



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Ympäristörakentaminen

INSINÖÖRITYÖ

LEMPOLAN KAATOPAIKKARAKENTEN KORJAUS JA LAADUNVARMISTUS

**Työn tekijä: Timo Mustajärvi
Työn valvoja: Anu Ilander
Työn ohjaaja: Janne Tikkamäki**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Anu Ilander
lehtori**

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Timo Mustajärvi	
Työn nimi: Lempolan kaatopaikkarakenteen korjaus ja laadunvarmistus	
Päivämäärä: 19.9.2008	Sivumäärä: 44 s. + 8 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Ympäristörakentaminen
Työn ohjaaja: Lehtori Anu Ilander	
Työn ohjaaja: Projektipäällikkö Janne Tikkamäki	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Työyhteisliittymä E18:lle. Työssä käsiteltiin E18 Muurla-Lohja -tiehankkeeseen liittyvän Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalueen pohjarakenteen rakentamista, rakennustyönaikaisen vaurioitumisen syitä ja rakenteen korjaustoimenpiteitä. Työn yhtenä osana oli korjaustyön laadunvarmistuksen suorittaminen.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä kaatopaikkojen rakentamisprosessiin ja kaatopaikan eri rakenteiden toimintaperiaatteisiin. Tämän jälkeen esiteltiin tutkimuksen kohteena oleva Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue ja käytiin vaiheittain läpi pohjarakennustöiden suoritus sekä täyttövaiheessa tapahtunut pohjarakenteen sortuminen.</p> <p>Työn tuloksena tehtiin pohjarakenteen vaurioitumisen syiden analysointi, esiteltiin korjaustyön vaiheet sekä korjaustyöstä laaditut toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmat. Työn perusteella kaatopaikkarakenteiden käytännön rakennustöistä saadaan yksityiskohtaista tietoa ja työn tulosten perusteella mahdollisiin vaurioitilanteisiin samankaltaisissa kohteissa pystytään varautumaan paremmin tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat: Ongelmajätteen kaatopaikka, pohjarakenteen korjaus, kaatopaikan laadunvarmistus	

ABSTRACT

Name: Timo Mustajärvi	
Title: Restoration and Quality Control of Lempola Landfill.	
Date: 19 th of September 2008	Number of pages: 44 + 8 App.
Department: Civil Engineering	Study Programme: Environmental Construction Engineering
Instructor: Anu Ilander, Senior Lecturer	
Supervisor: Janne Tikkamäki, Project Manager	
<p>This graduate study was made for Työyhteennlittymä E18. The study examines the construction, restoration and quality control of the base sealing of Lempola landfill. The construction of Lempola's landfill is part of the E18 Muurla-Lohja motorway project.</p> <p>The study's first phase was to familiarize with the construction process and the common structures of landfills. In the second phase, the Lempola landfill area was introduced and the construction stages of the base sealing were described, along with the collapse that the base sealing suffered during the construction.</p> <p>As a result of the study an analysis of the damage and its causes is described along with the stages of the base sealing's restoration. The study also includes a description of the implementation plans of each stage of the restoration. On the basis of the study, one can prepare better for possible damages in similar projects. The study also brings forward useful information about the construction of landfills.</p>	
Keywords: Landfill, the restoration of base sealing, quality control	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	KAATOPAIKKA	2
2.1	Kaatopaikka yleisesti	2
2.2	Kaatopaikan ympäristövaikutukset	2
2.2.1	<i>Kaatopaikkakaasu</i>	2
2.2.2	<i>Kaatopaikkavedet</i>	3
2.2.3	<i>Kaatopaikasta aiheutuvia muita haittoja</i>	4
2.3	Kaatopaikan perustaminen	4
2.3.1	<i>Sovellettavat lait ja määräykset</i>	4
2.3.2	<i>Ympäristöluvan edellytykset</i>	5
2.3.3	<i>Kaatopaikalle asetettavia yleisiä vaatimuksia</i>	6
3	KAATOPAIKAN RAKENTEIDEN SUUNNITTELU- JA TOIMINTAPERIAATTEET	8
3.1	Suunnittelussa käytettävä varmuustaso	8
3.2	Pohjarakenne	8
3.2.1	<i>Alusrakenne</i>	9
3.2.2	<i>Mineraalinen tiivistyskerros</i>	10
3.2.3	<i>Keinotekoinen eriste</i>	11
3.2.4	<i>Kuivatus- ja suodatinkerros</i>	11
3.3	Pintarakenne	12
3.3.1	<i>Esipeittokerros</i>	13
3.3.2	<i>Kaasunkeräyskerros</i>	13
3.3.3	<i>Tiivistyskerros</i>	13
3.3.4	<i>Kuivatuskerros</i>	14
3.3.5	<i>Pintakerros, kasvukerros ja kasvien istutus</i>	14
3.4	Mitoitusmenetelmät	15
3.4.1	<i>Vakavuus</i>	15
3.4.2	<i>Muodonmuutokset</i>	16
3.4.3	<i>Maapohjan kantavuus</i>	16
3.4.4	<i>Routa ja jäätyminen</i>	17
4	LEMPOLAN PILAANTUNEIDEN MAIDEN LOPPUSIJOITUSALUE	18
4.1	Yleistä	18
4.1.1	<i>Taustaa</i>	18
4.1.2	<i>Rakennuskohde</i>	18
4.2	Jäteluokitus	19

4.3	Alus- ja pohjarakenteen rakennustöiden suoritus	19
4.3.1	<i>Pintamaan poisto ja välivarastointi</i>	19
4.3.2	<i>Pohjanvahvistus ja reunapenkereen rakentaminen</i>	19
4.3.3	<i>Pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen</i>	21
4.3.4	<i>Geomembraanikalvon asennus</i>	23
4.3.5	<i>Kuivatuskerroksen rakentaminen</i>	25
4.3.6	<i>Ongelmajätteen esikäsittely ja jätetäytön suoritus</i>	26
4.4	Pintarakenteen työvaiheet	28
4.4.1	<i>Kaasunkeräyskerros</i>	28
4.4.2	<i>Tiivistävät rakennekerrokset</i>	29
4.4.3	<i>Kuivatus- ja suodatinkerros</i>	29
4.4.4	<i>Pintakerros</i>	30
5	RAKENTEEN VAURIOITUMINEN JA KORJAUS	31
5.1	Rakenteen vaurioituminen	31
5.1.1	<i>Vaurion kuvaus</i>	31
5.1.2	<i>Vaurioitumisen syiden selvitys</i>	31
5.1.3	<i>Vaurion laajuus ja vakavuus</i>	33
5.2	Rakenteen korjaus	33
5.2.1	<i>Alusrakenteen ja reunapenkereen korjaus</i>	34
5.2.2	<i>Mineraalisen tiivistyskerroksen korjaus</i>	35
5.2.3	<i>Keinotekoisien eristeen korjaus</i>	37
6	LAADUNVARMISTUS	39
6.1	Laadunvalvonta	39
6.2	Laadunvarmistusasiakirjat ja -suunnitelmat	39
6.2.1	<i>Laadunvarmistussuunnitelma</i>	39
6.2.2	<i>Toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmat</i>	40
7	YHTEENVETO	41
	VIITELUETTELO	43
	LIITELUETTELO	44

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä käsitellään E18 Muurla-Lohja -tiehankkeen yhteydessä rakennetun Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalueen pohjarakenteen rakentamista ja rakennustyönaikaisen vaurion korjaustoimenpiteitä sekä laadunvarmistusta.

Pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue rakennetaan tulevan Lempolan eritasoliittymän ramppisilmukan keskelle. Loppusijoitusalueelle sijoitettavat pilaantuneet maamassat, jotka ovat pääosin turvetta, ovat peräisin uuden tiealueen alle jäävältä Lempoonsuon ampumarata-alueelta. Ampumarata lakautettiin tiehankkeen takia. Loppusijoitusalue rakennetaan ongelmajätteen kaatopaikan mukaisin suojarakentein.

Loppusijoitusalueen pohjarakenteen rakentaminen aloitettiin kesällä 2007. Pohjarakennekerrosten rakennustyöt etenivät suunnitellusti ja pintarakennekerrosten rakennustyöt oli määrä aloittaa keväällä 2008. Tammikuussa 2008, jätetäyttötyön ollessa käynnissä, huomattiin alueen koillisosassa esi-peittokerroksen sortuma ja sortumaan johtaneita syitä alettiin tutkia. Tutkimukset osoittivat, että alusrakenteena toiminut pohjamaa oli painunut aiheuttaen loppusijoitusalueen reunapenkereen sortumisen ja pohjarakenteen tiivistyskerroksen vaurioitumisen. Jotta pintarakenteen rakennustyöt pystyttäisiin aloittamaan, tuli vaurioituneet pohjarakennekerrokset korjata. Korjaustyön suunnittelu ja toteutus tuli suorittaa todella huolellisesti ottaen huomioon kaikki mahdolliset riskitekijät, sillä vastaavanlaisista korjaustöistä oli todella vähän kokemuksia. Insinööriyön tavoitteena onkin antaa ohjeita vastaavanlaisten vaurioiden välttämiseksi samankaltaisissa projekteissa.

Insinööriyössä käydään yksityiskohtaisesti läpi pohjarakenteen rakentamisen vaiheet ennen sortuman tapahtumista, pohditaan ja analysoidaan rakenteen vaurioitumiseen johtaneita syitä ja käydään läpi korjaustyön vaiheet. Lisäksi työn yhtenä osana on korjaustyön toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmien laatiminen.

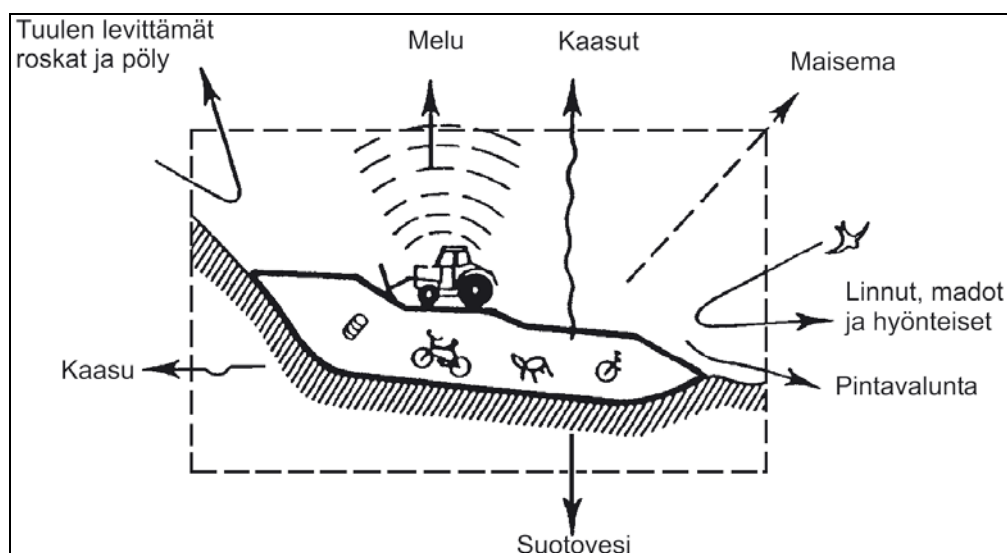
2 KAATOPAIKKA

2.1 Kaatopaikka yleisesti

Kaatopaikka on jätteen loppusijoittamiseen tarkoitettu maa-alue. Kaatopaikat voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, niille sijoitettavan jätteen laadun mukaan. Pääluokat ovat ongelmajätteen kaatopaikka, tavanomaisen jätteen kaatopaikka ja pysyvän jätteen kaatopaikka. Jätteet luokitellaan eri jäteluokkiin niiden sisältämien haitta-ainepitoisuuksien mukaan. Kullekin kaatopaikalle voi läjittää vain niille tarkoitettua jätettä. Samalla kaatopaikka-alueella voi sijaita eri jätteille tarkoitettuja kaatopaikkoja. [6; 7, s.45.]

2.2 Kaatopaikan ympäristövaikutukset

Kaatopaikasta aiheutuu ympäristökuormitusta, mikäli jätetäytössä on liukeneemiselle, kemialliselle muuttumiselle tai hajoamiselle alttiita aineita. Ympäristökuormitus vähenee jätteen hajoamisen myötä, mutta hajoaminen kestää kuitenkin kauan. Orgaanisen aineen hajoamisprosessi kestää noin 35 vuotta ja raskasmetallien kohdalla hajoaminen kestää satoja vuosia. Kuvassa 1 on esitetty toiminnassa olevan kaatopaikan ympäristövaikutukset. [2, s.11.]



Kuva 1. Toiminnassa olevan kaatopaikan vaikutukset ympäristöön [2, s.13]

2.2.1 Kaatopaikkakaasu

Kaatopaikkakaasu syntyy biologisesti hajoavan jätteen, hapettomassa tilassa tapahtuvan hajoamisen tuloksena. Kaasu sisältää lähinnä metaania ja hiilidioksidia, jotka ovat molemmat värittömiä ja hajuttomia kaasuja. Kaatopaik-

kakaasussa esiintyy myös pieninä pitoisuuksina kloori- ja fluorihilivetyjä sekä rikkiyhdisteitä, jotka aiheuttavat kaasulle ominaisen hajun. [2, s.87.]

Biologisen jätteen hajoamisessa syntyvä metaani on maailmanlaajuinen ympäristöongelma. Metaanin hapettuminen alailmakehässä lisää otsonin määrää ja edistää täten ilmastonmuutosta. Hiilidioksidiin verrattuna metaani on ympäristövaikutuksiltaan 21 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu, sillä metaanin säteilyä pidättävä vaikutus on sadan vuoden tarkastelujaksolla havaittu olevan 21 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin. Metaani voi aiheuttaa myös räjähdysvaarallisen seoksen ilman kanssa, mikäli metaanin määrä tilavuudesta on 5-15 %. Tällainen seos voi syntyä, mikäli metaani pääsee kulkeutumaan kaatopaikalla oleviin rakennuksiin. Metaani voi tunkeutua rakennuksiin perustusten, putkistojen tai rikkoutuneiden salaojien kautta. Kaatopaikalla olevien rakennusten suunnittelussa tulisikin huomioida metaanin mahdollinen kulkeutuminen tarvittavilla suojarakenteilla, kuten esimerkiksi tiiviillä ja eristävällä maakerroksella. Hallitsemattomasti purkautuvat kaatopaikkakaasut voivat aiheuttaa myös kaatopaikkapaloja ja vaurioita alueen kasvistolle. [2, s.88-89.]

Kaatopaikkakaasun muodostumiseen vaikuttavat jätteen koostumus, jätepenkereen ja jätteen rakenne, kosteus sekä lämpötila. Mitä suurempi on jätekerroksen paksuus, sitä enemmän kaasua muodostuu. Kaasun muodostumiseen vaikuttavat kiihdyttävästi myös jätepenkereen peittäminen ja maisemointi. [2, s.87.]

2.2.2 Kaatopaikkavedet

Kaatopaikkavedet muodostuvat sadevesien suotautuessa kaatopaikan pintarakenteiden läpi. Kaatopaikkavesien määrä vaihtelee suuresti muun muassa vuodenaikojen, sademäärän ja pakkasten mukaan. Vesien määrä on suurimmillaan kevättulvien aikaan maaliskokuussa ja pienimmillään kesällä. Keväällä kerääntyykin jopa yli puolet koko vuoden kaatopaikkavesien määrästä. Mikäli kaatopaikan pohjarakenteet ovat kunnossa ja vesienkeräys on järjestetty asiallisesti, muodostuu kaatopaikkavesiä keskimäärin 7-16 m³/ha·d. Suljetuilla ja tehokkaasti pintaeristetyillä kaatopaikoilla kaatopaikkavesiä kertyy keskimäärin 3-4 m³/ha·d, mikä on noin 20 % vuosittaisesta sadannasta. [2, s.88-90.]

Yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla kaatopaikkavesien laatu muuttuu ajan kuluessa, kun jätteiden hajoaminen jätetäytössä etenee. Laatuun vaikuttavat eri kerrosten hajoamisvaiheet. Jätteen anaerobisen hajoamisprosessin tärkeimmät vaiheet ovat happovaihe ja metaanivaihe. Jätteiden ollessa happovaiheessa, sisältää kaatopaikkavesi runsaasti biohajoavaa ainetta ja veden pH on alhainen. Haihtuvien rasvahappojen, hiilidioksidin ja vedyn nopea muodostuminen happovaiheessa aiheutuu fermentatiivisten ja asetogeenisten bakteerien toiminnasta. Hajoamisen edetessä toiseen anaerobiseen vaiheeseen eli metaanivaiheeseen, biohajoavan aineen määrä vähenee huomattavasti, sillä suuri metaanin muodostuminen pitää haihtuvien rasvahappojen ja vedyn pitoisuudet pieninä. [2, s.89-92.]

2.2.3 Kaatopaikasta aiheutuvia muita haittoja

Kaatopaikasta aiheutuu myös muita haittoja alueen ympäristölle ja ihmisille. Kaatopaikan toiminnasta aiheutuu melua, ja tuulen mukana ympäristöön voi levitä roskia ja pölyä. Kaatopaikat houkuttelevat paikalle lintuja ja hyönteisiä, joiden mukana voi levitä tauteja. Kaatopaikka on myös esteettinen haitta alueen ympäristölle, sillä se yleensä pilaa alueen maiseman. [2, s.13.]

2.3 Kaatopaikan perustaminen

2.3.1 Sovellettavat lait ja määräykset

Kaatopaikkojen perustamisessa täytyy ottaa huomioon ympäristönsuojelulaisissa 86/2000 ja -asetuksessa 169/2000 annetut määräykset. Ympäristönsuojelulain mukaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava ympäristölupa. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikille uusille kaatopaikoille on haettava ympäristölupa. Lupa-asiat käsitellään alueellisissa ympäristökeskuksissa. [2, s.14-15.]

Kaatopaikkoja koskevat lait ja määräykset:

- Jätelaki (JL) 1072/1993
- Jäteasetus (JA) 1390/1993
- Jätehuoltolaki (JHL) jätelain 77§:n tarkoittamissa tapauksissa
- Ympäristönsuojelulaki (YsL) 86/2000
- Ympäristönsuojeluasetus (YsA) 169/2000
- Laki ympäristönsuojelulainsäädännön voimaannpanosta (LysL) 113/2000

- Valtionneuvoston päätös kaatopaikoista (VNp) 861/1997 ja sen muutokset 1094/1999 ja 202/2006 [2, s.17.]

