



ÄMMÄSSUON SULJETUN BIOREAKTORIKAATOPAIKAN PAINUMA- JA SIIRTYMÄMITTAUKSIEN MONITOROINTIOHJELMA

Opinnäytetyö

Janina Virtanen

Ympäristötekniikka

Ympäristönsuojelu ja automaatio- ja mittaustekniikka

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO		
Koulutusohjelma		
Ympäristötekniikan koulutusohjelma		
Tekijä		
Janina Virtanen		
Työn nimi		
Ämmässuon suljetun bioreaktorikaatopaikan painuma- ja siirtymämittausten monitorointiohjelma		
Työn laji	Päiväys	Sivumäärä
Insinöörityö	9.5.2011	50 +14
Työn valvoja	Yrityksen yhdyshenkilö	
Lehtori Raimo Lehtiniemi	Projektipäällikkö Kai Sormunen (Ramboll)	
Yritys		
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY		
Tiivistelmä		
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli laatia painuma- ja siirtymämittausten monitorointiohjelma Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen suljetun bioreaktorikaatopaikan vakauden tarkkailuun. Bioreaktorikaatopaikalla suotovesi kierrätetään takaisin jätetäyttöön tehostamaan metaanin tuotantoa. Työ toteutettiin tutkimalla aikaisempia kokemuksia kaatopaikkojen painuma- ja siirtymämittausten menetelmistä sekä kartoittamalla tutkimuskohteena olevan kaatopaikan painumista ja siirtymistä aikaisemmin tehtyjen painumamittausten avulla.</p> <p>Työhön kuului tutkimus inklinometriä soveltuvuudesta kaatopaikan siirtymien seurantaan. Inklinometrit ovat automaattisia ja jatkuvatoimisia mittalaitteita, jotka mitaavat jätetäytön siirtymistä eri syvyyksissä. Lisäksi työssä selvitettiin laserkeilaukseen perustuvan siirtymäanalyysin soveltuvuutta painumien tarkkailuun. Siirtymäanalyysissä verrattiin vuosien 2008 ja 2010 kaatopaikan laserkeilaustuloksia, joiden perusteella pinnan korkeuden muutoksista laadittiin teemakartta. Tulosten perusteella laadittiin varsinainen monitorointiohjelma jätetäytön painumien ja siirtymien tarkkailua varten.</p> <p>Suotoveden kierrätys saattaa nostaa kaatopaikan sisäisen veden pinnan korkeutta ja lisätä sortumien riskiä. Monitorointiohjelmalla tehostetaan Ämmässuon kaatopaikan painumien ja siirtymien seurantaa ja voidaan ehkäistä niistä mahdollisesti aiheutuvia vahinkoja.</p>		
Avainsanat		
kaatopaikka, bioreaktori, painumat, inklinometri, laserkeilaus		
Luottamuksellisuus		
julkinen		

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		
Degree Programme		
Environmental Engineering		
Author		
Janina Virtanen		
Title of Project		
A Monitoring Programme for Settlement Measurements of the Ämmässuo's Closed Bioreactor Landfill		
Type of Project	Date	Pages
Final Project	May 9, 2011	50 +14
Academic Supervisor	Company Supervisor	
Mr. Raimo Lehtiniemi, Lecturer	Mr. Kai Sormunen, Project Manager (Ramboll)	
Company		
Helsinki Region Environmental Services Authority HSY		
Abstract		
<p>The aim of this final project was to create a settlement monitoring programme for the Ämmässuo's closed bioreactor landfill. It is called a bioreactor landfill because the leachate that is formed from the waste fill is recycled back to the waste fill to intensify the production of methane. The leachate recycling might raise water level inside the landfill and therefore increase the possibility of landfill failures. One part of this final project was a research settlement analysis based on laser scanning and the testing of inclinometer's suitability for monitoring landfill displacements.</p> <p>The project was implemented by researching experiences of settlement measurement methods of landfills. Earlier settlement measurements that had been done at Ämmässuo's landfill were also studied to find out how the waste fill has settled so far.</p> <p>The testing of inclinometers and the settlement analysis based on laser scanning were successful. They are both suitable methods for monitoring landfill displacements. As a result of this final project, on the basis of the results, a monitoring programme was created for the monitoring of landfill settlements and displacements. By intensifying the monitoring of the landfill settlements and displacements in the landfill, it is possible to prevent accidents that they might cause.</p>		
Keywords		
landfill, bioreactor, settlement, inclinometer, laser scanning		
Confidentiality		
public		

ALKUSANAT

Työ tehtiin Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä HSY:n tilauksesta. Työn toteuttaminen oli mielenkiintoista, mutta haastavaa jo aiheen takia, koska Suomessa ei ole aiemmin toteutettu kaatopaikalla suotoveden kierrätystä Ämmässuon suorittamassa mittakaavassa.

Haluan kiittää erityisesti Rambollilta projektipäällikkö Kai Sormusta työn ohjauksesta ja projektipäällikkö Aleks Salomaata avusta työn eri vaiheissa. Kiitos teknologiajohtaja Sami Ylöselle FinMeasilta avusta inklinometrien kanssa. Kiitokset avusta myös HSY:n ympäristöinsinööri Maria Valtarille, rakennuttajainsinööri Jari Virmaselle ja muille työntekijöille, jotka ovat auttaneet minua tarvittavien tietojen hankinnassa sekä kiitos ohjauksesta ohjaavalle opettajalle lehtori Raimo Lehtiniemelle. Suurin kiitos kuuluu Iljalle, jonka neuvot ja tuki ovat auttaneet vaikeiden hetkien yli.

Espoossa 9.5.2011

Janina Virtanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	KOHDEYRITYS	10
2.1	Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä HSY	10
2.2	Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus	10
3	JÄTTEEN LOPPUSIJOITTAMISTA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET	13
3.1	EU:n jätedirektiivi 2006/12/EY	13
3.2	Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/1997	14
3.3	Ympäristönsuojelulaki (86/2000)	14
4	JÄTTEIDEN BIOLOGINEN HAJOAMINEN JA SEN TEHOSTAMINEN	15
4.1	Bioreaktorikaatopaikka	16
4.2	Ämmässuon bioreaktorikaatopaikka	17
5	PAINUMAT JA NIIDEN AIHEUTTAMAT ONGELMAT	19
5.1	Bioreaktorikaatopaikan painuminen	20
5.2	Kaatopaikkasortumat	20
6	PAINUMIEN JA SIIRTUMIEN TUTKIMUSMENETELMÄT	22
6.1	Tutkimus Al-Qurainin kaatopaikan painumista	22
6.2	Laserkeilauksen soveltuvuus kaatopaikan painumien seurantaan	22
6.3	Ämmässuolla käytetyt tutkimusmenetelmät	23
6.3.1	Painumahavainnot	25
6.3.2	Siirtymähavainnot	26
7	KOKEELLISET MENETELMÄT	27
7.1	Inklinometrit	27
7.2	Laserkeilaukseen perustuva siirtymäanalyysi	32
8	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	34
8.1	Inklinometrit	34
8.1.1	Inklinometri 1	35
8.1.2	Inklinometri 6	37
8.1.3	Muut inklinometrit	39
8.2	Laserkeilaukseen perustuva siirtymäanalyysi	40
8.2.1	Siirtymäanalyysin vertailu aiempaan painumatarkkailuun	42
8.2.2	Kaatopaikan alareunan pinnan kohoaminen	42
8.3	Monitorointiohjelma	43
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	45
	LÄHTEET	47

LIITTEET

LIITE 1. Ämmässuon kaatopaikan painumalevyjen tarkkailutulokset vuosilta 2003–2009

LIITE 2. Inklinometrien syvyysprofiilit, siirtymät ja siirtymänopeudet

KÄSITTEITÄ

HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
Kaatopaikan painuma	Kaatopaikan pinnankorkeuden alenema, jätteen hajoamisen ja tiivistymisen seurauksena
Kaatopaikan siirtymä	Kaatopaikan vaakasuuntainen liukuma, esimerkiksi leikkauslujuuden ylittyessä
Jätteen loppusijoitus	Jätteen pysyvä sijoittaminen niille varattuun paikkaan
Leikkauslujuus	Materiaalin ominaisuus vastustaa leikkausta
Painumalevy	Levy, jossa on kaatopaikan painumien ja siirtymien tarkkailuun soveltuva kiinteä mittauspiste, josta levyn korkeus-asema ja sijaintitiedot mitataan.
Teemakartta	Jonkin tietyn ilmiön laatua, levinneisyyttä, määrää tai sijaintia kuvaava ilmiö.
Sekajäte	Jäte, joka jää jäljelle, kun hyötyjätteet, ongelmajätteet ja erityisjätteet on lajiteltu erikseen.
Suotovesi	Jätteen hajoamisen ja sadevesien imeytymisen seurauksena jätetäytössä syntyvä vesi

1 JOHDANTO

Jätelaitosyhdistyksen mukaan vuonna 2008 Suomessa syntyi yhdyskuntajätettä noin 2 800 000 tonnia, josta noin puolet loppusijoitettiin hyötykäyttökelvottomana kaatopaikoille. Tulevaisuudessa tavoitteena on vähentää jätteiden kaatopaikkasijoitusta hyödyntämällä niiden materiaali- ja energiasisältöä. Vaikka jätteen loppusijoitus on nykyäänä hyvin hallittua, aiheutuu siitä erilaisia päästöjä ilmaan ja vesistöihin. Näiden päästöjen pääsy ympäristöön on hyvin rajoitettavissa nykyaikaisen kaatopaikkateknologian avulla.

Kaatopaikalla biohajoavat jätteet hajoavat erilaisten hajoamisreaktioiden tapahtumaketjussa, joiden lopputuotteena muodostuu kaatopaikkakaasua ja vettä. Kaatopaikkakaasua, joka pääasiassa koostuu metaanista ja hiilidioksidista, muodostuu jätteen sisältämän orgaanisen aineksen hajotessa anaerobisesti eli mätänemällä. Hajoamisprosessien seurauksena jätetäytöstä poistuu orgaanista ainesta kaatopaikkakaasun ja suotovesien mukana, jonka seurauksena jätetäyttöön syntyy painumia. Kaatopaikkojen hajoamistilan prosessien hallintaa on kehitetty ns. bioreaktorin tavoin, jolla pyritään nopeuttamaan jätteen hajoamista ja vähentämään ympäristön kuormitusta. Jätteen nopeutunut hajoaminen nopeuttaa myös jätetäytön painumista, mikä saattaa lisätä sortumien ja sivuttaissiirtymien riskiä. Edellä mainitut jätetäytön muutokset saattavat vahingoittaa kaatopaikan rakenteita, kuten kaasun- ja vesienkeräysputkistoja haitaten päästöjen hallintaa. Kaatopaikan vakauden seurannalla pyritään varmistamaan rakenteiden säilyvyys ja vakaus, jotta siirtymiä ja niistä aiheutuvia ongelmia ei tapahtuisi.

Täytön suuren tiheyden ja heikon vedenläpäisevyyden takia suotoveden kierrätys saattaa aiheuttaa jätetäytön sisäisen veden pinnan nousua, josta saattaa seurata liettymisiä ja kantavuusongelmia. Ensimmäinen raportoitu kaatopaikkasortuma on tapahtunut Jugoslaviassa (nykyisin Serbia ja Montenegro) 1970-luvulla, jonka jälkeen on raportoitu useita sortumia, esimerkiksi Turkissa (1993), Filippiineillä (2000) ja Indonesiassa (2005).

Tämän insinööriyön tavoitteena oli laatia Ämmäsuon vanhalle kaatopaikalle monitorointiohjelma vakauden seurantaan varten, jotta mahdolliset vakausongelmat huomattaisiin ja niihin voitaisiin reagoida ajoissa. Kaatopaikan painumista tarkastellaan enimmäkseen bioreaktoritoiminnan näkökulmasta, mutta jonkin verran työssä käsitellään myös jätteen geoteknisiä ominaisuuksia. Työ toteutetaan suunnittelemalla koemittaukset, joiden tulosten perusteella laaditaan varsinainen monitorointiohjelma. Koemittauksien menetelmäksi on valittu inklinometrimitaus sekä laserkeilaukseen perustuvaa

siirtymäanalyysiä, joiden soveltuvuutta kaatopaikan vakauden monitorointiin tarkastellaan tässä työssä. Koska aihetta on melko vähäisesti käsitelty Suomessa, työn yhtenä osana on selvittää kokemuksia ulkomailla tehdyistä painuma- ja siirtymämittauksista. Lisäksi teoriaosuudessa käsitellään aiheeseen liittyvää lainsäädäntöä ja perehdytään bioreaktorikaatopaikan toimintaan ja erityisesti sen vaikutuksiin jätteen hajoamisprosessissa.

2 KOHDEYRITYS

2.1 Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä HSY

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY on vuoden 2010 alussa toimintansa aloittanut kuntayhtymä, jonka vastuualueina ovat pääkaupunkiseudun jäte- ja vesihuollon lisäksi seutupalvelut, joka vastaa, esimerkiksi pääkaupunkiseudun ilmanlaadunseurannasta. Vesi- ja jätehuollon piiriin kuuluvat Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisen vesilaitokset sekä Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus Espoossa. HSY:llä on henkilöstöä noin 800 vuonna 2010. Yrityksellä on asiakkaina yli miljoona pääkaupunkiseudun asukasta ja yritystä./1/

2.2 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus

HSY:n hallinnoima Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus (kuva 1) sijaitsee Espoossa Kolmperän kaupunginosassa. Keskuksen kokonaispinta-ala on noin 190 hehtaaria ja sinne toimitetaan yli miljoonan pääkaupunkiseudun asukkaan ja 58 000 yrityksen jätteet./2;3/ Vuonna 2009 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksessa vastaanotettiin jätettä noin 705 000 tonnia, josta kaatopaikalle sijoitettavaa sekajätettä oli noin 250 000 tonnia /4/.



Kuva 1. Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus /2/

Jätteenkäsittelykeskuksen toiminnan alussa yhdyskuntajäte sijoitettiin kokonaisuudessaan kaatopaikalle, mutta 1990-luvun kuluessa keräysalueella alkoivat biojätteen, paperin, kartongin, metallin ja lasin erilliskeräykset, jonka seurauksena kyseiset jätejakeet ovat vähentyneet loppusijoitettavan yhdyskuntajätteen joukossa./5 s.10/ Pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen yleisissä jätehuoltomääräyksissä on ilmoitettu erilliskerättävä jätelaji ja se, minkä kokoisilta kiinteistöiltä sitä tulee kerätä. Esimerkiksi biojäte tulee syntypaikkalajitella erikseen yhdyskuntajätteestä kiinteistöillä, joissa on vähintään 10 huoneistoa tai sekajätettä syntyy yli 50 kiloa viikossa. Muita syntypaikkalajiteltavia jätteitä ovat keräyskartonki ja –pahvi, energijäte, metalli ja lasi./6/

Kaatopaikkatoiminnan lisäksi jätteenkäsittelykeskuksessa on kaksi kompostointilaitosta, joiden toiminta perustuu tunnelikompostointiin. Laitosten vieressä on kenttä, jossa biojätettä kompostoidaan aumoissa kolme kuukautta, jonka jälkeen ne myydään mullan valmistusaineeksi tai sellaisenaan maanparannusaineeksi. Alueella sijaitseva pienjäteasema Sortti on tarkoitettu pientuojille, jotka tuovat jätettä, esimerkiksi henkilö- tai pakettiautolla. Sortilla kerätään mm. puutarha-, ongelma-, puu-, metalli- ja sekajätettä sekä SER:iä eli sähkö- ja elektroniikkajätettä./3/

Kaatopaikkakaasun keräystä varten kaatopaikka-alueille on sijoitettu 322 kappaletta kaasunkeräyskaivoja, neljä kaasupumppaamoja ja seitsemän kaasunsäätöasemaa. Aiemmin kaasu poltettiin neljässä soihtupolttimossa hiilidioksidiksi, mutta toukokuussa 2010 käyttöön otetun kaasuvoimalaitoksen ansiosta pystytään hyödyntämään vanhalla ja uudella kaatopaikalla syntyvä kaasu kokonaan. Lisäksi alueella on kierrätysvesiasema ja molempien kaatopaikkojen vesienkeräysrakenteet, niitä käsitellään enemmän kappaleessa 4.2 Ämmässuon bioreaktorikaatopaikka./3/

Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen kaatopaikka-alue jakautuu kahteen osaan, vanhaan suljettuun täyttöön ja uuteen kaatopaikkaan. Vanha kaatopaikka valmistui käyttöön syyskuussa 1987, ja on pinta-alaltaan noin 53 hehtaaria. Kaatopaikan pohjarakenteet eivät täyttäneet vaatimuksia, jotka on annettu Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista, joten vanha kaatopaikka jouduttiin sulkemaan lokakuussa 2007, jonka jälkeen loppusijoitettava jäte on toimitettu uudelle kaatopaikalle. Vanhan kaatopaikan korkein kohta on noin 40 metriä, joka on noin 100 metriä merenpinnan yläpuolella. Vanhalle kaatopaikalle loppusijoitettiin yhteensä noin 14 miljoonaa tonnia jätettä./3/

Vuonna 2007 käyttöön otettu uusi kaatopaikka rakennettiin noin 55 hehtaarin kokoiseksi vanhan kaatopaikan länsipuolelle. Laajennusalueen täyttötilavuus on korkeintaan noin

19,2 miljoonaa kuutiometriä, ja sen käyttöä on laskettu olevan noin 45 vuotta. Alueen poikki rakennetaan noin 2 kilometriä pitkä huoltotunneli, jonka suuntaan alueen pohja on louhittu viettämään. Uudella kaatopaikalla syntyvät suotovedet kerätään huoltotunneliin rakennettuihin putkistoihin, josta ne johdetaan kierrätysvesiasemalle ja sieltä edelleen Suomenojan jätevedenpuhdistamolle tai kierrätetään takaisin jätetäyttöön. Toisin kuin vanhalla kaatopaikalla suotoveden kierrätys aloitettiin sulkemisen jälkeen, uudella kaatopaikalla suotoveden kierrätys ja kaatopaikkakaasun keräys aloitettiin jo täyttövaiheessa./7/

3 JÄTTEEN LOPPUSIJOITTAMISTA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET

Jätepolitiikan keskeisenä tavoitteena on vähentää jätehuollosta aiheutuvia terveys- ja ympäristöhaittoja. Keinoja päästä tähän tavoitteeseen ovat jätteen synnyn ehkäisy, jätteiden uudelleenkäytön ja materiaalikierrätyksen edistäminen, kierrätykseen soveltumattoman jätteen energiahyödyntämisen edistäminen ja jätteiden haitattoman käsittelyn ja loppusijoittamisen turvaaminen. Jätteen loppusijoitusta koskevat tietyt lait, asetukset ja direktiivit kuten ympäristönsuojelulaki ja EU:n kaatopaikkadirektiivi, joiden sisällöstä kerrotaan myöhemmin tarkemmin./8/ EU:n ja Suomen jätepolitiikan yleiset periaatteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. EU:n ja Suomen jätepolitiikan yleiset periaatteet /9/

Periaate	Merkitys
Ehkäisyn periaate	Jätteen tuottamisen ja haitallisuuden vähentäminen ja ehkäisy
Pilaaja maksaa	Jätteen tuottaja vastaa kaikista jätteen käsittelyyn liittyvistä kustannuksista
Tuottajavastuu	Tuotteen valmistaja ja maahantuoja vastaa eräiden tuotteiden jätehuollosta tuottajan sijaan
Varovaisuusperiaate	Ennakoidaan jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvia mahdollisia vaaroja
Läheisyysperiaate	Jätteet käsitellään mahdollisimman lähellä niiden syntypaikkaa
Omavaraisuusperiaate	Euroopan yhteisö ja kukin jäsenmaa ovat omavaraisia jätehuollossa

3.1 EU:n jätedirektiivi 2006/12/EY

Suomessa EU:n jätedirektiivi 2006/12/EY on pantu käytäntöön jätelain (1072/1993) ja –asetuksen (1390/1993) avulla. Direktiivi (2006/12/EY) korvasi direktiivin 76/442/ETY, ja siinä säädetään lainsäädännölliset puitteet, joita sovelletaan yhteisöjen jätehuoltoon. Säädestä sovelletaan esineisiin ja aineisiin, jotka haltija hävittää tai on velvollinen hävittämään. Jäsenvaltioiden on huolehdittava, että jätehuolto toteutetaan vaarantamatta ihmisten terveyttä tai ympäristöä. Direktiivin mukaan toisten puolesta jätteiden käsittelystä, hyödyntämisestä, varastoinnista tai sijoittamisesta vastaavilla yrityksillä tai laitoksilla on oltava lupa toimintaansa. HSY:llä tulee olla tämä lupa Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen toimintaa varten. EU:n jäsenvaltioiden on huolehdittava, että jätehuolto toteutetaan vaarantamatta ihmisten terveyttä tai ympäristöä./10/

3.2 Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/1997

Suomessa muutettiin Valtioneuvoston päätöstä kaatopaikoista (861/1997) vastaamaan EU:n kaatopaikkadirektiiviä (1999/31/EY). Päätöksen ja direktiivin tavoitteena on haitallisten ympäristövaikutusten, esimerkiksi ilmastonmuutoksen ja ympäristön pilaantumisen torjuminen ja ehkäiseminen ohjaamalla kaatopaikkojen suunnittelua, rakentamista, käyttöä, hoitoa, käytöstä poistamista ja jälkihoitoa. Lisäksi päätös ohjaa jätteiden sijoittamista niin, ettei niistä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle pitkän ajan kuluessakaan. Päätöksellä säädetään toiminnallisten ja teknisten vaatimusten avulla kaatopaikkojen sijaintia, käyttöä, hoitoa ja käytöstä poistamista. Direktiivissä on määritelty kaatopaikkaluokat (tavanomaisen, pysyvän ja ongelmajätteen kaatopaikat) ja niille hyväksyttävät jätelajit. VnP:n liitteessä 3 asetetaan vähimmäisvaatimukset kaatopaikan ja sen jälkihoitovaiheen tarkkailulle. Liitteessä määrätään painumien osalta säännöllistä tarkkailua täyttö- sekä jälkihoitovaiheessa./11/

