszczególnych, wymienionych wyżej etapach realizacji projektowania i wykonawstwa doszczelniania gruntów naturalnych.

Aby zachować jednak ścisłą kontrolę nad realizacją robót inwestor powinien zastrzec sobie w dokumentach przetargowych możliwość wpływu na realizację poszczególnych etapów. Szczególnie istotny jest tu etap poletka doświadczalnego. Wyniki badań na poletku doświadczalnym mogą w sposób istotny zmienić skład pierwotnie zaprojektowanej mieszanki i to często w kierunku zwiększenia kosztów budowy składowiska.

Z przedstawionej wyżej analizy wynika podstawowy wniosek, że inwestor powinien zatrudnić geotechnika, który w jego imieniu sprawować będzie nadzór geotechniczny nad poszczególnymi etapami realizacji inwestycji. Rolą geotechnika jest dopilnowanie, aby wykonawca nie szukał „oszczędności” w zakresie niezbędnych do wykonania badań geotechnicznych, które są nierozdzielną częścią projektowania doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu. Badania geotechniczne są również niezbędnym składnikiem planu zapewnienia i kontroli jakości robót mających na celu doszczelnienie gruntów naturalnych za pomocą bentonitu.

## **2. Rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych na potrzeby doszczelniania gruntów bentonitem**

Minimalne wymagania odnośnie do zakresu rozpoznania warunków gruntowo-wodnych, zawarte w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. [10], odnoszą się do prostych warunków gruntowych, zgodnie z definicją zawartą w normie PN-B-02479: 1998 [1]. W przypadku złożonych i skomplikowanych warunków geotechnicznych wymagania te są absolutnie nie wystarczające. Inwestor powinien już w tej fazie realizacji inwestycji mieć wpływ na zakres badań związanych z rozpoznaniem podłoża gruntowego i warunków wodnych. Niedostateczne rozpoznanie podłoża może być przyczyną niewłaściwej oceny kosztów realizacji inwestycji. Podstawą do określenia niezbędnego zakresu badań powinny być zalecenia zawarte w normie PN-B-02479: 1998 [1].

W niektórych przypadkach przyjęcie w projekcie składowiska doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu może spowodować konieczność wykonania dodatkowego rozpoznania podłoża gruntowego.

### 3. Wybór gruntu na doszczelnienie

Do doszczelniania za pomocą bentonitu najlepiej nadają się grunty niespoiste i mało spoiste. Można również doszczelniać grunty zwięzłe i bardzo spoiste, jednak konieczność długotrwałego urabiania gruntu i rozdrabniania brył czyni ten proces mało opłacalnym.

Można w prosty sposób sprawdzić, czy dany grunt jest spoisty, za pomocą badania makroskopowego – próby wałeczkowania, opisanej w PN –88/B-04481 [2]. Jeżeli grunt nie daje się wałeczkować lub wałeczek pęka podłużnie, to jest niewystarczająco spoisty i może być ewentualnie wykorzystany do doszczelniania.

W przypadku gruntów niespoistych lub mało spoistych należy przeprowadzić następujące badania do projektu doszczelnienia:

1. analiza granulometryczna wg PN –88/B-04481 [2],
2. gęstość objętościowa szkieletu gruntowego wg PN –88/B-04481 [2],
3. wilgotność naturalna wg PN –88/B-04481 [2].

Do doszczelniania najlepiej nadają się grunty o dobrej gradacji uziarnienia i ziarnach ostrokrawędzistych. Dobra gradacja uziarnienia, to równomierny rozkład uziarnienia, bez wyraźnego braku określonej frakcji. Unika się w ten sposób możliwości wypłukiwania bardzo drobnych cząstek (w tym samego bentonitu) w trakcie filtracji wody.

W celu określenia, czy spoisty grunt rodzimy nadaje się bezpośrednio do wykonania uszczelnienia mineralnego, czy wymaga odpowiedniego doszczelnienia, należy przeprowadzić szereg badań gruntu pobranego ze złoża przed rozpoczęciem wydobywania.

1. określenie wilgotności naturalnej wg PN –88/B-04481 [2],
2. wyznaczenie granic konsystencji (granice Atterberga) i wskaźnika plastyczności wg PN –88/B-04481 [2],
3. analiza granulometryczna wg PN –88/B-04481 [2],
4. badanie zagęszczalności (wilgotności optymalnej, maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wskaźnika zagęszczenia) wg PN –88/B-04481 [2],
5. badanie wodoprzepuszczalności zagęszczonych próbek (w aparacie trójosiowego ściskania).

W niektórych przypadkach wykonywanie wszystkich wymienionych badań nie jest konieczne. Określenie wilgotności naturalnej, granic konsystencji i rozkładu uziarnienia może być wystarczające do stwierdzenia, czy dany grunt spoisty nadaje się do bezpośredniego wykorzystania w budowie uszczelnienia. Dwa ostatnie badania są

natomiast niezbędne do celów opracowania właściwej technologii prowadzonych robót ziemnych i do celów kontroli jakości robót.

Doświadczenie pokazuje, że grunt mało spoisty zawiera zbyt mało ilu do osiągnięcia wymaganego współczynnika filtracji po zagęszczeniu. Na ogół zaleca się aby grunt spoisty do doszczelniania bentonitem miał wskaźnik plastyczności  $I_p$  mniejszy od 10%. Grunty o wysokim wskaźniku plastyczności (powyżej 30 - 40%) mają tendencję do formowania twardych brył w stanie suchym i lepkich w stanie wilgotnym, co bardzo utrudnia prowadzenie robót ziemnych. Wysokoplastyczne grunty mają również tendencję do kurczenia się lub pęcznienia na skutek zmian wilgotności ( powstają wtedy spękania skurczowe), co wpływa negatywnie na rzeczywistą wartość wskaźnika filtracji wykonanego uszczelnienia.

Maksymalna wielkość ziaren ma istotne znaczenie ze względu na otoczaki lub kamienie utrudniające równomierne zagęszczenie warstwy oraz możliwość przebicia geomembrany na powierzchni styku z uszczelnieniem mineralnym. Z uwagi na zagęszczalność gruntu naturalnego maksymalną średnicę ziaren przyjmuje się na ogół od 25 do 50 mm. Natomiast ze względu na ryzyko przebicia geomembrany średnica ta jest na ogół znacznie mniejsza. Projekt technologiczny doszczelnienia powinien zawierać ograniczenia co do maksymalnej średnicy ziaren gruntu doszczelnianego. Ograniczenia te mogą dotyczyć wszystkich warstw wykonywanego uszczelnienia lub jedynie ostatniej, wierzchniej warstwy, na której będzie układana geomembrana. Zgodnie z normą PN-B-10290:1997 [3] podłoże gruntowe pod geomembraną powinno mieć do głębokości przynajmniej 15 cm średnice ziaren nie przekraczające 2 mm.

#### **4. Wybór bentonitu**

Właściwy wybór rodzaju bentonitu ma istotny wpływ na uzyskane efekty końcowe i spełnienie przyjętych kryteriów projektowych. Pojawia się w tym przypadku pokusa zastąpienia właściwego rodzaju bentonitu, przewidzianego w projekcie, przez jego tańszą odmianę. Otóż nie istnieje w tym przypadku proste przełożenie jakości w ilość. Nie można na przykład zastąpić jednego kilograma bentonitu sodowego czterema kilogramami bentonitu wapniowego. Bentonit wapniowy charakteryzuje się zdecydowanie słabszymi właściwościami pęczniejącymi i znacznie większą zdolnością do wymiany jonowej. Co w przypadku odmian ulepszanych bentonitu wapniowego może prowadzić do utraty właściwości pęczniejących w czasie. Ma to z kolei istotny wpływ na

ocenę trwałości budowanego uszczelnienia, której przy zakładanym w dyrektywie 50 letnim monitoringu składowiska nie można pominąć.

Z pośród trzech podstawowych rodzajów bentonitu: sodowego, wapniowego i magnezowego do doszczelnień gruntów naturalnych zdecydowanie najlepszy jest bentonit sodowy. Bentonit ten powinien być dostarczany w postaci proszku. W żadnym przypadku nie należy stosować do tych celów bentonitu zgranulowanego.

Podstawowymi kryteriami właściwego doboru producenta bentonitu sodowego są:

a) zawartość montmorylonitu, która powinna wynosić powyżej 75 %.

Zawartość tą można określić w stosunkowo prosty i tani sposób na podstawie wskaźnika aktywności koloidalnej. Aktywność koloidalną określa się jako stosunek wskaźnika plastyczności  $I_p$  do zawartości frakcji iłowej  $f_i$ :

$$A = \frac{I_p}{f_i} \quad (1)$$

gdzie

$I_p$  – wskaźnik plastyczności w procentach,

$f_i$  – zawartość frakcji iłowej w procentach, wg PN-88/B-04481 [2]. Zaleca się określanie zawartości frakcji iłowej za pomocą analizy laserowej.

$$I_p = w_L - w_p \quad (2)$$

gdzie

$w_L$  – granica płynności bentonitu w procentach, wg PN-88/B-04481 [2].

$w_p$  – granica plastyczności bentonitu w procentach wg PN-88/B-04481 [2].

W przypadku większości gruntów występujących w Polsce aktywność koloidalna  $A=1$ . Wysoka aktywność koloidalna ( $> 1$ ) wskazuje na obecność minerałów ilastych, takich jak montmorylonit. Dla iłów montmorylonitowych  $A > 1,5$ , dla „czystego” montmorylonitu sodowego  $A = 7,2$ . Aktywność koloidalna materiału, w postaci gruntu naturalnego lub mieszanki bentonitowo – gruntowej, odpowiedniej do wykonania uszczelnienia mineralnego, mieści się w przedziale  $0,5 < A < 1$ . Za pomocą aktywności koloidalnej można więc w prosty i tani sposób określać jakość bentonitu stosowanego przy doszczelnianiu gruntów naturalnych.

b) powierzchnia właściwa, powyżej 800 m<sup>2</sup>/kg

Minerały nie pęczniejące, takie jak np. kaolinity posiadają tylko zewnętrzną powierzchnię, ponieważ ich pakiety mineralne są ze sobą silnie związane. O wielkości ich powierzchni

właściwej decyduje tylko wielkość cząstek zawarta w tym mineralu. W odróżnieniu od minerałów nie pęczniejących, minerały pęczniejące, należące do grupy smektytów (np. bentonit sodowy), oprócz powierzchni zewnętrznej mają jeszcze dostępną dla wody i jonów wymiennych powierzchnię w przestrzeniach międzypakietowych. Wewnętrzne przestrzenie między pakietowe są znacznie większe od powierzchni zewnętrznej a suma tych powierzchni stanowi całkowitą powierzchnię właściwą.

