

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
yhdyskuntasuunnittelu

Opinnäytetyö

Samuli Penttinen

KAATOPAIKKARAKENTAMISEN
YLEISIMMÄT LAADUNVALVONTAMITTAUKSET

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

DI Anne Kasari
Destia Oy, valvojana DI Hannele Kulmala

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Samuli Penttinen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka
yhdyskuntasuunnittelu
Penttinen Samuli

opinnäytetyö
Työn valvoja
Työn teettäjä
Työn ohjaaja
Huhtikuu 2008
Hakusanat

Kaatopaikkarakentamisen yleisimmät laadunvalvontamittaukset

78 sivua+ liitteet 7 kpl

DI Hannele Kulmala

Destia Oy

DI Anne Kasari

Kaatopaikka, tiivistyskerros, kaatopaikkarakentaminen, tiivistysmateriaali, geomembraani

TIIVISTELMÄ

Kaatopaikkarakentamisessa tärkeää osaa esittää laadunvalvonta. Tämän työn tavoitteena on kerätä yhteen yleisimmät kaatopaikan laadunvalvontaa koskevat mittaukset, menetelmät ja vaadittavat arvot.

Kokonaislaadun varmistamiseksi on rakenteen kaikkien yksittäisten osien täytettävä laadulliset vaatimukset. Koska urakoitsijalla on päävastuu laadunvalvonnasta, on tärkeätä ymmärtää, mitä lupaa ja mihin sitoutuu. Urakoitsijan on esitettävä käyttämiensä materiaalien soveltuvuus ja osoitettava rakenteen vastaavan suunniteltua rakennustyön aikaisilla laadunvalvontamittauksilla. Urakoitsijan on ennakkokokeiden ja koekentän perusteella laadittava kirjalliset työohjeet eri kerrosten rakentamisen työmenetelmistä, kalvon asentamisesta, saumaamisesta, saumojen koeistamisesta sekä suojakerroksen rakentamisesta/ asentamisesta. Tämän lisäksi urakoitsijan on laadittava tarkepiirustukset ja laadunvalvontaraportti, joissa esitetään yksityiskohdaisesti toimitettujen materiaalien sijoittuminen rakenteisiin ja työmaan rakennusvaiheet päivittäin.

Laadunvarmistus on toiminut silloin oikein, kun rakennuttaja voi luottaa, että lopputulos on hankkeelle asetettujen vaatimusten mukainen.

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Samuli Penttinen
TAMPERE POLYTECHNIC

Department of Construction Technology

Penttinen Samuli

Engineering Thesis

Commissioning Company

The Supervisor

April 2008

Keywords

Destia, Supervisor Mrs Hannele Kulmala (M.Sc)
Mrs Anne Kasari (M.Sc)

Landfill, confining layer, landfill construction,
sealant material, geomembranes

ABSTRACT

Quality control is important part of engineering of refuse dump. Quality control is a process that involves all methods and actions that contractor is using to show all materials and construction to be according to requirements.

For confirmation of quality in whole for all its singular parts has to meet the quality requirements. Because contractor has main responsibility of quality control, it is important to understand that one is promising and committing into. Contractor has to be able to show applicability of all materials and, point out construction to be comparable as planned with quality control that is done as same time as construction. Contractor has to write out working instruction on ground of preliminary tests and testing field about constructing different layers, watering, sealing as also instalment of sheet, seaming, testing of sealing and instalment of a protective course. In addition to all this contractor is required drawings and quality control report, in which has to show in details delivered deployment of all materials in the construction and stages of the construction in daily basis.

Quality control check has worked if contractor can trust that result is meeting all requirements of construct.

Tahdon kiittää niitä, jotka ovat mahdollistaneet tämän opinnäytetyön tekemisen. Kiittää ohjaajaani Anne Kasaria, jonka kanssa olen käynyt monia mielenkiintoisia keskusteluja ja, jolta olen saanut paljon neuvoja sekä tukea työtä tehdessäni. Kiittää myös Heikki Luomalaa Tampereen teknilliseltä yliopistolta ja Juha-Matti Vainiota Destiasta, jotka ovat auttaneet materiaalin kanssa ja joilta olen saanut hyviä neuvoja. Erityiskiitokset annan puolisolleni Miralle ja tyttärelleni Mona-Marialle, jotka ovat tukeneet ja kannustaneet minua työtä tehdessäni.

Tampereella, Maaliskuussa 2008

Samuli Penttinen

SISÄLLYSLUETTELO.....	6
TERMINOLOGIA	7
1 JOHDANTO.....	9
1.1 YLEISTÄ	9
1.2 TAVOITTEET JA RAJAUS	9
2 KAATOPAIKAN RAKENTEET	11
2.1 YLEISTÄ	11
2.2 ALUSRAKENNE	11
2.3 TIIVISTYSKERROS	13
2.4 KEINOTEKOINEN ERISTERAKENNE JA SUOJAKERROS.....	15
2.5 KUIVATUSKERROS	16
3 LAATUSUUNNITELMAT JA LAADUNVARMISTUS	18
3.1 YLEISTÄ	18
3.2 PERUSTIETOA ERISTERAKENTAMISEN LAADUNVALVONNASTA.....	19
3.3 TYÖTAPASELOSTUS	20
4 ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA TEHTÄVÄT TUTKIMUKSET	22
4.1 ENNAKKOKOKEET	22
4.1.1 Vedenläpäisevyys.....	23
4.1.2 Vesipitoisuus.....	27
4.1.3 Rakeisuus.....	29
4.2 KOEKENTTÄ	31
4.2.1 Yleistä	31
4.3 KENTTÄ- JA LABORATORIOMITTAUKSET.....	34
5 TYÖN AIKANA TEHTÄVÄT TUTKIMUKSET	36
5.1 ALUSRAKENTEEN VAATIMUKSET JA VAADITTAVAT MITTAUKSET.....	36
5.1.1 Kantavuus.....	36
5.1.2 Loadman.....	37
5.1.3 Levykuormituskoe	39
5.1.4 Pudotuspainolaite.....	42
5.1.5 Tiiviys	43
5.1.6 Kartoitus.....	46
5.2 TIIVISTYSRAKENTEEN VAATIMUKSET JA VAADITTAVAT MITTAUKSET	47
5.2.1 Troxler.....	48
5.2.2 Proctor.....	50
5.2.3 Ict- koe.....	52
5.3 KEINOTEKOISEN ERISTERAKENTEEN VAATIMUKSET JA VAADITTAVAT MITTAUKSET	55
5.4 YLEISTÄ	55
5.4.1 Yleistä	57
5.4.2 Saumojen hitsaus	59
5.4.3 Koesauma	60
5.4.4 Veto- ja kuorintakoe	61
5.4.5 Saumojen tiiviiden tarkistus.....	66
5.4.6 Silmämääräinen laadunvalvonta.....	69
5.5 KUIVATUSKERROKSEN VAATIMUKSET JA VAADITTAVAT MITTAUKSET.....	71
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET	73
7 LÄHDELUETTELO	76
8 LIITTEET	78

TERMINOLOGIA

bentoniitti

Bentoniitti on luonnossa esiintyvä savi, joka sisältää 70...90 % montmorilloniittisavimineraalia. Bentoniitin käyttö tiivistysrakenteissa perustuu sen kykyyn paisua monikertaiseksi kastuessaan.

geomembraani

Geomembraaneilla tarkoitetaan maahan tai veteen asennettavia ohuita, taipuisia tiivistyskalvoja, jotka on yleensä valmistettu polymeereistä tai bitumista. Geomembraanien ensisijainen toiminta on nesteiden tai kaasujen eristäminen.

geotekstiili

Geotekstiili on kaasuja ja nesteitä läpäisevä mekaanisesti tai termisesti sidottu tai kudottu synteettinen kuitukangas, jota käytetään erilaisissa maarakenteissa erottamaan, suodattamaan tai suojaamaan.

huokoisuus

Maan huokoisuudella tarkoitetaan huokosten tilavuuden suhdetta kokonaistilavuuteen.

huokosluku

Huokosluvulla tarkoitetaan huokosten tilavuuden suhdetta kiinteän maan aineksen tilavuuteen.

keinotekoinen eriste

Keinotekoisena eristeenä voidaan käyttää geosynteettisiä kalvoja tai tiivistä asfalttia.

kyllästysaste

Kyllästysasteella tarkoitetaan veden täyttämän huokostilavuuden suhdetta huokosten kokonaistilavuuteen.

laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen avulla pyritään takaamaan, että hankkeen lopputulos täyttää sille asetetut vaatimukset ja määräykset.

mineraalinen tiivistyskerros

Mineraaliaineksesta rakennettu tiivistyskerros

salaojakerros, kuivatuskerros

Salaojakerroksen tehtävänä on koota tehokkaasti kohteessa muodostuva suotovesi ja tasoittaa tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa hydraulista painetta. Suotovesi kootaan salaojakerroksesta ja johdetaan käsiteltäväksi.

suojageotekstiili

Paksu geotekstiili, tavallisesti huopamainen kangas, jonka tehtävänä on suojata esim. geomembraania.

suojakerros

Suojakerroksen tehtävänä on suojata geomembraania mm. teräviltä esineiltä, maarakeilta, työkoneilta, hapettumiselta, UV-säteilyltä, lämpötilan vaihteluilta sekä tasoittaa epätasaisen kuormituksen vaikutuksia.

tiivistysrakenne

Tiivistysrakenne on pohjaveden suojausrakenne, jonka suojausvaikutus perustuu alhaiseen läpäisevyyteen.

1.1 Yleistä

Vuonna 1997 valtioneuvosto laati päätöksen (VNp 861/97) joka asetti kaatopaikkarakentamiselle tiettyjä laadullisia kriteereitä. Vaikka Suomessa ympäristökeskuksella on ylin valvontavastuu, sen alueellisilla ympäristökeskuksilla on näkemyseroja, minkä vuoksi myös toteutettavien rakenteiden lopputulokset voivat poiketa toisistaan. Tästä huolimatta on tärkeätä huolehtia siitä, että tilaaja saa juuri sen tuotteen ja lopputuloksen, jonka hän on tilannut.

Kaatopaikkarakentamisessa on laadunvarmistus tärkeässä asemassa. Ilman laadunvalvontaa ja sen osoittamiseen tarkoitettuja dokumentteja ei laadunvarmistuksella ole tarvittavaa luotettavuutta ja painoarvoa. Laadunvarmistuksesta puhuttaessa, etenkin kaatopaikkarakentamisessa, on tärkeätä ymmärtää koko laadunvarmistusprosessi aina materiaalin sekä rakenteen valmistuksesta valmiiseen rakenteeseen asti.

Kaatopaikkarakentaminen sisältää monia eri laadunvalvonnan osia. Osa mittauksista ja määrittämisistä tehdään laboratoriossa ja osa kentällä. Mittauksilla osoitetaan ennakkokokeiden muodossa materiaalien kelpoisuus rakenteessa ja toisaalta valmiiden rakenteiden vaatimusten mukaisuus. Koska erilaisia mittauksia ja menetelmiä on monia, on myös menetelmien kuvauksiin paljon eri kirjallisuutta ja lähteitä, joita kuitenkin ei ole koottu yhteen.

Erityisesti geomembraanien osalta vaihtoehtoisia standardeja on useita, ja niiden ajanmukaisuus on ongelma. Osin standardit ovat vanhentuneet ja sitä mukaan kun uusia tulee, vanhoja myös poistuu.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on koota yhteen kaatopaikkarakentamisen laadunvalvonnan kulku ja siinä käytettävät menetelmät sekä niissä määritettävät asiat ja parametrit. Koska rakenteita ja käytettäviä materiaaleja on useita erilaisia, on tässä työssä haluttu keskittyä ainoastaan yleisimpiin laadunvalvontamittauksiin ja -menetelmiin.

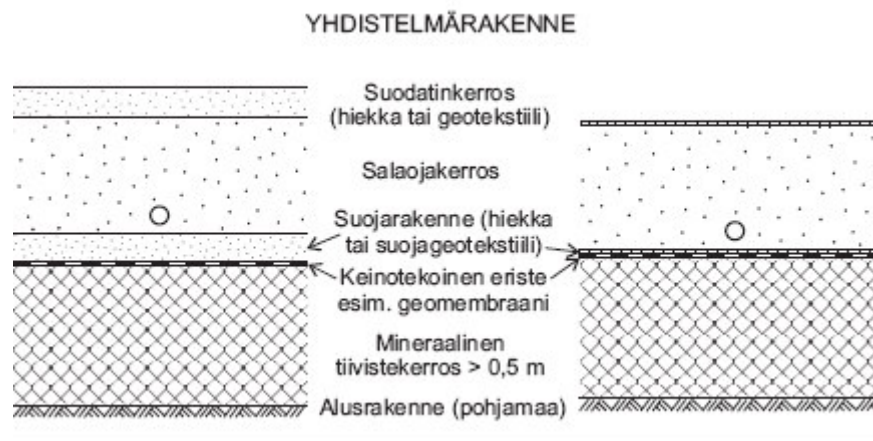
On kuitenkin muistettava, että tämän työn tarkoituksena on olla tukena kaatopaikkoja rakentaville ja ennen kaikkea sen laadunvalvontaa toteuttaville tahoille Destiassa ja auttaa ymmärtämään kaatopaikkarakentamisen laadunvalvontaa. Tämä työ ei korvaa mitään, mitä on vaadittu urakkaohjelmassa, työselityksessä tai suunnitelma-asiakirjoissa, vaan auttaa suorittamaan asiat vaatimusten mukaisesti.

2 KAATOPAIKAN RAKENTEET

2.1 Yleistä

Suomessa lähes kaikki kaatopaikan pohjarakenteet on toteutettu yhdistelmä-rakenteena. Yhdistelmä-rakenteeksi kutsutaan kaatopaikan pohjarakennetta, jossa on sekä mineraalinen tiivistyskerros että keinotekoinen eriste. Mineraalisenä tiivistyskerroksena toimii maabentonitiitti ja keinotekoisena eristeenä HDPE-kalvo.

Tässä opinnäytetyössä on käytetty esimerkkikohteena Tarastenjärven jäteenkäsittelylaitoksen laajennuksen I-vaihetta. Myös siellä rakenteena on yhdistelmä-rakenne. Alla on esimerkkikuva (kuva 1) yhdistelmä-rakenteesta.



Kuva 1. Kaatopaikan yhdistelmä-rakenne. /15/

2.2 Alusrakenne

Alusrakenne toimii tiivistysrakenteen pohjana. Alusrakenteen tärkeimmät ominaisuudet ovat sen riittävä kantavuus, painumattomuus ja tasaisuus. /15/

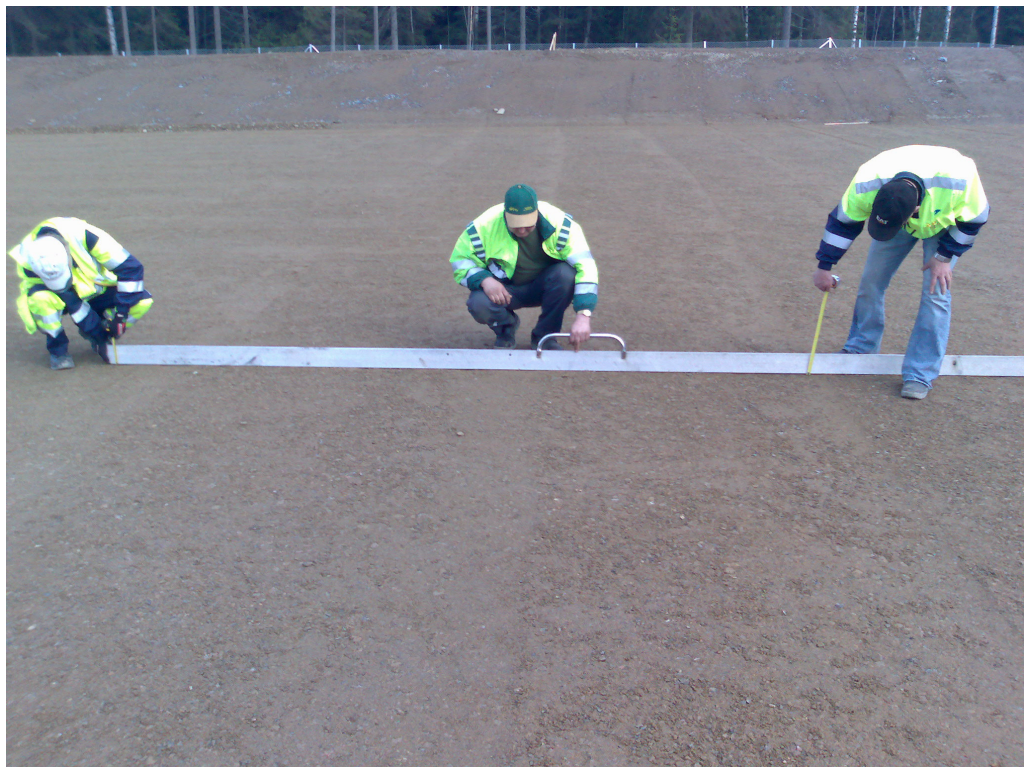
Painumia voi aiheutua joko kantavuuden tai tiiviiden puutteellisuudesta. Koska alusrakenne on pysyvä ja korjaamaton rakenne, on huolehdittava

vaadittujen laatumääräysten täyttymisestä. Tämän vuoksi onkin syytä huolella tiivistää alusrakenne /14, 15./

Mikäli pohjamaa on alusrakenteeksi kelpaamatonta, sitä on mahdollista parantaa tarvittaessa massanvaihdolla, stabiloinnilla tms. Mikäli alusrakenteessa ilmenee painumia, voivat ne vaikuttaa oleellisesti alusrakenteen päälle rakennettavan tiivistysmateriaalin menekkiin ja tätä kautta myös kustannuksiin /15./

Alusrakennetta tehtäessä on huomioitava myös mahdollinen kallionpinta. Mikäli joudutaan louhimaan kallioita, on tarvittaessa huolehdittava avonainten kallionrakojen injektoinnista. Louhittava taso on määrätty useimmiten irtilouhinnan tasona, jonka päälle rakennetaan tasaus- sekä kiilauskerros /15./

Lähes aina pohjamaa on tasattava joko hienorakeisella moreeni- tai murskekerroksella. Tällä varmistetaan, ettei mineraalisen tiivistyskerroksen materiaali kulkeudu alusrakenteeseen (Kuva 2.) /15./



