



Margareta Wahlström, Jutta Laine-Ylijoki,
Paula Eskola, Pasi Vahanne, Esa Mäkelä,
Minna Vikman, Olli Venelampi,
Jyrki Hämäläinen & Reetta Frilander

Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus

Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus

Margareta Wahlström, Jutta Laine-Ylijoki, Paula, Eskola,
Pasi Vahanne & Esa Mäkelä
VTT Prosessit

Minna Vikman & Olli Venelampi
VTT Biotekniikka

Jyrki Hämäläinen & Reetta Frilander
Suomen ympäristökeskus SYKE



ISBN 951-38-6470-7 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6471-5 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2004

JULKAI SIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosessit, Biologinkuja 7, PL 1602, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7026

VTT Processor, Biologgränden 7, PB 1602, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7026

VTT Processes, Biologinkuja 7, P.O.Box 1602, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7026

VTT Biotekniikka, Tietotie 2, PL 1500, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2103

VTT Bioteknik, Datavägen 2, PB 1501, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 455 2103

VTT Biotechnology, Tietotie 2, P.O.Box 1501, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 455 2103

Toimitus Leena Uksskoski

Otamedia Oy, Espoo 2004

Wahlström, Margareta, Laine-Ylijoki, Jutta, Eskola, Paula, Vahanne, Pasi, Mäkelä Esa, Vikman, Minna, Venelampi, Olli, Hämäläinen, Jyrki & Frilander, Reetta. Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus [Environmental acceptability of industrial by-products in landfill constructions]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2246. 84 s. + liitt. 38 s.

Avainsanat landfilling sites, landfill constructions, acceptance, recommendations, waste materials, mineral by-products, fly ash, hazardous materials, environmental properties, testing

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda selkeä ja toimiva menettelytapa kaatopaikkarakenteissa hyötykäytettävien teollisuuden sivutuotteiden kaatopaikkakelpoisuuden arviointiin. Julkaisussa annetaan ehdotus kelpoisuusmenettelystä ja tarkasteltavista parametreista, soveltuvista tutkimusmenetelmistä sekä kelpoisuusarviointiin soveltuvista kriteereistä. Jätteiden käyttö eristemateriaaleissa on aina luvanvaraista toimintaa, josta jätehuoltoviranomainen päättää tapauskohtaisesti huomioiden erityisesti kaatopaikan sijainnin ja kaatopaikkaolosuhteet.

Tutkimuksen pääpaino oli mineraalisten sivutuotteiden käytössä kaatopaikkarakenteissa. Ensisijaisena kohteena olivat pintaeristemateriaalit. Erityisesti energian tuotannossa syntyvä lentotuhka, paperiteollisuudessa muodostuva kuituliete ja valimohiekka ovat sekä teknisesti soveltuvia (potentiaalisia) että massamäärinä kiinnostavia vaihtoehtomateriaaleja. Vaikka julkaisussa kiinnitetään ensisijaisesti huomiota ympäristökelpoisuuteen, edellyttää materiaalien käyttöönotto kaatopaikkarakenteissa aina vaihtoehdoisen materiaalin teknistä soveltuvuutta. Orgaanisia haitta-aineita sisältäviä sivutuotteita käsitellään vain rajoitetusti.

Kaatopaikkaeristemateriaalien ympäristökelpoisuus-kriteerien määrittely perustuu tässä kahteen pääperiaatteeseen. Ensimmäiseksi kaikkien eristerakenteissa käytettävien materiaalikerrosten on oltava kelpoisia vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Toiseksi soveltavien kriteerien tulee olla sopusoinnissa olemassa olevien kriteerien (esim. maarakentamiskäytön ympäristökelpoisuus-kriteerien) kanssa. Näin tässä esitettävät rajat asettuvat pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalle annettujen kriteerien välille. Lisäksi haitta-aineiden kokonaispitoisuudet (esim. metallipitoisuudet) eivät saa ylittää ongelmajäteluokituksen raja-arvoja.

Projektiin kuului myös kokeellinen työ, jossa ehdotettujen tutkimusmenettelyjen käytännön soveltuvuutta selvitettiin esimerkkimateriaalien avulla. Tulosten perusteella arvioitiin esimerkinomaisesti k.o. materiaalien ympäristökelpoisuus.

Wahlström, Margareta, Laine-Ylijoki, Jutta, Eskola, Paula, Vahanne, Pasi, Mäkelä Esa, Vikman, Minna, Venelampi, Olli, Hämäläinen, Jyrki & Frilander, Reetta. Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus [Environmental acceptability of industrial by-products in landfill constructions]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2246. 84 p. + app. 38 p.

Keywords landfilling sites, landfill constructions, acceptance, recommendations, waste materials, mineral by-products, fly ash, hazardous materials, environmental properties, testing

Abstract

The aim of this project was to develop a clear and practical procedure for assessing the acceptance industrial by-products used in landfill constructions. Proposal for the acceptance procedure and recommendations of parameters to be studied and suitable test methods are presented. Moreover, criteria for the assessment of the suitability are proposed. The authorities responsible for waste management make the final approval of the utilisation of waste material in constructions on a case by case evaluation that takes into account the local conditions.

The project focussed on the use of mineral by-products in the mineral top layer. Typical technically suitable waste materials produced in huge amounts are fly ashes in the energy production, sludges from the paper industry and foundry wastes. The main interest is in the environmental assessment of the potential materials. However, the technical requirements for the material in the construction layer must be fulfilled. By-products containing organic contaminants are only discussed shortly.

The proposed criteria for the environmental acceptability of waste material are based on two principles: the waste material has to be suitable for landfilling in the landfill category in question (in this case the waste has at least to fulfil the criteria given for non-hazardous wastes), and the criteria need to be in line with the environmental criteria used for the road construction materials. The criteria are, consequently, between the criteria given for waste to be disposed on a landfill for inert waste and non-hazardous waste. Moreover, the waste properties (e.g. total content of heavy metals) should not exceed the values given for hazardous wastes.

The work also included an experimental part in which the applicability of the test methods was evaluated for some case materials. The suitability of the each tested material was also evaluated.

Alkusanat

Tutkimus *"Kaatopaikkojen eristemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus"* kuului osana Tekesin Streams-ohjelmaan. Projektissa selvitettiin, miten kaatopaikkojen pinta- ja pohjaeristeissä sekä muissa kaatopaikkojen rakenteissa käytettävien teollisuuden sivutuotteina syntyvien jätteiden ympäristökelpoisuus on tutkittava ja miten kelpoisuutta tulisi arvioida. Tutkimusta rahoittivat Tekesin lisäksi Ekokem-Palvelu Oy, Finncao Oy ja Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab ja VTT Prosessit. Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat:

Ari Seppänen, ympäristöministeriö, puheenjohtaja
Marjatta Aarniala, Tekes
Martti Keppo, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab
Jaakko Soikkeli, Finncao Oy
Jan Österbacka, Ekokem-Palvelu Oy

Esa Mäkelä, VTT Prosessit
Risto Kuusiniemi, SYKE
Margareta Wahlström, VTT Prosessit (sihteeri).

Tutkimuksen projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Margareta Wahlström, VTT Prosessit. Tutkimusryhmään kuuluivat lisäksi VTT Prosessit -yksiköstä erikoistutkija Jutta Laine-Ylijoki, erikoistutkija Pasi Vahanne, tutkija Paula Eskola ja ryhmäpäällikkö Esa Mäkelä. Suomen ympäristökeskuksesta (SYKEstä) tutkimusryhmään kuuluivat laboratorioinsinööri Jyrki Hämäläinen sekä tutkija Reetta Frilander. Projektin biohajoavuustutkimuksista vastasivat VTT Biotekniikka -yksikön tutkijat Minna Vikman ja Olli Venelampi.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1. JOHDANTO	9
1.1 TAVOITTEET	9
1.2 TAUSTA JA NYKYTILANNE	9
1.2.1 Kaatopaikkaluokat ja niiden rakennevaatimukset	9
1.2.2 Sivutuotteiden nykyinen käyttö eristerakenteissa	12
1.2.3 Annetut viranomaispäätökset Suomessa	13
2. TEKNISET VAATIMUKSET	15
2.1 YLEISTÄ	15
2.2 RAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA PITKÄAIKAISESTÄVYYS	16
2.3 PINTARAKENTEET	20
2.3.1 Johdanto	20
2.3.2 Pintarakennekerrosten tehtävät ja vaatimukset	23
2.3.2.1 Kaasunkeräyskerros	23
2.3.2.2 Tiivistyskerros	23
2.3.2.3 Kuivatuskerros	25
2.3.2.4 Pintakerros	25
2.3.2.5 Loppukäytön aiheuttamat vaatimukset	26
2.3.3 Tiivistyskalvo pintarakenteessa	26
2.4 POHJARAKENTEET	27
2.4.1 Johdanto	27
2.4.2 Mineraalinen tiivistyskerros	27
2.5 RAKENTEIDEN VASTAAVUUDEN ARVIOINTI	29
2.5.1 Tiivistysrakenteet	29
2.5.2 Kuivatusrakenteet	30
2.6 POIKKEAMINEN VNP:N VAATIMUKSISTA	30
3. YMPÄRISTÖOMINAISUUKSIEN TUTKIMUSMENETELMÄT	31
3.1 ARVIO ERI KERROSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA	31
3.2 LIUKOISUUSOMINAISUUKSIEN TUTKIMUSMENETELMÄT	32
3.2.1 Liukenemiskäyttäytymistä simuloivat liukoisuustestit	33
3.2.2 Ympäristökijöiden merkitys	33
3.3 BIOHAJOAVUUSTESTIT	33
3.3.1 Karakterisointitestit	33

3.3.2	<i>Laadunvalvontatesti</i>	33
3.4	YHTEENVETO SOVELTUVISTA TUTKIMUSMENETELMISTÄ	33
4.	ERISTEMATERIAALIEN YMPÄRISTÖKELPOISUUSKRITEERIEN KEHITYSTYÖN	
	PERIAATTEET	33
4.1	EU:N KAAKTOPAIKKASÄÄNNÖKSET	33
4.2	LÄHESTYMISTAPA.....	33
4.3	KAAKTOPAIKKAERISTEMATERIAALIEN YMPÄRISTÖKELPOISUUSKRITEERIT	33
4.3.1	<i>Periaate</i>	33
4.3.2	<i>Pysyvän ja tavanomaisen epäorgaanisen jätteen liukoisuuskriteerit</i>	33
4.3.3	<i>Eristemateriaalien orgaanisen aineen stabiilisuuden toteaminen</i>	33
4.3.4	<i>Pintarakenne</i>	33
4.3.4.1	<i>Pintakerros</i>	33
4.3.4.2	<i>Kuivatuskerros</i>	33
4.3.4.3	<i>Mineraalinen tiivistyskerros</i>	33
4.3.4.4	<i>Kaasunkeräyskerros ja esipeitto</i>	33
4.3.5	<i>Pohjarakenne</i>	33
4.3.5.1	<i>Mineraalinen tiivistyskerros</i>	33
4.3.5.2	<i>Muut pohjakerrokset</i>	33
4.4	YHTEENVETO KELPOISUUSKRITEEREISTÄ	33
4.5	POIKKEAMINEN EDELLÄ EHDOTETUISTA KELPOISUUSKRITEEREISTÄ	33
5.	ERISTEMATERIAALIEN YMPÄRISTÖKELPOISUUSMENETELMIEN TESTAUS	33
5.1	NÄYTTEET	33
5.2	TUTKIMUSOHJELMA.....	33
5.2.1	<i>Kokonaispitoisuudet</i>	33
5.2.2	<i>Liukoisuustutkimukset</i>	33
5.3	TULOSTEN ARVIOINTI	33
5.3.1	<i>Eri testimenetelmien soveltuvuuden arviointi</i>	33
5.3.2	<i>Esimerkki kokeellisten tulosten käytöstä skenaariotarkastelussa</i>	33
5.3.3	<i>Esimerkkimateriaalien ympäristökelpoisuus pintarakenteen mineraalikerrokseen</i>	33
5.3.3.1	<i>Periaate</i>	33
5.3.3.2	<i>Esimerkkimateriaali A: Kuitusavi</i>	33
5.3.3.3	<i>Esimerkkimateriaali B: Lentotuhka-kuitusavi-sakka</i>	33
5.3.3.4	<i>Esimerkkimateriaali C: Hydrostab</i>	33
5.4	BIOHAJOAVUUSTUTKIMUKSET	33
5.4.1	<i>Hajoavuus anaerobitestissä</i>	33
6.	ERISTEMATERIAALIEN YMPÄRISTÖKELPOISUUDEN OSOITTAMISMENETTELY	33
	LÄHDELUETTELO	33
	LIITTEET A–F	

1. Johdanto

1.1 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten kaatopaikkojen pinta- ja pohjatiivistyskerroksissa sekä muissa kaatopaikkojen rakenteissa käytettävien teollisuuden sivutuotteina syntyvien jätteiden ympäristökelpoisuus on tutkittava ja miten niiden kelpoisuutta tulisi arvioida. Jätteiden käyttö kaatopaikkarakenteissa hyväksytään kaatopaikan ympäristölupamenettelyn kautta.

Raportin pääpaino on mineraalisten tuotantotoiminnan sivutuotteiden käytössä kaatopaikkarakenteissa. Ensisijaisena kohteena ovat pintaeristemateriaalit. Erityisesti energian tuotannossa syntyvä lentotuhka, valimohiekka, pilaantunut maa ja paperiteollisuudessa muodostuva kuituliete ovat sekä teknisesti soveltuvia (potentiaalisia) että massamäärinä kiinnostavia vaihtoehtomateriaaleja. Vaikka julkaisussa kiinnitetään ensisijaisesti huomiota ympäristökelpoisuuteen, edellyttää materiaalien käyttöönotto kaatopaikkarakenteissa aina vaihtoehtoisen materiaalin teknistä soveltuvuutta. Orgaanisia haitta-aineita sisältäviä sivutuotteita käsitellään vain rajoitetusti.

Yhtenäiset ja yleisesti hyväksyttävissä olevat testimenetelmät ja ympäristökelpoisuuskriteerit helpottavat ja edistävät kaatopaikkarakenteisiin soveltuvien materiaalien käyttöön hyväksymistä ja luovat siten pohjan kilpailukykyisten eristemateriaalien kehitystyölle ja tuotteistamiselle.

Hanke kuului osana Tekesin Streams-teknologiaohjelmaan.

1.2 Tausta ja nykytilanne

1.2.1 Kaatopaikkaluokat ja niiden rakennevaatimukset

Kaatopaikat on Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/97/muutos 1049/99) jaettu kolmeen ryhmään: pysyvän jätteen kaatopaikka, tavanomaisen jätteen kaatopaikka sekä ongelmajätteen kaatopaikka. Kaatopaikalle saa sijoittaa vain luokituksen mukaisia jätteitä. EU:n kaatopaikkadirektiiviliitteen kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset esitetään tarkemmin kohdassa 4.1.

Maaperän ja vesien suojelemiseksi eri kaatopaikkaluokille on asetettu yleisiä vaatimuksia mm. pohja- ja pintarakenteiden suhteen. Taulukkoon 1 on koottu kaatopaikkojen maaperälle ja pohjarakenteille asetetut vaatimukset. Taulukossa 2 esitetään vaatimukset pintarakenteille. Kuvissa 1 ja 2 on esimerkit tavanomaisen jätteen kaatopaikan pinta- ja pohjarakenteista.

Valtioneuvoston päätöksen mukaan kaatopaikkojen pohjarakenteisiin vaaditaan rakennettavaksi erillinen tiivistyskerros (koostuu sekä rakennetusta tiivistyskerroksesta että keinotekoisesta eristeestä), mikäli maaperän tiiviys ei luonnostaan vastaa taulukossa 1 esitettyjä vaatimuksia vedenläpäisevyyden ja paksuuden suhteen. Pysyvän jätteen kaatopaikoille määrätään keinotekoiselle eristeelle ja kuivatuskerrokselle asetettavat vaatimukset aina tapauskohtaisesti. Edellä esitetyllä

yhdistelmä rakenteella (rakennettu tiivistyskerros ja keinotekoinen eriste) päästään jopa useita satoja kertoja parempaan tiivyyteen verrattuna pelkkään rakennettuun tiivistyskerrokseen tai keinotekoiseen eristeeseen.

Eri rakennekerrosten tehtävät ja vaatimukset on tarkemmin esitetty luvussa 2.

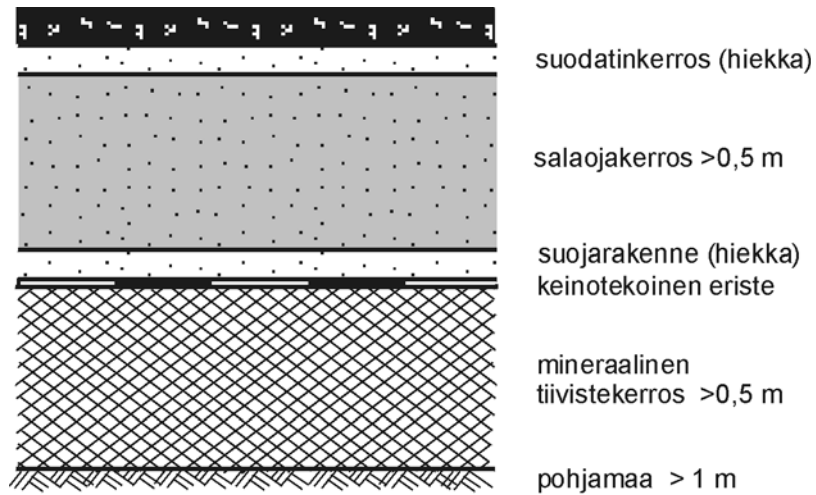
Taulukko 1. Kaatopaikkojen maaperälle ja pohjarakenteelle asetetut vaatimukset.

Kerros	Kaatopaikkaluokka		
	Tavanomaisen jätteen	Ongelmajätteen	Pysyvän jätteen
Maaperä	Paksuus ≥ 1 m, $K = 1,0 \times 10^{-9}$ m/s	Paksuus ≥ 5 m, $K = 1,0 \times 10^{-9}$ m/s	Paksuus ≥ 1 m, $K = 1,0 \times 10^{-7}$ m/s
Rakennettu tiivistyskerros*	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m	Vaaditaan, paksuus $\geq 1,0$ m	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m
Keinotekoinen eriste	Vaaditaan	Vaaditaan	Määrätään tapauskohtaisesti
Kuivatuskerros	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m	Vaaditaan, paksuus $\geq 0,5$ m	Määrätään tapauskohtaisesti

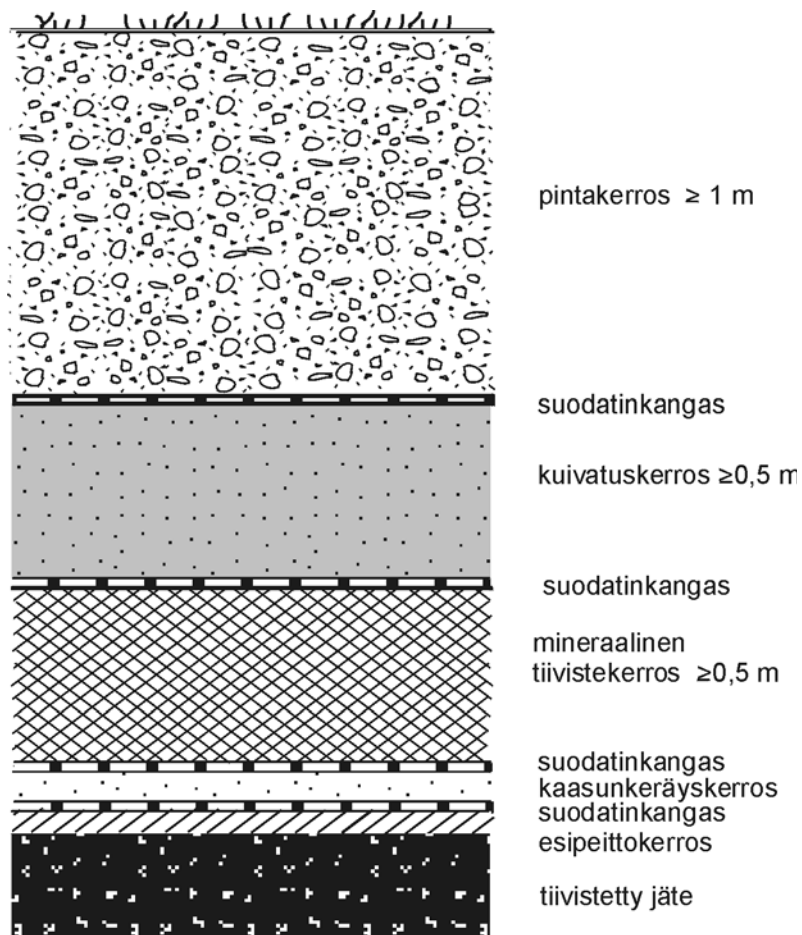
* mikäli maaperä ei täytä sille asetettuja vaatimuksia

Taulukko 2. Kaatopaikkojen pintarakenteet.

Kerros	Kaatopaikkaluokka	
	Tavanomaisen jätteen	Ongelmajätteen
Pintakerros ≥ 1 m	Vaaditaan	Vaaditaan
Kuivatuskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Tiivistyskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Keinotekoinen eriste	Ei vaadita	Vaaditaan
Kaasunkeräyskerros	Vaaditaan	Tarpeen mukaan



Kuva 1. Esimerkki kaatopaikan pohjan rakennekerroksista (tavanomaisen jätteen kaatopaikka).



Kuva 2. Esimerkki kaatopaikan pinnan rakennekerroksista (tavanomaisen jätteen kaatopaikka).

1.2.2 Sivutuotteiden nykyinen käyttö eristerakenteissa

Kirjallisuusselvitys ja yhteydenotot alan asiantuntijoihin osoittivat, että sivutuotteiden käyttö ei ole tällä hetkellä varsin laajaa. Poikkeuksena on kuituliete, jonka käyttö on yleistä siellä, missä sitä on kohtuulliselta kuljetusetäisyydeltä saatavissa. Kiinnostusta vaihtoehtomateriaalien käytölle kuitenkin ilmeni. Tiedonhaussa saadut viitteet liittyivät erityisesti vaihtoehtomateriaalien tekniseen toimivuuteen. Erityisesti Yhdysvalloissa ja Kanadassa on julkaistu runsaasti raportteja kuitulietteen teknisistä ominaisuuksista. Lisäksi on käytetty tai suunniteltu käytettäväksi pintakerroksissa rengasrouhetta, valimohiekkaa, lentotuhkaseoksia ja lievästi pilaantunutta maata. Sivutuotteen käytöstä pohjaeristeissä ei ollut julkaistu tietoja. Belgiassa ja Hollannissa on tutkittu sivutuotteiden ympäristökelpoisuutta eristemateriaalina. Tutkimuslaitoksiin on otettu yhteyttä, ja saatuja tietoja on hyödynnetty tämän projektin yhteydessä tehtyjen kokeiden suunnittelussa.

Taulukossa 3 on yhteenveto kirjallisuudessa esiintyneistä tiedoista. Yhdysvalloissa ja Kanadassa ympäristökelpoisuustutkimukset olivat rajoittuneet jätteen laadun selvittelyyn Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisten kehittämällä TCLP-ravistelutestillä. Testillä selvitetään onko tutkittava materiaali luokiteltavissa ongelmajätteeksi.

Taulukko 3. Kaatopaikkarakenteissa käytetyt sivutuotteet. Kirjallisuushaun tulokset.