2.3.2 Ympäristöluvan edellytykset

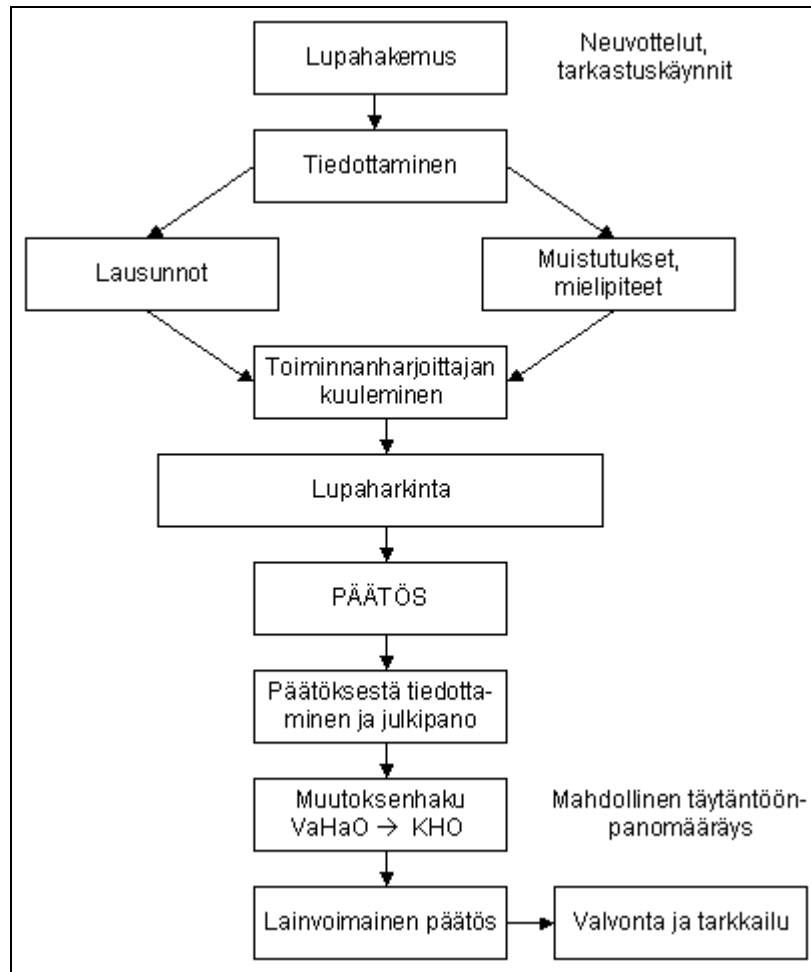
Ympäristölupahakemuksessa tulee olla lupaharkinnan kannalta tarpeellinen selvitys hankkeen toiminnasta, vaikutuksista, asianosaisista ja muista ympäristönsuojeluasetuksessa käsitellyistä asioista. Kaatopaikkaa koskevalle lupahakemukselle on ympäristönsuojeluasetuksessa annettu erikseen lisävaatimuksia. [1, s.39.]

Kaatopaikkaa koskevassa ympäristölupahakemuksessa tulee olla selvitys seuraavista asioista:

- kaatopaikan rakentaminen
- kaatopaikan rakenteet
- kaatopaikan käyttö
- kaatopaikan hoitotoimenpiteet
- kaatopaikan valvonta
- vahinkotilanteisiin varautuminen kaatopaikalla
- kaatopaikan käytöstä poistaminen ja alueen jälkihoito

Lisäksi kaatopaikkatoimintaa harjoittavan on asetettava riittävä vakuus tai muu asianmukainen järjestely, jolla varmistetaan kaatopaikkaa koskevien vaatimusten täyttyminen ja toiminnan lopettamisen edellyttämien toimenpiteiden toteuttaminen. Mikäli hanke sijaitsee pohjavesialueella, tulee hakemukseen sisällyttää selvitys pohjaveden muodostumisesta, korkeudesta ja virtauksista. Tämän lisäksi pohjavesialueella sijaitsevan hankkeen ympäristölupahakemuksessa tulee olla selvitys maaperän laadusta, vedenottamoista ja kaivoista sekä pohjaveden suojatoimenpiteistä. [3; 5.]

Ympäristölupahakemus edellyttää yleensä myös Ympäristövaikutusten arviointimenettelyä. YVA-menettelyllä tarkoitetaan prosessia, jossa selvitetään ja arvioidaan hankkeen ympäristövaikutukset ja kuullaan viranomaisia sekä muita tahoja, joihin hanke vaikuttaa. Ympäristölupaa haettaessa tulee YVA-selostus liittää hakemukseen. Hakemukseen tulee liittää myös luonnonsuojelulaissa määritelty arviointi mikäli hanke heikentää valtion Natura 2000 -verkostoon sisällytettyjä alueita. Kuvassa 2 on esitetty ympäristölupakäsittelyn vaiheet. [3; 4.]



Kuva 2. Ympäristölupakäsittelyn vaiheet [16]

2.3.3 Kaatopaikalle asetettavia yleisiä vaatimuksia

Sijainti

Kaatopaikan sijoittamisen lähtökohtana on, että kaatopaikan käytöstä ei aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Kaatopaikan sijoittamisen suunnittelussa tulee huomioida myös se, että kaatopaikan liikenteestä ei saa aiheutua vaaraa tai haittaa ympäristön asutukselle. Tämän lisäksi kaatopaikan toiminnasta ei saa aiheutua maaperän saastumista tai ympäristön roskaantumista. [1, s.17.]

Kaatopaikkavesien hallinta

Kaatopaikan jätetäytöstä suotautuvat kaatopaikkavedet tulee kerätä yhteen salaojitusten ja pumppausten avulla. Mikäli suotovesien haitta-ainepitoisuudet ovat kyseiselle kaatopaikkaluokalle asetettuja ohjearvoja korkeammat, tulee suotovedet puhdistaa ennen johtamista maastoon tai ve-

sistöihin. Haitta-aineiden ohjeavot on esitetty Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista 861/1997 ja sen muutoksissa 1049/1999 sekä 202/2006. Kaatopaikka tulisi rakentaa siten, että kaatopaikkavesien muodostuminen olisi mahdollisimman vähäistä ja vesien aiheuttama kuormitus ympäristölle olisi mahdollisimman pieni. [8.]

Kaatopaikkakaasun hallinta

Jätteiden hajoamisen seurauksena syntyvä kaatopaikkakaasu on kerättävä yhteen kaasunkeräysjärjestelmän avulla. Talteenotettu kaatopaikkakaasu tulisi hyödyntää mahdollisuuksien mukaan. Kaatopaikkakaasua voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai siitä voidaan valmistaa biopolttoainetta. Mikäli kerättyä kaasua ei voida hyödyntää, tulisi se käsitellä polttamalla. Lupa-
viranomaisen voi päätöksellään lieventää kaatopaikkakaasun käsittelyn vaatimuksia. [8.]

3 KAATOPAIKAN RAKENTEIDEN SUUNNITTELU- JA TOIMINTAPERIAATTEET

Kaatopaikan pohjan ja pinnan tiivistysrakenteet ovat toimintatavoitteiltaan ja käyttäytymiseltään eri rakennekerroksista koostuvia kokonaisuuksia, joita kutsutaan monikerrosrakenteiksi. Nämä rakenteet muodostuvat varsinaisesti tiivistävästä rakenneosasta ja sen toimivuuden turvaamiseksi tehtävistä suojarakenteista. Suojarakenteiden päätehtävänä on suojata tiivistävää rakennekerrosta haitallisilta kuormituksilta. Tiivistysrakenteiden suunnittelussa pyritään sovittamaan tiivistys- ja suojarakenteet yhteen niin, että kokonaisuudesta tulee toimiva ja asetetut vaatimukset täyttävä rakenne. Suunnitelmien tulee perustua kulloinkin voimassa oleviin lakeihin, asetuksiin ja rakentamismääräyskokoelmiin sekä hyvää rakennustapaa edustaviin ohjeisiin ja standardeihin. [1, s.46-48.]

3.1 Suunnittelussa käytettävä varmuustaso

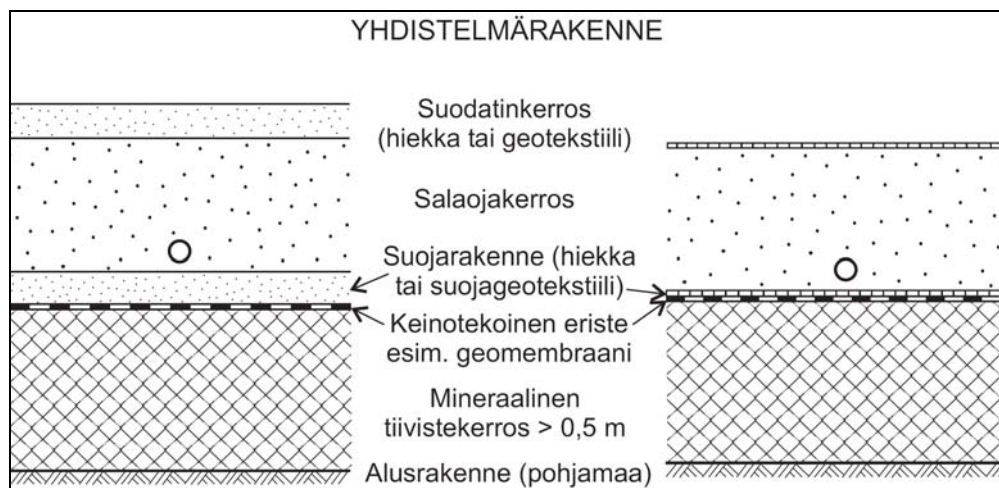
Kaatopaikan rakenneratkaisun valintaan vaikuttaa ensisijaisesti vaadittava varmuustaso. Varmuustasolla pyritään siihen, että rakenteet säilyvät vähintään minimivaatimusten mukaisina koko rakenteen käyttöajan. Kaatopaikkarakenteiden käyttöiälle ei ole asetettu yleisiä ohjeita, vaan käyttöikä määritellään yleensä tapauskohtaisesti ympäristöluvassa.

Yleisesti suunnitteluvarmuutena voidaan käyttää Pohjarakennusohjeen (RIL 121-1988) mukaisia kokonais- tai osavarmuuskertoimia, esimerkiksi pehmeiköillä varmuus sortumista vastaan tulee olla suurempi kuin $F=1,8$. Ongelmajätteen kaatopaikalla tulisi varmuustaso kuitenkin arvioida tapauskohtaisesti. Tarkasteltavia tekijöitä voivat olla poikkeuksellisen suuret kuormat, rakenteen huollettavuuden vaikeus tai erittäin pitkä käyttöikä. Varmuustaso selviää yleensä riskianalyysillä, jossa huomioidaan kohteen mahdolliset erityisolosuhteet. Riskianalyysissä arvioidaan rakenteen käyttöiän puitteissa tapahtuvia mahdollisia vahinkoja ja niistä aiheutuvien seurausten vakavuutta ja korjattavuutta. [1, s.47-52.]

3.2 Pohjarakenne

Kaatopaikan pohjarakenteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon sekä käytön- että rakennustyönaikaiset tilanteet ja kuormitukset. Pohjarakenteen eristäviin kerroksiin eli mineraaliseen tiivistyskerrokseen ja keinoitekoiseen eris-

teeseen kohdistuvia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia rasituksia tulee arvioida rakenteen koko elinkaaren ajalta. Fysikaalisia rasituksia ovat täyttökerroksen ja pintarakenteen paino. Kemiallisella rasituksella tarkoitetaan jätetäytöstä suotautuvien haitta-aineiden vaikutusta eristysrakenteeseen. Biologiset rasitukset syntyvät jätetäytössä tapahtuvan hajoamisprosessin seurauksena. Kuvassa 3 on esitetty kaatopaikan tyypilliset pohjarakennekerrokset. [1, s.52.]



Kuva 3. Kaatopaikan pohjarakennekerrokset [1, s.52]

3.2.1 Alusrakenne

Alusrakenteena toimii tasattu pohjamaa. Alusrakenteen tulee täyttää sille asetetut kantavuus- ja tiivisyvaatimukset, jotta sen päälle voidaan luotettavasti asentaa mineraalinen tiivistyskerros. Alusrakenteen ensisijainen tavoite on siis riittävä kantavuus, joka todetaan levykuormituskokeilla. Alusrakenteen yläpinnalle asetettavat tavoitteet ovat riittävä tiivisyys, jotta mineraalisen tiivistyskerroksen materiaali ei kulkeudu alusrakenteeseen, sekä tasaisuus. [1, s.53.]

Kaatopaikan suositeltavia rakennuspohjatyypppejä ovat kitkamaa ja kallio. Pehmeiköille ei pääsääntöisesti saa kaatopaikkaa perustaa. Kaatopaikan perustaminen pehmeikölle on kuitenkin mahdollista, mikäli kyetään osoittamaan, että kokoonpuristuva pohjamaa ei käyttötilassa haittaa suotovesien keräilyjärjestelmän toimintaa tai aiheuta vaurioita tiivistysrakenteisiin. Pehmeiköille rakennettaessa tulee varmuuden sortumista vastaan olla aina suurempi kuin $F=1,8$. Pehmeiköille rakentaminen edellyttää aina myös täyttösuunnitelman laatimista. Täyttösuunnitelmassa esitetään, miten jätetäyttö

suoritetaan aiheuttamatta pohjan sortumista tai haitallisia painumia rakenteissa. Kitkamaalle tai kalliolle perustettaessa ei maapohjan kantavuus yleensä aiheuta ongelmaa. Ongelmia voi aiheuttaa kuitenkin esimerkiksi moreenille rakennettaessa routivuus sekä kalliolle rakennettaessa kallion rakoilu ja ruhjeisuus. [1, s.44-45.]

3.2.2 *Mineraalinen tiivistyskerros*

Mineraalisen tiivistyskerroksen toiminnallisena tavoitteena on haitta-aineiden suotautumisen ja diffuusion minimoiminen. Diffuusio on kulkeutumisprosessi, jossa kaasumaiset ja nestemäiset aineet pyrkivät kulkeutumaan suuremmasta pitoisuudesta pienempään. Mineraalisella tiivistyskerroksella voi olla myös merkitystä haitta-aineita, kuten esimerkiksi raskasmetalleja sitovana kerroksena. Sitomiskykyyn vaikuttavat mineraaliaineksen savimineraalit, ioninvaihtokyky, ominaispinta-ala sekä vallitsevat olosuhteet. Mineraalisen tiivistyskerroksen kestävyuden arvioinnissa tulee ottaa huomioon kaatopaikan suotoveden vaikutus. Suotoveden sisältämien haitta-aineiden kemialliset ominaisuudet voivat vaikuttaa haitallisesti savimineraalien paisumis- ja plastisuusominaisuuksiin. Vaikutusta arvioidaan erilaisten parametrien, kuten esimerkiksi lämpötilan, kemiallisen hapen kulutuksen ja orgaanisen hiilen määrän avulla. Parametrien perusteella arvioidaan hiilivety-yhdisteiden liukoisuutta veteen ja vaikutusta mineraaliseen tiivistysmateriaaliin. [1, s.12, 54-55, 71-72.]

Rakennetun mineraalisen tiivistyskerroksen materiaaleina käytetään yleensä kivennäismaa-aineita, joiden vedenläpäisevyyttä pienennetään lisäaineilla. Kivennäismaa-aines voi olla esimerkiksi savea, silttiä tai hiekkamoreenia. Vedenläpäisevyyttä pienentävänä lisäaineena käytetään yleisimmin bentoniittia. Bentoniitti (kuva 4) on luonnossa esiintyvä savi, joka sisältää 70-90% montmorilloniittisavimineraalia. Bentoniitin käyttö perustuu sen kykyyn paisua moninkertaiseksi kastuessaan. [1, s.54-55.]



Kuva 4. Bentoniittisavi [9]

3.2.3 Keinotekoinen eriste

Keinotekoisien eristeiden tarkoituksena on täydentää mineraalista tiivistyskerrosta pidättämällä haitta-aineita ja tehostamalla suotovesien keräilyä. Keinotekoisena eristeenä käytetään yleensä geomembraania. Geomembraani on ohut ja taipuisa tiivistyskalvo, joka valmistetaan kemiallisesta kestävästä materiaalista, kuten polymeereistä tai bitumista. Geomembraani tulisi saumata hitsaamalla, ja asennusteknisistä syistä johtuen tulisi kalvon paksuuden olla vähintään 2,0 mm. [1, s.12-13, 55-57.]

Keinotekoinen eriste suojataan suojakerroksella tai -kankaalla. Suojakerroksen tehtävänä on jakaa yläpuolisista kerroksista aiheutuvia mekaanisia kuormituksia, jotta niistä ei aiheutuisi pysyviä muodonmuutoksia keinotekoiseen eristeeseen. Suojarakenne myös suojaa kalvoa jätepenkereessä kehittyvältä lämmöltä. Suojarakenne voidaan tehdä esimerkiksi mineraaliaineksesta tai neulasidotusta geotekstiilistä. [1, s.55-57.]

3.2.4 Kuivatus- ja suodatinkerros

Kuivatuskerros käsittää salaojakerroksen ja -putkistot. Salaojitusjärjestelmän tehtävänä on kerätä ja poistaa jätetäytöstä kertyvät suotovedet ja vähentää alemmille rakenteille kohdistuvaa vesipainetta. Vesipaine saa kohota enintään 1000 mm tiivistysrakenteen yläpinnan yläpuolelle. Salaojakerros rakennetaan salaojasorasta tai -murskeesta. Salaojakerroksen vedenläpäisevyyskerroimen tulee olla vähintään 10^{-3} m/s ja salaojasoran ohjeellinen rakeisuus on #16...32 mm. Salaojakerroksen materiaalin tulee kestää suotoveden aiheuttaman kemiallisen rasituksen rapautumatta. Materiaalin tulee myös kes-

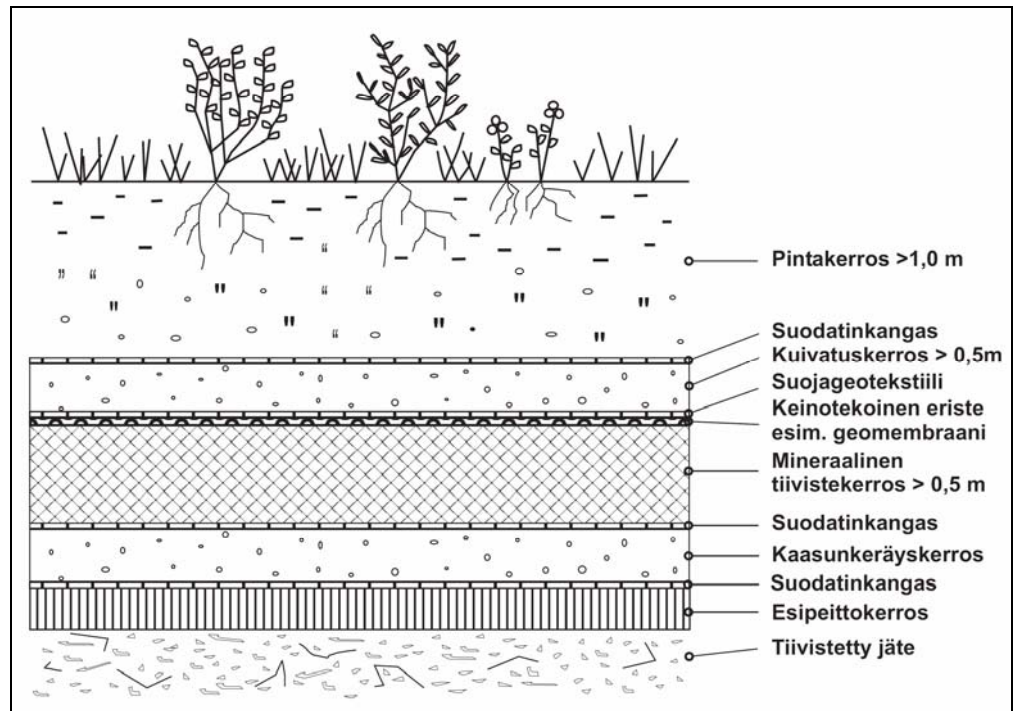
tää murskaantumatta ja rakeisuuden muuttumatta siihen kohdistuvat kuormitukset, kuten työkoneiden ja täyttökerrosten painon. Salaojakerroksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös alempien rakennekerrosten mahdolliset tulevat painumat. [8; 1, s.57-58.]