Kuva 2. Tasattu ja kiilattu alusrakenne

Alusrakenteen tasausta tehtäessä pinta kartoitetaan ennen mineraalisen tiivistyskerroksen alkua. Kartoituksen tiheys riippuu laatuvaatimuksesta mutta tavallisemmin se on 5 x 5 m:n ruutuun, x-, y-, z- koordinaatein. Alusrakenteen tarkka kartoittaminen ja alueesta tehtävä valmis ruudukko, alusrakenteen mukaan, auttaa seuraavien rakennekerrosten kartoittamisessa /15./

2.3 Tiivistyskerros

Mineraalisen tiivistyskerroksen toiminnallisena tavoitteena on haitta-aineiden suotautumisen ja diffuusion minimointi sekä myös tarvittaessa olla erilaisten raskasmetallien osalta sitovana kerroksena /20./

Valtioneuvoston päätöksessä (VNp 861/97) on määrätty eri rakennekerroksille omat vaatimuksensa niin vedenläpäisevyyden kuin myös rakenteiden paksuudenkin osalta. Tarastenjärven tapauksessa tiivistyskerroksen ehdoton vähimmäispaksuus on 0.5 m, kun on kyse tavanomaisen jätteen kaatopaikasta. Vedenläpäisevyydelle (k-arvo) vaadittu vähimmäisarvo on $k < 6,7 * 10^{-10}$ /15, 21./

Tiivistysrakenteelle asetettuja toimivuusvaatimuksia on useita, tässä niistä muutamia olennaisimpia:

- tiiviys
- kestävyys niin työnaikaisia kuin myös käytön aikaisia rasituksia vastaan
- pitkäaikainen kestävyys niin fysikaalisia kuin myös kemiallisia ja biologisia rasituksia vastaan
- kerroksen pitkäaikainen toimivuus, ennen kaikkea kerrosten ominaisuuksien pysyvyys
- rakenteellinen varmuus
- yhteensopivuus ja toimivuus muiden rakenneosien kanssa

Koska olemassa oleva luonnonmaapohja ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, rakennetaan mineraalinen tiivistyskerros. Tämä kerros voidaan rakentaa muualta tuoduista materiaaleista tasatun ja kantavan alusrakenteen päälle. Sopivia materiaaleja ovat moreenit, oikeassa kosteustilassa olevat savet ja

erilaiset maabentoniittiseokset. Näiden materiaalien soveltuvuus sekä homogeenisuus varmistetaan laboratoriossa tehtävillä ennakkokokeilla sekä jatkuvalla laadunvalvonnalla /15./

Rakennetun mineraalisen tiivistyskerroksen materiaaleina on käytetty pääosin luonnon kivennäismaa-aineksia, joiden vedenläpäisevyyttä on tarpeen vaatiessa pienennetty lisäaineilla, yleensä bentoniitilla. Tarvittavan lisäaineen määrä riippuu runkoaineen rakeisuudesta sekä sekoitetun massan homogeenisuudesta. Käytettävät materiaalit ja seokset on tutkittava ennakkokokeilla ennen lopullista materiaalivalintaa.

Mineraaliselle tiivistyskerrokselle asetetaan suunnitteluvaiheessa vaadittu kerrospaksuus. Tämän rakenteen paksuus ei saa missään kohdin alittaa suunnitelmissa määrättyä minipaksuutta /21./



Kuva 3. Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen.

Keinotekoinen eriste on mineraalista tiivistyskerrosta täydentävä rakenne. Sen tarkoituksena on pidättää erilaisia haitta-aineita ja tehostaa suotovesien keräämistä. Periaatteena tällä yhdistelmä rakenteella (mineraalinen tiivistyskerros ja geosynteettinen tiivistyskalvo) on se, että synteettinen tiiviste pidättää joitakin haitta-aineita, joita mineraalinen tiivistyskerros ei pysty pidättämään. Tämä yhdistelmä rakenne on tehokkaampi kuin yksittäinen rakenne erikseen /15, 17./

Keinotekoisena eristeenä yleisimmin käytetään geomembraania, jonka paksuus on vähintään 2,0 mm. Geomembraani valmistetaan HDPE:stä tai muusta materiaalista, joilla on riittävä kemiallinen kestävyys. Keinotekoinen eriste suojataan mekaanisilta vaurioilta suojakerroksen ja/tai suojageotekstiilin avulla (Kuva 4.) /15, 20./



Kuva 4. Geomembraani ja suojakerros kivituhkasta.

Yläpuolisen suojakerroksen tehtävänä on vastaanottaa ja jakaa yläpuolisista kerroksista aiheutuvia mekaanisia ja termisiä kuormituksia siten, ettei niistä

aiheudu pysyviä muodonmuutoksia keinotekoiseen eristeeseen. Suojakerros suojaa keinotekoista eristettä rakennustyön aikana ja estää salaojituskerroksen karkeampien rakeiden aiheuttamien pistekuormitusten muodostumisen. Suojakerros suojelee kalvoa myös jätepenkereessä syntyvältä lämmöltä ja sen aiheuttamilta vahingoilta /15, 16, 17./

Suojakerros voidaan rakentaa mineraaliaineksesta, neulasidotusta geotekstiilistä, molemmista yhdessä tai muusta sellaisesta materiaalista, joka pystyy ottamaan vastaan kalvoon kohdistuvat kuormitukset (Kuva 5.).



Kuva 5. Geomembraani ja suojageotekstiili.

2.5 Kuivatuskerros

Kuivatuskerroksen (salaojakerros putkineen) tarkoituksena on kerätä ja poistaa jätetäytöstä kertyvät suotovedet sekä vähentää myös tiivistysrakenteen päälle muodostuvaa vesipainetta. Kuivatuskerroksen alta suotovedet johdetaan pumpaamalla pois jatkokäsittelyyn /15, 20./

Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/97) on määrätty kaatopaikan pohjan tiivistysrakenteen päälle rakennettavan salaojakerroksen

vähimmäispaksuudeksi $h \geq 0,5$ m. Kuivatuskerros rakennetaan salaojasoras-
ta tai – murskeesta, kuitenkin materiaalista, jonka vedenläpäisevyyskerroin
on vähintään 10^{-3} m/s. Kuivatuskerroksen tavallisin rakeisuusalue on
4/6...32 mm/20./



Kuva 6. Kuivatuskerros ja huuhteluputkisto.

Riippumatta käytettävästä materiaalista on huomioitava materiaalin kestä-
vyys suotoveden aiheuttamaa kemiallista rapautumista vastaan niin, että se
kestää myös siihen kohdistuvat kuormitukset ilman, että materiaalin rakei-
sus muuttuu. On myös kiinnitettävä huomiota kuivatuskerroksen hydraulis-
ten ominaisuuksien pysyvyyteen /15, 20./

Pohjan muotoilun, kaltevuuden sekä kuivatuskerrokseen sijoitettavan suoto-
vesienkeräilyputkiston avulla varmistetaan kuivatuskerroksen toimivuus.
Putkistomateriaalin onkin kestävä suotoveden sisältämien haitta-aineiden
aiheuttama kemiallinen kuormitus. Tarvittaessa myös putkisto on pystyttävä
huuhtelemaan, joten järjestelmässä on otettava myös tämä asia huomioon.
/15./

3.1 Yleistä

Laatusuunnitelma on tarkoitettu ensisijaisesti kunkin osapuolen oman toiminnan tehostamiseen ja asioiden hoidon kitkattoman sujumisen varmistamiseen. Koska rakennushankkeen toteutukseen osallistuu useita eri osapuolia, on yhteistyön kannalta eduksi, että kaikki osapuolet jotka työmaalla toimivat, tuntevat toistensa tavat ja noudattavat asioiden hoidossa samoja periaatteita.

Laatusuunnitelman tarkoituksena on kuvata kaikki ne menettelytavat, joita aiotaan noudattaa keskeisissä kohteen toteutukseen liittyvissä toiminnoissa. Näitä toimintoja ovat hankkeen ajallinen sekä laadunvalvonnan hallinta.

Laatusuunnitelman sisältöön vaikuttavat yrityksessä noudatettaviksi sovitut käytännöt, urakkasopimuksen ehdot, kohteen suunnitelmat sekä tuotantolosuhteet (nämä on kuvattu toiminta- ja työohjeissa). Laatusuunnitelman osana esitetään myös hankkeen yleiseen työturvallisuuteen liittyvät asiat sekä mahdolliset ympäristöön liittyvät asiat, kuten rakennusjätteiden lajittelu yms.

Laatusuunnitelman tarkoituksena on kuvata myös, kuinka yritys toteuttaa arvonsa käytännössä.

Rakennustyömaan laadunäkökulmana on valmistuskeskeinen laatu, jonka mukaan rakennettavan rakenteen on oltava yhtenäinen suunnitelma-asiakirjoissa esitettyjen vaatimusten suhteen. Laatuvaatimusten täyttymisen varmistaminen tehdään laadunvarmistuksen avulla. Laadunvarmistus sisältää kaikki suunnitellut ja järjestelmälliset toimenpiteet, jotka ovat tarpeen riittävän varmuuden saamiseksi siitä, että ”tuote” täyttää kaikki sille asetetut laatuvaatimukset. Laadunvarmistukseen liittyy myös olennaisesti laaduntarkastus eli laadun mittaamista ja vertaamista sille kulloinkin asetettuihin tai sovitettuihin vaatimuksiin. Laadunvalvonta on yhteisnimitys kaikille erilaisille laaduntarkastustoimenpiteille. Laadunvarmistaminen ei kuitenkaan voi

olla ainoastaan tarkastamisen varassa, vaan varmistaminen edellyttää myös laatuvaatimusten selvittämistä ja niiden viemistä aina ”toteuttaja-portaalle” saakka sekä kaikkien osapuolten yhteistoiminnan kehittämistä.

Laadunvarmistuksen tavoitteena on myös varmistaa, että hankkeen laatuvaatimukset ja muu hankkeessa kulkeva informaatio kulkee moitteettomasti niin rakennuttajan, suunnittelijoiden, urakoitsijan, aliurakoitsijoiden kuin myös työntekijöiden välillä. Toisaalta laadunvarmistuksen tavoitteena on myös se, että epätasällisista, väärinymmärretyistä tai puuttuvista tiedoista johtuvat ongelmat saadaan poistettua. Kun laadunvarmistus toimii, osapuolten vastuut ja velvollisuudet ovat selvät sekä tehdyt päätökset arkistoituvat palvelemaan korjaavaa toimintaa.

Laadunvarmistus on toiminut silloin oikein, kun rakennuttaja voi luottaa, että lopputulos on hankkeelle asetettujen vaatimusten mukainen.

3.2 Perustietoa eristerakentamisen laadunvalvonnasta

Kaatopaikan pohjaeristyksen kokonaislaadun varmistukseksi yksittäisten osien tulee täyttää asetetut laatuvaatimukset. Laadunvarmistukseen kuuluu sekä käytettävien materiaalien että myös työn laadunvalvonta olemassa olevan teknologian puitteissa /15/.

Urakoitsijalla on päävastuu laadunvalvontamittauksien tekemisestä. Urakoitsijan onkin esitettävä käyttämiensä materiaalien soveltuvuus ja osoitettava rakenteen vastaavan suunniteltua rakennustyön aikaisilla laadunvalvontamittauksilla. Ennakkokokeiden ja koekentän perusteella urakoitsija laatii kirjalliset työohjeet eri kerrosten rakentamisesta, kastelemisesta ja tiivistyksestä sekä myös kalvon asentamisesta, saumaamisesta, saumojen koestamisesta ja suojakerroksen asentamisesta. Tämän lisäksi urakoitsijan on laadittava tarkepiirustukset ja laadunvalvontaraportti, joissa on esitettävä yksityiskohtaisesti toimitettujen materiaalien sijoittuminen rakenteisiin ja työmaan rakennusvaiheet päivittäin. Tämä siksi, että mahdolliset korjaustoimenpiteet voidaan helpommin rajoittaa vain tarvittaville alueille /15, 20/.

Geosynteettisten tuotteiden osalta laadunvarmistus voidaan jakaa valmistajien, materiaalintoimittajien, urakoitsijan, tilaajan ja viranomaisen tekemään laadunvalvontaan /15/.

Raaka-aineiden valmistaja ja geosynteettisen tuotteen valmistaja testaavat tuotteensa oman laatujärjestelmänsä ja ulkopuolisten laadunvarmistusorganisaation mukaisesti. Käytettäviltä tuotteilta vaaditaan hyväksytyssä laboratorioissa teetettyjä tyyppihyväksyntäkokeita. Geosynteettisten tuotteiden toimittaja teettää lisäkokeita, mikäli valmistajan teettämät tutkimukset eivät ole riittäviä tai ne eivät vastaa niille asettuja vaatimuksia /15/.

3.3 Työtapaselostus

Työvaihekohtaisissa työ- ja laatusuunnitelmissa esitetään työmenetelmän ja laadunvarmistustoimenpiteiden yksityiskohtaiset kuvaukset laadunvarmistuksen osalta. Esitettäviä asioita ovat:

- työvaiheen/ rakenneosan laatuvaatimukset ja toleranssit
- mitä laadunvarmistustoimenpiteitä tehdään (työnaikaiset toimenpiteet sekä työn jälkeen tehtävät kelpoisuusmittaukset)
- mikä on laadunvarmistustoimenpiteiden (esim. mittausten) tiheys ja laajuus
- kuka tekee laadunvarmistustoimenpiteet (esim. mittaukset)
- miten määrämittaus suoritetaan
- dokumentointitapa (kelpoisuusmittaukset)

Työvaihekohtaisissa työ- ja laatusuunnitelmissa esitettävät laadunvarmistustoimenpiteet ja mahdolliset määrämittaukset perustuvat sopimusasiakirjoissa yksilöityihin vaatimuksiin. Työn aikana suoritetaan rakentamisen edellyttämiä seurantamittauksia. Valmiin rakenteen tarkemittaukset sekä muut laadunvarmistustoimenpiteet suoritetaan ja dokumentoidaan työvaihekohtaisten työ- ja laatusuunnitelmien mukaisesti. Laadunvarmistuksen tuloksia verrataan vaatimuksiin, ja poikkeamista raportoidaan. Mikäli tilaaja suorittaa osan tarkastuksista, on näiden osalta projektin vastuuhenkilöiden ilmoitettava riittävän ajoissa milloin ko. työvaihe on valmis tarkastettavaksi.

Tehtävään liittyvien laatuvaatimusten selvittämisen tarkoituksena on ennaltaehkäistä ja torjua toteutukseen sekä työn ohjaukseen liittyvät virheet ja puutteet. Samalla on mahdollisuus huomata suunnitelmissa olevat virheellisyudet ja ristiriitaisuudet sekä tarvittaessa varmistaa suunnittelijalta vaadittava laatuvaatimus. Mikäli laatuvaatimusta muutetaan, on muistettava muuttaa se edelleen työntekijöille työn tarkistuslistaksi.

Onkin muistettava, että työmaan tuottaman laadun edellytyksenä on, että työntekijät tietävät laatuvaatimukset. Laatuvaatimukset on kerrottava työntekijöille, jotka varmistavat vaatimusten toteutumisen omassa toiminnassaan.

Laadunvarmistukseen kuuluu myös vaadittujen laatudokumenttien tuottaminen. Laatudokumentteja luovutetaan työn tilaajalle ja valvojalle työn edetessä, aloituspalaverissa sovitun mukaisesti. Laatudokumentit kootaan yhteen lopullista, luovutettavaa loppuraporttia varten.

4 ENNEN TYÖN ALOITTAMISTA TEHTÄVÄT TUTKIMUKSET

4.1 Ennakkokokeet

Ennen kuin voidaan aloittaa varsinaisen tiivistyskerroksen rakentaminen, on tiivistysrakenteessa käytettävien mineraalisten ainesten soveltuvuus sekä käyttökelpoisuus osoitettava erilaisin kokein. Ennakkokokeilla urakoitsija tutkii, onko käyttöön suunniteltu tiivistysrakennemateriaali soveltuvaa. Näytteiden ja kokeiden lukumäärän määrittelee suunnittelussa mukana oleva kokenut geotekniikan asiantuntija. Valtioneuvoston päätös (VNp 861/97) onkin määrännyt rakenteille vaatimukset ja niiden täyttyminen on ehtona rakenteen kelpoisuudelle.

Urakoitsijan on esitettävä mineraalisen tiivistyskerroksen soveltuvuuskokeiden tulokset, jotka sisältävät mm. seuraavia tietoja:

- savipitoisuus
- plastisuusindeksi savelle
- raekokojakauma ja maksimiraekoko
- orgaanisen aineksen määrä
- karbonaattimineraalien määrä
- kuivatilavuuspaino vesipitoisuuden funktiona ja käyrästä arvioitu optimivesipitoisuus
- suunniteltu tiivistämisspitoisuus
- tilavuuskutistuma suunnitelman mukaisella vesipitoisuudella
- vedenläpäisevyys vesipitoisuuden funktiona, tiiviysasteen ollessa vähintään 95 % standardi Proctor- sullonnalla saavutetusta maksimikuivatilavuuspainosta
- materiaalin muodonmuutoskyky /15/.

Alla olevassa taulukossa 1. on lueteltu mineraalisen tiivistysrakennemateriaalin perusominaisuudet, jotka määritetään laboratoriokokein, riittävän useasta sekä edustavasta näytteestä.

Taulukko 1. Tiivistysmateriaalien karakterisointi (GLR 1993, muokattu)/15/

Ominaisuus	Koemenetelmä
Rakeisuus	GLO-85: seulonta ja areometrikoe sedigraph, laser
Konsistenssirajat - juoksuraja - kieritysraja - kutistumaraja - plastisuusindeksi - konsistenssi-indeksi	GLO-85: koputuskoe ja kierityskoe
Vesipitoisuus	GLO-85: painohäviö + 105°C:ssa
Orgaanisen aineen määrä	GLO-85: hehkutushäviö
Kiintotiheys	GLO-85: pyknometri
Kalsiumkarbonaattipitoisuus	DIN 18129
Vedenpidätyskyky	DIN 18132
Tilavuuskutistuma	ASTM D427-39

Ennakkokoeraportti on toimintajärjestelmän mukainen materiaalin laatudokumentti. Siinä kuvataan mineraalisen tiivisteiden edellä mainitut ominaisuudet ennen sen valintaa mineraaliseksi eristerakenteeksi. Raportissa kuvataan, minkälaisia tuloksia on materiaalista tehdyistä kokeista saatu. Tärkeintä onkin selvittää eristemateriaalin vedenläpäisevyysarvot eri kuivairtoteiheyksillä ja suhteutuksilla sekä teoreettiset ehdot mineraalisen tiivistyskerroksen tekemiselle.