Powierzchnię właściwą należy wyznaczyć metodą sorpcji błękitu metylowego, zgodnie z normą PN-88/B-04481 [2].

Wigotność bentonitu dostarczanego na plac budowy nie powinna przekraczać 10- 12 %. Wymagania co do jakości bentonitu powinny zostać wyraźnie określone w projekcie technologicznym doszczelnienia gruntu naturalnego. W specyfikacji technicznej należy określić przynajmniej wilgotność, zawartość montmorylonitu i powierzchnię właściwą bentonitu. Za jakość bentonitu odpowiada dostawca, który powinien zadeklarować, że dostarczany bentonit odpowiada specyfikacjom.

Do doszczelniania gruntów naturalnych zaleca się stosowanie bentonitów sodowych o wysokiej jakości. W tabelicy 1 przedstawiono zalecane badania kontrolne bentonitu dostarczanego na plac budowy.

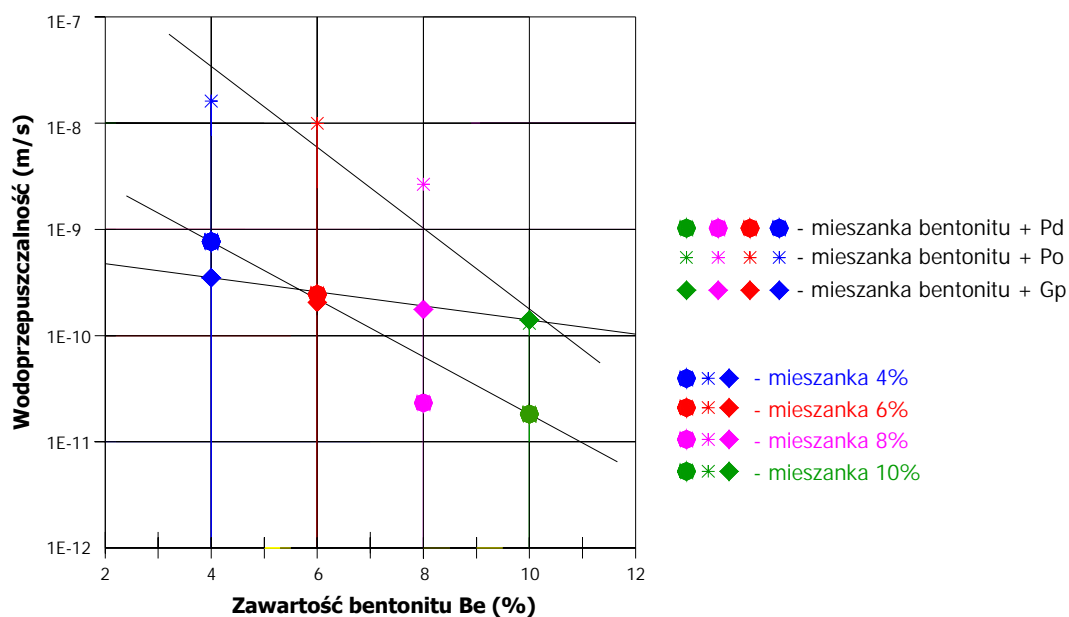
Tablica 1. Zalecane badania kontrolne bentonitu

<b>Parametr</b>	<b>Częstotliwość badania</b>	<b>Zalecana metoda badania</b>
Aktywność koloidalna	1 na ciężarówkę lub 2 na wagon	wg PN-88/B-04481 [2]
Powierzchnia właściwa	1 na ciężarówkę lub 2 na wagon	wg PN-88/B-04481 [2]

## **5. Wstępne określenie zawartości bentonitu w mieszance**

Ustalając zawartość bentonitu w mieszance bentonitowo-gruntowej należy pamiętać o tym że nie ma dwóch identycznych gruntów, a grunt występujący na konkretnym składowisku może charakteryzować się dużą niejednorodnością. Stąd ustalenie zawartości bentonitu na podstawie poniższych zaleceń należy uznać za orientacyjne i musi być ono

zweryfikowane dla konkretnego, doszczelnianego gruntu za pomocą badań laboratoryjnych, a następnie za pomocą badań na poletku doświadczalnym.



Rys. 1. Orientacyjne zawartości bentonitu w funkcji wodoprzepuszczalności mieszanki bentonitowo-gruntowej

Na podstawie rysunku 1 można ustalić w sposób bezpośredni zawartość bentonitu w mieszance w przypadku trzech rodzajów gruntu. W przypadku innych rodzajów zachodzi konieczność przeprowadzenia pewnej interpolacji pomiędzy przedstawionymi na rysunku zależnościami, w zależności od uziarnienia doszczelnianego gruntu.

## 6. Badania mieszanek bentonitowo-gruntowych

Przyjęta na podstawie poprzednich analiz dawka bentonitu do doszczelnienia gruntu na konkretnym składowisku powinna zostać zweryfikowana najpierw w badaniach laboratoryjnych, a następnie na poletku doświadczalnym. Weryfikacja w badaniach laboratoryjnych jest zdecydowanie tańsza, stąd od niej zaczynamy weryfikować skład zaprojektowanej wcześniej mieszanki. W tym celu należy przeprowadzić następujące badania:

- granice płynności i plastyczności oraz aktywność koloidalna, wg PN-88/B-04481 [2],
- powierzchnia właściwa, wg PN-88/B-04481 [2],
- maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, wg PN-88/B-04481 [2],
- wilgotność optymalna, wg PN-88/B-04481 [2],

e) współczynnik wodoprzepuszczalności przy maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.

Badanie Proctora ma na celu wyznaczenie wilgotności optymalnej  $w_{opt}$  odpowiadającej maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i polega na normowym zagęszczaniu gruntu w warstwach za pomocą stalowego ubijaka. Kluczowym zagadnieniem jest tu przyjęcie odpowiedniej energii zagęszczenia. Energię powinno się dobierać w zależności od rodzaju i ciężaru sprzętu zagęszczającego, jaki zostanie zastosowany w terenie do wykonania uszczelnienia. W zależności od ciężaru ubijaka oraz liczby warstw gruntu wyróżnia się metodę standardową i zmodyfikowaną. Przyjmuje się, że metoda standardowa odpowiada warunkom zagęszczenia materiału w terenie lekkim sprzętem (lekkie walce drogowe, walce na pneumatykach  $m(10\text{ t})$ ), a metoda zmodyfikowana odpowiada warunkom zagęszczenia ciężkim sprzętem zagęszczającym (walce drogowe  $m = 20 - 30\text{ t}$ , ciężkie walce wibracyjne  $m > 4\text{ t}$ ) W wyniku serii badań otrzymuje się wykres zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności, nazywany krzywą zagęszczalności. Na wykresie należy dodatkowo wykreślić linię całkowitego nasycenia odpowiadającą warunkowi  $S_r = 1$ .

Współczynnik wodoprzepuszczalności gruntów spoistych wyznacza się za pomocą badania w specjalnie przystosowanym edometrze (ang. fixed-wall permeater) lub aparacie trójosiowego ściskania (ang. flexible-wall permeater) przystosowanym do badania filtracji.

W polskiej literaturze, dotyczącej badań próbek gruntu, zaleca się stosowanie przystosowanych edometrów typu ITB-ZW do określenia współczynnika filtracji gruntów spoistych. Urządzenie takie jest znacznie tańsze od aparatu trójosiowego, ma jednak wiele wad, takich jak: brak pełnej kontroli nad naprężeniami działającymi na próbkę gruntu, trudność dokładnego docięcia próbki do kształtu pierścienia edometru oraz potencjalny przeciek wzdłuż powierzchni styku gruntu z pierścieniem. Problem przecieku na styku grunt/pierścień ma szczególne znaczenie w przypadku iłów, ponieważ nawet cienka szczelina pomiędzy próbką, a ścianką pierścienia może prowadzić do olbrzymiego błędu w wyznaczonym współczynniku filtracji. Wyjątek mogą tu stanowić specjalne aparaty, w których grunt zamiast w pierścieniu umieszczony jest w cylindrze, w którym został zagęszczony, np. podczas badania Proctora. Aparaty takie w języku angielskim noszą nazwę rigid-wall, compaction mold permeater. Stosowanie tego rodzaju aparatów wydaje się szczególnie przydatne podczas projektowania składu mieszanki bentonitowo-gruntowej. Grunt przeznaczony do badania zagęszcza się w cylindrze, a następnie do

cyindra podłącza się oprzyrządowanie pozwalające na określenie współczynnika filtracji bez potrzeby pobierania i przycinania próbki. W badaniu takim struktura gruntu pozostaje praktycznie nienaruszona od momentu ukończenia zagęszczania. Ryzyko powstania przecieku przyściennego zostaje ograniczone, ponieważ podczas zagęszczania poszczególnych warstw grunt jest dokładnie dociskany do ścianek cylindra.

Badanie w aparacie trójosiowym zapewnia pełną kontrolę naprężeń efektywnych i minimalizuje ryzyko przecieku wzdłuż zewnętrznej powierzchni próbki, ponieważ ciśnienie wody w komorze dociska membranę do próbki. Ponadto, aparat trójosiowy pozwala na dokładniejsze nasycenie badanej próbki. Generalnie, badania współczynnika filtracji gruntów spoistych w aparacie trójosiowego ściskania uważane są za bardziej dokładne i zaleca się jak najszersze ich stosowanie. W Polsce nie opracowano jak dotąd normy regulującej procedury prowadzenia tego rodzaju badań. Można się tu posłużyć amerykańską normą ASTM D-5084.

Jeżeli badania laboratoryjne zaprojektowanej mieszanki bentonitowo-gruntowej potwierdzą maksymalną wodoprzepuszczalność wymaganą w rozporządzeniu Ministra Środowiska [10] i w dyrektywie europejskiej [7], czyli  $k = 10^{-9}$  m/s, to badany skład mieszanki można przyjąć jako podstawę do badań na poletku doświadczalnym. W przeciwnym przypadku należy zwiększyć dawkę bentonitu i ponownie przeprowadzić wymienione wyżej badania laboratoryjne. Do badań na poletku doświadczalnym należy przyjąć zawartość bentonitu potwierdzoną na podstawie badań laboratoryjnych i zwiększoną o 2 %. Konieczność zwiększenia zawartości bentonitu w warunkach polowych wynika z niejednorodności gruntu doszczelnianego, a także z niemożliwej do uzyskania w warunkach polowych jakości wykonawstwa odpowiadającej warunkom laboratoryjnym.