3.3 Ympäristönsuojelulaki (86/2000)

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista. Lakia sovellettaessa on huomioitava myös jätelaki. Opinnäytetyön kohdeyrityksen HSY:n Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus kuuluu tämän lain piiriin, ja sillä on ympäristönsuojelulain edellyttämä ympäristölupa, jossa määrätään ympäristön tilaa seuraavista mittauksista käsittelykeskuksessa. Kuten aiemmin mainittujen säädösten myös ympäristönsuojelulain tavoitteena on vähentää ja ehkäistä ympäristön pilaantumista. Lisäksi sillä parannetaan kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon, tehostetaan ympäristöä pilaavan toiminnan ympäristövaikutusten arviointia ja kokonaisuutena huomiointia sekä turvataan terveellinen, viihtyisä ja luonnontaloudellisesti kestävä monimuotoinen ympäristö./12/

4 JÄTTEIDEN BIOLOGINEN HAJOAMINEN JA SEN TEHOSTAMINEN

Kaatopaikalle sijoitettu jäte käy läpi erilaisia kemiallisia, biologisia ja fyysisiä prosesseja, joiden seurauksena jäte hajoaa. Optimaalisissa olosuhteissa mikrobit hajottavat biohajoavan orgaanisen jätteen kaasumaisiksi ja vesiliukoiksi tuotteiksi. Jos jätetäytössä on hajotusta rajoittavia tekijöitä, voi biohajoavakin jäte pysyä muuttumattomana vuosikymmeniä. Hajotusta rajoittavia tekijöitä kaatopaikalla ovat mm. jätteen orgaanisen aineksen määrä, koostumus ja ikä, happipitoisuus, kosteus, pH, ravinteet ja lämpötila. Aluksi helposti hajoavan jätteen hajoaminen tapahtuu hapellisissa olosuhteissa eli aerobisesti, jolloin hajoamisessa vapautuu vettä ja hiilidioksidia. Jätteen hajoaminen muuttuu anaerobiseksi eli hapettomaksi happipitoisuuden laskiessa melko nopeasti, kun jätetäyttö tiivistetään ja peitetään. Syvemmällä täytössä hajoaminen on muuttunut anaerobiseksi, jossa vapautuu metaania, hiilidioksidia ja vettä./13;14/

Kaatopaikalle sijoitettavan jätteen hajoamistila voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat aerobinen vaihe, siirtymävaihe, happovaihe, metaanintuottovaihe ja kypsyminen vaihe. Eri vaiheiden kestot vaihtelevat päivistä vuosiin, ja siihen vaikuttavat orgaanisen aineksen jakautuminen jätetäytössä, ravinteiden saatavuus, jätteen kosteuspitoisuus ja sen kulkeutuminen jätetäytössä sekä alkutiivistys./14/

Ensimmäisessä aerobivaiheessa jätteen helposti hajoava orgaaninen aines hajoaa vedeksi ja hiilidioksidiksi aerobisesti kaatopaikan pinnassa. Toisessa eli siirtymävaiheessa täytön happipitoisuus alkaa laskea ja anaerobiset olosuhteet alkavat kehittyä. Kolmas vaihe on happovaihe, jossa mikrobien hajotustoiminta alkaa kiihtyä, ja sen seurauksena ammoniumtyypen ja orgaanisen aineksen pitoisuudet kasvavat ja pH laskee. Happovaiheessa jätetäytöstä poistuu ravinteita, joita tarvitaan myöhemmissä vaiheissa. Ravinteiden katoaminen on estettävissä suotoveden kierrätyksellä, jossa suotovesi palautetaan takaisin jätetäyttöön. Neljäs vaihe on metaanintuottovaihe, jossa jätteen orgaaninen aines hajoaa anaerobisesti metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Viidennessä vaiheessa eli kypsyminen vaiheessa metaanintuotannon hidastuessa olosuhteet kaatopaikan pinnassa voivat muuttua aerobisiksi./15;16/

4.1 Bioreaktorikaatopaikka

Bioreaktorikaatopaikalla pystytään kontrolloimaan jätteen hajoamiseen liittyviä fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia prosesseja. Bioreaktorikaatopaikka nopeuttaa merkittävästi jätteen biologista hajoamista ja kaatopaikan tilan vakautumista. Tavanomaisilla kaatopaikoilla jätteen hajoaminen voi kestää vuosikymmeniä, mutta bioreaktorikaatopaikoilla muutamia vuosia. Bioreaktorikaatopaikoilla jätteen hajoamisnopeuteen vaikuttavina menetelminä käytetään suotoveden kierrätystä tai ravinteiden, lietteen ja ilman lisäystä jätetäyttöön. Bioreaktorikaatopaikat voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan eri käytettävien menetelmien mukaisesti: aerobinen, anaerobinen sekä hybridi./17;18/

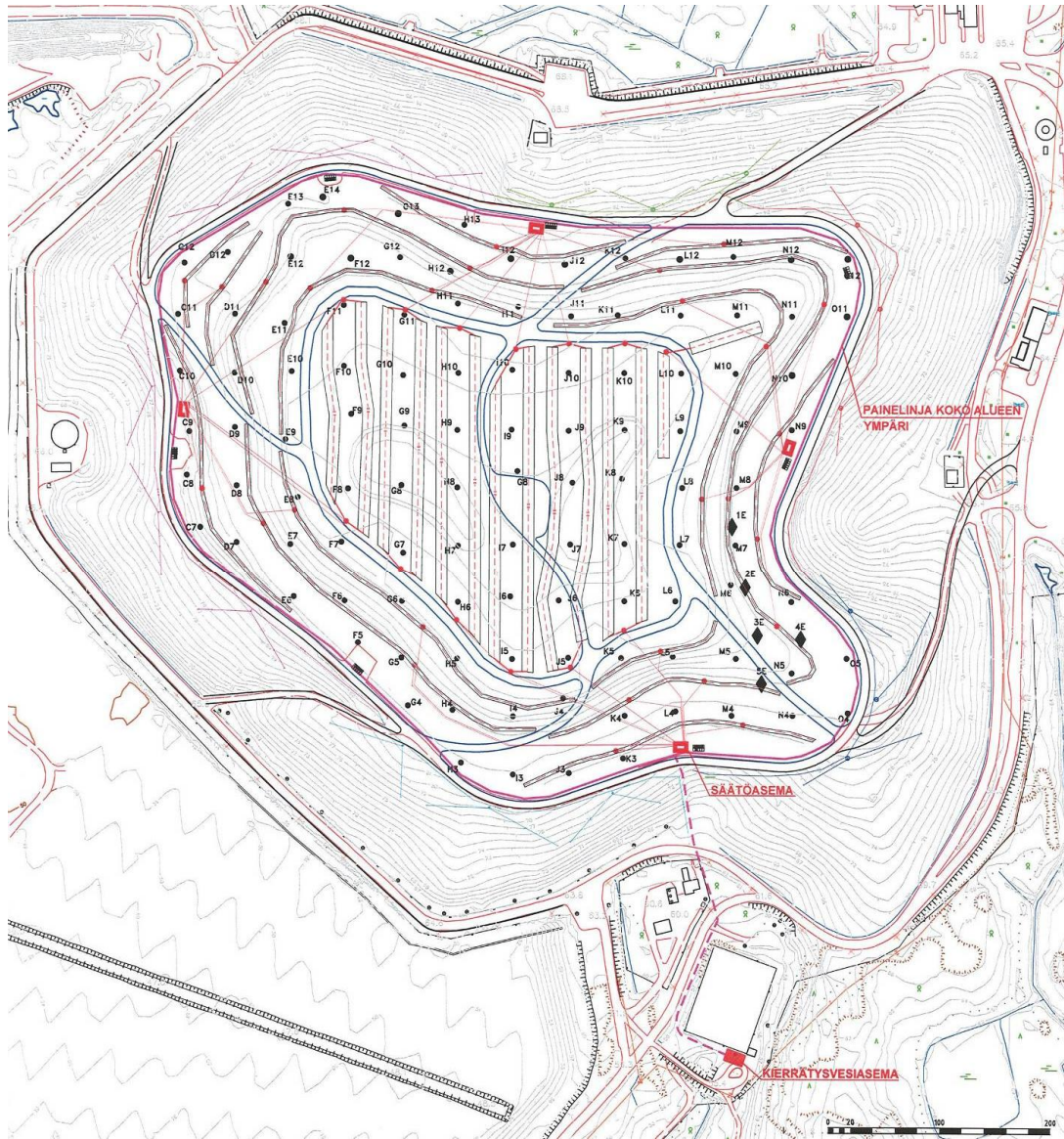
Aerobisesti toimivalla bioreaktorikaatopaikalla jätetäyttöön syötetään ilmaa pysty- tai vaakakaivojen avulla edistämään aerobista aktiivisuutta ja nopeuttamaan jätteen hajoamista. Jätetäytössä muodostuva suotovesi kerätään ja kierrätetään takaisin jätetäyttöön. Anaerobisesti toimivan bioreaktorikaatopaikan jätetäytön optimaalinen kosteustaso saavutetaan kierrättämällä suotovettä tai muita nesteitä takaisin täyttöön. Jätteen hajoaminen tapahtuu ilman happea anaerobisesti, ja hajoamisessa syntyy runsaasti metaania. Hybridibioreaktorikaatopaikoilla orgaaninen aines hajotetaan aerobisesti jätetäytön yläosissa ja kaatopaikkakaasu kerätään alemmista osista, jossa hajoaminen tapahtuu anaerobisesti./18/

Bioreaktorikaatopaikalla on useita etuja verrattuna tavanomaiseen kaatopaikkaan. Suurempi kaatopaikkakaasun tuotanto kontrolloiduissa olosuhteissa parantaa kaatopaikkakaasun laatua, jolloin sen talteenotto ja uudelleen käyttö on tehokkaampaa ja taloudellisempaa. Tehokkaalla kaasun talteenotolla ja hyödyntämisellä vähennetään merkittävästi kaatopaikkatoiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä ja hajuja. Bioreaktorikaatopaikkojen suotoveden kierrätyksellä vähennetään ympäristövaikutuksia vesistöihin, pohjavesiin ja lähiympäristöön. Lisäksi suotoveden kierrätys vähentää sen lopulliseen käsittelyyn liittyviä taloudellisia kustannuksia, koska esimerkiksi jätevedenpuhdistamolle johdettavan suotoveden määrä ja käsittelytarve vähenevät. Bioreaktorikaatopaikan jälkihoito- ja seuranta-aika ovat lyhyempiä kuin tavanomaisella kaatopaikalla, koska saasteiden ja muiden haitallisten aineiden pitoisuudet pienenevät kaatopaikan käytön aikana nopeammin. Lyhyemmän jälkihoitoajan ansiosta jälkihoitoon liittyvät kustannukset pienenevät./13;17/

4.2 Ämmässuon bioreaktorikaatopaikka

Valtioneuvoston päätöksen (861/1997) mukaan suljetun kaatopaikan pintakerroksen tulee olla tiivis, jotta puhtaat pintavedet ja kaatopaikan sisäinen suotovesi pystytään pitämään erillään. Ämmässuon suljetun kaatopaikan pintarakenteita on viimeistely noin 40 hehtaaria vuoden 2009 loppuun mennessä, ja viimeistelemätöntä aluetta on jäljellä noin 13 ha. Tiiviin pintakerroksen seurauksena jätetäyttöön ei pääse vettä, jolloin jätetäytön kuivuminen nopeutuu ja jätteen hajoaminen ja siitä aiheutuva metaanin tuotanto hidastuu. Uhkana saattaa olla kaatopaikan ”muumioituminen” ja sen seurauksena kaatopaikkakaasun tuotannon loppuminen. Pinnoitetuilla alueilla kuivuminen oli havaittavissa vähentyneenä metaanin tuotantona. Kaatopaikan kuivumisen ehkäisemiseksi on jätetäyttöön aloitettu kierrättää suotovettä vuoden 2010 alusta./3;19/

Suotoveden kierrätys toteutetaan kierrätysvesijärjestelmän avulla, joka koostuu kierrätysvesiasemasta ja koko jätetäytön kattavasta kierrätysvesiverkostosta säätöasemiin, joita on neljä kappaletta eri puolella täyttöä. Kuvassa 2 on esitetty vanhan kaatopaikan suotoveden kierrätysjärjestelmä, jossa punaiset suorakulmiot ovat säätöasemia ja punainen katkoviiva mustalla viivalla rajatun alueen sisällä on imeytysalaja. Alemman terassitien yläpuolinen verkosto perustuu paineelliseen ja alapuolinen painovoimaiseen horisontaaliseen imeytysjärjestelmään. Kaikki jätteenkäsittelykeskuksen alueella muodostuneet jätevesijakeet, esimerkiksi suoto- ja hulevedet johdetaan kierrätysvesiasemalle omissa putkistoissaan. Kierrätysvesiasemalta suotovesi pumpataan vanhalla jätetäytöllä sijaitseville säätöasemille, josta se jaetaan toimilaitteventtiilien (9–11 kpl/säätöasema) avulla kierrätysveden imeytyskanaaleihin, joista vesi imeytyy jätetäyttöön. Kierrätettävät vesijakeet lämmitetään, jotta kylmä vesi ei hidastaisi jätetäytössä lämpötila-alueella 35–38 °C:ssa tapahtuvaa jätteen hajoamista. Pääosin jätetäyttöön kierrätetään ensisijaisesti suotovesiä, jolloin Suomenojan jätevedenpuhdistamolle johdettavaa kuormitusta vähennetään ja jäteveden käsittelykustannuksissa säästetään./19/ Tällä hetkellä jätetäytölle kierrätetään suotovettä noin 300 mm/vuosi, joka tosin on alle vuotuisen sadannan, esimerkiksi vuonna 2008 vuotuinen sadanta oli noin 567,4 mm/vuosi /20/.



Kuva 2. Vanhan jätetäytön suotoveden kierrätysjärjestelmä /20/

5 PAINUMAT JA NIIDEN AIHEUTTAMAT ONGELMAT

Kaatopaikan vakaudella on suora vaikutus koko jätteen loppusijoitusprosessin hallittavuuteen, koska painumat ja siirtymät saattavat vahingoittaa kaatopaikan sisäisiä rakenteita, esimerkiksi kaasun ja suotoveden keräysputkistoja. Kaatopaikan vakauteen vaikuttavat monet tekijät, kuten jätteen koostumus ja ikä, jätteen tiiviys, sääolosuhteet, kaatopaikan geometria ja maan vakaus. Tärkein vakauteen vaikuttava tekijä on jätetäytön sisäisen suotoveden korkea pintataso, jonka takia suotovesien kierrätyksessä on huomioitava sen mahdollinen kerääntyminen jätetäyttöön ja siitä aiheutuvat ongelmat, kuten painumat ja siirtymät./21;22/

Leikkauslujuus on leikattavan materiaalin ominaisuus, jolla se vastustaa leikkausta. Jätetäytön leikkauslujuuteen vaikuttavat koheesio, kitkakulma ja kuitujen koheesio, joka tarkoittaa yhdyskuntajätteen kuitujen ja kalvojen jätetäyttöä lujittavaa voimaa (engl. fibre-cohesion). Lisäksi leikkauslujuuteen vaikuttaa suotoveden virtaus, josta aiheutuu virtauspainetta sekä aiemmin mainittua jätetäytön sisäisen vesipinnan nousua, joka puolestaan kasvattaa huokosvesipainetta, joka tarkoittaa jätetäytön rakoihin kerääntyneen veden painetta. Leikkauslujuus pienenee huokosvesipaineen kasvaessa, jolloin sortumavaara kasvaa, koska sortumat aiheutuvat leikkauslujuuden ylityksestä./22/ Allan on esitetty leikkauslujuuden kaava.

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \varphi \quad (\text{Kaava 1})$$

jossa τ on leikkauslujuus, c koheesio, σ kokonaisjännitys, u huokosvedenpaine ja φ kitkakulma.

Kaatopaikkojen sortumat ovat yleensä nopeita, mutta ne saattavat tapahtua myös hitaasti ja olla yhtä vaarallisia ja taloudellisilta seuraamuksiltaan kalliita kuin nopeat sortumat, jonka takia kaatopaikan mekaanisia muutoksia on tärkeää seurata. Kaatopaikan vakautta ja siinä tapahtuvia muutoksia voidaan tarkkailla mm. seuraamalla paikallisesti täytön painumia ja siirtymiä painumalevyillä. Maaperän geoteknisiä mittaamenetelmiä voidaan soveltaa kaatopaikalle, mutta mittaamenetelmän valinnassa tulee huomioida jätteen erilainen mekaaninen käyttäytyminen./22;23/

5.1 Bioreaktorikaatopaikan painuminen

Morrisin ym. (2003) tutkimus esittelee tuloksia kaatopaikan ylläpidon ja suotoveden kierrätyksen monitoroinnista keskittyen suotoveden tuotantoon ja laatuun, kaatopaikka-kaasuun sekä kaatopaikan painumiseen. Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida suotoveden kierrätyksen vaikutuksia jätteen hajoamisprosessiin. Tutkimus toteutettiin kaatopaikalla Delawaressa, Yhdysvalloissa, jossa tietoa kerättiin kaatopaikalle tehdyllä 11 hehtaarin kokoisen tutkimusalueen lisäksi kahdella testisolulla. Tulosten perusteella suotoveden kierrätyksellä on positiivisempia vaikutuksia tavanomaisella kaatopaikalla, esimerkiksi jätteen hajoaminen oli nopeampaa. Tutkimuksessa havaittiin suurimmat painumat välittömästi suotoveden imeytyskenttien alapuolella olevassa kerroksessa. 13 vuoden seurantajaksolla kaatopaikan tilavuus pieneni noin 19 % alkuperäisestä tilavuudesta. Suoraan tästä luvusta ei voida päätellä kuinka paljon kaatopaikan painumista on tapahtunut suotoveden kierrätyksen ja jätteen hajoamisen seurauksena, koska painumista tapahtuu myös mm. jätteen kokoonpuristuvuuden takia. Aiemmat tutkimukset (esim. Watts and Charles, 1999) raportoivat merkittävimmän painumisen tapahtuvan jätteen kokoonpuristuvuuden seurauksena välittömästi jätteen sijoituksen jälkeen. Morrisin ym. (2003) tutkimustulokset tukevat tätä väitettä, koska suurin painuminen on tapahtunut ensimmäisen vuoden jälkeen kaatopaikan sulkemisesta. Tuloksista myös selviää painumisen olevan nopeampaa suotoveden kierrätyksen aikana kuin sen lopettamisen jälkeen. Tämä tulos osoittaa selkeästi, että suotoveden kierrätyksellä on nopeuttava vaikutus jätteen painumiseen./24/

5.2 Kaatopaikkasortumat

Kaatopaikkojen sortumat ovat todennäköisimpiä trooppisissa maissa, joissa runsas- ja kuivat kaudet vaihtelevat suuresti. Runsaat ja pitkään kestävät sateet nostavat jätetäytön sisäisen veden pintaa ja kuivuus lisää tulipalojen riskiä. Sortumien riski on suurempi maissa, joilla ei ole tarpeeksi, esimerkiksi taloudellisia resursseja ja osaamista hyvin hoidettuun ja turvalliseen jätehuoltoon./23/ Suomessa ei ole raportoitu tapahtuneen isoja vahinkoja aiheuttaneista kaatopaikkasortumista.

Vuonna 2005 Indonesian Bandungissa vyöryi noin 2,7 miljoonaa kuutiometriä jätettä kaatopaikan rinnettä alas muutamassa minuutissa. Onnettomuudessa kuoli 147 ihmistä. Kaatopaikan sortuman todennäköisin syy oli pehmeän maaperän huokosvesipaine sekä kaatopaikan sisällä kuukausia kytenyt tulipalo, joka heikensi kaatopaikan sisäistä koossa pitävää voimaa tuhoamalla siihen vaikuttavia partikkeleita, kuten kuituja ja kal-

voja. Kaatopaikka sijaitsee laaksossa, jonka takia pohjavesi ja maahan imeytynyt sadevesi nostattivat maaperän huokosvesipainetta, joka aiheutti kaatopaikan vakauden heikkenemistä./25/

Turkissa Istanbulissa vuonna 1993 jätetäytössä tapahtui noin 500 metrin siirtymä, joka aiheutti 39 ihmisen kuoleman. Onnettomuuden mahdollisena syynä oli kaatopaikan liian jyrkät rinteet, joiden takia jätetäyttö ei ollut tarpeeksi vakaa. Onnettomuutta edeltävät päivät olivat sateisia, joten voidaan olettaa jätetäytön sisäisen vesipinnan olleen korkea. Korkea vesipinta ja epävakaat rinteet todennäköisesti aiheuttivat jätteessä liikettä, jonka seurauksena kaasua vapautui jätetäytöstä ja sekoittui ilmaan aiheuttaen räjähtävän yhdisteen, joka on mahdollisesti saanut sytytyslähteen joko palavasta lähteestä tai lämmöstä, joka vapautui liikkuvien jätteiden välisestä kitkasta. Lopulta on tapahtunut räjähdys, joka on vauhdittanut jätteen liikettä ja aiheuttanut onnettomuuden./26/

Molemmissa yllä kerrotuissa kaatopaikkasortumissa osasyynä oli jätetäytön korkea vesipinta. Näiden tulosten ja aiemmin kappaleessa 4.3 Bioreaktorikaatopaikan painuminen esitellyn Morrisin ym. (2003) tutkimuksen perusteella Ämmäsuon kaatopaikan vakauden tarkkailua on syytä tehostaa mahdollisista epävakauksista seuraavien vahinkojen minimoimiseksi.