Eristekerros	Sivumateriaali	Tutkittu aihe
Esipeitto	Autojen paloittelujätteet	- Ympäristökelpoisuus (Day 1996) - Tuotekehitys (Jonmaire <i>et al.</i> 1996)
	Paperiteollisuuden jätteet	- Vedenläpäisevyystudkimus (Bracci <i>et al.</i> 1995)
	Asfaltti	- (Anon. 1992)
Pintarakenteen tiivistyskerros	Vesilasia sisältävä kerros	- tuotteen kem. reaktiot (Belouschek <i>et al.</i> 1989, 1990a) - geotekniset ominaisuudet (Belouschek <i>et al.</i> 1990b,
	Lentotuhka	- vedenläpäisevyysominaisuudet (Palmer <i>et al.</i> 2000) - yleisteksti (Muller & Onnich 1996)
	Valimohiekka	- yleisarvio eri materiaalien soveltuvuuskohteista, todennäköisesti geotekninen tarkastelu (Vipulanandan & Elton 1998) - bentoniittipitoisen valimohiekan käyttö pintarakenteessa (Orkas <i>et al.</i> 2001)
	Paperiteollisuuden jätteet	- geotekniset ominaisuudet, rakentaminen (Quiroz <i>et al.</i> 2000, Moo-Young <i>et al.</i> 1996 a,b,c) - rakenteen suotoveden seuranta (Laubenstein 1995) - kongressijulkaisu (SYKE, 1999)
	Sementtiuunin pöly	- Geotekniset ominaisuudet (Ballivy <i>et al.</i> 1992)
	Jätteen polton kuona	- Geotekniset ominaisuudet, liukoisuustestit (Rivard-Lentz <i>et al.</i> 1997, Vogel 1994)
	Leijupetipolton tuhka (polttoaineena kivihiili)	- Koerakentaminen (Paul <i>et al.</i> 1995) - Geotekniset ominaisuudet, liukoisuus (Canty <i>et al.</i> 1995)
	Prosessoitu puhdistamoliete	- Geotekniset ominaisuudet (Okoli & Balafoutas 1999)
Kerros?	Jauhettu teräskuona	- Laboratoriotutkimukset (Mozt <i>et al.</i>)
Kerros?	Rengasrouhe	- Geotekniset ominaisuudet, liukoisuus (Al-Tabbaa & Aravinthan 1998, Burnell <i>et al.</i> 1997)
Pohjarakenteen suojarakenne	Lasimurske	- Geotekniset ominaisuudet (Schmucker & Buffalini 1995)
Pohjarakenteen tiivistyskerros?	Lentotuhka-bentoniitin seos	- Reaktiivinen eriste (Nhan <i>et al.</i> 1997)

1.2.3 Annetut viranomaispäätökset Suomessa

Kaatopaikkarakenteiden ympäristökelpoisuuden arviointiin ei Suomessa ole tällä hetkellä olemassa kriteerejä. Jätteiden käyttö kaatopaikkarakenteissa on ympäristöluvan perusteella tapahtuvaa toimintaa, jossa viranomainen tarkastelee kaatopaikan ympäristövaikutuksia kokonaisuutena (esim. huomioiden sijoituspaikan erityispiirteet). Kaatopaikan ympäristöpäästöihin täytön aikana ja sulkemisen jälkeen vaikuttavat:

- kaatopaikalle sijoitetun jätteen laatu
- kaatopaikkaympäristön erikoispiirteet (alueen geologia, herkkyys, vesistö)
- kaatopaikan hoito (esim. suotovesien keräily, pohja-, pintarakenteet).

Teollisuuden sivutuotteiden ja erilaisten kierrätysjätejakeiden käyttöedellytyksiä kaatopaikkojen pohja- ja pintaeristeissä tarkasteltiin suppeasti alueellisten ympäristökeskusten myöntämien ympäristölupien pohjalta. Myönnettyjä lupia saatiin Uudenmaan ympäristökeskuksesta. Muiden ympäristökeskusten osalta lupa-aineistoa etsittiin www-sivuilta. Lisäksi käytiin läpi aikaisempien töiden yhteydessä kerättyjä ympäristölupia. Tarkastelu ei ole laajuudeltaan kattava, sillä etenkin vanhemmista luvista ei ole saatavissa yksityiskohtaista tietoa www-sivujen kautta. Vuonna 2002 tehdyssä katsauksessa löydettiin 11 ympäristölupaa, jotka koskivat teollisuuden sivutuotteiden ja eräiden kierrätysjätejakeiden käyttöä kaatopaikkarakenteissa. Edellä mainitun kaltaisia lupia on Suomessa myönnetty arviolta parikymmentä.

Pohja- tai pintakerrosrakenteille myönnettyt luvat olivat kahta lukuun ottamatta luvan hakijan esittämien suunnitelmaehdotusten mukaisia. Toisessa poikkeavassa luvassa ehdotettuihin materiaalivaihtoehtoihin ei ollut kaikilta osin otettu kantaa. Toinen yleisestä linjasta poikkeava lupa edellytti esitettyjen kerrospaksuuksien tai vaihtoehtoisesti vedenläpäisevyysvaatimuksen muuttamista.

Lupahakemuksissa esitettyjen materiaalien soveltuvuudesta kaatopaikkojen eristerakenteisiin ei aina otettu kantaa myönnetyssä luvassa. Myös lupahakemuksessa esitetyt lähtötiedot saattoivat olla puutteellisia tältä osin. Yleensä hakemuksissa on kuitenkin esitetty materiaalien teknisestä soveltuvuudesta ja ympäristökelpoisuudesta erilaisia lausuntoja ja testituloksia viranomaisten päätöksen perustaksi.

Eräiden uusien materiaalien soveltuvuudesta pinta- tai pohjarakenteisiin on annettu VTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen toimesta lausuntoja. Näihin lausuntoihin on muutamissa tapauksissa viitattu ympäristöviranomaisen esittämien perustelujen yhteydessä. Lausuntojen perusteet poikkeavat osin toisistaan. Lupamääräysten perusteluissa viitataan usein myös VTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen julkaisuihin, esim. Mäkelä *et al.* 1995, Vaajasaari *et al.* 1998. Lupaviranomaisten antamissa lupamääräyksissä on joissain tapauksissa esitetty ns. normaaleille kohteille yleensä asetettujen vaatimusten lisäksi erityisvaatimuksia rakentamisen, laadunvalvonnan tai ympäristön tilan seurannan suhteen, koska käytettävät materiaalit ovat tavanomaisista materiaaleista poikkeavia. Niissä tapauksissa, joissa on esitetty lisävaatimuksia, on edellytetty

esim. ulkopuolisen laadunvalvojan käyttämistä, ympäristökelpoisuustestien tekemistä tai pitkäaikaiskestävyyden selvittämistä. Kaatopaikan sulkemisen jälkeen tapahtuvaa ympäristön tilan seuranta varten on voitu edellyttää tavanomaisesta laajennettua tarkkailuohjelmaa.

Myönnettyjen lupien perusteluissa viitataan yleensä valtioneuvoston kaatopaikoista antamaan päätökseen ja siinä esitettyihin vaatimuksiin. Vaihtoehtoisten rakenteiden todetaan täyttävän em. vaatimukset. Teollisuuden sivutuotteiden ja eräiden kierrätysjättemateriaalien käytön hyväksymistä ei ole perusteltu paikkakohtaisesti tehdyn terveys- ja ympäristövaikutusten arvioinnin pohjalta, joka muuten voisi mahdollistaa poikkeamisen valtioneuvoston päätöksessä esitetyistä vaatimuksista pinta- ja pohjarakenteiden suhteen.

2. Tekniset vaatimukset

2.1 Yleistä

Kaatopaikoilla syntyy haitallisia suotovesiä sekä kaatopaikkakaasuja, joiden määrä ja kemiallinen koostumus riippuvat mm. kaatopaikalle sijoitetun jätteen laadusta, ilmasto-olosuhteista sekä jätteen iästä. Haittojen rajoittamiseksi tarvitaan erilaisia eristys-, tiivistys-, keräily- ja suojarakenteita. Tiivistysrakenteet voidaan luokitella katkaisuseiniin, pohja- ja pintarakenteisiin. Pintarakenteen tehtävä kaatopaikalla on rajoittaa jätetäyttöön suotautuvan sadeveden määrää sekä estää kaatopaikkakaasun vapaa purkautuminen ilmakehään. Pohjarakenteen tehtävänä on edistää suotoveden keräilyä sekä minimoida likaantuneen suotoveden ja sen sisältämien haitta-aineiden kulkeutuminen alapuoliseen maaperään ja sitä kautta pohjaveteen. Katkaisuseinät ovat pysyysuuntaisia rakenteita, joita voidaan käyttää estämään likaantuneen pohjaveden leviäminen tai puhtaan veden pääsy likaantuneelle alueelle.

Yhteistä kaikille tiivistysrakenteille on se, että niillä pyritään rajoittamaan niiden läpi kulkeutuvan nesteen tai kaasun määrää. Tähän päästään tekemällä tiivistyskerroksesta mahdollisimman tiivis (alhainen hydraulinen johtavuus) sekä pitämällä tiivistyskerrokseen kohdistuva hydraulinen gradientti (paineekorkeus) mahdollisimman alhaisena. Gradientti voidaan minimoida tehokkaalla kuivatusrakenteella sekä pumppauksella.

Tiivistysrakenne voi koostua useista kerroksista, joilla kullakin on oma tehtävänsä rakenteessa. Riippumatta kaatopaikkaluokasta ja rakennettavista tiivistyskerroksista, kaatopaikan sijaintipaikan ympäristön tulee tarjota ns. *geologinen este*. Tämä tarkoittaa sitä, että kaatopaikan alapuolisten ja sitä ympäröivien geologisten kerrosten (maa- ja kallioperä) ja hydrogeologisten ominaisuuksien (pohjaveden virtaussuunnat ja korkeusasema) tulee olla sellaiset, että kaatopaikalta tapahtuvien pohjavesipäästöjen seuranta ja rajoittaminen on mahdollista. Pohjamaan ominaisuuksien ollessa sopivat (riittävä paksuus yhdessä riittävän alhaisen k-arvon kanssa), riittää pohjatiivisteksi pelkkä keinotekoinen eriste yhdessä kuivatusrakenteiden kanssa. Mikäli kyseiset ominaisuudet eivät ole riittävät, tulee niitä täydentää rakennetuilla tiivistyskerroksilla.

Eristyskerros (*keinotekoinen eriste*) rakennetaan tapauskohtaisesti muovi- tai kumikalvosta taikka vettä läpäisemättömästä eristysasfaltista. Keinotekoisen eristeen tulee olla käytännössä vettä läpäisemätön kyseeseen tulevilla gradienteilla. Määräävän kulkeutumismekanismien keinotekoisessa eristeessä tulee olla molekulaarinen diffuusio (SYKE 2002).

Keinotekoiseen eristeen yhteyteen tarvitaan yleensä myös *mineraalinen tiiviste*. Tiivistyskerrokseen voidaan käyttää luonnonmaa-aineksia tai näitä vastaavia materiaaleja. Tiivistyskerrokselta edellytetään pitkäaikaista fysikaalista ja kemiallista stabiiliutta käyttöoloissaan. Tiivistyskerros ei estä vaan ainoastaan hidastaa nesteiden kulkeutumista sen läpi. Kaasutiiviyyttä vaaditaan, mikäli kaasua muodostuu merkittäviä määriä (SYKE 2001). Absoluuttista kaasutiiviyyttä ei tiivis-

tyskerrokselta vaadita, vaan toiminnallisesti järkevä tulos saadaan, kun tiivistyskerroksen kaasunläpäisevyys on noin tuhat kertaa alhaisempi kuin kaasunkeräyskerroksen.

Kuivatuskerroksen tehtävänä on johtaa neste tai kaasu mahdollisimman tehokkaasti pois kuormittamasta tiivistyskerrosta. Mikäli kuivatuskerroksen teho ei ole riittävä, voi huokospaine nousta sen yläpuolisissa kerroksissa heikentäen rakenteen stabiliteettia. Veden painekorkeus tiivisteiden päällä vaikuttaa suoraan läpäisevään vesimäärään. Kuivatuskerros voidaan rakentaa kiviaineksesta, geosynteeteistä tai muusta riittävän huokoisuuden ja johtavuuden omaavasta materiaalista. Rakenteissa tarvitaan lisäksi erilaisia suojakerroksia rakennuspohjan tasaukseen, antamaan kantavuutta, estämään kerroksia sekoittumasta sekä suojaamaan varsinaisia rakennekerroksia kuormituksilta sekä ilmastovaikutuksilta.

Yhdistelmä rakenne muodostuu keinotekoisesta eristeestä ja mineraalisesta tiivisteestä kiinteässä kontaktissa toisiinsa. Yhdistelmä rakenne on merkittävästi tehokkaampi veden ja haitta-aineiden kulkeutumisen rajoittamisessa kuin rakenteen kumpikaan osa yksinään.

Perinteisesti rakenteisiin on käytetty maa-aineksia, esim. tiivistyskerroksiin savea tai moreenia ja kuivatuskerroksiin soraa, mutta viime aikoina on ns. geosynteettisten tuotteiden käyttö lisääntynyt voimakkaasti. Erilaisia sivutuotteita voidaan käyttää kaatopaikkojen rakenteissa, mikäli niiden tekniset ominaisuudet vastaavat toiminnallisia vaatimuksia suojauskohteessa eikä niistä aiheudu merkittävää ympäristökuormitusta. Sivutuotteilla korvataan yleensä luonnon maa-aineksia. Pelkkä materiaalin sijoittaminen kaatopaikan rakenteisiin ilman toiminnallista funktiota ei ole hyväksyttävää.

Rakenteiden mitoittaminen tapauskohtaisten toiminnallisten vaatimusten mukaisesti on suotavaa. Tällöin tulee kuitenkin teknisin ratkaisuin varmistaa, että vesien ja maaperän likaantumisen riski hallitaan. Tällä hetkellä parhaat edellytykset toiminnallisen suunnittelun käyttöön ovat kuivatuskerrosten sekä pintarakenteen tiivistyskerroksen kohdalla.

2.2 Rakenteiden suunnittelu ja pitkäaikaiskestävyys

Kaatopaikan rakenteiden toimintaiälle on vaikea määrittellä tarkkoja tai yleispäteviä vaatimuksia. Aihetta tulisi ensisijaisesti tarkastella kaatopaikan jätesisällön haitallisuusajan sekä sijaintipaikan hydrogeologian kannalta. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista sekä sen taustalla oleva EY-normi perustuvat ajatukselle, että rakennetut pohjatiivisteet estävät päästöt ympäristöön kaatopaikan käytön ja jälkihoidon (yhteensä noin 50 vuotta) ajan. Tämän jälkeen vastuu päästöjen minimoimisesta siirtyy tiiviille pintarakenteelle sekä luontaiselle geologiselle esteelle. Tiivis pintarakenne estää suotoveden muodostumisen sekä hidastaa hajoamisprosesseja kaatopaikalla. Kaatopaikat on siten sijoitettava sopivaan geologiseen ympäristöön, joka hidastaa haitta-aineiden leviämistä sekä mahdollistaa niiden seurannan ja leviämisen rajoittamisen. Pintarakenteen tiiviyden säilymistä tulee seurata ja ylläpitää pitkälle tulevaisuuteen.

Ongelmajätteen kaatopaikka vaatii jätteen haitallisuuden pysyvyydestä johtuen erittäin luotettavat rakenneratkaisut. Ehdoton vaatimus on hyvä geologinen este, joka mahdollistaa päästöjen seurannan ja rajoittamisen. Lisäksi rakennetun pohjatiivisteen tiivysominaisuuksien on säilyttävä pitkällä aikavälillä mahdollisimman luotettavasti. Tiivistyskerroksen tai maaperän sorptiokapasiteetti eristettävien aineiden suhteen tulisi maksimoida. Ongelmajätteen kaatopaikan pintarakenteilta vaaditaan ”ääretöntä” toimintaikää, eli käytännössä niiden toimintaa on seurattava ja tarvittaessa korjattava.

Tavanomaisen jätteen kaatopaikan potentiaalinen haitta-aika riippuu pitkälti biojätteen käsittelystrategiasta. Mikäli kaatopaikkaa käytetään bioreaktorina, on potentiaalinen haitta-aika 1,5 x suunniteltu kaasuntuotantoaika eli noin 50 vuotta. Mikäli biohajoava jäte varastoidaan kaatopaikalle kuiviin olosuhteisiin ja peitetään tiiviisti, on potentiaalinen haitta-aika useita satoja vuosia. Metallien ja suolojen vapautuminen jätetäytöstä voi jatkua satoja vuosia, mikäli vettä on saatavilla.

Hyvällä sijaintipaikalla (eli hyvä geologinen este) olevan tavanomaisen jätteen kaatopaikan pohjatiivisteen tulee toimia suunnitellusti vähintään kaatopaikan käytön ja jälkihoidon ajan (50–100 vuotta). Tämän jälkeen päävastuu suojauksesta on pintarakenteella ja geologinen este mahdollistaa mahdollisten haittojen seurannan ja rajoittamisen. Huonolla sijaintipaikalla (ei luotettavaa geologista estettä) olevan tavanomaisen jätteen kaatopaikan pohjatiivisteen tulee toimia suunnitellusti satoja vuosia (mitoitusikä yleensä >500 vuotta). Tähän liittyvä epävarmuus sekä päästöjen seuranta-vaatimus edellyttävät kaksinkertaisten tiivistysrakenteiden käyttöä ja ensisijaisen rakenteen toiminnan aktiivista seuranta rakenteiden väliin sijoitettavasta seurantakerroksesta.

Tavanomaisen jätteen kaatopaikan lopullisen pintatiivistyskerroksen tulee säilyttää eristysominaisuutensa niin kauan, kuin kaatopaikalla muodostuva suotovesi voi aiheuttaa ympäristöhaittaa. Tämän ajan luotettava arviointi on hyvin vaikeaa, ja käytännössä pintarakenteen toimintaikävaatimus on satoja vuosia. Vaatimukset pitkäaikaiskestävyydestä kohdistuvat sekä rakenteisiin että niissä käytettäviin materiaaleihin. Taulukossa 4 esitetään kaatopaikkarakenteiden suunnittelussa huomioitavat tekijät.

Taulukko 4. Kaatopaikkarakenteiden suunnittelussa huomioitavat seikat.

Suunnittelu huomioita	Pohjamaa	Pohjatiiviste	Pohjarakenteen kuivatuskerros	Jätepenger	Kaasun-keräyskerros	Pinta-tiiviste	Pinta-rakenteen kuivatuskerros	Pinta-rakenteen suoja-kerros
Vakavuus	X	X	X	X	X	X	X	X
Muodonmuutokset	X	X		X		X		
Kantavuus	X	X		X	X	X		
Routasuojaus		X				X	X	
Kuivumisen estäminen		X				X		
Eroosiosuojaus								X
Vedenläpäisevyys	X	X				X		
Vedenjohtavuus			X		X		X	

Rakenteilla tulee olla riittävä stabiliteetti sekä rakennus- että käyttövaiheessa. Materiaalien liiallinen kokoonpuristuvuus ei saa haitata yläpuolisten kerrosten toimintaa (esim. muuttaa liikaa kallistuksia). Jätetäytön tai rakennuspohjan painumista aiheuttavat muodonmuutokset eivät saa vaurioittaa rakenteita. Materiaalien tulee jossain määrin sietää kuivumista ja pakkasrasitusta halkeilematta, mutta yleisesti rakenteet tulee suojata näiden haitallisilta vaikutuksilta.

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytettävien materiaalien ominaislaatu ja erityiset vaatimukset. Mineraaliset tiivisteet eivät ilman vahvisteita kestä vetojännitystä. Keinotekoiset eristeet kestävät lyhytaikaisia vetojännityksiä mineraalisia tiivisteitä paremmin, mutta pitkän ajan tilanteessa jännitykset johtavat myös keinotekoisien eristeiden vaurioitumiseen. Kohonneet lämpötilat sekä suotovedessä esiintyvät pinta-aktiiviset aineet nopeuttavat muovikalvojen vanhenemisprosessia. Mineraalisen tiivisteen tulee säilyä sellaisessa vesipitoisuudessa, jossa se käyttäytyy plastisesti mekaanisten rasitusten alaisena ja jossa sen hydraulinen vastus ei alene. Mineraalisen tiivisteen tulisi myös olla kyllästynyt puhtaalla vedellä silloin, kun siihen kohdistuu suotoveden kemiallinen kuormitus.

SYKEN julkaisemat oppaat Kaatopaikan tiivistysrakenteet (SYKE 1998) sekä Kaatopaikkojen lopettamisopas (2001) esittävät suosituksia rakenteissa käytettävien luonnonmateriaalien (esim. luonnonsavi ja moreeni) ominaisuuksista. Nämä suositukset pohjautuvat luonnonmaatiivisteillä saatuihin pitkän ajan rakentamis- ja käyttökokemuksiin. Suositukset eivät välttämättä sovellu käytettäväksi sivutuotepohjaisen materiaalin yhteydessä. Sivutuotteiden käyttöä suunniteltaessa tulisi aina osoittaa sen soveltuvuus käyttökohteeseen tapauskohtaisesti. Sivutuotteita käytettäessä on selvitettävä tarvittaessa taulukossa 5 mainitut tekijät.

Taulukko 5. Sivutuotteista selvitettävät rakennustekniset ominaisuudet.

Ominaisuus	Vaatus	Menetelmä	Rakenne, ominaisuus
Karbonaattimineraalien määrä	< 20 m-%	Happotitraus	Kuivatuskerrokset, pintakerros
Muiden liukenevien aineiden määrä	<5 m-%	Vesiliuotuskoe, pH = 4	Tiivistyskerrokset, kuivatuskerrokset
Biohajoaminen	Tapauskohtainen		Tiivistyskerrokset
Kemiallinen kestävyys	Ei saa kasvattaa k-arvoa suunnitellusta	Läpäisevyyskoe suotovedellä	Pohjatiiviste
Lujuus	Hävikki ≤ 50%	Los Angeles -koe, ASTM C 131	Kuivatuskerrokset
Tilavuuskutistuma	≤ 5 %	ASTM D427-39 tai vast.	Pintatiiviste
Kokoonpuristuvuus	Tapauskohtainen	Ödometrikoe	Tiivistyskerrokset
Leikkauslujuus ja kitkakulma	Tapauskohtainen	Kolmiksiaalikoe tai rasialeikkauskoe	Pohjatiiviste ja pintarakenne
Vedenläpäisevyys	Tapauskohtainen	ASTM D 5084, ASTM D 2434 tai vast.	Tiivistys- ja kuivatuskerrokset
Tiivistyvyys vesipitoisuuden suhteen	Vaadittu k-arvo saavutetaan 90–95 %:n tiiviysasteella	Proctor-koe ICT-koe	Tiivistyskerrokset
Kaatopaikkakaasujen läpäisevyys	Tapauskohtainen		Pintatiiviste

Tiivistyskerrosten hydraulinen vastus ei saa käytön aikana alentua mitoitusarvoa pienemmäksi (eli hydraulinen johtavuus ei saa kasvaa). Pohjatiivisteen hydraulinen johtavuus voi muuttua kemiallisten tai biologisten reaktioiden, kuivumisen tai sisäisen eroosion vaikutuksesta. Pintatiivisteen hydraulinen johtavuus voi vastaavasti muuttua jäätyminen, kuivumisen, painumista aiheutuvan halkeilun, eroosion sekä kemiallisen tai biologisen hajoamisen seurauksena. Samat tekijät vaikuttavat myös pintatiivisteen kaasunläpäisevyyteen. Mikäli tiivistysmateriaali on biohajoavaa tai liukenevaa, on materiaalin toimivuus rakenteessa osoitettava soveltuvilla, pitkän ajan tilannetta kuvaavilla kokeilla.

Kuivumisen vaikutus pintatiivisteen kutistumis- ja halkeilutaipumukseen on syytä selvittää. Tämä voidaan tehdä joko ASTM:n standardikokeella tai esimerkiksi seuraamalla tavoitetiiviyteen tiivistettyjen sylinterien (100 mm x 100 mm) dimensioita ilmakeivouksen aikana. Normaaleilla maa-aineksilla katsotaan 4–5 %:n tilavuuskutistuma rajaksi, jonka jälkeen kuivumishalkeilun vaara kasvaa suureksi. Sivutuotteiden lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet voivat sallia suurempiakin kutistumia, mutta tämä tulee osoittaa kenttäolosuhteita vastaavilla kokeilla. Mikäli rakenteellisesti estetään tiivisteen kuivuminen käytön aikana, ei kuivumiskutistuma muodostu rajoittavaksi tekijäksi.

Tiivistyskerrosten rakennettavuus selvitetään laboratoriossa tiivistys- ja vedenläpäisevyyskokeilla. Näillä saadaan määritettyä materiaalin vesipitoisuus- ja tilavuuspainoalue, jolla päästään haluttuun, riittävän alhaiseen vedenläpäisevyyteen. Samalla on syytä määrittää materiaalin mekaaniset ominaisuudet (leikkauslujuus, konsolidaatio sekä muodonmuutosominaisuudet) rakentamisen aikaisessa vesipitoisuudessa. Ennen varsinaisen rakentamisen aloittamista osoitetaan koepeikereen avulla, että käytettävissä olevalla kalustolla ja työmenetelmillä saavutetaan laboratoriokokeiden mukaiset arvot.

Kuivatuskerroksen hydraulinen johtavuus, tai paremminkin kuivatuskapasiteetti, ei saa käytön ja jälkihoidon aikana alentua niin paljon, että vesipinta kasvaa kuivatuskerroksen paksuutta suuremmaksi. Tämä voi aiheuttaa jätteen ja pintarakenteiden stabiliteetin heikentymistä, täytön lämpötilan kohoamista sekä suotoveden hallitsematonta purkautumista kaatopaikan reunojen kautta.