Ennakkokokeiden vaatimuksista on esitetty esimerkki liitteenä 1 Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I-vaiheen työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma.

Liitteessä 1. Ennakkokoeraportti, on malli Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen ennakkokoeraportista.

4.1.1 Vedenläpäisevyys

Käytettävän mineraaliaineksen soveltuvuutta suojaustarkoitukseen kuvataan materiaalin vedenläpäisevyydellä. Mineraaliaineksen vedenläpäisevyys riippuu materiaalin huokosten määrästä, niiden koosta ja huokostilojen jatkuvuudesta, materiaalin hienoainespitoisuudesta ja materiaalin kuivairtoteiheydestä. Kuivairtoteiheyteen vaikuttavat materiaalin vesipitoisuus ja tiivistys-

työn vaatima energia. Materiaalin tiivistämisellä vaikutetaan näihin ominaisuuksiin. Työn aikana onkin syytä tarkkailla kuivairtoteiheyttä ja vesipitoisuutta /15/.

Laboratoriossa vedenläpäisevyys määritetään tietyssä tilavuuspainossa, joka vastaa tiettyä tiivistysastetta (testattavan materiaalin kuivatilavuuspainon suhde maksimikuivatilavuuspainoon prosenteissa ilmaistuna (useimmiten 90 – 95 %). Rakentamisen yhteydessä on varmistuttava siitä, että vähintään vastaava tiivisyaste saavutetaan myös rakenteessa /13, 5/.

Vedenläpäisevyyskerroin, k-arvo [m/s], kertoo kuinka nopeasti vesi maanäytteen läpi kulkeutuu. Tämän vedenläpäisevyyskerroimen ohella eristeiden toimivuutta voidaan määrittellä Q-arvolla [$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$], joka kuvaa eristeen läpäisevän nestemäärän suuruutta tietyn ajanjakson aikana /13, 15/.

Veden virtausnopeus maassa voidaan ilmaista Darcyn lain mukaan

$$v = \frac{Q}{A} = -k \left(\frac{dh}{dx} \right) = k \cdot i \quad 1)$$

, missä

v on	veden virtausnopeus, m/s
Q	virtaavan veden määrä, m^3/s
A	virtauksen poikkileikkauspinta- ala, m^2
k	vedenläpäisykerroin, m/s
h	veden painekorkeus
x	etäisyyskoordinaatti virtauksen suunnassa, m
i	hydraulinen gradientti, -h

Jos vedenpainekorkeus maakerroksen päällä on h [m] ja maakerroksen pakkaus on D [m] on hydraulinen gradientti /13, 15/.

$$i = \frac{(h + D)}{D} \quad 2)$$

Edellä esitetyllä kaavalla voidaan laskea mineraaliaineksisen tiivisteiden läpäisevä vesimäärä Q /13, 15/.

Mineraalisten tiivistysmateriaalien vedenläpäisevyyttäytymisen on tutkittava laboratoriossa materiaalille määrättyä mittausmenetelmää käyttäen. Laboratorio-olosuhteissa määrittäminen menetelmiä on kahta tyyppiä, jotka ovat vakio painemenetelmät sekä muuttuvan paineen menetelmät

Vakio painemenetelmien on todettu soveltuvan paremmin karkearakeisten ja moreenimaalajien vedenläpäisevyyttäytymisiin, kun taas muuttuvan paineen menetelmä on soveliaampi huonosti vettä läpäisevien maalajien tutkimuksissa /13, 15/.

Vakio painemenetelmää käytettäessä vedenläpäisevyyden määrittäminen tapahtuu kuvan 6. periaatteellisesti esittämällä laitteella.



Kuva 7. Pehmeäseinäinen vedenläpäisevyyttäytymis- laitteisto

Kun tarkastellaan ajassa t läpivirranutta vesimäärää, joksi saadaan:

$$Q = k \cdot \frac{H}{h} \cdot t \cdot A$$

Tästä kaavasta voidaan ratkaista vedenläpäisevyys koelämpötilassa T:

$$k_T = \frac{Q \cdot h}{A \cdot t \cdot H} \quad 4)$$

, missä

k_T	on	vedenläpäisevyys lämpötilassa T
Q		näytteen läpi ajassa t virrannut vesimäärä
h		näytteen korkeus
A		näytteen pinta-ala, sylinterin pinta-ala
t		havaintoaika
H		painekorkeus
T		läpivirtaavan veden lämpötila

Koe suoritetaan ns. Proctor-sylinterillä, jonka sisähalkaisija on 152 mm. Sylinterin pohjalle laitetaan seulaverkko ja sen päälle 20- 30 mm:n vahvuinen suodatinkerros lajittuneesta hienosta sorasta. Suodattimen päälle sullotaan tutkittavaa materiaalia parannetun Proctor- sullontamenetelmän vasaralla 5 kerroksena, 55 iskulla kerrosta kohti sekä tiivistettynä vähintään 95 %:n tiiviyteen. Näytteen paksuuden tulee olla n. 120 mm, joka mitataan (h). Tällöin tiivistystyömäärä tilavuusyksikköä kohti on parannetun Proctor-sullonnan mukainen. Sullotun näytteen päälle tehdään vielä sorasuodatin-kerros, minkä jälkeen sylinteri täytetään vedellä, suljetaan vesitiiviillä kannella ja liitetään letkulla vakiopainekoneen vesialtaaseen. Sylinterin kannessa olevaa ilmaruuvia avaamalla poistetaan ilma koejärjestelmästä. Nyt annetaan veden ensin imeytyä täysin maanäytteen läpi ja vasta sitten, kun veden läpivirtaus on tasaantunut, kerätään tietyssä ajassa (t) läpivirranut vesimäärä (Q) mittalasiin, mistä veden tilavuus voidaan mitata (Q). Lisäksi mitataan läpivirranneen veden lämpötila (T) sekä painekorkeus (H). Lisäksi sylinterin halkaisijan avulla lasketaan poikkileikkausala (A). Näin ovatkin selvillä kaikki kaavassa vaaditut suureet, joten näin voidaan aiemmin esitetyn kaavan mukaan laskea materiaalin vedenläpäisevyys /9, 13, 15/.

Vedenläpäisevyyteen vaikuttaa jossain määrin myös veden viskositeetti, eli sisäinen kitka. Se riippuu taas veden lämpötilasta. Tavallisesti maan vedenläpäisevyys ilmoitetaan 20 °C:n lämpötilassa. Tämän lämpötilan mukaiseen vedenläpäisevyyteen päästään kertomalla lämpötilassa T saatu vedenläpäisevyys k_T lämpötilankorjauskertoimella α , joka voidaan ilmoittaa myös kaavalla /9, 13, 15/.

$$k_{20^{\circ}C} = \alpha \cdot k_T \quad 5)$$

, missä

$k_{20^{\circ}C}$ on läpäisevyys lämpötilassa 20 °C

k_T läpäisevyys lämpötilassa T

α korjauskerroin

Suunnitellusta tiivistysmateriaalista tutkitaan vedenläpäisevyys vähintään kolmessa vesipitoisuudessa, kun tiivistys on tehty standardi Proctor- sillon-taa vastaten. Tulos kertoo materiaalilla saavutettavissa oleva vedenläpäisevyyden ja sen riippuvuuden vesipitoisuudesta ja kuivatilavuuspainosta. Näitä saatuja arvoja voidaan käyttää laadunvalvonnan suunnittelussa /9, /13, 15/.

4.1.2 Vesipitoisuus

Vesipitoisuudella tarkoitetaan maa-aineksessa olevan veden ja kiinteän maa-aineksen massojen suhdetta.

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 \quad 6)$$

, missä

w on vesipitoisuus, ilmoitetaan painoprosentteina kuivapainosta

m_w veden massa

m_s kiintoaineksen massa

Maa-aineksessa sitoutuneena olevaa kidevettä ei oteta huomioon veden massassa.

Näytteen on oltava mahdollisimman luonnontilaisessa vesipitoisuudessa. Näytteen määrä riippuu halutusta tarkkuudesta ja näytteen rakeisuudesta. Yleensä tarkkuus paranee näytemäärän kasvaessa /9, 13/.

Näyte laitetaan kannelliseen tiiviiseen astiaan, punnitaan huoneenlämpöisessä ja laitetaan kansi avattuna 105 ± 5 °C:n uuniin. Näytettä kuivataan, kunnes sen paino ei enää muutu. Kuiva näyte otetaan uunista ja jäähdytetään kansi suljettuna huoneenlämpöiseksi ja punnitaan /9, 13/.

Näytteen sisältäessä runsaasti orgaanista ainetta, ei tällä menetelmällä saada todellista vesipitoisuutta /9, 13/.

Mineraalisen tiivistyskerroksen levittämisessä ja tiivistämisessä peruskriteereitä ovat kuivatilavuuspaino ja vesipitoisuus. Saavutettavissa oleva maksimikuivatilavuuspaino vesipitoisuuden funktiona tulee määrittää standardi Proctor- sullonnalla tai mikäli materiaalille on osoitettu soveltuvaksi IC- testi, voidaan sitäkin käyttää. Tiivistysvesipitoisuus valitaan siten, että saavutetaan hyväksyttävät tasot vedenläpäisevyydelle, leikkauslujuudelle ja kutistumahalkeilulle /9, 13/.

Koetiivistämistä ja –levitystä tulee käyttää laboratoriokokeiden perusteella valitun materiaalin soveltuvuuden varmistamiseksi. Oikea vesipitoisuus onkin tärkeää, sillä:

- liian pieni vesipitoisuus johtaa epätäydelliseen tiivistymiseen ja haluttua alhaista vedenläpäisevyyttä ei saavuteta
- liian suuri vesipitoisuus vaikeuttaa raskaiden työkoneiden toimintaa, luiska-alueet saattavat alhaisesta leikkauslujuudesta johtuen olla epästabiileja ja veden poistuminen saattaa aiheuttaa kutistumahalkeilua

Vesipitoisuuden tutkiminen onkin tärkeää, sillä mahdollinen vesipitoisuuden lasku aiheuttaa mineraaliseen tiivistysrakenteeseen helposti halkeilua, ellei tiivistysmateriaalia valittaessa ole kiinnitetty huomiota kutistumataipumukseen. Onkin muistettava, että savipitoisen materiaalin kuivuminen aiheuttaa kutistumahalkeilua. Tämä halkeilu voi ulottua kymmenien senttien syvyyteen ja sen seurauksena vedenläpäisevyys voi kasvaa yhdellä tai useammalla kertaluokalla /9, 13/.

4.1.3 Rakeisuus

Rakeisuus on tärkein maalajin nimitysperuste. Rakeisuustietoja käytetään lukuisiin tarkoituksiin mm. arvioitaessa vedenläpäisevyyttä, tiivistettävyyttä ja soveltuvuutta erilaisiin maarakenteisiin /9, 13, 19/.

Rakeisuudella tarkoitetaan erisuuruisten rakeiden suhteellista painojakautumaa maanäytteessä. 0,074 mm suurempien rakeiden jakauma määritellään seulomalla ja tätä pienempien areometrin avulla. Seulan suurin silmäkoko on 64 mm. Kivi- ja lohkarepitoisuus arvioidaan muilla menetelmillä /9, 13, 19/.

Maalajin mukaan voidaan käyttää seuraavia menetelmiä:

- seulonta
- areometrimenetelmä
- seulonta ja areometrimenetelmä yhdessä
- pesuseulonta, etenkin moreeneille

Karkearakeisille maalajeille (hiekkä ja sora) on kuivaseulonta yleensä riittävä rakeisuuden määrittelemiseksi. Mikäli kuitenkin voidaan olettaa näytteen kuljetuksen tai käsittelyaikana lajittuneen, on näyte homogenisoitava ennen seulonnan suorittamista. Homogenisointi voidaan suorittaa sekoittamalla tai erityisen näytteenjakajan avulla /9, 13/.

Tarvittava näytemäärä on hiekoilla 0,2...1,0 kg ja sorilla 1...3 kg. Karkearakeisimmilla näytteillä on seulottava määrä 4...15 kg raekoosta riippuen /9, 19/.

Kuivaseulottava materiaali kuivataan kuivatuskaapissa 105 °C:n lämpötilassa. Tarvittava kuivausaika on vähintään 4...5 tuntia, hienorakeisilla näytteillä mieluummin yön yli. Kuivattamisen jälkeen mahdollisesti paakkuuntunut näyte hienonnetaan. Näyte punnitaan ja kaadetaan seulasarjalle. Läpäisevin seula valitaan näytteen suurimman koon mukaan /19/.

Tärytyksen on kestettävä vähintään kymmenen minuuttia. Tärytyksen jälkeen punnitaan kullekin seulalle jäänyt näytemäärä. Mikäli näytemäärä on suuri, voidaan seulonta suorittaa useampana osaseulontana /9, 13/.

Jos näyte sisältää 10 % tai enemmän alle 0,074 mm aineksia, siitä on tarvittaessa suoritettava areometrikoe hienoainesten raekoon määrittämiseksi. Koe tehdään 2 mm seulan läpäisseeistä aineksista 100 g suuruisella näytteellä. Seulonnasta saatujen osapainojen summa saa poiketa korkeintaan 1 % seulasarjaan kaadetusta näytteen määrästä. Jos tutkittava maanäyte sisältää karkeiden lajitteiden lisäksi myös hienoainesta (esim. moreeni), ei kuivaseulonnalla saada oikeaa rakeisuuskäyrää. Näytteestä on tällöin erotettava hienoaines pesemällä ennen kuivaseulontaa /9, 13, 19/.

Näytettä laitetaan 0,5...1 kg suurehkoon astiaan sekä lisäksi 3...4 litraa vettä. Näytteen annetaan seistä vedessä, kunnes kokkareet ovat hajonneet. Kokkareiden hajoamista voidaan edistää lisäämällä veteen pieni määrä esimerkiksi natriumpyrofosfaattia. Näytteen hajottua lietettä sekoitetaan harjalla sekä kaadetaan korkeareunaisen 0,074 mm pesuseulan läpi. Näytteeseen lisätään vettä, liete sekoitetaan ja kaadetaan jälleen seulalle. Tämä toistetaan kunnes näytteestä lähtevä vesi on kirkasta. Seulalle jäänyt aines puhdistetaan juoksuttamalla vettä seulan läpi. Astiassa ja seulalla olevat näytteet yhdistetään ja kuivataan kuivauskaapissa. Kuivalla näytteellä suoritetaan kuivaseulonta.

Areometrikokeen avulla voidaan määrittää maanäytteen 0,074 mm pienempien rakeiden rakeisuusjakauma. Kuitenkaan alle 0,0001 mm pienempien rakeiden määrittämiseen ei areometri sovellu /9, 13, 19/.

Humuspitoisista näytteistä poistetaan humus ennen areometrikoeetta, esim. vetyperoksidin avulla. Savi- ja siltinäytteille riittää rakeisuuden määrittämiseksi yleensä pelkkä areometrikoe. Karkeammille maalajeille koe suoritetaan 2 mm:n seulan läpäisseeestä aineksesta /9, 13, 19/.

Areometrikoe voidaan tehdä joko kuivatusta, ilmakuivatusta tai luonnonkoosteasta näytteestä. Näytteestä on kussakin tapauksessa määritettävä vesipitoisuus. Enimmäkseen savi- ja silttirakeita sisältäville ei uunikuivatus ole suositeltavaa. Kun uunikuivatusta ei suoriteta varsinaiselle areometrikoenäytteelle, on näytettä varattava niin paljon, että siitä voidaan suorittaa myös vesipitoisuuden määrittäminen /9, 13, 19/.

Punnittu näyte laitetaan hydrometrilasiin, ja siihen lisätään 50 ml peptisaattoriliuosta sekä tislattua vettä 200...300 ml. Tämän jälkeen seosta sekoitetaan mekaanisesti sekoittimella noin 15...30 minuuttia, jonka jälkeen seoksen annetaan seisoa yön yli. Seuraavana päivänä sekoitus toistetaan. Tämän jälkeen näytteeseen lisätään tislattua vettä siten, että seoksen tilavuudeksi tulee 1000 ml, ja suoritetaan uusi sekoitus kääntelemällä suljettua areometrilasia n. 10...20 kertaa. Sekoituksen päätyttyä käynnistetään kello. Areometrilukemat otetaan, kun aloitushetkestä on kulunut 1 min, 6min, 1 tunti, 5 tuntia ja 1 vrk. Areometrilukemien lisäksi mitataan lämpötila, jonka pitäisi pysyä samalla alueella, jolle areometri on kalibroitu /9, 13, 19/.

4.2 Koekenttä

4.2.1 Yleistä

Koetiivistyskentän tarkoituksena on varmistaa tiivistyskerroksessa käytettävien materiaalien, työmenetelmien ja laadunvarmistusmenetelmien toimivuus.

Urakoitsija rakentaa koetiivistyskentän tyyppipiirustusten mukaisena rakenteena (Kuva 8.). Tämän koerakenteen avulla pyritään selvittämään seuraavia asioita.

- materiaalin toimivuus työkohteessa ja – olosuhteissa,

- tiivistysvaatimusten sovellettavuus,
- työn toteutuksessa käytettävät laadunvalvontamenetelmät ja hyväksymistasot,
- valitulle tiivistyskalustolle tiivistystyössä käytettävä nopeus ja ylityskertojen määrä,
- mikäli on käytettävissä dynaamisella tiivistystarkkailujärjestelmällä varustettua tiivistyskalustoa, määritetään tiivistystavoitetta vastaavat ajoparametrit,
- sekä riippumaton laadunvalvoja varmistaa materiaalien soveltuvuuden.