6 PAINUMIEN JA SIIRTYMIEN TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Tutkimus Al-Qurainin kaatopaikan painumista

Al-Yaqoutin ym. (2006) tutkimuksen kohteena oli 15 vuotta ennen tutkimuksen alkua suljettu Al-Qurainin kaatopaikka Kuwaitissa. Kaatopaikka oli toiminnassa vuosina 1976–1985, jonka aikana sinne kerättiin noin 5 miljoonaa kuutiometriä jätettä 870 000 neliömetrin kokoiselle alueelle. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää jätemassojen painumia ja siirtymiä sekä sisäisen veden käyttäytymistä kaatopaikka-alueen myöhempiä käyttöä varten. Tutkimus sisälsi puoli vuotta kestäneen kenttämittausjakson sekä laboratoriomittauksia. Tutkimusmenetelmänä oli esikuormitus, jossa aiheutetaan keino-tekoisesti jätteen painuminen sijoittamalla lisäpainoa jätetäytön päälle. Al-Yaqoutin ja Hamodan tutkimuksen esikuormitusalue oli kooltaan 20 m x 20 m ja korkeudeltaan 5 m. Tutkimusmenetelminä käytettiin painumalevyjä, pneumaattisia pietsometrejä ja ekstensometriä magneettisella anturilla. /27/

Painumalevyjen avulla saatujen tutkimustulosten mukaan noin 55 % mittauskohteen kokonaispainumasta tapahtui ensimmäisten kahden viikon aikana, ja 80 % ensimmäisen kuukauden aikana. Tulosten perusteella painuminen vähenee ajan myötä, ja puolen vuoden jälkeen painuminen oli lähes vakautunut, mutta ei kuitenkaan pysähtynyt. Tämä saattaisi viitata ensimmäisen kuukauden aikana tapahtuvan huokosvesipaineen ja kaasun häviämiseen jätepartikkeleiden väliin jäävistä tyhjiä tiloista. Ekstensometreillä mitataan jätteenkoreen vertikaalisia siirtymiä kaikilla tasoilla. Tutkimuksessa käytettiin kahta ekstensometriä, joissa toisessa oli kolme ja toisessa neljä magneettianturia. Ensimmäisen ekstensometrin kokonaissiirtymä oli noin 0,126 m ja toisen 0,029 m. Pneumaattisten pietsometrien tulosten perusteella vesipinta nousi purkautuvien kaasujen takia. /27/

6.2 Laserkeilauksen soveltuvuus kaatopaikan painumien seurantaan

Olivierin ym. (2003) tutkimus esittelee maanpäällistä laserkeilaus-teknologiaa ja sen soveltuvuutta kaatopaikan jätetäytön painumien seurantaan. 3D laserkeilaimen toimintaperiaatteena on laskea välimatka kohdepisteelle tunnetun kulkuradan mukaan. Jokaisesta laserimpulssista kohden keilain kerää kaksi kulmaa, jotka antavat oikean suunnan mitatulle kohteelle sekä kulkuajan, jolloin impulssi osuu pintaa ja palaa takaisin keilaimelle. Tuloksena on satojen tuhansien pisteiden kokoelma, jota kutsutaan ”pistepil-

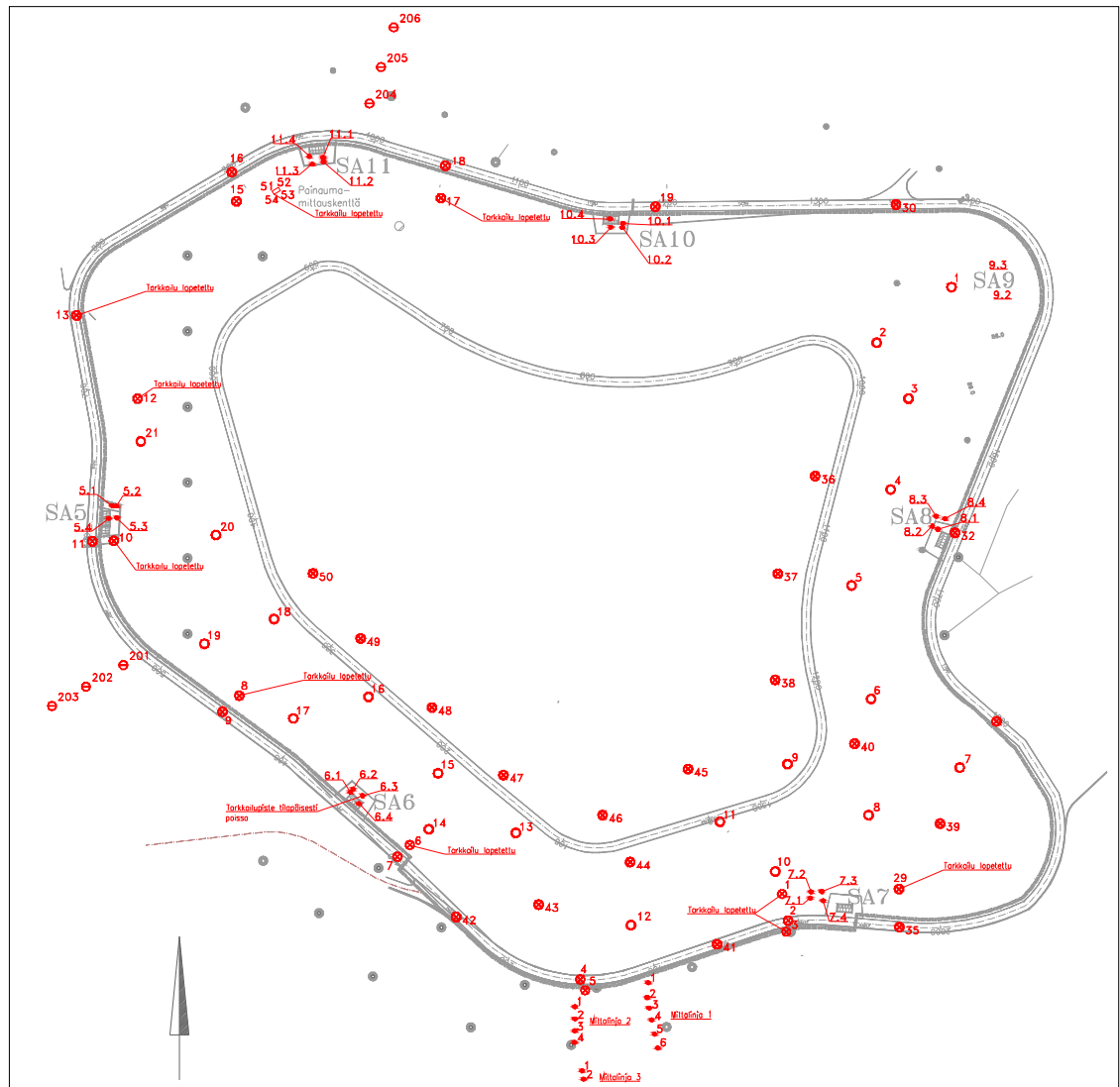
veksi. Kerätystä ”pistepilvestä” luodaan maastomallinnus, josta on poistettu, esimerkiksi kasvillisuus ja rakennukset./28/

Kaatopaikka, jossa tutkimus toteutettiin, sijaitsee Chatuzangessa Ranskassa. Se otettiin käyttöön vuonna 1992 ja sen arvioitu lopettamisvuosi on 2021. Vuosittain Chatuzangeen tuodaan noin 110 000 – 160 000 tonnia jätettä, jotka sijoitetaan viidelle eri alueelle, joista kolme on jo suljettu ja peitetty. Tutkimuksen mukaan suljettujen osien painumia on seurattu kahdeksan vuoden ajan painumalevyillä. 3D laserkeilausmenetelmän testaus suoritettiin kolme kertaa ja jokaisella testauskerralla mittaukset suoritettiin 27–30 eri paikasta. Lisäksi jokaista mittauspaikkaa verrattiin tunnettuihin kiintopisteisiin./28/

Tutkimuksessa todetaan 3D laserkeilainmittauksen eduiksi korkea resoluutio, pistetiheys ja helppo toteuttaminen. Verrattuna tavanomaisempiin menetelmiin laserkeilaustekniikan oletetaan parantavan jätetäytön kapasiteetin arviointia sekä peitetyn jätetäytön painumisen tarkkailua. Lisäksi siirtyminen satunnaisesta jatkuvaan painumien tarkkailuun lisää tietämystä paikallisten hydrologisia, biologisia, fysikaalisia ja mekaanisia vuorovaikutuksia jätteen ja kaatopaikkarakenteiden (kaasun- ja suotovedenkeräysjärjestelmät ym.) välillä./28/

6.3 Ämmässuolla käytetyt tutkimusmenetelmät

Painumamittaukset aloitettiin vuoden 2003 lopussa Ämmässuon kaatopaikan vanhan jätetäytön terassitiellä. Painumien mittauspisteitä on noin 117, joista noin 10 kappaletta on lopetettu mittausvaikeuksien takia. Mittauspisteet ovat pääasiassa painumalevyjä, joista noin 40 kappaletta on kaasunkeräyskaivoissa./13./ Lisäksi painumia seurataan kolmella eri mittalinjalla, jotka sijaitsevat jätetäytön eteläisellä osalla, betonipaaluilla (9 kpl), säätöasemilla sekä yhdellä painumakentällä. Kuvassa 3 on esitetty kaikki edellä mainittujen painuma- ja siirtymämenetelmien mittauspisteiden sijainnit, tosin siitä puuttuvat kaivot 31–34 ja betonipaalulinja 207–209./29/



Kuva 3. Ämmässuon vanhan jätetäytön painumien ja siirtymien seurantapisteet./29/

Vuonna 2004 betonirakenteisiin kaasunkeräyskaivoihin laitettiin painumalevyt, joihin asennetuista tapeista kaivojen painumat mitattiin kahden viikon välein takymetrillä. Näin lyhyellä tarkkailuvälillä muutokset olivat millimetrejä, mutta takymetrillä päästiin riittävään tarkkuuteen. Nykyisin painumien mittauksiin käytetään GPS-mittausta, jolla ei tosin saada yhtä tarkkoja tuloksia kuin takymetrillä, ja siksi mittausväliä on pidennetty. Mittaukset suoritetaan kolmesti vuodessa: keväällä lumien sulamisen jälkeen, alkusyksystä ja loppusyksystä ennen lumien tuloa. GPS-mittauksen vahvuutena verrattuna takymetriin on taloudellisuus, koska takymetrimittaukset vaativat kahden henkilön työpanoksen, mutta GPS vain yhden. Tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi GPS-laitteella mitataan sama mittauspiste useita kertoja samalla mittauskerralla. Lisäksi mittauksen välillä mitataan useita kertoja kiintopisteet, joiden sijainnit tunnetaan tarkasti, jotta mittalaitteen antamia lukemia voidaan pitää luotettavina./30/

6.3.1 Painumahavainnot

Tulokset on koottu vuosina 2003 - 2009 tehtyjen painuma- ja siirtymämittausten tulosten perusteella (liite 1). Edellisen luvun 6.2 Ämmässuolla käytetyt tutkimusmenetelmät kuvassa 3 on esitetty Ämmässuon painuma- ja siirtymäseurannan pisteet.

Kaatopaikan keskimääräinen painumanopeus on noin 3,1 cm/kk, kun mittauspisteistä jätetään pois alareunassa olevat mittalinjat ja betonipaalut. Alareunassa kaatopaikan korkeus on matalampi, joten myös painumat ja siirtymät ovat suhteessa pienempiä ja vääristäisivät keskiarvoa. Alueen suurimmat painumat ovat olleet kaatopaikan itäosassa, erityisesti kaivoilla 33 ja 36–38 sekä säätöasemalla 9. Painumakaivojen painumanopeudet ovat välillä 5,3–9,3 cm/kk. Tosin kaivoja 36–38 on tarkkailtu vasta yhden vuoden ajan, joten pidempi aikaista luotettavampaa mittaustietoa ei ole saatavilla. Kaivot sijaitsevat noin 97–98 metrin korkeudella merenpinnan yläpuolella. Itäosalla koillisen suunnalla säätöasemalla 9 on neljä mittauspistettä, joiden keskimääräinen painumisnopeus on noin 4,1 cm/kk. Säätöasema sijaitsee terassitien yläpuolella noin 87 metrin korkeudella meren pinnasta.

Suuria painumia on havaittu myös kaatopaikan pohjoisosalla luoteen suunnassa säätöaseman 11 lähistöllä, jossa painumakaivojen 15–18 keskimääräinen painumanopeus noin 3,8 cm/kk. Kaivot 16–18 sijaitsevat terassitiellä noin 83–84 metrin korkeudella ja kaivo 15 hieman terassitien yläpuolella noin 86 metrin korkeudella merenpinnasta. Säätöaseman 11 lähellä on myös painumakenttä, jonka mittauspisteiden painuminen on ollut samankaltaista kuin painumakaivoilla 15–18.

Jätetäytön pienimmät painumat ovat jätetäytön etelä- ja länsiosissa. Eteläosassa sijaitsevien kolmen mittalinjan keskimääräinen painumanopeus on noin 0,7 cm/kk. Mittalinjat sijaitsevat terassitien alapuolella kaatopaikan helmassa 64 – 75 metrin korkeudella meren pinnasta. On huomioitava, että kaatopaikan korkeus on matalampi helmassa, jolloin painuminenkaan ei voi olla niin suurta kuin ylempänä. Mittalinjojen lähellä sijaitsevien kaivojen 4 ja 5 keskimääräiset painumisnopeudet ovat 1,1 ja 1,0 cm/kk, jotka edustavat myös kaatopaikan pienintä painumista. Kaivot sijaitsevat terassitien kohdalla noin 78 metrin korkeudella merenpinnasta. Kaatopaikan pienintä painumaa edustaa myös länsiosassa säätöasema 5, jonka keskimääräinen painumisnopeus on noin 0,6 cm/kk. Säätöasema sijaitsee terassitien yläpuolella noin 79 metrin korkeudella meren pinnasta. Säätöaseman vieressä sijaitsevien painumakaivojen 10 ja 11 painumano-

peudet ovat myös alhaiset, noin 1,0 ja 0,8 cm/kk. Kaivot ovat terassitiellä noin 77 – 78 metrin korkeudella meren pinnasta.

6.3.2 Siirtymähavainnot

Eniten painuneilla mittauskohteilla ei välttämättä ole suurimmat sivuttaissiirtymät eikä suuret sivuttaissiirtymät tarkoita suuria painumia. Ämmässuon vanhalla kaatopaikalla havaittujen siirtymien siirtymänopeus on huomattavasti hitaampaa kuin painuminen, kaatopaikan keskimääräinen painumisnopeus on noin 3,1 cm/kk, mutta siirtymänopeus on vain noin 0,3 cm/kk. Painumakaivojen keskimääräinen siirtymänopeus on noin 0,6 cm/kk eli ne siirtyvät nopeammin kuin muut mittauspistemenetelmät. Esimerkiksi eteläosan alareunan painumalinjoilla 1-3 on 14 mittauspistettä, joiden siirtymänopeus (noin 0,2 cm/kk) on huomattavasti pienempi kuin kaivoilla. Lähimpänä keskimääräistä siirtymää on ollut länsiosan painumakaivot 9-13, joiden siirtymänopeus on noin 0,1–0,7 cm/kk. Kaatopaikan suurimmat sivuttaissuuntaiset siirtymät ovat jätetäytön eteläosan kaakkoiskulmassa painumakaivoilla 1–3 sekä 29, 34 ja 35, joiden siirtymät ovat olleet noin 0,5–1,3 cm/kk. Eteläosan muiden kaivojen 4–7 siirtymät (0,1–0,4 cm/kk) ovat alle kaatopaikan keskimääräisen siirtymänopeuden. Kaatopaikan pohjoisosan painumakaivoilla 15–19 ja painumakentällä on alueen pienimmät sivuttaissiirtymät, kaivoilla noin 0,2–0,4 cm/kk ja kentällä alle 0,2 cm/kk (liite 1).

Jätetäytön itäosassa siirtyminen kaivoilla 30–32 on ollut melko lähellä koko täytön keskimääräistä noin 0,1–0,6 cm/vuosi. Itäosalla sijaitsevat ainoat painumakaivot, jotka mittaavat ylemmän terassitien yläpuolelta, mutta kaivoista on tuloksia vasta vuoden mittausjaksolta, joten luotettavaa pidempiaikaista mittaustietoa ei ole saatavilla. Kaakkoiskulman kaivon 33 siirtyminen on ollut kaatopaikan keskimääräistä siirtymää huomattavasti suurempaa noin 1,1 cm/kk. Länsiosan painumakaivojen 9–13 siirtyminen on ollut välillä 0,4–0,7 cm vuodessa, joka on hieman enemmän kuin koko kaatopaikan keskimääräinen siirtymä.

7 KOKEELLISET MENETELMÄT

7.1 Inklinometrit

Painumalevyjen mittauksista käy ilmi miten jätetäyttö liikkuu pinnassa, mutta inklinometreillä saadaan selville miten jätetäyttö liikkuu eri syvyyksissä eli täytön siirtymistä saadaan syvyysprofiili. Tämä on merkittävää, sillä jäte on hyvin heterogeenistä ainesta ja jäte eri syvyyksissä on eri hajoamistilassa, jolloin kaatopaikan vakaus saattaa vaihdella eri kerroksissa. Vaikka inklinometrejä käytetään yleisemmin esimerkiksi tie- ja ratarakenteiden liikkeiden seurantaan voidaan niitä soveltaa dynaamisemmassakin ympäristössä, kuten Ämmässuon vanhan kaatopaikan vaakasuuntaisten siirtymien seurantaan. Inklinometreillä saadaan tarkkaa ja reaaliaikaista mittaustietoa, ja niiden etuina ovat alhaiset käyttökustannukset, mittausrvirheiden pieni vaikutus, sillä mittalaitetta ei tarvitse liikutella, koska se on tiiviisti mittauspisteessä eivätkä mittaolosuhteet vaikuta tuloksiin. Lisäksi inklinometrit ovat helppokäyttöisiä ja niiden huoltotarve on vähäinen. Inklinometrien haasteena on asentaa putki kallioon asti tai niin syvään maahan, että putken alaosa ei varmasti liiku. Anturit mittaavat siirtymiä suhteessa putken paikallaan pysyvään alaosaan, ja jos se liikkuu, tulokset eivät ole luotettavia./31/

Mittauksissa käytetään apuna putkea, joka on valmistettu taipuisasta materiaalista. Ämmässuolla käytettävien inklinometrien putken materiaalina on taipuisaa muovia, jotta putki pystyy myötäilemään sen ympärillä tapahtuvia maamassan liikkeitä. Putkessa on siirtymiä mittaavia inklinometriantureita noin metrin välein, mittaustulosten perusteella määritetään inklinometrille taipumaviiva, ja vertailemalla eri ajankohtina mitattuja taipumaviivoja voidaan määrittää putken ympärillä olevan maamassan liike ja saada siirtymäprofiili putken koko pituudelta. Inklinometrilaitteisto koostuu kulmanmittausanturista ja lukemalaitteesta, joka on anturiin yhteydessä kaapelilla./31;32/



Kuva 4. Inklinometriputken asentaminen jätetäyttöön./33/

Täyttöön asennettiin jatkuvatoimisesti mittaavia inklinometrejä yhdeksän kappaletta noin 12–19 metrin syvyyksiin. Inklinometriä varten jätetäyttöön porattiin reikä tavoitetasoon eli oletettuun kallioon raskaalla porakonekalustolla käyttäen apuna maaputkea, jonka sisähalkaisija oli suurempi kuin inklinometrin, jotta inklinometri mahtuisi ongelmitta maaputken sisään. Maaputkeen mahdollisesti jäänyt maa-aines tai jäte poistetaan poraamalla vesihuuhtelu normaalilla porakruunulla putken sisällä, jolloin maa-aines tai jäte huuhtoutuu maanpinnalle. Maaputken tyhjennyksen jälkeen tehtiin kalliovarmennusporaus, jossa ehjää kalliota porattiin noin kolmen metrin syvyyteen varmistukseksi, ettei este ollut, esimerkiksi iso kivi. Tämän jälkeen inklinometri kasattiin laskemalla se osissa maaputken sisään (kuva 4), jonka jälkeen maaputki nostettiin ylös ja inklinometrin ja maaperän välinen tila tiivistettiin hiekkapuhallushiekalla. Lopuksi putkien yläpäähän asennettiin punainen suojaputki, jolla estetään roskien meneminen

inklinometriin. Kuvassa 5 on inklinometri punaisen suojaputken sisällä ja taaempana on mittauskaappi, jossa on akku, GSM-modeemi, laturi ja mittauselektronikka. Inklinometrin ja suojaputken välinen tyhjä tila on täytetty hiekkapuhallushiekalla. Inklinometrien virtalähteenä on akku, joka on sijoitettu valkoiseen mittauskaappiin inklinometrien viereen (kuva 6). Mittauslaitteiston huoltotarve on vähäinen, vain akut tulee vaihtaa ja ladata noin kerran vuodessa. Asennuksen jälkeen inklinometriä käyttökustannukset ovat alhaiset. Inklinometrit ovat pitkäikäisiä, mutta niiden käyttöikä on vaikea määrittää, koska niissä ei ole kuluvia osia, jotka jouduttaisiin uusimaan ajoittain. Anturit ovat metrin välein inklinometrissä, ja ne ovat digitaalisia, joten lämpötilalla tai sen muutoksilla ei ole vaikutuksia mittaustuloksiin. Ulkoisesti aiheutuvat vahingot pyritään välttämään valamalla anturit hartsiin, jotta niissä ei olisi ulkoisia liittimiä, joita esimerkiksi vesi voisi vahingoittaa./33;34;35/



Kuva 5. Inklinometri ja mittauskaappi /34/

Mittauksessa lukemalaite ilmoittaa digitaalisesti siirtymän kallistuskulman maan veto-voimaan nähden. Inklinometrit mittaavat kaatopaikan siirtymät ylä- ja alamäkeen sekä kaatopaikan rinteeseen suuntaiset siirtymät. Molemmista suunnista piirretään taipumaviivat, joita vertaamalla 0-mittaukseen ja aiempiin taipumaviivoihin voidaan selvittää maan ja inklinometrin siirtyminen ja siirtymissuunta eri syvyyksissä. Inklinometrien mittaustarkkuus on noin 1 mm yhden metrin matkalla eli 15 metrin syvyydessä teoreettinen mittaustarkkuus on 15 mm, mutta käytännössä se on paljon parempi. Inklinometrien mittaustiedot siirretään langattomasti tekstiviestinä GSM-verkon välityksellä kahdesti päivässä internet-palvelimelle, josta ne ovat jatkuvasti saatavilla. Yksi mittaus mahtuu yhteen tekstiviestiin. Palvelimella voidaan luoda graafisia siirtymäprofileja siirtymistä eri ajanjaksoilla, jotka voidaan kopioida esimerkiksi tekstinkäsittelyohjelmiin./31;32/ Palvelimelle asetettiin hälytysrajaksi yli 20 mm viikossa eli jos jokin anturi siirtyy kerralla tai viikon aikana yli 20 mm, tulee siitä ilmoitus henkilökunnan sähköposteihin.