Kuivatuskerrosten toiminnan heikentyminen on seurausta fyysikaalisesta ja/tai biologis-kemiallisesta tukkeutumisesta. Fysikaalista tukkeutumista voidaan vähentää käyttämällä asianmukaisia suodattimia sekä mahdollisimman pysyvää ja suuren huokoisuuden omaavaa kuivatusmateriaalia. Biologis-kemiallisen tukkeutumisen taustalla on liuenneiden mineraalien (lähinnä karbonaatteja) saostuminen sekä biofilmin muodostuminen kuivatuskerroksen materiaalin pinnoille. Pintarakenteessa tulee kyseeseen lähinnä fyysikaalinen tukkeutuminen ja pohjarakenteessa molemmat. Pintarakenteen kuivatuskerroksen toimintaa voivat lisäksi heikentää jäätyminen sekä painumista aiheuttavat kallistusten muutokset ja tiivisteen halkeilu.

2.3 Pintarakenteet

2.3.1 Johdanto

Valtioneuvoston kaatopaikkapäätöksessä määrätään, että täyttöalueen saavutettua lopullisen korkeutensa sen päälle on rakennettava pintakerros (ks. taulukko 2 ja kuva 1).

Kerrospaksuuksien lisäksi ei VNp:ssä ole asetettu muita vaatimuksia materiaaleille. Kerrosten toiminnalliset vaatimukset asettavat kuitenkin tiettyjä vaatimuksia myös materiaaleille. Sivutuotteiden ja lievästi pilaantuneiden maiden käytön edellytyksenä pintarakenteissa on se, että niistä ei kulkeudu veden mukana haitallisia aineita ympäristöön, tai alapuolisiin rakennekerroksiin sellaisia aineita, jotka voivat vaurioittaa rakenteita tai häiritä niiden toimintaa. Käytettävien materiaalien tulee kestää jätetäytöstä vapautuvien kaasujen aiheuttama kemiallinen rasitus.

Pintarakenteen eri kerrosten tehtäviä ja eri kerroksille esitettyjä vaatimuksia on koottu taulukoon 6.

Taulukko 6. Pintarakennekerrokset ja niiden tehtävät.

Kerros	Tehtävä	Materiali	Paksuus	Muita vaatimuksia	Esimerkkejä vaihtoehtomateriaaleista
Pintakerros	<ul style="list-style-type: none"> • Mineraalisen tiivistyskerroksen routasuojaus ja sen kuivumisen estäminen • Kasvillisuuden vedensaannin turvaaminen • Alempien kerrosten suojaaminen kasvien juurilta • Metaanin ja hajukaasujen biologinen hapettuminen • Vähentää sade- ja sulamisveden suotautumista jätteisiin • Esteettisyys • Estää tartunnan levittäjät • Estää palovaara • Estää roskien ja pölyn leviäminen • Edistää alueen jälki- ja hyötykäyttöä • Estää vesi- ja tuulieroosio • Estää osaltaan eläimiä levittämästä jätteistä 	<ul style="list-style-type: none"> • Kasvukerros, humusmaa 	Yli 1 m	<ul style="list-style-type: none"> • Huomioitava pintaeroosio • Riittävän routasuojauksen aikaansaaminen 	
Suodatinkerros	<ul style="list-style-type: none"> • Estää kuivatuskerroksen tukkeutuminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hiekka, sora, kuitukaakat 		<ul style="list-style-type: none"> • Suodatinehdot, lujuus 	
Kuivatuskerros	<ul style="list-style-type: none"> • Alentaa tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa hydraulista gradienttia (vesipainetta) ja johdattaa pintarakenteessa kasvukerroksen läpi suotautuva sadevesi pois rakenteesta 		Yli 0,5 m	<ul style="list-style-type: none"> • Vedenläpäisevyys $k > 10^{-4}$ m/s, minimikaltevuus 5 % • Hienoainesta < 5 % • Liukumisen estäminen luis-kissa 	<ul style="list-style-type: none"> • Rengasrouhe (rikki?)
Suojakerros	<ul style="list-style-type: none"> • Estää kuivatuskerroksen materiaalin tunkeutuminen keinotekoiseen eristeeseen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hiekka, geosyntetit 		<ul style="list-style-type: none"> • Rakeisuus ja raemuoto, puhkaisulujuus 	
Keinotekoinen eriste	<ul style="list-style-type: none"> • Käytetään sadevesien imeytymisen estämiseen ja tehostamaan kaasujen keräilyä 	<ul style="list-style-type: none"> • Geomembraani • Eristysasfaltti 		<ul style="list-style-type: none"> • Kestettävä epätasaisen painumisen aiheuttamia venymiä 	
Mineraalinen tiivistyskerros	<ul style="list-style-type: none"> • Vähentää sadevesien imeytymistä jätetäyttyöön • Edistää kaasun kulkeutumista kaasunkeräilyjärjestelmään 	<ul style="list-style-type: none"> • Savi • Siltti • Moreeni • Hiekka-bentoniitti 	Yli 0,5 m	<ul style="list-style-type: none"> • Vedenläpäisevyys $k < 10^{-9}$ m/s (sadannasta imeytyy 5 %) tai poikkeustilanteissa vedenläpäisevyys 	<ul style="list-style-type: none"> • Lentotuhka ja kuituseos • Vesilasin ja lietteen tai

				$k < 10^{-8}$ m/s (sadannasta imeytyy 20–25 %) (SYKE 2001) <ul style="list-style-type: none"> • Huomioitava kuivumisen, kemiallisen muuttumisen ja jätetäytön painumisen aiheuttama halkeiluriski • Karbonaattimineraalien ja muiden aineiden liukeneminen • Biologinen hajoaminen • Yhteistoiminta kalvon kanssa 	lentotuhkan seos <ul style="list-style-type: none"> • valimohiekka
Suodatinkerros	<ul style="list-style-type: none"> • Estää tiivistyskerroksen ja alapuolisten kerrosten sekoittuminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hiekka, sora, kuitukaat 		<ul style="list-style-type: none"> • Suodatinehdot 	
Kaasunkeräyskerros	<ul style="list-style-type: none"> • Kerätä jätetäytössä muodostuva kaasu • Johtaa kaasu keräilyverkkoon • Toimii kantavuutta lisäävänä kerroksena 	<ul style="list-style-type: none"> • Karkea lajittunut aines • geosynteettinen kerros 	> 0,3 m	<ul style="list-style-type: none"> • Kaasunjohtavuus • Kestävyys kaasukomponentteja vastaan • Varmuus kaasusta peräisin olevan materiaalin aiheuttamasta karstaantumista vastaan 	
Suodatinkangas				<ul style="list-style-type: none"> • Tarvittaessa 	
Esipeittokerros	<ul style="list-style-type: none"> • Sen päälle tehtävien kerrosten ja jätteen sekoistumisen estäminen (tasainen, kantava pinta) • Painumien tasaaminen • Paineen jakautumisen edistäminen ylempää kerrosta tiivistettäessä • Kaasun johtaminen kaasunkeräyskerrokseen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ylijäämämaa • Luonnonmaa 	> 0,3 m, kaltevuus 5–25°		<ul style="list-style-type: none"> • pilaantunut maa

2.3.2 Pintarakennekerrosten tehtävät ja vaatimukset

2.3.2.1 Kaasunkeräyskerros

Kaasunkeräyskerroksen tehtävänä on kerätä jätetäytössä muodostuva kaasu ja johtaa se kaasunkeräilyverkostoon ja edelleen käsittelyyn. Kerroksen materiaalin tulee siten johtaa hyvin kaasua ja olla pysyvää. Pysyvyydellä tarkoitetaan sitä, että materiaali ei saa reagoida kaatopaikkakaasun tai yläpuolelta suotautuvan veden kanssa siten, että kerroksen kaasunjohtavuus heikkenee. Tarvittavan kaasunjohtavuusarvon suuruus riippuu muodostuvan kaasun määrästä. Kaasunjohtavuuden tarve vähenee biohajoamisen edetessä kaatopaikalla. Mitoitusaikana kaasunjohtavuudelle voidaan pitää tavallisella yhdyskuntajätteen kaatopaikalla 30–50 vuotta täyden lopettamisesta. Tiivistyskerrokseen ja etenkin keinotekoiseen eristeeseen ei saa kohdistua alapuolista kaasunpainetta.

Kaasunkeräyskerros toimii lisäksi kantavuutta lisäävänä arinakerroksena tiivistyskerrokselle. Kantavuusvaatimuksen määräävät tiivistyskerroksen tiivistämiseen käytettävä kalusto sekä tiiviyysvaatimus. Tiivistyskerroksen pysyvyyden kannalta olisi hyödyllistä, että kaasunkeräyskerros kykenee tasaamaan jätetäytön epätasaisia painumia. Kun esipeittokerroksen materiaalin rakeisuus on sopiva, materiaalia voidaan hyödyntää osana kaasunkeräyskerrosta.

Kerrokselle asetetuista toiminnallisista vaatimuksista johtuen käytetään siinä yleensä samoja materiaaleja kuin kuivatuskerroksessa eli soraa tai hiekkaa, josta hienoaines on seulottu pois. Kivennäismaasta rakennetun kaasunkeräyskerroksen minimipaksuutena voidaan pitää 30 cm:ä. Ainakin kaasunkeräys- ja tiivistyskerroksen väliin on syytä asentaa suodatin (joko maa-aines tai geotekstiili) estämään tiivistyskerroksen eroosiota sekä kaasunkeräyskerroksen tukkeutumista.

2.3.2.2 Tiivistyskerros

Tiivistyskerroksen tehtävänä on estää kaatopaikalle sateena tulevan veden pääsy jätetäyttöön ja ohjata kaasu keräilyjärjestelmään. Sadeveden täydellinen eristäminen on käytännössä mahdollista vain keinotekoisilla eristeillä (muovikalvoilla tms.). Mineraalisten tiivisteiden suurinta sallitua k -arvoa ei ole VNp:ssä määritetty. Tiivistyskerroksen paksuuden on VNp:n mukaan oltava vähintään 0,5 m. Pintatiivisteiden kerrospaksuusvaatimuksesta on SYKEN näkemyksen mukaan mahdollista poiketa, mikäli saavutetaan käyttötilassa vastaava läpäisevä vesimäärä.

Mineraalisen tiivisteiden k -arvo määrää jätetäyttöön suotautuvan veden ja sitä kautta ympäristöön leviävän suotoveden määrän. Mikäli tiivistyskerroksen k -arvo on 10^{-8} m/s, noin 20 % satavasta vedestä suotautuu jätetäyttöön. Mikäli k -arvo on 10^{-9} m/s ja yläpuolinen kuivatus on järjestetty, on suotautuva vesimäärä noin 5 % sadannasta (Saarela, 1997). Jätetäyttöön suotautuva vesimäärä ratkaisee jälkihoitovaiheessa käsiteltäväksi tulevan veden määrän. Tiivistyskerroksen kaasunläpäisevyys riippuu voimakkaasti sen kyllästysasteesta. Kyllästysasteen ollessa suuri (lähellä 100 %) ovat mineraaliset tiivisteetkin varsin kaasutiiviitä. Tiivistysmateriaalin hyvä vedenpidätyskyky edistää sen kyllästysasteen säilymistä suurena myös kuivattavissa oloissa.

Luonnonmateriaaleista rakennettavat mineraaliset tiivisteet eivät kestä vetojännityksiä. Vetojännitysten estämiseksi tulisi lopullinen pintatiiviste rakentaa kaatopaikan päälle vasta, kun jäte-
tätön painumat ovat pääosin tapahtuneet. Toinen vaihtoehto on käyttää geovahvisteita, jotka tasaavat muodonmuutoksia ja ottavat vastaan rakenteille syntyvät vetojännitykset. Tiivistysmateriaalin muodonmuutoskyky parantaa rakenteen toimintavarmuutta. Mikäli käytetään väliaikaisia pintarakenteita, tulee niiden mahdollistaa kaasun kerääminen hallitusti sekä jäte-
tätön kosteuden hallinnan siten, että hajoamisprosessit etenevät halutulla tavalla. Väliaikaiset pintarakenteet eivät korvaa lopullisia pintarakenteita.

Tiivistyskerroksen leikkauslujuus määrää usein suurimman sallitun luiskan kaltevuuden. Leikkauslujuus määritetään kolmiaksaalikokeella tai rasialeikkauskokeella. Rakennusaikainen tilanne mitoitetaan suljetun kokeen tulosten perusteella, ja varmuuskertoimena käytetään vähintään arvoa 1,25. Pitkän ajan tilanne mitoitetaan avoimen kokeen tulosten perusteella, ja varmuuskertoimena käytetään vähintään arvoa 1,5 (Koerner ja Daniel, 1997). Etenkin käytettäessä pintarakenteen osana muovikalvoa, mutta tarvittaessa muutoinkin, on syytä määrittää kerrosten välisen kitkakulman arvo, sillä tämä voi muodostua rakenteen stabiliteetin kannalta kriittiseksi tekijäksi. Kitkakulma määritetään rasialeikkauskokeella todellisessa rakenteessa vaikuttavalla pystykuormalla. Varmuuskertoimet ovat samat kuin leikkauslujuuden tapauksessa.

Muita tiivistyskerroksen vaurioihin johtavia rasituksia ovat routiminen, kuivuminen sekä kemialliset ja biologiset muutokset. Tiivistyskerros tulee aina suojata riittävän paksuilla suojakerroksilla estämään sen jäätyminen. Mikäli tiivistyskerroksen materiaali on sellaista, että sen läpäisevyys ei muutu jäätyneen ja sulamisen seurauksena, lisääntyy rakenteen toimintavarmuus. Kemiallisten ja biologisten muutosten vaikutusten selvittämistä käsitellään pohjarakenteiden yhteydessä.

Kosteasta luonnonmaasta (savesta, siltistä ja hienoainesmoreenista) rakennettuun tiivistyskerrokseen voi sen kuivuessa syntyä halkeamia. Paksu ja hyvin vettä pidättävästä maalajista rakennettu suojakerros hidastaa kuivumista, mutta erityisen kuivina vuosina ei tiivisteiden kuivumista välttämättä voida estää. Suojakerroksen ollessa ohut tai huonolaatuinen on tiivistyskerroksen kuivuminen väistämätöntä. Pintarakenteen kuivumishalkeamat eivät yleensä sulkeudu materiaalin uudelleen vettyessä.

Tiivistyskerroksissa on pyritty käyttämään luonnon kivennäismaita. Näissä on ongelmana yleensä tasalaatuisen materiaalin saanti, sillä tarvittavat massamäärät ovat suuria. Mikäli luonnonmateriaalin k-arvo ei ole riittävän alhainen, voidaan sitä alentaa seosaineilla, kuten bentoniitilla. Sivutuotteita hyödyntämällä voidaan vähentää luonnonmateriaalien tarvetta. Sivutuotteiden käytön edellytyksenä on, että ne toimivat rakenteessa tarkoitettulla tavalla. Lisäksi liukenevat aineet tai erodoituvat aineet ei saa heikentää muiden suojausrakenteiden toimintaa tai vaikeuttaa kaatopaikkaprosessien etenemistä.

2.3.2.3 Kuivatuskerros

Kuivatuskerroksen avulla johdetaan tiivistyskerroksen päälle kertyvät sadevedet pois jätetäytön alueelta. Tämä pitää tiivistyskerrokseen kohdistuvan hydraulisen gradientin minimissään. Kuivatuskerros parantaa pintakerroksen stabiliteettia, mikäli se estää alapuolisen vedenpaineen kohdistumisen pintakerrokseen. Kuivatuskerroksen paksuus on pääsääntöisesti 50 cm, mutta kerroksen hydraulinen mitoittaminen maksimisademäärän mukaan on suotavaa.

Kerroksessa käytettävän materiaalin on oltava hyvin vettä läpäisevää eikä se saa sisältää hienoa ainesta. K-arvon suositus on 10^{-3} m/s, rakeisuusalue 8–64 mm ja raemuoto pyöristynyt. Luonnon materiaalien sijasta voidaan käyttää myös geosynteettejä sekä sivutuotteita, kuten raekuonaa sekä rengas-, betoni- ja tiilimurskaa. Suodatin kuivatuskerroksen päällä estää pintakerroksen materiaalia tukkimasta kuivatuskerrosta ja kerroksen alapuolella kuivatuskerroksen materiaalia painumasta tiivistyskerrokseen. Erityisen tärkeä suojakerros on tiivistyskalvon yhteydessä. Kuivatuskerros ei saa päästä jäätymään, sillä tämä aiheuttaa lumensulamisvaiheessa stabiliteettiongelmia.

Karbonaattipitoiset materiaalit voivat aiheuttaa ongelmia kuivatuskerroksessa. Osa niistä voi liueta kuivatusveteen, ja vedestä voi kiteytyä liuenneita aineita rakeiden rajapinnoille, mikä voi alentaa kerroksen hydraulista johtavuutta. Koerner ja Daniel (1997) esittävät kuivatuskerroksen materiaalin suurimmaksi karbonaattipitoisuudeksi 20 %. U.S. Corps of Engineers käyttää kuivatuskerroksen kiviaineksen mekaanisen pysyvyyden tutkimiseen Los Angeles -koetta (ASTM C131) ja kemiallisen pysyvyyden tutkimiseen magnesiumsulfaattikoetta (ASTM C88). Vaatimukset ovat Los Angeles -kokeen osalta korkeintaan 50 %:n hävikki ja magnesiumsulfaattikokeen osalta korkeintaan 18 %:n hävikki.

2.3.2.4 Pintakerros

Pintakerros toimii alapuolisten kerrosten suojakerroksena sekä kasvukerroksena kuivatukseen ja maisemointiin tarvittavalle kasvillisuudelle. Usein tämäkin kerros toteutetaan kahtena erillisenä kerroksena. Yläosan 20–30 cm ovat varsinainen kasvukerros, jossa käytetään multaa tai humuspitoista maata. Alaosan materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa erilaisten kasvillisuusvyöhykkeiden muodostumiseen alueella.

Pintakerroksen kokonaispaksuus on tavallisesti yksi metri. Tämä antaa suojaa sekä roudan tunkeutumista että puiden juuria vastaan. Käytettävät materiaalit eivät saa heikentää pintakasvillisuuden elinolosuhteita. Pintakerroksen materiaaleilla tulisi olla hyvä vedenpidätyskyky ja koko kerroksella suuri varastointikapasiteetti. Tämä suojelee tiivistyskerrosta kuivumiselta, pienentää kuivatuskerroksen maksimivirtaamaa ja suojaa tiivistyskerrosta eroosiolta sekä parantaa ruoho- ja pensaskasvien kasvuedellytyksiä. Syväjuuristen kasvien, esim. puiden, istuttaminen kaatopainkan päälle ei ole suotavaa ilman eri selvitystä. Pintakerrosmateriaalien eroosioherkkyyteen tulee

kiinnittää erityistä huomiota. Tarvittaessa on käytettävä eroosiosuojausta siihen asti, kun suojaava kasvillisuus ehtii juurtua.

2.3.2.5 Loppukäytön aiheuttamat vaatimukset

Kaatopaikka-alue voidaan täytön loppumisen jälkeen haluta ottaa johonkin muuhun käyttöön. Tällöin kaatopaikan pintarakenteet toimivat loppukäytön pohjamaana, jonka tulee olla haitatonta terveydelle ja ympäristölle. Haittoja voivat aiheuttaa vapautuvat kaasut tai muut pintaan kulkeutuvat myrkylliset yhdisteet. Pilaantuneiden maiden käyttö tällaisissa kohteissa voi rajoittaa loppukäyttöä.

Loppukäytön aiheuttamat vaatimukset pinnanmuotoihin, kuivatusjärjestelyihin, pintamateriaaleihin sekä kantavuusominaisuuksiin olisi hyvä tuntea ennen pintarakenteiden suunnittelua. Puistoalueena vanha kaatopaikka-alue toimii yleensä hyvin. Kevyen liikenteen väylille kantavuus on yleensä riittävä. Teiden ja katujen sijoittaminen voi olla jo ongelmallisempaa sekä pohjan kantavuuden että suojausrakenteisiin kohdistuvien lisäkuormien vuoksi. Suunniteltaessa raskaita pintakuormia (varasto- ja paikoitusalueita) tarvitaan yleensä asfalttipäällysteitä ja hyvää kantavuutta, mikä edellyttää pintakerroksen korvaamista vaadittavilla rakennekerroksilla. Loppukäyttö ei saa vaurioittaa kaatopaikan suojausrakenteita eikä estää niiden jälkiseurantaa.

2.3.3 Tiivistyskalvo pintarakenteessa

Tiivistyskalvon liittäminen pintarakenteeseen tuo mukanaan joitain huomioitavia erityispiirteitä. Mikäli tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintatiiviste toteutetaan yhdistelmä rakenteena, voidaan mineraalisen osan k-arvo vaatimusta yleensä lieventää. Tiivistyskalvon ja mineraalisen tiivistyskerroksen välinen kontakti on saatava mahdollisimman hyväksi ja kalvo on suojattava reikiintymiseltä. Nämä asettavat suuret vaatimukset mineraalisen tiivistyskerroksen pinnan tasaisuudelle sekä kalvon yläpuolisen kerroksen rakeisuudelle.

Tiivistyskalvoon ei saa käytön aikana kohdistua minkäänlaisia mekaanisia kuormituksia. Yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla syntyviä epätasaisia painumia on hyvin vaikea ennustaa. Lopullinen pintarakenne olisi syytä rakentaa vasta suurimman osan painumista tapahduttua. Keinotekoisien eristeen materiaalin valintaan vaikuttavat kohteen kemialliset rasitukset sekä odotettavissa olevien epätasaisten painumien määrä. Pintarakenteissa tulisi käyttää HDPE:tä joustavampia membraanilaatuja.

Tiivistyskalvo voi heikentää pintarakenteen stabiiliutta, sillä se voi muodostaa liukupinnan, jota pitkin sortuma etenee. Riittävä kitkakulma on varmistettava kalvon molemmille puolille. Erityisen vaarallinen on tilanne, jossa välittömästi kalvon alle pääsee kerääntymään vettä tai kaasua. Tämä voi johtaa rakenteen lujouden menetykseen ja sortumaan. Vaihtoehtoisesti veden- tai kaasu- paine voi aiheuttaa kalvon repeämisen. Mikäli luiskassa syntyy kalvoon ”aaltoilua” esim.

lämpölaajenemisen seurauksena, muodostuvat olosuhteet otollisiksi veden kerääntymiselle tiivisteiden ja kalvon rajapinnalle.

Tiivistyskalvo ei ole ikuinen rakenne, vaan sen mekaaniset sekä tiiviysominaisuudet heikkenevät ajan kuluessa ja siihen kohdistuvien rasitusten seurauksena. Kalvomateriaalin ikääntymistä aiheuttavat happi, muut reaktiiviset kemikaalit sekä UV-säteily. Kalvon ikääntyminen johtaa materiaalin haurastumiseen, jolloin pienikin mekaaninen rasitus voi aiheuttaa kalvon reikiintymistä tai halkeilua. Mikäli kalvoon ei pääse kohdistumaan mekaanista rasitusta, sen tiiviys voi säilyä hyvänä ikääntymisestä huolimatta ja se voi rajoittaa tiivistyskerroksesta tapahtuvaa pintaliukenemistä merkittävästi.

2.4 Pohjarakenteet

2.4.1 Johdanto

Kaatopaikan pohjarakenteen tehtävänä on tehostaa suotoveden keräilyä puhdistettavaksi sekä minimoida haitta-aineiden kulkeutuminen ympäristöön. Pohjarakenteen vaadittava toimintaikä riippuu geologisen esteen laadusta sekä jätteen vaarallisuudesta. Yhdyskuntajätteen sekä ongelmajätteen kaatopaikan pohjatiivistys on tehtävä yhdistelmärakennetta käyttäen. Inertin jätteen kaatopaikalla riittää pelkkä mineraalinen tiiviste. Pohjarakenteeseen kuuluvat lisäksi yläpuolinen kuivatuskerros salaojaputkineen sekä tarvittavat suodatin- ja suojakerrokset. Näiden vaatimuksia on käsitelty aiemmin pintarakenteen yhteydessä. Tässä keskitytään pelkästään pohjarakenteen mineraalisen tiivisteiden vaatimuksiin.

2.4.2 Mineraalinen tiivistyskerros

Mineraalisen tiivistyskerroksen tehtävä on minimoida keinotekoisien eristeen reikien kautta tapahtuva virtaus sekä rajoittaa rakenteen läpi tapahtuva haitta-aineiden massavirta hyväksyttävälle tasolle. Yksikerroksinen yhdistelmä rakenne ei takaa nollapäästöjä, sillä monet haitta-aineet kulkeutuvat tiivisteiden läpi, vaikka varsinaista suotoveden virtausta ei ilmenisikään.