## **7. Projektowanie poletka doświadczalnego**

### **7.1 Konieczność projektowania i budowy poletka doświadczalnego**

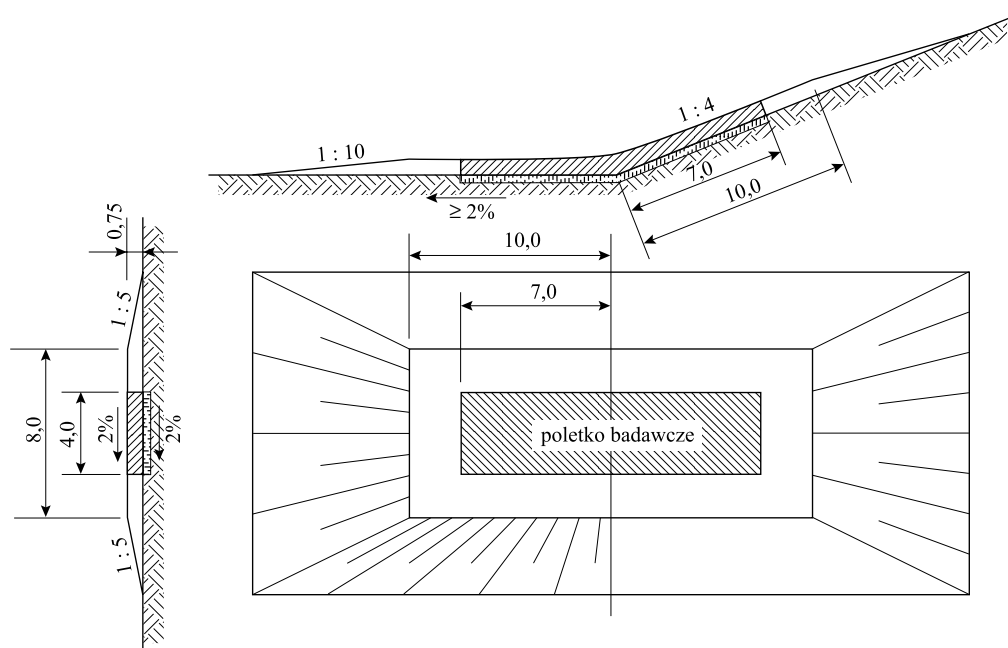
Poletko doświadczalne jest niezbędnym elementem projektu technologicznego doszczelniania gruntów naturalnych za pomocą bentonitu. Podstawowym celem budowy poletka doświadczalnego jest zweryfikowanie wyników badań laboratoryjnych za pomocą wyników osiąganych w terenie oraz potwierdzenia skuteczności przyjętych technologii przygotowania i układania mieszanki w miejscu wbudowania. Badania prowadzone na

poletku doświadczalnym pozwalają stwierdzić, czy bentonit, grunt oraz technologie doszczelniania przyjęte w projekcie technologicznym doszczelnienia, pozwolą osiągnąć odpowiednio niską wodoprzepuszczalność warstwy uszczelniającej w warunkach zbliżonych do warunków budowy.

Poletko doświadczalne powinno być traktowane jako niezbędna część inwestycji i realizowane zaraz po wejściu wykonawcy na budowę, ale przed przystąpieniem do robót związanych z wykonaniem właściwej warstwy uszczelniającej. Poletko doświadczalne jest niezbędnym elementem programu zapewnienia jakości przy wykonywaniu warstwy uszczelniającej.

## 7.2 Lokalizacja poletka doświadczalnego

Zaleca się lokalizację poletka doświadczalnego poza niecką składowiska lub rozebranie próbnie wytworzonej warstwy zaraz po zakończeniu badań. Prowadzenie polowych pomiarów współczynnika filtracji na już wykonanym fragmencie warstwy uszczelniającej wiąże się z ryzykiem pozostawienia po badaniach uszkodzonych miejsc, których naprawa może być bardzo trudna do przeprowadzenia. Ponadto czas niezbędny do



Rys. 2. Projekt typowego poletka doświadczalnego obejmującego zasięgiem dno i skarpe składowiska odpadów

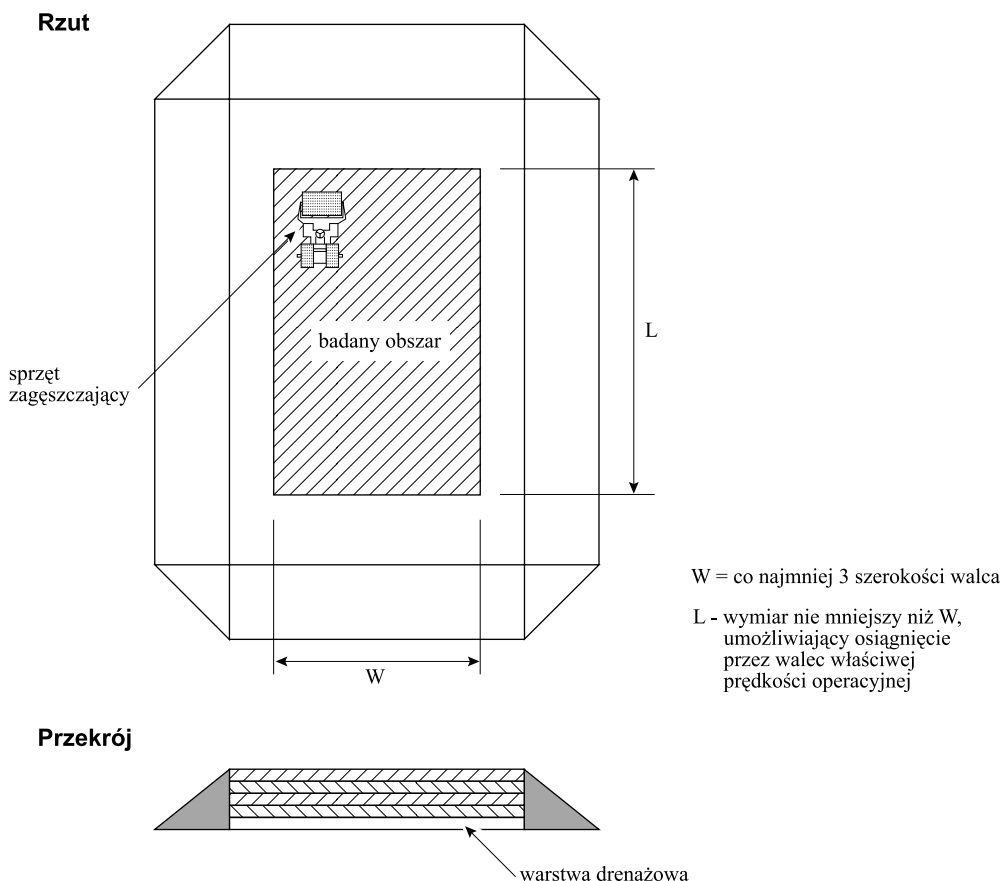
przeprowadzenia badań jest zbyt długi i podczas oczekiwania na wyniki badań pozostała

część (poza fragmentem badanym) warstwy uszczelniającej może zostać uszkodzona na skutek wysychania i powstania spękań skurczowych.

Poletko doświadczalne powinno obejmować swym zasięgiem zarówno dno jak i część skarpy niecki składowiska (rys. 2), szczególnie przy stosunkowo dużych nachyleniach skarp, równych i powyżej 1:3. Wiąże się to z koniecznością sprawdzenia jak zachowuje się masa mieszanki uszczelniającej na skarpie, czy nie występują sfałdowania związane z płynięciem układanej masy. Przy mniejszych nachyleniach skarp lub niskich obwałowaniach wystarczy poletko wykonane na terenie płaskim (rys. 3).

### 7.3 Mieszanka uszczelniająca

Przy wykonywaniu poletka doświadczalnego należy stosować identyczną mieszankę grunt-bentonit, techniki mieszania, układania i zagęszczania, sprzęt budowlany oraz



Rys.3. Przykładowy schemat płaskiego poletka badawczego [6]  
 technologię wykonawstwa, jakie przewidziano w projekcie realizacji właściwej warstwy

uszczelniającej. Jeżeli na poletku doświadczalnym osiągnie się wymagane w specyfikacji technicznej parametry techniczne warstwy uszczelniającej, to można założyć z dużym prawdopodobieństwem, że wykonana na budowie warstwa będzie miała te same właściwości. Kluczem do sukcesu jest dopilnowanie, aby rzeczywiste uszczelnienie zostało wykonane z taką samą lub lepszą jakością, jak uszczelnienie na poletku doświadczalnym. Jeżeli do wykonania przesłony stosuje się więcej niż jedną mieszankę, w przypadku każdej mieszanki należy wykonać osobne poletko.

#### 7.4 Wymiary poletka

Poletka doświadczalne mają zazwyczaj 10 – 15 m szerokości i 15 – 30 m długości. Wymiary poletka doświadczalnego powinny być tak ustalone, aby uzyskać odpowiednio duży obszar, biorąc pod uwagę wymiary stosowanego sprzętu zagęszczającego. Szerokość poletka powinna wynosić minimum trzy szerokości sprzętu zagęszczającego, a długość powinna być taka, aby sprzęt zagęszczający mógł osiągnąć normalną prędkość operacyjną na badanym obszarze [6]. Miąższość poletka na ogół nie powinna być mniejsza niż miąższość zaprojektowanej warstwy uszczelniającej. Poletko nie powinno być jednak cieńsze niż 50 cm i składać się przynajmniej z 3 zagęszczonych warstw .

#### 7.5 Wykonanie poletka

Przed przystąpieniem do wykonania poletka należy przeprowadzić pomiary geodezyjne terenu. Należy również odpowiednio przygotować i udokumentować stan podłoża gruntowego pod warstwą uszczelniającą.

Zaleca się wykonanie odcinków próbnych przed wykonaniem właściwego poletka doświadczalnego. Odcinki próbne umożliwiają wykrycie podstawowych problemów i dopracowanie parametrów technologicznych w celu zwiększenia prawdopodobieństwa osiągnięcia wymaganej wodoprzepuszczalności. Odcinki próbne składają się zazwyczaj z dwóch warstw o szerokości półtorej do dwóch szerokości walca i długości około 10 m [6]. Przed wykonaniem pierwszej warstwy poletka doświadczalnego można ułożyć materiał drenażowy, np. piasek, aby stworzyć określone warunki zdrenowania na wypadek, gdyby woda infiltrująca z powierzchniowego badania przepuszczalności przedostała się pod spód uszczelnienia. Pierwszą warstwę poletka wykonuje się bardzo ostrożnie, stosując jedynie symboliczne zagęszczenie w celu uniknięcia wymieszania materiału przesłony z

materiałem podścielającym [6].

Nie należy wykonywać poletka według standardów lepszych od tych, jakie zostaną zastosowane podczas wykonywania właściwej warstwy uszczelniającej. Podczas wykonywania poletka warto sporządzać raport wykonywanych czynności uwzględniający bieżące warunki pogodowe. Najlepiej żeby poletko badawcze konstruował ten sam wykonawca, który będzie wykonywał właściwe uszczelnienie, gdyż podczas budowy poletka może zdobyć cenne doświadczenie. To samo dotyczy nadzoru geotechnicznego i inspektorów nadzoru inwestorskiego.