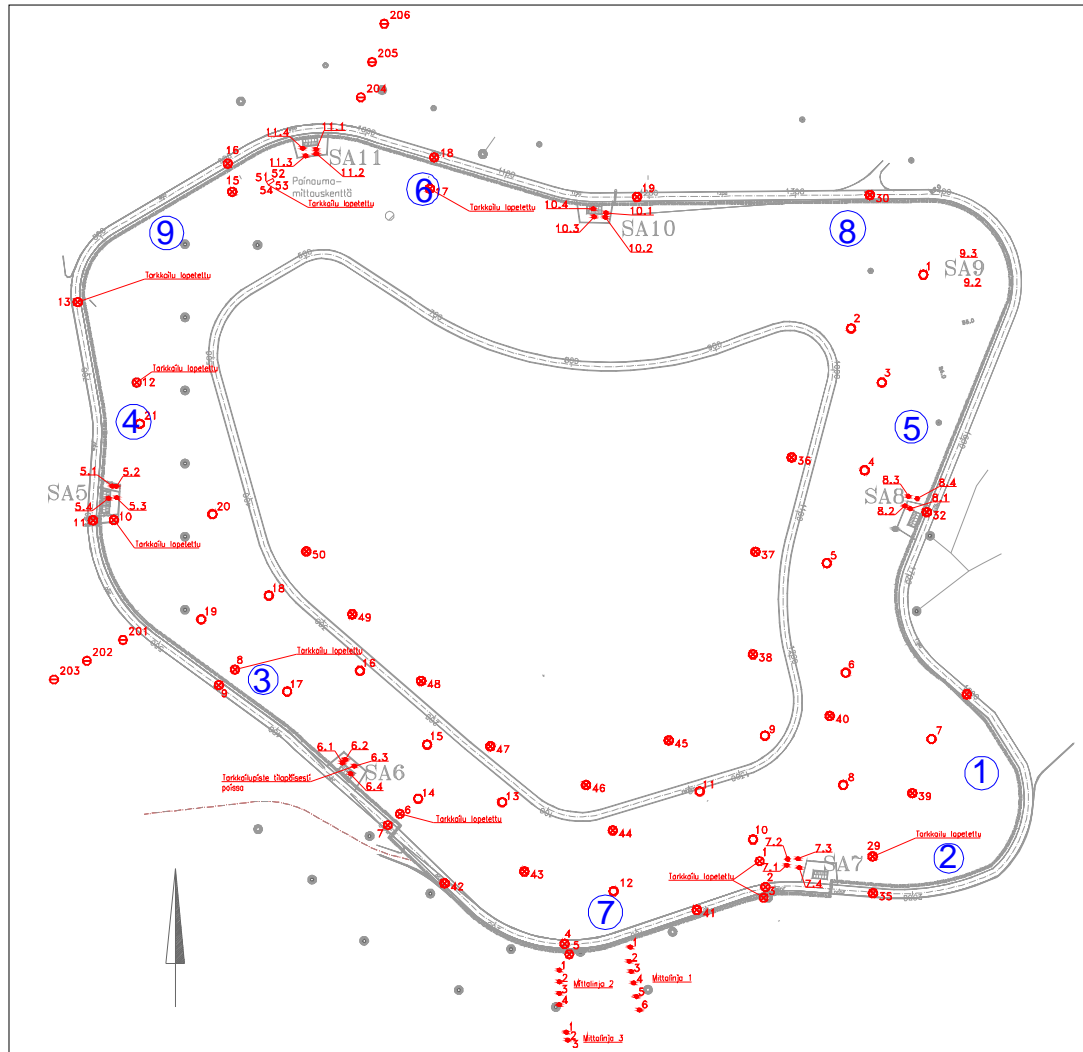
Inklinometrit sijoitetaan Ämmässuon kaatopaikalle siten, että koko jätetäytön vaakasuuntainen siirtyminen on kattavasti tarkkailussa. Kuitenkin huomioiden erityisesti kriittisimmät kohdat, joita ovat aiempien painumalevymittaustulosten perusteella eniten siirtyneet alueet. Ja kuten kuvasta 2 ilmenee imeytyssalaojat kiertävät koko kaatopaikka-alueen, ja suotovettä kierrätetään kaikkialle jätetäyttöön, siksi on seurattava koko jätetäytön siirtymistä mahdollisten ongelmien ehkäisemiseksi. Täysin kattavaa tarkkailua inklinometreillä ei saada, koska mittausmenetelmä on pistemäinen. Sijaintien valinnassa käytetään apuna vuosien 2003–2009 suorittamien painumalevymittausten tuloksia (liite 1). Kuvassa 7 on numeroitu inklinometrien mittauspäikat, joista 1–4 on valittu suurimpien siirtymien perusteella ja 5–9 kokonaiskuvan saamiseksi. Mutta erityisesti kriittisempiä ja tähän asti eniten liikkuneita alueita on syytä seurata tarkemmin, koska todennäköisesti ne alueet ovat herkempiä liikkumaan suotoveden kierrätyksen vaikutuksesta.



Kuva 6. Inklinometrin mittauskaappi /33/

Inklinometri numero 1 sijoitetaan kaakkoiseen kaivon 33 läheisyyteen, koska kyseisellä kaivolla on ollut suuri noin 40 cm siirtymä kohti koillista vuosien 2006–2009 välillä. Harjanteen toiselle puolelle sijoitetaan inklinometri numero 2, koska siellä sijaitsevat kaivot 29, 34 ja 35 ovat siirtyneet täytöllä keskimääräistä enemmän noin 1,21, 0,82 ja 0,67 cm/kk, joka on yli täytön keskimääräisen siirtymän, joka on noin 0,30 cm/kk. Inklinometri 3 sijoitetaan jätetäytön länsiosaan lähelle kaivoja 8 ja 9. Painumalevyjen mittaustulosten perusteella jätetäytön siirtyminen on suurinta länsiosassa, jossa kaivolla 9 on keskimääräistä suurempi siirtymänopeus noin 0,60 cm/kk. Kaivolla 8 on täytön suurin siirtymänopeus 2,90 cm/kk, mutta kaivoa 8 seurattiin vain yhden vuoden ajan 2004–2005. On mahdollista, että kaivojen siirtyminen on nopeampaa ensimmäisen vuoden aikana asennuksesta, jonka jälkeen siirtyminen hidastuu. Joten kaivon 8 tuloksiin on syytä suhtautua varauksella. Länsiosassa sijaitsevat myös kaivot 10, 11 ja 12, joiden

siirtymät viiden vuoden aikana ovat olleet noin 23–38 cm, jotka ovat kaatopaikan suurimpia, ja siksi sinne sijoitetaan inklinometri numero 4.



Kuva 7. Ämmässuon vanhan jätetätön inklinometrit./29/

7.2 Laserkeilaukseen perustuva siirtymäanalyysi

Siirtymäanalyysissä asetetaan päällekkäin laserkeilauksella saadut mittaustulokset samalta alueelta eri ajankohtina, ja tulosten pinnankorkeuden eroista laaditaan teemakartta, joka havainnollistaa kaatopaikan painumisen mittausten välillä. Siirtymäanalyysin nimi on harhaanjohtava, koska menetelmän tarkoituksena on tutkia korkeuden vertikaalisia muutoksia eli painumia eikä siirtymiä, jotka tapahtuvat horisontaalisesti. Olivierin ym. (2003) tutkimuksen (ks. 6.1.2 Laserkeilauksen soveltuvuus kaatopaikan painumien seurantaan) mukaan ja Ämmässuon henkilökunnan aikaisempien kokemusten perusteella laserkeilaus on sopiva menetelmä seurata kaatopaikan painumia. Laserkei-

laus on suoritettu helikopterista noin 350 metrin lentokorkeudesta vuosina 2008 ja 2010 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen alueella.

Laserkeilain on mittalaite, jolla saadaan tarkkaa korkeustietoa maastosta mittaamalla pisteiden etäisyyksiä ilman, että mitattavaan kohteeseen tarvitsee koskea. Laserkeilaus perustuu laserkeilaimen lähettämään ja vastaanottamaan laserpulssiin. Aika, joka pulsilla kestää keilaimesta maanpinnalle ja takaisin mitataan tarkasti. Yhdistämällä tämä tieto GPS:stä (Global Positioning System) saatuun keilaimen sijaintitietoon saadaan tietää pulssiosuman kohteen tasosijainti ja korkeus. Pisteille voidaan laskea koordinaatit, kun tiedetään laserimpulssin kulkeman matkan aika sekä sen lähtökulmat pysty- ja vaakasuunnassa. Laserkeilauksella saadaan "pistepilvi", joka sisältää miljoonia pisteitä mitattavasta kohteesta. Pistepilvestä voidaan erottaa pisteet, jotka ovat osuneet maanpintaan sekä sen päällisiin kohteisiin kuten puustoon tai rakennuksiin. Suorittamalla laserkeilaus säännöllisesti voidaan seurata kaatopaikan painumista ja tilavuusmuutoksia kokonaisuutena./36/

Siirtymäanalyysin toteuttaminen ja tulosten käsittely aloitettiin harvennuksella, jossa maastokorkeusmallinnuksen kannalta turhat pisteet poistettiin. Harvennukset tehtiin molemmille tuloksille samoilla parametreilla, jotta ne olisivat keskenään vertailukelpoisia. Tulosten korkeustarkkuus on noin ± 5 cm, joka on riittävä tämän työn vaatimuksiin. Jätetäytön ylemmät osat jätettiin pois tulosten tarkastelusta, koska mittauksen välillä kyseisillä alueilla on tehty, esimerkiksi pintarakenneurakoita, joten niistä saadut tulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Molempien vuosien tuloksista laadittiin kolmioverkot kaatopaikan alareunasta eli ympärystien ja alemman terassitien välisestä alueesta, jotka asetettiin päällekkäin ja verrattiin niiden välistä etäisyyttä. Kolmioverkko on toiminto, jossa luodaan pisteiden välille laskennallisesti pienin mahdollinen kolmio, ja tässä menetelmässä se kuvaa tarkasti maanpinnan muotoja mittausajankohtana. Tällä tavoin saatiin selville vuosien 2008 ja 2010 välillä tapahtuneet pinnankorkeuden muutokset. Muutokset visualisoitiin senttimetrijakoa kuvaavin värisävyin teemakartaksi (kuva 12). Käytännössä pinnan korkeuden lasku on seurausta jätetäytössä tapahtuvasta painumisesta ja pinnan korkeuden nousu on seurausta täytössä tapahtuvista sivuttaissiirtymistä, josta kerrotaan enemmän luvussa 8.2.2 Kaatopaikan alareunan pinnan kohoaminen./37/

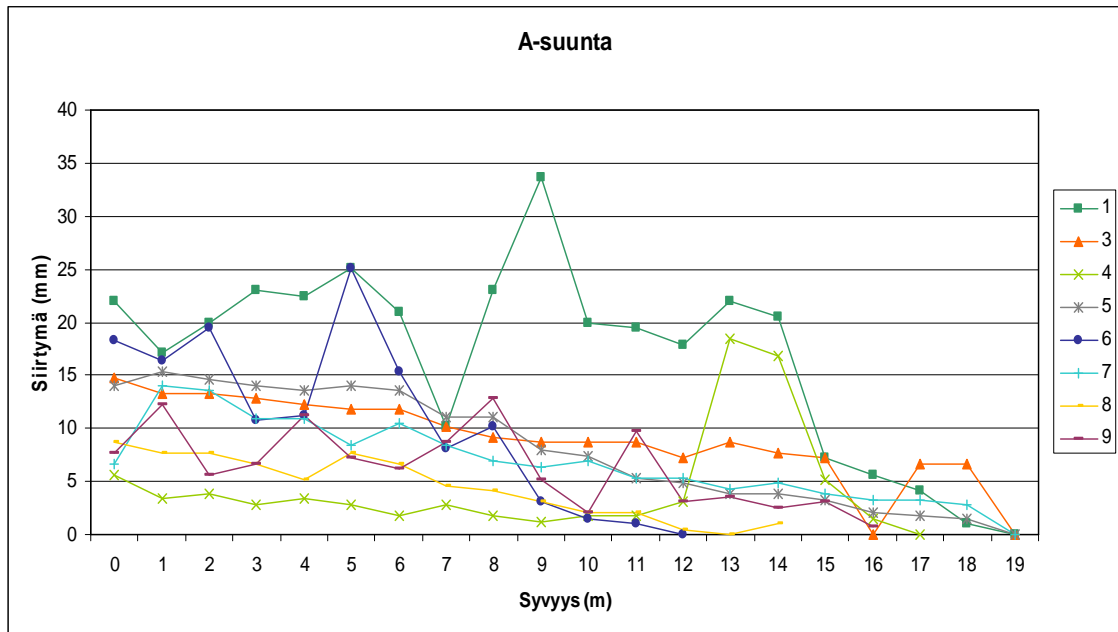
8 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

8.1 Inklinometrit

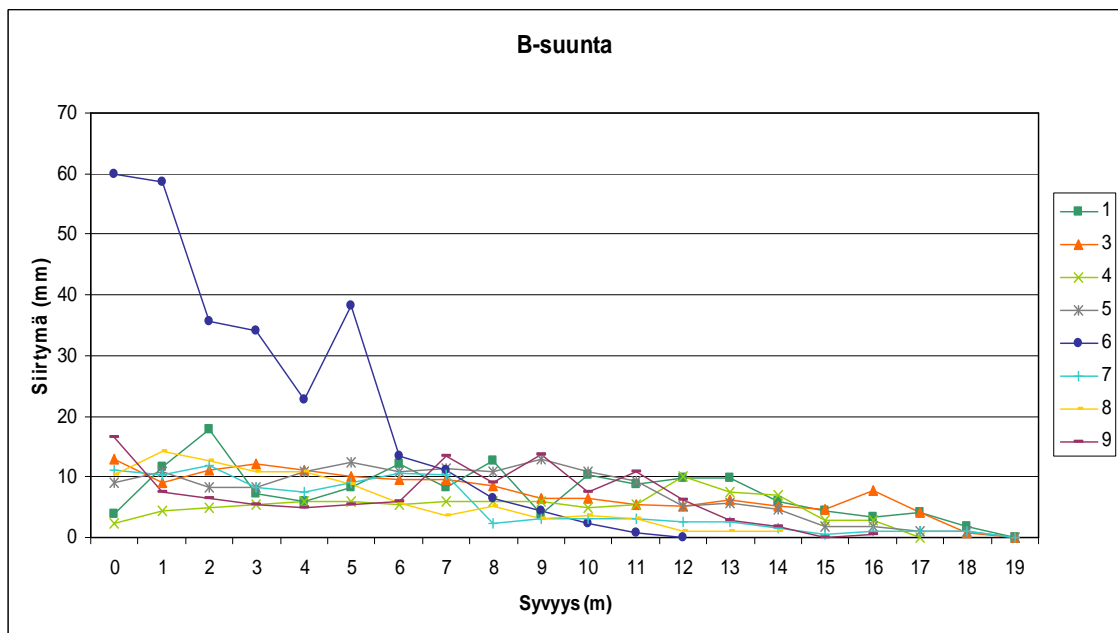
Inklinometrien tuloksia tulkitaan tarkkailujaksolta 12.10.2010–30.12.2010, jonka perusteella tämän hetkiset kaatopaikan sisällä tapahtuvat siirtymät eivät uhkaa kaatopaikan rakenteita tai aiheuta suurta sortumavaaraa. Kaikkien inklinometrien keskimääräinen siirtymänopeus on noin 0,1 mm/päivä. Inklinometrien siirtymistä seurattiin kahdelta eri suunnalta; A- ja B-suunnilta. A-suunnalla tarkoitetaan inklinometrin siirtymistä ylä- tai alamäkeen, ja B-suunnassa inklinometri siirtyy rinnettä pitkin vaakasuuntaisesti. A-suunnassa negatiivinen on ylämäkeen ja positiivinen alamäkeen. Tulosten perusteella liikkueissa anturit siirtyvät molemmissa suunnissa, mutta näin ei kuitenkaan aina tapahdu eli anturit voivat liikkua myös yhdessä suunnassa ja samalla pysyä paikallaan toisessa suunnassa.

Eniten A-suunnassa siirtynyt inklinometri on 1, joka sijaitsee aiempien painuma- ja siirtymäseurannan tulosten perusteella jätetäytön siirtyneimmällä alueella (ks. luku 6.2.3 Siirtymähavainnot). B-suunnassa eniten siirtynyt on inklinometri 6, joka sijaitsee alueella, jolla ei ole havaittu suuria siirtymiä, mutta painuminen on ollut keskimääräistä suurempaa (ks. luku 6.2.2 Painumahavainnot). Muut inklinometrit ovat liikkuneet melko vähän, joten ne jätettiin tulosten tarkemman tarkastelun ulkopuolelle. Inklinometri 2 sijaitsee kaakkoiskulmassa, jossa on ollut suuria siirtymiä aiempien painuma- ja siirtymäseurannan tulosten mukaan, mutta inklinometri vahingoittui asennuksessa eikä siltä saatu luotettavaa mittaustietoa tarkkailujaksolta.

A-suunnassa inklinometrit 3 ja 9 siirtyvät täytössä alamäkeen, ja inklinometri 1 on siirtynyt ylämäkeen. Loput inklinometrit eli 4, 5, 6, 7, 8 ja 9 heijaavat eli vaihtavat siirtymäsuuntaa alamäestä ylämäkeen ja taas ylämäestä alamäkeen. Mahdollisesti inklinometrit ”hakevat” vielä paikkaansa, ja asettuvat jonkin ajan kuluttua paikoilleen. A-suunnassa inklinometrien keskimääräiset siirtymät ovat välillä 0,06–0,22 mm/päivä ja B-suunnassa 0,07–0,28 mm/päivä. Kuviiin 8A ja 8B on koottu inklinometrien siirtymät A- ja B-suunnassa eri syvyyksissä.



Kuva 8A. Inklinometrien siirtyminen A-suunnassa.



Kuva 8B. Inklinometrien siirtyminen B-suunnassa.

8.1.1 Inklinometri 1

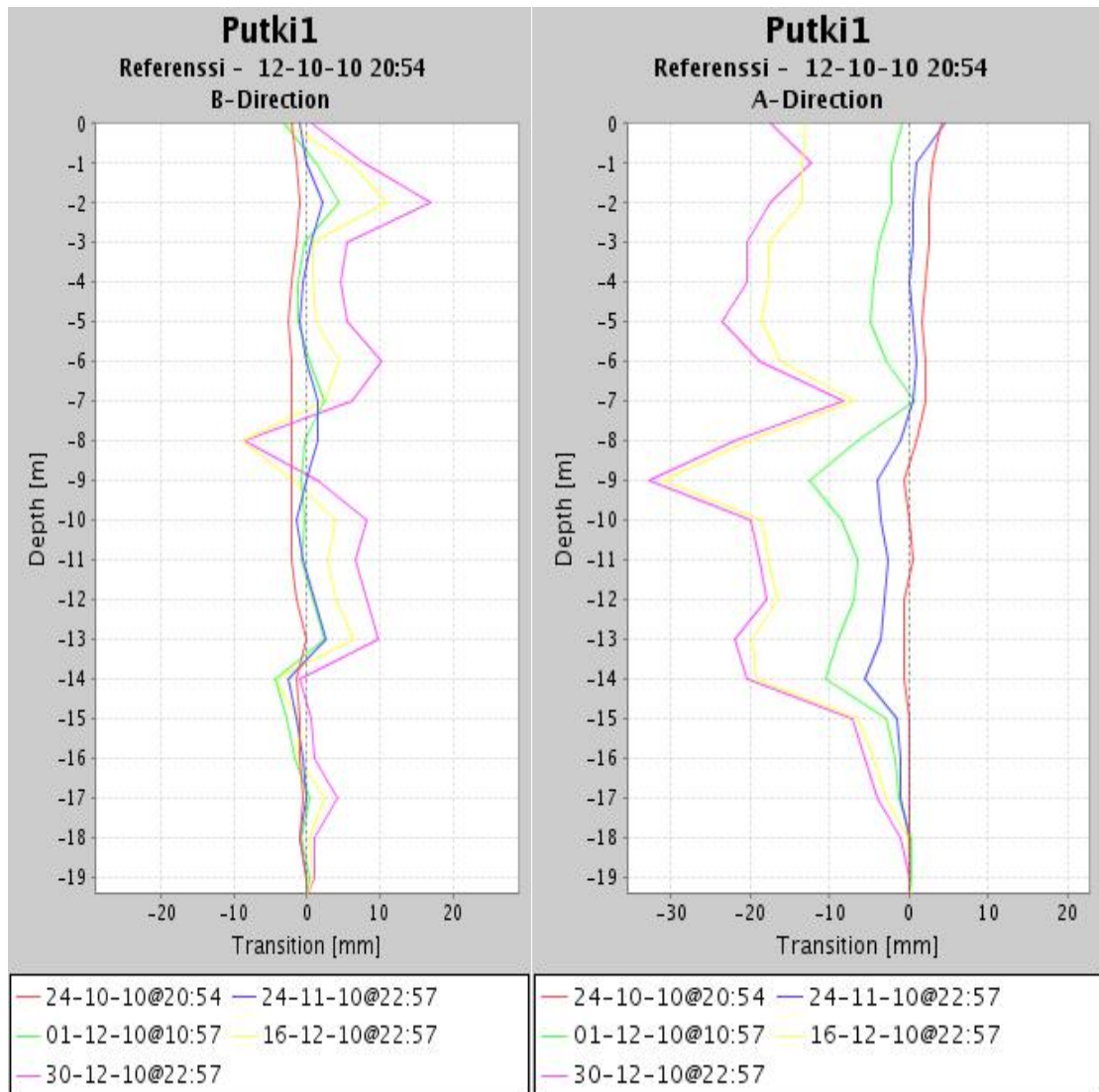
Kuvissa 12–14 referenssinä on inklinometrin käyttöönottopäivä eli 12.10.2010, ja tätä on kuvattu keskellä olevalla pystysuoralla katkoviivalla. Antureiden mittaustietoja verrataan tähän referenssiin, jolloin saadaan pituussuuntainen inklinometrin siirtymäprofiili. Kuvaajat muiden inklinometrien siirtymäprofileista on liitteessä 2.