Keinotekoisien eristeen vuotojen rajoittamiseksi on mineraalisen tiivisteiden ja keinotekoisien eristeen välisen kontaktin oltava mahdollisimman kiinteä. Tällöin reiän tehokas virtausala jää mahdollisimman pieneksi. Kiinteän kontaktin syntymistä haittaavat mineraalisen kerroksen epätasaisuus, karkea raekoko ja kuivuminen sekä muovikalvon lämpöliikkeet (aaltoilu). Tiivistyskerroksen suurin sallittu epätasaisuus 5 m:n matkalla on ± 20 mm ja suurin sallittu yksittäinen poikkeama suunnitellusta tasosta ± 30 mm. Kerroksen yläpinnassa ei saa olla 2 mm suurempia rakeita, kohoumia tms., jotka voivat aiheuttaa geomembraaniin pistemäisiä jännityksiä (membraanin paksuudeksi oletettu 2 mm) (SYKE 1998).

Pitkän ajan tilanteessa muovikalvo menettää osan eristyskyvystään ja pohjarakenteen hydraulinen vastus jää enemmän mineraalisen kerroksen varaan. Tällöin tiivisteen k-arvo ja paksuus sekä muodostuva hydraulinen painekorkeus määräävät tiivisteen läpi suotautuvan kaatopaikkaveden määrän. Hydraulinen painekorkeus taas määräytyy kaatopaikan geometrian sekä pintarakenteen toiminnan perusteella. Kaatopaikan pohjatiivisteen hydraulisen vastuksen tulee vastata taulukossa 1 esitettyjä arvoja.

Pohjatiivisteen hydraulinen vastus ei saa käytön aikana alentua mitoitusarvoa pienemmäksi (eli hydraulinen johtavuus ei saa kasvaa). Hydraulinen johtavuus voi muuttua kemiallisten tai biologisten reaktioiden tai sisäisen eroosion vaikutuksesta. Etenkin bentoniittisavi on herkkä kemikaalien vaikutuksille. Natriumbentoniitin natriumionit vaihtuvat herkästi suotoveden kahden- tai kolmenarvoisiin ioneihin, mikä pienentää bentoniitin paisumiskapasiteettia ja kasvattaa hydraulista johtavuutta. Hydraulista johtavuutta kasvattaa myös huokosveden dielektrisyyden aleneminen ja liuenneiden suolojen määrän kasvaminen. Toisaalta pohjarakenteen korkea vallitseva jännitys voi estää johtavuuden muutoksia. Tiivisteen todellinen hydraulinen johtavuus tulisi määrittää todellisella suotovedellä ja todellisissa jännitysoloissa.

Monet orgaaniset haitta-aineet läpäisevät nopeasti keinotekoisena eristeenä käytettävät ohuet tiivistyskalvot. Mineraalisen kerroksen tulee rajoittaa mahdollisimman tehokkaasti näiden kulkeutumista pohjaveteen. Tiivistyskalvon läpäisevät aineet ovat molekyyli muodossa ja niiden kulkeutumismuoto on molekulaarinen diffuusio. Yleisesti aineiden diffuusiokerroin ilmassa on noin 10 000-kertainen veteen verrattuna, joten mineraalisen kerroksen avoimen huokoisuuden tulisi olla mahdollisimman alhainen. Diffuusiolla kulkeutuva massavirta riippuu konsentraatiogradientista kerroksen yli, kerroksen huokoisuudesta, tortuositeetista ja paksuudesta sekä aineen diffuusiokertoimesta. Tortuositeetti sisältää sekä virtauskanavien epäjatkuvuuden että kemialliset kulkeutumista hidastavat tekijät. Mineraalisten tiivisteiden diffuusiovastus yleensä kasvaa kerroksen paksuuden kasvaessa.

Haitta-aineiden sitomiskyky parantaa tiivisteen tehokkuutta. Sorptio hidastaa maksimikonsentraation saavuttamista alapuolisessa pohjavedessä mutta ei vaikuta stationääritilan konsentraatioon. Suojausmateriaalin sorptiokapasiteetin tai diffuusiokertoimen määrittäminen on tarpeen vain, mikäli niiden avulla suoritetaan tiivistysrakenteen mitoitus.

Materiaalin vesipitoisuuden tulee rakennusaikana olla sellainen, että se voidaan tiivistää haluttuun tiiviyteen, jolla saavutetaan riittävän alhainen hydraulinen johtavuus. Vesipitoisuuden ja tiiviyden (tilavuuspainon) välistä riippuvuutta voidaan selvittää esim. Proctor-kokeella tai ICT-laitteella. Kokeessa käytettävä työmäärä valitaan kentällä käytettävän tiivistyskaluston mukaan.

Kerroksen tilavuuspaino ja vesipitoisuus eivät saa vaihdella niin paljoa, että ajan kuluessa syntyy yläpuolisiin kerroksiin haitallisia painumia. Materiaalilla tulee olla tiivistettynä riittävä kantavuus käytettävien työkoneiden aiheuttamia kuormia vastaan. Leikkauslujuus määritetään laboratoriossa kolmiakσιαalikokeella tai rasialeikkauskokeella. Materiaali ei saa paisua tai kutistua siinä määrin, että se halkeilee tai vaurioittaa muita rakenteita.

2.5 Rakenteiden vastaavuuden arviointi

2.5.1 Tiivistysrakenteet

VNp:n mukaan kaatopaikan pohjatiiviste voidaan korvata rakenteella, joka antaa vastaavan suojaustason kuin VNp:n perusrakenne, joka yhdyskuntajätteen kaatopaikan tapauksessa on keinotekoinen eriste yhdistettynä 1 m:n paksuiseen mineraaliseen tiivisteeseen, jonka k-arvo on $\leq 10^{-9}$ m/s. Suojaustasoon kuuluu alhaisen laskennallisen läpäisevyyden lisäksi riittävän alhainen riskitaso erilaisten potentiaalisten muutosten ja rasiutusten vaikutuksien suhteen (Guyonnet *et al.* 2001). Ilman luotettavaa pohjarakenteen toiminnan monitorointimahdollisuutta ei riskitaso ole riittävän alhainen, vaikka "vastaava rakenteen" laskennallinen päästötaso olisikin vertailurakennetta alhaisempi.

Vaihtoehtoisen rakenteen tehoa tulee verrata hypoteettiseen perusrakenteeseen, jonka k-arvo on 10^{-9} m/s ja paksuus 1 m. Tälle rakenteelle ei oleteta minkäänlaista sorptiota tai biohajoamista, vaan pelkästään suotoveden virtauksen hidastusta. Tehokkaaksi diffuusioikertoimeksi voidaan olettaa 5×10^{-10} m²/s (kloridi) (Rowe *et al.* 1997). Vaihtoehtoisen rakenteen suojausominaisuuksien on säilyttävä tällä tasolla koko tarvittavan käyttöiän.

Vaihtoehtoisen rakenteen tehokkuutta arvioitaessa voidaan hyödyntää sen hydraulinen vastus, diffuusiovastus sekä haitta-aineiden pidäytyminen ja biohajoaminen, mikäli nämä tunnetaan tulevissa käyttöolosuhteissa. Lisäksi on otettava huomioon tiivisteeseen ja suotoveden yhteensopivuus (reaktiot, k-arvo voi muuttua) sekä tiivisteeseen ja keinotekoisesta eristeen välisen kontaktin laatu. Mikäli korkeat gradientit ovat mahdollisia, tulee myös sisäiseen eroosioon kiinnittää huomiota.

Vastaavuuden arvioinnissa sopivin vertailtava parametri on haitta-aineiden massavuo tiivisterrakenteen pinta-alayksikköä kohti aikayksikössä (esim. g/ha/vrk). Laskennassa tulee huomioida sekä advektio- että diffuusiovuo. Tapauskohtaisesti voidaan tarkastella joko tietyn vuon saavuttamiseen kuluvaa aikaa (breakthrough time), hetkellistä maksimivuota tai kumulatiivista massamäärää. Kirjallisuudesta löydettävillä tai ”keskimääräisillä” maaparametreilla voidaan tehdä yleissuunnittelua, mutta varsinaista mitoitusta varten on laskennalliset vertailut tehtävä todellisista materiaaleista määritetyillä todellisilla parametreilla. Yhdistelmärakenteessa voidaan HDPE-muovikalvolle olettaa 100 vuoden laskennallinen toimintaikä yhdyskuntajätteen kaatopaikan pohjan olosuhteissa (esim. Rowe *et al.* 1997).

Myös mekaanista kestävyyttä voidaan tarkastella, mutta tämä on yleinen suunnitteluvaatimus kaikille rakenteille ja materiaaleille. Toinen yleinen vaatimus on tiivistysrakenteen kokonaisstabiiliiteetin säilyminen rakentamisen ja jätetäytön aikana. Vastaavuustarkastelut ovat luonteeltaan teoreettisia ja perustuvat kulkeutumismallinnukseen. Mallit eivät tällä hetkellä ota huomioon materiaaleissa eri rasiutusten johdosta tapahtuvia muutoksia, joita on tarkasteltava kvalitatiivisesti.

Yksikerroksisen yhdistelmärakenteen vastaavuus edellyttää ainakin sitä, että kaatopaikan sijaintipaikka on rakenteen toiminnan seurannan kannalta otollinen. Tämä tarkoittaa käytännössä ruh-

jeetonta kallioperää ja tämän päällä olevaa luontaista (ei rakennettua) vähintään 1 m:n paksuista kerrosta, jonka hydraulinen johtavuus on $\leq 10^{-7}$ m/s.

Vastaavuustarkastelu soveltuu paremmin pintatiivisteiden mitoitukseen, sillä pintatiivisteeseen ei kohdistu samanlaisia kemiallisia rasituksia kuin pohjatiivisteeseen. Lisäksi pintatiivisteiden helppompi monitorointi ja korjattavuus vähentävät mitoituksen epävarmuustekijöiden mukanaan tuomaa riskiä maaperän tai pohja- ja pintavesien likaantumiseen.

2.5.2 Kuivatusrakenteet

VNP:ssä annetaan määräyksiä ainoastaan kuivatuskerrosten paksuudesta. Paksuuden sijaan kuivatusrakenteet tulisi kuitenkin mieluummin mitoitaa johtokyvyn ja viipymän mukaan. Kerrospaksuus tulee mitoitaa käytettävän materiaalin ja mitoitussadannan mukaan siten, että vesipinta ei missään tilanteessa ja missään kohdassa rakennetta nouse kerroksen yläpintaa korkeammaksi. Kuivatuskerrosten mitoitamista on käsitelty mm. lähteessä Qian *et al.* (2002) ja Giroud *et al.* (2000).

Toiminnallinen mitoitaminen voi tarjota mahdollisuuden rakentamiskustannusten säästöön ohentuneiden kerrospaksuuksien muodossa. Ohentuvat kerrospaksuudet vaikuttavat myös jäte-
tätön täyttökapasiteettia kasvattaen. mitoituksen kautta rakenteen toimintavarmuus tiedostetaan, ja siihen vaikuttavia tekijöitä voidaan tarkastella suunnittelun aikana. Kuivatuskerroksen riittämättömän kapasiteetti vaikuttaa lähinnä pintarakenteen stabiliteettia heikentävästi, ei juurikaan haitta-aineiden massavirtoja kasvattavasti.

2.6 Poikkeaminen vnp:n vaatimuksista

VNP:n liitteen 1 kohdassa 5 annetaan mahdollisuus lieventää rakenteiden toiminnallisia vaatimuksia, jos on tehty terveys- ja ympäristövaikutusten kokonaisarviointi ja jos sen perusteella on selvää, ettei kaatopaikasta ja sille sijoitettavista jätteistä voi pitkänkään ajan kuluessa aiheutua vaaraa terveydelle tai ympäristölle tai maaperän saastumista.. Terveys- ja ympäristövaikutusten arvioinnin ja siihen liittyvät tutkimukset tekee tai teettää luvan hakija. Suojausrakennatkoisujen on oltava BAT-periaatteen mukaisia suhteessa suojaustarpeeseen. Asiasta on säädetty Ympäristönsuojelulain 6–8 §:issä ja Jätelain 6 §:ssä.

Rakenteiden suojaustehoa voidaan alentaa, jos siihen on perusteltu syy eli jos ei ole suojaustarvetta joko jätteen tai sijaintipaikan ominaisuuksista johtuen. Jätteisällöstä johtuvia perusteita voivat olla jätteen stabiilius ja inerttiys sekä vähäinen määrä. Sijaintipaikasta johdettavia perusteita voivat olla pinta- ja pohjaveden vähäinen muodostuminen, tiivis ja haitta-aineita pidättävä maaperä, helposti hallittava hydrogeologia sekä päästöjä sietävä ympäristö. Käyttökelpoisen pohjaveden laatu ja lähialueiden pohjaveden käyttö eivät saa vaarantua tulevaisuudessakaan. Riskinarviointi tulee tehdä lähialueiden pinta- ja pohjavesien suhteen sekä pitkän ajan tilanteessa (stationäärinen kulkeutuminen) että rakenteiden äkillisessä vaurioitumistilanteessa.

3. Ympäristöominaisuuksien tutkimusmenetelmät

3.1 Arvio eri kerrosten ympäristövaikutuksista

Tämän julkaisun pääpainopisteenä on arvioida veden mukana ympäristöön kulkeutuneiden haitta-aineiden merkitys. Kelpoisuusarviointia varten tarvitaan arviot jätteen aiheuttamasta ympäristökuormituksesta eri aikaväleillä. Tutkimuksen tärkeänä osana oli soveltuvien liukoisuustestien valinta ja ympäristöolosuhteiden huomioon ottaminen tutkimuksissa. Tässä esitetään myös materiaalien biohajoavuuden arvioimiseksi soveltuvia menetelmiä.

Ympäristöön kohdistuvat hättatekijät määräytyvät kemiallisen koostumuksen (lähinnä haitallisten aineiden pitoisuuden) ja haitallisten aineiden liukoisuuden perusteella. Huomioon otettavat ympäristövaikutuksia ovat erityisesti materiaalin sisältämien haitta-aineiden vaikutukset kaatopaikan ympäristöön valuviin pinta- ja pohjavesiin. Taulukossa 7 arvioidaan kaatopaikalla huomioonotettavat vedet ja vesien kosketustavat eri kerrosmateriaalin kanssa. Pintakerroksista liuenneet haitta-aineet huuhtoutuvat pintavesiin ja osa kanavoituu mahdollisesti myös pohjavesiin. Lisäksi osa pintakerrokseen kosketuksessa olevasta vedestä suotautuu kaatopaikkatäyttöön. Kaatopaikkavesi suotautuu salaojakerroksen läpi ja huuhtelee pohjarakenteen tiivistyskerroksen pintakerrosta. Kaatopaikkavesi poistuu pohjarakenteen salaojakerroksen kautta käsittelyyn, ja salaojakerroksen tukkeutumisen jälkeen kaatopaikan suotovesi suotautuu pohjakerroksen läpi samalla estäen haitta-aineiden leviämistä pohjavesiin.

Taulukko 7. Kaatopaikan pinta- ja pohjarakenteiden vaihtoehtomateriaaleja ja ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioonotettavat vedet ja muut ympäristötekijät.

Kerros	Esimerkkejä vaihtoehtomateriaaleista	Tarkasteltavat vesivirrat ja ympäristöolosuhteet	Muita näkökohtia
Pintakerros	- Kasvukerroksessa puhdistamolieteseos	- Sadeveden suotautuminen materiaalikerroksen läpi	
Pintarakenteen kuivatuskerros	- Rengasrouhe (rikki?)	- Kerroksen läpi suotautuva vesi sisältää kasvukerroksen ravinteita (esim. typpeä, TOC). - Rauta- ja rikkiä sisältävät materiaalit aiheuttavat alemmissa kerroksissa pelkistävät olosuhteet.	
Pintarakenteen mineraalinen tiivistekerros	- Lentotuhka ja kuituseos (pigmenttejä?) - Kuitusavi - Vesilasin ja lietteen / lentotuhkan seos - Valimohiekka	- Ylemmiltä kerroksilta suotautunut vesi huuhtoo tiivistekerroksen pintaa (pintaliukeneminen). Vesi huuhtoo pintakerroksesta haitallisia aineita kaatopaikan pintavesiin - Pääosin anaerobinen ympäristötila.	- Erityisesti materiaalin vedenläpäisevyysominaisuuksien on pysyttävä hyväksyttävänä pintarakenteen toiminnallisena aikana - Pintahuuhtoutumisen arviointiin tarvitaan menetelmä.
Pintarakenteen kaasunkeräyskerros	- Ei tietoa sovelletusta vaihtoehtomateriaalista	- Kaatopaikkakaasun (pääosin metaani) merkitys lähinnä tiivistekerroksen ominaisuuksiin (kuivuminen)	- Materiaalin oltava kaatopaikkakelpoinen. Tapauskohtainen arvio.
Kaatopaikkatäytön esipeitto-kerros			- Materiaalin oltava kaatopaikkakelpoinen. Tapauskohtainen arvio.
Pohjarakenteen salaojakerros	- Kuona	- Materiaalin läpi suotautuu kaatopaikkavesi. - Kaatopaikkaolosuhteet huomioitava. Sekalaisen tavanomaisen jätteen kaatopaikan suotovesi sisältää liukenevia orgaanisia aineita (DOC), hajoamistuotteita (rasvahappoja) ja suotovesi usein lievästi hapan.	
Pohjarakenteen tiivistekerros	- Valimohiekka? - Lentotuhka /kuitulieteseos?	- Materiaalikerroksen läpi suotautuvaan kaatopaikan suotoveteen liuenneiden haitta-aineiden pääsy pohjaveteen.	

3.2 Liukoisuusominaisuuksien tutkimusmenetelmät

Liukoisuusominaisuuksista tarvitaan tietoja materiaalin liukoisuuskäyttäytymisestä ajan funktiona sekä eri kaatopaikkaolosuhteiden merkityksestä liukoisuuteen. Kokonaispitoisuusmäärittysten perusteella voidaan tunnistaa liukoisuustutkimuksien kohteena olevia haitallisia komponentteja.

Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin kaatopaikkarakenteiden ympäristökelpoisuuden arvioimiseen soveltuvat testimenetelmät. Testimenetelmien valinnan perusteena oli, että menetelmät ovat standardoituja tai niistä on olemassa selkeät testikuvaukset.

3.2.1 Liukenemiskäyttämistä simuloivat liukoisuustestit

Maarakenteissa käytetyille rakeisille materiaaleille, jonka läpi suotautuu vesi, tai kiinteytetyille materiaalille, joilla on pieni vedenläpäisevyys ja jotka pysyvät muodossansa, on jo käytössä standardoituja testimenetelmiä. Maarakentamiskäytölle esitetyt menetelmät eivät kuitenkaan sellaisenaan sovellu mineraaliselle tiivistysmateriaalille, joka on huonosti vettä läpäisevä ja joka lietty vesisäilytyksessä.

Liukenemismekanismi eristemateriaalista määräytyy erityisesti rakennekerroksen vedenläpäisevyyseroista. Pintarakenteen mineraalisesta tiivistyskerroksesta, jossa vedenläpäisevyys on alle 10^{-9} m/s, liukenee pinnalta diffuusion tai huuhtoutumisen kautta aineita kaatopaikan pintavaluntavesiin. Diffuusioliukenemista tapahtuu myös rakenteessa, jossa veden pääsy eristekerrokseen on rajoitettu eristämällä se vettä heikosti läpäisevällä materiaalilla. Tierakenteiden vähemmän tiiviin asfalttikerroksen alla olevaan kerrokseen on todettu muodostuvan vesikyllästämätön alue, jossa liukeneminen tapahtuu ainoastaan diffuusion kautta (Mulder 1991). Kaatopaikkaeristeestä tapahtuva diffuusioliukeneminen on tosin rajoittunut, jos materiaali on peitetty keinotekoisella ehjällä eristeellä.

Haitta-aineiden pintaliukenemista ja liukenemista diffuusion kautta eristemateriaalista voidaan tutkia modifioidulla diffuusiotestillä NVN7347, joka on kehitetty arvioimaan diffuusioliukenemista materiaalista (esim. savi), joka lietty vedessä. Menetelmä on Hollannissa standardoitu, mutta Suomessa siitä ei ole aikaisempaa kokemusta. Menetelmän periaate on, että tutkittava materiaali tiivistetään testiastiaan, joka upotetaan veteen. Testimateriaalin pinnalta veteen liukenevat haitta-aineet määritetään ja tuloksista lasketaan pinnalta diffuusion tai pintahuuhtelun kautta liuenneiden aineiden määrä (mg/m^2) tietyssä aikayksikössä.

Mikäli eristerakenteen vedenläpäisevyys on suurempi kuin 10^{-9} m/s, on tiivistyskerroksesta suotautumisen kautta liukenevien aineiden määrä arvioitava muilla menetelmillä. Soveltuvat menetelmät ovat kolonnitesti TS14405 (Nordtest ENVIR 002, NEN7343) tai ns. sellitesti Nordtest ENVIR 007 (modifioitu kolonnitesti). Sellitestissä käytetään vedenläpäisevyyksmittauksia varten kehitettyä laitteistoa. Testimateriaalista valmistetaan koekappaleet pakkaamalla tai valamalla optimivesipitoisuudessa. Näytekappaleen läpi johdetaan vettä, ja läpisuotautuneet vesifraktiot kerätään ja analysoidaan. Testitulokset arvioidaan L/S-suhteen perusteella. L/S-suhteella tarkoitetaan kolonnista kerättyä vesimäärää (L), joka on ollut kontaktissa tietyn jättemateriaalimäärän (S) kanssa. Tuloksista lasketaan kumulatiivisesti liuenneet haitta-ainepitoisuudet (mg/kg). Lisäksi tulosten perusteella voidaan karkeasti arvioida materiaalin läpi eri L/S-suhteilla suotautuneen veden laatu (mg/l).

Kaatopaikan pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen läpi suotautuu suotovettä, jos sala-
ojakerros ei enää toimi ja keinotekoinen eriste rikkoutuu. Ko. ilmiön tutkimiseen soveltuu par-
haiten sellitesti. Sellitestissä käytetään uuttovetenä ionivaihdettua vettä ja tarvittaessa kaatopai-
kan suotovettä simuloivaa keinotekoista vettä. Esimerkiksi sekalaisen jätteen kaatopaikan suoto-
vesi sisältää orgaanisia happoja, ja sen pH-taso on riippuvainen kaatopaikan elinkaaren tilasta
(esim. happokäymisen takia suotovesi yleensä hapan). Myös tietyt jätteet (tuhkat) vaikuttavat
suotoveden pH-tasoon (yleensä alkaalinen). Modifioidun diffuusiotestin ja sellitestin periaatteita
ja rajoituksia on esitetty liitteessä E.

Muille kuin kaatopaikan pinta- ja pohjarakenteen tiivistyskerroksiin tarkoitetuille materiaa-
liseoksille voidaan käyttää maarakentamiskelpoisuuden arvioimiseen sovellettuja perustestejä
(kolonnitesti TS14405 ja diffuusiotesti NEN7345). Materiaalien puskurikapasiteettia ja liukoi-
suuskäyttäytymistä muuttuvissa pH-arvoissa voidaan tutkia pH-staattisella testillä. Näiden mene-
telmien periaatteita ja rajoituksia on esitetty aikaisemmissa VTT:n raporteissa 1840 ja 1852.

3.2.2 Ympäristötekijöiden merkitys

Eri ympäristöolosuhteiden vaikutus liukoisuusominaisuuksiin on riippuvainen materiaalista ja
sijointipaikan olosuhteista. Esimerkkejä kriittisistä olosuhteista ovat:

- materiaalin ikääntyminen (kuivuminen)
- materiaalin tiiviysaste
- muiden eristemateriaalin vaikutukset
- kaatopaikkaveden vaikutus
- kaatopaikkakaasun vaikutus (lämpövaikutus?)
- materiaalin biohajoavuus
- materiaalin pysyvyys (esim. liukenevien suolojen tai mineraalien kokonaismäärä).

Kaatopaikkaveden (esim. ylemmiltä eristekerroksilta muodostunut humuspitoinen tai suolapitoi-
nen vesi), kaatopaikkakaasun ja pelkistävien olosuhteiden vaikutusta on arvioitava tapauskohtai-
sesti lisätesteillä. Lisätestit tehdään ravistelutesteinä käyttämällä uuttovetenä keinotekoisia vesiä.
Pelkistävien testiolosuhteiden merkitystä voidaan arvioida käyttämällä testissä rautapitoista ku-
naa, joka aikaansaa pelkistäviä testiolosuhteita. Kaatopaikkakaasun vaikutusta voidaan arvioida
säilyttämällä testimateriaali kaatopaikkakaasua sisältävässä kammiossa ennen testausta.

Lisätestien tarpeellisuutta on arvioitava tapauskohtaisesti huomioiden sivutuotteen ominaisuuksia ja kaatopaikkaympäristöä. Materiaalin pysyvyyden arvioimiseksi on olemassa niukasti mene-
telmiä. Ainoastaan liukenevien suolojen kokonaismäärää on helppo arvioida ravistelutestillä. Orgaanisen aineen pysyvyyttä voidaan lähinnä tutkia biohajoavuustestien kautta. Mikäli liuen-

neiden aineiden kokonaismäärä on liian suuri, saattaa materiaali menettää rakenteessa erityisominaisuutensa.