Salaojakerroksen ja jätetäytön väliin rakennetaan suodatinkerros. Suodatinkerroksen tarkoituksena on estää jätteen sisältämän kiintoaineksen kulkeutumista salaojakerrokseen, ja näin estää salaojakerroksen mekaanisen tukkeutumisen. Suodatinrakenne on tarpeen erityisesti silloin, kun jätetäytössä on hienorakeisia materiaaleja, kuten esimerkiksi tuhkaa. Suodatinkerros tehdään maa-aineksesta tai suodatinkankaasta. [1, s.58.]

3.3 Pintarakenne

Kaatopaikan pintarakenne rakennetaan jätetäytön saavutettua lopullisen korkeutensa. Ennen pintarakenteen tekemistä on jätetäyttö muotoiltava siten, että pintakallistukset ovat riittävät pintakuivatusta silmälläpitäen ja toisaalta tarpeeksi loivat, jotta riittävä stabiliteetti saavutetaan. Jätetäytön pinnan suositeltava vähimmäiskaltevuus on 5 %. Jätetäyttö voidaan lisätiivistää tarvittaessa. [1, s.58-59.]

Pintarakenteen tehtävänä on estää sade- ja pintavaluntavesien imeytyminen jätetäyttöön ja näin vähentää suotovesien muodostumista ja haitta-aineiden kulkeutumista ympäristöön. Kaatopaikan lopullinen pintakerros suunnitellaan maisemointitarpeen mukaan. Kuvassa 5 on esitetty kaatopaikan tyypilliset pintarakennekerrokset. [1, s.59-60.]



Kuva 5. Kaatopaikan pintarakennekerrokset [1, s.60]

3.3.1 Esipeittokerros

Esipeittokerroksen tehtävänä on estää jätteen sekoittuminen sen yläpuolelle rakennettavan mineraalisen tiivistyskerroksen kanssa, sekä jakaa yläpuolisia kuormia tasaisesti alempiin kerroksiin. Esipeittokerros toimii myös kaasun johtamisessa kaasunkeräyskerrokseen. Esipeittokerros tehdään jätetäytön päälle, helposti työstettävissä olevasta luonnonmaa-aineksesta, kuten esimerkiksi moreenista. Kerroksen paksuuden tulisi olla vähintään 300 mm. [1, s.60.]

3.3.2 Kaasunkeräyskerros

Kaasunkeräyskerros tehdään karkeasta lajittuneesta kiviaineksesta, kuten sorasta tai murskeesta. Kerroksen tehtävänä on johtaa jätetäytössä muodostuva kaasu kaasunkeräilyverkostoon. Kaasunkeräyskerroksen suositeltava minimipaksuus on 300 mm. Jos ongelmajätteen kaatopaikalle läjitettävä jäte ei muodosta kaasua, kaasunkeräyskerrosta ei tarvita. [1, s.61.]

3.3.3 Tiivistyskerros

Pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen suunnittelussa ja toteutuksessa käytetään samoja periaatteita kuin pohjarakenteen mineraalisessa tiivistysrakenteessa (ks. kpl 3.2.2). Pintarakenteen tiivistyskerroksen ensisijai-

sena tehtävänä on vähentää sadevesien imeytymistä jätetäyttöön, joten rakenteen suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota kuivumisen ja painumisen aiheuttamaan halkeiluriskiin. [1, s.61.]

Keinotekoinen eriste täydentää mineraalista tiivistyskerrosta. Pintarakenteen keinotekoisena eristeenä käytetään yleensä, pohjarakenteen keinotekoisena eristeen tapaan, geomembraania. Pintarakenteen keinotekoisena eristeen tehtävänä on estää sadevesien imeytymistä ja tehostaa kaasunkeräilyä. Keinotekoinen eriste sijoitetaan sen ensisijaisen tehtävän mukaan, joko kaasunkeräyskerroksen tai mineraalisen tiivistyskerroksen päälle. Mikäli eristeen päätarkoitus on kaasunkeräyksen tehostaminen, sijoitetaan se kaasunkeräyskerroksen päälle. Tällöin mineraalisen tiivistyskerroksen asennuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, ettei eristettä vaurioiteta työn aikana. Tällöin riskinä on myös se, että mineraalisesta tiivistyskerroksesta suotautuva vesi aiheuttaa keinotekoisena eristeen päälle liukupinnan, mikä voi heikentää oleellisesti pintarakenteen stabiiliteettia. Suositeltava rakennusjärjestys onkin asentaa eriste tiivistyskerroksen päälle, jolloin yläpuolisten vesien johtaminen on tehokkaampaa ja eriste estää myös juurien tunkeutumisen tiivistyskerroksesta. [1, s.61-62.]

3.3.4 *Kuivatuskerros*

Pintarakenteen kuivatuskerros käsittää salaojakerroksen. Pintarakenteen salaojakerroksen vaatimukset ovat pohjarakenteen salaojakerroksen kaltaiset (ks. kpl 3.24). Pintarakenteen kuivatuskerroksen pääasiallisena tehtävänä on alentaa tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa vesipainetta ja johtaa kasvukerroksen läpi suotautuva sadevesi pois rakenteesta. Kuivatuskerroksen suunnittelussa ja rakentamisessa tulee huomioida rakenteen eroosionkestävyys ja liukumisen estäminen luiskissa. Kuivatuskerroksen päälle asennetaan suodatinkerros. [1, s.62.]

3.3.5 *Pintakerros, kasvukerros ja kasvien istutus*

Kaatopaikkarakenteen pintakerros tehdään vettä huonosti läpäisevästä maaineksesta. Kerroksen vähimmäispaksuus on 1,0 m. Pintakerroksen tarkoituksena on edistää pintavaluntaa ja täten vähentää sadevesien suotautumista alempiin rakennekerroksiin. Pintakerros toimii samalla myös mineraalisen tiivistyskerroksen routasuojauksena ja se estää kasvien juurien tunkeutumista alempiin rakennekerroksiin. Rakenteen materiaalin suunnittelussa tulee

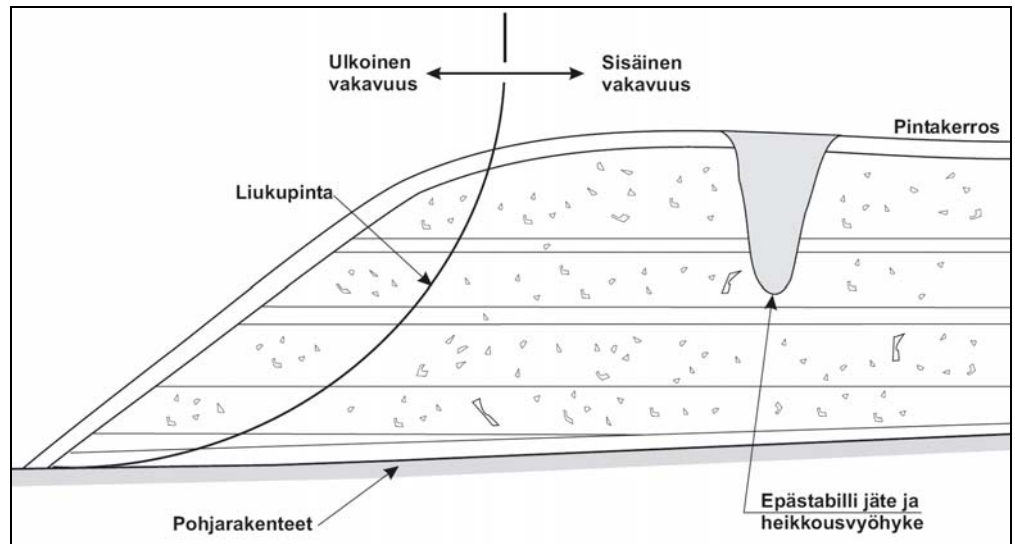
kiinnittää erityistä huomiota materiaalin eroosionkestävyyteen luiska-alueilla. [1, s.62-63.]

Pintakerroksen päälle rakennetaan kasvukerros alueen maisemointitavoitteiden mukaan. Materiaalina käytetään esimerkiksi humusmaata, multaa tai turvetta. Kasvillisuus lisää veden haihtumista, jolloin rakennekerrokseen imeytyvän veden määrä vähenee. Kasvien juuret sitovat maa-aineksia ja vähentävät pintaeroosiota. Istutettavien kasvien valinnassa tulee kuitenkin ottaa huomioon kasvien juurien pituus ja suosia matalajuurisia kasveja, jotta voitaisiin välttyä juurien tunkeutumiselta rakenteen tiivistyskerrokseen. Tarvittaessa juurien tunkeutumisen estämiseksi voidaan rakenteessa käyttää juurimattoa tai geomembraania. [1, s.63.]

3.4 Mitoitusmenetelmät

3.4.1 Vakavuus

Kaatopaikan geoteknisen suunnittelun yhteydessä tehtävien vakavuustarkastelujen tulisi käsittää kaatopaikan kokonaisvakavuuden, sisäisen vakavuuden ja jätetäytön vakavuuden laskelmat. Kokonaisvakavuudella tarkoitetaan kaatopaikan ulkoista vakavuutta. Ulkoisen vakavuuden laskeminen tehdään normaaleja liukupinta-analyysyjä käyttäen ja niiden avulla pyritään varmistamaan, ettei rakenteen oma paino aiheuta alueellisen vakavuuden menettämistä ja vaurioita rakenteen ympäristössä. Sisäisellä vakavuudella tarkoitetaan koko rakenteen koossapysymistä. Sisäisen vakavuuden laskelmissa tulisi erityisesti huomioida mineraalisen tiivistyskerroksen ja keinotekoisien eristeiden muodostamaa liukupintaa. Kuvassa 6 on esitetty kaatopaikan ulkoisen ja sisäisen vakavuuden periaate. [1, s.63-64.]



Kuva 6. Kaatopaikan ulkoinen ja sisäinen vakavuus [2, s.86]

3.4.2 Muodonmuutokset

Valittaessa kaatopaikan pohjarakennetkaisuja ja käytettäviä materiaaleja tulisi erityisesti pohjamaan painumat ja painumaerot ottaa huomioon. Pohjamaan painuminen voi olla suurta etenkin pehmeiköille rakennetuilla kaatopaikoilla. Pohjamaan käyttötilan muodonmuutokset tavallisissa kuormitustapauksissa voidaan arvioida lineaariseen kimboteoriaan ja konsolidaatioteoriaan perustuvilla laskentamenetelmillä. [1, s.64.]

Pohjarakenteen tiivistyskerroksen osalta tulee tarkistaa, että tiivistysrakenne säilyttää tekniset vaatimukset pohjamaan painumisesta huolimatta. Tiivistysrakenteen stabiliteetilaskelmia varten tulee määrittää mineraalisen tiivistyskerroksen kokoonpuristuvuus, paisuntaominaisuudet ja leikkauslujuus. Mineraalisen tiivistyskerroksen muutoskäyttäytymistä voidaan arvioida ödometri-, paisunta- ja puristuskokeiden avulla. [1, s.70.]

3.4.3 Maapohjan kantavuus

Maapohjan kantavuuden arviointi suoritetaan tasapainomenetelmillä. Yleensä käytetään Mohr-Coulombin murtokriteeriin perustuvia laskentamenetelmiä. Alusrakennetta mitoittaessa tulisi olla tieto jätteen laadusta ja jätepenkereen korkeudesta, jotta tarvittavat laskelmat voidaan suorittaa. Täytön tilavuuspaino vaihtelee täytön laadusta ja penkereen rakentamistekniikasta riippuen 10...16 kN/m³. [1, s.65.]

3.4.4 Routa ja jäätyminen

Roudan vaikutus tulee ottaa huomioon mineraalisen tiivistyskerroksen suunnittelussa, mikäli kaatopaikka on perustettu routivalle maapohjalle, kuten esimerkiksi moreenille. Jotta voitaisiin varmistua tiivistysrakenteen toimivuudesta, on sille asetettu tiukat läpäisevyysvaatimukset ja rakenteiden jäätyminen tulee estää sekä rakentamisvaiheessa että käytön aikana. Rakentamisaikana jäätyminen estetään ajoittamalla työt kesäaikaan. Käytön yhteydessä jäätyminen estetään routaeristetyllä jätekerroksella, mikäli mineraalisen tiivistyskerroksen läpäisevyyttä ei voida todeta luotettavilla kokeilla. [1, s.65.]

4 LEMPOLAN PILAANTUNEIDEN MAIDEN LOPPUSIJOITUSALUE

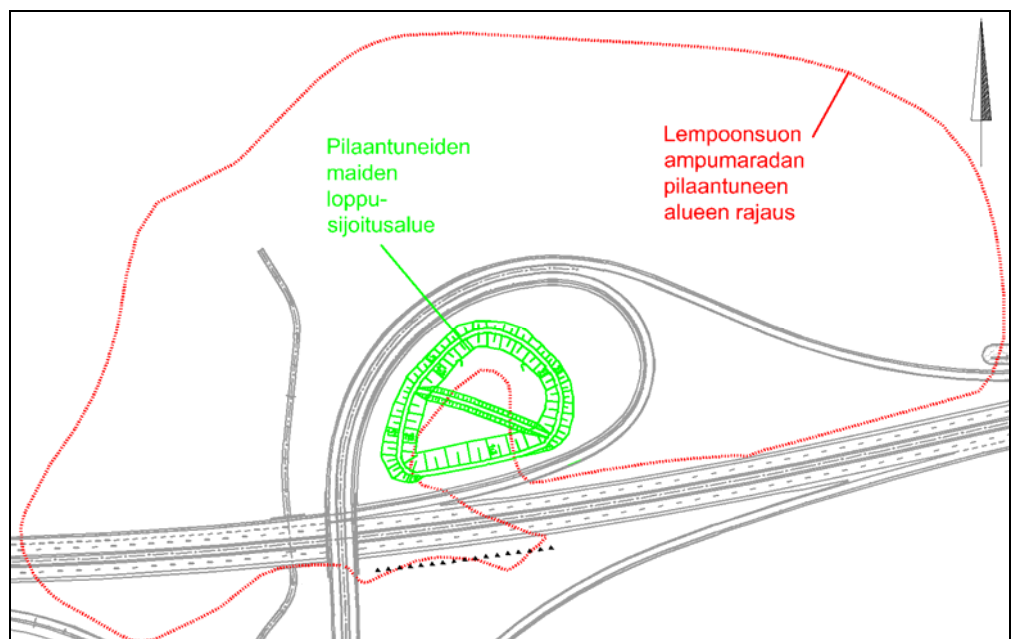
4.1 Yleistä

4.1.1 Taustaa

Lempolan kaupunginosa sijaitsee Lohjan kaupungin koillisosassa. Lempolan alueella on toiminut vuodesta 1964 Lempoonsuon ampumarata. Alueella on ollut hirvirata ja haulikkoratoja. Ampumaradan toiminta lakkautettiin E18-tiehankeeseen takia. Lempoonsuon alueen maaperä on todettu lyijyllä pilaantuneeksi.

4.1.2 Rakennuskohde

Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalueen rakentaminen kuuluu osaksi E18 Muurla-Lohja -moottoritiehanketta. Osa Lempoonsuon entisestä ampumaradasta jäi hankkeessa rakennettavan Lempolan eritasoliittymän alle (kuva 7). Liittymän alle jäänyt pilaantunut maa-aines poistettiin ennen liittymän rakennustöiden aloittamista ja sijoitettiin liittymän ramppisilmukan keskelle rakennettavalle loppusijoitusalueelle. Ramppisilmukan pinta-ala on noin 1,7 ha ja loppusijoitusalueen pinta-ala on noin 1,0 ha. Loppusijoitusalue rakennetaan ongelmajätteen kaatopaikan pohja- ja pintarakenteiden mukaisin suojauksin. [10, s.4.]



Kuva 7. Lempolan eritasoliittymän ramppisilmukka

4.2 Jäteluokitus

Maaperän pilaantuneisuustutkimuksia on tehty kohteessa vuosina 2001 ja 2002. Lisänäytteitä on otettu 1.12.2006 ja 28.2.2007. Lunastetulta tiealueelta on otettu yli 70 maanäytettä. Jäteluokitus on tehty laboratoriokokeiden perusteella, joissa on määritetty maanäytteiden lyijypitoisuuksia. Maanäytteiden koetuloksia on yhteensä 47 kpl, joiden perusteella jäte luokiteltiin tavanomaiseksi tai ongelmajätteeksi nykyisten määräysten mukaisesti (Vna 1128/2001 ja Vna 202/2006). Lyijypitoisuuden alittaessa ongelmajäteraja-arvon 5000 mg/kg, jäte voidaan luokitella tavanomaiseksi jätteeksi ja se voidaan sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Alueella on arvioitu olevan noin 30 000 m³ kunnostettavaa maa-ainesta, josta noin 7000 m³ on luokiteltu ongelmajätteeksi. [11.]

4.3 Alus- ja pohjarakenteen rakennustöiden suoritus

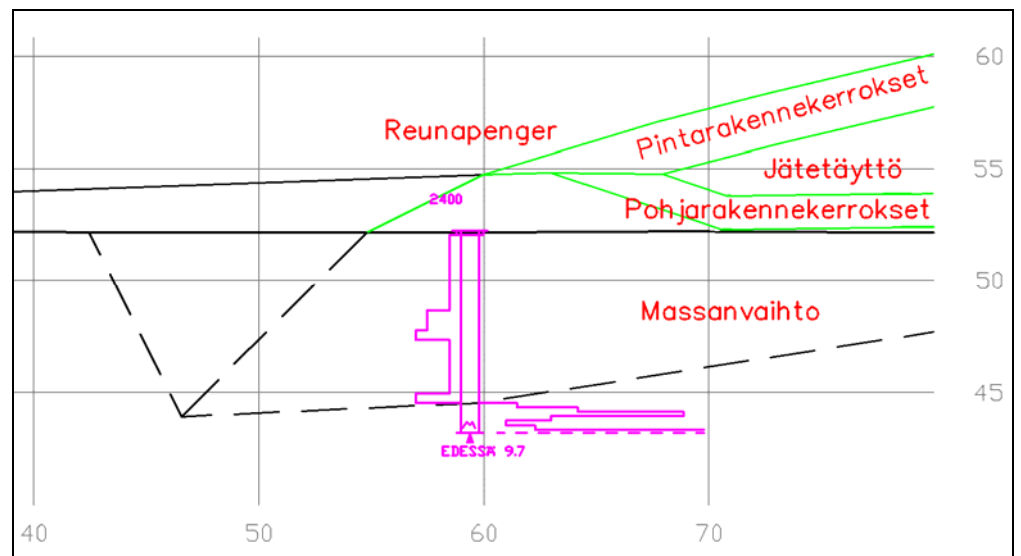
4.3.1 Pintamaan poisto ja välivarastointi

Lempolan loppusijoitusalueen rakentaminen aloitettiin tammikuussa 2007. Työt aloitettiin pilaantuneiden maamassojen poistolla. Liitteessä 1 on esitetty pilaantuneiden maamassojen sijainti ennen rakennustöiden aloittamista. Pilaantuneet maat läjitettiin kahdeksalle eri välivarastointialueelle. Välivarastointialueet sijaitsivat rakennettavalla tiealueella (liite 2), jossa on jo aiemmin ampumaratatoiminnan seurauksena pilaantuneita maa-aineksia. Välivarastointialueiden pohjaa ei suojattu erillisin suojarakentein, sillä välivarastointialueiden pohjalle jääneet maamassat läjitettiin niin ikään loppusijoitusalueelle. Tavanomaiseksi luokiteltu ja ongelmajäte pidettiin erillään välivarastoinnin aikana. Välivarastoidut jäteaumat peitettiin muovikalvoilla pölyämisen ja suotovesien muodostumisen ehkäisemiseksi.