Tulosten perusteella inklinometrin 1 siirtymänopeus ei ole tasainen, vaan siirtymät tapahtuvat sykäyksittäin, esimerkiksi anturi saattaa pysyä pitkään paikallaan, mutta yht-

äkkiä siirtyä useita millimetrejä, jonka jälkeen anturi pysyy liikkumattomana jonkin aikaa, kunnes taas siirtyy jonkin verran. Inklinometrin 1 siirtymäsuunta on ylämäkeen (kuva 9) eli ”sisäänpäin” jätetäytössä, mikä on kaatopaikkasortumien kannalta parempi kuin siirtyminen alaspäin jätetäytössä. Inklinometri 1 on selvästi siirtynyt enemmän A-suunnassa kuin B-suunnassa, ja molemmissa suunnissa suurimmat siirtymät sijoittuvat antureille 2-15. Inklinometrin keskimääräinen siirtymänopeus on selvästi vauhdittunut ensimmäisen kuukauden jälkeen. Tarkkailujaksolla 12.10.–14.11.2010 keskimääräinen siirtymänopeus oli noin 0,03–0,05 mm/päivä ja joulukuun lopussa 0,1–0,22 mm/päivä (liite 2).

Kuvasta 9 selviää inklinometrin 1 epätasainen siirtymäprofiili eli jäte on siirtynyt eri tavoin eri syvyyksissä, esimerkiksi anturi 9 on siirtynyt yli 20 mm enemmän kuin anturi 7. Anturi 9 on tarkkailujakson lopussa siirtynyt A-suunnassa noin 33,7 mm ja B-suunnassa vain 3,83 mm. Sen siirtyminen on ollut melko tasaista eikä suuria ja yhtäkisiä siirtymiä ole ollut. Aluksi anturi on siirtynyt hyvin hitaasti alamäkeen, mutta 9.11.2010 siirtymäsuunta on vaihtunut ylämäkeen, ja myös siirtymänopeus on vauhdittunut 1–3 mm/päivä. Tarkkailujakson viimeisimpinä päivinä anturin siirtymänopeus on hidastunut, ja anturi on pysynyt paikallaan lukuun ottamatta hyvin pieniä siirtymiä.

Anturilla 2 on B-suunnan tarkkailujakson suurin siirtymä noin 17,89 mm. Anturi on lähes koko tarkkailujakson heijannut edestakaisin siirtymällä päivittäin noin 2–3 mm, mutta jakson loppupuolella 15.12.2010 alkaen se on alkanut siirtyä vähitellen oikealle. Tarkkailujakson lopussa 22.12. – 30.12.2010 anturi on pysynyt paikallaan.



Kuva 9. Inklinometrin 1 syvyysprofiili A- ja B-suunnista.

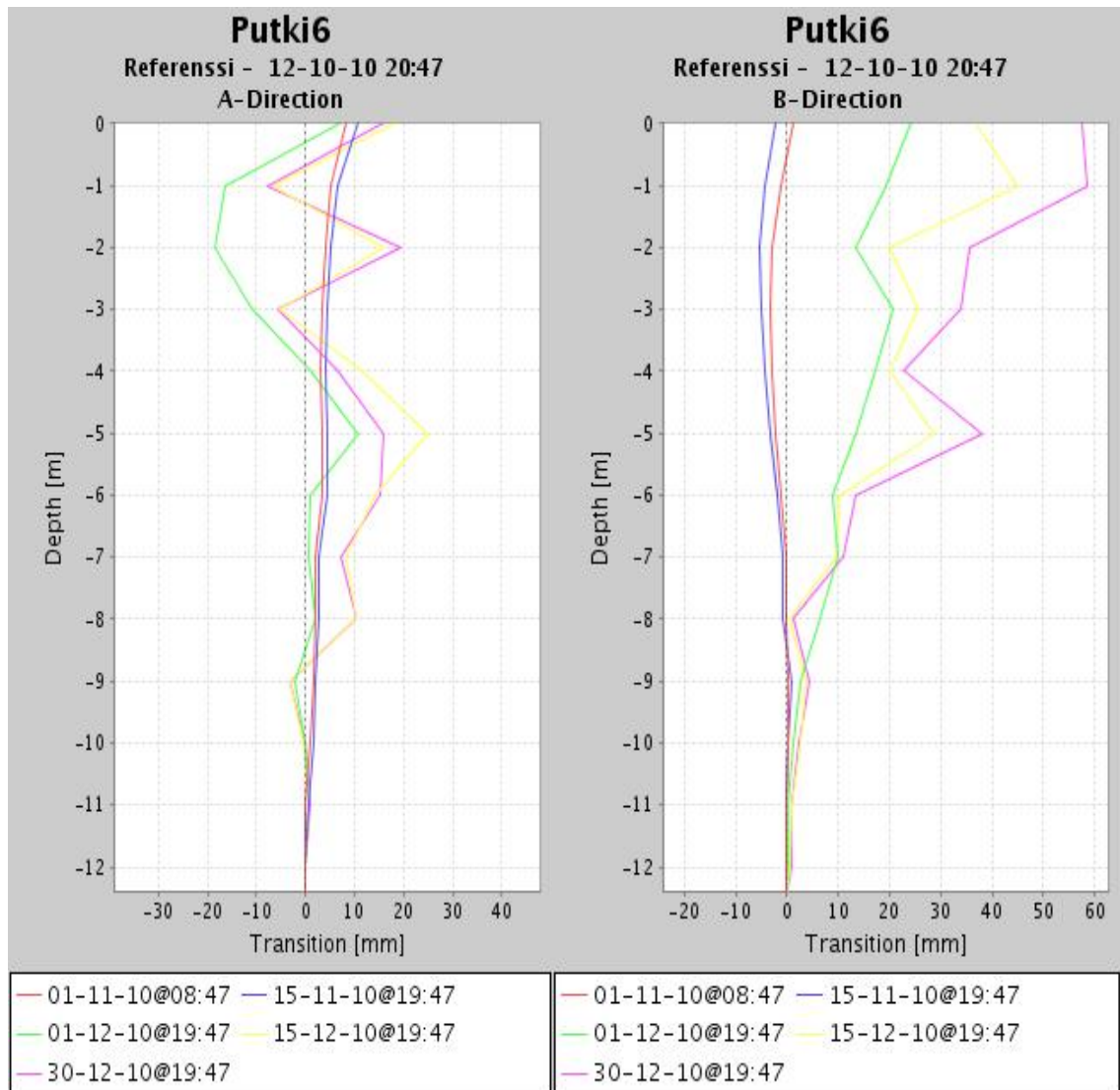
8.1.2 Inklinometri 6

Inklinometrillä 6 on kaatopaikan suurimmat siirtymät, erityisesti pinnassa 0–7 metrin syvydessä. Inklinometrin profiili muistuttaa siksak-kuviota, joten se on mahdollisesti ”luhistumassa kasaan”. Aikaisempien painumakaivojen mittaustulosten perusteella (liite 1) alue, jolla inklinometri sijaitsee, ei siirry vaakasuuntaisesti juurikaan, mutta laserkeilaustulosten perusteella alueella olisi jonkin verran painumaa (kuva 12).

Inklinometri on siirtynyt tarkkailujakson ensimmäisen kuukauden aikana siirtynyt A-suunnassa alamäkeen, mutta 17.11.2010 se on siirtynyt noin 10 mm ylämäkeen. Viikkoa myöhemmin 24.11.2010 inklinometri siirtyi uudelleen noin 13 mm ylämäkeen. Inklinometri pysyi jonkin aikaa paikallaan, mutta 6.12.2010 siirtyminen jatkui hitaana alamäkeen, mutta pysähtyi muutaman päivän jälkeen. Anturi 2 on liikkunut 12 mm alamä-

keen 9.12.2010 ja seuraavana päivänä vielä 4 mm lisää. Näiden siirtymien jälkeen inklinometri on pysynyt A-suunnassa paikallaan tarkkailujakson loppuun asti.

B-suunnassa tarkkailujakson alussa inklinometrin siirtymät olivat alle 2 mm, mutta inklinometri on siirtynyt edes takaisin 1–2 mm verran useita kertoja. Siirtymänopeus on selvästi nopeutunut ensimmäisen kuukauden jälkeen. B-suunnan keskimääräinen siirtymänopeus 12.10.–14.11.2010 oli 0,08 mm/päivä ja joulukuun loppuun mennessä nopeus oli jo 0,28 mm/päivä. 17.11.2010 inklinometri siirtyi lähes koko pituudeltaan oikealle (kuva 10), pinta-anturi eli 0-anturi siirtyi eniten; noin 35 mm. Siirtyminen oikealle jatkui muutaman päivän ajan, jonka jälkeen inklinometrin siirtymäsuunta vaihtui vasemmalle. Tähän asti inklinometrin anturit ovat siirtyneet tasaisesti, koko inklinometri on ikään kuin kallistunut suorana, mutta 24.11.2010 anturit 1 ja 2 siirtyivät vasemmalle muuta inklinometriä enemmän muodostaen ”mutkan” inklinometrin profiiliin. Tämä saattaisi viitata heterogeenisen jätteen eriasteiseen hajoamiseen jätetäytössä eli siirtymiä syntyy sinne, missä on helpommin hajoavaa jätettä. Inklinometri pysyi melko pitkään tässä asennossa lukuun ottamatta pieniä siirtymiä, jotka ovat saattaneet aiheutua myös mittausepä tarkkuudesta. Anturi 2 siirtyi vasemmalle muuta inklinometriä vauhdikkaammin aikavälillä 2–6.12.2010, jolloin sen siirtymänopeus oli noin 1 mm/päivä. 10.12.2010 inklinometri alkoi siirtyä takaisin oikealle. Kahden ensimmäisen päivän aikana siirtymät olivat noin 3–4 mm/päivä, mutta tämän jälkeen siirtyminen hidastui. 20.12.2010 inklinometri siirtyi noin 4 mm oikealle ja pysähtyi siihen, ja sama toistui viikkoa myöhemmin antureilla 0–4.



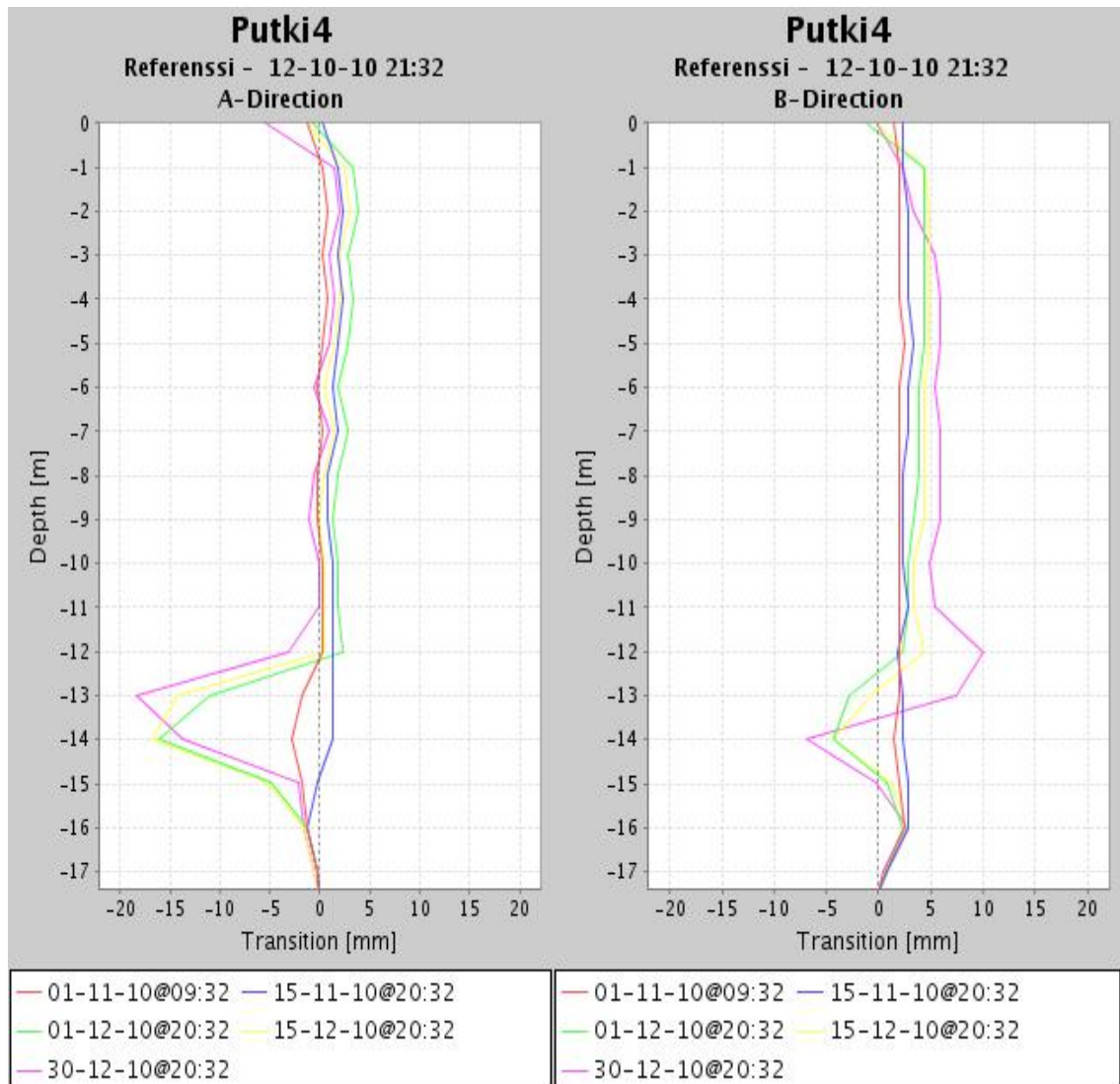
Kuva 10. Inklinometrin 6 syvyysprofiili A- ja B-suunnista.

8.1.3 Muut inklinometrit

Inklinometri 3 sijaitsee jätetäytön siirtyvimmällä alueella lounaisosassa. Inklinometrin siirtyminen on suurinta pinnassa ja vähenee tasaisesti syvemmälle. Eniten on siirtynyt anturi 13; noin 18,41 mm tarkkailujakson aikana. Inklinometrit 5, 7 ja 8 ovat siirtyneet pinnassa enemmän kuin syvemmällä, mutta niillä ei ole suuria siirtymiä. Inklinometrillä 9 ei myöskään ole suuria siirtymiä, mutta sen profiili muistuttaa siksak-kuviota, joten putki saattaa olla ”menossa kasaan”.

Yllättävästi inklinometrillä 4 on alueen pienimmät siirtymät, vaikka inklinometri sijaitsee aiempien painumamittausten perusteella siirtyvimmällä alueella. Toisin kuin lähes kaikilla muilla inklinometreillä suurimmat kokonaissiirtymät ovat pinnassa, inklinometrillä 4 ne ovat syvyydellä 12–15 metriä. Antureiden 12–18 siirtymät ovat noin 8–18 mm suu-

remmat kuin inklinometrin muiden antureiden siirtymät. Siirtymät ovat tapahtuneet sykäyksittäin lyhyessä ajassa eli anturi siirtyy kerralla useita millimetrejä, jonka jälkeen se pysyy paikallaan, kunnes taas siirtyy kerralla useita millimetrejä. A-suunnassa siirtymät ovat olleet ylämäkeen ja B-suunnassa anturit 12 ja 13 ovat siirtyneet oikealle ja 14 ja 15 vasemmalle (kuva 11).

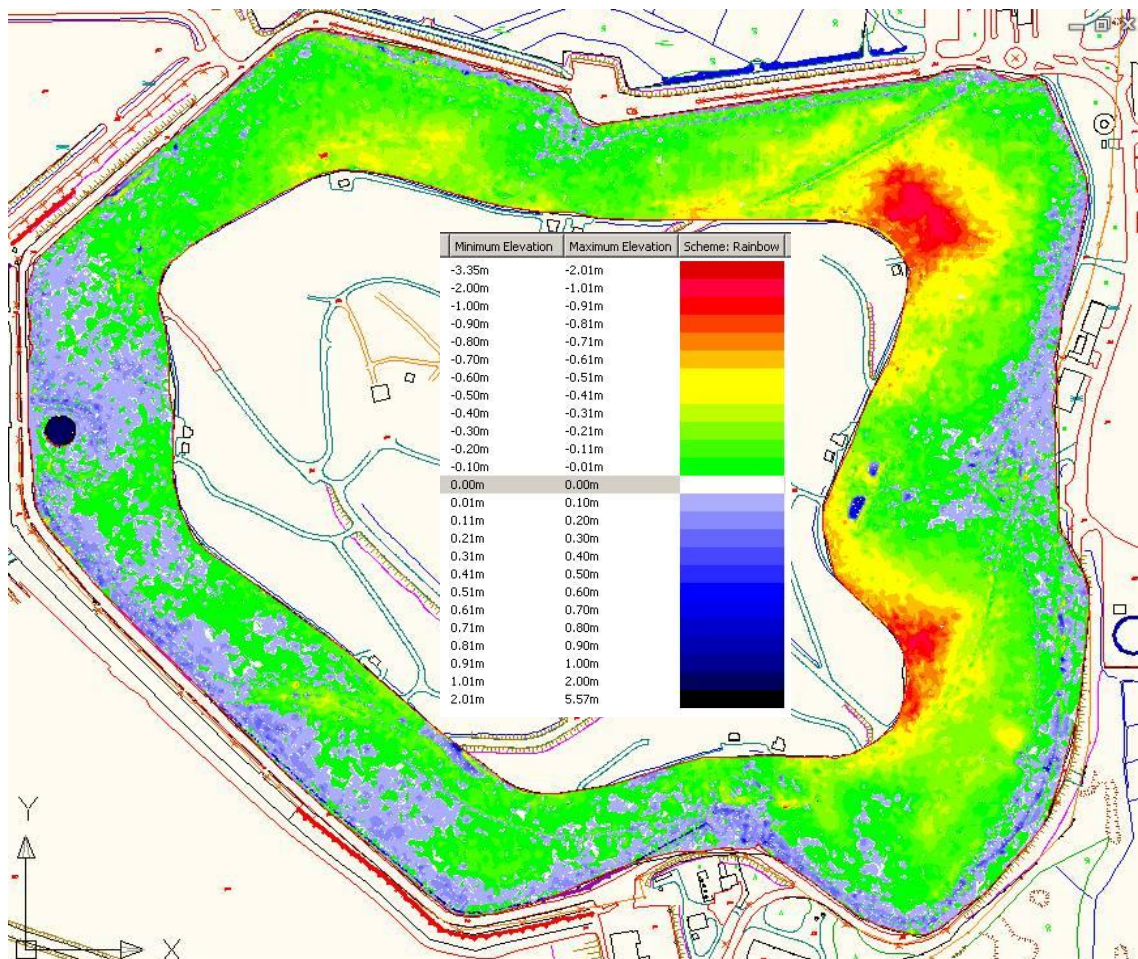


Kuva 11. Inklinometrin 4 syvyysprofiili A- ja B-suunnista.

8.2 Laserkeilaukseen perustuva siirtymäanalyysi

Siirtymäanalyysin tulokset on esitetty kuvassa 12, jossa on yhdistetty vuoden 2008 ja 2010 laserkeilauksien tulosten korkeuserot eli kartasta selviää miten paljon kaatopaikka on painunut vuosien 2008 ja 2010 välillä kaatopaikan alareunassa. Punainen, keltainen ja vihreä kuvaavat kaatopaikan pinnan painumista ja sininen kuvaa kohoamista.

Suurimmaksi osaksi tarkasteltavan alueen pinnan korkeuden muutos on negatiivinen eli pinta on laskenut. Suurimmillaan se on heti terassitien alapuolella, mahdollisesti syynä voi olla terassitielle kohdistuva kuormitus eli kuorma-auto- ja muu raskasliikenne. Terassitien yläpuolista painumista ei ole tarkkailtu, koska pintarakenteet ovat vasta rakenteilla, ja korkeus muuttuu sen myötä. Painumat ovat suurempia kaatopaikan ylemmissä osissa kuin alemmissä, mutta suhteutettuna jätetäytön paksuuteen ne ovat todennäköisesti yhtä suuria. Yllättävästi kaatopaikan alareuna lukuun ottamatta pohjoisreunaa on kohonnut./37/ Siirtymäanalyysin ja aiempien painumaseurannan tulokset tukevat toisiaan huolimatta siitä, että painumakaivot sijaitsevat alemman terassitien yläpuolella ja siirtymäanalyysin tulokset rajoittuvat alemman terassitien alapuolelle. Siirtymäanalyysi on toteutettu vain kerran, joten vielä ei voida todeta sen sopivan kaatopaikan painumien seurantaan, mutta verrattuna aiempiin painumatarkkailun tuloksiin ei voida sanoa, ettei siirtymäanalyysi olisi sopiva menetelmä kaatopaikan painumien tarkkailuun.