Materiaalien tiivistysasteen ja ikääntymisen merkitystä on selvitetty kokeellisessa työssä.

3.3 Biohajoavuustestit

3.3.1 Karakterisointitestit

Materiaalin biohajoavuutta voidaan tutkia sekä anaerobisessa että aerobisissa olosuhteissa. Käytössä on useita testimenetelmiä. Testien periaatteena on, että ravintoliuokseen lisätään jäteveden puhdistamolta tai kompostista otettua mikrobisierrosta ja tutkittava näyte on ainoana hiilenlähteenä mikrobeille. Testeissä seurataan mikrobitoiminnan aiheuttamaa hapenkulutusta tai hajoamistuotteiden, hiilidioksidin ja metaanin muodostumista. Näytteiden hajoavuus on aerobisessa ympäristössä yleensä suurempi kuin anaerobisessa ympäristössä. Jotkut yhdisteet ovat kuitenkin sellaisia, että erityisesti anaerobimikrobit kykenevät käyttämään niitä ravinnokseen. Liitteessä E on vertailtu OECD 301F ja ISO/ASTM-menetelmiä.

Biohajoavuustestit on kehitetty ensi sijassa kemikaalien tai polymeerien hajoavuuden, ei niinkään hajoamattomuuden, toteamiseen. Tästä johtuen biohajoavuutta tutkittaessa on varmistettava, että testi on toiminut tarkoitettulla tavalla ja että vähäistä hajoavuutta osoittava tulos ei johdu tutkittavan materiaalin sopimattomuudesta testattavaksi. Testin toimivuus varmistetaan yleensä käyttämällä hajoavaksi tunnettua kontrollinäytettä. Eräs tekijä, joka voi estää tai hidastaa näytteen biohajoamista, on näytteen toksisuus, joka estää hajottajamikrobien toiminnan. Näytteen myrkyllisyys voidaan todentaa tutkittavan näytteen ja kontrollinäytteen yhdistelmällä tai erillisellä toksisuustestillä, kuten Flash-valobakteeritestillä (Kapanen ja Itävaara 2001, Lappalainen *et al.* 1999). Näytteen biohajoavuutta voi rajoittaa myös hiililähteen yksipuolisuus. Tutkittavan näytteen orgaaniset komponentit voivat olla sellaisia, että ne eivät suoraan sovellu mikrobien ravinnoksi, mutta rikkaammassa ympäristössä hajottajapopulaatio muodostuu sellaiseksi, että aineen hajoaminen on mahdollista.

Aerobisissa olosuhteissa hajoaminen saattaa tapahtua eri lailla, joten testi pätee vain sen kanssa samankaltaisessa tilanteessa. Hajonneen komponentin hajoaminen tapahtuu kuitenkin täydellisesti, jos hajoamiskäyrä on tasaantunut vaakasuoraan, siis kulmakerroin = 0. Tämä ei poissulje mahdollisuutta, että näytteessä on jokin toinen komponentti, jonka hajoaminen on niin hidasta, ettei sen hajoamista havaita testin aikana.

3.3.2 Laadunvalvontatesti

Jätteen vesiuutteen DOC-pitoisuuden perusteella voidaan arvioida orgaanista ainetta sisältävän jätteen stabiilisuutta tai reaktiivisuutta. Liukoinen DOC-pitoisuus määritetään säädetyllä pH-alueella (pH 7,5–8) tai jätteen omassa pH-arvossa. Liukoisen DOC-pitoisuuden määrittäminen perustuu siihen, että hajoavasta jätteestä muodostuu yleensä pienimolekyylisiä DOC-aineita (mm. rasvahappoja, fulviinihappoja). Suurmolekyyliset ligniinimolekyylit eivät näy testiuutteen DOC-pitoisuutena (van der Sloot 2003). EU:n kaatopaikkadirektiivin liitteessä 2 on annettu jätteen liukoiselle orgaanisille hiilelle (DOC – dissolved organic carbon) kelpoisuusstandardit.

3.4 Yhteenveto soveltuvista tutkimusmenetelmistä

Taulukossa 8 on yhteenveto eristekerrosten ympäristökelpoisuuden arvioimiseksi soveltuvista tutkimusmenetelmistä.

Taulukko 8. Eristemateriaalien kelpoisuuden arviointiin soveltuvat tutkimusmenetelmät.

Eristekerros	Ominaisuus	Soveltuvat menetelmät	Saatu tieto	HUOM!
Kaikki kerrostyypit	Kokonaispitoisuusmääritys	- Mikroaaltouuni-hajoitus (EN 13656) - Kuningasvesiute (EN 13657) - Röntgen - Sulate	Haitallisten aineiden tunnistus	Varmistettava menetelmän (mm. uuttoliuksen ja esikäsittelytavan) soveltuvuus ko. testimateriaalille
Kaikki	Orgaaniset haitta-aineet	- Maaperä, lietstandardoinnissa kehitetyt menetelmät	Haitallisten aineiden tunnistus	Standardointi alkanut
Kaikki	Kuiva-ainepitoisuus	- Kuiva-ainepitoisuus 105 °C.	Materiaalin karakterisointi. Perusparametri päästöjen laskennassa.	Standardimenetelmät valmistumassa
Kaikki	Orgaanisen aineen osuus	- TOC-määritys (EN13137) - Hehkutushäviö	Materiaalin karakterisointi (erityisesti biohajoavuustutkimuksia varten)	Standardimenetelmä valmistumassa
Pohjarakenteen tiivistyskerros	Liukoisuusominaisuus	- Sellitesti tai NEN7343 (NT ENVIR 002)	Simuloi aineiden liukenemista tiiviin sivutuotekerroksen läpi. Tuloksia voidaan käyttää kelpoisuusarvioinnissa.	
Pintakerros, kuivatuskerros	Liukoisuusominaisuus	- TS14405 (NEN7343 ja Nordtest NT ENVIR 002)	Simuloi aineiden liukenemista sivutuotteesta, jonka materiaalikerroksen läpi suotautuu vettä. Tuloksia voidaan käyttää kelpoisuusarvioinnissa.	Uusi CEN-menetelmä valmistunut (testiolosuhteet tarkemmin kuvattuna)
Pintarakenteen tiivistyskerros	Liukoisuusominaisuus	- NVN 7347, TS14405 (NEN 7343, NT ENVIR 002) tai sellitesti NT ENVIR 007	Simuloi pintaliukenemista diffuusion tai pintahuuhoutumisen perusteella (rakenne pysyvä ja vedenläpäisevyys alle 10 ⁻⁹ m/s) tai kolonnitesti /sellitesti (rakenteeseen tulee murtumia tai vedenläpäisevyys yli 10 ⁻⁹ m/s). Tuloksia voidaan käyttää kelpoisuusarvioinnissa.	
Kaikki	Liukoisuusominaisuus	- ANC-menetelmä prEN14429 - pH-staattinen testi	Simuloi pH-muutosten vaikutusta aineen liukoisuuteen.	Standardimenetelmäluonnokset valmistumassa
Pinta- ja pohjarakenteen tiivistyskerros	Biohajoavuus	- OECD-menetelmä - ISO/ASTM-menetelmä	Materiaalin orgaanisen osan biologinen hajoaminen hapellisessa tai hapettomassa liuosympäristössä	Menetelmät kehitetty kemikaalien ja polymeerien biohajoavuuden toteamiseen

4. Eristemateriaalien ympäristökelpoisuuskriteerien kehitystyön periaatteet

4.1 EU:N kaatopaikkasäännökset

Voimassa oleva valtioneuvoston päätös kaatopaikoista on linjassa Euroopan unionin neuvoston kaatopaikkadirektiivin kanssa. EU hyväksyi kaatopaikkadirektiivin keväällä 1999. Tuolloin direktiivistä jäi kuitenkin vielä laatimatta liitteen 2 EU-maille yhteiset kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset, jotka hyväksyttiin valmistelun jälkeen EU:n neuvostossa joulukuussa 2002. Nyt annettuja kriteerejä on sovellettava EU-maissa viimeistään vuonna 2005. Taulukossa 9 on tiivistelmä eri kaatopaikkaluokista ja alaluokista. Jäsenmaissa voidaan tosin soveltaa tiukempia vaatimuksia ja myös asettaa kelpoisuuskriteerejä muille kuin liitteessä mainituille ominaisuuksille. Direktiiviliitteen kelpoisuuskriteerit on esitetty seuraaville jätteille:

- pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle
- tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle. Ehdotuksessa on tavanomaisen jätteen kaatopaikat jaettu neljään alaluokkaan kaatopaikalle sijoitettavan jätteen laadun perusteella. Näistä yksi (alaluokka B1b) on tarkoitettu epäorgaaniselle jätteelle, jossa orgaanisen tai biohajoavan aineksen osuus on pieni. Muille kaatopaikkaluokille hyväksyttävälle jätteille annettavat kelpoisuuskriteerit määritetään kansallisesti.
- ongelmajätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle
- käsitellylle ongelmajätteelle, jotka sijoitetaan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle (B1b), johon sijoitetaan vain epäorgaanista ja jätettä.

Pysyvällä jätteellä tarkoitetaan jätettä, joka ei liukene, pala, hajoa biologisesti tai reagoi muiden aineiden kanssa aiheuttaen vaaraa terveydelle tai ympäristölle ja jossa ei pitkänkään ajan kuluessa tapahdu olennaisia muita fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia muutoksia ja jonka sisältämien haitallisten aineiden kokonaishuhtoutuminen ja -pitoisuus samoin kuin kaatopaikkaveden myrkyllisyys ympäristölle ovat merkityksettömiä *eikä siitä ennen kaikkea aiheudu vaaraa pinta- tai pohjaveden laadulle*. Pysyvän jätteen ominaisuuksien tulisi olla ns. luonnonmateriaalien kaltaisia.

Taulukko 9. Tiivistelmä kaatopaikkaluokista ja esimerkkejä alaluokista EU:n kaatopaikkadirektiivin liite on julkaistu Euroopan yhteisöjen virallisessa lehdessä L011, 16/01/2003, s. 0027–0049.

Kaatopaikka-luokka	Tärkeimmät alaluokat (maalaiset varastot, tietyn yksittäisen jätteen sekä kiinteytetyn, monoliittisen jätteen kaatopaikat ovat mahdollisia kaikissa kaatopaikkaluokissa)	Koodi	Kelpoisuusperusteet
Pysyvän jätteen kaatopaikka	Kaatopaikat, joihin voidaan sijoittaa pysyvää jätettä	A	Huuhtoutumista ja orgaanisen aineksen osuutta koskevat perusteet asetettu EU:n tasolla Epäorgaanisten ainesta koskevat perusteet voidaan asettaa jäsenvaltioiden tasolla.
Tavanomaisen jätteen kaatopaikka	Epäorgaanisen tavanomaisen jätteen kaatopaikat. Jätteen orgaanisen / biohajoavan aineksen osuus on alhainen, eikä jäte täytä ehdotuksessa annettuja perusteita epäorgaaniselle tavanomaiselle jätteelle, joka voidaan sijoittaa alaluokan B1b kaatopaikalle.	B1a	Huuhtoutumista ja kokonaissisältöä koskevia perusteita ei ole asetettu EU:n tasolla.
	Epäorgaanisen tavanomaisen jätteen kaatopaikat. Jätteen orgaanisen / biohajoavan aineksen osuus on alhainen	B1b	Huuhtoutumista ja orgaanisen aineksen osuutta sekä muita ominaisuuksia koskevat perusteet on asetettu EU:n tasolla; perusteet ovat yhteisiä rakeiselle tavanomaiselle jätteelle sekä pysyvälle, reagoimattomalle vaaralliselle jätteelle. Viimeksi mainittua varten on asetettava vakautta koskevia lisäperusteita jäsenvaltioiden tasolla. Stabiloitua ja kiinteytettyä jätettä koskevat perusteet on asetettava jäsenvaltioiden tasolla.
	Tavanomaisen orgaanisen jätteen kaatopaikka	B2	Huuhtoutumista ja kokonaissisältöä koskevia perusteita ei ole asetettu EU:n tasolla.
	Sekalaisen tavanomaisen jätteen kaatopaikat. Jätteessä on runsaasti sekä orgaanista / biohajoavaa ainesta että epäorgaanista ainesta	B3	Huuhtoutumista ja kokonaissisältöä koskevia perusteita ei ole asetettu EU:n tasolla.
Ongelmajätteen kaatopaikka	Ongelmajätteen maanpäällinen kaatopaikka	C	Rakeisen vaarallisen jätteen huuhtoutumista sekä tietyn aineksen kokonaissisältöä koskevat perusteet on asetettu EU:n tasolla Stabiloidun ja kiinteytetyn jätteen perusteet on asetettava jäsenvaltioiden tasolla. Pilaavia aineita koskevat lisäperusteet voidaan asettaa jäsenvaltioiden tasolla.
	Maanalainen varasto	D _{HAZ}	EU:n tasolla asetetut erityistavoitteet luetellaan ehdotuksen liitteessä A.

Ongelmajätteellä tarkoitetaan jätettä, joka kemiallisen tai muun ominaisuutensa takia voi aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Jäteasetuksessa (1390/1993, muutos 1128/2001) on esitetty vaaralliset ominaisuudet ja pitoisuusrajat, joiden perusteella luokittelu tulee suorittaa. Pitoisuusrajat perustuvat kemikaalien luokitusperusteisiin. Ongelmajäteoppaassa (Dahlbo, 2002) annetaan ohjeita ongelmajätteiden luokitteluun ja jätteen ongelmajätteeksi tekevien vaaraominaisuuksien tulkintaan. Ympäristöministeriön päätöksessä yleisempien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelossa (1129/2001) on merkitty ongelmajätteeksi yleensä luokiteltavat jätteet. Ongelmajätteen luokituksen tekee aina jätehuoltoviranomainen. Ongelmajätteet voidaan myös käsitellä (esim. kiinteyttää) siten, että niiden sijoitus tavanomaisen jätteen kaatopaikalle on

mahdollista. Kaikki ongelmajätteet eivät välttämättä kuitenkaan ole kaatopaikkakelpoisia ongelmajätteen kaatopaikalle. Kaatopaikkakelpoisuus on aina arvioitava kaatopaikkatesteillä.

Jäte, jota ei luokitella ongelmajätteeksi eikä pysyväksi jätteeksi, on *tavanomaista jätettä*. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tavanomaiseksi jätteeksi luokiteltu jäte olisi aina kaatopaikkakelpoista tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Direktiiviliitteen mukaan jäte on yleensä aina testattava kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi. Poikkeuksena ovat ainoastaan tavanomaiseksi jätteeksi luokiteltu yhdyskuntajäte, asbestijäte ja muutamat liitteessä pysyviksi jätteeksi määritellyt puhtaat jätevirrat. Jätteiden kelpoisuusvaatimukset koskevat lähinnä liukoisuusominaisuuksia ja pysyvän jätteen ja ongelmajätteen osalta myös joidenkin aineiden kokonaissisältöä. Kaatopaikkadirektiivin liitteessä on lisäksi esitetty mahdollisuus tapauskohtaisen riskinarvioinnin kautta hyväksyä joillekin jäteominaisuuksille korotettu raja-arvo.

Uutta Suomessa ovat liitteen vaatimukset ongelmajätteen ja pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle (esim. orgaanisen aineen määrälle). Lisäksi Suomessa ei ole aikaisemmin ollut rajoituksia liukoisia suoloja (esim. sulfaatti, kloridi) ja liukoisia orgaanisia aineita sisältävien jätteiden kaatopaikkakelpoisuudelle. Kaikille tutkittaville ominaisuuksille ei liitteessä kuitenkaan ole annettu tarkkoja määryksiä (menetelmät, kriteerit), vaan ne on jätetty kansallisesti päätettäväksi. Esimerkiksi yleisten tavanomaisen sekalaisen jätteen kaatopaikkojen mahdolliset kelpoisuusperusteet ja kiinteytetyille jätemassoille soveltavat kelpoisuuskriteerit tullaan meillä määrittelemään kansallisesti.

Sijoituskelpoisuutta kaatopaikalle on arvioitava sekä perusmäärittelytutkimusten että säännöllisin välein tehtävän laadunvalvontaseurannan kautta. Perusmäärittelytutkimuksen laajuutta tai sisältöä ei ole EU:ssa yksiselitteisesti määritetty. Perusmäärittelytutkimuksissa on kuitenkin arvioitava jätteen käyttäytymistä kaatopaikoilla. Orgaanisen tai sekalaisen jätteen kaatopaikalla (alaluokat B1a, B2 ja B3) tämä voidaan tulkita siten, että kelpoisuusarvioinnissa on myös huomioitava suotoveden laadun (esim. pH) vaikutus jätteen ominaisuuksiin. Koska EU:ssa on annettu kelpoisuusstandardit vain epäorgaanisen tavanomaisen jätteen alaluokkaan (B1b) kuuluville jätteille, on muihin alaluokkiin kuuluville jätteille soveltuvat kriteerit arvioitava erikseen. *VTT:n käsityksen mukaan sallittu ympäristökuormitus muilta tavanomaisen jätteen alaluokkien kaatopaikoilta ei voi olla suurempi kuin epäorgaanisen tavanomaisen jätteen kaatopaikalta. Tässä tarkastelussa on oletettu, että myös muiden alaluokkien kaatopaikalle sijoitettavien jätteiden on ainakin täytettävä epäorgaanisen jätteen kelpoisuusvaatimukset metallien ja suolojen liukoisuuden suhteen.*

Yhteenveto EU:n kaatopaikkakelpoisuusstandardeista on esitetty liitteessä A. Esitettyjen kaatopaikkakelpoisuusstandardien pohjana on eri maiden asiantuntijoiden yhteistyönä tehty skenaariotarkastelu eri kaatopaikkaluokille. Skenaariotarkastelussa on mallinnettu jätteiden käyttäytymistä epäorgaanisen jätteen kaatopaikkaolosuhteissa ja sen kautta arvioitu eri haitta-ainepitoisuuksien vaikutusta suotoveden laatuun. Jätteen kelpoisuusstandardiehdotusten perusteena on pinta- ja pohjaveden laadun turvaaminen juomakelpoisena kaatopaikan läheisyydessä. Pysyvän jätteen kaatopaikalla ei vaadita erityisiä suojaustoimenpiteitä, esim. kaatopaikkaveden käsittelyä eikä sadeveden rajoittamistoimenpiteitä, kaatopaikan sulkemisen jälkeen. Tavanomaisen jätteen kaatopai-

kalla taas edellytetään suotoveden hallintaa, esim. aluksi suotoveden käsittelyä ja pohja- ja pintasuojauskerroksia.

4.2 Lähestymistapa

Tässä tarkastellaan sivutuotetta tai jätettä sisältävän eristemateriaalin käyttöä lähinnä tavanomaisen jätteen kaatopaikkarakenteessa. Kaatopaikkaympäristö poikkeaa muista maarakentamiskäyttökohteista mm. seuraavilta osin:

- Kaatopaikkajätteistä aiheutuvat päästöt ovat huomattavasti merkittävämpiä kuin kaatopaikkarakenteista mahdollisesti aiheutuvat päästöt.
- Kaatopaikkaolosuhteet ovat määriteltyjä (rajoitettu vesimäärä kosketuksessa eristerakenteen kanssa, kaatopaikkavesien mahdollinen käsittely). Kaatopaikka on usein ulkopuolisilta suljettu alue. Valtioneuvoston päätöksessä edellytetään kaatopaikan sijainnilta riittävää etäisyyttä mm. vedenottamoihin, pohjavesialueelle ja asutukseen.
- Kaatopaikoilta edellytetään yleensä ympäristöseuranta.

Toisaalta kaatopaikkarakenteiden tehtävänä on estää haittojen (kaasu, suotovesi) leviämistä kaatopaikan ympäristöön. Tästä seuraa, että jos pinnan mineraalisessa tiivistyskerroksessa tai sen yläpuolisissa eristeroksissa käytetään kaatopaikalle yleensä sijoitettavaa jätettä (esim. tuhkaa), on jätettä käsiteltävä siten, että seoksista aiheutuvat kokonaispäästöt ovat vähäisempiä kuin ko. massan päästöt kaatopaikkatäytössä. Jätettä sisältävien eristemateriaalien käytöstä mahdollisesti aiheutuvat haitat liittyvät pääosin haitta-aineiden kulkeutumiseen veden mukana kaatopaikan ympäristöön.

Tarkastelun lähtökohdaksi on otettu, että eristemateriaalien seosten valmistuksessa ei käytetä ongelmajätteeksi luokiteltavaa jätettä. Ongelmajätteen käyttö eristeessä on jätelain mukaan mahdollista, jos se on jätteiden hyödyntämisen tai käsittelyn kannalta välttämätöntä ja se voidaan tehdä aiheuttamatta terveydelle tai ympäristölle vaaraa tai haittaa. Tässä oletetaan myös, että eristemateriaalista ei kohdistu myöskään suoraa toksisuutta tai haittaa (esim. pöly) ihmisille eikä ympäristölle. Materiaalien tulisi lisäksi täyttää eristerokselelle esitetyt tekniset vaatimukset (luku 2).

Ympäristökelpoisuuskriteerien kehityksessä on selvitelty seuraavien lähestymistapojen soveltuvuutta eristemateriaalien ympäristökelpoisuuden arviointiin:

- Pysyvälle jätteelle ja tavanomaiselle jätteelle esitetyt kriteerit (tulevat VNp- tai EU-kriteerit): Pysyvälle jätteelle vaaditaan lisäksi kemiallista ja fysikaalista pysyvyyttä.
- Lievästi pilaantuneiden maamassojen mahdollisesti aiheutuvat riskitekijät kaatopaikan kasvukerroksessa (terveysriskit ihmisille, ekotoksikologisia vaikutuksia maaliököön).

Tapauskohtaisessa tarkastelussa ovat myös seuraavat lähestymistavat mahdollisia:

- Eri päästöjen vertailu (skenaariotarkastelu). Kaatopaikkarakenteiden vaikutus pintavesiin ja mahdollisesti pohjavesiin arvioidaan tapauskohtaisella tarkastelulla.
- Vertailevan tutkimuksen kautta saadut arviointikriteerit (ts. päätetään, että tiettyjen rakenneratkaisujen päästöt ovat hyväksyttäviä ja verrataan vaihtoehtomateriaalien ominaisuuksia näihin tyyppitapauksiin).

Skenaariotarkastelu on tarpeen lähinnä kun sijoituspaikka tai sijoitustapa on poikkeava tai yleiset arviointikriteerit ylittyvät. Skenaariotarkastelulla arvioidaan tarkemmin sivutuotetta sisältävän rakenteen vaikutusta ympäristöön ja erityisesti pinta- ja pohjavesiin. Kaatopaikkasäännöksissä on erityisesti mainittu, että kaatopaikkaveden ei tulisi aiheuttaa vaaraa ympäristön pinta- ja pohjaveden laadulle. Projektin kokeellisen työn tulosten perusteella on kohdassa 5.3.2 esitetty esimerkki skenaariotarkastelun tuloksista. Liitteessä C on kuvattu esimerkkejä kaatopaikkavesille asetetuista vaatimuksista ja Suomessa ympäristölle johdettavalle vedelle todettuja laatuvaihteluja. Skenaariotarkastelusta ei voida antaa yleisiä ohjeita, vaan sen sisältö on arvioitava tapauskohtaisesti.

4.3 Kaatopaikkaeristemateriaalien ympäristökelpoisuus-kriteerit

4.3.1 Periaate

Kaatopaikkaeristemateriaalien ympäristökelpoisuus-kriteerien määrittely perustuu kahteen pääperiaatteeseen. Ensimmäiseksi kaikkien eristerakenteissa käytettävien materiaalikerrosten on oltava kelpoisia vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Toiseksi soveltavien kriteerien tulee olla sopusoinnissa olemassa olevien kriteerien (esim. maarakentamiskäytön ympäristökelpoisuus-kriteerit) kanssa. Näin tässä esitettävien rajojen tulisi asettua pysyvän ja tavanomaisen jätteen ominaisuuksille annettujen kriteerien välille. Lisäksi haitta-aineiden kokonaispitoisuudet (esim. metallipitoisuudet) eivät saa ylittää ongelmajäteluokituksen raja-arvoja.