4.3.2 Pohjanvahvistus ja reunapenkereen rakentaminen

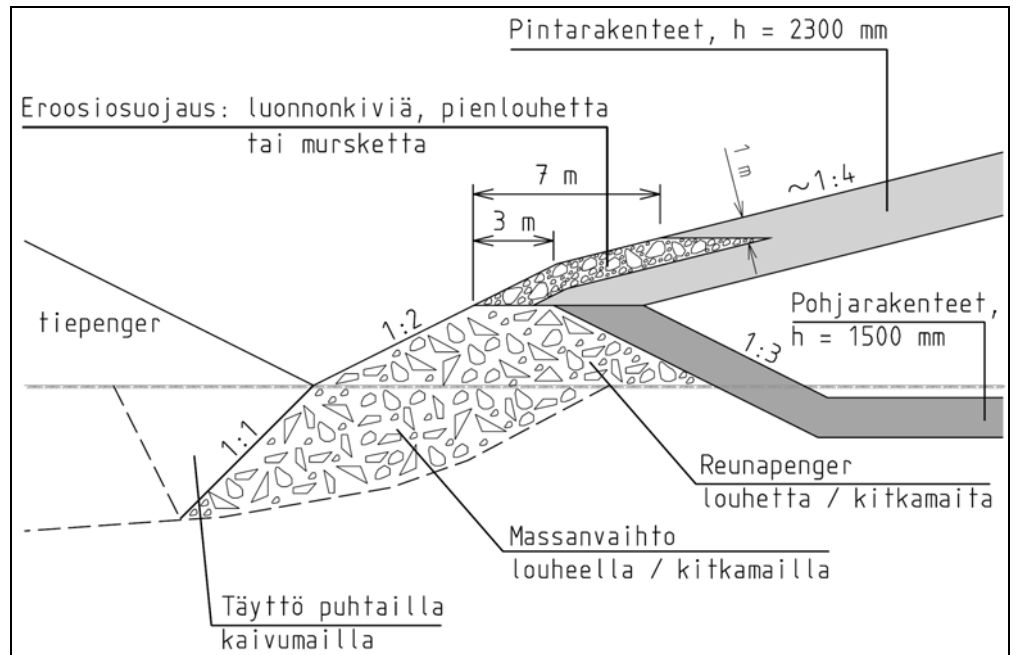
Loppusijoitusalue sijaitsee suoalueella, jonka pintamaa-aines oli pääosin turvetta. Turvetta oli paksuimmillaan 4-5 m, jonka alla oli pehmeää savea syvimmillään 7 m:iin. Savikerroksen alapuolella oli silttikerros ennen moreenia. Pilaantuneiden maiden poiston yhteydessä tulevan tiealueen reunaan tehtiin noin 4 m leveä ja noin 1 m paksu savisulku. Savisulun tarkoituksena oli eristää puhdistettu alue puhdistamattomasta.

Pintamaan poiston jälkeen kohteessa suoritettiin massanvaihto. Massanvaihto tehtiin kaivamalla savikerroksen alapuolella olevan silttikerroksen alapintaan. Kaivu ulottui pohjavedenpinnan alapuolelle, jolloin ylisyvää kaivua pyrittiin välttämään, jottei pohjamaa häiriintyisi kaivun aikana. Savikerrokset korvattiin louheella ja louheen pinta kiilattiin ja tiivistettiin 15 t:n valssijyrällä. Massanvaihto ulottui syvimmillään noin 7 m:iin. Yli 5 m:n syvyinen massanvaihto suoritettiin 5-10 m:n levyisissä lohkoissa. Kuvassa 8 on esitetty poikkileikkaus, jossa näkyy yksi pohjatutkimuspiste ja massanvaihdon ulottuma.



Kuva 8. Poikkileikkaus pilaantuneiden maiden loppusijoitusalueelta

Massanvaihdon jälkeen loppusijoitusalueen ympärille rakennettiin reunapenkereet. Reunapenger teki alusrakenteesta allasmaisen, mikä helpotti jätetäytön rakentamista. Reunapenger toimi myös työnaikaisena työmaatienä. Reunapenkereen rakentamiseen käytettiin louhetta. Penkereen luiskien kaltevuutena käytettiin ulkoluiskassa 1:2 ja sisäluiskassa 1:3. Penkereen luiskat tiivistettiin täryjyrällä. Kuvassa 9 on esitetty reunapenkereen ja alusrakenteen rakennepiirros.



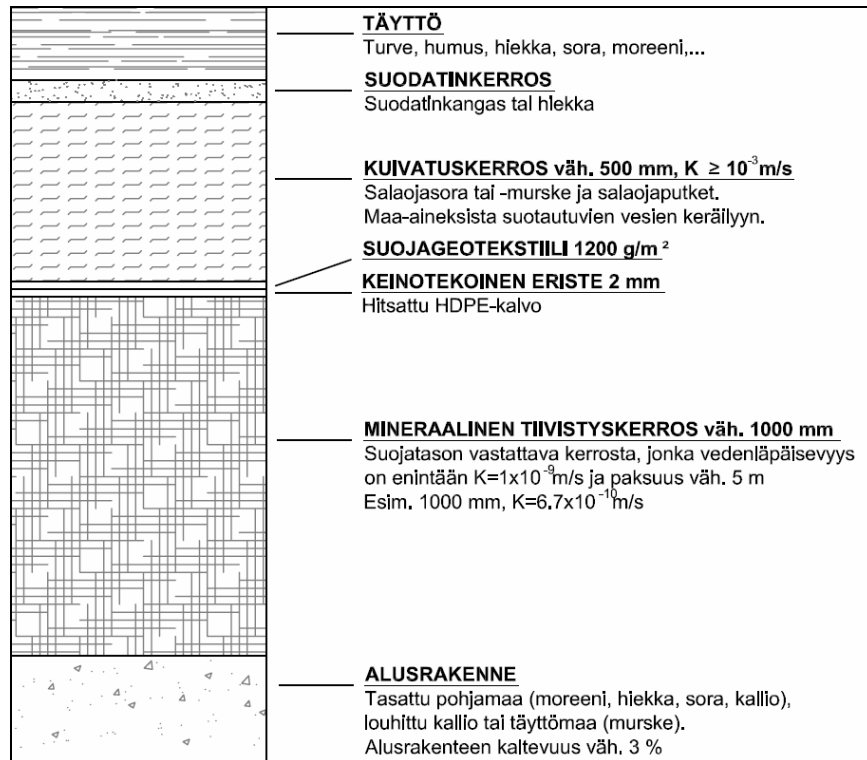
Kuva 9. Reunapenkereen, massanvaihdon, pinta- ja pohjarakenteiden rakenneperiaate [15]

4.3.3 Pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen

Varsinaisen pohjarakenteen rakentamistyöt aloitettiin mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamisella. Rakentamistyöt aloitettiin keväällä 2007. Kuvassa 10 on esitetty pohjarakenteen rakennekerrokset.

Pohjarakenteen mineraalinen tiivistyskerros tuli tehdä asetetut vaatimukset täyttävästä materiaalista. Materiaalin kelpoisuus tuli osoittaa laadunvalvontakokein ennen tiivistyskerroksen rakentamista. Vaatimukset mineraaliselle tiivistyskerrokselle:

- rakenteen kokonaispaksuus vähintään 1,0 m
- alimman kerroksen paksuus korkeintaan 0,5 m
- vedenläpäisevyysvaatimus $k \leq 6,7 \cdot 10^{-10}$ m/s.
- suurin sallittu yksittäinen poikkeama suunnitellusta tasosta ± 100 mm
- suurin sallittu epätasaisuus 4 m:n matkalla ± 40 mm
- ylimmän kerroksen runkoaineen suurin sallittu raekoko 20 mm
- tiivistetyssä pinnassa ei saa olla 20 mm suurempia pistemäisiä kohoumia [10, s.21-24.]



Kuva 10. Pohjarakenteen rakennekerrokset [16]

Pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen rakennusmateriaalina käytettiin vedenläpäisevyysvaatimuksen täyttävää savea. Tiivistysrakenteen tehtiin kerroksittain siten, että pohjakerros tehtiin kahtena 400 mm:n kerroksena ja pintakerros yhtenä 400 mm:n kerroksena. Materiaalien kelpoisuus osoitettiin troxler -mittauksilla ja maanäytteillä.

Tiivistysrakenteen pintakerros tehtiin massastabilointimenetelmää (kuva 11) käyttäen. Pintakerroksen runkoaineena käytettiin savea ja sideaineena yleissementtiä CEM II/A-M (S-LL) 42,4 N. Sementtiä sekoittamalla pyrittiin parantamaan saven kantavuutta ja työstettävyyttä. Ennen varsinaisen tiivistyskerroksen rakentamista suoritettiin koetiivistyskentän rakentaminen, jonka avulla varmistettiin menetelmän soveltuvuus kohteeseen ja arvioitiin sideaineen optimaalinen sekoitussuhde ja -aika. Stabiloitava savi läjitettiin auman muotoon loppusijoitusalueen ympärille reunapenkereen kohtaan. Koestabilointi suoritettiin massastabiloimalla kolme erillistä aumaa. Aumojen suuruudet olivat 70 m³, 49 m³ ja 104 m³. Sideaineen määrä vaihteli koestabilointiaumoissa 30–50 kg/m³. Sekoitus suoritettiin Boart Lonyear 600/100 -sekoitinmyyrällä (kuva 12) varustetulla kaivinkoneella ja sideaineen syöttö tapahtui Allu PF -painesyötintä käyttäen. Ensimmäisen ja toisen aumasekoituksen aikana oli ongelmia sekoitustehon kanssa, sillä käsiteltävä savi oli

varsin sitkeää. Ennen kolmatta koeluontoista aumasekoituksesta kaivinkoneen hydraulikka uudelleenohjelmoitiin sekoitustehon parantamiseksi. Tämän lisäksi sekoitinmyyrään lisättiin pidemmät sekoitinpiikit. Näiden toimenpiteiden avulla sideaineen sekoittuminen saveen parani huomattavasti ja sekoitustyö nopeutui. Optimaaliseksi sideainemääräksi arvioitiin lopulta 30 kg/m^3 . Koestabiloinnista saatujen tulosten perusteella suoritettiin varsinainen massastabilointi samalla menetelmällä.

Stabiloitu savi levitettiin aumasekoituksen jälkeen 400 mm:n paksuiseksi kerrokseksi 800 mm paksun pohjakerroksen päälle. Tiivistyskerroksen kokonaispaksuudeksi tuli näin ollen 1200 mm. Stabiloitu pintakerros tiivistettiin kaivinkoneella yliajamalla ja pinta tasoitettiin valssijyrällä. Valmis pinta peitettiin suojamuovilla, jotta pinnan kuivumisesta aiheutuva halkeilu voitiin minimoida.



Kuva 11. Massastabilointi



Kuva 12. Sekoitinmyyrä

4.3.4 Geomembraanikalvon asennus

Keinotekoisena eristeenä kohteessa käytettiin 2,0 mm paksua ja 9,4 m leveää Naue GmbH:n HDPE-geomembraanikalvoa. Kalvon materiaaliominaisuuksien tuli täyttää Geosynthetic Institute:n julkaiseman GRI GM 13:n asetamat vaatimukset.

Geomembraanikalvo levitettiin kaivinkoneen avulla (kuva 13) mineraalisen tiivistyskerroksen päälle loppusijoitusalueen leveyssuuntaisesti. Mineraalista tiivistyskerrosta kuivumiselta suojannut suojamuovi poistettiin ennen levitystyön aloittamista. Levitystyön yhteydessä kalvon päälle asennettiin noin 2

m:n välein auton renkaita painoksi, jotta välttyttiin kalvon siirtymiseltä tuulen vaikutuksesta. Kalvojen väliset saumakohdat limitettiin noin 10 cm saumojen hitsausta varten. Saumojen hitsaus suoritettiin kuumakiilahitsausmenetelmällä. Hitsauslaitteistona käytettiin Columbine -kuumakiilahitsauskonetta (kuva 14). Ennen varsinaisen hitsaustyön aloittamista tehtiin noin 10 m pitkä koesauma ja saumasta tehtiin veto- ja kuorintakokeet. Saumat hitsattiin GRI GM 19:n mukaisesti.



Kuva 13. Geomembraanikalvon levitys

Kuva 14. Kuumakiilahitsausta

Laadunvarmistus suoritettiin työnaikaisella valvonnalla ja saumojen koeponnistuksella. Koestus suoritettiin GRI GM 14:n mukaisesti. Koeponnistuksessa kaikki kaksoiskiilatut saumat paineistettiin ja mikäli sauma ei täyttänyt vaatimusta (sallittu paineenalenema 10 % / 10 min), vuotokohta selvitettiin, paikattiin ja testattiin uudestaan. Kaikkien kaksoiskiilattujen saumojen tuli täyttää asetettu tiiveysvaatimus ennen kuin saumat hyväksyttiin. Saumojen kestävyys mitattiin veto- ja kuorintakokeille käsikäyttöistä vetolaitetta ja tensiometriä käyttäen. Saumojen kestävyys todettiin riittäväksi, mikäli kuorintakokeessa kuoriutumisen tapahtui kalvosta, ei saumasta.

Geomembraanikalvon asennuksen yhteydessä kalvoon tuli 4 kpl reikiä. Reiät paikattiin ekstruusiohitsausmenetelmällä ja vaurioista laadittiin vauriora-

portti. Ekstruusiohitsausmenetelmällä korjatut kohdat koestettiin niin sanotulla kipinäkokeella. Mikäli kipinäkoete osoitti, että sauma ei ole tiivis, sauma korjattiin ja testattiin uudestaan, kunnes kaikki saumat täyttivät vaatimukset. Myös läpiviennit hitsattiin ekstruusiohitsausmenetelmällä ja koestettiin vaatimukset täyttäväksi. Tässä kohteessa läpivientejä tehtiin yksi ja siitä laadittiin erikseen detaljiraportti.

Geomembraanikalvon levityksen ja saumojen hitsauksen edetessä kalvon päälle asennettiin suojageotekstiili. Suojageotekstiilinä kohteessa käytettiin neulasidottua polypropeenia (PP), josta katkenneet neulat oli poistettu valmistuksen yhteydessä. Geotekstiilin saumakohdat limitettiin vähintään 30 cm. Geotekstiilin painottaminen tehtiin työn edetessä nostamalla auton renkaat kalvon päältä geotekstiilin päälle. [12, s.3-7.]

4.3.5 Kuivatuskerroksen rakentaminen

Suojageotekstiilin ja jätetäytön väliin rakennettiin 500 mm:n paksuinen salaokerros. Salaojakerroksen materiaalina käytettiin mursketta, joka täyttää kerroksen materiaalille asetetun vedenläpäisevyysvaatimuksen $k \geq 10^{-3}$ m/s. Käytetyn kiviaineksen rakeisuus on #16-32 mm. Salaojakerros käsittää myös Ø110 salaojaputkistot, joiden avulla kerätään talteen jätetäytöstä suotautuvat suotovedet. Salaojaputket yhdistettiin sadevesiviemäriin, josta vedet johdetaan alueen koilliskulmaan asennettuun vesien tarkkailukaivoon. Tarkkailukaivosta vedet lasketaan tulevan tiealueen reunalla sijaitsevaan laskujaan. Tarkkailukaivo varustettiin sulkuventtiilillä, jolla estetään tarvittaessa suotovesien pääsy maastoon. Jätetäytöstä suotautuvaa vettä analysoidaan tarkkailukaivosta otetuilla näytteillä. Tarkkailukaivo tehtiin betonisista kaivonrenkaista (Ø1000). Sadevesiviemärin ja geomembraanikalvon liitoskohta loppusijoitusalueen reunalla tehtiin ekstruusiohitsausmenetelmää käyttäen.

Kuivatuskerroksen päälle asennettiin suodatinkerroksena toimiva suodatinkangas. Suodatinkerroksen tehtävänä on estää jätetäytön sekoittuminen kuivatuskerroksessa käytettävän murskeen kanssa ja näin estää kuivatuskerroksen mekaaninen tukkeutuminen. Käytetyn suodatinkankaan käyttöluokka on N3.

4.3.6 Ongelmajätteen esikäsittely ja jätetäytön suoritus

Loppusijoitusalueelle sijoitettiin noin 30 000 m³ pilaantunutta maa-ainesta. Kyseisestä maa-aineksesta noin 7000 m³ on luokiteltu ongelmajätteeksi. Ongelmajätteeksi luokiteltu turve esikäsiteltiin stabiloimalla ennen läjitystä. Esikäsitelyn tarkoituksena oli pienentää turpeen vesipitoisuutta ja näin parantaa jätteen tiivistymistä. Loput noin 23 000 m³ turvetta sijoitettiin käsittelemättä loppusijoitusalueelle. Loppusijoitusalue suunniteltiin niin, että siihen mahtuu käsittelemätöntä pilaantunutta maa-ainesta noin 13 800 m³ ja käsiteltyä noin 6 300 m³. Käsittelemättömän maa-aineksen tiivistymiskerroin arvioitiin olevan 0,6 ja käsitellyn 0,9.

Ennen varsinaista ongelmajätteen esikäsitelyä kohteessa suoritettiin ongelmajätteen koeluontoinen stabilointi. Koestabilointi suoritettiin kohteessa Allu AS 38H -aumankääntäjällä sekoittamalla turpeeseen sideainetta (kuva 15). Koestabiloinnin tarkoituksena oli arvioida menetelmän soveltuvuutta kohteeseen ja määrittää sideaineen optimaalinen sekoitussuhde ja -määrä. Sideaineena käytettiin yleissementtiä CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N.