#### 7.6 Badania na poletku doświadczalnym

Projekt poletka doświadczalnego powinien ściśle określać zakres prowadzonych badań. Na poletku doświadczalnym nie powinno się prowadzić większego zakresu badań, niż to wynika z zakresu przewidzianego w planie kontroli jakości. Natomiast częstotliwość poszczególnych badań może być nieco większa.

Istnieje pewne ryzyko stosowania nadmiernej kontroli jakości na poletku doświadczalnym, gdyż obszerne badania mogą prowadzić do dokładniejszego wykonania poletka, niż będzie to możliwe podczas wykonywania właściwej przesłony. Zadaniem poletka doświadczalnego jest sprawdzenie, czy zaproponowana mieszanka i technologie wykonawstwa pozwolą na osiągnięcie celów zgodnych ze specyfikacją techniczną. Nadmierna kontrola podczas wykonania poletka daje zazwyczaj przeciwne skutki od zamierzonych w projekcie.

Rodzaj i częstotliwość badań na poletku doświadczalnym powinny zostać określone w planie kontroli i zapewnienia jakości. Do podstawowych badań należą:

- a) oznaczenie wilgotności warstwy uszczelniającej,
- b) oznaczenie granic konsystencji,
- c) oznaczenie gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wskaźnika zagęszczenia,
- d) pomiar wodoprzepuszczalności w terenie.

Oznaczenie trzech pierwszych parametrów powinno być przeprowadzone dla każdej z wykonanych warstw poletka, natomiast pomiar wodoprzepuszczalności po wykonaniu docelowej miąższości poletka doświadczalnego.

## **B) Analiza wymagań dotyczących kontroli jakości robót związanych z doszczelnianiem gruntów naturalnych za pomocą bentonitu**

### **1. Wprowadzenie**

Doszczelnianie gruntów naturalnych za pomocą bentonitu ma na celu wytworzenie sztucznej bariery mineralnej spełniającej wymagania zawarte w rozporządzeniu Ministra Środowiska [10] i tym samym w dyrektywie europejskiej [7]. Sztuczna bariera mineralna (warstwa uszczelniająca) ma często powierzchnię przekraczającą kilka hektarów. Przy tak olbrzymiej objętości robót jest niemożliwe skuteczne skontrolowanie czy na całej powierzchni spełnia ona wymagania wymienionych powyżej przepisów prawnych. Jedynym sposobem jest w tej sytuacji stworzenie odpowiedniego planu zapewnienia i kontroli jakości wykonawstwa tego rodzaju robót. Obowiązek opracowania takiego planu powinien spoczywać na projektancie składowiska. Konieczne jest wówczas stworzenie na budowie służby, która nie jest przewidziana w polskim prawie budowlanym, to znaczy ekipy zajmującej się zapewnieniem i kontrolą jakości geotechnicznych robót budowlanych mających na celu wytworzenie takiej bariery uszczelniającej. Przeciętny inspektor nadzoru inwestorskiego, posiadający uprawnienia budowlane w zakresie wykonawstwa robót ogólnobudowlanych, nie ma zielonego pojęcia o kontrolowaniu tego rodzaju robót. Programy studiów inżynierów budowlanych nie obejmują niestety tej problematyki, niezwykle istotnej dla jakości wykonawstwa wszelkiego rodzaju robót budowlanych. Wprawdzie coraz częściej mamy do czynienia z realizacją inwestycji zgodnie z zaleceniami FIDIC-u, to znaczy z koniecznością przygotowania przez projektanta szczegółowych specyfikacji technicznych na poszczególne rodzaje robót budowlanych, występujących na danym obiekcie budowlanym, ale to nie zmienia postaci rzeczy, że problem kontroli jakości wykonawstwa specjalistycznych robót budowlanych nadal pozostaje otwarty.

Zapewnieniem i kontrolą jakości na budowie powinien zajmować się inspektor z odpowiednim wykształceniem. W tym konkretnym przypadku musi to być inżynier geotechnik lub firma zajmująca się nadzorami geotechnicznymi robót. Wszystko zależy od skali robót. Jest rzeczą oczywistą, że powinien to być nadzór niezależny od wykonawcy robót, wynajęty przez inwestora.

## **2. Wymagania dotyczące zapewnienia i kontroli jakości robót w poszczególnych etapach wykonawstwa warstwy uszczelniającej**

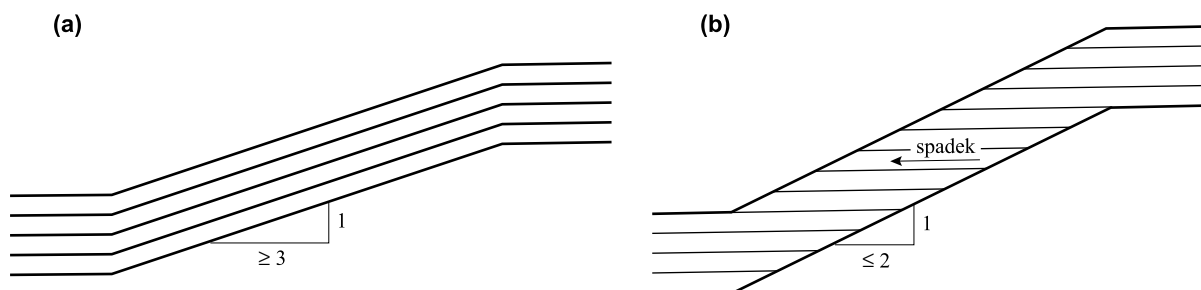
### 2.1 Przygotowanie podłoża pod uszczelnieniem

Podłoże pod wykonywane uszczelnienie powinno zostać odpowiednio przygotowane, to znaczy zapewniać odpowiednie wsparcie dla robót mających na celu zagęszczenie warstwy i zabezpieczać przed niekontrolowanym przemieszczeniem się mas gruntu. Warstwa uszczelniająca powinna być układana na podłożu naturalnym lub na geosyntetyku, w zależności od konkretnego rozwiązania projektowego i od poszczególnych składników systemu uszczelnienia lub przykrycia. Jeżeli mineralna warstwa uszczelniająca jest najniższym składnikiem całego systemu uszczelnienia, jej podłoże stanowią grunt rodzimy lub utwory skalne. Wtedy podłoże powinno zostać zagęszczone w celu wyeliminowania miękkich oczek. W razie konieczności należy zmniejszyć lub zwiększyć wilgotność, aby otrzymać odpowiednio zwarte podłoże, zgodne z wymaganiami projektowymi. W niektórych projektach uszczelnienie gruntowe może być układane na powierzchni geosyntetyku wchodzącego w skład systemu uszczelnienia, np. geowłókninie. W takich przypadkach najważniejszym zagadnieniem jest gładkość geosyntetyku, na którym układany jest grunt oraz dokładne przyleganie do materiału leżącego poniżej (np. geosyntetyk nie powinien być rozciągnięty ponad koleinami pozostałymi po przejazdach pojazdów).

Jeżeli grunt jest dość jednorodny i nie występują istotne wkładki gruntów słabych, znaczenie nierównomiernych osiadań będzie pomijalne. Większość przesłon mineralnych jest wystarczająco gruba, aby oprzeć się pewnym nierównomiernym osiadaniom gruntów w podłożu. Niektórzy projektanci zalecają jednak wydobyć i ponowne zagęszczenie wierzchniej warstwy (30 – 60 cm) gruntu podłoża, aby ograniczyć lokalne osiadania i przecieki przed ułożeniem przesłony. Czasami zaleca się również analizę nierównomiernych osiadań podłoża gruntowego w zależności od lokalnych warunków gruntowych (określonych w badaniach terenowych), w ramach projektu składowiska. Analizy takie powinny uwzględniać ciężar wszystkich elementów składowiska znajdujących się ponad poziomem posadowienia, zwłaszcza fundamentów pod sztywne konstrukcje, takie jak pionowe drenarskie, które w przypadku błędnego zaprojektowania, mogą zostać wciśnięte lub przecięnięte przez przesłonę uszczelniającą.

## 2.2 Układanie mieszanki

Po pełnym urobieniu mieszanki (regulacja wilgotności, rozdrobnienie grudek, wymieszanie z bentonitem w przypadku mieszania w węzłach itp.) jest ona transportowana na miejsce ułożenia. Nie powinno się układać mieszanki w niekorzystnych warunkach pogodowych, np. w ulewnym deszczu. Inspektorzy są na ogół odpowiedzialni za dokumentowanie warunków pogodowych podczas całych robót ziemnych. Powierzchnia, na której ma zostać ułożona mieszanka powinna być odpowiednio przygotowana, a materiał powinien zostać skontrolowany po rozłożeniu. Inspektor zapewnienia i kontroli jakości sprawdza, czy ułożona warstwa gruntu nie jest zbyt gruba. W przypadku barier mineralnych układanych na zboczach projekt powinien jasno określać czy warstwy mają być równoległe do zbocza czy poziome. Na zboczach nachylonych 1 : 3 lub łagodniej warstwy są na ogół równoległe do powierzchni. Na zboczach nachylonych 1 : 2 lub bardziej stromo warstwy układane są przeważnie poziomo. Układanie poziomych warstw może się jednak wiązać z dodatkowym problemem, ze względu na większą wodoprzepuszczalność w kierunku równoległym do warstw niż w kierunku prostopadłym.



Rysunek 4. Układanie warstw mieszanki (a) równoległe do zbocza oraz (b) poziomo

Przed ułożeniem nowej warstwy gruntu, jeżeli układana warstwa nie jest pierwszą od spodu, powierzchnia wcześniej zagęszczonej warstwy uszczelnienia powinna zostać wzruszona w celu zapewnienia dobrego połączenia pomiędzy starą i nową warstwą. Inspektorzy powinni obserwować stan powierzchni wcześniej zagęszczonej warstwy aby upewnić się, że została ona spulchniona zgodnie z wymaganiami projektowymi. Grunt wzrusza się przeważnie na głębokość około 25 mm. Jeżeli powierzchnia warstwy po ukończeniu zagęszczania jest chropowata, nie ma potrzeby wzruszania powierzchni przed

ułożeniem kolejnej warstwy. Po spulchnieniu powierzchni wzniesiony materiał staje się częścią luźnej warstwy i powinien być wliczany do miąższości nowej, luźnej warstwy.