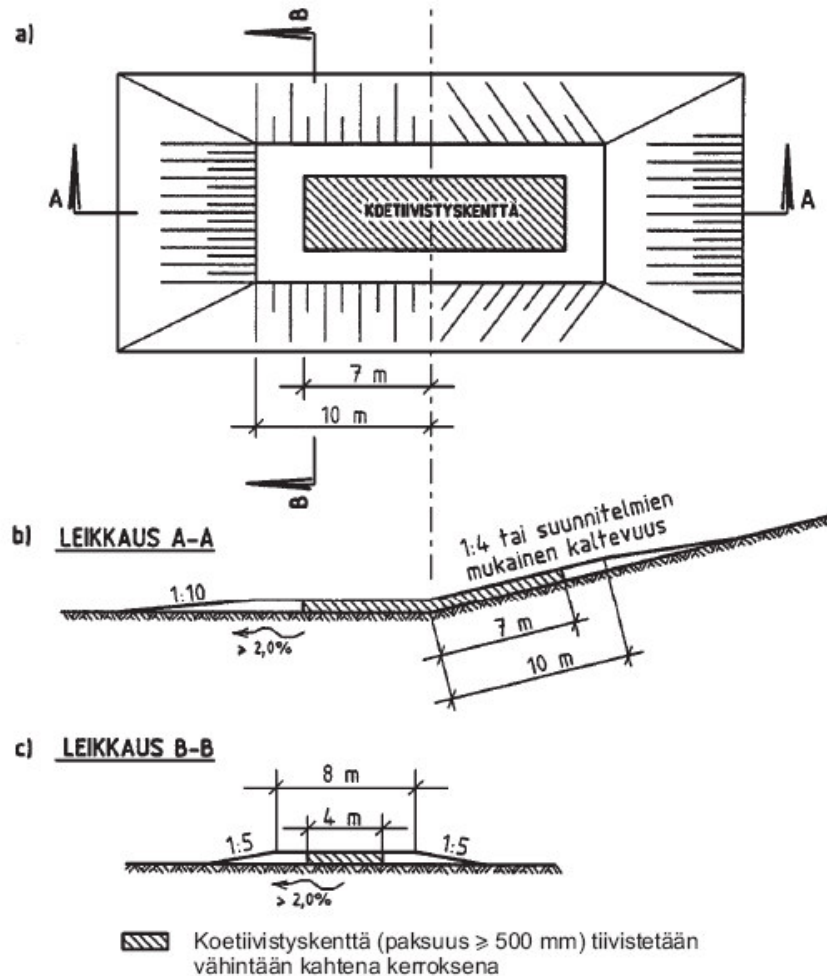


Kuva 8. Koekenttä osana lopullista rakennetta

Koekentän pohjan tulee olla vastaava kuin lopullinen. Sen tulee tarvittaessa sisältää luiskia tai oja, riippuen siitä onko lopullisessa rakenteessa niitä. Käytettävän tiivistyskaluston toimivuus todetaan sitten, kun vaadittava tiivistystavoite saavutetaan.

Kuvassa 8. on esimerkki koekenttärakenteesta. Rakenteen tulee sisältää niin luiska- kuin myös tavallista rakennetta. Tällöin voidaan varmistua kokeilta-

van materiaalin soveltuvuus myös luiskiin. Myös oikeiden työmenetelmien valitseminen sekä soveltuvuus voidaan todentaa tällä tavalla. Alla oleva rakenne on vain esimerkki. On suositeltavaa, (ja tavallista) että koekenttä rakennetaan huomattavasti suuremmaksi ($\sim 100 \text{ m}^2$). Kun mietitään koekenttärakenteen kokoa, on syytä miettiä sitä käytettäväksi myös aiotun kaluston kannalta eikä vain minimirakennetta kustannussäästön kannalta. Mitä edustavampi rakenne on kooltaan ja sijoitukseltaan, sitä paremmin voidaan niin kustannuksiltaan kuin myös kapasiteetiltaan valita paras kalusto.



Kuva 9. Esimerkki koekenttä /15/

Urakoitsijan vastuulla on myös teettää koetiivistyskentän materiaalista laboratoriossa vedenläpäisevyyskoe koetiivistyskentällä saavutetussa kuivatilavuuspainossa. Vedenläpäisevyyden tulee täyttää sille asetettu vaatimus. Myös riippumaton laadunvalvoja tutkii koekentästä otettuja näytteitä.

Koekentän ja laboratoriomittausten tulosten perusteella hyväksytään urakoitsijan ja riippumattoman laadunvalvojan kentällä soveltamat laadunval-

Koekentän vaatimuksista on liitteessä 3. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma.

Liitteessä 4. Koekenttäraportti on esimerkki Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen koekenttäraportista.

4.3 Kenttä- ja laboratoriomittaukset

Urakoitsija esittää laatusuunnitelmassaan vaatimukset tutkittavien parametrien osalta. Näitä parametreja ovat vähintään:

- K- arvo
- tiiviys
- maksimikuivairtoiheys
- vesipitoisuus
- rakeisuus

Kuivatilavuuspainon, vesipitoisuuden, saavutetun tiivistysasteen ja vedenläpäisevyyden määrittämiseksi on otettava riittävästi näytteitä ainakin kolmesta kohdasta kunkin tiivistettävän kerroksen jälkeen ja myös koko koetiivistysrakenteen valmistumisen jälkeen. Lisäksi ainakin yksi näyte on otettava kustakin kerrosten välisestä raja-alueesta, jotta voidaan määrittää sen vedenläpäisevyys laboratoriossa. Luokittelukokeet tehdään yhdelle häiritylle näytteelle tiivistyskerrosta kohden. Tämän lisäksi määritetään tiivistyskerrosta kohden viiden satunnaisnäytteen rakeisuus ja vesipitoisuus materiaalin homogeenisuuden varmistamiseksi. Lisänäytteet kokoonpuristuvuuden, paisumiskäyttäytymisen, leikkauslujuuden tai muiden mekaanisten ominaisuuksien tutkimiseksi voivat yksittäisissä tapauksissa olla tarpeen.

Alla (taulukko 2) on lueteltu ennakkokokeissa tehtävät tutkimukset sekä tarkasteltavat laatutekijät:

Taulukko 2. Ennakkokokeiden tutkimukset.

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Maabentoniitin runkoaine, rakeisuus	# 0-32 mm, hienoaines	Kuiva- ja pesuseulonta	5 kpl
Maabentoniitin runkoaine, vesipitoisuus		Uunikuivaus	5 kpl
Maabentoniitin runkoaine, tiivistyminen	Maksimi kuivatil. Paino	Proctor	5 kpl, eri vesipitoisuudella
Bentoniitti, montmorilloniittipitoisuus	$KA \leq 70\%$, -20%	XRD- koe	2 kpl
Bentoniitti, paisumisindeksi	24 ml/2g	ASTM D 5890	2 kpl
Maabentoniitti, vedenläpäisevyys	$K \leq 6,7 \cdot 10^{-10}$ m/s	ASTM D 5084-00	2 kpl, valitulla bentoniitti %:lla, runkoaineella ja 2 tiiveydellä

Alla (taulukko 3) on lueteltu koekentän yhteydessä tehtävät tutkimukset ja tarkasteltavat laatutekijät:

Taulukko 3. Koekentän tutkimukset.

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Runkoaineen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4\%$	Uunikuivaus laboratoriossa	1 kpl
Runkoaineen rakeisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Seulonta	1 kpl
Maabentoniittimassan tiivistyvyys	Ennakkokokeiden mukainen	Proctor	3 kpl
Maabentoniittimassan kosteus	ennakkokokeiden mukainen $\pm 4\%$	Uunikuivaus laboratoriossa	5 kpl
Maabentoniittimassan bentoniittipitoisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Sekoitusaseman sekoitusraportti	Jatkuva
Maabentoniittimassan vedenläpäisevyys	$k \leq 6,7 \cdot 10^{-10}$ m/s	Laboriomittaus	2 kpl
Koerakenteen tiiveysaste	Ennakkokokeiden mukainen	Troxler, vertailuarvon tarkistus, mittalaitteen kosteuskorjaus	5 kpl
Koerakenteen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4\%$	Troxler	5 kpl
Koerakenteen kerrospaksuus	500 mm +100 mm	Takymetri/ koe-kuoppa	2m x 2m
Koerakenteen tasaisuus	Ei vettä kerääviä painanteita, ei yli 4mm:n kohoumia	Visuaalinen	Jatkuva
Koerakenteen korkeusasema		Takymetri	2m x 2m, luiskien taitepist. 5 m välein

5.1 Alusrakenteen vaatimukset ja vaadittavat mittaukset

Alusrakenteen ohjeellisina arvoina voidaan pitää:

- kantavuus materiaalista riippuen karkearakeisille maalajeille $E_2 \geq 45 \text{ MN/ m}^2$ ja hieno- ja sekarakeiselle huokoisuudesta ja vesipitoisuudesta riippuen $E_2 \geq 20 \dots 45 \text{ MN/ m}^2$
- tiivistyssuhde $E_2/ E_1 \leq 2,2$
- yläpinnan tason yksittäinen poikkeama $-100 \dots 0 \text{ mm}$, eli korkeintaan 100 mm :n alitus
- pinnan tasaisuus 4 m :n oikolaudalla mitattuna $\pm 50 \text{ mm}$

Alusrakenteen vaatimuksista on liitteenä 5. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I-vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma.

Alusrakennetta on käsitelty rakenteena kappaleessa 2.1 Alusrakenne

5.1.1 Kantavuus

Kantavuusmoduulilla E tarkoitetaan kuormituksen aiheuttaman painuman perusteella laskettua kantavuusmoduulia E . E lasketaan kaavalla: /1, 3, 11/.

$$E = 1,5 \cdot p \cdot \frac{a}{s} \quad 7)$$

, missä

E on kantavuusmoduuli, MPa

p jännitys kosketuspinnassa = $\frac{P}{\pi/a^2}$, Pa

P maksimikuormitus, N

a kuormituspinnan säde, mm

s mitattu maksimipainuma, mm

Tiivistyssuhteella (r) tarkoitetaan samasta pisteestä eri mittauskerroilla laskettua kantavuusmoduulien suhdetta E_2/E_1

, missä

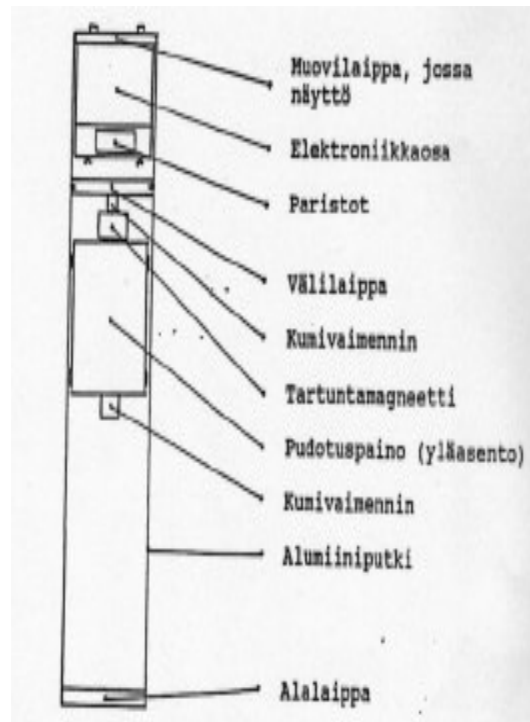
- E_2 on samasta pisteestä mitattujen kantavuusarvojen maksimiarvo, MPa
- E_1 ensimmäisen mittauksen tulos, MPa

Alusrakenteelle on annettu kantavuus- ja tiiviysvaatimukset siten, että mineraalinen tiivistyskerros voidaan luotettavasti rakentaa ja tiivistää sen päälle. Alusrakenteen kantavuuden toteamiseen käytettävät menetelmät sovitaan osin projektikohtaisesti mutta yleisesti hyväksytty menetelmä on levykuormituskoe /1, 3, 11/.

5.1.2 Loadman

Loadmanilla voidaan määrittää mitattavan rakenteen E- moduuli ja tiivistetävän kerroksen tiiviysaste. Loadman soveltuu sekä sitomattomien että ohuiden rakenteiden ja kerrosten kantavuusmittaukseen. Mittauksen vaikutussyvyys on noin 20 – 50 cm. Siihen vaikuttaa kuormituslevyn halkaisija. Mitä suurempi mittauslevyn halkaisija on sitä suurempi laitteen tehollinen mittaussyvyys (Boussineq'n teoria) /8, 12/.

Mittauksen periaatteena on pudottaa vapaasti putoava paino jäykälle kuormituslevylle ja mitata kuormituksen aiheuttama painuma laitteeseen kiinnitetyllä kiihtyvyyssanturilla. Laitteen elektroniikka laskee kiihtyvyyssignaalista aika-siirtymäkäyrän, jonka maksimisiirtymä on mitattu maksimipainuma. Kuormitus välittyy kuormituslevyn pudotuspainoon kiinnitetyn kumivaimentimen avulla, jolloin kuormitus kasvaa joustavasti maksimiinsa kuten tavallisessa pudotuspainolaitteessa /8/.



Kuva 10. Loadman periaatepiirros.



Kuva 11. Loadman kannettava pudotuspainolaite

Mittauksessa laite asetetaan pystysuoraan mitattavalle paikalle, painetaan käsin ja hierotaan edestakaisin, jotta pohjalevy asettuu tasaisesti alustalle koskettaen koko alaltaan mittauskohtaa. Näin varmistetaan mitattavien tu-

lostien oikeellisuus. Tulos näkyy välittömästi näytöllä, josta se tallennetaan joko laitteen muistiin tai kirjoitetaan ylös mittauspöytäkirjaan /8, 12/.

Kun käytetään isompaa pohjalevyä, $D= 200$ tai $D= 300$ mm, asetetaan ko. levy mittauspaikalle ja astutaan levyn päälle. Näin varmistetaan ns. alkutiivistyminen, ja tämän jälkeen suoritetaan mittaukset alimmaisen pohjalevyn päältä sitä paikaltaan nostamatta. Isompaa pohjalevyä käytetään hienojakoisilla materiaaleilla ja painuman ollessa yli 3 – 4 mm /8, 12/.

Mittauksessa tarvittavien pudotusten lukumäärään vaikuttavat mittauskohteen ominaisuudet, kuten materiaali (luonnonmateriaali/ murskattu), tiivistyminen, kosteusolosuhteet jne. Tavallisesti se on 3 – 6 mittausta (määräytyminen perustuu kokemukseen) /8, 12/.

Mittauspisteet kartoitetaan ja esitetään tarvittaessa vaadittavissa tarkekuvis- sa. Mittauspisteen tuloksena esitetään yleensä kantavuusarvo E ja tiiviysarvo r , lisäksi on hyvä kirjata muistiin käytetty pohjalevyn halkaisija, koska sillä on olennainen vaikutus mittauksen syvyysvaikutukseen.

Mittaustuloksista kirjataan muistiin seuraavat tiedot:

- päivämäärä
- kohteen sijainti esim. paaluluku tai kartoittamalla
- mitattava kerros tms.
- alustan laatu
- kaikki mittaustulokset yhdellä pisteellä., joista lisäksi ilmoitetaan E_{max} , $E1$ ja r
- pistekohtaiset huomiot (esim. alustan kosteustila, tasaisuus/ karkeus yms.)

5.1.3 Levykuormituskoe

Levykuormituskoe on Pohjoismaissa yleisesti käytetty maarakenteiden muodonmuutos- ja tiiviysominaisuuksien in situ -mittausmenetelmä /1, 3, /11, 18, 22/.

Levykuormituslaitteisto voi olla kuvan 11. mukainen. Laitteella mitataan tutkittavan rakenteen painumaa yleensä 300 mm halkaisijan omaavan suhteellisen jäykän metallilevyn alla. Levyä kuormittavan staattisen voiman vastapaino saadaan tavallisesti kuorma-autosta, johon levykuormituslaitteisto on kytketty tai vaihtoehtoisesti riittävän painavasta jyrästä /1, 3, 11, 18, 22/.



Kuva 12. Levykuormituslaitteisto /11/

Levykuormituskokeessa kuormitus nostetaan 10 kN portain maksimikuormaan 60 kN. Kuormitus tehdään kahtena syklinä ja muodonmuutosmoduuli E_2 määritetään toistovaiheen kuormitus- muodonmuutosriippuvuuden perusteella joko riippuvuuden lineaarisen osan mukaisesti tai sekanttimoduulina alkutilanteesta maksimikuormitukseen /1, 3, 11, 18, 22/.

Kun levykuormituskoe tehdään rakennekerroksen pinnalta, vaikuttaa kuormituslevyn painumaan välittömästi levyn alla olevan materiaalin muodonmuutosominaisuuksien lisäksi myös tämän alapuolella olevien rakenteiden ominaisuudet. Näin ollen levykuormituskokeella määritetty muodonmuu-

tosmoduuli ei edusta minkään rakenteessa olevan materiaalin käyttäytymistä erikseen. Tämä merkitsee sitä, että levykuormituskoe antaa vain ylimmän kerroksen/kerrosten näennäisen muodonmuutosmoduulin /1, 3, 11, 18, 22/.

E_2 - arvon laskeminen perustuu Boussineq'n esittämään ympyränmuotoisen kuormitetun levyn keskipisteen painuman laskentamalliin.

$$s = r(1 - \nu^2) \cdot \frac{p \cdot a}{E} \quad 8)$$

, missä

s on	painuma, mm
r	kerroin, jonka arvo on $\pi/2$, jos levyn oletetaan olevan jäykkä
ν	Poisson-luku
p	kosketuspaine, kN/m^2
a	kuormituslevyn säde, m
E	kimmomoduuli, Mpa

Levykuormituskokeen muodonmuutosmoduuli saadaan ratkaisemalla yllä oleva kaava kimmomoduulin suhteen /1, 3, 11, 18, 22/.

$$E = r(r - \nu^2) \cdot \frac{p \cdot a}{s} = k \cdot \frac{p \cdot a}{s} \quad 9)$$

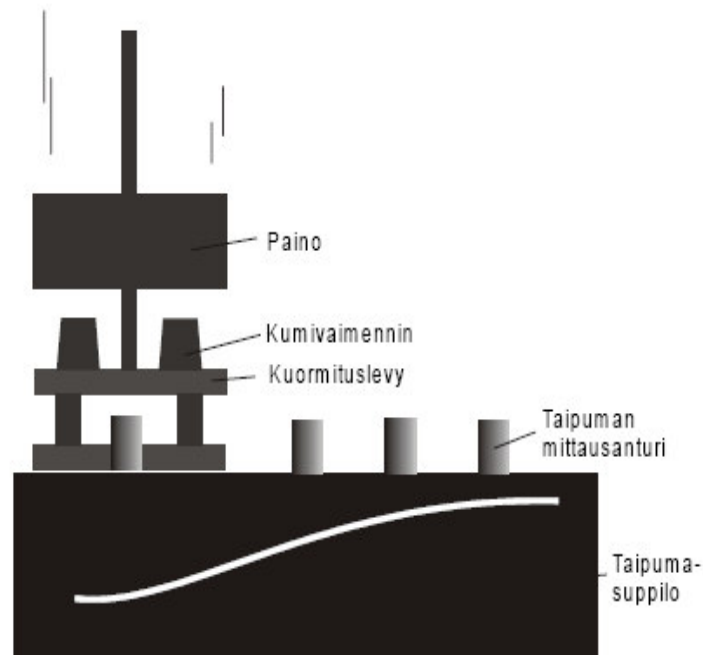
Kertoimen k arvo riippuu kuormituslevyn jäykkyydestä ja kuormitetun rakenteen materiaalin Poisson-luvusta. Poisson- luku kuvaa materiaalin palautuvien säteensuuntaisen ja aksiaalisten muodonmuutosten suhdetta /1, 3, 11, 18, 22/.