Kuva 15. Aumasekoitus suoritettiin Allu AS 38H -aumankääntäjällä

Turve muotoiltiin noin 30 m pitkiksi ja 5,5 m leveiksi aumoiksi sekoitustyötä varten. Työ aloitettiin sekoittamalla turve ensin kaksi kertaa aumasekoittimel-

la yliajamalla, jonka jälkeen turpeesta otettiin vesipitoisuusnäytteet tarvittavan sideainemäärän laskemiseksi. Laboratoriokokeiden tulosten perusteella annosteltiin sopiva määrä sideainetta, jonka jälkeen auma sekoitettiin 6 kertaa yliajamalla aumasekoittimella. Sideaineen määräksi valittiin vesipitoisuusmääritysten perusteella 163 kg turvetonnia kohden. Stabiloidusta turpeesta otettiin laadunvalvontanäytteet 2, 4 ja 6 sekoituskerran jälkeen 0,5 m:n syvyydeltä aumasta. Varsinainen stabilointityö tehtiin koestabilointitulosten perusteella samaa menetelmää käyttäen. [14, s.3-5; 15, s.1-2, 9-10.]

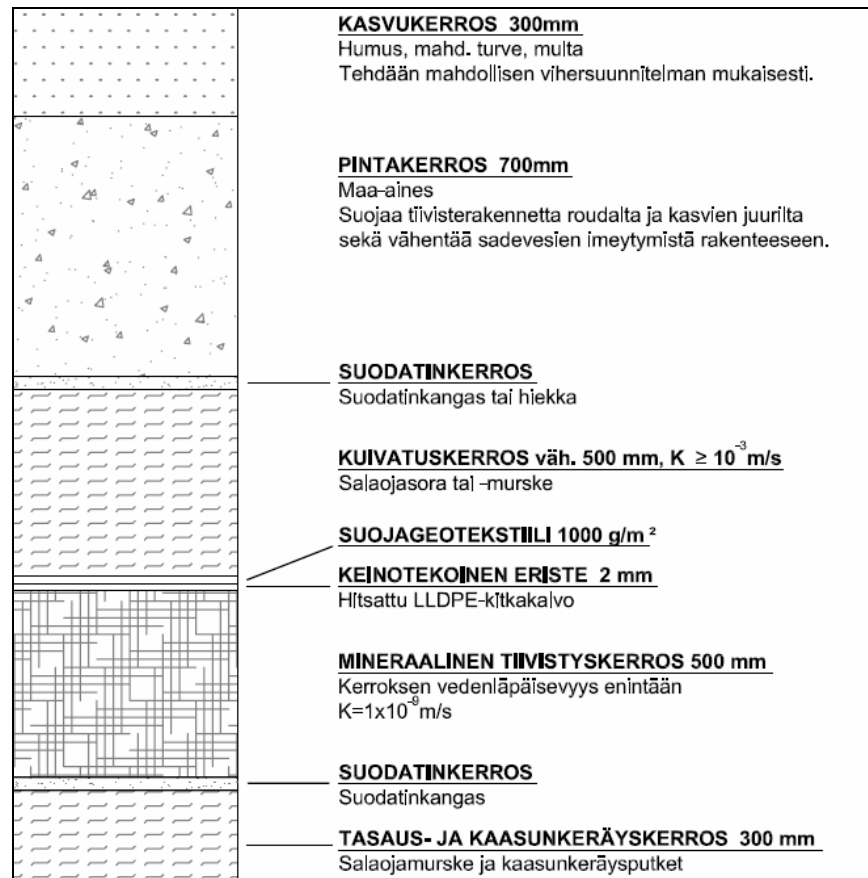
Tavanomaiseksi luokitellun jätteen täyttötyö aloitettiin loppusijoitusalueen länsireunalta. Täyttö eteni 0,5 m:n kerroksina. Turpeen tiivistäminen täyttötyön aikana suoritettiin tela-alustaisella kaivinkoneella yliajamalla. Turpeen vesipitoisuus vaihteli paljon läjityspaikasta riippuen. Turpeen tiivistymistä parannettiin sekoittamalla kuivaa ja märkää turvetta keskenään ennen läjittämistä. Sekoittamisella pyrittiin myös estämään turpeen pölyäminen täyttötyön aikana. Ongelmajätteen läjitys suoritettiin samoja työtapoja käyttäen.

Tavanomaisen ja ongelmajätteen väliin rakennettiin erottava rakennekerros puhtaasta moreenista. Kerros rakennettiin noin 0,5 m:n paksuisena ja tiivistettiin kaivinkoneen kauhalla painelemalla. Kerroksella on tarkoitus estää suotovesien kulkeutumista käsittelemättömästä massasta käsiteltyyn massaan. Erottava rakennekerros tehtiin noin 1:2 kaltevuudella.

Jätetäytön päälle tehtiin noin 1,0 m:n paksuinen esipeittokerros. Esipeittokerroksen materiaalina käytettiin moreenia. Kerroksen tarkoituksena on estää jätetäyttöä sekoittumasta ylempiin rakennekerroksiin ja jakaa yläpuolisia kuormia tasaisesti. Esipeittokerros painollaan toimii myös jätetäyttöä tiivistävänä rakenteena.

4.4 Pintarakenteen työvaiheet

Pintarakenteen työvaiheet aloitetaan tasaus- ja kaasunkeräyskerroksen rakentamisella. Pintarakenteiden rakennustyöt oli suunniteltu aloitettavaksi lokakuussa 2008. Kuvassa 16 on esitetty pintarakenteen rakennekerrokset.



Kuva 16. Pintarakennekerrokset [16]

4.4.1 Kaasunkeräyskerros

Kaasunkeräyskerros asennetaan esipeittokerroksen päälle. Kerroksen tehtävänä on kerätä jätetäytöstä muodostuva kaasu kaasunkeräyskaivoon. Kaasunkeräyskerroksen materiaalina käytetään murskettä, jonka rakeisuus on #16-32 mm. Murskekerroksen paksuuden tulee olla vähintään 300 mm ja pinnan vähimmäiskaltevuuden 1:30. Kerros tiivistetään tela-alustaisella kairavinkoneella yliajamalla. Tasaus- ja kaasunkeräyskerrokseen asennetaan 4 kaasunkeräysputkea. Putkina käytetään Ø 110 muoviputkia. Putket liitetään täytön ylimpään kohtaan asennettavaan kaasunkeräyskaivoon. Kaasunkeräyskaivon alaosa ulotetaan kaasunkeräyskerrokseen ja kaivon yläpää noin 1,0 m pintarakenteen yläpuolelle. Kaivon läpivienti tiivistyskerroksissa varmistetaan mineraalisen tiivistyskerroksen yläpähän asennettavalla ben-

toniittimatolla ja keinotekoisien eristeen läpäisy tehdään esimerkiksi hitsattavalla muovikauluksella. Kaivo varustetaan kannella.

Tasaus- ja kaasunkeräyskerroksen päälle asennetaan suodatinkerroksena toimiva suodatinkangas. Kankaan käyttöluokka on N3 ja kangas tulee limitteä saumakohtalta vähintään 500 mm. [10, s.31-32.]

4.4.2 Tiivistävät rakennekerrokset

Pintarakenteen mineraaliselle tiivistyskerrokselle asetetut vaatimukset ovat samanlaiset kuin pohjarakenteen mineraaliselle tiivistyskerrokselle (ks. kpl 4.3.3). Ennen tiivistyskerroksen rakentamista tulee ennakkokokein osoittaa, että käytetty materiaali täyttää asetetut vaatimukset. Mineraalisen tiivistyskerroksen vedenläpäisevyysvaatimus on $k \leq 6,7 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Pintarakenteen keinotekoisena eristeenä käytetään 2,0 mm paksua LLDPE-kalvoa. Kalvon tulee olla molemmin puolin karhennettu tai kuvioitu kitkaominaisuuksien parantamiseksi ja sen tulee täyttää GRI GM 17:n asettamat vaatimukset. Kalvokaistojen väliset saumat hitsataan painekoestettävää kaksoissaumaa käyttäen. Saumoille suoritetaan GRI GM 14:n mukaiset koe-
stukset ja saumojen tulee täyttää GRI GM 19:n asettamat vaatimukset, pohjarakenteen keinotekoisien eristeen tapaan.

LLDPE-muovikalvon suojaksi asennetaan suojageotekstiili. Suojageotekstiilinä käytettävän kankaan materiaali on neulasidottua polypropeenaa. Kangaskaistaleiden saumakohdat limitetään vähintään 300 mm. [10, s.35-38.]

4.4.3 Kuivatus- ja suodatinkerros

Tiivistysrakenteen päälle asennettavan kuivatuskerroksen materiaalina käytetään puhdasta kiviainesta, kuten esimerkiksi murskettä tai soraa. Materiaalin suurin sallittu raekoko on murskeella 32 mm ja luonnon kiviaineksella 63 mm. Kiviaineksen vedenläpäisevyyskerroin tulee olla $k \geq 10^{-3}$ m/s. Kuivatuskerroksen paksuus tulee olla vähintään 500 mm.

Kuivatuskerroksen päälle asennetaan suodatinkerroksena toimiva suodatinkangas. Kankaan käyttöluokka on N2 ja kankaan saumakohdat tulee limitteä vähintään 500 mm. [10, s.38.]

4.4.4 *Pintakerros*

Pintakerros tehdään puhtaista maa-aineksista, kuten esimerkiksi moreenista. Kerroksen paksuuden tulee olla vähintään 700 mm. Pintakerroksen päälle rakennetaan vähintään 300 mm paksu kasvukerros. Kasvukerros tehdään joko valmiista kasvualustamateriaalista tai materiaaliseoksesta, jossa on ravinnelähde, inertti runkoaine ja hienoaineslähde. Loppusijoitusalueelle ei sijoiteta puita tai pensaita vaan pinta nurmetetaan. [10, s.39.]

5 RAKENTEEN VAURIOITUMINEN JA KORJAUS

5.1 Rakenteen vaurioituminen

5.1.1 Vaurion kuvaus

Työmaalla havaittiin 27.1.2008, jätetäyttöön ollessa käynnissä, että osittain jätetäytön päälle rakennettu esipeittokerros oli sortunut reunapenkereen yli. Osa jätetäytöstä poistettiin ja siirrettiin välivarastointipaikkaan, jolloin selvisi, että osa loppusijoitusalueen reunapenkereestä oli sortunut ja geomembraanikalvo oli revennyt pituussuuntaisesti alusrakenteen äkillisen painumisen seurauksena (kuva 17).



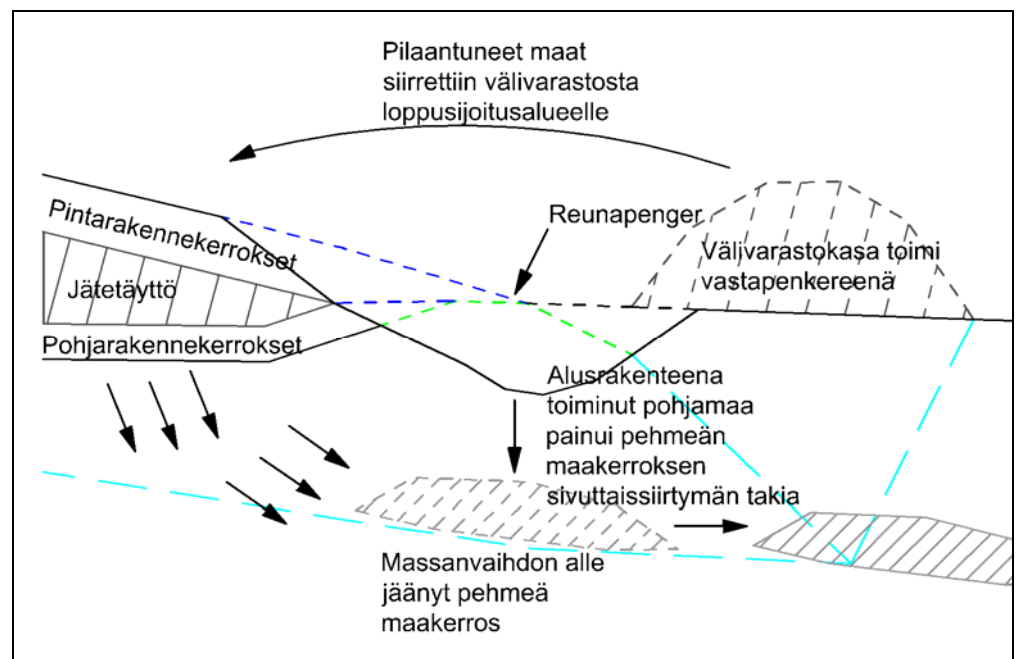
Kuva 17. Sortumakohta

5.1.2 Vaurioitumisen syiden selvitys

Vaurion syiden selvitys aloitettiin suorittamalla porakonekairauksia vaurioituneella alueella. Kairaustuloksista havaittiin, että massanvaihdon alle oli jäänyt 1-2 m paksu pehmeämpi maakerros. Kerroksen maalajimäärityksen ja leikkauslujuuden selvittämiseksi tutkimuksia jatkettiin suorittamalla siipikairauksia ja ottamalla maanäytteitä. Tulosten perusteella reunapenkereen kohdalla, louhetäytön alla olevan saven paksuus oli 1-2 m ja saven leikkauslujuus oli 7...11 kPa ja vesipitoisuus 50...73 %. Muovikalvon leikkautumiskohdalla louhetäytön alla oli niin ikään 1-2 m:n paksuinen kerros savea. Ky-

seinen savi oli melko kovaa, sillä sen leikkauslujuus oli 39...78 kPa ja vesipitoisuus 38...41 %. Muovikalvon leikkautumiskohdassa oli rakenteen havaittu painuneen noin 300...400 mm asennustasosta.

Massanvaihtokaivu loppusijoitusalueella ulottui pohjavedenpinnan alapuolelle, joten kaivannot pyrittiin täyttämään mahdollisimman nopeasti, jottei pohjamaa pääsisi häiriintymään kaivutasossa. Massanvaihto oli tarkoitus ulottaa savikerroksen alapuolella olevan moreenin yläpintaan. Savikerroksen ja moreenin maakerrosrajaa oli kuitenkin paikoitellen vaikea erottaa, joten on mahdollista että massanvaihtoa ei ole ulotettu tarpeeksi syväälle. Sortuma on mitä todennäköisimmin aiheutunut massanvaihdon alle jääneen pehmeän maakerroksen sivuttaissiirtymän takia. Sivuttaissiirtymä on päässyt tapahtumaan, kun välivarastointialueella vastapenkereenä toiminut turve on siirretty kuormittamaan kaatopaikkaa (kuva 18). Sortuma tapahtui siihen suuntaan, missä etäisyys vastapenkereenä toimivaan tieramppiin on suurin eli alueen koillispuolelle. Uusilla pohjatutkimustiedoilla suoritettu vakavuuslaskelma (liite 5) osoittaa, että alueen vakavuus ei ollut riittävä eli mahdolliseen sortumaan olisi pystytty varautumaan, mikäli pehmeästä maakerroksesta olisi tiedetty suunnitteluvaiheessa. Liitteessä 3 on esitetty poikkileikkaus sortumakohdalta.



Kuva 18. Havainnollistava kuva sortumasta

5.1.3 Vaurion laajuus ja vakavuus

Sortuma aiheutti näkyviä vaurioita alueen koillisosassa, mutta ennen korjauksen aloittamista tuli selvittää vaurion laajuus kokonaisuudessaan. Korjaustyö tuli aloittaa kohdasta, jossa rakenne on säilynyt muuttumattomana, joten oli selvitettävä aiheuttiko alusrakenteen painuma vaurioita pohjarakenteessa muualla kuin sortumakohdassa.

Sortuneen alueen laajuus oli tarkemittausten perusteella 585 m², joka on noin 10 % koko pohjarakenteen pinta-alasta. Sortuma ei aiheuttanut pilaantuneen turpeen tai suotovesien hallitsematonta leviämistä ympäristöön. Sortuma ei myöskään vaurioittanut stabiloidun ongelmajätteen sisältävää osaa kaatopaikasta. Liitteessä 4 on esitetty karttakuva sortumasta ja sen vaikutusalueesta.

Revenneen HDPE-kalvon ohenema mitattiin paksuusmittauksilla. Tulosten perusteella ohenema rajoittui 100 mm:n etäisyydelle repeämäkohdasta, joten voitiin todeta, että kalvon repeäminen oli tapahtunut pääosin leikkautumalla. Jotta voitiin varmistua geomembraanikalvon ja muiden pohjarakenteiden säilyneen ehjänä täyttöpengerin sisällä, suoritettiin kalvon leikkauskohdan lähistöllä koekaivuja. Täyttöpengeriä poistettiin kaivutukien avulla noin 5 m sortumakohdasta loppusijoitusalueen keskikohtaa päin kolmesta eri kohtaa. Koekaivujen tarkoituksena oli kaivaa esiin geomembraanikalvon saumakohdat, jotta ne voitaisiin mitata ja verrata niiden x-, y- ja z-koordinaatteja asennustyön aikana otettuihin tarkemittauksiin. Mittaustulokset osoittivat, että sivuttaissiirtymää ei ole rakenteessa tapahtunut ja rakenteen painuma oli tapahtunut tasaisesti. Tulosten perusteella voitiin todeta, että pohjarakenne on säilynyt ehjänä täyttöpengerin alla, joten korjaustyö voitiin aloittaa mineraalisen tiivistyskerroksen leikkautumiskohdalta.

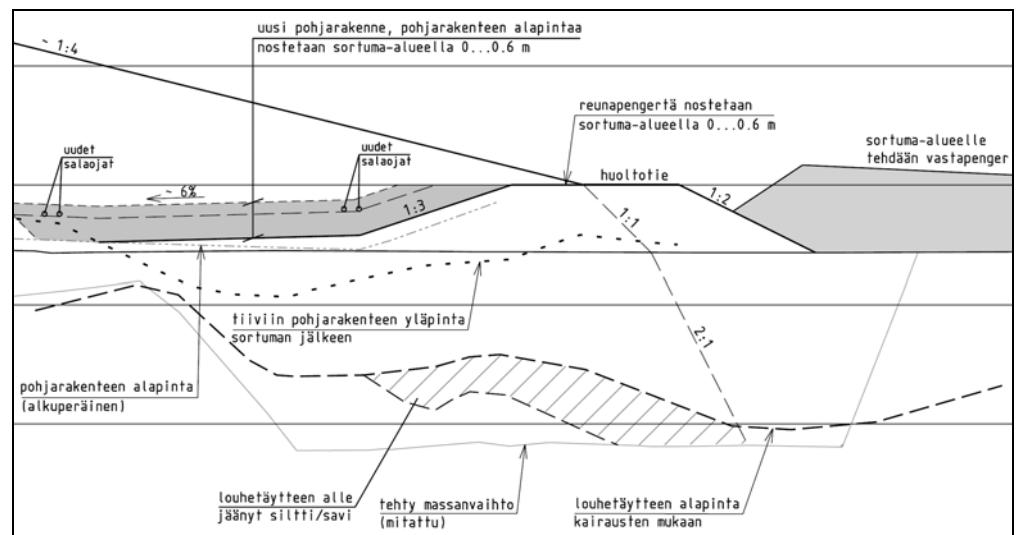
5.2 Rakenteen korjaus

Ennen korjaustyön aloittamista alueen stabiliteetti varmistettiin rakentamalla loppusijoitusalueen ja ramppisilmukan väliin alueen koillispuolelle 4 m:n korkeinen vastapenger louheesta ja moreenista. Vastapengeriä ei poisteta loppusijoitusalueen rakennustöiden päätyttyä vaan penger jätetään paikalleen pysyväksi rakenteeksi. Vakavuuslaskelmien mukaan alueen vakavuus on tällöin $F=1,75$, joten vaadittava varmuus sortumista vastaan saavutetaan. Vakavuuslaskelmat on esitetty liitteessä 5. Alueen stabiliteettia parannettiin

vastapenkereen rakentamisen lisäksi keventämällä jätetäytön aiheuttamaa kuormitusta siirtämällä noin 7000 m³ turvetta välivarastoon.