### 2.3 Kontrola właściwości mieszanki przed zagęszczeniem

Po ułożeniu luźnej warstwy mieszanki, bezpośrednio przed zagęszczeniem materiału, prowadzi się obserwacje oraz badania kontrolne mieszanki. Próbkę do badań pobiera się z określoną częstotliwością według założonej siatki próbkowania. Badania te mają na celu sprawdzenie jakości przygotowanego materiału w ostatnim momencie, w którym możliwa jest jeszcze korekta parametrów mieszanki. W tabelicy 2. zestawiono minimalny zalecany zakres badań oraz częstotliwość ich wykonywania.

Tablica 2. Zalecane badania kontrolne mieszanki przed zagęszczeniem [6]

<b>Parametr</b>	<b>Metoda badania</b>	<b>Minimalna częstotliwość badań</b>
Granice płynności i plastyczności	Badanie Casagrande'a	1 na 800 m <sup>3</sup> <sup>(1)</sup>
Zawartość bentonitu	Badanie błękitem metylenowym	1 na 800 m <sup>3</sup> <sup>(1)</sup>
Krzywa zagęszczalności, wilgotność optymalna i maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	Jak w projekcie	1 na 4000 m <sup>3</sup>
Nadzór wykonania	Obserwacje	Bez przerwy

<sup>(1)</sup> Należy przeprowadzić przynajmniej jedno badanie każdego dnia, w którym grunt jest układany oraz dodatkowe badania każdego gruntu uznanego przez inspektora zapewnienia i kontroli jakości za podejrzany.

Wyniki badań kontrolnych mieszanki mogą czasami nie w pełni odpowiadać wymaganiom postawionym w projekcie. Założenie, że 100% materiału będzie w pełni

spełniać wymagania jest nie do osiągnięcia. Na przykład, jeżeli projekt określa minimalny wskaźnik plastyczności może zdarzyć się, że niewielka porcja materiału nie będzie odpowiadać temu wymaganiu (na przykład z powodu mniejszej plastyczności gruntu rodzimego niezauważonej przed wymieszaniem z bentonitem). Sporadyczne uzyskiwanie

Tablica 3. Maksymalne dopuszczalne liczby badań z wynikiem negatywnym [6]

<b>Parametr</b>	<b>Maksymalna dopuszczalna liczba badań z wynikiem negatywnym</b>
Granice konsystencji	5%, odchyłki nie są skupione w jednej warstwie ani w jednym obszarze
Zawartość bentonitu	5%, odchyłki nie są skupione w jednej warstwie ani w jednym obszarze
Wodoprzepuszczalność mieszanki zagęszczonej w laboratorium	5%, odchyłki nie są skupione w jednej warstwie ani w jednym obszarze

negatywnych wyników badań mieszanki nie jest niczym niezwykłym i można spodziewać się przypadkowych wad mieszanki. Jedną z przyczyn, dla której mieszankę układa się w wielu warstwach, jest zabezpieczenie się przed nieuniknionymi odchyłkami właściwości gruntu stosowanego do wykonania przeszłony gruntowej. Przypadkowe niezgodności gruntu z wymaganiami projektowymi nie są niebezpieczne, o ile nie występują w nadmiernej liczbie. W tablicy 3 przedstawiono dopuszczalne liczby badań z wynikiem negatywnym.

Jeżeli stwierdzono, że na pewnym obszarze mieszanka nie odpowiada wymaganiom, pierwszym krokiem jest określenie granicy obszaru wymagającego naprawy. Należy wymagać od wykonawcy aby naprawił warstwę uszczelnienia w granicach określonych przez badania kontroli jakości. Nie wolno dopuścić do sytuacji, w której wykonawca sam zgaduje jakie są granice obszaru wymagającego naprawy. W celu określenia tych granic konieczne jest często przeprowadzenie dodatkowych badań. Jeżeli wykonawca nie domaga się przeprowadzenia dodatkowych badań może ewentualnie naprawić obszar sięgający do miejsc, w których przeprowadzone badania dały wyniki pozytywne.

W przypadku gdy wada polega na nieodpowiedniej wilgotności mieszanki wystarczy zwilżenie lub wysuszenie gruntu na wadliwym obszarze. Wodę należy rozprowadzać równomiernie co wymaga mieszania gruntu za pomocą bron talerzowych lub glebogryzarek. Jeżeli materiał zawiera zbyt duże cząstki należy je usunąć. Jeżeli grudki gruntu są zbyt duże powinny zostać rozdrobnione w luźnej warstwie. Jeżeli mieszanka jest za mało plastyczna, zawiera za mało pyłów, za dużo żwiru lub zbyt mało bentonitu należy ją wybrać i wymienić.

#### 2.4 Kontrola grubości warstwy przed zagęszczeniem

Maksymalna grubość luźno ułożonej warstwy mieszanki jest na ogół określona w projekcie. Przy stosowaniu standardowego sprzętu grubość nie powinna być większa od podanej wartości. Miąższość luźnej warstwy można kontrolować na kilka sposobów. Jednym z rozwiązań jest ocena przez inspektora znajdującego się w pobliżu frontu robót i obserwującego grubość układanej warstwy. Jeżeli pojawiają się wątpliwości co do grubości ułożonej warstwy należy wykopać dołek w luźnej warstwie i częściowo w warstwie podścielającej. Następnie mierzy się głębokość od powierzchni luźnej warstwy do wierzchu warstwy zagęszczonej. Jeżeli powierzchnia zagęszczonej warstwy została spulchniona, wzruszona strefa powinna być wliczana do miąższości nowej warstwy gruntu. Zaleca się prowadzenie nieprzerwanej obserwacji grubości luźnych warstw podczas wykonywania uszczelnienia [6].

Niektórzy wykonawcy robót ziemnych kontrolują miąższość warstwy za pomocą palików wbijanych w podłoże, na których zaznaczają żądaną grubość warstwy. Sposób ten jest wygodny dla operatorów, którzy mogą wzrokowo określić czy miąższość warstwy jest poprawna. Nie zaleca się jednak tego sposobu dla warstwy drugiej i kolejnych warstw uszczelnienia ponieważ otwory po palikach, w warstwach wcześniej zagęszczonych, muszą być naprawione. Paliki lub fragmenty palików pozostawione w gruncie mogą być również przyczyną przebicia przykrywającej warstwę mineralną geomembrany. Naprawa otworów pozostałych po palikach jest kłopotliwa ponieważ trzeba wykopać dołek w luźnej warstwie i odsłonić palik, w całości go usunąć, zasypać otwór po paliku, a następnie wymienić luźny grunt w świeżo ułożonej warstwie. Zalecaną techniką pomiarową do kontroli grubości warstwy jest stosowanie urządzeń laserowych. Poziomicę laserową ustawia się na określonej wysokości, a detektor zamocowany na łące ustawia się ręcznie lub montuje na statywie.

W miejscach, w których nie można zastosować sprzętu laserowego zaleca się stosowanie elastycznych palików z tworzywa sztucznego albo metalowych palików (ponumerowanych i inwentaryzowanych w ramach procesu zapewnienia jakości). Zaleca się stosowanie palików na podstawkach, aby nie było potrzeby wbijania ich w niższą warstwę. Należy wymagać naprawienia otworów po wyciągniętych palikach; naprawione miejsca powinny być okresowo kontrolowane a naprawy dokumentowane. Alternatywnie (i raczej na małych obszarach) można prowadzić punktową niwelację za pomocą tradycyjnych niwelatorów i łat na powierzchni luźnej warstwy.

Podczas układania mieszanki na ogół jest ona rozładowywana w hałdy w miejscu wbudowania i rozprowadzana za pomocą spycharek. Inspektor kontroli jakości powinien znajdować się przed frontem robót i obserwować, czy w materiale nie znajdują się zbyt duże cząstki lub inny szkodliwy materiał, kontrolować grubość warstwy i pilnować, aby spycharka nie uszkodziła niższej warstwy.

## 2. 6 Zagęszczanie mieszanki

Do zagęszczania mieszanek bentonitowo – gruntowych należy stosować sprzęt przewidziany w projekcie, którego skuteczność zweryfikowano na polletku doświadczalnym. Najczęściej stosuje się gładkie walce wibracyjne lub walce na pneumatykach. Inspektor zapewnienia i kontroli jakości ma obowiązek dopilnować, aby rodzaj i ciężar sprzętu oraz liczba wykonywanych przejazdów były zgodne z projektem. Dodatkowo sprzęt zagęszczający powinien być używany z odpowiednią prędkością. Maksymalna prędkość walca powinna zostać określona w specyfikacji technicznej.

Wykonanie jednorodnego połączenia następujących po sobie warstw jest szczególnie istotne w mieszankach bentonitowo – gruntowych, ze względu na możliwość występowania uprzywilejowanych ścieżek przepływu wzdłuż powierzchni styku między warstwami. Z tego względu należy bezwzględnie wzruszać powierzchnię wcześniej zagęszczonej warstwy przed ułożeniem i zagęszczeniem kolejnej.

Zagęszczenie uszczelnienia na bocznych skarpach może okazać się specjalnym wyzwaniem, zwłaszcza na zboczach nachylonych 1 : 3 lub bardziej stromo. Inspektorzy powinni obserwować zagęszczanie zboczy i uważać na skłonność walca do ześlizgiwania się oraz możliwość wystąpienia poślizgu lub spękania gruntu. Powinni również upewnić się, że do gruntu dostarczana jest odpowiednia energia zagęszczenia. W gruntach zagęszczanych w warstwach równoległych do zbocza, pierwsza warstwa powinna zostać

„wgnieciona” w podłoże aby uniemożliwić powstawanie uprzywilejowanych dróg przepływu na powierzchni styku oraz zminimalizować ryzyko powstania powierzchni poślizgu.

Podczas układania gruntów bezpośrednio na delikatnej warstwie (na przykład geosyntetyki lub warstwa drenażowa) należy szczególnie uważać, aby nie uszkodzić delikatnego materiału lub nie wymieszać mieszanki z zalegającym poniżej materiałem drenażu. Często pierwszą warstwę rozprowadza się, a następnie zagęszcza jedynie „symbolicznie” za pomocą spycharek, walców gładkich lub walców ogumionych. Personel kontroli jakości powinien szczególnie uważnie obserwować cały proces układania i zagęszczania pierwszej warstwy gruntu w przesłonach wykonywanych bezpośrednio na materiałach geosyntetycznych lub na warstwie drenażowej.

Często wykonawcy stosują więcej niż jeden rodzaj walca w ramach jednego projektu. Na przykład, wstępne zagęszczenie można przeprowadzać za pomocą ciężkich walców wyposażonych w długie kołki, w pełni przenikające luźną warstwę. Następnie, górną część warstwy można zagęścić za pomocą ciężkich walców ogumionych lub innego sprzętu, który jest bardziej efektywny w przypowierzchniowym zagęszczaniu gruntu.