Levykuormituskokeella on etuna siihen liittyvä laaja kokemuspohjainen tietous mittaustulosten ja rakenteiden käyttäytymisen välisistä yhteyksistä. Lisäksi levykuormituskokeen tulokset vastaavat kuormituksen suuruudesta

johtuen materiaalien muodonmuutoskäyttäytymistä suuruusluokaltaan oikealla jännitystasolla /1, 3, 11, 18, 22/.

5.1.4 Pudotuspainolaite

Pudotuspainolaite on ensisijaisesti tierakenteeseen kohdistuvan liikennekuormituksen simuloimiseen käytetty mittauslaite /12, 18/.



Kuva 13. Pudotuspainolaitteen toimintaperiaate /3/

Koetilanteessa (tie)rakennetta kuormitetaan kuvan 12. mukaisesti kuormituslevyn avulla ja samalla mitataan rakenteeseen kohdistuva voima ja sen aiheuttama tienpinnan painuma, josta käytetään yleisesti myös termiä taipuma. Taipuma mitataan sekä kuormituslevyn alla että myös usealla eri etäisyydellä kuormituslevystä. Tällä tavalla saadaan mitattua niin sanottu taipumasuppilo. Taipumasuppilo kuvaa rakenteen kimmoista vastetta sen pintaan kohdistuvan kuormituksen suhteen. Taipumasuppilon perusteella voidaan laskea tien rakennekerrosten muodonmuutosmoduulit käyttämällä takaisinlaskentaohjelmia /12, 18/.

Tarastenjärvellä pudotuspainolaitteella suoritettavat mittaukset tehtiin Des-tian omistamalla kuvan 12. mukaisella ruotsalaisvalmisteisella Kuab-laitteistolla /12, 18/.



Kuva 14. Kuab- pudotuspainolaite.

Pudotuspainolaitteen kuormitus tapahtuu siten, että annetaan kuormitusyksikön pudotusmassan pudota vapaasti kumivaimentimille, joiden välityksellä kuormitus siirtyy kuormituslevyn kautta tutkittavaan rakenteeseen. Kuormituslevy on yhtenäinen tai muutamista sektorinpalasta koostuva levykuormituslaitteen kokoinen ympyrälevy. Pudotuspainon aikaansaama kuormituspulssin kesto on 0,02 – 0,03s /12, 18/.

5.1.5 Tiiviys

Maarakenteiden tiiviiden arvostelua varten on maarakenteiden työselityksiin yleensä sisällytetty rakenteen käyttö- ja toimintatavasta riippuvia tiivisasteen vähimmäisarvoja.

Kaatopaikkarakentamisessa volymetrimittauksilla varmistetaan Troxler-laitteen antamien arvojen oikeellisuus.

Maakerrosten tiiviiden (tilavuuspainon) mittaaminen tapahtuu yleensä joko häiriintymättömistä maanäytteistä tai volymetrimittauksilla. Häiriintymättömien näytteiden käyttökelpoisuus tilavuuspainon määrittämiseen eri maalajeissa riippuu siitä, miten hyviä näytteitä kyseisestä maalajista ja maakerrostumasta saadaan /2, 5, 9, 13/.

Volymetrimittauksissa käytetään yleensä hiekka- tai vesivolymetriä. Volymetrejä voidaan käyttää kaikissa maalajeissa, joissa kaivettavan kuopan seinämät pysyvät ehjinä mittauksen aikana. Vaikka seinämät silmävaraisesti tarkasteltuina näyttäisivätkin ehyiltä ja luonnosilta, saattavat ne esim. kapillaarivettä sisältävässä maakerroksessa löyhtyä siten, että tiiviysmittausten tulokset ovat täysin virheellisiä. Tulosten tarkkuus riippuu merkittävästi määrittästyön huolellisuudesta. Volymetreillä määritetyn kuivatilavuuspainon virhe normaaleissa olosuhteissa on yleensä $\pm 1 \dots 2 \%$ /2, 5, 9, 13/.

Vesivolymetriä käytetään hienorakeisessa ja kivettömässä maassa, missä kaivetun kuopan seinämät ovat tasaisia. Maassa saa olla enintään 25 % yli 32 mm:n suuruisia rakeita. Mikäli maassa on tätä enemmän kiviä, tulee käyttää muita menetelmiä tilavuuden mittaamiseen. Näytteen suuruus on vesivolymetrillä noin 1 dm^3 /2, 5, 9, 13/.

Hiekkavolymetriä käytetään karkeissa kivisissä maissa (sora ja murske), koska hiekka täyttää paremmin ottokuopan seinämien epätasaisuudet, sillä kolot kuopan seinämissä tai pohjassa eivät olennaisesti vaikeuta kuopan täyttymistä kokonaan hiekalla. Hiekkavolymetrin näytteen suuruus on 4 – 6 dm^3 /2, 5, 9, 13/.

Volymetrikokeiden avulla määritetään luonnontilaisen maan tilavuuspainorakenteessa. Tilavuuspainoa voidaan käyttää tiiviysasteen sekä suhteellisen tiiviiden laskemisessa. Tilavuuspainon määrittäystä käytetään maarakenteiden tiivistystarkkailumenetelmänä silloin, kun tiiviysvaatimus on esitetty tiiviysasteen avulla (esim. $D \geq 90 \%$) /2, 5, 9, 13/.

Tilavuuspainolla tarkoitetaan maanäytteen painoa tilavuusyksikköä kohden.

Tiheydellä taas tarkoitetaan maanäytteen massaa tilavuusyksikköä kohti.

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g \quad 10)$$

, missä

γ on	tilavuuspaino, kN/m ³
ρ	irtotiheys, g/cm ³ tai tn/m ³
m	kuopasta otetun maanäytteen massa kosteana, g
V	kuopan tilavuus, cm ³
g	maan vetovoiman kiihtyvyys, 9,81 m/s ²

Kun volymetrillä määritettyä kuivatilavuuspainoa verrataan samasta maaineksestä laboratoriossa parannetulla Proctor- kokeella saatuun maksimikuivatilavuuspainoon, saadaan selville maan tiiviyssaste. Tiiviyssaste D voidaan laskea alla olevasta kaavasta /2, 5, 9, 13/.

$$D = 100 \cdot \frac{\gamma_d}{\gamma_{d \max}} \quad 11)$$

, missä

γ_d on	volymetrikokeella saatu kuivatilavuuspaino
$\gamma_{d \max}$	parannetulla Proctor-kokeella saatu maksimikuivatilavuuspaino

Jotta maakerrostumien tiiviyssaste syvälläkin muodostumassa ja myös tarvittaessa pohjavesipinnan alapuolella voitaisiin määrittää maassa ns. ”in situ”, on kehitetty tarkoitukseen eräiden aineiden radioaktiivisuuden perustuvia mittausmenetelmiä. Tästä mittaustavasta on kerrottu tarkemmin kohdassa 7.2.1 Troxler /2, 5, 9, 13/.

Kaatopaikan rakennusaikaisille mittauksille on asetettu tiukat toleranssivaihtimukset. Myös se, että kaatopaikan rakenteet ovat laajoja kolmiulotteisia avaruuspintoja, asettaa mittaustyöt erittäin tärkeään asemaan, kun puhutaan rakenteen laadullisesta kelpoisuudesta. Koska rakennustyöt etenevät limittein toisiinsa nähden, on aikaa mittauksille vähän. Tämän takia mahdolliset virheet onkin havaittava välittömästi, ettei työ pysähdy tai jo rakennettua rakennetta jouduta turhan huolimattomuuden takia purkamaan /10, 15/.

Urakoitsijan tulee laatia mittaussuunnitelma, jossa hän esittää mittaussuunnitelman sekä myös tavan, jolla suunnitelmissa oleva tieto siirretään maastoon. Tässä suunnitelmassa esitetään käytettävä mittauskalusto ja kuvataan kuinka koordinaattitietoja käsitellään. /10/

Vaikka pohjaeristysrakenne tehdään karkeista materiaaleista, ovat valmiiden rakennekerrosten sallitut poikkeamat pieniä. Toisaalta myös liian paksun rakenteen rakentaminen huolimattoman mittaamisen vuoksi, tulee varmasti maksamaan kohtuuttoman paljon mittauksista saatavaa näennäiseen säästöön nähden. Erityistä huomiota tulee kiinnittää taitteiden sijaintien oikeellisuuteen, koska esimerkiksi ojan sivusiirtymä johtaa erilaisiin materiaalipaksuuksiin vastakkaisissa luiskissa /10, 15/.

Koska rakennekerrosten minimipaksuus on tarkkaan määrätty kokonaisrakenteen toiminnallisen sekä laadullisen toimivuuden takia, on kaikki rakennekerrokset mitattava x-, y-, z-pisteinä vaadittuun ruututiheyteen. Tavallisimmin alimmat rakennekerrokset mitataan tiheämpään ja tarvittaessa voidaan ylöspäin tultaessa harventaa mittaustiheyttä. Myös ojien pohjat sekä luiskien ylä- ja alareunat mitataan taiteviivoina enintään 5 m:n pisteväleihin. Mittaustuloksista tuotetaan korkeuskäyrät halutuin välein suunnitelmakartalle /10, 15/.

Kolmiulotteisen pintarakenteen tekemisessä voidaan käyttää myös automaatiota, jolla saadaan yhdistettyä digitaalinen suunnittelutieto suoraan maarakennuskoneen ohjaukseen. Työkoneen ohjaamisessa käytetään joko auto-

maattisesti kohdetta seuraavaa takymetriä tai senttiluokan satelliittipaikannusta yhdistettynä tasolaseriin. Automaatio-menetelmän etuna on, että sillä voidaan hallita vaikean muodon merkitsemismittaus automaattisesti ja tarkasti. Toisaalta säästyään myös aikaa vieviltä katkoilta tarkistusmittausten aikana ja työkoneet työskentelevät jatkuvasti /10, 15/.

Alusrakenteen yläpinnan mittavaatimukset esitetään suunnitelmissa, ja ovat osin tapauskohtaisia /10, 15/.

Alla (taulukko 4.) on lueteltu alusrakenteesta tehtävät tutkimukset sekä tarkasteltavat laatutekijät:

Taulukko 4. Alusrakenteen vaadittavat tutkimukset.

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Leikkauspohja ja täyttö	z: ± 20 mm	Takymetri	10m x 10m
Kantavuus	45 MN/m ²	Loadman/ levykuorituskoel	1/500 m ² ja 1/1000 m ²
Pistemäinen kohouma	± 20 mm	Oikolauta 4m	Jatkuva
Avo-ojien pohjat ja reunat		Takymetri	5m
Suodatinkangas	Neulasidottu ja luokiteltu	Tuotetiedot: TYLT	Jatkuva

5.2 Tiivistysrakenteen vaatimukset ja vaadittavat mittaukset

Valtioneuvoston kaatopaikkamääräyksessä (VNp 861/97) on määritelty täydentävän tiivistyskerroksen vähimmäispaksuudeksi 0,5 m (ongelmajätteen kaatopaikalla vähintään 1,0 m) /15, 21/.

Tiivistyskerroksen tärkein ominaisuus on vedenläpäisevyys (kohta 2.2). Kappaleissa 4.2.1 – 4.2.3 on kerrottu mittausmenetelmät, joilla varmistetaan vaaditun vedenläpäisevyyden saavuttaminen. Näiden lisäksi valmiista rakenteesta otetaan näytteitä laboratoriotutkimuksia varten (3.3.1–3.3.3).

Kuten aikaisemminkin on mainittu, ovat vaaditut mittaustoleranssit aina projektikohtaisia, mutta hyvinä suuntaa antavina arvoina voidaan käyttää

Ympäristökeskuksen julkaisemassa oppaassa, Kaatopaikan tiivistysrakenteet /15/, ilmoittamia arvoja:

- suurin sallittu yksittäinen poikkeama yläpinnan suunnitellusta tasosta ± 30 mm. Kuitenkin rakenteen kokonaisvahvuus on oltava vähintään 500 mm.
- suurin sallittu epätasaisuus 5 m:n matkalla ± 20 mm
- kallistukset suunnitelmien mukaisiin suuntiin
- yläpinnassa ei saa olla 2 mm suurempia rakeita, kohoumia tms., jotka voivat aiheuttaa geomembraaniin pistemäisiä jännityksiä
- 5 mm korkeammat työkoneen jäljet on tasattava

Tiivistyskerroksen vaatimuksista on liitteenä 6. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma.

Tiivistysrakennetta on käsitelty rakenteena kappaleessa 2.2 Tiivistyskerros.

5.2.1 Troxler

Maanrakennuksessa käytetään yleensä tiivistyksen laadun mittaamiseen tiiviyssastetta [%] mutta kaatopaikkarakentamisessa määritetään ennakkokeissa ja koekenttärakentamisen yhteydessä raja kuivairtotiheydelle tai kuivatilavuuspainolle, jolla vaadittu vedenläpäisevyys saavutetaan. Tästä johtuen mineraalisen tiivistyskerroksen työn aikana seurataan tiiveyden laadun mittarina vain kuivairtotiheyden arvoa. /19/

Tyypillisin tapa on mitata tiivistysmateriaalin kuivairtotiheys ja vesipitoisuus troxler-laitteella. Troxler antaa luotettavat mittaustiedot, kun eristerakenteena käytetään maabentoniittia. Vesipitoisten materiaalien kohdalla troxler-laitetta voidaan käyttää vain apuna, johtuen laitteen mittaaman märkäirtotiheyden lukuarvon epäluotettavuudesta. Saven ja muiden vesipitoisten materiaalien kohdalla kuivairtotiheys on kuitenkin tarkistettava käyttämällä perinteisiä hiekka- tai vesivolymetrejä. /19/



Kuva 15. Troxler- laite sekä apuvälineet.

Mittaus aloitetaan tasaamalla ensin kerroksen pinta niin, etteivät epätasaisuudet laitteen ja maanpinnan välissä häiritsisi tiheys- ja vesipitoisuusarvojen mittaamista. Tasoituslevyllä poistetaan löyhä pintakerros ja hierotaan alusta tasaiseksi. Jäljelle jääneet huokokset peitetään ohuella hiekkakerroksella /19/.

Suoramittausta varten säteilyanturille tehdään maahan reikä tai havaintoja seurataan (tiettyjen ylityskertojen jälkeen) ennen tiivistystä kerrokseen asennetusta mittausputkesta /19/.

Mitattaessa tasoituslevy asetetaan alustalle ja rautapiikki lyödään lekalla maahan levyssä olevan ohjaimen lävitse. Rautapiikki lyödään 5 cm mittaus-syvyyden alapuolelle ja poistetaan varovasti reiän reunoja rikkomatta. Laite asennetaan tarkasti reiän päälle ja säteilyanturi työnnetään varovasti reikään reunoja rikkomatta. Lopuksi laitetta vedetään etupaneelin suuntaan, jotta säteilyanturi painautuisi tiiviisti ilmaisimien puoleisen reiän laitaan ja tarkistetaan, ettei laite keinu alustallaan /19/.

Normaali mittausaika on yksi minuutti, jonka jälkeen tulokset ovat luettavissa näytöstä yksitellen. Mittausajan pidentäminen voi lisätä laitteen tark-

kuutta. Koska piikillä tehdystä reiästä mitattaessa ilmenee tulosten suurta hajontaa, samasta reiästä mitataan tulos kolmessa mittarin asennossa. /19/

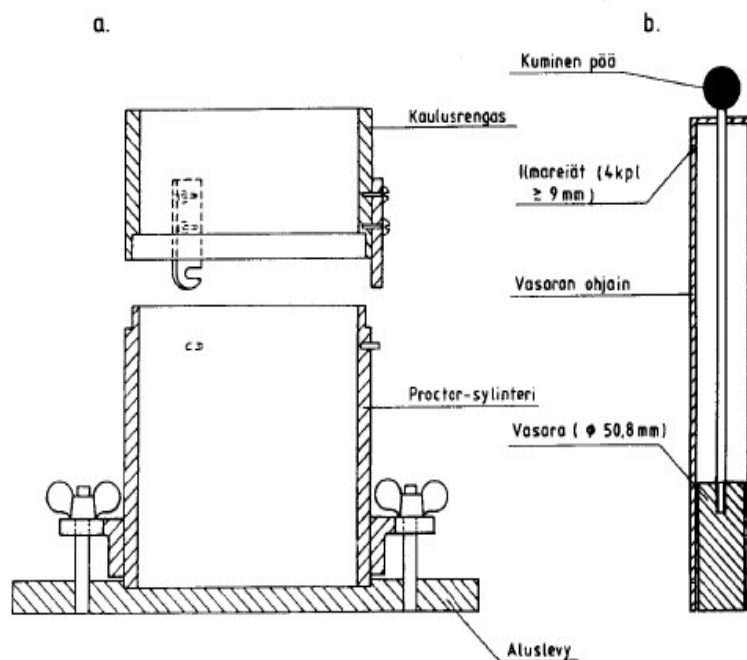
Mittausten tuloksia verrataan koekentän rakentamisen yhteydessä määritettyihin kuivatiheyksiin. /19/

Eri syvyyksillä saatuja tuloksia ei voi verrata keskenään, koska tulokset riippuvat voimakkaasti mittaussyvyydestä. Tuloksissa esiintyy myös hajontaa, mikä johtuu pääasiassa mittauspisteiden rakeisuuden vaihtelusta. /19/

5.2.2 Proctor

Proctor- kokeella selvitetään tiiviuden ja vesipitoisuuden (vesipitoisuuden ja kuivairtitiheyden) välistä riippuvuutta. Tämän laboratoriotestin tarkoituksena on määrittää myös materiaalin optimivesipitoisuus ja maksimikuivatilavuuspaino. Suomessa on käytössä myös ns. parannettu Proctor- sullonta ja onkin pyrittävä tutkimaan kaikki maa-ainekset käyttäen vain parannettua Proctor- sullontaa, vaikka ulkomailla on käytössä yleisimmin ns. standardi Proctor –koe /2, 5, 9, 13/.