5.2.1 Alusrakenteen ja reunapenkereen korjaus

Alusrakenteen pinta kaivettiin esiin sortuneelta kohdalta. Louheen pinta tasoitettiin ja tiivistettiin valssiyrällä. Vanhan alusrakenteen päälle rakennettiin uusi noin 2 m:n paksuinen louhekerros, joka tiivistettiin 0,5 m:n kerroksissa. Alusrakenteen pinta tehtiin 1:15 kaltevuudella reunapenkereeseen päin ja reunapenkerettä nostettiin noin 0,5 m korkeammalle kuin alkuperäisissä suunnitelmissa. Reunapenkereen sisäluiska tehtiin alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti 1:3 kaltevuudella. Reunapenkereen ja vastapenkereen väliin rakennettiin noin 4 m leveä huoltotie louheesta. Kuvassa 19 on esitetty periaatekuva pohjarakenteesta ja reunapenkereestä sortuma-alueella.



Kuva 19. Pohjarakenteen periaatekuva sortuma-alueella [17]

Alusrakenteen alle jäänyttä pehmeää maakerrosta ei poistettu, joten kuivatuksen kannalta haitallisten jälkipainumien välttämiseksi sortuma-aluetta päätettiin esikuormittaa ennen uuden pohjarakenteen rakentamisen aloittamista. Esikuormituksen vaikutuksesta sortuman yhteydessä mahdollisesti löyhtynyt louhetäyttö tiivistyi ja samalla varmistuttiin siitä, että alueen stabiiliteetti oli riittävä. Esikuormitus suoritettiin rakentamalla vähintään tulevaa käyttötilassa olevaa kuormitusta vastaava esikuormituspenger (kuva 20). Penkereen materiaalina käytettiin mursketta ja kuormitusaika oli noin 4 viikkoa. Alusrakenteen painumista seurattiin 3 kertaa viikossa alusrakenteeseen asennetuilla painumamittareilla (3 kpl). Rakenteen havaittiin painuneen

kuormituksen aikana keskimäärin 50 mm. Painuminen tapahtui pääosin ensimmäisen kuormitusviikon aikana, joten rakenteen todettiin olevan painumattomassa tilassa kuormituksen jälkeen ja pohjarakenteen korjaustyöt pystyttiin aloittamaan. Alusrakenteen toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma on esitetty liitteessä 6.



Kuva 20. Esikuormituspenger

5.2.2 Mineraalisen tiivistyskerroksen korjaus

Mineraalisen tiivistyskerroksen korjauksen lähtökohtana oli tehdä ominaisuuksiltaan mahdollisimman paljon vanhaa rakennetta vastaava rakenne. Näin vähennettäisiin mahdollisia haitallisia muodonmuutoksia, kuten esimerkiksi epätasaisia painumia uuden ja vanhan rakenteen rajapinnassa. Uuden rakennekerroksen tulisi myös täyttää kaikki mineraaliselle tiivistyskerrokselle asetetut tekniset vaatimukset, joita ovat:

- rakenteen kokonaispaksuus vähintään 1,0 m
- alimman kerroksen paksuus korkeintaan 0,5 m
- vedenläpäisevyysvaatimus $k \leq 6,7 \cdot 10^{-10}$ m/s.
- suurin sallittu yksittäinen poikkeama suunnitellusta tasosta ± 100 mm
- suurin sallittu epätasaisuus 4 m:n matkalla ± 40 mm
- ylimmän kerroksen runkoaineen suurin sallittu raekoko 20 mm

- tiivistetyssä pinnassa ei saa olla 20 mm suurempia pistemäisiä kohoumia [10, s.21-24.]

Uuden mineraalisen tiivistyskerroksen rakennusmateriaaliksi valittiin bentoniitin ja kivimurskeen sekoitus (kuva 21). Bentoniitti mahdollisti rakenteelle asetetun vedenjohtavuusvaatimuksen täyttymisen ja kivimurskeeseen sekoitettuna materiaalia oli helppo käsitellä. Suurin syy siihen miksi alkuperäisen tiivistysrakenteen kaltaista savikerrosta ei tehty, oli rakenteeseen kelpaavan saven huono saatavuus. Oikeanlaisen saven etsiminen ja kelpoisuuden tutkiminen olisi lisäksi ollut korjaustyön kiireisen aikataulun osalta mahdotonta. Bentoniittimursketta voitiin myös helposti varastoida työmaalla, jolloin materiaalityöt eivät asettaneet korjaustyön aloittamiselle esteitä.

Uusi mineraalinen tiivistyskerros tehtiin saman paksuiseksi kuin alkuperäisessä pohjarakenteessa ($h \geq 1,0$ m). Rakenne tehtiin kolmessa noin 350 mm:n kerroksessa. Jokainen kerros tiivistettiin valssijyrällä (kuva 23) ja kunkin kerroksen yläpinnasta otettiin laadunvarmistuskokeita Troxler -mittalaitteella (kuva 22). Troxler -mittauksilla varmistettiin bentoniittimurskeen tarpeellinen tiivistyminen. Alkuperäisen pohjarakenteen mineraalinen tiivistyskerros luiskattiin 1:1 kaltevuudella uuden ja vanhan rakenteen yhtymiskohdassa ennen uuden tiivistyskerroksen rakentamisen aloittamista. Tällä pyrittiin välttämään mahdolliset epätasaiset painumat rakenteiden yhtymiskohdassa. Sortumakohdalla otettiin laadunvarmistuskokeita Troxler -mittalaitteella myös vanhan mineraalisen tiivistyskerroksen yläpinnasta.



Kuva 21. Bentoniittimursketta



Kuva 22. Troxler -mittalaite

Bentoniittimurskeen levittämisen ja tiivistämisen jaksotuksessa oli huomioitava kulloinkin vallitseva säätila, sillä kastuessaan tiivistämätön bentoniittimurske muuttui vellimäiseksi savimineraalien erottuessa kiviaineksesta. Tiivistyksen jälkeen bentoniittimurskeen pinta muuttui kovaksi, jolloin veden vaikutus ei ollut enää niin suuri. Rakenteen pinnalle ei kuitenkaan saanut jäädä painaumuksia, sillä seisova vesi aiheutti tiivistetyn pinnan pehmenemisen. Mineraalisen tiivistyskerroksen toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma on esitetty liitteessä 7.



Kuva 23. Mineraalisen tiivistyskerroksen 1. kerroksen rakentamista

5.2.3 Keinotekoisien eristeiden korjaus

Geomembraanikalvo repeytyi kalvon pituussuunnassa noin 30 m:n matkalta sortumisen seurauksesta. Repeytyminen ei tapahtunut saumakohtalta. Vaurioitunut geomembraanikalvo poistettiin niiltä osin, missä kalvoa suojaava geotekstiili oli revennyt tai se oli poistettu vauriotutkimusten yhteydessä.

Uusi keinotekoinen eriste levitettiin valmiin mineraalisen tiivistyskerroksen päälle sortumansuuntaisesti. Keinotekoisena eristeenä käytettiin vanhan rakenteen tavoin 2,0 mm paksua ja 9,4 m leveää Naue GmbH:n HDPE-geomembraania. Geomembraanikalvokaistojen saumat limitettiin vähintään 10 cm ja hitsattiin kuumakiilahitsausmenetelmällä. Saumojen koestus suori-

tettiin alkuperäisen rakenteen tavoin GRI GM 14:n mukaisesti. Uuden ja vanhan kalvon saumakohdassa oli tärkeää huolehtia siitä, että vanha kalvo oli kuiva ja puhdas, jotta saumaus onnistuisi.

Keinotekoisien eristeiden päälle asennettiin suojageotekstiili. Suojageotekstiilinä käytettiin alkuperäisen rakenteen tapaan neulasidottua polypropeenä (PP), josta katkenneet neulat oli poistettu valmistuksen yhteydessä. Geotekstiilin saumakohdat limitettiin vähintään 30 cm.

Geomembraanikalvon asennuksessa oli kiinnitettävä erityistä huomiota levitetyn kalvon painotukseen, sillä kalvo voi lähteä helposti liikkeelle tuulen vaikutuksesta. Kalvon levitys suoritettiin kaivinkoneella, johon oli kiinnitetty levitykseen tarkoitettu, 10 metriä pitkä puomi (kuva 24). Kalvon saumakohdat hitsattiin Columbine -kuumakiilahitsauslaitteella (kuva 25). Kalvon painotus tehtiin autonrenkaita ja suojageotekstiilirullia apuna käyttäen. Suojageotekstiilin päälle asennettiin salojakerros alkuperäisen rakenteen tavoin (ks. kpl 4.3.5). Keinotekoisien eristeiden, suojakerroksen ja kuivatuskerroksen toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma on esitetty liitteessä 8.



Kuva 24. Geomembraanin levitys



Kuva 25. Kuumakiilahitsauslaitte

6 LAADUNVARMISTUS

Laadunvarmistuksen avulla osoitetaan, että rakennustyö ja käytetyt materiaalit kohteessa täyttävät suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Kohteen laadunvarmistus suoritetaan yksittäisille rakenteille suoritettavilla mittauksilla ja testauksilla, kuten esimerkiksi tiiveys- ja kantavuuskokeilla. Kunkin rakenteen vaatimukset ja sallitut mittapoikkeamat on esitetty kohteen työsuunnitelmassa [10] ja rakenneosakohtaisissa toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmissa.

6.1 Laadunvalvonta

Laadunvalvonta kohteessa jakaantuu urakoitsijan omaan laadunvalvontaan ja rakennuttajan teettämään riippumattomaan laadunvalvontaan. Rakennuttajan asettama riippumaton valvoja seuraa urakoitsijan laadunvalvontamittauksia ja tekee omaa laadunvalvontatyötään tarkastuskäynnein ja pistokokein. Valvoja osallistuu kohteen työmaakokouksiin ja raportoi mittaustulokset huomautuksineen rakennuttajalle.

Urakoitsija suorittaa työmaalla päivittäistä laadunvalvontaa ja pitää yllä työmaapäiväkirjaa. Urakoitsijan vastuulla on työhön tarvittavien materiaalien ja raaka-aineiden hankkiminen ja kunkin työvaiheen osalta vaadittavien mittausten ja kokeiden suorittaminen. Mittaustulokset ja tarkastukset kirjataan työmaapäiväkirjaan. Laadunvalvontamittaukset hyväksytetään riippumattomalla valvojalla.

6.2 Laadunvarmistusasiakirjat ja -suunnitelmat

6.2.1 Laadunvarmistussuunnitelma

Lempolan loppusijoitusalueesta tehtiin laadunvarmistussuunnitelma, jossa on esitetty laadittavat rakenneosaj- ja työvaihekohtaiset toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmat sekä laaturaportit. Laadunvarmistussuunnitelman avulla rakenneosakohtaisten suunnitelmien hallitseminen helpottuu eli se toimii eräänlaisena työkohtaisten laatuasiakirjojen sisällysluettelona, jota päivitetään jatkuvasti. Laadunvarmistussuunnitelmasta nähdään nopeasti, mitkä suunnitelmat on tehty, mitkä ovat tekemättä ja mihin suunnitelmiin on mahdollisesti tullut muutoksia. Rakenneosaj- ja työvaihekohtaiset toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmat sekä laaturaportit liitetään osaksi laadunvarmistussuunnitelmaa.

Laadunvarmistussuunnitelma tehtiin erikseen kaivutöistä ja loppusijoitusalueen pohja- sekä pintarakenteesta. Suunnitelmassa esitetään rakenneosai- tai työvaihekohtaisiin toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmiin liittyen seuraavat asiat:

- rakenneosai- tai työvaihekohtaisen suunnitelman nimi
- suunnitelmaan liittyvä lupaehto ympäristölupapäätöksessä
- suunnitelman laatija / vastuuhenkilö, päivämäärä ja suunnitelman versio

6.2.2 Toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmat

Jokaisesta kaatopaikan rakenteesta laaditaan toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma. Suunnitelmien tarkoituksena on varmistaa, että kukin työvaihe ja rakenne tehdään suunnitelmien mukaisesti, asetetut laatuvaatimukset täyttäen. Suunnitelma toimii samalla työohjeena työntekijöille, työnjohtajille sekä laadunvalvontamittausten tekijöille.

Kussakin rakenneosakohtaisessa toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmassa esitetään rakenteelle asetetut laatuvaatimukset, sallitut poikkeamat, laatumuuttujien mittaustavat ja mittaustiheys sekä vastuuhenkilöt. Suunnitelmissa esitetään myös laadunvalvontamittauksista syntyvät dokumentaatiot, kuten esimerkiksi troxler -mittaukset, jotka liitetään toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelman liitteiksi.

Toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmassa esitetään myös seuraavat asiat:

- työvaiheen toteuttaja mahdollisine alihankkijoineen
- työn aloitusedellytykset
- työssä noudatettavat suunnitelmat ja muut asiakirjat
- työjärjestys ja -vaiheet
- työn aikataulu ja aikataulun kannalta mahdolliset kriittiset työsuoritukset
- tiedot käytettävistä materiaaleista
- työturvallisuus ja ympäristön huomioonottaminen

7 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tavoitteena oli esitellä Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalueen pohjarakenteen rakentamisen vaiheita, analysoida pohjarakenteen vaurioitumisen syitä ja esitellä korjaustyön kulkua. Lisäksi työhön kuului rakenneosakohtaisten toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelmien laatiminen korjaustyön osalta.

Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalueen pohjarakenne vaurioitui reunapenkereen sortuman seurauksena tammikuussa 2008 jätetäyttötyön ollessa käynnissä. Vaurioitumisen laajuutta ja syitä alettiin tutkia ja tutkimusten perusteella saatiin selville, että pohjarakenteen vaurioituminen johtui massanvaihdon alle jääneen pehmeän maakerroksen sivuttaissiirtymän takia. Sivuttaissiirtymä oli päässyt tapahtumaan, kun vastapenkereenä toiminut välivarastoitu turve siirrettiin kuormittamaan loppusijoitusaluetta. Sivuttaissiirtymän seurauksena alusrakenne painui ja reunapenger sortui aiheuttaen pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen vaurioitumisen. Sortuma-alueen laajuus oli noin 10 % koko loppusijoitusalueen pinta-alasta.

Ennen pohjarakenteen korjauksen aloittamista täytyi selvittää oliko pohjamaan painuminen aiheuttanut vaurioita sortuneen alueen ulkopuolella. Jätetäytön koekaivuilla saatiin selville, että pohjarakenteen keinotekoinen eriste oli pysynyt paikallaan sortumattoman jätetäytön alla, joten voitiin todeta, että koko pohjarakenne oli säilynyt ehjänä jätetäytön alla ja korjaus voitiin aloittaa sortumakohdasta. Lisäksi oli selvitettävä revenneen keinotekoisien eristeiden ohenema. Kalvon paksuusmittausten perusteella saatiin selville, että ohenema rajoittui 100 mm:n etäisyydelle keinotekoisien eristeiden leikkautumiskohdasta. HDPE -kalvon korjaus voitiin siis aloittaa noin 100 mm:n etäisyydeltä leikkautumiskohdasta.

Alusrakenteen alle jäänyttä pehmeää maakerrosta ei poistettu vaan rakenteen mahdollinen painuminen käyttövaiheessa estettiin esikuormittamalla alusrakennetta esikuormituspenkereellä. Vähintään tulevaa kuormitusta vastaava esikuormituspenker rakennettiin murskeesta ja esikuormitusaika oli noin 4 viikkoa. Esikuormituksen aikana alusrakenteen painumista seurattiin rakenteeseen asennetuilla painumamittareilla. Alusrakenne painui keskimäärin 50 mm ja painuminen tapahtui pääosin ensimmäisen kuormitusviikon ai-

kana, joten rakenteen todettiin olevan painumattomassa tilassa kuormituksen jälkeen. Loppusijoitusalueen ulkopuolelle rakennettiin vielä noin 4 m korkea vastapenger, jotta voitiin varmistua alueen stabiliteetista.

Lempolan loppusijoitusalueen pohjarakenteen vaurioituminen oli monen tekijän summa. Kaikkein suurin syy vaurioitumiseen oli rakennettavan kohteen pohjasuhteet, sillä kohteessa pohjanvahvistusmenetelmänä käytetty massanvaihto ei ollut riittävä takamaan alueen stabiliteettia. Syynä tähän voidaan pitää pohjatutkimusten riittämättömyyttä, sillä pohjavahvistus suoritettiin laatumittausten perusteella pohjatutkimusten mukaisesti. Vaurioitumisen taustalla voi olla toisaalta myös työvirhe, sillä massanvaihto jouduttiin suorittamaan vedenalaisen kaivuna ja kaivannot oli saatava täytettyä mahdollisimman nopeasti pohjamaan häiriintymisen estämiseksi, joten työolosuhteita voidaan pitää todella haastavina. Yleisesti voidaan todeta, että sekä kohteen suunnittelussa kuin rakennustyön aikana kiinnitettiin liian vähän huomiota alueen stabiliteettiin. Samankaltaisissa projekteissa tulisikin aina muistaa täyttää alue, jolta maamassoja poistetaan, jotta stabiliteetti säilyisi kaiken aikaa.