Kuva 12. Kolmioverkkomalli kaatopaikan muutoksista vuosien 2008 ja 2010 välillä /37/

8.2.1 Siirtymäanalyysin vertailu aiempaan painumatarkkailuun

Siirtymäanalyysin tulosten mukaan eniten painumista on tapahtunut kaatopaikan itäosassa, ja myös aiemman painumaseurannan tulosten perusteella painuminen on suurempaa itäosassa kuin muualla jätetäytössä keskimäärin. Kuvan 12 punaisella merkityt eniten painuneet alueet eli kaakkois- ja koilliskulmat ovat painuneet noin metrin kahden vuoden aikana. Aiemman tarkkailun mukaan kolmen vuoden aikana kaakkoiskulmassa sijaitsevat painumakaivo 33 on painunut 196 cm ja kaivo 34 on painunut 152 cm ja koilliskulmassa sijaitseva kaivo 31 noin 116 cm. Lisäksi koilliskulmassa sijaitseva säätöasema 9 on painunut noin 80 cm kahden vuoden aikana (liite 1). Tältä osin mittausmenetelmät tukevat toisiaan.

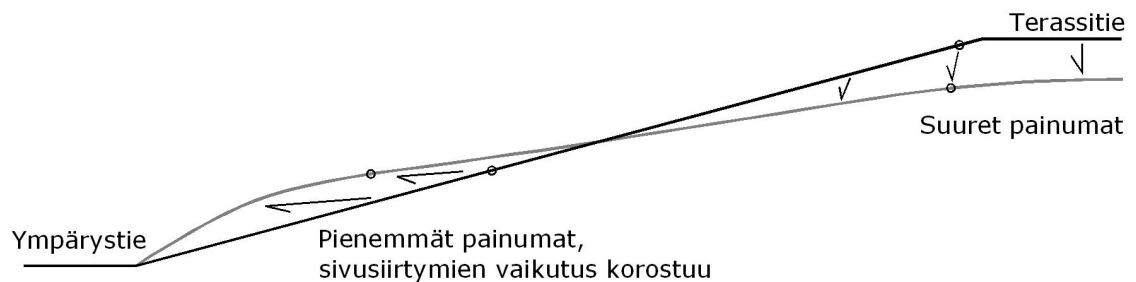
Siirtymäanalyysin perusteella täyttö painuu myös pohjoisosalla muuta täyttöä enemmän, mutta hillitymmin kuin itäreuna. Kuvassa 12 tämä näkyy keltaisena värinä kartan yläosassa. Painumakaivojen tulosten perusteella voidaan päätyä samaan päätelmään. Pohjoisosalla sijaitsevat kaivot 15–19 ovat painuneet 111–249 cm kuuden vuoden aikana eli noin 20–40 cm vuodessa (liite 1).

Kaatopaikan etelä- ja länsiosissa painuminen on ollut vähäistä siirtymäanalyysin tulosten mukaan, ja aikaisemman painumatarkkailun perusteella etelä- ja länsiosan mittauspisteiden painumanopeudet ovat alle koko kaatopaikan keskimääräisen painumanopeuden eli alle 3,1 cm/kk. Esimerkiksi länsireunan betonipaalulinja 201–203 ei ole painunut kuin 6–10 cm puolentoista vuoden aikana. Eteläreunan mittalinjat 1–3 ovat painuneet noin 7–67 cm viiden vuoden aikana (liite 1).

8.2.2 Kaatopaikan alareunan pinnan kohoaminen

Kuvan 12 mukaan kaatopaikan alareunassa tapahtuisi ”pullistumista” eli jätetäytön korkeuden kasvua. Koska painumat pienevät kaatopaikan alareunaa kohden, sivuttaissiirtymien vaikutus näkyy helpommin: rinteän kaltevuuden takia siirtymät reunoja kohden näkyy kaatopaikan pinnan korkeuden kohoamisena. Todennäköisesti täyttö ei pullistu vaan siirtyy ulospäin, jolloin XY-tasolla Z kasvaa. Kuva 13 havainnollistaa jätetäytön siirtymisestä aiheutuvan pullistumisen. Mustalla viivalla on kuvattu kaatopaikan rinteän alkuperäinen muoto ja harmaalla muoto siirtymän jälkeen. Ylempänä täyttö painuu, ja alempana massaa siirtyy ulospäin täytöstä, joka laserkeilaus aineistossa näkyy pinnan

korkeuden kohoamisena./37/ Varmaksi tätä teoriaa ei voida todeta, koska painuma-analyysimenetelmällä ei saada selville X- ja Y-koordinaattien muutoksia.



Kuva 13. Kaatopaikan alareunan kohoaminen sivuttaissiirtymän seurauksena./37/

Aiempien painumatarkkailujen tulosten perusteella ei samanlaista alareunan pinnan korkeuden kohoamista ole havaittu. Länsiosassa, jossa pinnan kohoamista on tapahtunut merkittävämmän, on tarkkailtu puolentoista vuoden ajan betonipaalulinjaa 201–203, jonka sivuttaiset siirtymät ovat olleet vähäiset vain noin 2–5 cm ja painumista on tapahtunut 6–10 cm. Toisaalta betonipaaluja on seurattu vasta vain 18 kuukauden ajan, ja alussa betonipaalut varmasti painuvat jätetäyttöön jo pelkästään oman painon takia. Mittaustuloksia tarvitaan pidemmältä ajalta, jotta voidaan todeta reunan pinnan kohoamisen olevan varmaa tai ei.

8.3 Monitorointiohjelma

Painumien ja siirtymien monitorointiohjelmalla helpotetaan ja selkiytetään HSY:n Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen työntekijöiden havainnointia vanhan kaatopaikan vakauden muutoksista, joita saattaa ilmetä suotoveden kierrätyksen seurauksena. Monitorointiohjelmaa suunniteltaessa ja vertailtaessa mahdollisia mittausmenetelmiä vaatimuksena oli, että kaatopaikan liikkumisesta saadaan mahdollisimman kokonaisvaltainen kuva sekä miten jätetäyttö liikkuu eri kerroksissa kaatopaikan sisällä. Näiden vaatimusten mukaan mittausmenetelmiksi valittiin inklinometrit ja kahden vuoden välein laserkeilauksella saatujen mittaustietojen vertaaminen ja laatiminen teemakartaksi. Inklinometrit tulevat osaksi bioreaktorikaatopaikan monitorointiohjelmaa, jossa tarkastellaan kaatopaikan vakauden lisäksi bioreaktorikaatopaikan hajoamisprosesseja ja rakenteiden toimintaa. Näin voidaan seurata jätteen hajoamista ja siitä aiheutuvia painumia rinnan. Monitorointiohjelman tuloksista laaditaan raportti puolivuositain.

Inklinometrit lähettävät kahdesti vuorokaudessa kahdentoista tunnin välein mittaustiedon tekstiviestinä internet-palvelimelle, jossa mittaustietoja eri ajanjaksoilta voidaan

koota samaan kuvaajaan. Henkilökunnan havainnointia helpotetaan asettamalla inklinometreille hälytysraja, jolloin internet-palvelimella ei tarvitse käydä säännöllisesti, koska tieto hälytyksistä tulee sähköpostiin. Inklinometrit siirtyvät keskimäärin päivässä noin 0,1 mm, jonka perusteella arvioitiin yli 20 mm:n siirtymän olevan merkittävä siirtymä. Hälytysrajaksi asetettiin 20 mm viikossa eli jos jokin inklinometriantureista siirtyy viikossa tai kerralla yli 20 mm, siitä ilmoitetaan sähköpostitse asiasta vastaaville henkilöille. Lisäksi inklinometreille asetetaan 100 mm:n hälytysraja, joka lähettää hälytyksen sähköpostiin, jos inklinometri siirtyy missä tahansa ajassa yli 100 mm. Jos inklinometreiltä ei tule mittaustietoa kahteen päivään, Internet-palvelin lähettää ilmoituksen sähköpostiin, jolloin henkilökunta tietää ryhtyä tarvittaviin huoltotehtäviin.

Siirtymien tarkkailu inklinometriavulla on edullista ja melko vaivatonta henkilökunnalle, joka voi hälytysrajojen ylittyessä alkaa seurata hälytyksen antaneen inklinometrin siirtymistä ja suunnitella mahdollisia toimenpiteitä, jos tilanne näyttää huolestuttavalta. Nopea tiedonsaanti suurista siirtymistä nopeuttaa niihin reagoimista ja ennakoiviin toimenpiteisiin ryhtymistä ennen kuin ongelmat kehittyvät vakaviksi.

Siirtymäanalyysi perustuen laserkeilaukseen toteutettiin vuosien 2008 ja 2010 tuloksilla, joita vertailtiin keskenään ja kaatopaikan pinnan korkeuden muutoksista niiden vuosien välillä laadittiin teemakartta (kuva 12). Luvussa 8.2.1 Siirtymäanalyysin vertailu aiempaan painumaseurantaan todettiin siirtymäanalyysin tukevan aiemman painumaseurannan tuloksia, mutta vielä ei voida todeta sen olevan luotettava menetelmä kaatopaikan painumien tarkkailuun. Aluksi laserkeilaus ja siirtymäanalyysi toteutetaan vuoden välein, jotta saadaan lisätietoa menetelmän soveltuvuudesta. Myöhemmin voidaan laserkeilauksen väliä pidentää tarpeen mukaan, esimerkiksi kahteen vuoteen.

Inklinometri- ja laserkeilausten lisäksi jatketaan painumakaivojen ja muiden aiemmin seurattujen mittauspisteiden painumista ja siirtymistä. Nämä mittaukset suoritetaan kolmesti vuodessa, ja tuloksista laaditaan raportti kerran vuodessa. Mittauksia ei ole toistaiseksi syytä lopettaa, koska ne ovat tällä hetkellä ainoat painuma- ja siirtymämittausten menetelmät, joilta on pidempiaikaisia mittaustuloksia. Mahdollisesti ne voisivat jäädä pois painumien monitoriohjelmasta, jos tulevat laserkeilaukseen perustuvien siirtymäanalyysien tulokset selvästi tukevat painumakaivoilta ja muilta mittauspisteiltä saatuja tuloksia, ja siirtymäanalyysi todetaan soveltuvan kaatopaikan painumien seurantaan.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suurin osa raportoiduista kaatopaikkasortumista tapahtuu runsassateisissa trooppisissa maissa, joilla on usein vähän resursseja käyttää hyvin hoidettuun ja turvalliseen jätehuoltoon ja jätteen loppusijoitukseen. Suotoveden kierrätys on hyvä keino edistää metaanin tuotantoa ja hyötykäyttöä, vähentää kaatopaikan ympäristövaikutuksia sekä lyhentää jälkihoitoaika. Suotoveden kierrätys voi kuitenkin lisätä kaatopaikkasortumien riskiä. Lisäksi kaatopaikan korkea sisäinen vesipinta on merkittävä kaatopaikan vakauteen heikentävästi vaikuttava tekijä. Kaatopaikan painumien ja siirtymien tarkkailu on tärkeä osa kaatopaikan jälkihoidon tarkkailua.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli laatia Ämmässuon suljetulle kaatopaikalle monitoriohjelma painumien ja siirtymien seurantaan varten. Kokeellisiksi mittausmenetelmiksi valittiin inklinometrit, jotta kaatopaikan sisäisistä siirtymistä saatiin enemmän tietoa sekä laserkeilaukseen perustuva siirtymäanalyysi, jotta kaatopaikan pinnan korkeuden muutoksista saatiin laajempi kokonaiskuva pistemäisten mittausten sijaan. Työn toteuttaminen edellytti kaatopaikan painumien ja siirtymien aiempien mittaustietojen kartoittamista, jotta mittausmenetelmiä voitiin kohdentaa erityisesti alueille, joissa suurimmat painumat todennäköisesti tapahtuvat.

Painumatarkkailujen vuosilta 2003–2009 ja laserkeilaukseen perustuvan siirtymäanalyysin tuloksien perusteella voidaan todeta suurimpien painumien tapahtuvan kaatopaikan pohjois- ja itäosalla, esimerkiksi pohjoisosan painumakaivon 17 painumanopeus on ollut keskimäärin 4,8 cm/kk ja itäosan painumakaivon 33 keskimäärin 5,3 cm/kk ja koko kaatopaikan keskimääräinen painumanopeus on 3,1 cm/kk. Kaatopaikan keskimääräinen siirtymänopeus on 0,3 cm/kk eli 2,8 cm/kk vähemmän kuin painumilla. Aiemman painumatarkkailun tulosten perusteella voidaan päätellä eniten siirtymiä tapahtuvan kaatopaikan kaakkoiskulmassa sekä länsiosassa.

Inklinometrit soveltuvat kaatopaikan siirtymätarkkailuun. Niiden merkittävä etu muihin menetelmiin on mittausten jatkuvatoimisuus, kaatopaikan syvyysprofiilista saatava siirtymämittaustieto sekä vähäinen työmäärä. Lisäksi mittauksiin asetettiin hälytysraja, jolloin merkittäviin siirtymiin voidaan reagoida nopeasti. Hälytysrajaksi asetettiin yli 20 mm viikossa eli vastuuhenkilöille tulee ilmoitus, jos inklinometrien jokin anturi siirtyy yli 20 mm kerralla tai viikon aikana. Inklinometriä keskimääräinen siirtymänopeus on noin 0,1 mm/päivä, jonka perusteella arveltiin viikossa tai äkillisesti tapahtuvan yli 20 mm siirtymän olevan merkittävä. Inklinometriä tulosten perusteella tämän hetkiset kaatopaikan sisäiset siirtymät ovat melko pieniä eivätkä aiheuta äkillistä haittaa kaatopaikan

rakenteille tai lisää sortumavaaraa. Siirtymät saattavat kasvaa suotoveden kierrätyksen seurauksena, joten niiden tarkkailua on syytä jatkaa.

Laserkeilaukseen perustuva siirtymäanalyysi on havainnollinen menetelmä tarkkailla laaja-alaisia kaatopaikan pinnan korkeuden muutoksia. Tulokset olivat vertailukelpoisia aiemman painumatarkkailun tuloksien kanssa. Menetelmällä havaittiin kaatopaikan alareunan pinnan korkeuden kasvavan eli alareuna ikään kuin ”pullistuu”. Yhden toteutetun siirtymäanalyysin perusteella alareunan kohoamista ei voida pitää täysin varmana, ja siksi päätelmän oikeaksi osoittaminen vaatii useamman vuoden siirtymäanalyysien tekemistä.

Kaatopaikan vakauden seuranta on tärkeä kaatopaikan jälkihoitovaiheen tarkkailun osa-alue. Merkittävien äkillisten painumien tai siirtymien varalle tulisi laatia toimintaohje, jossa esitetään menettelyt lisävaurioiden ehkäisemiseksi. Mikäli tulevaisuudessa todetaan siirtymäanalyysin olevan luotettava tapa seurata kaatopaikan painumia, voidaan muita kaatopaikan pinnan pistemäisiä mittauksia vähentää. Kaatopaikan pinnalla toteutettava siirtymäanalyysi ei kuitenkaan korvaa inklinometrejä, joilla saadaan mittaustietoa kaatopaikan sisäisistä siirtymisistä.

Painumien monitorointiohjelma kokonaisuudessaan koostuu inklinometreistä, laserkeilauksesta sekä painumakaivojen ja muiden jo aiemmin seurattujen mittauspisteiden tarkkailusta. Inklinometrit ovat ainut jatkuvatoiminen mittausmenetelmä, ja suurista siirtymistä tulee ilmoitus vastuuhenkilöiden sähköposteihin. Lisäksi inklinometrien tuloksista raportoidaan kahdesti vuodessa osana bioreaktorikaatopaikan hajoamisprosessien monitorointiohjelmaa. Laserkeilaus ja siihen perustuva siirtymäanalyysi toteutetaan aluksi kerran vuodessa keväisin lumien sullettua. Vuonna 2003 aloitettua painumatarkkailua jatketaan tekemällä mittaukset kolmesti vuodessa, joista kootaan raportti kerran vuodessa.

LÄHTEET

- 1 HSY [verkkodokumentti] [viitattu 18.8.2010]. Etusivu > Tietoa HSY:stä > *HSY – Käytännön tekoja kaupunkiympäristössä*. Saatavissa:
<http://www.hsy.fi/tietoahsy/Sivut/default.aspx>
- 2 HSY:n aineistopankki. HSY, intranet, 2009
- 3 YTV:n jätteenkäsittelykeskuksen esittely 2009 [PDF]. YTV, intranet. 2009.
- 4 Valtari, Maria ym. *Jätteenkäsittelykeskuksen toiminta vuonna 2009* [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu 23.3.2010]. Saatavissa:
http://www.hsy.fi/jatehuolto/Documents/Ymparisto/Ammassuo/jatteenkasittelykeskus_ymparistoraportti_09.pdf
- 5 Sormunen, Kai. *Characterisation of Landfills for Recovery of Methane and Control of Emissions*, Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä 2008
- 6 *Pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen yleiset jätehuoltomääräykset*. Esite. YTV, 2007
- 7 Pammo, Risto. *Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalue*. Esittelymateriaali. YTV, intranet. 2008
- 8 *Kohti kierrätysyhteiskuntaa, Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016*. Suomen Ympäristö 32/2008. Ympäristöministeriön julkaisuja. Helsinki. Edita Prima Oy. 2008.
- 9 Pahkala, Olli. 2005. *Jätepolitiikka – Suomen ympäristöpolitiikka – kurssi* [verkkodokumentti] [viitattu 27.7.2010]. Ympäristöministeriö. Saatavissa:
http://www.mv.helsinki.fi/home/aiho/opetus/YE2/Jatepolitiikka_HY_230105.pdf
- 10 EU:n jätedirektiivi 2006/12/EY [verkkodokumentti]. 8.10.2008 [viitattu 27.7.2010]. Euroopan unioni.
Saatavissa:http://www.ek.fi/www/fi/uutiset/liitteet/jaetedir_PE-CONS_3646_4_2008_REV_4_2.pdf
- 11 Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997)

12 Ympäristönsuojelulaki (86/2000)

13 Vigneron, V. ym. 2009. *Bioreactor landfill: A Sustainable Waste Treatment Process*. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. Italy: CISA.

14 Jokela, Jari ym. 2000. *Jätteiden hajoaminen kaatopaikalla sekä kaatopaikkavesien muodostuminen, ominaisuudet ja käsittely*. [verkkodokumentti] [viitattu 1.3.2010] Kaato 2001 – hanke. Kirjallisuuskatsaus 20.6.2000. Saatavissa: <http://www.jly.fi/katsaus2.pdf>

15 Hoilijoki, Taina – Rintala, Jukka 1999. *Kaatopaikan jätemateriaalin ja olosuhteiden vaikutus kaatopaikkavesiin – kokemuksia Saksassa*. [verkkodokumentti] [viitattu 1.3.2010] Kaato 2001- hanke. Kirjallisuuskatsaus 30.9.1999. Saatavissa: <http://www.jly.fi/katsaus1.pdf>

16 *Kaatopaikan suotoveden kierrätys*. Kirjallisuuskatsaus. Suunnittelukeskus Oy. 2006.

17 Warith, Mostafa. 2001. *Bioreactor Landfills: Experimental and field results*. *Waste Management*, 22(2002), s. 7-17

18 *Hinkley Center for Solid and Hazardous Waste Management* [verkkodokumentti] [viitattu 29.4.2010]. Etusivu > Information > *What is a Bioreactor Landfill*. Saatavissa: <http://www.bioreactor.org/>

19 *Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus – Kierrätysvesijärjestelmä, hankesuunnitelma 2.6.2008*. YTV, intranet. 2008.

20 *Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus – Vesienhallinta, bioreaktorikaatopaikka*. YTV, intranet. 2009 (diasarja)

21 Jianguo, Jiang ym. 2010. *Effects of leachate accumulation on landfill stability in humid regions of China*. *Waste Management* 30 (2010), s. 848 – 855

22 Kölsch, F. & Bauer J. 2009. *Static stability of landfills*. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. Italy: CISA.

23 Dr. Koelsch Geo- und Umwelttechnik GmbH [verkkodokumentti, viitattu 18.8.2010]. Etusivu > Forschung > Landslides > *Bilder vom Leuwigajah dumpsite Desaster*. Saatavissa: <http://www.dr-koelsch.de>

24 Baker, J.A. ym. 2003. *Findings from long-term monitoring studies at MSW landfill facilities with leachate recirculation*. Waste Management 23 (2003), s. 653 – 666

25 Kölsch, F. ym. *Stability of landfills – The Bandung dumpsite disaster*. [Verkkodokumentti] 2005 [viitattu 22.6.2010] Saatavissa: http://www.dr-koelsch.de/assets/images/sardinia_2005.pdf 27

26 Kocasoy, Günay ym. 1995. *The Ümraniye-Hekimbasi open dump accident*. Waste Management & Research 13(1995), s. 305-314

27 Al-Yaqout, F.A. & Hamoda, M.F. 2006. *Movement of unlined landfill under preloading surcharge*. Waste management 27(2007), s. 448 – 458

28 Gourc, J.P. ym. 2005. *The measurement of landfill settlement using terrestrial 3D laser scanner imaging*. Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium. Italy: CISA.

29 Sormunen, Kai ym. *Kaatopaikan rakenteiden toiminnan ja hajoamisprosessien monitorointi*. Raportti, Ramboll. 2009

30 Mäenpää, Jukka. Mittauspäällikkö, Finnish Consulting Group Oy, Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto. 12.4.2010.