Pääsääntönä on, että pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen ja pohjarakenteen välillä olevissa kerroksissa käytettävien materiaalien on oltava vähintään kaatopaikkakelpoisia vallitsevissa kaatopaikkaolosuhteissa. Muiden kerrosten kelpoisuustarkastelun lähtökohtana ovat pysyväälle jätteelle annetut EU-kriteerit. Perusteena on, että ympäristöolosuhteet pintakerroksissa vastaavat lähinnä pysyvän jätteen kaatopaikan olosuhteita, sillä veden pääsyä pintarakennekerrokseen ei ole rajoitettu eikä pintavaluntavesiä yleensä johdeta käsiteltäväksi. Pohjakerroksen mineraaliselle tiivistyskerrokselle taas on kelpoisuusarvioinnin lähtökohtana fysikaalinen ja kemiallinen pysyvyys (ks. kohta 4.2), koska pohjan tiivistyskerrosta ei voida myöhemmin uusia. Rakennekerroksen tehtävänä on myös toimia varmistuskerroksena, joka mm. osittain pidättää suotoveden haitta-aineita, kun salaojakerros ei enää toimi ja muovikalvo on merkittävässä määrin menettänyt eristysominaisuutensa ja suotovesi suotautuu tiivistyskerroksen läpi. Jos pohjarakenteessa käytetyn materiaalin ominaisuudet muuttuvat, ovat seuraukset vaikeasti arvioitavissa.

Vaihtoehtoisen eristemateriaalin käytön edellytyksenä pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksessa on paitsi sen ympäristökelpoisuus myös sen tekninen toimivuus (ks. luku 2). Pintaeris-

tysmateriaalin on oltava myös pitkällä aikavälillä teknisesti kestävä. Erityisesti on osoitettava, ettei vedenläpäisevyys oleellisesti muutu pitkällä aikavälillä, varsinkin jos mineraalisena pintaeristeenä käytetään sellaisenaan tai seoksessa pilaantuneita maita tai sivutuotteita, joissa on merkittäviä pitoisuuksia haitallisia aineita. Esimerkiksi runsaasti suoloja sisältävän materiaalikerroksen vedenläpäisevyys voi muuttua, jos materiaalista poistuu jatkuvasti runsaasti suoloja. Mikäli teknistä pitkäaikaiskestävyyttä ei ole luotettavasti osoitettu esim. kenttäkokein, on pintaeristysmateriaali peitettävä synteettisellä kalvolla.

Tapauskohtaisesti on aina myös arvioitava sekä eristemateriaalissa tapahtuvien ikäänntymisreaktioiden että ympäristöolosuhteiden vaikutus materiaalin ominaisuuksiin (ks. kohta 3.2.2). Esimerkiksi mikäli on syytä epäillä, että materiaalin kemiallinen muutos aiheuttaa muutoksia eristemateriaalin sisältämien haitta-aineiden käyttäytymiseen tai mahdollisten hajoamistuotteiden pitoisuuksilla on merkitystä veden laatuun, on sen vaikutukset arvioitava.

Muissa kuin pintarakenteen kasvukerroksissa käytettävien materiaalien sisältämien epäorgaanisten haitta-aineiden ympäristövaikutusta arvioidaan lähinnä liukoisuustestien perusteella. Pilaantuneen maan ohjearvoja (SAMASE) voidaan hyödyntää liukoisuustutkimuksissa määritettävien metallien tunnistamiseen ja liukoisuustutkimuksen laajuuden suunnitteluun. Käytettävä liukoisuustesti valitaan eristekerroksen vedenläpäisevyyden perusteella. Ympäristöolosuhteiden vaikutus liukoisuusominaisuuksiin ja sen kautta mahdollinen testaustarve on arvioitava tapauskohtaisesti.

Orgaanisten haitta-aineiden vaikutusten arviointi tehdään tässä kokonaispitoisuuksien perusteella, koska orgaanisten haitta-aineiden kulkeutumisen arviointiin ei vielä ole luotettavia mittausmenetelmiä. Orgaanisia haitta-aineita sisältävien materiaaliin arviointiin soveltuvia vertailuarvoja esitetään vain sellaisille materiaalikerroksille, joissa tämän hetkisten tietojen perusteella voidaan hyödyntää orgaanisia haitta-aineita sisältäviä vaihtoehtomateriaaleja.

4.3.2 Pysyvän ja tavanomaisen epäorgaanisen jätteen liukoisuuskriteerit

Jätteen kelpoisuus pysyvän tai tavanomaisen jätteen kaatopaikalle tulee arvioida sijoituspaikan luokittelun mukaan. Taulukkoon 10 on koottu EU:n kaatopaikkaluokille A (pysyvän jätteen kaatopaikka) ja B1b (epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle) sijoitettavalle jätteelle esitetyt kelpoisuusvaatimukset eri aineiden liukoisuudelle. Mikäli jäte sisältää merkittäviä määriä haitallisia metalleja (esim. pitoisuudet ylittävät merkittävästi pilaantuneille maille annetut SAMASE-ohjearvot), on metallien liukoisuus tutkittava myös eri pH-olosuhteissa. Tutkimuksilla arvioidaan metallien liukoisuutta tilanteissa, joka aiheutuu rakenteen hajoamisesta ja/tai ympäristöolosuhteiden muutoksesta. Tällä hetkellä EU-maissa ei ole annettu yleisiä kriteerejä pH-vaikutustestin tulkintaan.

VTT ehdottaa kaatopaikkarakennemateriaalien kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa, että metallien liukoisuusarvot eivät pH-alueella 6–10 ylittäisi EU:n pysyvälle jätteelle tai tavanomaiselle epäorgaanisen jätteelle (luokan B1b jätteet) annettuja kaatopaikkakelpoisuuskriteerejä. Lisäksi muissa pH-arvoissa liukenevat metallipitoisuudet on tutkittava ja liukenemiskäyttäytymisen

merkitys arvioitava tapauskohtaisesti. Esimerkiksi happamissa pH-arvoissa (happokulutus enintään 0,5 mol/kg) ehdotetaan soveltavaksi liukoisuuskäyttäytymisen arvioimiseksi hyväksyttävänä ylärajana kolminkertaisia EU:n pysyvälle jätteelle tai tavanomaiselle epäorgaaniselle jätteelle annettuja kaatopaikkakelpoisuusarvoja. Välttämättömyyden ei kuitenkaan ehdoteta soveltavaksi kadmiumille ja elohopealle.

Taulukko 10. EU:n kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset kahdelle kaatopaikkaluokalle L/S-suhteessa 10. Tutkimusmenetelmänä TS14405 tai EN12457.

	Pysyvän jätteen kaatopaikka (luokka A)	Tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikka (luokka B1b), jossa biohajoavan jätteen osuus on pieni
Laatu	(mg/kg)	(mg/kg)
Sb	0,06	0,7
As	0,5	2
Ba	20	100
Cd	0,04	1
Cr	0,5	10
Cu	2	50
Hg	0,01	0,2
Pb	0,5	10
Mo	0,5	10
Ni	0,4	10
Zn	4	50
Se	0,1	10
F	10	150
SO ₄ ²⁻	1 000	20 000
Cl ⁻	800	15 000
DOC	500*	800*
Fenoli-indeksi	1	Ei annettu
Kiinto-ainepitoisuus	4 000**	60 000**

* mikäli maaperä (luokka A) tai jäte (luokka B1b) ei vastaa näitä liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) arvoja sen omassa pH-arvossa, se voidaan vaihtoehtoisesti testata uutusuhteella L/S 10 ja pH:ssa 7,5–8,0. Maaperän tai jätteen voidaan katsoa vastaavan liuenneen orgaanisen hiilen kelpoisuusperusteita, mikäli määrittystulos ei ole yli 500 mg/kg (luokan A jäte) ja 800 mg/kg (luokan B1b jäte).

** liuenneiden aineiden kokonaismäärän arvoja voidaan käyttää sulfaatti- ja kloridiarvojen sijasta

4.3.3 Eristemateriaalien orgaanisen aineen stabiilisuuden toteaminen

EU:ssa on määritetty kriteerit pysyvälle jätteelle ja annettu kriteerit stabiilille biojätteelle (taulukko 11). Kriteerit on esitetty kokonaishiilipitoisuudelle (TOC), jätteen vesiutteen liukoisen

hiilen (DOC) pitoisuudelle, hehkutushäviölle sekä respiraattori-indeksi-arvoille. Näitä arvoja voidaan käyttää avuksi arvioitaessa jätteen biohajoamattomuutta.

Mikäli jätettä ei voida taulukossa 11 esitettyjen kriteerien avulla tai kohdassa 3.3.1 esitettyjen biotestien avulla osoittaa stabiiliksi, tulisi niiden tekninen pitkäaikaiskestävyys testata kaatopaikkaolosuhteissa tehtävillä kenttäkokeilla.

Taulukko 11. EU:n lainsäädännössä biohajoamattomuudelle tai stabiilisuuden osoittamiseksi esitetyt parametrit ja niille soveltavat raja-arvot.

Säädös	Tarkastelukohde	Esitetty parametri
EU:n komission työryhmän toinen ehdotus ”Biological treatment of biowaste, 2 nd draft” (2001)	Biohajoavuus	- jäännösjakeelle raja-arvoa AT ₄ <10mg O ₂ /g TS tai dynaaminen respiraattori indeksi alle 1 000 mg/ O ₂ /kg VS - polttokäsittelyn yhdyskuntajätteen kokonaishiilipitoisuus (TOC) alle 5 %
EU:n kaatopaikkadirektiivin liite 2 (33/2003/EY)	Jätteen luokittelu pysyväksi	- jätteen kokonaishiilipitoisuus (TOC) alle 3 % - liukoisuustestiutteen (L/S 10) DOC-pitoisuus alle 500 mg/kg
Saksan asetetus: ”Ordinance on Environmentally Compatible Storage of Waste from Human Settlements and on Biological Waste-Treatment Facilities, 20.2.2001	Kaatopaikalle sijoitettavien termisen käsittelyn lopputuotteiden (kuonat, tuhkat) pysyvyyden osoittamiseksi annetut kriteerit	- hehkutushäviö alle 5 % - TOC alle 3 % - vesiuutteen DOC alle 1 000 mg/kg

4.3.4 Pintarakenne

4.3.4.1 Pintakerros

Pintarakenteen kasvukerroksissa käytettävien maamassojen kelpoisuutta arvioidaan ensisijaisesti epäorgaanisten ja orgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksien perusteella. Pilaantuneiden maiden arviointia varten annettuja kriteerejä voidaan soveltaa kaatopaikan pintarakenteen kerroksille, erityisesti pintarakennuskerroksen kasvukerrokselle. Riskejä on arvioitava, jos pintarakenteen kasvukeroksessa käytettävissä maamassoissa esiintyy tausta-arvoista kohonneita tai SAMASE-ohjearvon ylittäviä pitoisuuksia. Mahdolliset altistusreitit ja altistuskohteet ovat samat kuin kaupunkialueilla olevissa puistoissa ja virkistysalueilla (Mroeh *et al.* 2002):

Altistusreitit:

- suun kautta (esim. vesi, sienet, marjat)
- pölyäminen
- hengittäminen (haihtuvat aineet)
- ihokosketus.

Altistuskohteet:

- Alueella oleskelevat ryhmät (lapset, aikuiset), mikrobitoiminta, lierot, puut, pensaat, luonnonvaraiset kasvit, linnut, nisäkkäät, kotieläimet, pohjavesi.

Mahdollisia riskejä on arvioitava tapauskohtaisesti, koska haitta-aineiden ominaisuudet ja esiintymismuodot vaikuttavat haitta-aineiden saatavuuteen ja sitä kautta riskiin. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm. vesiliukoisuus ja biologinen saatavuus (ihmiset, kasvit). Suomessa on muutamissa tapauksissa rakennetulla puistoalueella hyväksytty ohjearvoista hieman kohonneita pitoisuuksia. Riskiarvioinnissa voidaan käyttää ”Maa-alueiden puhdistamistarve kaupunkialueilla” -projektin raportissa (Mroueh *et al.* 2002) esitettyä menettelyä, jossa arvioidaan kaupunkialueilla olevien pilaantuneiden maiden riskejä ja korotettujen arvojen vaikutusta ja mahdollisia hyväksymismalleja.

4.3.4.2 Kuivatuskerros

Liukoisuusominaisuuksien on täytettävä kohdassa 4.3.2 pysyvälle jätteelle esitetyt kelpoisuusvaatimukset huomioiden myös pH-vaikutuksen merkitystä.

4.3.4.3 Mineraalinen tiivistyskerros

Orgaaniset haitta-aineet

Orgaaniset aineet ovat usein niukkaliukoisia, mutta ne saattavat kulkeutua ympäristöön suotautumisen seurauksena pienhiukkasiin sitoutuneina. Orgaanisten aineiden liukoisuuden arvioimiseksi on meneillään tutkimuksia, mutta tällä hetkellä ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyjä liukoisuusmenetelmiä. Tämän takia orgaanisten haitta-aineiden merkitystä on arvioitava lähinnä kokonaispitoisuuksien perusteella. Ongelmana on soveltuvien pitoisuusarvojen löytäminen. Taulukkoon 12 on kerätty taustatietoja kokonaispitoisuuksien arvioimiseksi. Eri materiaalien (esim. asfaltin) kokonaispitoisuusarvoista ja liukoisuustestituloksista on hyvin niukasti tietoja.

Taulukko 12. Taustatietoja orgaanisten aineiden enimmäispitoisuuksien arvioimiseksi pintarakenteen mineraaliselle tiivistyskerrokselle käytettävässä sivutuotteessa.

Haittaaine/ominaisuus	Käyttö- tai sovelluskohde	Esitetty kelpoisuus-arvo (mg/kg)	Referenssi-arvoja (esimerkkejä) (mg/kg)
PAH (16 EPA): - PAH-yhdisteet luokitellaan kulkeutumattomiin haitta-aineisiin (poikkeus: naftaleeni ja fenantreeni) (Mroueh <i>et al.</i> 2002)	Terva-asfalttipäällysteet Bentoniittipitoiset valimohiekat (tuorehiekat)		62 * 10–30
	Vanha SAMASE-ohjearvo PAH-yhdisteille	20	
	Vanha SAMASE-raja-arvo PAH-yhdisteille (käytetty myös kaatopaikkakelpoisuuden ylärajana tav. Jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle. HUOM! Aina tapauskohtainen arviointi)	200	
	Hollantilainen PAH-yhdisteille annettu tavoitearvo teollisuusalueella (Kooper 1999)	40	
	Ruotsalaiset tavoitearvot ei-herkille maa-alueille (SNV 1996): Karsinogeenisten PAH-yhdisteet: bentso(a)antraseeni, kryseeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(a)pyreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, dibentso(a,h)antraseeni).	PAH-karsinogeenisille 0,7, muille PAH-yhdisteille 40	
PCB: - PCB-yhdisteet luokitellaan kulkeutumattomiin haitta-aineisiin (poikkeus: monoklooriyhdisteet) - POP-yhdiste, käytörajoitus UNEP-sopimuksen perusteella	Pilaantuneen maan alempi raja-arvo (Ympäristöministeriö 1998)	0,05	
	EU:n kelpoisuuskaiteeri pysyville jätteille (7 yhdistettä)	1	
	Hollantilainen PCB-yhdisteille annettu tavoitearvo teollisuusalueella (Kooper 1999)	2	
	Ruotsalaiset tavoitearvot ei-herkille maa-alueille	7	
	Ongelmajätteen luokituksen raja-arvo (HUOM! Määriteltävät kongeneerit auki).	50	
BTEX: Haihtuva yhdiste	EU:n kelpoisuuskaiteeri pysyville jätteille	6	
Mineraaliöljy C ₁₀ –C ₄₀	Pilaantuneen maan alemmat ohje-arvot (Ympäristöministeriö 1998):		
	- Bensiinijakeet C ₄ –C ₁₂	100	
	- Keskitisleet C ₁₂ –C ₁₉	200	
	- Raskaat öljytuotteet C _{>20}	600	
	EU:n kelpoisuuskaiteeri pysyville jätteille C ₁₀ –C ₄₀	500	
	Pilaantuneen maan luokitus ongelmajätteeksi	10 000	
	Ruotsalaiset tavoitearvot ei-herkille maa-alueille (SNV 1996):		
	- C ₈ (alifat)	200	
	- C ₁₀ (alifat)	350	
	- C ₁₀ –C ₁₂ (alif)	500	
	- C ₁₂ –C ₁₆ (alif)	500	
	- C ₁₆ –C ₃₅ (alif)	1 000	
	- C ₉ –C ₁₀ (arom)	200	
	- C ₁₀ –C ₃₅ (arom)	40	
	Kaatopaikkakelpoisuuskaiteerit Suomessa (arvioitu tapauskohtaisesti)	1 000–5 000	

*) 16 PAH-liukoisuus: 0,24 mg/kg (kolonnitesti L/S 2)

Epäorgaaniset haitta-aineet ja DOC

Liukoisuusominaisuuksien osalta ensin on tarkistettava, että jätteestä liukenevat metallit ja suolat alittavat taulukossa 10 tavanomaiselle epäorgaaniselle jätteelle esitetyt EU-kriteerit. Lisäksi on tutkittava, että liukoisuusominaisuudet pysyvät muuttuvissa pH-olosuhteissa hyväksyttynä kohdassa 4.3.2 esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytettävälle materiaalille annetaan epäorgaanisten haitta-aineiden liukoisuusominaisuuksille kelpoisuus-kriteerit kerroksen vedenläpäisevyyden perusteella. Mikäli eristekerroksen vedenläpäisevyyskerroin on $\leq 10^{-9}$ m/s, arvioidaan liukoisuusominaisuudet modifioidulla diffuusiotestillä. Mikäli eristekerroksen vedenläpäisevyys on $> 10^{-9}$ m/s, käytetään kolonnitestiä tai sellitestiä. Perusteena on, että tiiviissä rakenteessa päästöt rajoittuvat diffuusio- ja pintaliukenemiseen, kun taas huokoisemmassa rakenteessa kelpoisuus määräytyy suotautumisen mukana liukenevien aineiden perusteella. Vähemmän tiiviin tiivistyskerroksen (vedenläpäisevyys 10^{-8} m/s) läpi menevän veden määrä on arviolta 20 % sadannasta. Vesi suotautuu eristekerroksen läpi ja kulkeutuu kaatopaikan täyttöön.

Modifioidun diffuusiotestin tulosten arviointiin ehdotetaan käytettäväksi hollantilaisia maarakentamiskäyttöön esitettyjä kelpoisuusarvoja ajoittain kostealle rakenteelle, koska näitä kelpoisuus-kriteerejä on Suomessa sovellettu jo pitkään ja ne on todettu käytännössä toimiviksi (ks. taulukko 13). Kolonnitestin tai sellitestin tulosten arvioinnissa otettu lähtökohdaksi EU:n pysyvän jätteen kelpoisuus-kriteerit, koska rakenteen tehtävä on rajoittaa veden pääsyä eikä lisätä haitta-aineiden määrää kaatopaikan suotovedessä. Kolonnitestille annettuja kriteerejä, paitsi elohopean, kadmiumin ja DOC:n kriteerejä, ehdotetaan kuitenkin väljennettäväksi seuraavasti: sulfaattille käytetään rajana 6 000 mg/kg ja muiden aineiden osalta käytetään väljennyskerrointa 3. Perusteena on direktiivin liitteessä annettu väljennysmahdollisuus ko. aineille sekä kohdassa 4.2 esitetyt näkökohdat.

EU:n kaatopaikkadirektiiviin liitteessä (ks. taulukko 10) on esitetty yläraja myös liuenneelle orgaaniselle aineelle (DOC), koska DOC lisää joidenkin haitta-aineiden (esim. kuparin ja nikkelin) liukoisuutta. Lisäksi kaatopaikan pintarakenteessa DOC lisää pintavaluntaveden hapenkulutusta, aiheuttaa ympäristössä pelkistäviä olosuhteita sekä mahdollisesti lisää ympäristössä olevien metallien liukoisuutta. Rajat on annettu pysyvän jätteen (luokka A), tavanomaisen epäorgaanisen jätteen (luokka B1b) ja ongelmajätteen kaatopaikalle (luokka C) sijoitettavalle jätteelle. EU-tasolla ei ole annettu kriteerejä sekalaiselle tavanomaiselle jätteelle, jossa on runsaasti sekä orgaanista että epäorgaanista ainesta. Jätteiden kelpoisuus-kriteerit tällaiselle kaatopaikalle asetetaan myöhemmin jäsenvaltioiden tasolla. Epäorgaanisen jätteen tavanomaiselle kaatopaikalle (luokka B1b) sijoitettavalle eristemateriaalille on tämän perusteella ainakin täytettävä tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus-kriteerit.

Tavanomaisen sekalaisen jätteen kaatopaikalla sivutuotteen DOC-pitoisuuden merkitystä on arvioitava tapauskohtaisen riskinarvioinnin perusteella. Taulukkoon 14 on koottu eri lähteistä esimerkkejä jätteistä ja eri maarakentamismateriaaleista liukenevista DOC-pitoisuuksista, joita

voidaan käyttää arvioitaessa tyypillisten materiaalien DOC-päästöasoja. Esimerkiksi pintarakenteiden DOC-päästöjä voidaan verrata suoraan luonnonmateriaalien päästöihin. Luonnonmateriaaleista liukenevat pitoisuustasot ovat enintään luokkaa 1 000 mg/kg.

VTT:n käsityksen mukaan DOC-pitoisuutta ei tarvitse tällä hetkellä huomioida orgaanisen ja sekalaisen (epäorgaanisen ja orgaanisen) jätteen kaatopaikalla, koska orgaanisen ja sekalaisen jätteen kaatopaikan suotovesi sisältää runsaasti DOC:a. Osa kaatopaikan suotovesistä menee kuitenkin sellaisenaan suoraan ympäristöön ja sekoittuu osittain kaatopaikan pintavaluntavesiin. Tällöin voidaan olettaa, ettei pintavalunnan suotovesien DOC-aineiden merkitys ole kriittinen nyt suljettaville yhdyskuntajätteen kaatopaikoille. Saksassa mekaanisesti ja biologisesti esikäsitellylle yhdyskuntajätteelle on L/S-suhteessa 10 liukeneville DOC:lle annettu rajaksi 2 500 mg/kg. Kelpoisuuskaiteeri on mainittu käytettäväksi määrittäessä käsitellyn yhdyskuntajätteen loppusijoituskelpoisuutta asetuksessa ”*Ordinance on Environmentally Compatible Storage of Waste from Human Settlements and on Biological Waste-Treatment Facilities, 20.2.2001*”.

Taulukko 13. Ympäristökelpoisuuskriteerit pintarakenteessa käytettävän mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalille.

Soveltuvuuskohte	Mineraalisen sivutuotteen soveltuvuus kaatopaikan pintarakenteessa	
Kelpoisuusluokka	Eristeluokka I ($k \leq 10^{-9}$ m/s tai yhdistelmä rakenne, jossa mineraalisen tiivistyskerroksen ($k \leq 0^{-8}$ m/s) päällä on muovikalvo)	Eristeluokka II (10^{-9} m/s < $k < 10^{-8}$ m/s (HUOM! vain erikoistapauksissa, viite SYKE 2001))
Testimenetelmä	Arviointi modifioidun diffuusiotestin NVN7347 perusteella	Arviointi kolonnitestin TS14405 tai sellitesti ENVIR 007 (L/S 10) perusteella
Kelpoisuusperuste	Holl. maarakentamiskriteerit ajoittain kostealle sijoituskohteelle	EU:n pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuus kriteeri
Laatu	(mg/m ²)	(mg/kg)
Sb	12	0,18*
As	140	1,5*
Ba	2 000	60*
Cd	3,8	0,04
Cr	480	1,5*
Co	95	Ei annettu
Cu	170	6*
Hg	1,4	0,01
Pb	400	1,5*
Mo	62 ^{***)}	1,5*
Ni	170	1,2*
Zn	670	12*
Se	4,8	0,3*
Sn	95	Ei annettu
V	760	Ei annettu
F	4 400	30 *
SO ₄ ²⁻	100 000 ^{***)}	6 000**
Cl ⁻	70 000 ^{***)}	2 400*
DOC ^{iv)}	Ei annettu	500 ^{v)}
Kiintoainepitoisuus	50 000 (tutkittava ravistelutestillä ^{vi)})	50 000 ^{vi)}

*) korotettu arvo (kerroin 3)

**) pysyvälle jätteelle esitetty korotettu sulfaatti arvo

***) helppoliukoisille suoloille (aineille) korotettu arvo (kerroin 1,3)

iv) ei sovelleta sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikalle

v) Mikäli jäte ei vastaa näitä liuennun orgaanisen hiilen (DOC) arvoja sen omissa pH-arvoissa, se voidaan vaihtoehtoisesti testata uutossuhteella L/S = 10 l/kg ja pH:ssa 7,5–8,0.

vi) monoliitin tai rakenteen stabiilisuus

Taulukko 14. Esimerkkejä eri materiaalien liukoisista DOC-pitoisuuksista (L/S-suhde 10).