Liczba przejść walca po powierzchni gruntu ma istotny wpływ na skuteczność zagęszczenia. Zaleca się okresowe kontrolowanie liczby przejść walca nad danym punktem.

## 2.6 Kontrola zagęszczenia mieszanki

Podstawowym parametrem kontroli zagęszczenia jest przyjęty w projekcie wskaźnik zagęszczenia gruntu  $I_s$ . Aby określić wartość tego wskaźnika należy przeprowadzić pomiary wilgotności oraz gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Pomiary te muszą być realizowane bardzo szybko, ze względu na harmonogram budowy. Stąd zaleca się stosowanie metod bardziej nowoczesnych, na przykład badania radioizotopowe.

Istnieje jednak wiele potencjalnych błędów, mogących wystąpić podczas pomiaru wilgotności metodą radioizotopową. Najbardziej znaczącym, potencjalnym zagrożeniem jest występowanie obcych atomów wodoru, nie związanych z wodą, których źródłem mogą być węglowodory, metan, minerały zawierające wodę (np. gips), minerały z wiązaniem wodorowym (np. kaolinit, illit, montmorylonit) oraz materiały organiczne. W najbardziej niekorzystnych warunkach wilgotność, wyznaczona urządzeniem radiometrycznym, może być obciążona błędem nawet do 10%. W korzystnych warunkach

błąd pomiaru jest mniejszy niż 1%. Przyrząd powinien więc zostać skalibrowany dla konkretnych gruntów i różnych warunków w danej lokalizacji.

Przy pomiarze gęstości objętościowej szkieletu gruntowego występuje mniej potencjalnych źródeł błędów i mają one mniejsze znaczenie, niż w przypadku pomiaru wilgotności. Najpoważniejszym zagrożeniem jest niewłaściwa obsługa przyrządu. Często popełnianym błędem jest wbijanie pręta emisyjnego w grunt, zamiast wprowadzenia go we wcześniej wykonany za pomocą pręta otwór. Innymi źródłami błędów mogą być: nieodpowiednie oddzielenie podstawy otworu od źródła emisyjnego, niedostateczny czas pomiaru, niewystarczające wzbudzenie przyrządu, fałszywe źródła promieniowania gamma, niedokładna kalibracja.

Urządzenia radiometryczne pozwalają na przeprowadzenie powierzchniowego, niemal bezinwazyjnego badania w terenie. Pozostaje jedynie otwór po wbiciu cienkiego pręta. Urządzenie podaje wyniki do komputera, a całe badanie trwa nawet kilka sekund. Przy odpowiedniej kalibracji pomiar wykonywany jest z dokładnością nie mniejszą niż  $\pm 2\%$ . W krajach wysoko rozwiniętych przyrządy te są powszechnie stosowane do kontroli jakości zagęszczenia, ponieważ aparaty radiometryczne znacznie usprawniają proces bieżącej kontroli jakości, obniżają jego koszt i praktycznie eliminują problem naprawiania otworów w miejscach, w których pobierano próbki do badań.

## 2.7 Zalecane częstotliwości badań

Zalecane częstotliwości badań przedstawiono w tabelicy 4. Należy pamiętać, że prezentowane częstotliwości badań są wartościami minimalnymi. Na podstawie samodzielnej oceny powinno się zwiększyć liczbę badań lub pozostać przy liczbie minimalnej, w zależności od konkretnego projektu oraz innych badań i obserwacji w ramach zapewnienia i kontroli jakości.

## 2.8 Dopuszczalne odchyłki

Podczas każdego projektu popełniane są błędy pomiarowe. Należy spodziewać się, że od czasu do czasu personel kontroli jakości może niepoprawnie wykonać pomiar wilgotności lub gęstości. Przypadkowe błędy człowieka powinny zostać przewidziane i uwzględnione

Tablica 4. Zalecane badania mieszanki po zagęszczeniu [6]

<b>Parametr</b>	<b>Metoda badania</b>	<b>Minimalna częstotliwość badań</b>
Wilgotność (szybki pomiar)	Badanie radioizotopowe lub suszenie w mikrofalówce	13/ha/warstwę
Wilgotność	Suszenie w suszarce wg PN	Jedno badanie na 10 szybkich pomiarów wilgotności
Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego (szybki pomiar)	Badanie radioizotopowe lub pomiar za pomocą próbnika (cylindra)	13/ha/warstwę
Liczba przejazdów maszyny	Obserwacje	3/ha/warstwę
Nadzór wykonania	Obserwacje	Bez przerwy

w planie zapewnienia i kontroli jakości. Jeżeli występuje podejrzenie, że wynik badania obarczony jest błędem, personel zapewnienia i kontroli jakości powinien powrócić do punktu, w którym dokonano wątpliwych pomiarów. Powinno się przeprowadzić kilka dodatkowych badań w bliskim otoczeniu kwestionowanego punktu. Jeżeli wszystkie dodatkowe badania dają wyniki pozytywne, pierwsze badanie można uznać za błędne i zignorować. Dokumentacja zapewnienia i kontroli jakości powinna określać liczbę badań niezbędnych do zanegowania wyniku wątpliwego badania. Zaleca się przeprowadzanie około 3 badań z wynikiem pozytywnym do zaprzeczenia wyników wcześniejszego badania.

Jednym z głównych powodów, dla których bariery gruntowe wykonuje się warstwami jest zmienność procesu wykonawstwa i samych gruntów. Przy wielu warstwach żaden szczególny punkt, w żadnej konkretnej warstwie, nie jest specjalnie istotny, nawet jeżeli występuje tam nie satysfakcjonujący lub nieodpowiednio zagęszczony grunt. Należy spodziewać się, że w każdej realizacji uszczelnienia mineralnego wystąpią sporadyczne odchyłki od wymagań projektowych. W rzeczywistości, jeżeli jest się w stanie pobrać

odpowiednią liczbę próbek gruntu, można mieć pewność, że wadliwe obszary zostaną zlokalizowane.

Podobnie jak w badaniach luźnego materiału, nie można oczekiwać, że 100% badań będzie miało wyniki pozytywne. Należy spodziewać się sporadycznych niezgodności. Jeżeli występuje kilka negatywnych wyników w różnych lokalizacjach odchyłki nie dyskwalifikują jakości lub integralności wielowarstwowego uszczelnienia.

Dokumentacja zapewnienia i kontroli jakości może zawierać pewne poprawki na sporadyczne badania negatywne. W dokumentacji może znajdować się zastrzeżenie, że wadliwe badania nie mogą skupiać się w pojedynczej warstwie lub lokalizacji. Zaleca się raczej dopuszczenie niewielkiej liczby wadliwych wyników niż naiwne wymaganie, aby 100% badań spełniało założenia projektowe. Specyfikacje oparte na statystyce zapewniają wygodne, bezpieczne i pewne metody operowania przypadkowymi wynikami negatywnymi. Metody statystyczne wymagają jednak zgromadzenia odpowiedniej ilości danych, aby statystyki były dokładne. Dostarczenie wystarczającej liczby danych może okazać się niemożliwe, zwłaszcza we wstępnych etapach wykonawstwa robót [6].

Tablica 5. Dopuszczalne liczby badań z wynikiem negatywnym dla zagęszczonej mieszanki [6]

<b>Parametr</b>	<b>Maksymalna dopuszczalna liczba badań z wynikiem negatywnym</b>
Wilgotność	3%, odchyłki nie są skupione w jednej warstwie ani w jednym obszarze, wilgotność nie mniejsza niż 2% i nie większa niż 3% od wartości dopuszczalnej
Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	3%, odchyłki nie są skupione w jednej warstwie ani w jednym obszarze, gęstość nie mniejsza o więcej niż 80 kg/m <sup>3</sup> od wartości wymaganej
Liczba przejazdów	5%, odchyłki nie są skupione w jednej warstwie ani w jednym obszarze

Można również dopuścić pewną liczbę odchyłek pod warunkiem, że wszystkie obszary, na których wilgotność jest znacznie mniejsza lub za duża, albo jeżeli ciężar objętościowy

szkieletu gruntowego jest zdecydowanie za mały, zostaną naprawione. Takie rozwiązanie jest prawdopodobnie najłatwiejsze do zastosowania – zalecenia te zestawiono w tablicy 5.

## 2.9 Siatka próbkowania

Jest kilka sposobów wybierania miejsc poboru próbek do badania wilgotności oraz gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Najprostszą i najmniej pożądaną metodą jest ustalanie miejsca próbkowania w momencie, gdy trzeba pobrać próbki. W takim przypadku osoba wybierająca miejsce może nie pozostać bezstronna i pobrać próbki w miejscach, w których spodziewa się korzystnych wyników (na przykład może unikać gruntu o danym kolorze jeżeli w poprzedniej realizacji były kłopoty z podobnym gruntem).

Powszechnym sposobem wybierania miejsc poboru próbek jest wstępne założenie siatki próbkowania. Siatka próbkowania jest prosta i zapewnia wysokie prawdopodobieństwo zlokalizowania wadliwych obszarów, o ile ich rozmiar jest większy lub równy odstępom pomiędzy punktami poboru próbek. Ważne jest przesuwanie siatki w każdej warstwie tak, aby punkty poboru próbek nie znajdowały się nad sobą. W kolejnych warstwach nie powinno się pobierać próbek w tych samych miejscach, aby naprawione miejsca po próbkowaniu nie znajdowały się jedno nad drugim. Siatka próbkowania jest metodą najprostszą do zastosowania, pozwalającą pozostać bezstronnym podczas pobierania próbek.

Alternatywnym sposobem jest losowy wybór miejsc do poboru próbek. Zaleca się, aby punkty poboru próbek były od siebie oddalone o przynajmniej 2 metry. Jeżeli większa część badanej powierzchni zostanie pominięta w wyniku losowego wyboru punktów próbkowania, inspektorzy kontroli jakości mogą wprowadzić dodatkowe punkty, aby obszar ten został zbadany. W niektórych dużych projektach, gdzie stosuje się metody statystyczne do analizy danych, preferuje się próbkowanie losowe. Można jednak udowodnić, że dla danej liczby punktów próbkowania, stosowanie siatki daje większą szansę wykrycia obszarów problematycznych pod warunkiem, że rozmiary takiego obszaru są większe lub równe odległościom pomiędzy punktami próbkowania. Prawdopodobieństwo zlokalizowania wadliwego obszaru jest mniej więcej jednakowe w przypadku obydwu metod, jeżeli obszar jest mniejszy od odstępów pomiędzy punktami próbkowania.

## 2.10 Badania wodoprzepuszczalności

W większości programów zapewnienia jakości poświęca się zbyt dużo uwagi badaniom wodoprzepuszczalności. Niski współczynnik filtracji próbek mieszanki pobranych z bariery jest niezbędny do poprawnego funkcjonowania warstwy uszczelniającej, ale nie jest wystarczającym wskaźnikiem tego, że wielkowieściowa wodoprzepuszczalność w warunkach polowych jest odpowiednio niska.