Proctor-kokeessa tiivistämissullonta suoritetaan standardin mukaisessa sylinterissä, jonka halkaisija on 102 mm. Sullonta tapahtuu vasaralla, jolloin heijarin annetaan pudota vapaasti sylinterin muotoiselle alasimelle muuttaen jokaisen iskun jälkeen vasaran paikkaa /2, 5, 9, 13/.



Kuva 16. Proctor- sylinteri ja vasara /13/

Sullonta suoritetaan viitenä kerroksena em. koesylinterissä, jolloin kerros sullotaan vasaralla 25 iskulla. Näin ollen iskujen kokonaismäärä on 125.

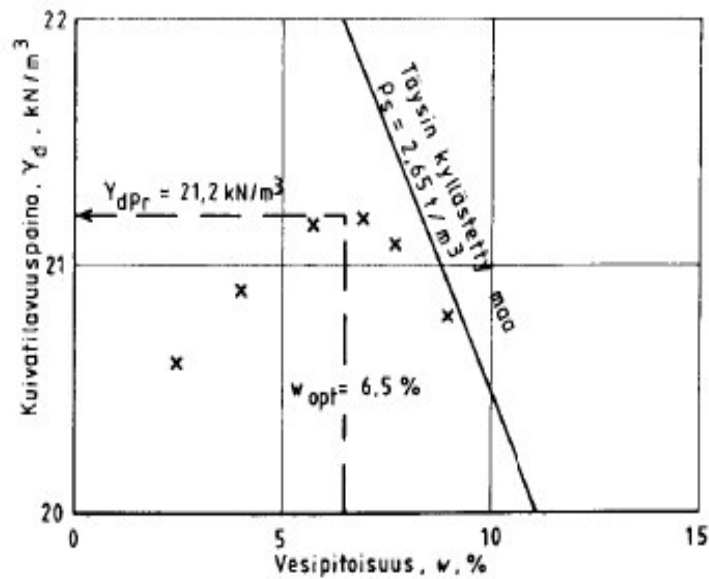
Sullontamuotti punnitaan tyhjänä ja sullonnan jälkeen maatäytteisenä. Lisäksi määritellään muotissa olevan sullotun maan vesipitoisuus kuivatusmenetelmällä. Näiden mittauksen tulosten perusteella voidaan laskea sullotun näytteen irtotiheys tai tilavuuspaino märkänä ja kuivana /2, 5, 9, 13/.

Tietyllä maalajilla, mielivaltaisessa vesipitoisuudessa suoritettu Proctor-koe ei anna sellaisenaan tulokseksi maan kuivatilavuuspainon maksimiarvoa, koska tiivistyksen tulos riippuu siitä, missä vesipitoisuudessa sullonta toteutetaan /2, 5, 9, 13/.

Käytännössä Proctor-sullonta tehdään samalla maalajilla useita kertoja ja jokaisella sullontakerralla erilaisessa vesipitoisuudessa. Jokaisen sullontakokeen tuloksista lasketaan saavutettu kuivatilavuuspaino. Eri vesipitoisuuksilla saadut kuivatilavuuspainon arvot kuvataan graafisesti pisteinä koordinaatistossa, jonka vaaka-akselilla kuvataan vesipitoisuutta ja pystyakselilla kuivatilavuuspainoa. Tämän jälkeen piirretään em. koetulospisteitä yhdistävä tai ainakin läheisesti näitä pisteitä noudattava käyrä. Tämä käyrä

kuvaa Proctor-sullonnassa saavutettavan kuivatilavuuspainon riippuvuutta sullottavan aineksen vesipitoisuuteen. Tällöin havaitaan myös maa-aineksen optimivesipitoisuus, jolla kokeessa saavutetaan suurin kuivatilavuuspaino eli maksimikuivatilavuuspaino /2, 5, 9, 13/.

Optimivesipitoisuus ilmoittaa sen vesipitoisuuden, missä kyseisen maalajin tiivistyminen tapahtuu parhaiten. Täten rakenteiden käytännön tiivistämistyön tulisi tapahtua optimivesipitoisuudessa /2, 5, 9, 13/.



Kuva 17. Optimivesipitoisuuden ja Proctor-tiivyyden määrittäminen Proctor-kokeen tuloksista. /13/

5.2.3 Ict- koe

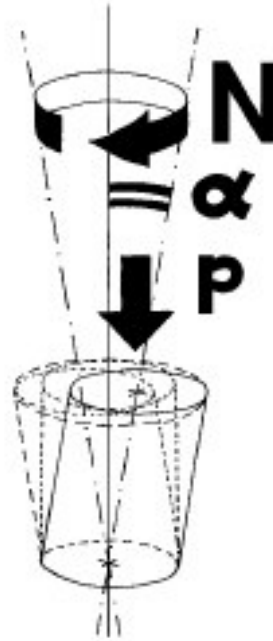
ICT- laite (Intensive Copaction Tester) (Kuva 18) on suomalainen kiertotiivistinlaite. Tällaisella laitteella mitataan tavallisesti maamassojen ja niistä side- tai lisäaineiden avulla eri tarkoituksiin valmistettujen rakeisten massojen tiivistymistä /6/.



Kuva 18. ICT- laite.

Kiertotiivistyksen periaatetta kuvataan kuvassa 19. Tutkittava massa pannaan pyöreään näytesylinteriin. Sen pohja- ja kansilevyt ns. päätylevyt, puristavat näytettä kokoon tasaisella paineella (p). Levyt ovat aina keskenään samansuuntaiset mutta niiden suunta sylinterin seinämään nähden poikkeaa hieman kohtisuorasta. Tätä poikkeamaa havainnollistaa levyn keskinormaalini ja sylinterin keskiviivan välinen kulma (α).

Tiivistyksessä kulmapoikkeaman (sylinterin keskiakselin) suunta pyörii tasaisesti pohjalevyn keskinormaalini ympäri, työkierrokset (N). Päätylevyt ja sylinteri yhdessä saavat näytteessä aikaan melko tasaisen muodonmuutosliukuman, jonka suunta kiertää työkierrosten tahdissa. Liukuma ja paine (p) tiivistävät näytettä /6/.



Kuva 19. ICT-laitteen toimintaperiaate ja muuttujat /6/

Kiertotiivistyksessä tiivistämiseen vaikuttavat parametrit, joita kaikkia voidaan tarvittaessa muuttaa:

- liikekulma (α , mrad)
- keskimääräinen aksiaalipaine näytteen päissä (p, kPa)
- työkierrosten lukumäärä (N)
- pyörintänopeus (kierroksia/min, r/min)

Tiivistymisestä mitattavat parametrit:

- Työkierrokset, jokainen kierros lisää näytteeseen tehtyä tiivistystyötä. Kokeen mittaustulokset rekisteröidään työkierrosten mukaan.
- Näytteen korkeudesta lasketaan näytteen tilavuus ja tiiviystila.
- Näytteen kansilevyn liikettä vastustava momentti (Nm). Siitä lasketaan keskimääräinen näytteen muodonmuutoksen leikkausvastus (kN/m²) /6/.

Alla (taulukko 5.) on lueteltu tiivistyskerroksesta tehtävät tutkimukset sekä tarkasteltavat laatutekijät:

Taulukko 5. Tiivistyskerroksesta tehtävät tutkimukset.

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Runkoaineen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4 \%$	Uunikuivaus laboratoriossa	1/500 itdm ³
Runkoaineen rakeisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Seulonta	1/500 itdm ³
Maabentoniittimassan tiivistyvyys	Ennakkokokeiden mukainen	Proctor	1/5000 tn
Maabentoniittimassan rakeisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Pesuseulonta	1/250 m ³
Maabentoniittimassan kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4 \%$	Uunikuivaus laboratoriossa	1/250 m ³
Maabentoniittimassan bentoniittipitoisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Sekoitusaseman sekoitusraportti	Jatkuva
Maabentoniittimassan vedenläpäisevyys	$k \leq 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	Laboratoriomittaus	1/3000 m ²
Rakenteen tiiveysaste	Ennakkokokeiden mukainen	Troxler	1/250 m ² molemmat kerrokset
Rakenteen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4 \%$	Troxler	1/250 m ² molemmat kerrokset
Rakenteen kerrospaksuus	500 mm +100 mm	Takymetri/ koe-kuoppa	1/500 m ²
Rakenteen tasaisuus	Poikkema ≤ 20 mm, valmiissa pinnassa ei yli 2 mm:n pistemäisiä kohoumia	4m:n oikolauta	Jatkuva
Rakenteen korkeusasema		Takymetri	10m x 10m, luiskien taitepisteet 10 m:n välein

5.3 Keinotekoisien eristerakenteen vaatimukset ja vaadittavat mittaukset

5.4 Yleistä

Valtioneuvoston päätöksessä vaaditaan mineraalisen tiivistyskerroksen päälle myös synteettinen eristemateriaali. Geosynteettisillä tiivistemateriaaleilla tarkoitetaan yleensä maahan ja veteen asennettavia ohuita, taipuisia geomembraaneja. Nykyisin geomembraanit ovat yleensä valmistettu kokonaan synteettisistä raaka-aineista.

Geosynteettisiä tiivistemateriaaleja käytetään sulkuna kiinteistä tuotteista liukenevien tai nestemäisten aineiden ja maaperän sekä pohjaveden välillä, estämään näiden aineiden kulkeutumista tuotteiden muodostaman rajapinnan läpi. Vaikka geosynteettiset tiivistemateriaalit ovat periaatteessa sinällään lähes läpäisemättömiä tai hitaasti läpäiseviä, hyvän tiivisterakenteen aikaansaaminen edellyttää huolellista materiaalien valintaa sekä rakentamista, sekä kaikkiin vaiheisiin kuuluvaa asiantuntevaa materiaalin laadunvalvontaa ja työtapojen valvontaa.

Yleisimmin käytettäviä geomembraaneja ovat polyeteenistä valmistetut muovikalvot HDPE, LLDPE ja LDPE. Perusero HDPE:stä, LLDPE:stä ja LDPE:stä valmistettujen muovikalvojen välillä on niiden tiheys. Muovien tiheys määräytyy valmistuksessa käytettävästä paineesta. Kirjainlyhenteet kuvaavat polyeteenin tiheyttä: HDPE = high density polyethylene, LLDPE = linear low density polyethylene, LDPE = low density polyethylene. Polyeteenien etuna on hyvä kemiallinen kestävyys, saumaumahdollisuus ja hyvä alhaisten lämpötilojen kesto. Polyeteenin jäykkyys saattaa aiheuttaa ongelmia sen asennuksessa. Yleisin kaatopaikkarakentamisessa käytetty geomembraani on HDPE-kalvo, jonka paksuus on 2 mm. HDPE on materiaaliltaan tihein eli se on valmistettu matalimmassa paineessa. Samalla se on jäykempi, lujempi ja sitkeämpi kuin LDPE. Lisäksi HDPE-kalvo kestää paremmin lämpöä ja liuottimia.

Kaatopaikkarakenteissa käytettävien geomembraanien valintaan vaikuttavat monet tekijät: /4, 15, 23, 24/.

- kemiallinen kestävyys
- mekaaninen kestävyys
- asennettavuus ja hitsattavuus
- kitkaominaisuudet, lähinnä luiskissa
- UV- säteilyn kesto, asennusaikana sekä luiskan yläosissa
- pakkaskestävyys
- jännityssäröilykestävyys

Keinotekoista eristerakennetta on käsitelty rakenteena kappaleessa 2.3 Keinotekoinen eristerakenne ja suojakerros.

5.4.1 Yleistä

Geosynteettisten tuotteiden laadunvarmistus on monivaiheinen tapahtuma, jota suoritetaan tuotteen kaikissa vaiheissa tuotteiden valmistuksessa käytettävistä raaka-aineista käyttökohteessa asennettuun eristyskerroksen muodostavaan lopputuotteeseen asti.

Laadunvarmistus edellyttää valvontaa kaikkien osavaiheiden kaikissa eri työvaiheissa. Kaikissa valmistusvaiheissa tuotantoprosesseja ja olosuhteita tarkkaillaan ja dokumentoidaan siten, että laadun pysyminen vakaana voidaan varmistaa. Rullat merkitään ja numeroidaan siten, että niiden valmistaminen on milloin tahansa jäljitettävissä. Tuotteiden valmistusvaiheessa tapahtuvaa laadunvalvontaa täydentää valmistajan suorittamat luotettavan ja puolueettoman laitoksen laadunvarmistustoimenpiteet. Tuotteen käyttäjän ei tarvitse yleensä huolehtia valmistukseen liittyvästä laadunvalvonnasta muuten kuin vaatimalla selvitystä laadunvarmistusjärjestelmästä ja tarvittaessa koetuloksia.

Alla olevassa Taulukossa 6. on esitetty yleiset perusvaatimukset synteettisille tiivistysmateriaaleille. /15/

Taulukko 6. Yleiset synteettisten tiivistysmateriaalien vaatimukset (DVVK 1994)/15/

Rasitus	Aiheuttaja	Ominaisuus
Fysikaaliset rasitukset	työnaikaiset mekaaniset kuormat	riittävä läpäisyvastus, puhkaisulujuus, paksuus, repimislujuus
	saumauksen aiheuttama terminen rasitus	hitauskäyttäytyminen
	pintaa vastaan kohtisuorat jännitykset	kitkaominaisuudet ja leikkauslujuus (luiskat)
	pitkäaikaiset mekaaniset kuormat	parannetut mekaaniset lujuusominaisuudet erityistä tiivyyttä vaativissa kohteissa (esim. ongelmajätteen kaatopaikka)
	mukautuminen epätasaisiin painumiin vetojännitykset	riittävä muodonmuutoskyky riittävä kaksiaksiaalinen vetolujuus hyvä relaksaatiokäyttäytyminen
Kemialliset rasitukset	vedenpaine	riittävä halkaisulujuus
	nestehöyryt	alhainen absorptiokyky
	kaasut	alhainen diffuusiokerroin, ei läpäise hiilivetyjä tai vetyklorideja
Biologiset rasitukset	hapot, emäkset, liuottimet, pesuaineet, suolat, kaasut jne.	alhainen kaasunläpäisevyys
Ilmastolliset rasitukset	mikro-organismit, juuret, jyrsijät	kemiallinen kestävyys ja alhainen läpäisevyys
Asennuksen aikaiset rasitukset	lämpötila	biologinen kestävyys (mm. biologinen hajoamattomuus) ja juurien tunkeutumisen estäminen
	UV-säteily	lujuusominaisuuksien säilyminen korkeissa lämpötiloissa, lämpölaajeneminen, hyvä lämpötilan vaihteluiden kesto
Asennuksen aikaiset rasitukset	geomembraanirullien aukirullaus	hyvä säänkesto
	rullan ohjaaminen avattaessa	mittatarkkuus, reunojen suoruus ja pinnan tasaisuus
	liikenne geomembraanilla (myös käveleminen)	hyvä levittyvyys (ei muodosta laskoksia tai jää koholle)
	saamaustyö / hitsaaminen	riittävä paksuus ja puhkaisulujuus, riittävä repimislujuus helposti saumattava (hyvä hitsattavuus), vauriot helposti paikattavissa

Rakennuspaikalla tapahtuvalla laadunvalvonnalla varmistetaan, että tarpeelliset tarkastukset suoritetaan ja varastointi sekä asennus suoritetaan oikein ja asianmukaisesti. Tarvittavien tarkastusten suorittaminen ja suorittaja esitetään laadunvarmistussuunnitelmassa ja tarkastusten tulokset kirjataan ylös.

Rakennuspaikan laadunvarmistukseen kuuluu seuraavat vaiheet:

- varastointi
- asennuspohja
- asennus
- asennusmenetelmät

Edellä mainituista ehkä tärkeimmät ovat asennus sekä menetelmät. Saumojen laadunvalvonta koskee periaatteessa kaikkia saumoja. Saumoista tarkistetaan ulkonäkö, mitat, lujuus ja tiiviys. Lujuuden määrittämisessä käytetään

kuorintakoetta, ja tiiviyn määrittämisessä kaksinkertaisten saumojen paineistamista ja yksinkertaisten saumojen osalta vakuumikupua.

5.4.2 Saumojen hitsaus

Saumojen lämpöhitsauksessa käytettäviä hitsausmenetelmiä ovat:

- kuumailmahitsaus
- kuumaelementtihitsaus
- pursotushitsaus ja
- sähköhitsaus

Kuumailmahitsauksessa lämpöpuhaltimella puhalletaan kuumaa ilmaa liitettävien pintojen väliin. Pintojen sulaessa pinnat painetaan välittömästi yhteen, joko käsin tai suuremmissa hitsauslaitteissa olevan painorullan avulla. Tarvittava puhallusilman lämpötila on tavallisesti yli 260 °C, materiaalista riippuen. Tätä menetelmää voidaan käyttää suojatekstiiliä saumattaessa.

Kuumaelementtihitsauksessa sähköisesti lämmitettävää elementtiä kuljetetaan saumattavien pintojen välissä. Saumattavien pintojen sulaessa pinnat painetaan vastakkain laitteessa olevan painorullan avulla. Tällä menetelmällä voidaan myös tehdä kaksinkertaisia ilmaraolla varustettuja saumoja.



Kuva 20. Kuumaelementtihitsaus

Pursotushitsausta käytetään lähes ainoastaan polyeteeneillä. Pursotushitsauksessa sulaa polymeeriä pursotetaan liitettävien pintojen väliin, ja pinnat puristetaan yhteen. Elektrodit tai kuumailmasuihku sulattavat lisäksi liitettävät pinnat yhteen ja koko massa sekoittuu. Pursotushitsausta käyttäen voidaan saada aikaan erittäin lujia saumoja. Ennen hitsausta kalvojen pinnalta poistetaan hapettuneet pintakerrokset.