	Suodoksen pH	DOC-pitoisuus, mg/kg
Humusmaa	5,3–5,5	710
Maaseos (humus + moreeni)	7–8	400
Maaseos (silttinen maa)	5,7	350
Hiekka	5–6	35–40
Sedimentti	n. 7	100
Terva-asfaltti	6–8	100
Komposti	8	200–1 600
Puhdistamoliete	n. 7	10 000–30 000
Aktiivihili	7	<1
Muovi	7	<1

Muovikalvo mineraalisen tiivistyskerroksen yhdistelmärakenteessa

Yhdistelmärakenteessa, jossa mineraalisen tiivistyskerroksen päälle on asennettu muovikalvo, on haitta-aineen leviäminen ympäristöön estetty niin kauan kuin kalvo on ehjä. Todennäköisesti myös sen jälkeen, kun kalvoon tulee reikiä, vähentää muovikalvo sadeveden imeytymistä eristerrokseen. Veden suotautuminen kerroksen läpi arvioidaan pieneksi, erityisesti mikäli yhdistelmärakenteen tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys on pienempi kuin 10^{-9} m/s. Tällöin on perusteltua orgaanisille haitta-aineille hyväksyä korkeampia haitta-ainepitoisuuksia muovikalvon alapuolella olevassa tiiviissä tiivistyskerrosseoksessa (10^{-9} m/s), kuin ilman kalvoa on hyväksyttävää. Tällä hetkellä ei ole kuitenkaan riittävästi tietoja kelpoisuusarvojen esittämiseksi yhdistelmärakenteelle. Orgaanisen haitta-aineen kokonaispitoisuuden tulisi ainakin olla selvästi pienempi kuin ko. kaatopaikkaluokan kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset. Epäorgaanisille yhdisteille ehdotetaan soveltavaksi kohdassa 4.3.1 esitetyt kaatopaikkakelpoisuusperiaatteita ja taulukossa 13 sijoitusluokalle I annetut kriteerit.

4.3.4.4 Kaasunkeräyskerros ja esipeitto

Liukoisuusominaisuuksien on täytettävä kohdassa 4.3.2 ko. kaatopaikkaluokan jätteelle metallien ja suolojen liukoisuuksille esitetyt kelpoisuusvaatimukset huomioiden myös pH vaikutuksen merkitystä.

4.3.5 Pohjarakenne

4.3.5.1 Mineraalinen tiivistyskerros

VTT:n käsityksen mukaan pohjarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen kelpoisuusvaatimuksena on pysyväle jätteelle annetut kriteerit, koska rakennetta ei voida myöhemmin uusida. SYKE:n oppaassa (2001) on tiivistyskerroksen orgaanisen aineen määrälle annettu suositusarvo alle 2 %. Koska EU:n pysyväle jätteelle annetut kriteerit PCB-yhdisteille ja mineraaliöljyille

ovat korkeita, ehdotetaan tässä myös sovellettavaksi pilaantuneiden maiden saastuneisuuden arviointia varten annettuja ohjearvoja (Ympäristöministeriö 1998). Taulukossa 15 on eräiden orgaanisten haitta-aineiden enimmäispitoisuuskriteerit.

Pysyvän jätteen liukoisuusominaisuuksille soveltavat kriteerit on esitetty kohdassa 4.3.2. Kaatopaikkaolosuhteet (esim. pH-alue) määräytyvät kaatopaikalle sijoitettavien jätteiden perusteella. *Tämän takia VTT ehdottaa, että metallien liukoisuusarvot eivät kaatopaikkaolosuhteissa simuloivissa testeissä pH-alueella 5–10 ylittäisi EU:n pysyväille jätteelle annettuja kaatopaikkakelpoisuuskriteerejä.*

Taulukko 15. Eräiden orgaanisten aineiden enimmäispitoisuudet pohjarakenteen mineraaliselle tiivistyskerrokselle käytettävässä sivutuotteessa.

Haitta-aine	Pitoisuus eriste-kerroksessa (mg/kg)	Peruste:
PAH (16 EPA)	5	Tanskalainen ohjearvo (Miljøstyrelsen, 1995) maaperälle terveysvaikutusten perusteelle
Fenoli-indeksi	10	Pilaantuneen maan alempi ohjearvo
PCB (7 yhdistettä)	0,05	Pilaantuneen maan alempi ohjearvo
BTEX	6	EU:n kelpoisuuskriteeri pysyville jätteille
Bensiinijakeet C ₄ –C ₁₂	100	Pilaantuneen maan alempi ohjearvo
Keskitisleet C ₁₂ –C ₁₉	200	Pilaantuneen maan alempi ohjearvo
Raskaat öljytuotteet C _{>20}	600	Pilaantuneen maan alempi ohjearvo

4.3.5.2 Muut pohjakerrokset

Epäorgaanisen jätteen kaatopaikan mineraalisen tiivistyskerroksen yläpuolella olevien kerrosten (esim. salojakerros) kelpoisuusvaatimuksena on tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuudelle annetut arviointiperiaatteet.

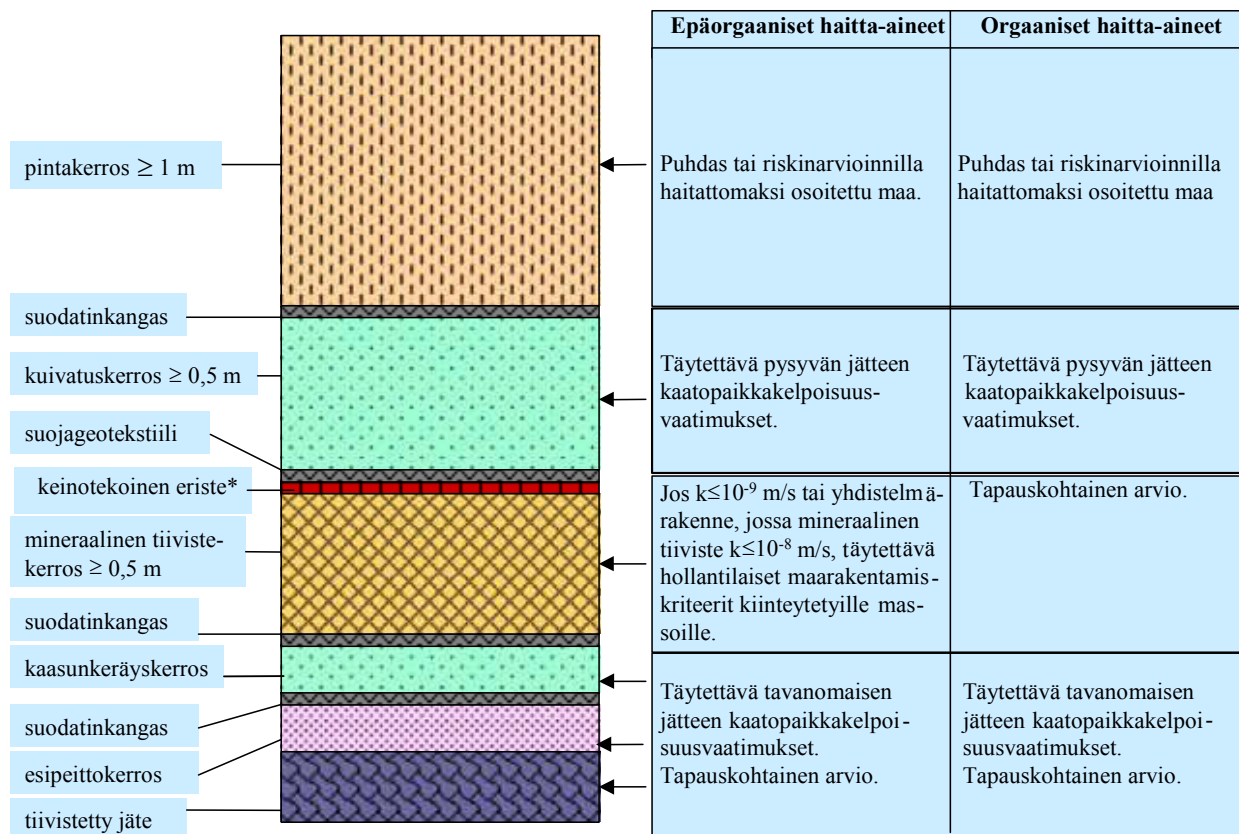
Sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikan salojakerrokseen kelpoisuusarvioinnissa on huomioitava myös erityisesti kaatopaikan suotoveden laadun vaikutus liukoisuusominaisuuksiin. Kaatopaikan suotovesi sisältää runsaasti orgaanisia aineita, mikäli kaatopaikalle on sijoitettu orgaanista biohajoavaa jätettä. Liuenneet orgaaniset yhdisteet (DOC, molekyylipaino alle 1 000) kompleksoituvat erityisesti kuparin ja mahdollisesti nikkelin kanssa, minkä seurauksena metallien liukoisuus kasvaa merkittävästi. Tästä syystä ehdotetaan, että metallien liukoisuutta arvioidaan testeissä, joissa uuttovesi sisältää orgaanisia happoja. Testiolosuhteet on suunniteltava tapauskohtaisesti, eikä tulosten merkittävyyden arvioinnista voida antaa yleisiä ohjeita.

4.4 Yhteenveto kelpoisuuskriteereistä

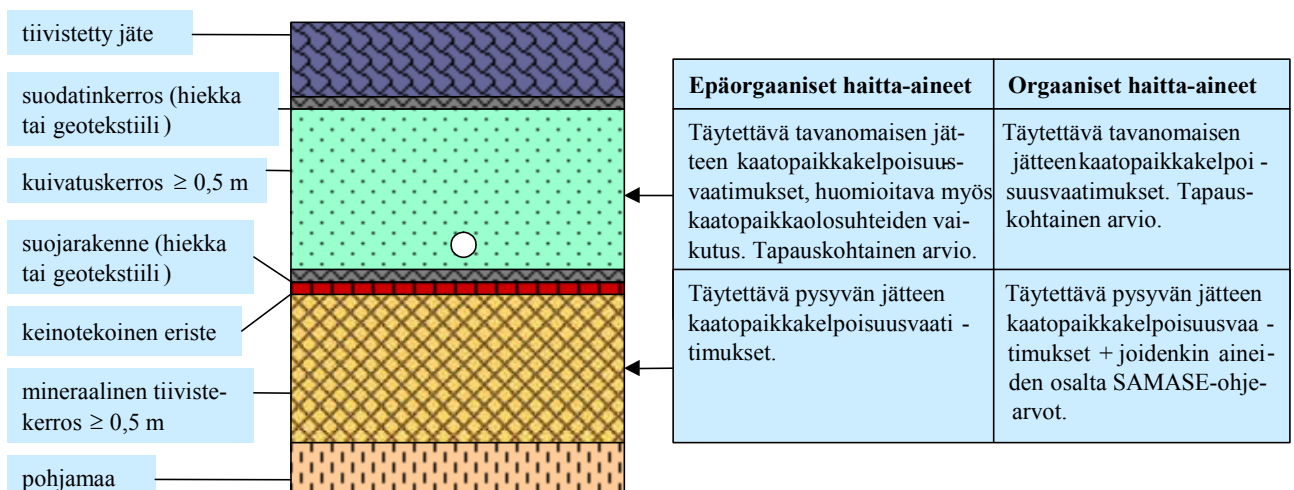
Tutkimuksen pääpaino on mineraalisten sivutuotteiden käytössä lähinnä tavanomaisen kaatopaikan tiivistysrakenteissa. Tässä esitetyn tarkastelun lähtökohdat ovat seuraavat:

- Kaikkien tiivistysrakenteissa käytettävien materiaalien on oltava kelpoisia vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle.
- Tiivistysmateriaalien seosten valmistuksessa ei käytetä ongelmajätteeksi luokiteltavaa jätettä.
- Pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys k on $< 10^{-9}$ m/s tai poikkeustilanteissa vedenläpäisevyys $k < 10^{-8}$ m/s (SYKE, 2001).
- Tapauskohtainen tarkastelu, jos on poikkeavuuksia em. lähtökohdista tai kelpoisuuskriteerit ylittyvät (ks. 4.5).

VTT:n ehdotus eristemateriaalien ympäristökelpoisuuden arviointiperiaatteista on esitetty taulukossa 16 ja kuvissa 3 ja 4.



Kuva 3. Pintarakennekerrosten ympäristökelpoisuusvaatimukset, esimerkkirakenne (kts. tarkemmin taulukko 16). *) Keinotekoisia eristettä (muovikalvo) käytetään, jos tiivistemateriaali sisältää merkittävästi haitallisia aineita ja mineraalisen tiivistyskerroksen pitkäaikaiskestävyyttä ei ole osoitettu.



Kuva 4. Pohjarakenteen ympäristökelpoisuusvaatimukset, esimerkkirakenne (kts. tarkemmin taulukko 16).

Taulukko 16. Pinta- ja pohjarakenteiden eristekerrosten ympäristökelpoisuuskriteerit.

Eristekerros	Kriteeri	Peruste
Pintarakennekerros	Ympäristökelpoisuuskriteerien lähtökohtana tulee käyttää puhtaan maan kelpoisuusvaatimuksia. Riskinarvioinnin perusteella voidaan näistä poiketa.	Arvioitava tapauskohtaisesti huomioidulla haitta-aineen ominaisuudet, sijoituspaikan olosuhteet ja alueen käyttö
Pintarakenteen kuivatuskerros	Pysyvän jätteen kelpoisuusvaatimukset (kohta 4.3.2, taulukko 10)	Sijoitusympäristö vastaa pysyvän jätteen kaatopaikkaolosuhteita.
Pintarakenteen mineraalinen tiivistyskerros ilman keinotekoista eristettä (muovi) *	<ul style="list-style-type: none"> - Mikäli tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys $\leq 10^{-9}$ m/s, sovelletaan hollantilaisia kiinteytettyjen seosten maarakentamiskäytölle (sijoitusluokan 1B mukaan) annettuja kriteerejä (kohta 4.3.4.3, taulukko 13). - Mikäli tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys 10^{-9} m/s $< k < 10^{-8}$ m/s, sovelletaan EU:n pysyväälle jätteelle ehdotettuja väljennettyjä liukoisuuskriteerejä (kohta 4.3.4.3, taulukko 13) - pH-olosuhteiden vaikutusta arvioitava, kun metallipitoisuus merkittävä. - Orgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksille raportissa on esitetty eri lähteistä tausta-arvoja, joita voidaan käyttää vertailuarvoina enimmäispitoisuuksien arvioimiseksi (kohta 4.3.4.3, taulukko 12). 	
Pintarakenteen mineraalinen tiivistyskerros, jossa keinotekoinen eriste (muovi) *	<ul style="list-style-type: none"> - Mikäli muovikalvon alapuolisen eristemateriaalin vedenläpäisevyys $\leq 10^{-8}$ m/s, sovelletaan hollantilaisia kiinteytettyjen seosten maarakentamiskäytölle (sijoitusluokan 1B mukaan) annettuja kriteerejä (kohta 4.3.4.3, taulukko 13). - pH-olosuhteiden vaikutusta arvioitava, kun metallipitoisuus merkittävä. - Orgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksille raportissa esitetty eri lähteistä tausta-arvoja, joita voidaan käyttää vertailuarvoina enimmäispitoisuuksien arvioimiseksi (kohta 4.3.4.3, taulukko 12). 	
Pintarakenteen kaasuunkeräyskerros ja esipeittokerros	Käytettävien materiaalien tulisi olla kaatopaikkakelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle (kohta 4.3.2, taulukko 10).	Sijoitusympäristö vastaa kaatopaikkaolosuhteita.
Pohjarakenteen mineraalinen tiivistyskerros	Pohjaeristeen ympäristökelpoisuuskriteereiksi ehdotetaan käytettäväksi EU:n antamia pysyvän jätteen kelpoisuusvaatimuksia. Joillekin orgaanisille haitta-aineille (PCB, PAH, mineraaliöljyt) käytetään rajana pilaantuneen maan tavoitearvoja (kohta 4.3.5.1, taulukot 10 ja 15).	Pohjaeristeille asetettavat ympäristökriteerit ovat tiukat, koska pohjaeristettä ei voida myöhemmin poistaa. Tutkimuksissa huomioitava kaatopaikkaolosuhteet (pH, suotoveden laatu).
Pohjarakenteen muut kerrokset (esim. salaojakerros)	Käytettävien materiaalien tulisi olla kaatopaikkakelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Kaatopaikkaveden vaikutusta myös arvioitava, mikäli tarkasteltavana on sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikka (kohta 4.3.5.2).	Edellyttää usein tapauskohtaista arviointia ja kaatopaikkaolosuhteiden huomioon ottamista.

*Huom! Mineraalisen tiivistyskerroksen vaadittava vedenläpäisevyysarvo riippuu kaatopaikkatäyttöön imeytyvän suotoveden sallitusta määrästä. Suositus vedenläpäisevyysarvoksi on 10^{-9} m/s. Poikkeaminen suosituksesta edellyttää tapauskohtaista arviot (ks. tarkemmin SYKE 2001).

4.5 Poikkeaminen edellä ehdotetuista kelpoisuuskriteereistä

Tässä ehdotettujen kelpoisuuskriteerien lähtökohtana on käytetty EU:n kaatopaikkakelpoisuuskriteerejä. Lähestymistapana voidaan soveltaa myös tapauskohtaista riskiarviointia, jossa arvioidaan skenaariotarkastelulla kaatopaikkarakenteesta tulevia päästöjä eri ajanjaksoilla ja myös päästöjen merkitystä eri tilanteissa. Lupaviranomainen päättää ko. tapaukseen soveltuvasta lähestymistavasta.

Skenaariotarkastelulla voidaan arvioida tunnistettujen haittatekijöiden suuruutta (esim. haitta-aineen pitoisuutta kaatopaikan pinta- tai pohjavesissä tai liukenevia aineita sijoituspaikan pinta-alaa kohden) eri aikaväleillä. Tästä voidaan arvioida hetkelliset päästöt tai ns. keskimääräiset päästöt koko tarkasteluajana. Näitä arvioita voidaan verrata vertailuarvoihin, joita pidetään sijoituspaikalla hyväksyttävinä. Vertailuarvoina voidaan käyttää Suomen kaatopaikkavesistä kerättyjä tietoja kaatopaikalta maastoon johdettavan veden pitoisuustasoista ja toisaalta myös jätevesien viemärikelpoisuusvaatimuksia. Kaatopaikkavesien pitoisuustasoista on kerätty tietoja liitteeseen C. Skenaariotarkastelun avulla voidaan myös verrata pinta- ja pintakerrosvalunnan sekä kaatopaikan täytön läpi suotautuvan veden aiheuttamia ympäristökuormia eri rakenneratkaisuissa. Kohdassa 5.3.2 on esimerkki skenaariotarkastelusta, jossa on käytetty lähtötietoina kokeellisessa työssä saatuja tuloksia.

5. Eristemateriaalien ympäristökelpoisuusmenetelmien testaus

5.1 Näytteet

Esimerkkimateriaalit olivat seuraavia:

- Materiaali A: kuituliete
- Materiaali B: soodasakka, LT, kuituliete
- Materiaali C: resepti ei ole tiedossa.

Eristemateriaalin ympäristökelpoisuutta tutkittiin pääasiassa seoksesta, joka mahdollisimman hyvin vastasi kaatopaikkarakenteissa käytettäväksi suunniteltua seosta ja jonka tiiviysaste oli mahdollisimman todellinen. Vertailutietona käytettiin myös jauhemaista seosta, jota ei tiivistetty ennen testausta perinteisillä menetelmillä.

Näytteet toimitettiin kahdessa tai kolmessa erässä. Ensimmäiset näytekappaleet olivat harjoittelunäytteitä, joiden avulla tarkistettiin lähinnä testiolosuhteita ja työtapoja. Lisäksi käytettiin jauhemaista kuivaseosta materiaalin karakterisointia varten.

Näytteet valmistettiin sekä materiaalitoimittajan että VTT:n toimesta.

5.2 Tutkimusohjelma

Testimateriaaleista tehtiin peruskarakterisointi (kokonaispitoisuusmääritykset ja perinteiset liukoisuustestit). Perinteisiä liukoisuustestien tuloksia käytettiin tässä vertailutietoina ja mahdollisesti myös kelpoisuusarvioinnissa.

Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin uuden diffuusiotestimenetelmän toimivuutta (näytekappaleen soveltuvuus testiin, mahdolliset tekniset ongelmat esim. materiaalipinnan muuttuminen ja testikappaleen muodonmuutoksia testin aikana, pitoisuustaso). Saatujen kokemusten jälkeen aloitettiin varsinaiset testisarjat, joissa selvitettiin erityisesti varastoinnin ja säilytystavan vaikutusta tuloksiin. Eri kaatopaikkaolosuhteiden vaikutusta arvioidaan lisätesteillä, jossa käytetään erilaisia uuttoliuoksia.

Yhteenveto testiohjelmasta on taulukossa 17.

Taulukko 17. Testiohjelma.

	Tehtävä	Tutkimuksen sisältö	Peruste
1.	Materiaalien karakterisointi, laatuvaihtelut	- Kokonaispitoisuuden määrittäminen (jos ei tiedossa) - Perusmäärittely (esim. kolonnitestin, pH-staattisen testin suoritus)	Lähtökohta: Materiaalin perusominaisuudet selvitetävää. Lisäksi tuloksia voidaan mahdollisesti hyödyntää suoraan kelpoisuusarvioinnissa
2.	Modifioidun diffuusion testin toimivuuden arviointi: harjoitusnäytteet	- Testin kokeilu lentotuhkan ja rikinpoistojätteen seoksella, lähinnä johtokykytestit vedestä ja aistinvaraiset havainnot menetelmän soveltavuudesta (demonstraatiokoe) - Materiaalitoimittajien harjoitusnäytteiden soveltavuuden arviointi ja alustava testaus	Uusi menetelmä, ei aikaisempaa kokemusta työtavoista, laitteistosta ja näytteiden valmistustavoista
4.	Pintaliukenemisen arviointi	- Modifioidun diffuusion testin (NVN 7347) suoritus - Näytekalteen valmistustavan, dimension, testissä käytetyn vesimäärän vaikutus tuloksiin	Arvioitava uuden menetelmän toimivuus (toistettavuus ja testiolosuhteiden vaikutus)
5.	Ympäristöolosuhteiden arviointi	- Näytekalteen varastointiajan vaikutus pintaliukoisuuteen (menetelmässä NVN 7347)	Arvioitava näytekalteen varastointiaika ennen testausta
6.	Biohajoavuustestit	- Biohajoavuustestin soveltavuus biohajoamattomuuden arvioimiseksi	Materiaalin karakterisointi

5.2.1 Kokonaispitoisuudet

Parametri:	Menetelmä
Kuiva-ainepitoisuus	Näytettä kuivataan lämpökaapissa, jonka lämpötila on säädetty 105 °C:seen.
XRF-analyysi	Analyysit suoritettiin kuivatusta sakasta käyttäen Philips PW2404 röntgenspektrometriä ja puolikvantitatiivista SemiQ-ohjelmaa. Näytteestä määritettiin fluori (F) ja sitä raskaammat alkuaineet lukuun ottamatta jalokaasuja, yhteensä 79 alkuainetta. Menetelmän määrittäminen on tyypillisesti luokkaa 0,01 %.
Metallien kokonaispitoisuudet	Näytteet esikäsitellään happokäsittelyllä (HNO ₃ , HF, H ₂ O ₂) mikroaaltouunissa. Käytetyt määrittämenetelmät ovat: - alumiini, kalsium, kromi, rauta, nikkeli, kupari, sinkki, barium, lyijy, molybdeeni, vanadiini, kadmium ja arseeni: plasma-atomiemissiospektrometrisesti (ICP-AES) - natrium ja kalium: atomiabsorptiospektrometrisesti liekkiteknikalla (FAAS) - elohopea: atomiabsorptiospektrometrisesti kylmähöyrytekniikalla (CVAAS).

5.2.2 Liukoisuustutkimukset

Mahdollisten haitta-aineiden liukoisuutta esimerkkimateriaaleista tutkittiin sekä karakterisointiin että laadunvalvontaan soveltuvilla liukoisuustesteillä. Lisäksi arvioitiin esimerkkimateriaalien liukoisuuskäyttäytymisen muuttumista erilaisissa ympäristö- ja sijoituspaikkaolosuhteissa pH-staattisella testillä, sillä ympäristön pH-olosuhteiden muuttuminen vaikuttaa huomattavasti joidenkin metallien liukoisuuskäyttäytymiseen.

Käytetyillä testeillä voidaan karkeasti arvioida eri materiaalien päästöt ympäristöön lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Testissä liukenevia määriä (mg/kg) tulkitaan yleensä L/S-suhteen avulla huomioiden materiaalin kanssa kosketuksessa olevan veden määrää. Kaatopaikoilla ei yleensä ylitä L/S-suhde 2 eikä täydyissä ja pengerrakenteissa L/S-suhde 10 (NT ENVIR 002, 1995).