Laboratoryjne badania współczynnika wodoprzepuszczalności stanowią dużą niewygodę ponieważ trwają przynajmniej kilka dni, a czasami tydzień lub dwa. Długi czas trwania badań zmniejsza ich wartość jako narzędzi zapewnienia i kontroli jakości. Wykonawca nie może czekać na wyniki badań aby kontynuować budowę, a również personel kontroli jakości nie chce wstrzymywać budowy ponieważ istnieje możliwość uszkodzenia bariery na skutek wysychania. Z tego względu powinno się dobrze rozważyć czy laboratoryjne pomiary współczynnika filtracji są rzeczywiście potrzebne w danym projekcie i czy są aż tak pożyteczne, że warto znosić wszystkie niewygody z nimi związane.

Jednak w pewnych sytuacjach, laboratoryjne badania wodoprzepuszczalności na próbkach NNS mogą być cenne. W przypadku uszczelnień mineralnych, dla których nie wykonano poletka doświadczalnego badanie laboratoryjne pozwala zweryfikować, czy zastosowano odpowiednie mieszanki oraz czy zostały one odpowiednio zagęszczone (samo badanie wodoprzepuszczalności nie dowodzi jednak tego faktu).

Jeżeli wykonuje się poletko doświadczalne i pomiary polowe wskazują, że wielkowieściowa wodoprzepuszczalność na poletku jest satysfakcjonująca, program zapewnienia i kontroli jakości dla wykonywanej warstwy uszczelniającej powinien koncentrować się na założeniach, że właściwe uszczelnienie zostanie wykonane z podobnych gruntów i w takim samym, lub lepszym standardzie wykonania. W takim przypadku, proces zapewnienia jakości opiera się na podstawowych badaniach wilgotności oraz gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Laboratoryjne badania współczynnika filtracji nie są potrzebne do spełnienia przyjętych po badaniach na poletku doświadczalnym założeń.

Jeżeli nie wykonuje się poletka doświadczalnego i zakłada się, że można pozyskać reprezentatywne próbki gruntu do badania wodoprzepuszczalności, zaleca się prowadzenie takich badań na próbkach NNS lub za pomocą metod polowych badania wodoprzepuszczalności gruntu. Metody prowadzenia badań zostały omówione w poprzednim opracowaniu. Jeżeli badania wodoprzepuszczalności są prowadzone, na ogół

wykonuje się 3 badania na 1 ha powierzchni, na jedną warstwę. Częstotliwość badań powinien określać plan zapewnienia jakości.

Podobnie jak w przypadku badań opisywanych wcześniej, nie należy spodziewać się, że 100% wyników badań będzie spełniało kryteria wymagane przez projekt. W przypadku wielowarstwowych przesłon zaleca się dopuszczanie do 5% negatywnych wyników pomiarów współczynnika wodoprzepuszczalności. Pewną liczbę wyników negatywnych można dopuścić jedynie pod warunkiem, że cały program zapewnienia jakości był szczegółowo i dokładnie zrealizowany. Ponadto, wodoprzepuszczalność wadliwych próbek nie powinna być większa o więcej niż połowę, do jednego rzędu wielkości ponad określoną, maksymalną wartość. Jeżeli wodoprzepuszczalność w konkretnym miejscu jest zbyt wysoka, miejsce to powinno zostać zbadane ponownie i naprawione [6].

#### 2.11 Naprawa otworów po pobieraniu próbek i po badaniach terenowych

Duża liczba badań, np. za pomocą przyrządu radiometrycznego, oraz pobieranie próbek do badania wodoprzepuszczalności, wymagają penetracji warstwy przesłony gruntu. Naprawienie wszystkich otworów jest niezwykle ważne. Zaleca się następującą procedurę naprawiania otworów. Najpierw należy wybrać grunt do naprawy. Materiałem tym powinna być mieszanka bentonitowo-gruntowa lub granulowany bentonit. Grunt do naprawy powinno umieszczać się w otworach wymagających naprawy w luźnych warstwach o grubości nie większej niż 50 mm. Luźna warstwa gruntu powinna zostać kilka razy ubita, za pomocą stalowego pręta lub innego narzędzia zapewniającego takie upakowanie gruntu, aby nie pozostały żadne puste przestrzenie. Następnie należy ułożyć i zagęścić kolejną warstwę gruntu do naprawy. Proces ten powtarza się do momentu całkowitego wypełnienia otworu.

Zaleca się prowadzenie okresowych kontroli oraz sporządzanie raportów z naprawy otworów. Sugeruje się skontrolowanie około 20% wszystkich naprawianych otworów i dokumentowanie procedury wypełniania podczas kontroli. Inspektorem kontrolującym naprawę otworów nie powinna być ta sama osoba, która je wypełniała [6].

#### 2.12 Maksymalna grubość warstwy po zagęszczeniu

Projekt może określać maksymalną grubość warstwy po zagęszczeniu. Na ogół maksymalna grubość warstwy wynosi 150 mm. Dla określenia grubości ukończonego

fragmentu przesłony powinno przeprowadzać się końcową niwelację. Maksymalna grubość warstwy wyszczególniona w projekcie jest wartością nominalną. Rzeczywista wartość może być określana poprzez pomiary na powierzchni każdej ukończonej warstwy, ale dopuszcza się (pod warunkiem że prowadzono dokładną kontrolę grubości luźnych warstw) pomiar miąższości całej przesłony i wyznaczenie średniej grubości warstw, przez podzielenie całkowitej miąższości przez liczbę warstw.

W planie zapewnienia jakości powinny zostać określone tolerancje, co do końcowej grubości warstwy. Sporadyczne przekroczenia tych tolerancji nie mają szkodliwego wpływu na skuteczność wielowarstwowej przesłony. Zaleca się, aby nie więcej niż 5% końcowych grubości warstw przekraczało granice określone w dokumentacji oraz aby żadne przekroczenie nie wynosiło więcej niż 25 mm ponad maksymalną dopuszczalną grubość.

### 2.13 Odbiór wykonanego uszczelnienia

Ostateczna decyzja o odbiorze bariery podejmowana jest przez inspektora kontroli jakości na podstawie wszystkich danych, raportów i wyników badań. Wyniki badań wodoprzepuszczalności mogą nie być dostępne jeszcze przez kilka dni po ukończeniu warstwy. Czasami wykonawca ryzykuje i układa kolejne warstwy, zanim dostępne będą wszystkie wyniki badań. Czasami zdarza się, że wykonanie bariery zostało rozpoczęte pomimo, że nie było jeszcze ostatecznych wyników z poletka doświadczalnego. Jeżeli na tym późnym etapie podjęta zostanie decyzja negatywna, dyskwalifikująca zastosowane grunty lub procedury, wadliwa mieszanka wraz z całym ułożonym nadkładem powinna zostać usunięta i wymieniona.

## **3. Dokumentacja zapewnienia i kontroli jakości robót**

### 3.1 Wprowadzenie

Efektywny plan zapewnienia i kontroli jakości zależy od rozpoznania wszystkich czynności wykonawczych, które należy kontrolować oraz od przydzielenia obowiązków odpowiednim osobom z personelu zapewnienia i kontroli jakości robót. Szczegółowe dokumentowanie czynności kontroli i zapewnienia jakości, zgodnie ze wskazówkami zawartymi w planie, gwarantuje osiągnięcie założonych celów. Na podstawie wytycznych

przyjętych w planie zapewnienia jakości personel dokonuje inspekcji, a następnie sporządza dokumentację w postaci pisemnych komentarzy, arkuszy danych oraz list kontrolnych, potwierdzających wykonanie kontroli odpowiednich robót. Dokumentacja zapewnienia i kontroli jakości składa się z raportów dziennych, raportów oceny etapu robót, raportów odbioru prac sporządzanych przez projektanta oraz dokumentacji końcowej, przedstawianej inwestorowi i organom administracji architektoniczno-budowlanej. Poniżej omówiono poszczególne rodzaje raportów, sporządzanych w procesie zapewnienia i kontroli jakości, według propozycji przedstawionej w wytycznych Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US EPA) [8]. Ponieważ w Polsce nie ma jeszcze przepisów prawnych obligujących inwestora do stworzenia na budowie służb zapewnienia i kontroli jakości robót, informacje powyższe mogą służyć projektantowi składowiska do sporządzania specyfikacji technicznych i planu zapewnienia i kontroli jakości robót.

### 3.2 Dokumentacja dzienna

Typowa dokumentacja dzienna powinna zawierać raport podsumowujący wraz z arkuszami danych z przeprowadzonych badań i obserwacji oraz identyfikację problemów i opis czynności korygujących, jeżeli takie mają miejsce.

Dzienny raport podsumowujący lub dziennik kontroli inwestycji powinien być sporządzony przez kierownika kontroli jakości robót po zakończeniu każdej zmiany roboczej. Raporty te stanowią chronologiczną podstawę do sporządzania wszystkich pozostałych raportów. Raporty dzienne powinny zawierać przynajmniej następujące informacje:

- Jednoznaczny numer arkusza do identyfikacji i kontroli dokumentów,
- Datę, nazwę projektu, lokalizację i inne dane identyfikacyjne,
- Informacje o stanie pogody,
- Relacje ze wszystkich spotkań, jakie miały miejsce i wynikające z nich ustalenia,
- Podstawowe czynności i lokalizacje prac budowlanych, prowadzonych w okresie obejmowanym przez raport,
- Sprzęt i personel zaangażowany przy każdej czynności, włączając podwykonawców,
- Opis działek roboczych, które były badane lub obserwowane i dokumentowane,
- Opis wszystkich materiałów otrzymanych z zewnątrz wraz z dokumentacją weryfikacji jakości (sprawdzenie dostawcy wyrobów),

- Kalibracje sprzętu badawczego wraz z czynnościami podjętymi w efekcie kalibracji,
- Podjęte decyzje co do odbioru materiału lub prac oraz przewidywane czynności korygujące w przypadku niezadawalającej jakości,
- Jednoznaczną numerację arkuszy danych z badań/obserwacji lub opisu napotkanych problemów, uzasadniających decyzje opisane w poprzednim punkcie,
- Podpis inspektora zapewnienia i kontroli jakości (w tym przypadku nadzór geotechniczny) potwierdzony przez inspektora nadzoru inwestorskiego całej budowy.

Wymienione pozycje mogą być sformułowane w postaci list kontrolnych i dzienników, specyficznych dla danej inwestycji, aby żadne szczegóły nie zostały przeoczone.