VIITELUETTELO

- [1] Kaatopaikan tiivistysrakenteet, Suomen Ympäristökeskus, Edita Prima Oy, Helsinki 2002.
- [2] Kaatopaikkojen lopettamisopas, Suomen Ympäristökeskus, Edita Oyj, Helsinki 2001.
- [3] Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86
- [4] Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096
- [5] Ympäristönsuojeluasetus 18.2.2000/169
- [6] Wikipedia <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kaatopaikka>> Luettu 15.4.2008.
- [7] Markkanen Tuula, Suomen Ympäristökeskus, Selvitys saastuneiden maa-
massojen alueellisesta käsittelystä eteläisessä Suomessa, Oy Edita Ab,
Helsinki 1998
- [8] Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 4.9.1997/861
- [9] Wikipedia <<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:ImgBentonite.jpg>> Luettu
7.9.2008.
- [10] Loppusijoitusalueen työkohtainen työselitys, TYL E18, 23.5.2007.
- [11] Jäteluokitus, Lempoosuon pilaantuneiden maiden loppusijoitus, Golder
Associates, 25.4.2007.
- [12] Geomembraanien laadunvarmennussuunnitelma, Oy ViaPipe Ab, 27.8.2007.
- [13] Lempoosuon turvemassojen aumasekoitus työkohtainen työselitys, TYL
E18, 2.5.2007.
- [14] Lempoosuon turvemassojen koestabilointi, tulosraportti, Ramboll, lokakuu
2007.
- [15] Pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue, Piir.nro 3-R13/L3-13/1-1, TYL E18
suunnitelmat, 15.5.2008.
- [16] Pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue, Piir.nro 3-R13/L3-13/1-5, TYL E18
suunnitelmat, 16.1.2007.
- [17] Pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue, Piir.nro 3-R13/L3-13/1-9, TYL E18
suunnitelmat 15.5.2008

LIITTEET

Liite 1. Pilaantuneiden alueiden rajaukset

Liite 2. Välivarastointiaumojen sijainti

Liite 3. Poikkileikkaus sortumakohdalta

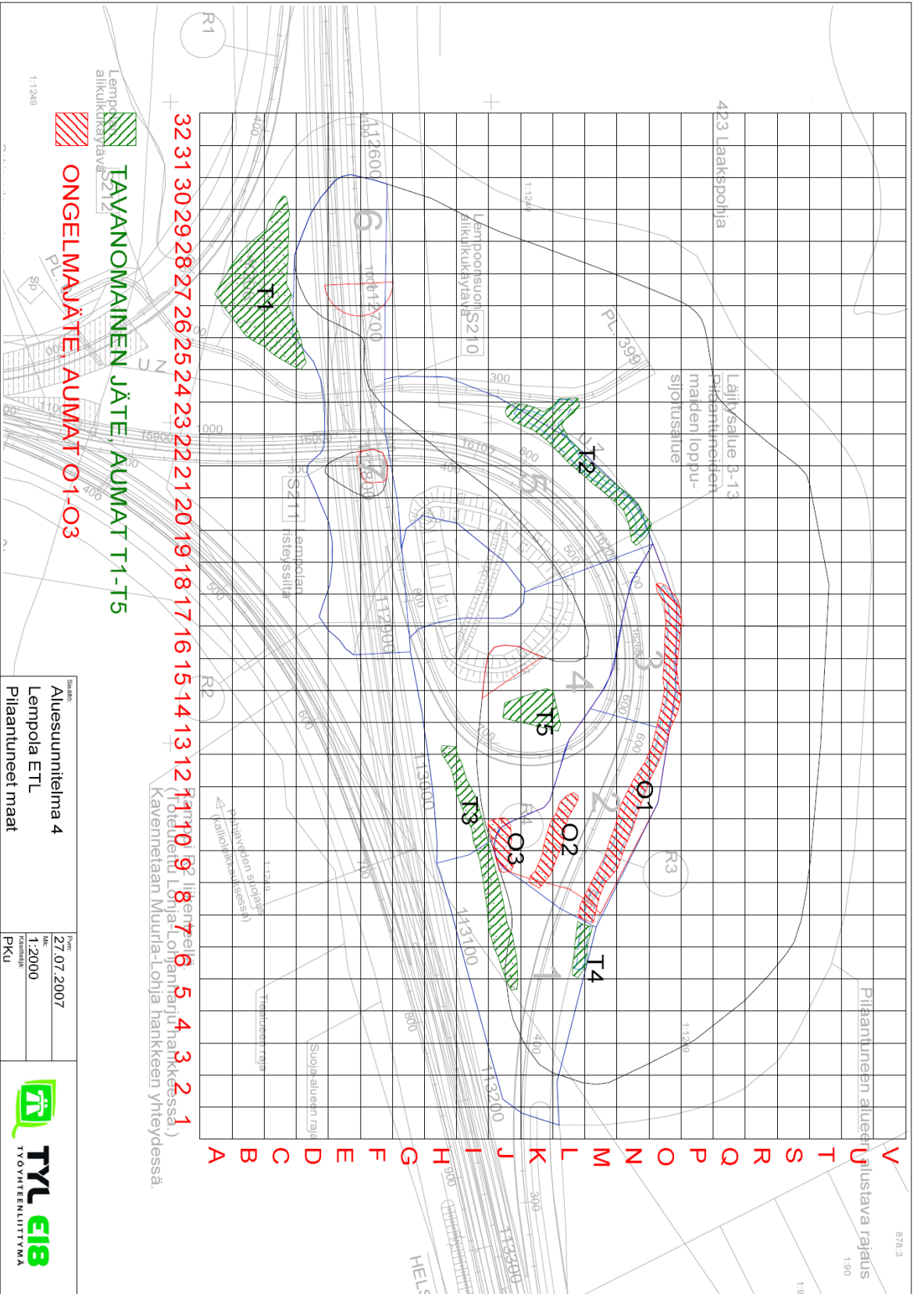
Liite 4. Sortuneen alueen laajuus ja vaikutusalue

Liite 5. Vakavuuslaskelmat

Liite 6. Toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma: Alusrakenteen ja reunapenkereen tasaus

Liite 7. Toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma: Mineraalinen tiivistyskerros

Liite 8. Toteutus- ja laadunvalvontasuunnitelma: Keinotekoinen eriste, suoja-kerros ja kuivatuskerros



32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

TAVANOMAINEN JÄTE AUMAT T1-T5

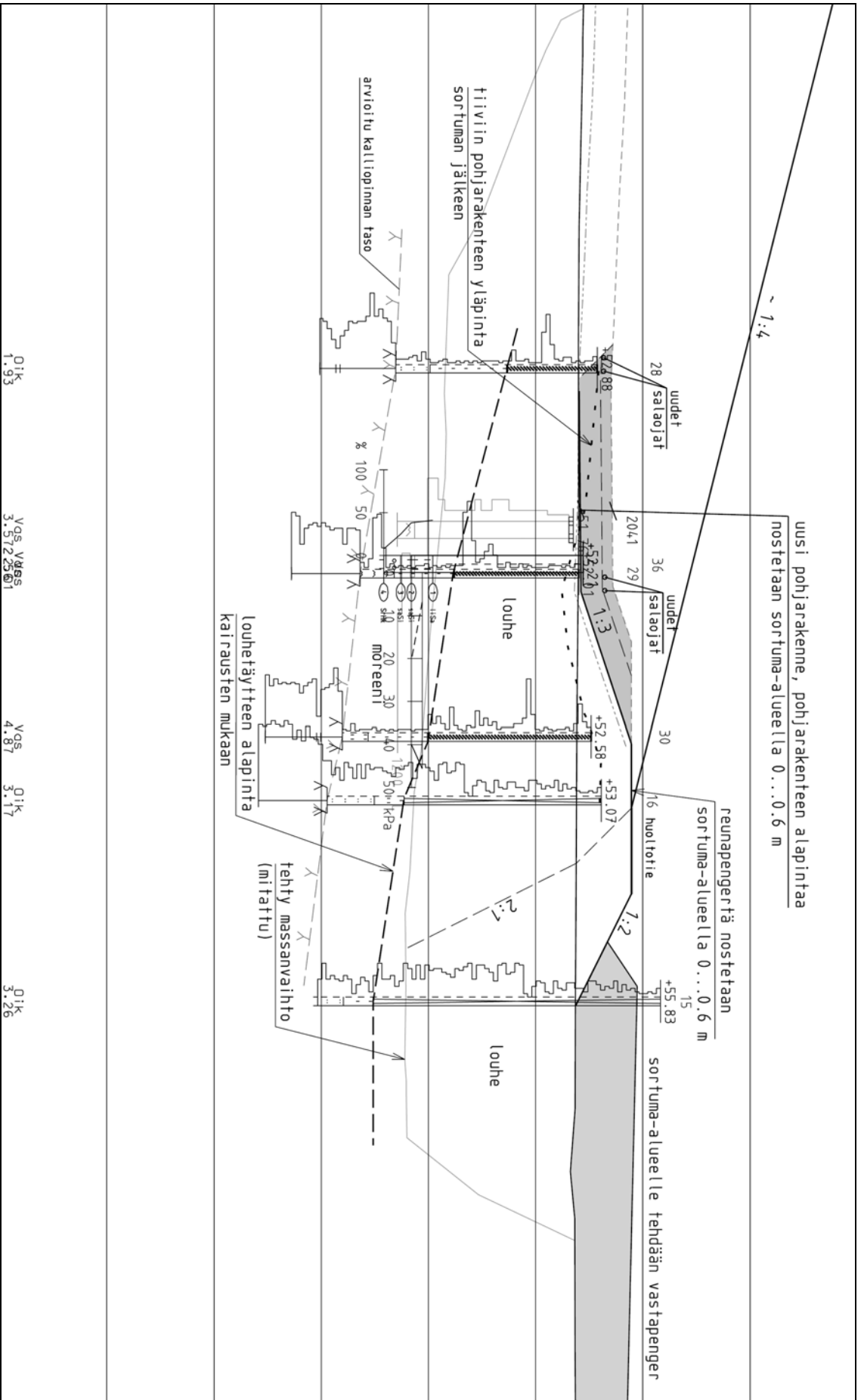
ONGELMAJÄTE AUMAT O1-O3

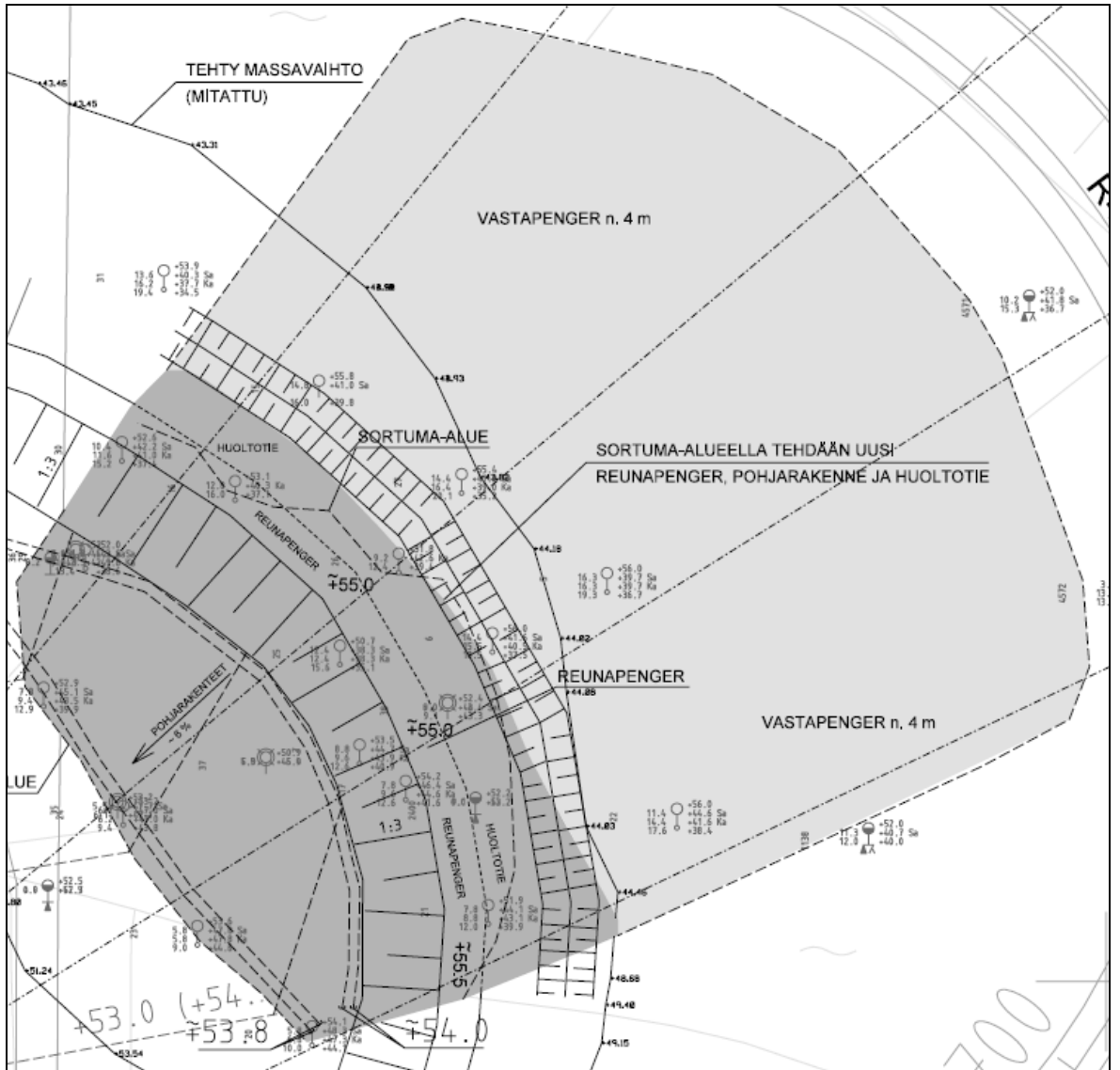
Aluesuunnitelma 4
Lempola ETL
Pilaantuneet maat

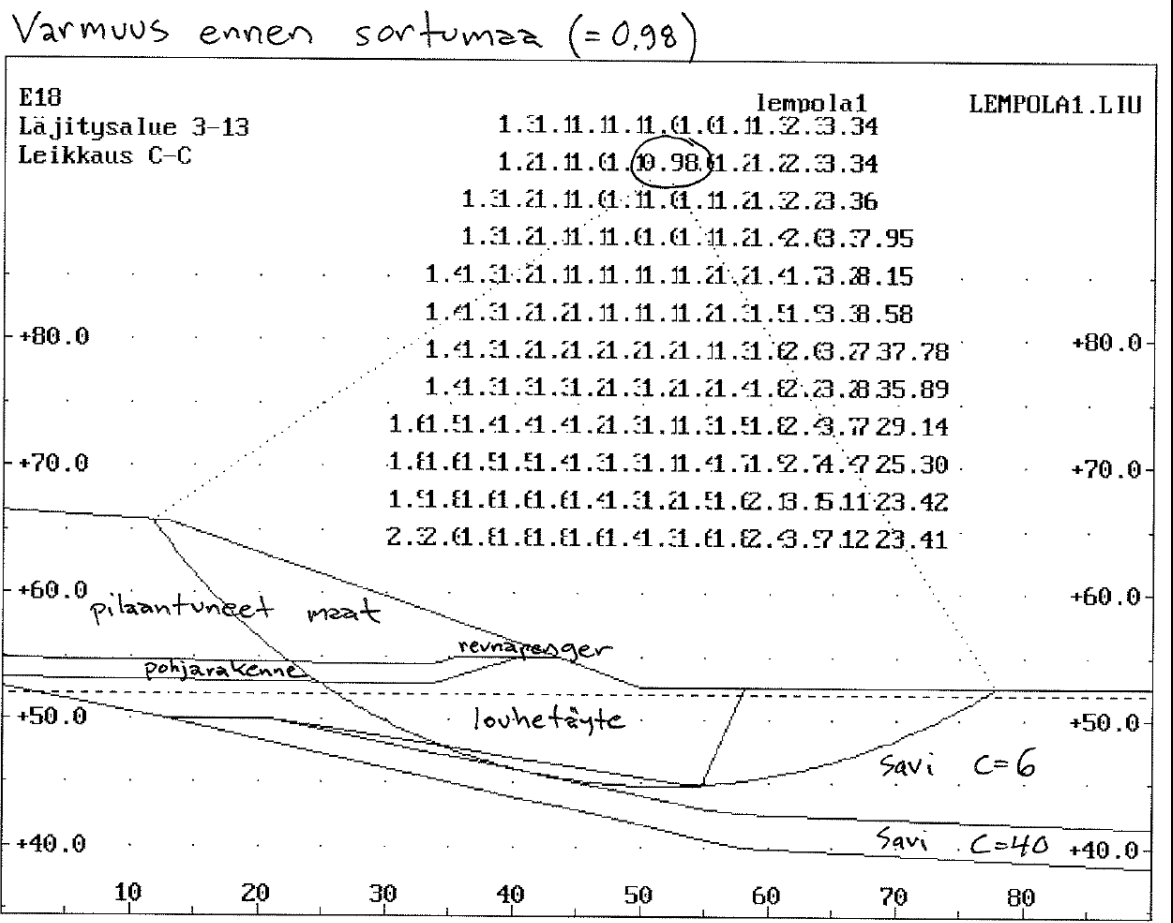
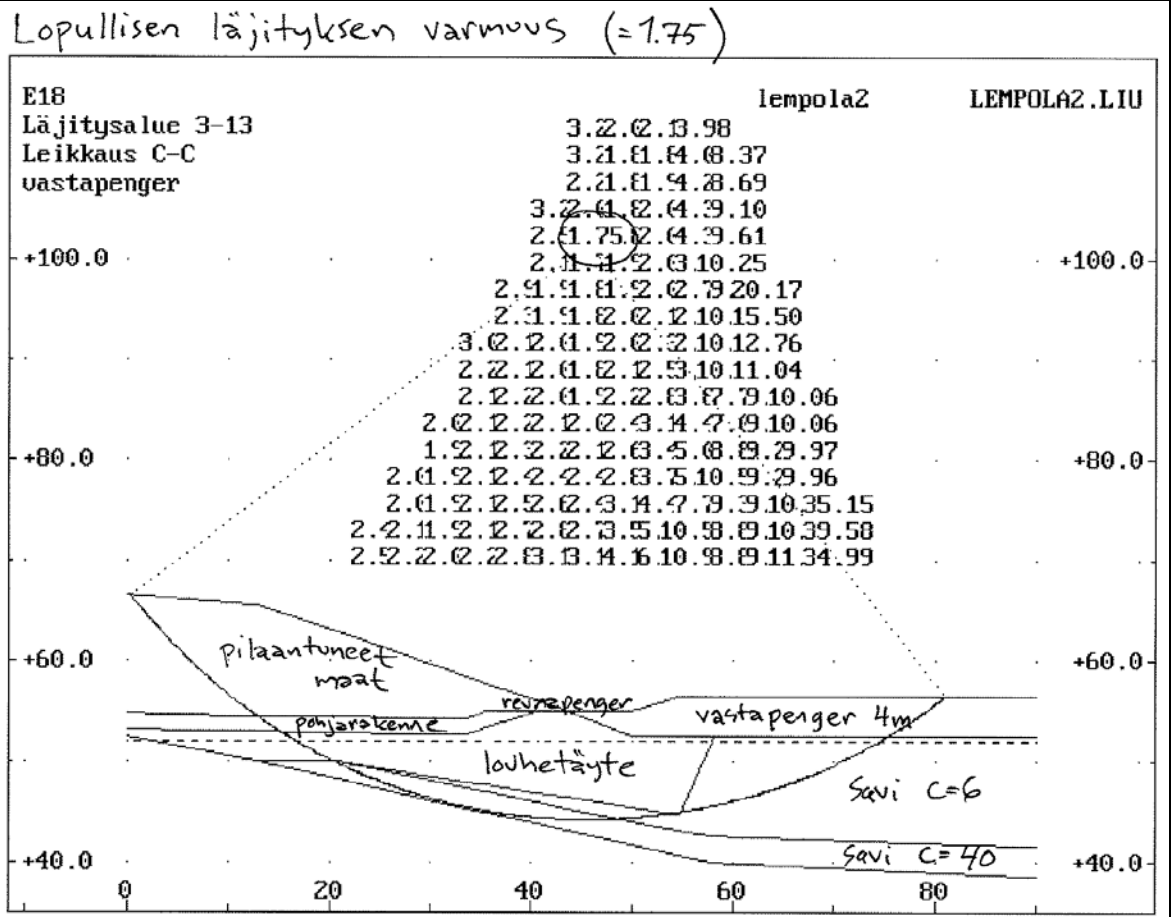
27.07.2007
1:2000
PKU