Kuva 21. Pursotushitsaus

Sähköhitsausta (suurtaajuushitsausta) käytetään vain tehdassaumojen valmistuksessa. Suuritaajuuksista virtaa johdetaan hitsattavien pintojen läpi. Sauma muodostuu puristamalla sulaneet pinnat yhteen.

Hitsauksen ajoparametrit, lämpötila, nopeus ja paine sisältävät osittain raaka-aineesta riippuvat toleranssirajat. Hitsauslämpötila ei saa aiheuttaa vaurioita materiaalin molekyyliin. Saumakohtaan tuodun paineen vaikutuksesta molempien sulaneiden pintojen tulee liittyä toisiinsa. Saumakohdan sulaneen materiaalin ulospuristumisen tulee olla mahdollisimman vähäistä jännityskeskittymien syntymisen välttämiseksi. Saumakohta on pyrittävä saamaan mahdollisimman matalaksi. Reunajännitysten estämiseksi hitsausta ei uloteta aivan geomembraanin reunaan asti.

Saumakohdassa geomembraanit limitetään vähintään 50 mm:n matkalta. Useimmiten saumakohdan leveys on kuitenkin 70...95 mm, josta saumamatonta aluetta on 40...50 mm alemman kalvon reunasta mitattuna. Peukalosääntönä on, että sauman tehokkaan leveyden tulisi olla vähintään viisinkertainen kalvon paksuuteen nähden. Yleensä yksittäisen hitsaussauman leveys on 30 mm, kaksoissaumassa kummankin yksittäissauman leveyden tulisi olla vähintään 15 mm, ilmanakanan ollessa 10...20 mm. Limitettyjen kalvojen reunakohtaan tehtävää pursotussaumaa käytetään yleensä vain varmistamaan muuta hitsausta, mutta sitä voidaan joissain tapauksissa käyttää myös ainoana hitsauksena (läpiviennit, mihin hitsauskone ei mahdu.)

5.4.3 Koesauma

Ennen hitsaustyön aloittamista tehdään työnäytteenä vähintään 10 m pitkä koesauma (Kuva 24.). Koehitsauksella osoitetaan saumamateriaalin ja saumasmenetelmän kelpoisuus. Koesauma käsittää T-sauman ja läpiviennin. Koesaumasta tehdään veto- ja kuorintakokeet. Ennen kuin koesauma on hy-

väksytyt, ei kalvon hitsausta aloiteta. Koesauman hitsaamisesta laaditaan erillinen koesaumaraportti, joka toimitetaan tilaajalle tarkastettavaksi heti raportin valmistuttua. Koesaumaraportti liitetään lopullisiin laatuasiakirjoihin. /4/, /15/, /23/, /24/



Kuva 22. Koesauman koepaineistamista.

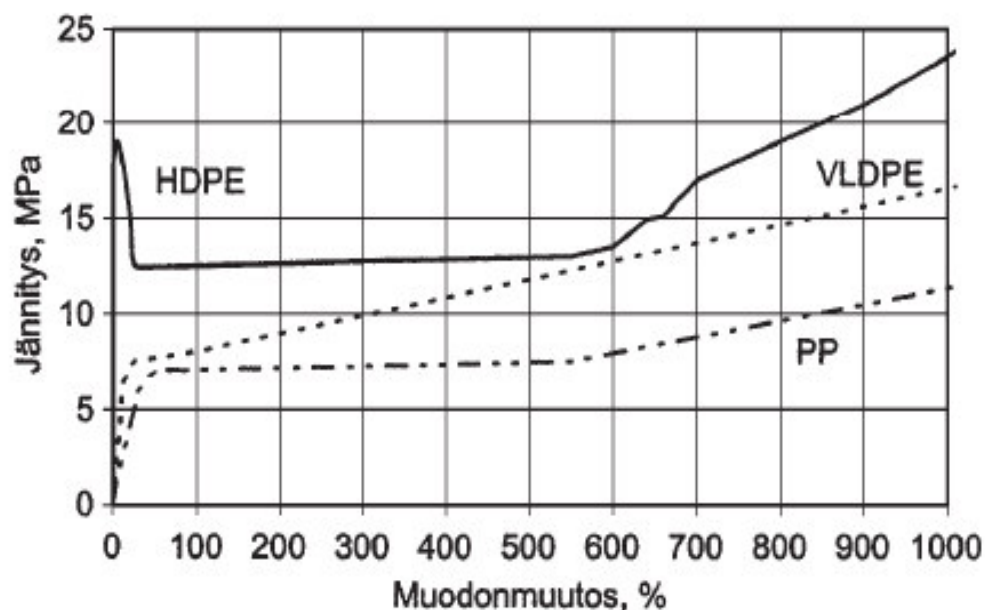
5.4.4 Veto- ja kuorintakoe

Geosynteettisten tuotteiden venymä kuormituksen alaisena voidaan jakaa kolmeen erityyppiseen venymiseen:

- tuotteen rakenteesta johtuvaan venymiseen
- tuotteen raaka-aineesta johtuvaan venymiseen
- raaka- aineen virumisesta aiheutuvaan venymiseen

Geosynteettiselle tuotteelle suunniteltu käyttökohde ja käyttöikä määräävät kuinka ratkaisevia tuotteen eri venymismuodot ovat. Eristämistarkoituksiin käytettävien tuotteiden hyvä venymiskyky on useimmiten toivottu ominaisuus: lopullisen tiivistysrakenteen tulee säilyttää tiiviytensä mahdollisesti esiintyvistä rakenteen muodonmuutoksista huolimatta. /24, 25/

Yleensä geosynteettisen tuotteen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet määritetään lyhytaikaisessa, vain 20...30 sekuntia kestävässä standardivetokokeessa. Lyhytaikaisessa vetokokeessa saadaan suurempia lujuuksia kuin pitkäaikaisissa vetokokeissa. Jos jännitys tuotteessa pidetään jatkuvasti vakiona, havaitaan muodonmuutoksen kasvamista ajan kuluessa eli virumista. Virumista voidaan havaita myös jos tuote asetetaan vakio muodonmuutoksen alaiseksi. Tällöin jännitys tuotteessa laskee, ja puhutaan jännitysrelaksatiosta /24,25/.



Kuva 23. Yksiakiaalisen vetokokeen jännitys-muodonmuutoskuvaajat. /15/

Työmaalla suoritettavaa saumojen laadunvalvontaa täydennetään saumojen lujuusmäärittämisellä /24, 25/.

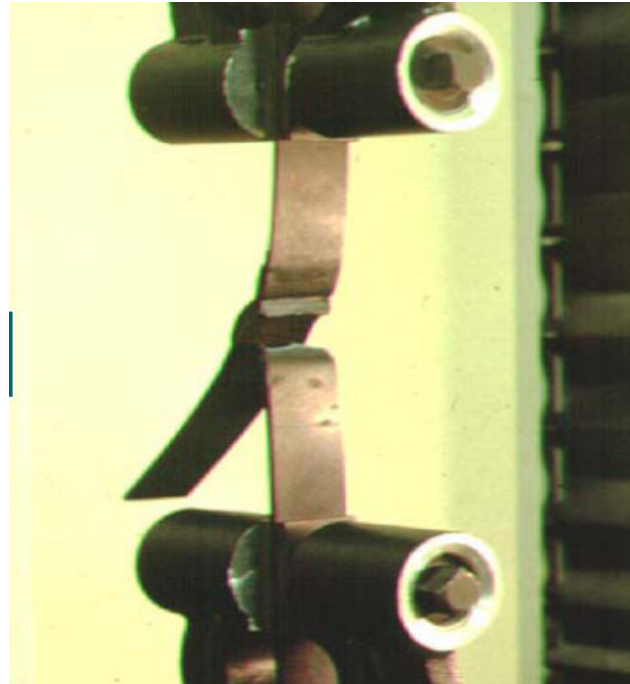
Näytteet otetaan saumojen alku- ja loppupäästä, poikkeustapauksissa muualta valmiista saumasta. Sopivia kohtia ovat rullien alku ja loppupää ja kaksinkertaisten saumojen paineistusosuuksien alku ja loppupää, mikäli sauman vuotamisen takia vuotokohtaa joudutaan etsimään. Näytteitä on otettava riittävä määrä (100 -150 m välein) tuotteen leveydestä riippuen /24, 25/.

Sauman lujuus muodostuu sauma-alueen leveydestä ja itse hitsauksen lujuudesta. Sauma-alueen leveyden tulee olla vähintään 30 mm. Kaksoissaumoissa saumojen yhteisleveyden tulee olla vähintään 30 mm. Saumojen lu-

juus testataan kuorinta- ja leikkauskokeilla. Sauman lujuutta kuvataan ker-
toimella, joka saadaan saumanäytteen vetolujuuden ja kalvon vetolujuuden
suhteena /24, 25/.

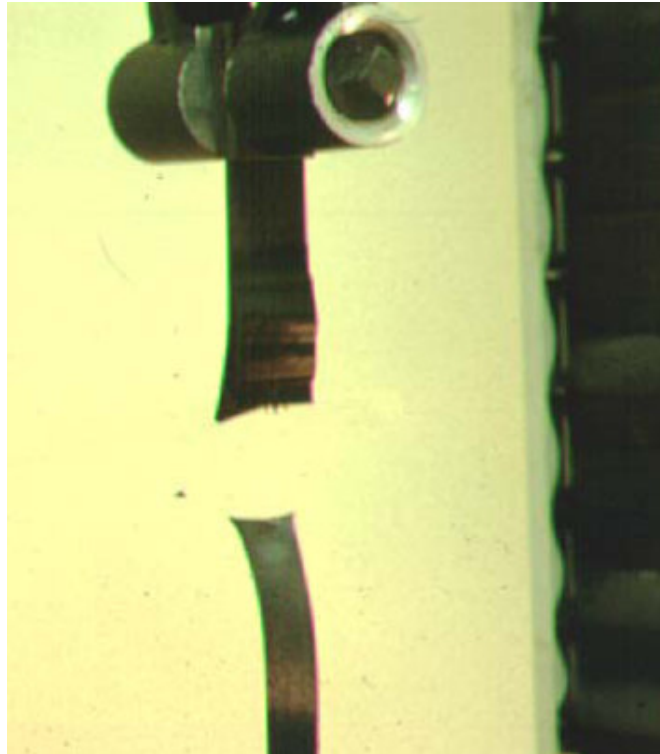
Sauman minimileveysvaatimuksen takia sauma on lujuudeltaan kuitenkin
ylimitoitettu eikä sauman laatua voida päätellä pelkästään lyhytaikaisesta
vetokokeesta. Tämän takia vetokokeen tuloksia täydennetään lyhytaikaisella
kuorintakokeella /24, 25/.

Sauman laatua arvioidaan näytteen käyttäytymisen perusteella: Kuorintako-
keessa huono sauma kuoriintuu saumakohdasta ja hyvässä saumassa sauma-
kohta pysyy ehjänä ja geomembraani sen vieressä alkaa venyä.



Kuva 24. Kuorintakoe /25/

(Veto)leikkauskokeessa hyvä sauma murtuu saumakohtan liittyvässä geo-
membraanissa.



Kuva 25. Vetokoe /25/

Saumojen lujuuskriteerit riippuvat käytetystä materiaalista, geomembraanin paksuudesta ja materiaalin yleisestä käyttäytymisestä. Tämän takia ne on useimmiten esitetty suhteellisina arvoina. Taulukossa 3 on esitetty leikkauskokeen ja kuorintakokeen vaatimuksia HDPE:stä valmistetulle kalvoille USA:ssa. Molemmissa kokeissa käytetään 5 näytettä (yhteensä 10 kpl), joista vähintään 4/5 on täytettävä vaatimukset/24, 25/.

Taulukko 7. Veto- ja leikkauskokeiden standardi vaatimuksia 14/

Table 1(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Smooth and Textured High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes (English Units)

Geomembrane Nominal Thickness	30 mils	40 mils	50 mils	60 mils	80 mils	100 mils	120 mils
Hot Wedge Seams⁽¹⁾							
shear strength ⁽²⁾ , lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , lb/in.	45	60	76	91	121	151	181
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams							
shear strength ⁽²⁾ , lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , lb/in.	39	52	65	78	104	130	156
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Notes for Tables 1(a) and 1(b):

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods
2. Value listed for shear and peel strengths are for 4 out of 5 test specimens; the 5th specimen can be as low as 80% of the listed values
3. Elongation measurements should be omitted for field testing

Table 1(b) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Smooth and Textured High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes (S.I. Units)

Geomembrane Nominal Thickness	0.75 mm	1.0 mm	1.25 mm	1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
Hot Wedge Seams⁽¹⁾							
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm.	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm	197	263	333	398	530	661	793
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams							
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm	170	225	285	340	455	570	680
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Vetokokeen tulee saavuttaa vähintään 4/5 standardin taulukon 3. mukaisesta vaatimuksesta. Mikäli ilmenee poikkeamia, saavat ne olla 80 % taulukon 3. mukaisesta arvosta.

Sallitun venymän arvot ovat myös lueteltu taulukossa 3. Venymä lasketaan kaavalla:

$$E = \frac{L}{L_0} \cdot 100$$

12)

, missä

E on venymä, ≥ 50 % kaikilla saumatyypeillä.

L Venymä katketessa

L₀ Näytteen pituus, 25 mm

Muita määriteltyjä parametreja:

- Nopeus: 50 mm/min, HDPE; 500 mm/min muille joustavimmille materiaaleille
- Molemmat kaksoiskiilasaumat tulee testata yksilöllisesti
- HDPE:lle riittää testaus 50 % venymään saakka, muille katkeamispisteeseen saakka

Kuorintakokeita suoritetaan valmiista kaksoiskiilahitsatuista saumoista n. 150–200 metrin välein (Kuva 27), (näytteet pyritään ottamaan sauman alkutai loppupäästä). /4/, /23/, /24/

Kuorintakokeen tulee saavuttaa vähintään 4/5 standardin (taulukon 3) mukaisesta vaatimuksesta. Mikäli poikkeamia ilmenee, saavat ne olla 80 % standardin taulukkoarvosta. Taulukkoarvot ovat vetolujuuden prosenttimääriä (HDPE, ~62 %). /24/, /25/

Kuorintakokeet suoritetaan käsikäyttöisellä koneella. Koe voidaan suorittaa joko ilman lukuarvoja tai lukuarvojen kanssa (Taulukko 7). Sauma hyväksytään, jos kuorintakokeissa kuoriutuminen tapahtuu kalvosta, ei saumasta. /4/, /23/, /24/

5.4.5 Saumojen tiiviyn tarkistus

Jotta voidaan varmistua tiivistyskohteen edellyttämän laatutason saavuttamisesta saumaustyössä, tulee sekä saumojen lujuus että tiiviys tarkistaa. /24/, /25/

Sauman lujuusmäärityksillä varmistetaan, että tehtyjen saumojen lujuus on kohteelle asennettavien vaatimusten ja suunnitelmien mukainen. Saumojen lujuustestauksessa käytettävät koekappaleet otetaan satunnaisesti (ellei ole toisin määrätty) saumoista /24, 25/.

Vaikka saumojen lujuuden määrittäminen veto- ja kuorintakokeilla onkin tärkeää, se ei vielä riitä takaamaan saumojen eheyttä ja täydellistä tiiviyyttä.

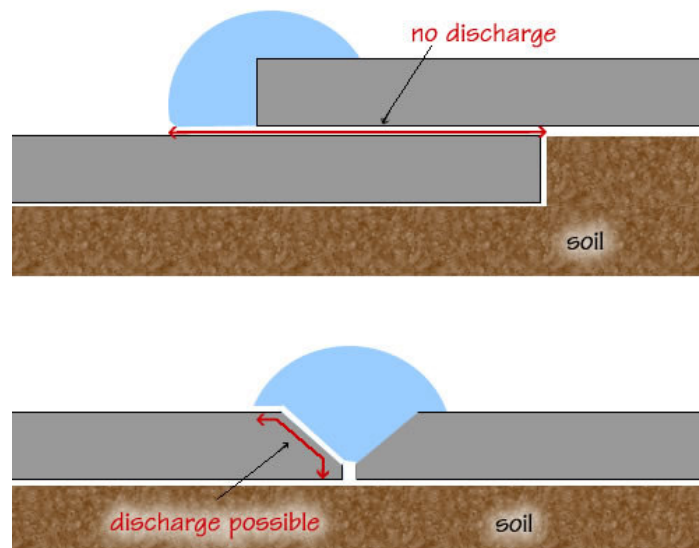
Rakennuspaikalla tehtävissä testauksissa osoitetaan saumojen tiiviys /24, 25/

Saumojen tiiviiden varmistamiseksi tulee kaikki saumat tarkistaa. Tähän soveltuvia menetelmiä ovat:

- vakuumikupumenetelmä
- kipinämenetelmä
- kaksinkertaisten saumojen paineistus

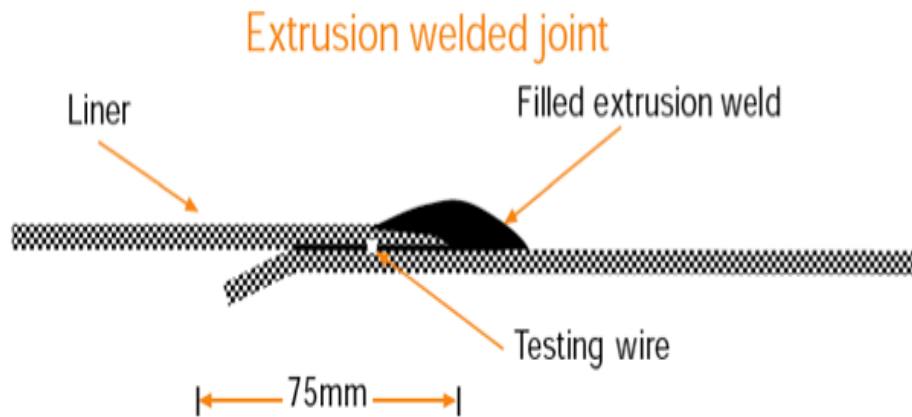
Vakuumikupumenetelmässä käytetään noin metrin mittaista läpinäkyvää kupua. Saumakohta sivellään saippualliuoksella ja kupu asetetaan sauman päälle ja yhdistetään vakuumpumppuun (alipaine). Ilma imetään kuvusta (0, 2...0,4 bar) ja kupu suljetaan. Jos sauma ei ole tiivis, ilma vuotaa läpi ja sauma-alueelle muodostuu kuplia tai vaahtoa. Sauman tiiviyttä voidaan arvioida ilman saippualliuoksen käyttöä paineen alenemiseen kuluvan ajan perusteella. Koe on hidas suorittaa ja saumojen ylimenokohdassa saattaa esiintyä, etenkin paksuilla kalvoilla, vaikeuksia kuvun tiivistämisessä/24, 25/.