31 *Siirtymät jatkuvassa valvonnassa*. Esite. FinMeas Oy

32 Velhonoja, Pauli ym. *Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset* [verkkodokumentti]. 2000 [viitattu 4.5.2010]. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/lisaykset_yleiset_2000-4000.pdf

33 Ylönen, Sami. FinMeas Oy. Re: Ämmässuon inklinometrit [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Janina Virtanen. Lähetetty 5.11.2010.

34 Winqvist, Fredrik. Ramboll Finland Oy. FW: Ämmässuon inklinometrien asennus [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Janina Virtanen. Lähetetty 11.2010

35 Ylönen, Sami. Teknologiajohtaja, FinMeas Oy, Espoo. Henkilökohtainen tiedonanto. 16.11.2010.

36 *Uusi valtakunnallinen korkeusmalli laserkeilaamalla*. [verkkodokumentti] [viitattu 7.7.2010] Maanmittauslaitos, Helsinki, 2009. Saatavissa: http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/H-II/JuhaVilhomaa/Geodeettien%20kerho_2010.pdf

37 Koskela, Veli-Pekka, Salomaa Aleks. *Siirtymäanalyysi laserkeilaukseen perustuen – Arvio menetelmän soveltuvuudesta*. Raportti. Ramboll Finland Oy, Espoo.

Painumakaivojen tarkkailun tulokset vuosilta 2003–2009

Kaivo	Mittausjakso	Painum a (cm)	Keskim. painum a (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä -suunta	Keskim. siirtymä i-l (cm/kk)	Keskim. siirtymä e-p (cm/kk)
1	8.3.2004–26.4.2005	46,6	3,1	7	7	kaakko	0,58	0,58
2	2.12.2003–17.11.2009	119	1,7	13	33	kaakko	0,18	0,46
3	8.3.2004–26.4.2005	31,3	2,2	9	10	lounas	0,75	0,83
4	2.12.2003–17.11.2009	78,8	1,1	10	15	etelä	0,14	0,21
5	8.3.2004–17.11.2009	68,4	1,0	8	17	etelä	0,12	0,25
6	5.2.2004–24.4.2009	179	2,9	21	27	lounas	0,34	0,44
7	2.12.2003–17.11.2009	192	2,7	29	16	lounas	0,41	0,22
29	8.3.2004–21.11.2006	124	3,8	36	44	kaakko	1,09	1,33
34	21.11.2006–18.8.2009	152	4,5	38	16	kaakko	1,15	0,48
35	21.11.2006– 17.11.2009	92	2,5	34	9	kaakko	1,06	0,28
8	5.2.2004–4.2.2005	29,2	2,4	30	39	lounas	2,50	3,25
9	5.2.2004–17.11.2009	84,1	1,2	36	46	lounas	0,52	0,67
10	5.2.2004–24.4.2009	60,6	1,0	38	16	länsi	0,61	0,29
11	2.12.2003–17.11.2009	59,5	0,8	34	9	länsi	0,48	0,13
12	5.2.2004–24.4.2009	174	2,8	23	19	lounas	0,37	0,31
13	8.3.2004–14.6.2006	69,0	2,2	12	9	lounas	0,44	0,33
15	8.3.2004–17.11.2009	249	3,6	14	12	länsi- luode	0,21	0,18
16	2.12.2003–17.11.2009	240	3,3	13	14	koillinen	0,18	0,20
17	5.2.2004–13.5.2008	248	4,8	21	27	koillinen	0,41	0,53
18	2.12.2003–17.11.2009	237	3,3	11	15	koillinen	0,15	0,21
19	2.12.2003–18.8.2009	111	1,6	14	26	luode	0,21	0,38
30	21.11.2006–18.8.2009	86	2,5	2	14	koillinen	0,06	0,42
31	21.11.2006– 17.11.2009	116	3,1	20	8	koillinen	0,56	0,22
32	21.11.2006–18.8.2009	84	2,5	12	7	kaakko	0,36	0,21
33	21.11.2006– 17.11.2009	196	5,3	40	9	koillinen	1,11	0,25
36	4.12.2008–17.11.2009	84	7	7	2	kaakko	0,58	0,17
37	4.12.2008–17.11.2009	105	8,6	8	2	kaakko	0,67	0,17
38	4.12.2008–17.11.2009	111	9,3	5	9	kaakko	0,42	0,75

Painumakentän tarkkailun tulokset vuosilta 2004–2009.

Painuma- kentän piste	Mittausjakso	Painum a (cm)	Keskim. painum a (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä i-l (cm/kk)	Siirtymä e-p (cm/kk)
51	8.3.2004– 17.11.2009	263	3,8	9	11	0,13	0,16
52	8.3.2004– 17.11.2009	245	3,6	7	10	0,10	0,15
53	8.3.2004– 17.11.2009	258	3,7	8	11	0,12	0,16
54	8.3.2004– 21.11.2006	157	4,8	5	9	0,07	0,13

Säätöaseman 5 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- aseman 5 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä- suunta
5.1	4.12.2007– 24.4.2009	12,2	0,7	3	5	länsi
5.2	22.11.2005– 18.8.2009	47,7	1,0	4	6	länsi
5.3	4.12.2007– 18.8.2009	9,1	0,4	3	6	länsi
5.4	4.12.2007– 18.8.2009	7,7	0,4	6	6	länsi

Säätöaseman 6 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- asema 6 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä- suunta
6.1	4.12.2007– 18.8.2009	16	0,76	5	6	lounas
6.2	4.12.2007– 18.8.2009	70,4	3,35	11	10	lounas
6.3	4.12.2007– 24.4.2009	20,5	0,98	2	6	lounas
6.4	4.12.2007– 18.8.2009	21,5	1,02	4	7	lounas

Säätöaseman 7 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- asema 7 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä- suunta
7.1	4.12.2007– 18.8.2009	26,5	1,26	6	3	etelä
7.2	4.12.2007– 18.8.2009	36,2	1,72	4	6	etelä
7.3	4.12.2007– 24.4.2009	31,3	1,49	2	9	etelä
7.4	4.12.2007– 18.8.2009	23,7	1,13	4	8	etelä

Säätöaseman 8 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- asema 8 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä- länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)
8.1	4.12.2007– 18.8.2009	57,7	2,7	6	9
8.2	4.12.2007– 18.8.2009	54,4	2,6	8	6
8.3	4.12.2007– 18.8.2009	58,5	2,8	12	5
8.4	4.12.2007– 18.8.2009	43,9	2,1	8	5

Säätöaseman 9 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- asema 9 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä- suunta
9.1	4.12.2007– 18.8.2009	82,4	3,9	11	6	koillinen
9.2	4.12.2007– 18.8.2009	81,0	3,9	15	8	koillinen
9.3	4.12.2007– 18.8.2009	85,8	4,1	10	7	koillinen
9.4	4.12.2007– 18.8.2009	89,3	4,3	9	7	koillinen

Säätöaseman 10 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- asema 10 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä- suunta
10.1	4.12.2007– 18.8.2009	20,6	1,0	5	10	luode
10.2	4.12.2007– 18.8.2009	70,3	3,3	70	10	luode
10.3	4.12.2007– 18.8.2009	29,0	1,4	3	3	luode
10.4	4.12.2007– 18.8.2009	21,3	1,0	3	3	luode

Säätöaseman 11 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Säätö- asema 11 mittauspiste	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Siirtymä- suunta
11.1	4.12.2007– 18.8.2009	37,9	1,8	2	3	luode
11.2	4.12.2007– 18.8.2009	127	6,0	12	11	luode
11.3	4.12.2007– 18.8.2009	36,8	1,8	2	10	luode
11.4	4.12.2007– 18.8.2009	37,6	1,8	2	4	luode

Betonipaalin 201–203 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Betoni- paalu	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä- länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)
201	13.5.2008– 17.11.2009	9,4	0,49	3	3
202	13.5.2008– 17.11.2009	10,0	0,53	3	3
203	13.5.2008– 17.11.2009	5,7	0,3	2	5

Betoni-
paalulinjan 204–206 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Betoni- paalu	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä- länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)
204	13.5.2008– 17.11.2009	22,8	1,2	3	1
205	13.5.2008– 17.11.2009	9,2	0,48	3	9
206	13.5.2008– 17.11.2009	6,1	0,32	3	5

Betoni-
paalulinjan 207–209 tarkkailun tulokset vuosilta 2007–2009

Betoni- paalu	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä- länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)
207	13.5.2008– 17.11.2009	34,8	1,83	5	7
208	13.5.2008– 17.11.2009	22,0	1,16	5	6
209	13.5.2008– 17.11.2009	12,8	0,67	11	10

Mittalinjan 1 tarkkailun tulokset vuosilta 2004–2009

Mittalinja 1	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä- pohjoinen (cm)	Keskim. siirtymä i-l (cm/kk)	Keskim. siirtymä e- p (cm/kk)	Siirtymä- suunta
1	5.2.2004– 17.11.2009	51,0	0,7	9	23	0,13	0,33	etelä
2	5.2.2004– 17.11.2009	51,0	0,7	8	22	0,12	0,32	etelä
3	5.2.2004– 17.11.2009	48,5	0,7	7	20	0,10	0,29	etelä
4	5.2.2004– 17.11.2009	49,4	0,7	10	23	0,14	0,33	etelä
5	5.2.2004– 17.11.2009	48,5	0,7	8	17	0,12	0,25	etelä
6	5.2.2004– 17.11.2009	42,0	0,6	7	12	0,10	0,17	etelä

Mittalinjan 2 tarkkailun tulokset vuosilta 2004–2009

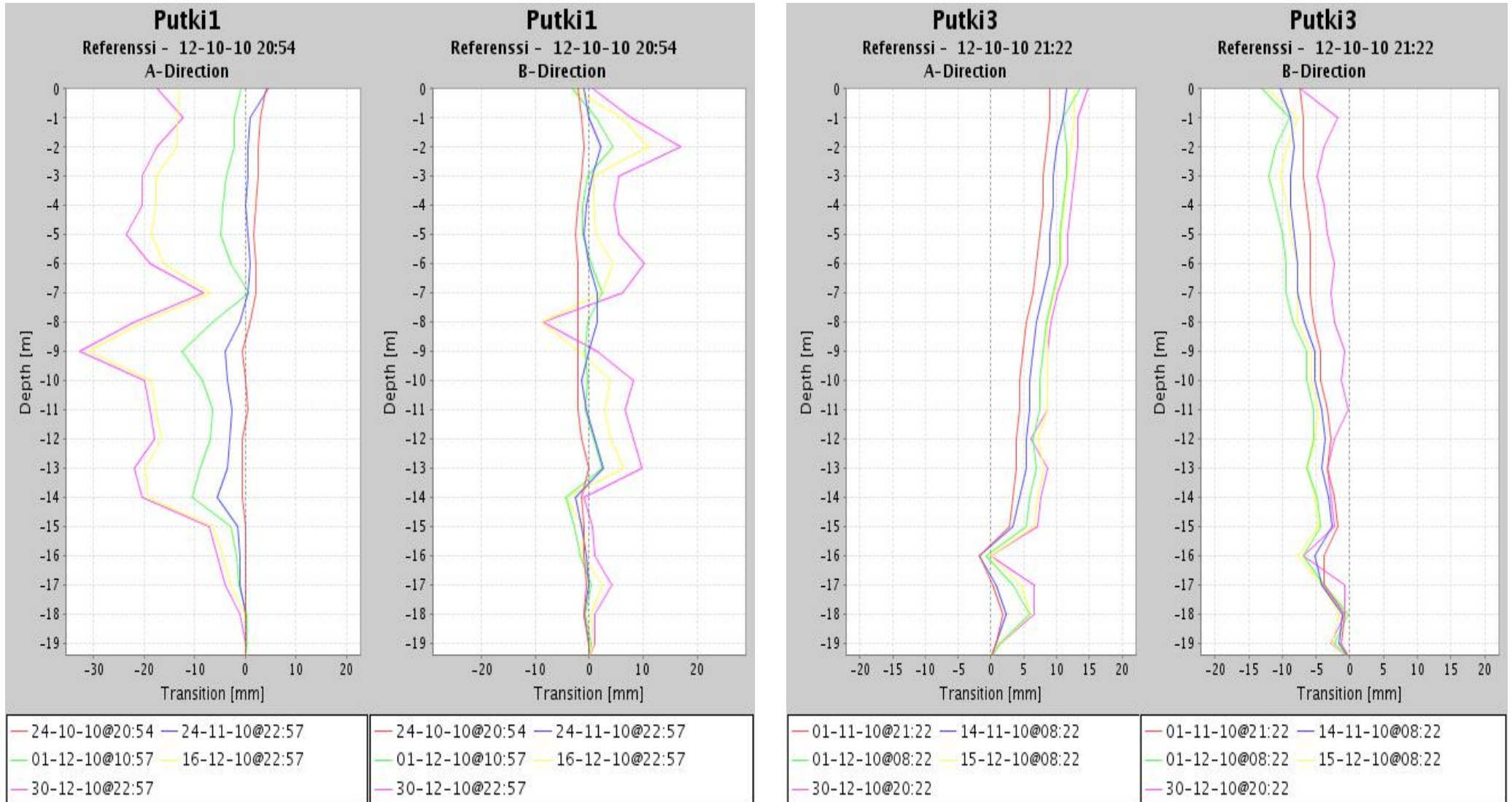
Mittalinja 2	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä-pohjoinen (cm)	Keskim. siirtymä i-l (cm/kk)	Keskim. siirtymä e-p (cm/kk)	Siirtymäsuunta
1	5.2.2004–17.11.2009	61,8	0,9	6	19	0,09	0,28	etelä
2	5.2.2004–17.11.2009	65,0	0,9	7	32	0,10	0,46	etelä
3	5.2.2004–17.11.2009	66,7	1,0	3	22	0,04	0,32	etelä
4	5.2.2004–17.11.2009	59,2	0,9	9	15	0,13	0,22	etelä

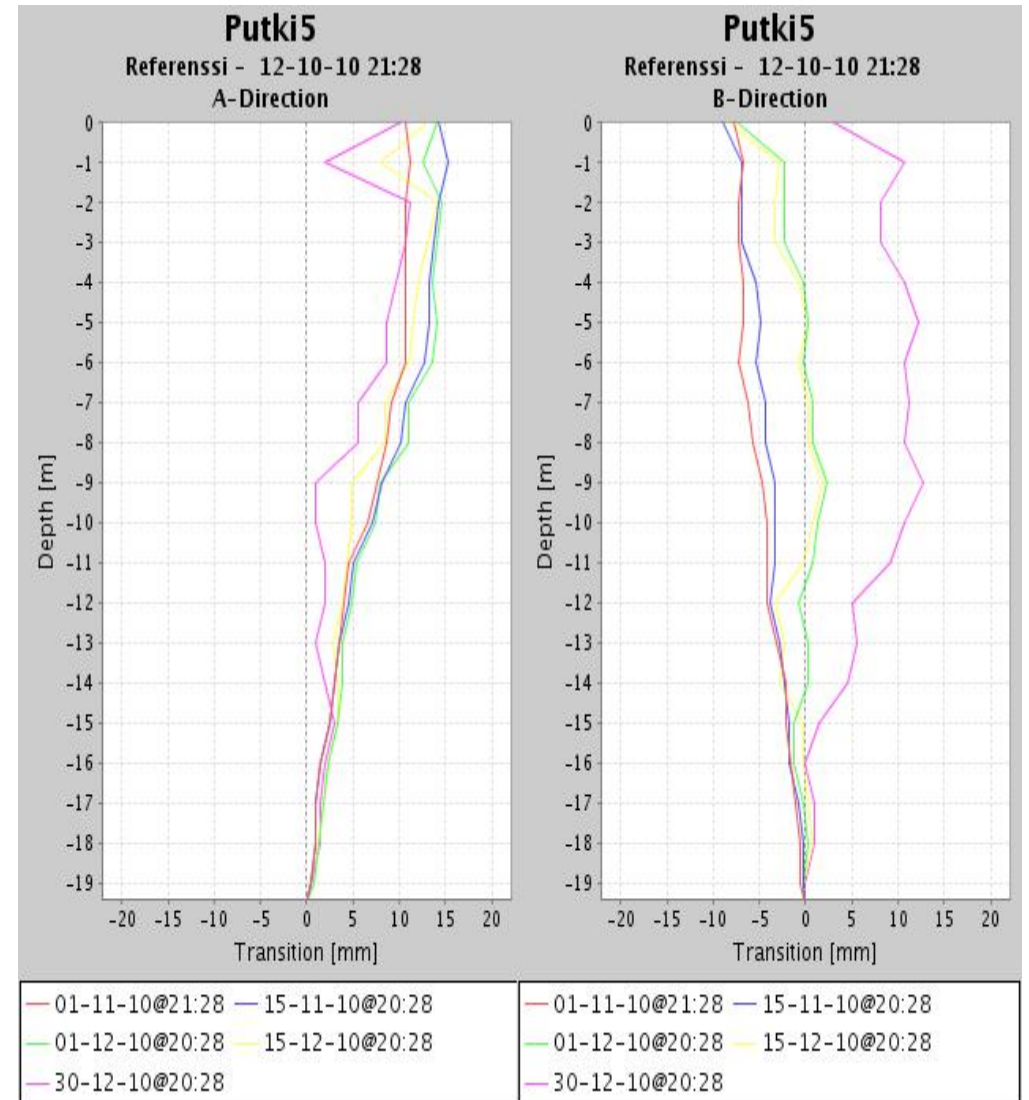
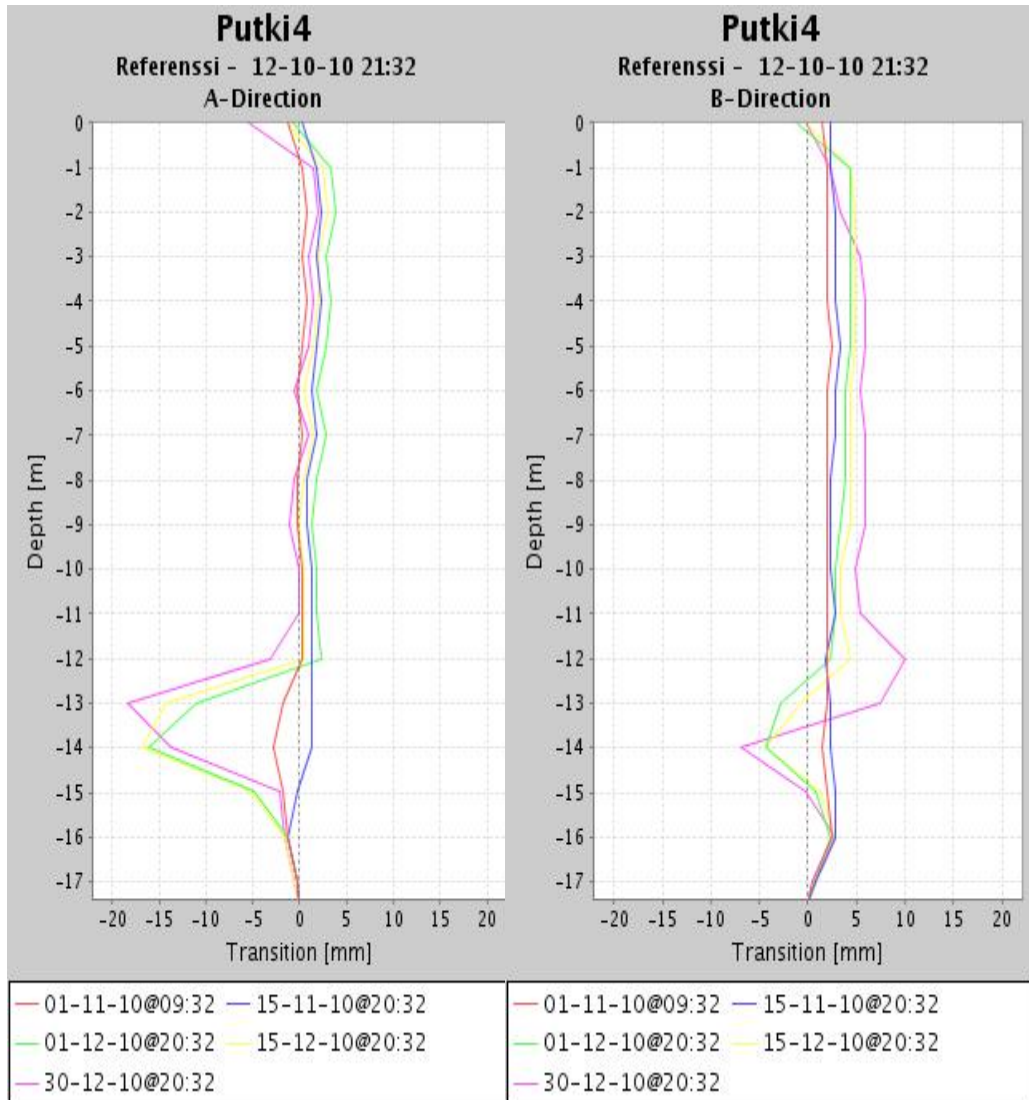
Mittalinjan 3 tarkkailun tulokset vuosilta 2004–2009