Arkusze wyników badań/obserwacji – Wszystkie obserwacje oraz wyniki badań polowych lub laboratoryjnych powinny być rejestrowane na odpowiednich arkuszach danych. Arkusze danych sporządza się odpowiednio do rodzaju badania. W przypadku badań normowych, na przykład PN-88/B-04481[2], normy informują jakie dane powinny znaleźć się w arkuszu danych lub wręcz zawierają wzory arkuszy wyników badań i obserwacji.

Ze względu na specyfikę poszczególnych badań, nie można sporządzić uniwersalnych arkuszy do rejestrowania obserwacji. Dokumentacja obserwacji może mieć formę notatek, wykresów, szkiców, zdjęć lub kombinacji tych form. Tam gdzie jest to możliwe, stosowanie list kontrolnych zabezpiecza przed pominięciem któregoś z ważnych czynników podlegających obserwacji.

Arkusze badań i obserwacji powinny zawierać przynajmniej następujące informacje:

- Jednoznaczny numer arkusza do identyfikacji i kontroli dokumentów,
- Opis lub tytuł badania/obserwacji,
- Lokalizację badania/obserwacji lub lokalizację miejsc, z których pobrano próbki,
- Rodzaj badania/obserwacji; zastosowane procedury (odniesienie do metody normowej jeżeli taka istnieje),
- Poczynione obserwacje lub wyniki badań, wraz z niezbędnymi obliczeniami,
- Porównanie wyników badań/obserwacji z wymaganiami projektowymi,
- Personel prowadzący badania/obserwacje,
- Podpis inspektora zapewnienia i kontroli jakości robót (w tym przypadku nadzór geotechniczny) potwierdzony przez inspektora nadzoru inwestorskiego całej budowy.

Arkusze identyfikacji problemów i czynności korygujących – Arkusze zawierające informacje o napotkanych problemach oraz czynnościach podjętych w celu usunięcia wad powinny zawierać odnośniki do właściwych arkuszy badań/obserwacji, w których

stwierdzono występowanie problemu. Arkusze takie powinny zawierać przynajmniej następujące informacje:

- Jednoznaczny numer arkusza do identyfikacji i kontroli dokumentów,
- Szczegółowy opis problemu,
- Lokalizacja problemu,
- Prawdopodobna przyczyna,
- Sposób oraz czas, w którym zlokalizowano problem (odniesienie do arkuszy danych),
- Szacowany czas trwania problemu,
- Sugerowane działania zaradcze,
- Dokumentacja naprawy (odniesienie do arkuszy danych),
- Wyniki końcowe,
- Sugerowane sposoby na uniknięcie podobnych problemów w przyszłości,
- Podpis kierownika zapewnienia i kontroli jakości robót (w tym przypadku nadzór geotechniczny) potwierdzony przez inspektora nadzoru inwestorskiego całej budowy.

Kierownik zapewnienia i kontroli jakości powinien zostać zawiadomiony o każdej powtarzającej się niezgodności, określić przyczynę problemów i zalecić odpowiednie zmiany w celu uniknięcia powtarzania błędów w przyszłości. Po wykonaniu takiej oceny należy dokumentować bieżące wyniki.

Arkusze dokumentacji fotograficznej. Dokumentacja fotograficzna może również okazać się użyteczna. Dokumentacja ta powinna być powiązana z arkuszami badań/obserwacji oraz identyfikacji problemów. Arkusz dokumentacji fotograficznej powinien zawierać przynajmniej:

- Jednoznaczny numer arkusza do identyfikacji i kontroli dokumentów,
- Datę, miejsce i pogodę podczas wykonania zdjęcia,
- Lokalizację i opis wykonywanych prac,
- Cel wykonania fotografii,
- Podpis fotografa i inspektora kontroli jakości.

Wykonane zdjęcia posłużą jako obrazowy zapis postępu prac, problemów i podjętych działań naprawczych. Zdjęcia powinny być wykonane w formie elektronicznej i przechowywane w formie odpowiednich zbiorów w komputerze i na dyskietkach.

### 3.3 Dokumentacja etapu robót

Etapem robót nazywa się wyszczególniony zakres prac (np. wykonanie pojedynczej warstwy uszczelnienia) lub konkretną działkę roboczą (np. kwaterę), na której prowadzone są prace. Każdy etap prac może mieć różne właściwości lub parametry jakościowe, które zostały przewidziane do kontroli i badań. Każde z badań może być wykonywane za pomocą innej metody z wynikami rejestrowanymi na różnych arkuszach danych. Po ukończeniu każdego etapu wszystkie dane powinny zostać zestawione w postaci raportu oceny etapu robót. Raporty takie stosuje się następnie do podsumowania wszystkich prac przeprowadzonych podczas budowy.

Raporty oceny etapu robót, sporządzane przez kierownika zapewnienia i kontroli jakości na podstawie raportów codziennych, powinny zawierać przynajmniej:

- Jednoznaczny numer arkusza do identyfikacji i kontroli dokumentów,
- Opis etapu robót (w odniesieniu do stosowanych na budowie współrzędnych w celu identyfikacji obszarów),
- Parametry jakościowe podlegające ocenie; odniesienia do odpowiednich rozdziałów w specyfikacjach,
- Przyjęty sposób próbkowania,
- Lokalizacja próbek do badań, opisana za pomocą lokalnych współrzędnych lub za pomocą szkicu na odwrocie arkusza,
- Przeprowadzone badania i obserwacje (nazwy procedur, odnośniki do odpowiednich arkuszy danych),
- Statystyczne podsumowanie wyników badań: wartość średnia oraz w miarę możliwości odchylenie standardowe dla każdej ocenianej właściwości w danym etapie robót,
- Określenie kryteriów odbioru (porównanie wyników badań/obserwacji z wymaganiami projektowymi; wskazanie zgodności lub niezgodności; w przypadku niezgodności, wskazanie dokumentów uzasadniających odbiór robót pomimo nie spełnienia wymagań),
- Podpis kierownika kontroli i zapewnienia jakości.

### 3.4 Odbiór etapu robót przez projektanta

Wszystkie dzienne raporty podsumowujące, arkusze wyników badań i obserwacji, arkusze identyfikacji problemów i czynności korygujących oraz raporty oceny etapu robót powinny zostać przejrane przez kierownika zapewnienia i kontroli jakości i przedstawione projektantowi. Raporty powinny zostać ocenione pod kątem wewnętrznej spójności i rozbieżności z podobnymi inwestycjami prowadzonymi w przeszłości. Bieżące przedstawianie dokumentów projektantowi pozwala na wykrycie i skorygowanie błędów, niezgodności i innych problemów w czasie, w którym ewentualne działania korygujące są najłatwiejsze do przeprowadzenia. Projektant powinien zebrać i streścić uzyskane informacje w okresowym raporcie odbioru projektu. Raport ten powinien potwierdzać, że materiały oraz wykonanie odpowiadają wymaganiom projektowym oraz wymaganiom stawianym w pozwoleniu na budowę. Raporty te powinny zostać dołączone do akt inwestycji i na ewentualne żądanie przedstawione organom urzędowym (np. inspektorowi nadzoru budowlanego, inspektorowi sanitarnemu lub inspektorowi ochrony środowiska).

### 3.5 Dokumentacja końcowa odbioru robót

Po zakończeniu budowy inwestor powinien przedstawić dokumentację końcową organom dokonującym odbioru składowiska. Raport końcowy powinien zawierać wszystkie raporty odbioru projektu, sporządzone przez projektanta a w razie ich braku, raporty oceny etapu robót. Powinien omawiać wszystkie odchyłki od specyfikacji dotyczących materiałów i wykonania (wraz z dokumentacją uzasadniającą) oraz rysunki powykonawcze. Dokument ten powinien zostać sporządzony przez kierownika zapewnienia i kontroli jakości i dołączony jako część dokumentacji programu zapewnienia jakości. Dokumenty te służą do odbioru końcowego wykonanego obiektu i uzyskania pozwolenia na użytkowanie.

Odpowiedzialność i uprawnienia – Dokumentacja końcowa powinna podkreślać, że zakres odpowiedzialności oraz uprawnienia zostały jasno zdefiniowane, zrozumiane i zaakceptowane przez wszystkie strony zaangażowane w danym projekcie. Inwestor, projektant, kierownik zapewnienia i kontroli jakości, inspektor nadzoru inwestorskiego oraz wykonawca robót składają pod dokumentacją podpisy poświadczając, że zrozumieli i zaakceptowali zakres swoich uprawnień i odpowiedzialności oraz że pełnili swoje funkcje zgodnie z programem zapewnienia jakości dla danego projektu.

Przechowywanie akt – Podczas realizacji inwestycji kierownik zapewnienia i kontroli jakości jest odpowiedzialny za dokumentację zapewnienia i kontroli jakości. Po zakończeniu budowy, oryginały dokumentów przechowuje inwestor, w miejscu umożliwiającym łatwy dostęp. Dodatkowa kopia powinna znajdować się na wykonanym obiekcie, jeżeli akta inwestora znajdują się w innym miejscu.

#### LITERATURA

- [1] PN-B-02479: 1998 Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
- [2] PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- [3] PN-B-10290:1997 Geomembrany. Ogólne wymagania dotyczące wykonawstwa geomembran na budowie składowisk odpadów stałych.
- [4] Cichy W. (1994) „Doszczelnianie gruntów naturalnych za pomocą bentonitu”, *Materiały Seminarium Geotechniczne Aspekty Składowania Odpadów*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1994,
- [5] Cichy W. „Prawo polskie i europejskie dotyczące uszczelnień mineralnych na składowiskach odpadów”, *Inżynieria Morska/Geotechnika*, Nr 3, 2005,
- [6] Daniel D.E., Koerner R.M. (1993) „Quality Assurance and Quality Control for Waste Containment Facilities”, of Liner & Cover Systems”, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-93/182, Cincinnati
- [7] Dyrektywa Rady nr 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999r. w sprawie składowania odpadów.
- [8] Goldman L.J, Greenfield L.I., Damle A.S., Kingsbury C.M. (1987) „Design, Construction and Evaluation of Clay Liners for Waste Management Facilities”, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/530-SW-86-007-F, Washington.
- [9] Praca zbiorowa (1994) “Geotechnika składowisk odpadów. Projektowanie i roboty zabezpieczające. Zalecenia techniczne”, tłumaczenie z języka angielskiego opracowania „Geotechnics of Landfill Design and Remedial Works – Technical Recommendations GLR” przygotowanego przez Europejski Komitet Techniczny nr 8, Geoteko, Warszawa 1994
- [10] 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 późniejszymi zmianami).

- [11] Wysokiński L. (1995) „Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych”, *Instrukcja ITB 337*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- [12] Wysokiński L., Łukasik S. (1996) „Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów”, *Instrukcja ITB 339/96*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.