Kipinämenetelmässä käytetään suurjännitteistä sähkövirtaa sauman aukkojen etsimiseen. Saamaamattoman alueen kohdalta virta lyö maahan ja aiheuttaa kipinäointiä. Menetelmä ei ole kovin herkkä, kun käytetään limitettyjä saumoja/24, 25/.



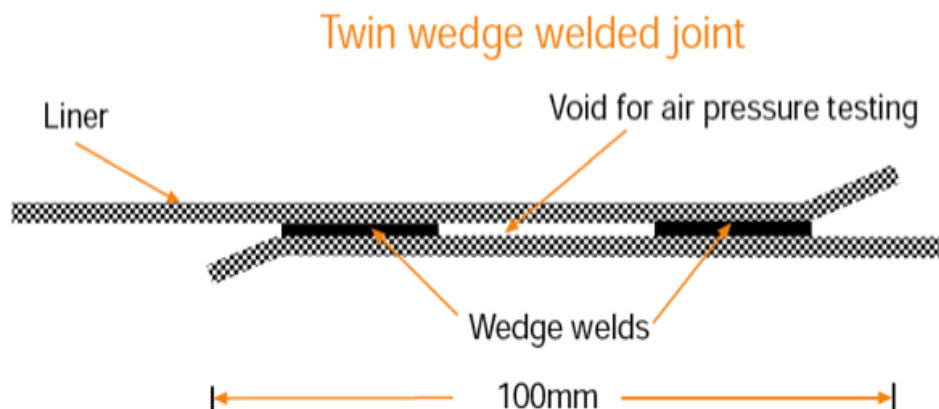
Kuva 26. Sähkönjohtavuuden periaate. /25/

Kipinämenetelmässä voidaan saumaustyön yhteydessä asentaa myös johdin joko saumaan tai välittömästi sauman taakse, ja todeta sauman tiiviys liikuttamalla suurjännitteistä harjaa sauman päällä /24, 25/.



Kuva 27. Ekstruusiosauman kipinäkoete /25/

Kaksinkertaista saumaa käyttäen tehdyissä saumoissa niiden tiiviys voidaan testata paineistamalla saumojen väliin jäävä ilmakehä. Mikäli määrätyn suuruinen paine (käytettävän paineen suuruus riippuu materiaalista) saumassa ei laske 5...20 minuutin aikana esimerkiksi yli 10 %, on sauma tiivis. Mikä kuitenkin paineen laskua esiintyy, on vuotokohta etsittävä esimerkiksi puolittamalla koestettavan sauman pituus, kunnes vuoto löytyy. Menetelmä testaa sekä sauman lujuutta, että tiiviyttä /24, 25/.

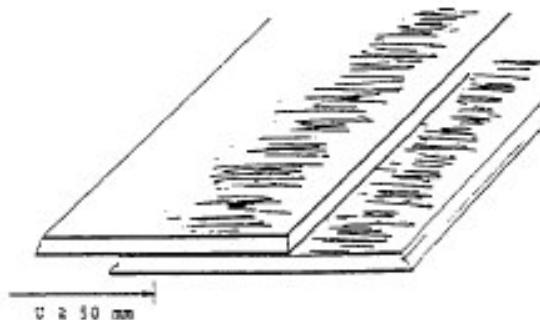


Kuva 28. Kaksoissauman paineistamisen periaate /25/

5.4.6 Silmämääräinen laadunvalvonta

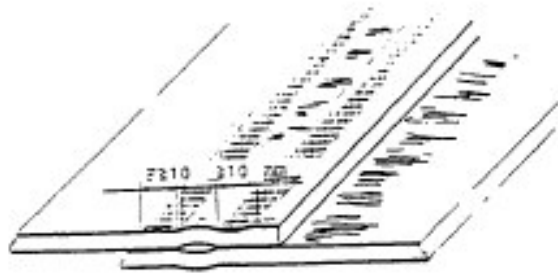
Silmämääräinen laadunvalvonta on osa jatkuvaa valvontaa. Kokenut hitsaaja voi jo silmämääräisesti nähdä, onko hitsattu sauma mahdollisesti hyvä. Tämä ei kuitenkaan ole virallinen menetelmä ja näin ollen edellä mainitut kokeet on suoritettava. Alla on muutamia esimerkkejä ja asioita, joihin tulee kiinnittää huomiota /24, 25/.

Sauman tulee olla puhdas. Kalvoissa ei saa olla syviä naarmuuntumisen jälkiä, palojälkiä yms. Sauman tulee olla tasainen ja sileä. Mikäli saumassa on rypyjä, ei sauma ole vaatimusten mukaisesti hitsattu. Asennettaessa tiivistyskalvoja tulee huomioida myös riittävä limitys /24, 25/.



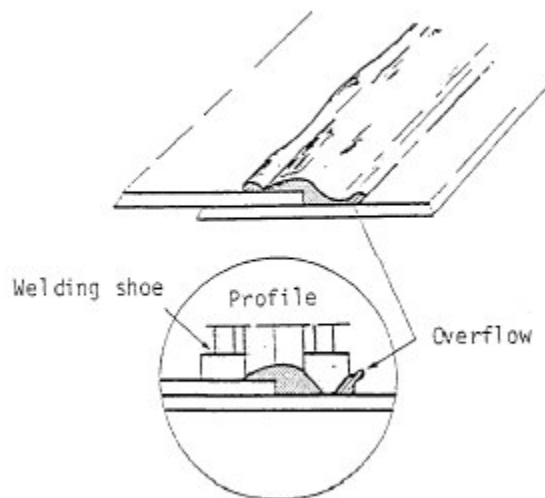
Kuva 29. Sauman ja kalvon puhtaus /24/

Kaksoiskiilasaumoissa tulee huomioida saumauskoneen tekemä jälki. Arvon F, tulee olla ≥ 10 mm molemmin puolen kanavaa. Myös saumojen väliin jäävään kanavan leveyden tulee olla ≥ 10 mm (Kuva 30) /24, 25/.



Kuva 30. Kaksoiskiilasauman detalji /24/

Ekstruusiossauman (pursotesauma) tulee muodostaa sauman molemmin puolen yhtenevän siistin nauhan. Huomiota tulee kiinnittää nauhan eheyteen sekä sulamisen jälkeen /24, 25/.



Kuva 31. Ekstruusiossauman kuvaus /24/

Kuivatuskerroksen osalta on valtioneuvoston päätös (VNp 861/97) asettanut vaatimuksen:

- kuivatuskerroksen paksuuden tulee olla tavanomaisen jätteen sekä ongelmajätteen kaatopaikalla vähintään 0,5 m ja
- ohjeellisena käytettävän materiaalin rakeisuusalueena on 4/6...32 mm. Tärkeämpää on kuitenkin vedenläpäisevyyskerroin, jonka on oltava vähintään 10^{-3} .
- suositeltava kerroksen minikaltevuus on putkistoihin päin 3 % ja putkistojen suunnassa 1 % (koskee lähinnä suunnittelijoita).

Keinotekoisien eristeen päälle levitetään 0,5 m paksu kuivatuskerros. Kuivatuskerrokseen käytettävän materiaalin on oltava rakeisuudeltaan 4/6...32 mm. Kuivatuskerroksen levityksessä on huomioitava alapuolisen tiivisterrakenteen vaatimat suojaetäisyydet. Kerroksen asennetaan salaojaputket tehostamaan rakenteen toimivuutta. Mikäli kuivatuskerroksessa käytetään mursketta tulee kuivatuskerroksen yläpintaan asentaa suodatinkangas n. 150 mm:n etäisyydelle kuivatuskerroksen lopullisesta pinnasta.

Sala- ja suotosalaojakerroksen levittäminen tehdään kahtena tai useampana kerroksena, ottaen huomioon alapuolisen kerroksen asettamat vaatimukset. On tärkeätä muistaa kun kerrosta levitetään, ettei tiivistetä kerrosta. Tästä syystä johtuen on hyvä huolehtia ajokaluston liikkumisesta kerroksen päällä ja välttää tarpeetonta liikkumista, sekä on hyvä merkitä kulkuväylä raskaalle kalustolle.

Kuivatuskerroksen vaatimuksia on esitetty liitteenä 7 Tarastenjärven jäteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma.

Alla (taulukko 8.) on lueteltu kuivatuskerroksesta tehtävät tutkimukset sekä tarkasteltavat laatutekijät:

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Samuli Penttinen

Taulukko 8. Kuivatuskerroksen tutkimukset.

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Kerrospaksuus	+ 50mm	Tasolaser/ taky- metri	10m x 10m
Rakeisuus	KT 02: 23701	Seulonta	5 kpl

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Tähän työhön on koottu tällä hetkellä kaatopaikkarakentamisessa käytetyt yleiset laadunvalvontamenetelmät menetelmäkuvauksineen ja ohjeellisine arvoineen.

Laadunvalvonta on kaatopaikkoja rakennettaessa aivan eri luokkaa kuin muussa maanrakentamisessa. Verrattuna ”normaaliin” maan tai tien rakentamiseen, voi yllätyksiä tulla esimerkiksi:

- kustannukset (huomattavasti korkeammat kuin normaalisti)
- aikataulu (odotettava laboratoriotuloksia yms.)
- laatusuunnitelmien hyväksyttämismenettely (pilkun tarkkoja kommentteja ja monella kierroksella)

Huomion arvoista on myös, että on olemassa paljon kirjoittamatonta tietoa kaatopaikkarakentamisesta (esim. suhteutuksesta ja työmenetelmistä). Näiden kirjoittamattomien asioiden selville ottaminen vaatii helpoimmillaan kuukausien ja jopa vuosien kävelemisen kokeneen rakentajan kannoilla. Vaikeimmillaan asioiden oppiminen maksaa miinusmerkkisen tuloksen.

Alla olevissa taulukoissa (Taulukot 9 ja 10) on koottu yhteen yleisimpien kaatopaikkarakentamisen laadunvalvontatutkimuksia. Koska kaatopaikkoja voidaan rakentaa hyvin erilaisista materiaaleista, on vaadittavia tutkimuksia erilaisia ja käytettävät sekä suositeltavat menetelmät voivat vaihdella käytettävästä/ tutkittavasta materiaalista riippuen.

ENNAKKOKOE

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Maabentoniitin runkoaine, rakeisuus	# 0-32 mm, hienoaines	Kuiva- ja pesuseulonta	5 kpl
Maabentoniitin runkoaine, vesipitoisuus		Uunikuivaus	5 kpl
Maabentoniitin runkoaine, tiivistyminen	Maksimi kuivatil. Paino	Proctor	5 kpl, eri vesipitoisuudella
Bentoniitti, montmorillonitiipitoisuus	KA ≤ 70%, -20 %	XRD- koe	2 kpl
Bentoniitti, paisumisindeksi	24 ml/2g	ASTM D 5890	2 kpl
Maabentoniitti, vedenläpäisevyys	$K \leq 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	ASTM D 5084-00	2 kpl, valitulla bentoniitti %:lla, runkoaineella ja 2 tiiveydellä

KOERAKENNE

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Runkoaineen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen ± 4 %	Uunikuivaus laboratoriossa	1 kpl
Runkoaineen rakeisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Seulonta	1 kpl
Maabentoniittimassan tiivistyvyys	Ennakkokokeiden mukainen	Proctor	3 kpl
Maabentoniittimassan kosteus	ennakkokokeiden mukainen ± 4 %	Uunikuivaus laboratoriossa	5 kpl
Maabentoniittimassan bentoniittipitoisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Sekoitusaseman sekoitusraportti	Jatkuva
Maabentoniittimassan vedenläpäisevyys	$k \leq 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	Laboratoriomittaus	2 kpl
Koerakenteen tiiveysaste	Ennakkokokeiden mukainen	Troxler, vertailuarvon tarkistus, mittalaitteen kosteuskorjaus	5 kpl
Koerakenteen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen ± 4 %	Troxler	5 kpl
Koerakenteen kerrospaksuus	500 mm +100 mm	Takymetri/ koekuoppa	2m x 2m
Koerakenteen tasaisuus	Ei vettä kerääviä painanteita, ei yli 4mm:n kohoumia	Visuaalinen	Jatkuva
Koerakenteen korkeusasema		Takymetri	2m x 2m, luiskien taitepist. 5 m välein

ALUSRAKENNE

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Leikkauspohja ja täyttö	z: ± 20 mm	Takymetri	10m x 10m
Kantavuus	45 MN/m ²	Loadman/ levykuorimituskoe	1/500 m ² ja 1/1000 m ²
Pistemäinen kohouma	± 20 mm	Oikolauta 4m	Jatkuva
Avo-ojien pohjat ja reunat		Takymetri	5m
Suodatinkangas	Neulasidottu ja luokiteltu	Tuotetiedot: TYLT	Jatkuva

TIIVISTYSKERROS

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Runkoaineen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4 \%$	Uunikuivaus laboratoriossa	1/500 itdm ³
Runkoaineen rakeisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Seulonta	1/500 itdm ³
Maabentoniittimassan tiivistyvyys	Ennakkokokeiden mukainen	Proctor	1/5000 tn
Maabentoniittimassan rakeisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Pesuseulonta	1/250 m ³
Maabentoniittimassan kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4 \%$	Uunikuivaus laboratoriossa	1/250 m ³
Maabentoniittimassan bentoniittipitoisuus	Ennakkokokeiden mukainen	Sekoitusaseman sekoitusraportti	Jatkuva
Maabentoniittimassan vedenläpäisevyys	$k \leq 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	Laboratoriomittaus	1/3000 m ²
Rakenteen tiiveysaste	Ennakkokokeiden mukainen	Troxler	1/250 m ² molemmat kerrokset
Rakenteen kosteus	Ennakkokokeiden mukainen $\pm 4 \%$	Troxler	1/250 m ² molemmat kerrokset
Rakenteen kerrospaksuus	500 mm +100 mm	Takymetri/ koekuoppa	1/500 m ²
Rakenteen tasaisuus	Poikkema ≤ 20 mm, valmiissa pinnassa ei yli 2 mm:n pistemäisiä kohoumia	4m:n oikolauta	Jatkuva
Rakenteen korkeusasema		Takymetri	10m x 10m, luiskien taitepisteet 10 m.n välein

KUIVATUSKERROS

LAATUTEKIJÄ	VAATIMUS	MENETELMÄ	TIHEYS
Kerrospaksuus	+ 50mm	Tasolaser/ takymetri	10m x 10m
Rakeisuus	KT 02: 23701	Seulonta	5 kpl

1. Aho, S. 2004. Sorateiden kelirikkokorjausten toimivuus ja elinkaarikustannukset. Tampereen teknillinen yliopisto.
2. Craig, R.F. 1997. Soil Mechanics, Sixth edition. Department of Civil Engineering, University of Dundee UK
3. Ehrola, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet
4. Geosynthetic Research Institute, 2003. GRI Test Method GM 19. 2003
5. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, INSKO. Pohjatutkimukset. Insinööritieto 1980.
6. Jauhiainen, P. Törnqvist, J. ICT-koe tien rakennekerros materiaalien deformaatioherkkyyden määrittämisessä. Tiehallinnon selvityksiä 63/2001, TIEHALLINTO 2001
7. Mroueh, U-M. Vahanne, P. Eskola, P. Pasanen, A. 2004. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2004.
8. Päällystealan neuvottelukunta, PANK. 2002. Kantavuuden mittaus, Loadman. 2002
9. Rantamäki, M. Jääskeläinen, R. Tammirinne, M. Geotekniikka, 1979. Otatieto. Oy Yliopistokustannus. 2001.
10. Salmenperä, H. 1999. Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Geoinformatiikka. 1999.
11. Siika, T. 2006. Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus. EVTEK-ammattikorkeakoulu, Kemiantekniikan koulutusohjelma, 2006
12. Spooft, H. Petäjä, S. 2000. Pudotuspainolaitemittaus. VTT Yhdyskuntatekniikka, 2000.
13. Suomen geoteknillinen yhdistys ry ja Rakentajain Kustannus Oy 1985. Geotekniset laboratorio- ohjeet
14. Suomen ympäristökeskus, 2001. Kaatopaikkojen lopettamisopas, 2001.
15. Suomen ympäristökeskus, 2002. Kaatopaikan tiivistysrakenteet, 2002
16. Tammirinne, M. Juvankoski, M. Laaksonen, R. Rathmayer, H. 2004. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden ja -materiaalien tuotehyväksyntä. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2004.

17. Tammirinne, M. Juvankoski, M. Laaksonen, R. Rathmayer, H. 2004. Pohjave-
densuojusrakenteiden käyttöikämitoitus ja tuotehyväksyntä. VTT Rakennus- ja
yhdyskuntatekniikka, 2004.
18. Technical Description of falling weight deflectometer, Kuab 50, 2006.
19. Tieliikelaite, 1994. Rakentamisen laadunvarmistus. Geokeskus, 1994.
20. Wahlström, M. Laine- Ylijoki, J. Eskola, P. Vahanne, P. Mäkelä, E. Vikman, M.
Venelampi, O. Hämäläinen, J. Frilander, R. 2004. Kaatopaikkojen tiivistysraken-
nemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus.
VTT 2004
21. Valtioneuvostonpäätös, VNP 861/97.
22. Viljanen, J. Kantavuuden mittaus levykuormituslaitteella. Tieliikelaite.
23. www.gseworld.com , Application Sheet, GSE Installation Services.
24. www.gseworld.com, GSE StudLiner, Cast-In-Place Installation Procedures.
25. www.geomembranes.com

LIITE 1. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Ennakkokokeet

LIITE 2. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Ennakkokoeraportti.

LIITE 3. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Koekenttä

LIITE 4. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Koekenttäraportti.

LIITE 5. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Maanleikkaus

LIITE 6. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Mineraalinen tiivistyskerros

LIITE 7. Tarastenjärven jätteenkäsittelykeskuksen laajennuksen I- vaiheen, työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, Kuivatuskerros