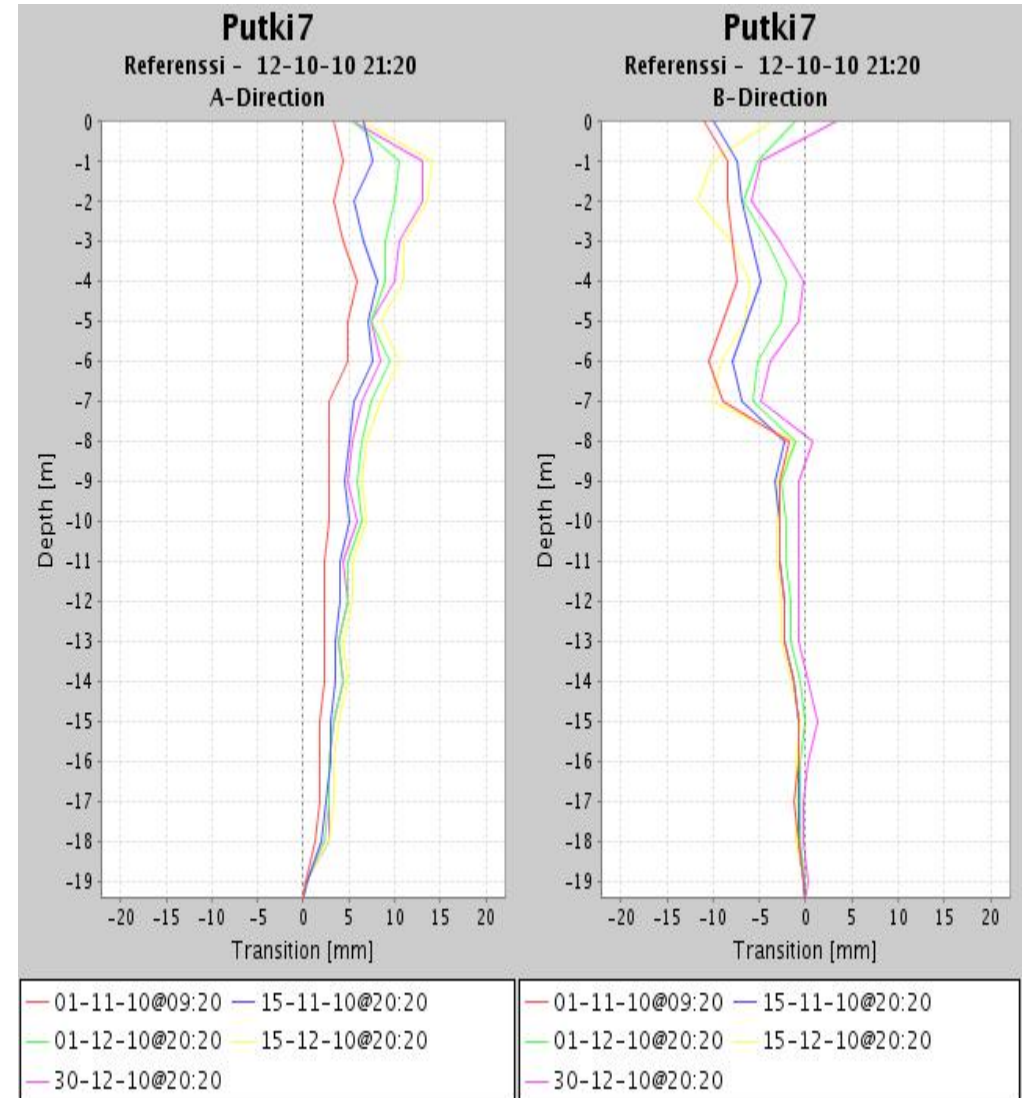
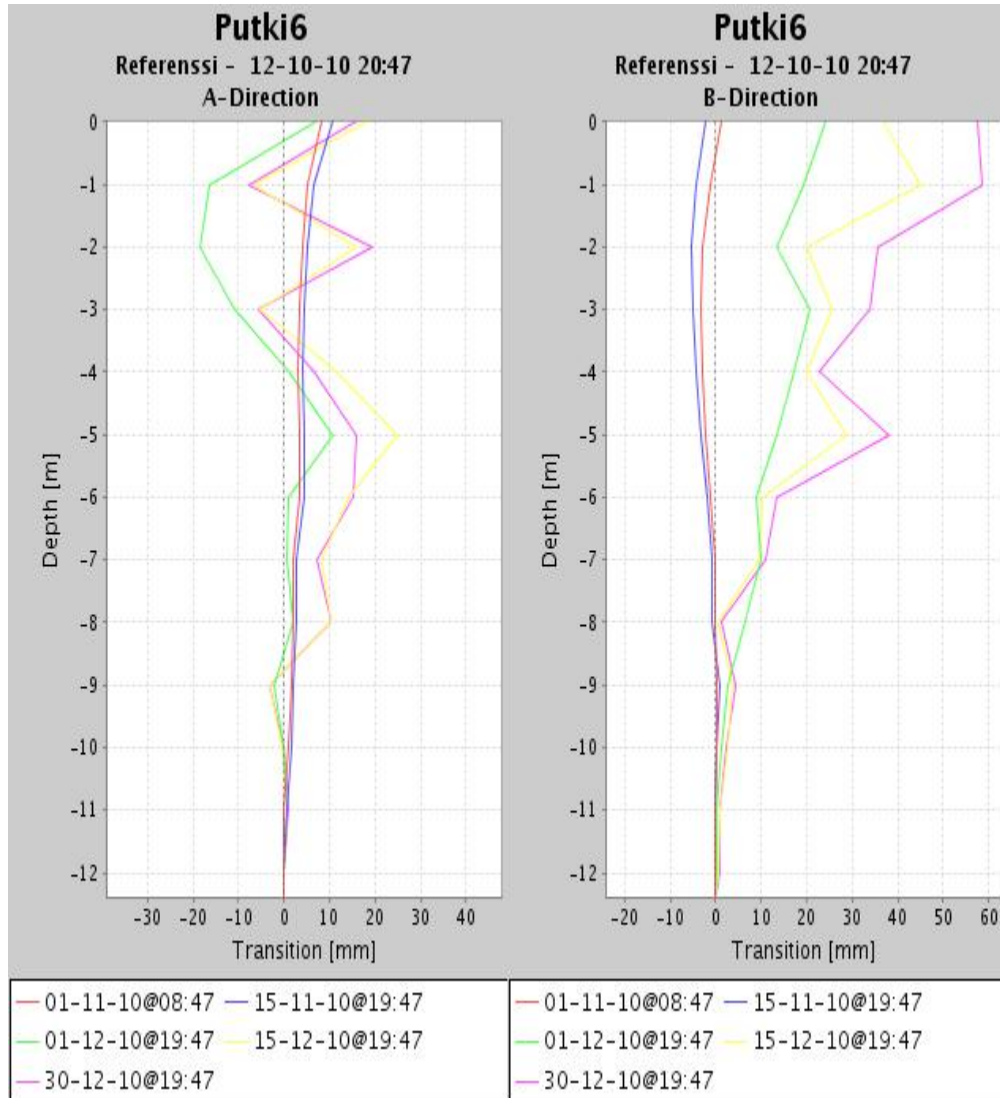
Mittalinja 3	Mittausjakso	Painuma (cm)	Keskim. painuma (cm/kk)	Siirtymä itä-länsi (cm)	Siirtymä etelä-pohjoinen (cm)	Keskim. siirtymä i-l (cm/kk)	Keskim. siirtymä e-p (cm/kk)	Siirtymäsuunta
1	5.2.2004–17.11.2009	40,8	0,6	8	16	0,12	0,23	etelä
2	5.2.2004–17.11.2009	31,9	0,5	6	11	0,09	0,16	etelä
3	5.2.2004–17.11.2009	21,3	0,3	6	15	0,09	0,22	etelä
4	5.2.2004–17.11.2009	7,0	0,1	3	9	0,04	0,13	etelä

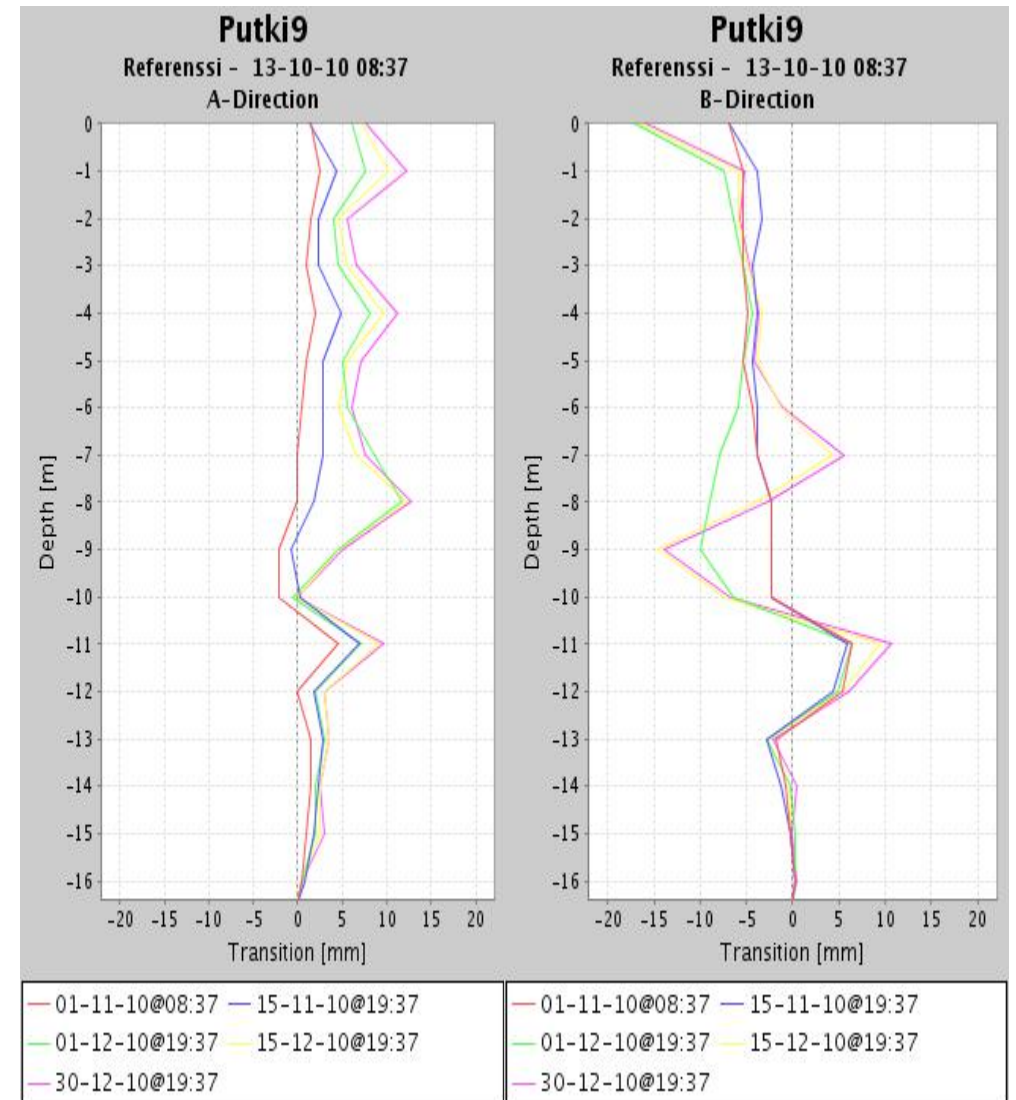
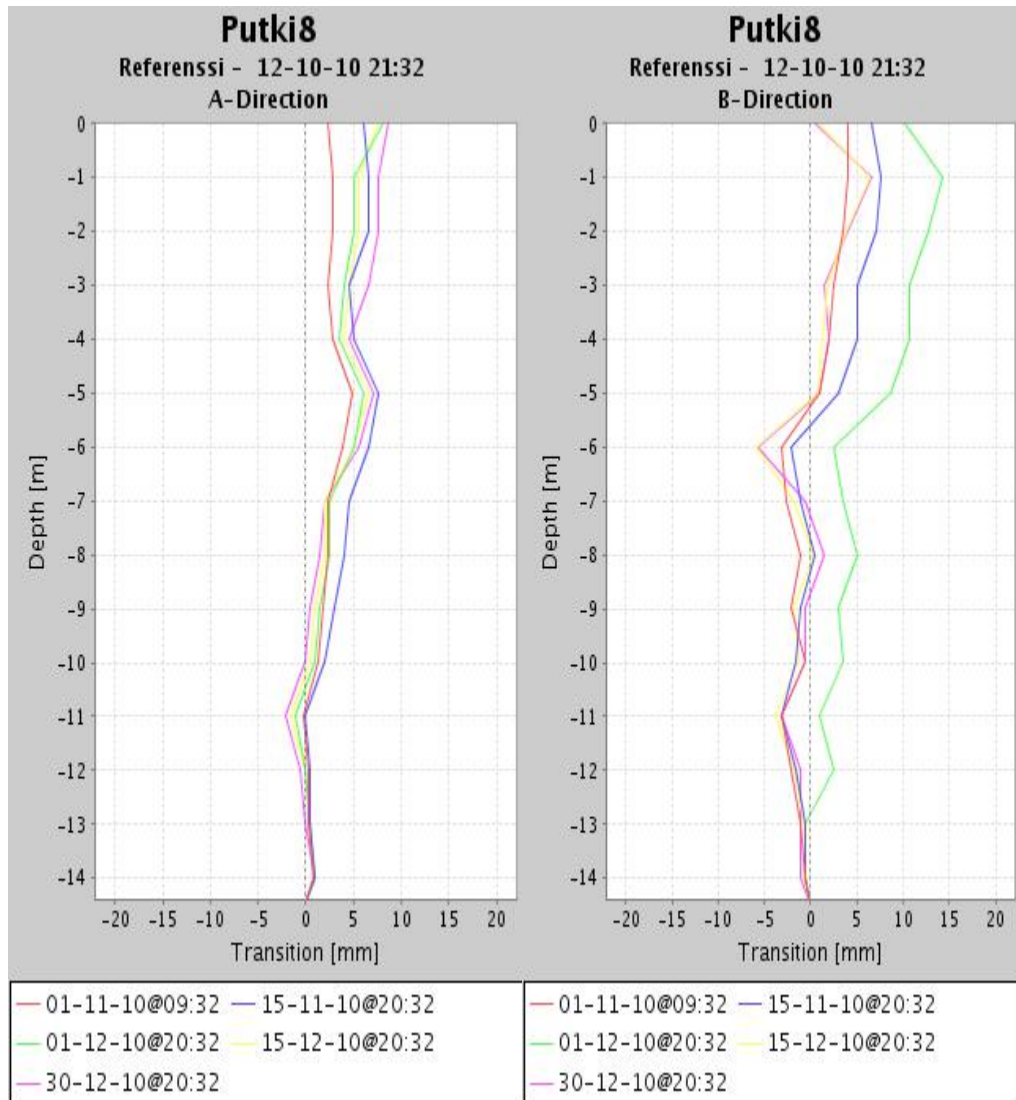
LIITE 2

Inklinometrien 1 ja 3–9 syvyysprofiilit 12.10–30.12.2011









Inklinometrien 1 ja 3–9 siirtymät ja nopeudet ajalla 12.10.–30.12.2010

Inklinometri 1

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymän nopeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymänopeus B mm/d
0	21.96	0.27	3.83	0.05
1	17.11	0.21	11.75	0.15
2	19.92	0.25	17.88	0.22
3	22.99	0.29	7.15	0.09
4	22.48	0.28	5.88	0.07
5	25.03	0.31	8.17	0.10
6	20.95	0.26	12.26	0.15
7	10.22	0.13	8.17	0.10
8	23.02	0.29	12.54	0.16
9	33.70	0.42	3.83	0.05
10	19.94	0.25	10.22	0.13
11	19.41	0.24	8.69	0.11
12	17.89	0.22	9.71	0.12
13	21.99	0.27	9.71	0.12
14	20.45	0.26	5.89	0.07
15	7.16	0.09	4.35	0.05
16	5.62	0.07	3.32	0.04
17	4.09	0.05	4.09	0.05
18	1.02	0.01	1.79	0.02
19	0.00	0.00	0.00	0.00
Keskiarvo	17.63	0.22	7.85	0.10

Inklinometri 3

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymänopeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymänopeus B mm/d
0	14.83	0.19	13.04	0.16
1	13.29	0.17	8.95	0.11
2	13.29	0.17	11.00	0.14
3	12.78	0.16	12.02	0.15
4	12.27	0.15	11.00	0.14
5	11.76	0.15	9.97	0.12
6	11.76	0.15	9.46	0.12
7	10.23	0.13	9.46	0.12
8	9.20	0.12	8.44	0.11
9	8.69	0.11	6.39	0.08
10	8.69	0.11	6.39	0.08
11	8.69	0.11	5.37	0.07
12	7.16	0.09	5.11	0.06
13	8.69	0.11	6.14	0.08
14	7.67	0.10	5.11	0.06
15	7.16	0.09	4.60	0.06
16	0.00	0.00	7.67	0.10
17	6.65	0.08	4.09	0.05
18	6.65	0.08	0.77	0.01
19	0.00	0.00	0.00	0.00
Keskiarvo	9.45	0.12	7.63	0.10

Inklinometri 4

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymän opeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymän opeus B mm/d
0	5.62	0.07	2.30	0.03
1	3.33	0.04	4.35	0.05
2	3.84	0.05	4.85	0.06
3	2.81	0.04	5.37	0.07
4	3.33	0.04	5.88	0.07
5	2.81	0.04	5.88	0.07
6	1.79	0.02	5.37	0.07
7	2.81	0.04	5.88	0.07
8	1.79	0.02	5.88	0.07
9	1.23	0.02	5.88	0.07
10	1.79	0.02	4.85	0.06
11	1.79	0.02	5.37	0.07
12	3.07	0.04	9.97	0.12
13	18.41	0.23	7.41	0.09
14	16.87	0.21	6.91	0.09
15	5.11	0.06	2.81	0.04
16	1.53	0.02	2.81	0.04
17	0.00	0.00	0.00	0.00
Keskiarvo	4.58	0.06	5.40	0.07

Inklinometri 5

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymän opeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymänopeus B mm/d
0	14.07	0.18	8.95	0.11
1	15.35	0.19	10.74	0.13
2	14.58	0.18	8.19	0.10
3	14.07	0.18	8.19	0.10
4	13.56	0.17	10.74	0.13
5	14.07	0.18	12.28	0.15
6	13.56	0.17	10.74	0.13
7	11.00	0.14	11.26	0.14
8	11.00	0.14	10.74	0.13
9	7.93	0.10	12.79	0.16
10	7.42	0.09	10.74	0.13
11	5.37	0.07	9.21	0.12
12	4.86	0.06	5.12	0.06
13	3.84	0.05	5.63	0.07
14	3.86	0.05	4.61	0.06
15	3.32	0.04	1.79	0.02
16	2.05	0.03	1.79	0.02
17	1.79	0.02	1.02	0.01
18	1.53	0.02	1.02	0.01
19	0.00	0.00	0.00	0.00
Keskiarvo	8.59	0.11	7.66	0.10

Inklinometri 6

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymän opeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymän opeus B mm/d
0	18.37	0.23	59.84	0.75
1	16.36	0.20	58.56	0.73
2	19.42	0.24	35.54	0.44
3	10.75	0.13	34.01	0.43
4	11.24	0.14	22.76	0.28
5	25.05	0.31	38.10	0.48
6	15.34	0.19	13.56	0.17
7	8.18	0.10	11.00	0.14
8	10.22	0.13	6.39	0.08
9	3.07	0.04	4.35	0.05
10	1.53	0.02	2.30	0.03
11	1.02	0.01	0.77	0.01
12	0.00	0.00	0.00	0.00
Keskiarvo	10.81	0.14	22.09	0.28

Inklinometri 7

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymänopeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymänopeus B mm/d
0	6.65	0.08	11.00	0.14
1	14.06	0.18	10.22	0.13
2	13.55	0.17	11.76	0.15
3	10.99	0.14	8.18	0.10
4	10.99	0.14	7.41	0.09
5	8.44	0.11	8.95	0.11
6	10.49	0.13	10.48	0.13
7	8.44	0.11	10.23	0.13
8	6.91	0.09	2.30	0.03
9	6.39	0.08	3.07	0.04
10	6.91	0.09	3.07	0.04
11	5.37	0.07	3.07	0.04
12	5.37	0.07	2.56	0.03
13	4.35	0.05	2.56	0.03
14	4.86	0.06	1.53	0.02
15	3.84	0.05	0.51	0.01
16	3.32	0.04	1.02	0.01
17	3.32	0.04	1.02	0.01
18	2.81	0.04	1.02	0.01
19	0.00	0.00	0.00	0.00
Keskiarvo	7.21	0.09	5.26	0.07

Inklinometri 8

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymän opeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymän opeus B mm/d
0	8.69	0.11	10.22	0.13
1	7.67	0.10	14.31	0.18
2	7.67	0.10	12.78	0.16
3	6.65	0.08	10.73	0.13
4	5.11	0.06	10.73	0.13
5	7.67	0.10	8.69	0.11
6	6.65	0.08	5.63	0.07
7	4.60	0.06	3.58	0.04
8	4.09	0.05	5.11	0.06
9	3.07	0.04	3.07	0.04
10	2.05	0.03	3.58	0.04
11	2.05	0.03	3.07	0.04
12	0.51	0.01	1.02	0.01
13	0.00	0.00	1.02	0.01
14	1.02	0.01	1.02	0.01
Keskiarvo	4.50	0.06	6.30	0.08

Inklinometri 9

Anturi	Siirtymä A (mm)	Siirtymänopeus A mm/d	Siirtymä B (mm)	Siirtymänopeus B mm/d
0	7.67	0.10	16.63	0.21
1	12.28	0.15	7.42	0.09
2	5.63	0.07	6.39	0.08
3	6.65	0.08	5.37	0.07
4	11.25	0.14	4.86	0.06
5	7.16	0.09	5.37	0.07
6	6.14	0.08	5.88	0.07
7	8.70	0.11	13.55	0.17
8	12.79	0.16	8.95	0.11
9	5.12	0.06	13.81	0.17
10	2.05	0.03	7.42	0.09
11	9.72	0.12	10.74	0.13
12	3.07	0.04	6.14	0.08
13	3.58	0.04	2.81	0.04
14	2.56	0.03	1.79	0.02
15	3.07	0.04	0.00	0.00
16	0.77	0.01	0.51	0.01
Keskiarvo	6.37	0.08	6.92	0.09