TYL EIB
TYÖYHTEENLITTYMÄ







SKANSKA



TOTEUTUS- JA LAADUNVALVONTASUUNNITELMA

Kohde		Laatija		
Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue		Timo Mustajärvi		
Piv.		Laadittu pvm	Päivitetty pvm	Versio
		11.7.2008		
Rakenneosa	Pohjarakenne Alusrakenteen ja reunapenkereen tasaus			
Aloitusedellytykset - edeltävät työvaiheet - liittyvät työvaiheet - seuraavat työvaiheet - työn suorittaja	Alusrakenteen korjaus on suoritettu korjaussuunnitelman mukaisesti Alusrakennetta on kuormitettu esikuormituspenkereellä ja rakenteen on todettu olevan painumaton			
Aloituspäivä	<input type="checkbox"/> ei pidetä	<input type="checkbox"/> pidetty, pvm	<input checked="" type="checkbox"/> pidetään, pvm	10.7.2008
Käytettävät suunnitelmat - työselitys - piirustukset - suunnitelmat	Loppusijoitusalueen työkohtainen työselitys Rakennussuunnitelmat (kartat ja leikkaukset) Korjaussuunnitelma			
Työn suoritus - työsisältö - työvaiheet - työjärjestys	Rakentaminen toteutetaan seuraavasti: 1. Esikuormituspenker poistetaan 2. Alusrakenteen pinta ja reunapenger tasataan suunnitelmien mukaiseen muotoonsa 3. Alusrakenteen pinta tiivistetään valssijyrällä 4. Alusrakenteen yläpinta tarkemmitataan			
Resurssit - kalusto - työryhmä - työsaavutus	1Tj, 1 Mittaryhmä, 1 Kkh, 1 KA Esikuormituspenkereen poisto: 1 KUP, 1-3 KA / TRD			
Aikataulu - riskit - työvaiheaikataulu	Esikuormituspenker poistetaan viikolla 28 Alusrakenteen ja reunapenkereen tasaus vkot 29-30			
Materiaalit - hankinta - toimitus - merkitseminen - käyttöturvatieotteet				
Ympäristö - riskit - vaikutus ympäristöön (pöly, melu, värinä, kuivanaapito yms.)	Työn aikana noudatetaan Uudenmaan Ympäristökeskuksen ympäristölupapäätöksen No YS 1 / 8.1.2004 (Dnro UUS-2003-Y-136-111) lupamääräyksiä.			
Työturvallisuus - riskit - ennaltaehkäisy	Työn aikana noudatetaan TYL E18 turvallisuussuunnitelmaa sekä hankkeen turvallisuusasiakirjaa. Työkoneille tehdään käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastukset.			

SKANSKA



TOTEUTUS- JA LAADUNVALVONTASUUNNITELMA

Kohde	Laatija		
Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue	Timo Mustajärvi		
Piv.	Laadittu pvm	Päivitetty pvm	Versio
	11.7.2008		

Rakenneosa	Pohjarakenne Alusrakenteen ja reunapenkereen tasaus
------------	--

Laatuvaatimukset	Laatumuuttuja	Toleranssi	Mittausmenetelmä	Viite	Mittausiheys
	Pinnan taso / tasaisuus		Takymetri		5 x 5m ruutuun
	Murskemateriaali (#0-56)		Rakeisuustutkimus		

Työnaikainen laadunvarmistus	

Laatumittausten vastuujako	Laatumuuttuja	Vastuuhenkilö	Mittaja	Dokumentti	Muuta
	Pinnan taso / tasaisuus	T. Mustajärvi	TYL E18 mittaus	Tarkepiirustus	
	Murskemateriaali (#0-56)	T. Mustajärvi	TYL E18	Rakeisuuskäyrä	

Työvaiheen lopetus Dokumentointi	<input type="checkbox"/> Työvaiheesta suoritetaan itselleluovutus <input type="checkbox"/> Rakennosasta laaditaan laaturaportti <input checked="" type="checkbox"/> Mittaustulokset ovat nähtävillä työmaatoimistolla <input checked="" type="checkbox"/> Havaituista poikkeamista laaditaan poikkeamaraportti <input checked="" type="checkbox"/> Mittauksista tehdään tarkekuva
----------------------------------	---

Muut huomioon otettavat asiat ja työohjeet	

Yhteyshenkilöt	Nimi	Tehtävä	Puhelin
	Timo Mustajärvi	Työnjohtaja	
	Janne Tikkamäki	Projektipäällikkö	

Allekirjoitukset - nimen selvennykset	Laatija	Tarkastanut
	Timo Mustajärvi	Janne Tikkamäki

SKANSKA



TOTEUTUS- JA LAADUNVALVONTASUUNNITELMA

Kohde		Laaja		
Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue		Timo Mustajärvi		
Piv		Laadittu pvm	Päivitetty pvm	Versio
		11.7.2008	25.7.2008	1.
Rakenneos	Pohjarakenne Mineraalinen tiivistyskerros			
Aloitusedellytykset - edellyttävät työvaiheet - liittyvät työvaiheet - seuraavat työvaiheet - työn suorittaja	Alusrakenne on tasattu oikeaan korkeuteen ja alusrakenteen kantavuus on varmistettu Keinotekoinen eriste on poistettu tarvittavilta osin olemassa olevan mineraalisen tiivistyskerroksen päältä			
Aloituspalaveri	<input type="checkbox"/> ei pidetä <input type="checkbox"/> pidetty, pvm <input checked="" type="checkbox"/> pidetään, pvm			21.7.2008
Käytettävät suunnitelmat - työselitys - piirustukset - suunnitelmat	Loppusijoitusalueen työkohtainen työselitys Rakennussuunnitelmat (kartat ja leikkaukset) Korjaussuunnitelma			
Työn suoritus - työsisältö - työvaiheet - työjärjestys	Rakentaminen toteutetaan seuraavasti: 1. Olemassa oleva mineraalinen tiivistyskerros (savirakenne) leikataan sortumakohdalta 1:1 kaltevuuteen ja halkeamat poistetaan saven pinnasta kaivinkoneen kauhalla liippaamalla 3. Bentoniittimurske tuodaan paikalle kuorma-autolla 4. Bentoniittimurske levitetään kaivinkoneella kolmena n. 350 mm kerroksena 5. Rakenne tiivistetään valssijyrällä kerroksittain 5. Rakenteen tiiveys varmistetaan Troxler -laitteella, saumakohdalta tehdään mittauksia myös vanhan tiivistyskerroksen pinnasta 6. Lisätiivistys valssijyrällä mikäli tiiveysvaatimukset eivät täyty 7. Rakenteen yläpinnasta otetaan tarkemittaukset			
Resurssit - kalusto - työryhmä - työsaavutus	1TJ, 1 Mittaryhmä, 1 KKH, 1-2 KA, 1 JV			
Aikataulu - riskit - työvaiheaikataulu	Rakentamistyöt suoritetaan viikkojen 30-32 aikana			
Materiaalit - hankinta - toimitus - merkitseminen - käyttöturvatiedotteet	Bentoniittimurskeen toimittaa Lemminkäinen Infra Oy			
Ympäristö - riskit - vaikutus ympäristöön (pöly, melu, värinä, kuivanapito yms.)	Työn aikana noudatetaan Uudenmaan Ympäristökeskuksen ympäristölupapäätöksen No YS 1 / 8.1.2004 (Dnro UUS-2003-Y-136-111) lupamääräyksiä.			
Työturvallisuus - riskit - ennaltaehkäisy	Työn aikana noudatetaan TYL E18 turvallisuussuunnitelmaa sekä hankkeen turvallisuus asiakirjaa. Työkoneille tehdään käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastukset.			

SKANSKA



TOTEUTUS- JA LAADUNVALVONTASUUNNITELMA

Kohde	Laatija		
Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue	Timo Mustajärvi		
Piv	Laadittu pvm	Päivitetty pvm	Versio
	11.7.2008	25.7.2008	1.

Rakenneosa	Pohjarakenne Mineraalinen tiivistyskerros
------------	--

Laatuvaatimukset	Laatumuuttuja	Toleranssi	Mittausmenetelmä	Viite	Mittaustiheys
Kerrospaksuus		≥ 1000 mm	Takymetri	Työselitys	5 x 5 m ruutuun
Kuivatilavuuspaino		19,46 kN/m ³	Troxler	Työselitys	1 / 1000 m ² , 1
Rakeisuus		-	GLO	Työselitys	2 kpl
Vedenjohtavuus		6·10 ⁻¹⁰ m/s	ASTM D5084 tms.	Työselitys	1 kpl
Pinnan tasaisuus			Silmämaar.tark. ja valokuvaus	Työselitys	

Työnaikainen laadunvarmistus	

Laatumittausten vastuujako	Laatumuuttuja	Vastuuhenkilö	Mittaja	Dokumentti	Muuta
Kerrospaksuus		T. Mustajärvi	TYL E18 mittaus	Tarkepiirustus	
Kuivatilavuuspaino		T. Mustajärvi	R. Peräkylä Oy	Mittauspöytäkirja	Troxler
Rakeisuus		J. Tikkamäki	Lemminkäinen Infra O	Mittauspöytäkirja	
Vedenjohtavuus		J. Tikkamäki	Lemminkäinen Infra O	Mittauspöytäkirja	
Pinnan tasaisuus		T. Mustajärvi	TYL E18	Valokuvatulosteet	

Työvaiheen lopetus Dokumentointi	<input type="checkbox"/> Työvaiheesta suoritetaan itselleluovutus <input type="checkbox"/> Rakennesasta laaditaan laaturaportti <input checked="" type="checkbox"/> Mittaustulokset ovat nähtävillä työmaatoimistolla <input checked="" type="checkbox"/> Havaituista poikkeamista laaditaan poikkeamaraportti <input checked="" type="checkbox"/> Mittauksista tehdään tarkekuva
----------------------------------	---

Muut huomioon otettavat asiat ja työohjeet	Mikäli bentoniittimurskeen levityksen aikana sataa vettä, tulee jyrsimätön bentoniittimurske peittää suojamuovilla

Yhteyshenkilöt	Nimi	Tehtävä	Puhelin
	Timo Mustajärvi	Työnjohtaja	
	Janne Tikkamäki	Projektipäällikkö	

Allekirjoitukset - nimen selvennykset	Laatija	Tarkastanut
	Timo Mustajärvi	Janne Tikkamäki

SKANSKA

TYL E18
TYÖNTEENLIITTYMÄLEMMINKÄINEN
INFRA

MUURLA - LOHJA

TOTEUTUS- JA LAADUNVALVONTASUUNNITELMA

Kohde		Laatija	
Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue		Timo Mustajärvi	
Plv	Laadittu pvm	Paivitetty pvm	Versio
	28.7.2008		

Rakenneosa	Pohjarakenne Keinotekoinen eriste, suojakerros ja kuivatuskerros
-------------------	---

Aloitusedellytykset - edeltävät työvaiheet - liittyvät työvaiheet - seuraavat työvaiheet - työn suorittaja	Mineraalinen tiivistyskerros on tehty suunnitelmien mukaisesti, vaadittavat laadunvarmistusmittaukset on suoritettu ja rakenteen on todettu täyttävän sille asetetut kelpoisuusvaatimukset
Aloituspäivä	<input type="checkbox"/> ei pidetä <input type="checkbox"/> pidetty, pvm <input checked="" type="checkbox"/> pidetään, pvm 28.7.2008
Käytettävät suunnitelmat - työselitys - piirustukset - suunnitelmat	Loppusijoitusalueen työkohtainen työselitys Rakennussuunnitelmat (kartat ja leikkaukset) Korjaussuunnitelma
Työn suoritus - työsisältö - työvaiheet - työjärjestys	Keinotekoisien eristeen, suojakerroksen ja kuivatuskerroksen asentamisen työvaiheet: 1. Geomembraanikalvo levitetään levityssuunnitelman mukaisesti (ViaPipe Oy) 2. Levitetty kalvo painotetaan geotekstiilirullilla ja auton renkailla 3. Kalvojen saumat hitsataan kuumakalvohitsauslaitteella 3.1. Ennen saumojen hitsaamista, saumakohta puhdistetaan kuivalla kankaalla 3.2. T-saumojen tiiveys varmistetaan ekstruusiopuhdistuslaitteella paikalla 4. Saumoille suoritetaan vaadittavat laadunvarmistuskokeet (ViaPipe Oy) 5. Suojakerros tehdään asentamalla geomembraanikalvon päälle suojageotekstiili 6. Geotekstiilin saumakohdat limitetään vähintään 30 cm ja geotekstiili painotetaan auton renkailla 7. Geotekstiilin päälle asennetaan kuivatuskerros #16-32 murskeesta 7.1. Murske tuodaan paikalle kuorma-autolla/dumpperilla ja kipataan suojageotekstiilin päälle 7.2. Murske levitetään kaivinkoneella 500 mm kerroksena, levitys aloitetaan alueen kaakkoiskulmasta 7.3. Kaivinkoneella ei ajeta geotekstiilin päälle ennenkuin 500 mm murskekerros on levitetty alle 7.4. Salaojakerrokseen asennetaan kaksØ110 salaojaputkia, jotka liitetään poistoputkeen
Resurssit - kalusto - työryhmä - työsaavutus	1 Tj, 1 Mittaryhmä, 1 KKH, 5 RAM, 1 KA
Aikataulu - riskit - työvaiheikataulu	Työ suoritetaan viikkojen 31-32 aikana Sateella geomembraanikalvon hitsaus joudutaan keskeyttämään
Materiaalit - hankinta - toimitus - merkitseminen	Geomembraanikalvon ja suojageotekstiilin toimittaja ja asentaja ViaPipe Oy Murske löytyy kohteesta
Ympäristö - riskit - vaikutus ympäristöön (pöly, melu, tärinä, kuivanapito yms.)	
Työturvallisuus - riskit - ennaltaehkäisy	Työn aikana noudatetaan TYL E18 turvallisuussuunnitelmaa sekä hankkeen turvallisuusasiakirjaa. Työkoneille tehdään käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastukset.

SKANSKA

TYL E18
TYÖNTEENLIITTYMÄLEMMINKÄINEN
INFRA

MUURLA - LOHJA

TOTEUTUS- JA LAADUNVALVONTASUUNNITELMA

Kohde	Laatija		
Lempolan pilaantuneiden maiden loppusijoitusalue	Timo Mustajärvi		
Piv	Laadittu pvm	Paivitetty pvm	Versio
	28.7.2008		

Rakenneosa	Pohjarakenne Keinotekoinen eriste, suojakerros ja kuivatuskerros
-------------------	---

Laatuvaatimukset	Laatumuuttuja	Toleranssi	Mittausmenetelmä	Viite	Mittaustiheys	
Keinotekoinen eriste	HDPE -kalvomateriaali		Silmämäär. tark.	Työkohtainen työselitys	Jatkuva	
	Asennusolosuhteet >+5°C		Lämpömittari	Työkohtainen työselitys	Jatkuva	
	Kalvon saumat, vaad. GRI GM 19		Lujuuskoe	Työkohtainen työselitys	min. 1/150jm	
	Kalvojen asennus, toteuma		Silmämäär. tark.	Työkohtainen työselitys	Jatkuva	
	Suojageotekstiili	Paino k.a $\geq 1200\text{g/m}^2$	-10 %	ISO 09864/965	Työkohtainen työselitys	1/toimituserä
		Vetolujuus $\geq 20\text{N/m}$	-10 %	ISO 10319	Työkohtainen työselitys	1/6000m ²
		Paksuus, 8mm	-10 %	ISO 964-1	Työkohtainen työselitys	1 /joka 2. rulla
		CBR -puhkaisuvaluus; 5500N	-10 %	ISO 12336	Työkohtainen työselitys	1/6000m ²
		CBR murtovenymä; 50%	-10 %	ISO 12236	Työkohtainen työselitys	1/6000m ²
		Neulaton	-10 %	Metallipaljastin	Työkohtainen työselitys	Jatkuva
		Geotekstiilin asennus; limitys/puhtaus		Silmämäär. tark.	Työkohtainen työselitys	Jatkuva
	Kuivatuskerros	Murskemateriaali (#16-32)		Rakeisuustutkimus		
		Kerros paksuus; min. 500mm	-0 ... +50mm	Takymetri	Työkohtainen työselitys	5 x 5m ruutuun

Työnaikainen laadunvarmistus	

Laatumittausten vastuujaako	Laatumuuttuja	Vastuuhenkilö	Mittaja	Dokumentti	Muuta	
Keinotekoinen eriste	HDPE -kalvomateriaali	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Ainestodistus		
	Asennusolosuhteet >+5°C	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Pöytäkirja		
	Kalvon saumat, vaad. GRI GM 19	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Saumauspöytäkirja		
	Kalvojen asennus, toteuma	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Levityspiirustus		
	Suojageotekstiili	Paino k.a $\geq 1200\text{g/m}^2$	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Pöytäkirja	
		Vetolujuus $\geq 20\text{N/m}$	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Tutkimusraportti	
		Paksuus, 8mm	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Tutkimusraportti	
		CBR -puhkaisuvaluus; 5500N	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Tutkimusraportti	
		CBR murtovenymä; 50%	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Tutkimusraportti	
		Neulaton	T. Mustajärvi	ViaPipe Oy	Todetaan kohteessa	
		Geotekstiilin asennus; limitys/puhtaus	T. Mustajärvi	Riippumaton lv	Todetaan kohteessa	
	Kuivatuskerros	Murskemateriaali (#16-32)	T. Mustajärvi	R. Peräkylä Oy	Rakeisuuskäyrä	
		Kerros vahvuus; min. 500mm	T. Mustajärvi	TYL E18 mittaus	Tarkepiirustus	

Työvaiheen lopetus Dokumentointi	<input type="checkbox"/> Työvaiheesta suoritetaan itselleluovutus <input checked="" type="checkbox"/> Rakenneosasta laaditaan laaturaportti <input checked="" type="checkbox"/> Mittaustulokset ovat nähtävillä työmaatoimistolla <input checked="" type="checkbox"/> Havaituista poikkeamista laaditaan poikkeamaraportti <input checked="" type="checkbox"/> Mittauksista tehdään tarkekuva
---	---

Muut huomioon otettavat asiat ja työhöjeet	

Yhteyshenkilöt	Nimi	Tehtävä	Puhelin
	Timo Mustajärvi	Työnjohtaja	
	Janne Tikkamäki	Projektipaällikkö	

Allekirjoitukset - nimen selvennykset	Laatija	Tarkastanut
	Timo Mustajärvi	Janne Tikkamäki