Liukoisuusominaisuuksien arviointia varten käytettiin neljää eri liukoisuustestiä, joiden periaatteet ovat seuraavat:

Menetelmä	Menetelmäkuvaus
NVN 7347 Hollantilainen modifioitu diffuusiotesti	Tutkittava materiaali tiivistetään testiasiaan, joka upotetaan veteen. Vesi vaihdetaan 6 tunnin, 1 vuorokauden (d), 2,25 d:n, 4 d:n, 9 d:n, 16 d:n, 36 d:n ja 64 d:n kuluttua kokeen aloittamisesta. Testimateriaalin pinnalta veteen liukenevat haitta-aineet määritetään ja tuloksista lasketaan pinnalta diffuusion tai pintahuuhtelun kautta liuenneiden aineiden määrä (mg/m ²) tietyssä aikayksikössä (tarkempi testikuvaus liitteessä E).
Hollantilainen kolonnitesti (NEN7343) ja Nordtestin kolonnitesti (NT ENVIR 002) Nordtestin sellitesti (NT ENVIR 007)	Hollannissa kehitetyssä kolonnitestissä (NEN7343) pumpataan happamaksi tehtyä vettä (pH 4) alakautta tutkittavalla näytteellä pakattuun kolonniin ja kolonnin yläosasta kerätään vesifraktiot. Testin aikana kerätään seitsemän vesifraktiota kumulatiiviseen L/S-suhteeseen 10. L/S-suhteella tarkoitetaan testissä kerätyn vesimäärän (L) suhdetta kiinteään materiaalin (S) määrään. Testiaika riippuu kolonniissa käytetystä vesivirtauksesta. Nordtestin kolonnitesti (NT ENVIR 002) perustuu hollantilaiseen testimenetelmään (NEN 7343). Suurin poikkeus edelliseen menetelmään on hitaamman veden virtausnopeuden käyttäminen. Nordtestin sellitestissä (NT ENVIR 007) käytetään vedenläpäisevyyksmittauksia varten kehitettyä laitteistoa. Testissä testimateriaalista valmistetaan koekappaleet pakkaamalla tai valamalla optimivesipitoisuudessa. Näytekappaleen läpi johdetaan vettä ja läpisuotautuneet vesifraktiot kerätään ja analysoidaan kuten em. kolonnitesteissä.
CEN-pikaravistelutesti (EN12457 osat 2 ja 3, NT ENVIR 005)	CEN-pikaravistelutestissä (EN12457, osat 2 ja 3, NT ENVIR 005) kiinteää materiaalia ravistellaan tislattun veden kanssa määritellyissä testiolosuhteissa. Testin suorittamiseksi on kaksi erilaista vaihtoehtoa. Uuton jälkeen kiinteä jäännös erotetaan suodattamalla ja suodoksen ominaisuudet määritetään. Kaksi eri vaihtoehtoa perustuvat eri L/S-suhteisiin: - Yksivaiheinen testi L/S = 10 (ns. DIN-testi, prEN 12457-2) - Kaksivaiheinen testi L/S = 2 ja L/S = 2-10 (ns. CEN-pikaravistelutesti, EN 12457-3, NT ENVIR 005).
pH-staattinen testi	pH-olosuhteiden vaikutusta eri aineiden liukoisuuteen tuhkanäytteistä tutkitaan pH-staattisella testillä. Testeissä näytettä (noin 100 g) sekoitetaan 24 tuntia tislatussa vedessä L/S-suhteessa 10 ja seoksen pH-arvo säädetään vuorokauden ajan jatkuvalla happo- tai emälsisäyksellä haluttuun pH-arvoon, yleensä pH-alueella 4–12 käyttäen automaattista titrauslaitteistoa. L/S-suhteella tarkoitetaan tässä veden määrää (L) suhteessa sekoituksessa käytetyn kiinteän materiaalin määrään (S). Sekoituksen jälkeen seos suodatetaan.

5.3 Tulosten arviointi

5.3.1 Eri testimenetelmien soveltuvuuden arviointi

Modifioitu diffuusiotestin toistettavuus

Näyteseoksesta ”Lentotuhka-sakka-kuitu” tutkittiin liukoisuustestin toistettavuus neljällä eri testikappaleella, joista kaksi valmistettiin materiaalityöntekijä ja kaksi VTT. Materiaalityöntekijä tiivistettiin näytteet Proctor-vasaralla ja VTT manuaalisesti männällä. Taulukossa 18 on esitetty rinnakkaisestien tulokset. Testin toistettavuus vastaa pitkälti VTT:n arviota normaalin diffuusiotestin toistettavuudesta (noin 30 %). Muissa kokeellisissa töissä tehtiin myös rinnakkaisestit. Näiden tulokset olivat lähellä toisiaan.

Taulukko 18. Rinnakkaisestien toistettavuus. Taulukossa esitetty aineiden kumulatiivinen liukoisuus 64 testipäivän jälkeen laskettuna pinta-alaa kohti (mg/m²).

Valmistaja	Materiaalityöntekijä	Materiaalityöntekijä	VTT	VTT
	R1	R2	R1	R2
Varastointiaika	6 d	6 d	10 d	10 d
Haitta-aineet, mg/m²/64 d				
DOC	10 000	11 000	11 000	11 000
SO ₄ ²⁻	280 000	290 000	250 000	260 000
Cl ⁻	160 000	170 000	130 000	140 000
Al	850	1 100	1 000	810
Na	-	-	160 000	140 000
Mo	93	98–99	69–70	56–57
Cu	49	59	35–37	31–34

Modifioitun diffuusiotestin kriittiset testausparametrit

Testi sisältää seuraavat työvaiheet, jotka saattavat vaikuttaa testin tuloksiin:

- näytteen homogenisointi ennen koekappaleen valmistusta
- käytetty tiivistystapa koekappaleen valmistuksessa
- koekappaleen ja testiastian koko (poikkeavat testiolosuhteet)
- koekappaleen varastointiaika ennen testausta.

Näytekappaleiden tiivistysaste vaikuttaa lähinnä putsolaanissa (itselujittuvassa) materiaalissa tapahtuviin kovettumisreaktioihin. Kovettumisreaktioiden vaikutuksesta muodostuu kalkkipitoisissa materiaaleissa kalsiumyhdisteitä, jotka alentavat huokosveden ja myös materiaalin kosketuksessa olevan veden pH-arvoa. Kovettumisreaktiot tapahtuvat usein ensimmäisten neljän kuukauden aikana (sementtipohjaisille massoille suositellaan vähintään kuukauden varastointiajan ennen testausta).

Työssä verrattiin näyteseoksen ”Lentotuhka-sakka-kuitu” kahden eri tiivistystavan vaikutusta liukoisuuteen (tulokset taulukossa 19). Tässä tapauksessa ei ollut todettavissa merkittäviä eroja eri tavalla tiivistettyjen diffuusiotestin pH-tuloksissa. Eroja oli kuitenkin näytteiden tiheysarvoissa (proctor-vasaralla saatiin tiiviimmät kappaleet). Lisäksi taulukon 19 mukaan tiiviys vaikutti esimerkkimateriaalin alumiinin, molybdeenin ja kuparin liukoisuustasoon.

Taulukko 19. Tiiviuden vaikutus modifioidun diffuusiotestin 64 päivän tuloksiin. Vesiainesten pH-arvot olivat alueella 10–11.

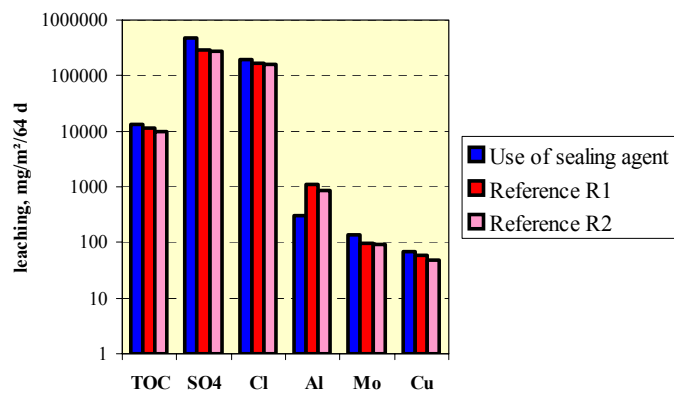
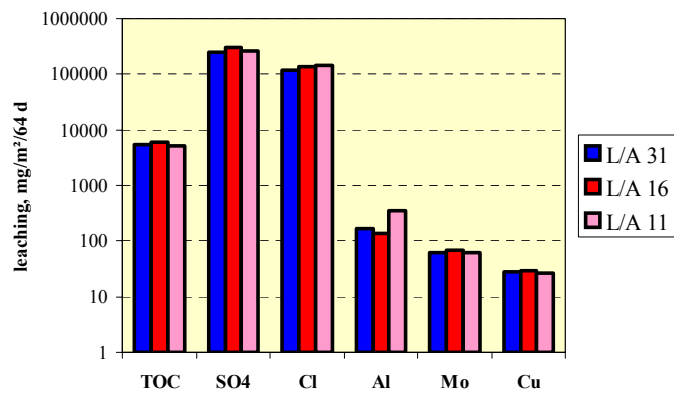
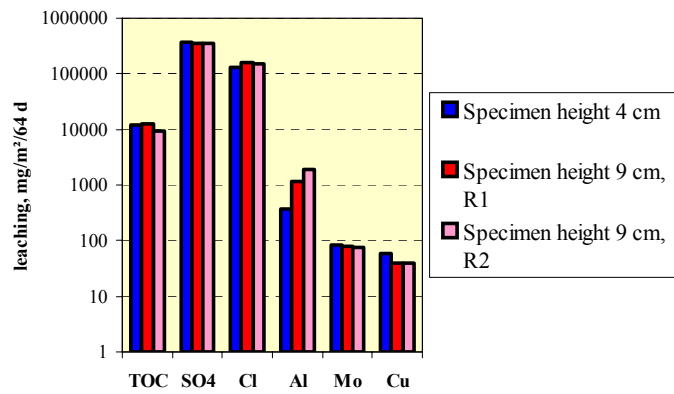
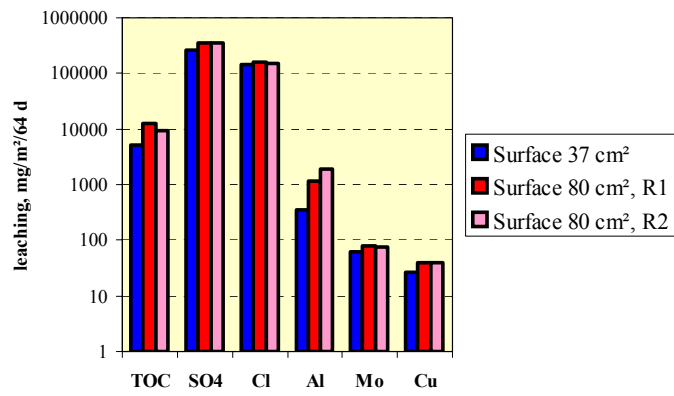
Näyte-kappaleen varastointiaika	Tiiveysmenetelmä	Tiheys (kg/dm ³)	DOC (mg/m ²)	SO ₄ ²⁻ (mg/m ²)	Cl ⁻ (mg/m ²)	Al (mg/m ²)	Mo (mg/m ²)	Na (mg/m ²)	Cu (mg/m ²)
1,3 kk	Manuaalinen	1,39	9 500	351 000	150 000	1 900	75	194 000	40
1,3 kk	Manuaalinen	1,37	13 000	350 000	157 000	1 200	81	186 000	40
1,6 kk	Proctor vasara	1,61	14 000	342 000	252 000	570	99	211 000	51
1,6 kk	Proctor vasara	1,61	19 000	375 000	189 000	360	106	204 000	58

Näytteseoksesta ”lentotuhka-sakka-kuitu” valmistettiin useita koekappaleita, jotka säilytettiin eripituisia ajanjaksoja ennen testiä (taulukko 20). Varastointi vaikutti alumiinin liukoisuuteen laskevasti todennäköisesti johtuen kovettumisreaktioista. Muiden komponenttien osalta ei todettu vaikutusta.

Taulukko 20. Varastoinnin vaikutus 64 päivän testituloksiin (mg/m²/64 d). Materiaalivalmistajan näytteet. Tiivistystekniikka: Proctor-vasara.

Varastointiaika ennen testausta	DOC (mg/m ²)	SO ₄ ²⁻ (mg/m ²)	Cl ⁻ (mg/m ²)	Al (mg/m ²)	Mo (mg/m ²)	Na (mg/m ²)	Cu (mg/m ²)
3 päivää	10 000	279 000	163 000	850	93	-	49
3 päivää	11 000	290 000	169 000	1 100	98	-	59
1,6 kk	14 000	342 000	252 000	570	99	211 000	51
1,6 kk	19 000	375 000	189 000	360	106	204 000	58
3 kk	12 000	313 000	171 000	360	91	196 000	57
3 kk	14 000	312 000	242 000	320	93	191 000	58
6 kk	15 000	270 000	170 000	270	89	175 000	51

Kuvassa 5 on esitetty poikkeavien testiolosuhteiden (koekappaleen koon, käytetyn uuttoliuosmäärän) vaikutus tuloksiin. Kuvasta huomataan, että pinta-ala vaikuttaa suoraan suolojen liukoisuustuloksiin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että sulfaatin ja kloridin liukoisuudet riippuvat testissä käytetyn veden määrästä (suolat ovat usein hyvin vesiliukoisia ja niiden liukoisuus määräytyy suolojen kyllästymispisteestä). Liimareunauksen vaikutusta tutkittiin muutamilla koekappaleilla. Liimareunauksella pyrittiin estämään mahdollista reunailmiötä (lähinnä lisääntynyttä liukoisuutta, jos testimassa kutistuisi astiassa, jolloin näytepinta-ala kasvaisi). Tulokset kuitenkin viittaavat selvästi, että liukoisuus päinvastoin kasvoi reunauksen vuoksi. Syytä tähän ei ole tiedossa.



Kuva 5. Testiolosuhteiden vaikutus liukoisuuteen modifioidussa diffuusiotestissä (NVN7347). (HUOM! logaritminen skaala).

Muut testit – Kolonnitesti ja sellitestin korrelaatio

Kahdesta esimerkkimateriaalista (näytteet ”lentotuhka-sakka-kuitu” ja ”kuitusavi”) tehtiin sekä kolonnitesti että sellitesti. Sellitestissä käytetään optimivesipitoisuudessa tiivistettyä koekappaleita ja kolonnitestissä tiivistetään testimateriaali vain kevyesti kolonniin ennen testin suorittamista. Toisesta näytteestä (”lentotuhka-sakka-kuitu”) tutkittiin myös näytekappaleen iän vaikutusta tuloksiin. Tulokset on esitetty taulukossa 21.

Testijärjestelmän vaikutus tuloksiin riippuu todennäköisesti sekä näytteestä ja tutkittavasta aineesta. Testimenetelmä ei ole vaikuttanut kuitusaven osalta DOC:n tai sulfaatin liukoisuustuloksiin, sillä molemmilla testeillä saatiin samat tulokset. Sen sijaan toisen näytteen osalta (lentotuhka-sakka-kuitu) erityisesti sulfaatin, alumiinin ja molybeenin liukoisuus oli suurempi kolonnitestissä kuin sellitestissä. Liukoisuus myös pienentyi varastoinnin aikana, mikä viittaa siihen, että aineet olivat sitoutuneet vähemmän liukoiseen muotoon koekappaleessa. Sellitestin sulfaattitulokset eivät kuitenkaan olleet johdonmukaisia ja niiden käyttö kelpoisuusarvioinnissa edellyttäisi uusintatestausta, koska lienneet pitoisuudet ovat olleet raja-arvon tuntumassa (sekä yli että alle).

Taulukko 21. Kolonnitestin ja sellitestin tulosten vertailu.

	Sellitesti			Kolonnitesti
Varastointiaika	8 d	1,5 kk	4 kk	
L/S	10	10	10	10
pH (testin lopussa)	11,5	11,7	11,3	11,6
Johtokyky, mS/m	150	177	266	162
Redox, mV	315	244	430	194
TOC, mg/kg	860	980	517	1 200
SO ₄ ²⁻	5 000	9 600	3 400	16 000
Cl-	2 400	2 500	2 500	3 480
Al	120	120	11	140
Na	6 000	5 000	2 200	
Mo	2	2	1,1	2,7
Cu	2,1–2,2	5,7	1,3	4,3
Cd	< 0,02	-	< 0,02	< 0,020
Cr	0,56	-	0,46	
Pb	< 0,2	-	< 0,2	< 0,20
Ni	0,69	-	< 0,25	
Zn	< 0,1	-	< 0,1	< 0,13
Ba	0,27	-	0,13	0,23

Johtopäätökset

Modifioitu diffuusiotesti todettiin toimivaksi menetelmäksi tiivistetyn materiaalin pinnalta liukenevien aineiden arvioimiseksi. Tulosten perusteella suositellaan näytekappaleiden kuukauden varastointiaikaa ennen testausta. Koska testiolosuhteet vaikuttavat liukoisuuksiin, tulisi mahdol-

liset testipoikkeamat tarkkaan harkita ennen testausta ja aina huomioida testitulosten raportoinnissa ja arvioinnissa.

Modifioitu diffuusiotesti ei sovellu materiaaleille, jossa tapahtuu muodonmuutoksia testin aikana. Jos materiaali kutistuu, tulee astian reunaan uutta pinta-alaa, jonka seurauksena testiolosuhteet eivät ole hallittuja. Myös materiaalin paisuminen muuttaa pinta-alaa. Lisäksi ongelmia aiheuttavat huokoiset kevyet materiaalit, joissa näytepinnan päällä olevat helmet uppoavat massaan.

Modifioidun diffuusiotestin suoritus vaatii suorittajalta suunnittelua astioiden hankintaan ja harjoitusta sopivien työrutiinien löytämiseksi. Testi on merkittävästi hitaampi suorittaa kuin tavallinen diffuusiotesti, koska vesivaihto edellyttää huolellisuutta. Pinnalla olevien helmien tulee pysyä paikoillaan, ja vesivaihdossa tulee saada talteen koko vesimäärä, koska muuten seuraavaan uuttoveden laatu huononee.

Myös kolonni- ja sellitestejä voidaan suositella testimenetelmiksi, jos materiaalin testaus ei onnistu diffuusiotestillä ja erityisesti jos materiaalin läpi suotautuu. Todennäköisesti sellitesti antaa luotettavamman kuvan eri aineiden liukoisuuskäyttäytymisestä. Testiolosuhteet (vesien keräily, ilman vaikutus materiaaliin ja suotovesiin) ovat sellitestissä todennäköisesti hallitumpia kuin kolonni-testissä. Lisätyötä aiheuttavat kuitenkin näytekappaleen valmistus ja testilaitteiston kokoaminen.

5.3.2 Esimerkki kokeellisten tulosten käytöstä skenaariotarkastelussa

Skenaariotarkastelun tuloksia voidaan käyttää riskinarvioinnin pohjana. Tämän tarkastelutavan käyttö edellyttää sitä, että laskennassa käytettävät oletukset ja hyväksytty riskitaso on määritelty yleisellä tasolla. Skenaariotarkastelulla voidaan karkeasti arvioida, millä materiaaliominaisuuksilla (esim. liukoisuusominaisuuksilla ja kokonaispitoisuustasoilla) ja/tai ympäristöolosuhteissa (esim. rakenneratkaisuilla) ko. päästövaatimukset voidaan saavuttaa. Skenaariotarkastelun luotettavuus on kuitenkin vahvasti sidottu käytettyihin lähtöoletuksiin ja yleensä edellyttää tulosten validointia kenttätuloksilla.

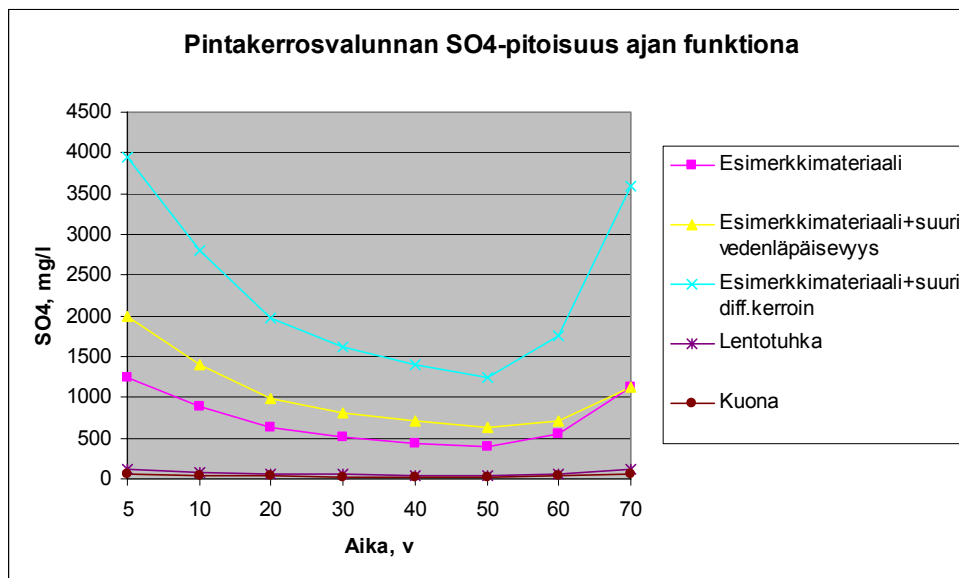
Skenaariotarkastelu on tässä esimerkinomaisesti tehty kaatopaikalle, jonka pintarakenteessa on käytetty vaihtoehtoista materiaalia. Tulosten arvioinnissa on lisäksi syytä ottaa huomioon, että tulokset ovat vain suuntaa-antavia ja vahvasti sidottuja käytettyihin lähtöoletuksiin. Kokeellisessa työssä tutkitun esimerkkimateriaalin tulosten perusteella on mallinnettu seuraavat tilanteet:

- pintakerroksen vedenläpäisevyys tasolla 10^{-9} m/s tai 10^{-8} m/s
- pohjarakenteen mineraalinen tiivistyskerros puuttuu
- haitta-aineen diffuusiokerroin hieman muutettu.

Esimerkkimateriaalin lisäksi on lähtötietoina tarkistettu kahden muun haitta-ainepitoisuustason vaikutusta tuloksiin (tässä tapauksessa liukoisuustulokset on otettu kirjallisuudessa kivihiilen lentotuhkalle ja jätteenpolttolaitoksen kuonalle esitetyistä tuloksista).

Kuvassa 6 arvioidaan sivutuotteiden eri liukoisuustulosten merkitystä kaatopaikan pintavalunnan pitoisuuksiin. Kuvassa ei esitetä vesimääriä, jotka selittävät pintavalunnan vesien pitoisuuksien kasvun 50 vuoden tarkasteluajan jälkeen. Liitteessä D on esitetty tarkemmin esimerkkilaskennan perusteet ja puutteet.

Kuvan 6 tuloksia voidaan verrata taulukossa 22 esitettyihin arvoihin. Esimerkkimateriaalista lasketut sulfaattipitoisuudet ovat merkittäviä. Tuloksiin vaikuttavat merkittävästi sulfaatin diffuusiokerroimen suuruus ja rakenteen vedenläpäisevyydet. Vertailuksi otettujen materiaalien (lentotuhka, kuona) päästöt eivät olleet merkittäviä. Tässä tapauksessa esimerkkimateriaalin sulfaattipäästöjen merkitys korostuu, koska esimerkkimateriaali sisälsi merkittävästi liukoisia sulfaatteja ja sulfaattipitoisuudet suomalaisissa kaatopaikkavesissä eivät ole merkittäviä.



Kuva 6. Skenaariotarkastelu: pintarakennekerroksessa käytetty sivutuotetta. Sulfaatin pitoisuudet kaatopaikan pintarakennevaluntavedessä ja kaatopaikan suotovedessä.

Taulukko 22. Sulfaatin pitoisuustasot Suomen kaatopaikkavesissä ja luonnonvesissä sekä esimerkkejä eri vesien sulfaattipitoisuuksille annetuista ohje- tai raja-arvoista.

	Sulfaatti-pitoisuus (mg/l)	Viite
Kaatopaikkojen suotovesi (keskiarvo)	110	Suunnittelukeskus 2000 (liitteestä C)
Kaatopaikoilta ympäristöön johdettavat suotovedet	66–570	(liitteestä C)
Suoraan vesistöön johdettavien kaatopaikkavesien käsittelyvaatimukset	300 (Sveitsi) 500 (Hollanti)	Ref. Pelkonen 2002 (liitteestä C)
Viemäriin johdettavan veden raja-arvo	400	Espoon vesi 2002
Merivesi, Suomenlahti	4 400–5 000	Merentutkimuslaitos, H. Hahti, 1997
Taustapitoisuusvaihtelut pohjavedessä	1–5	Lahermo <i>et al.</i> 1990
Taustapitoisuusvaihtelut purovedessä	0,5–3	Lahermo <i>et al.</i> 1996
Juomavesistandardi (WHO)	250	

5.3.3 Esimerkkimateriaalien ympäristökelpoisuus pintarakenteen mineraalikerrokseen

5.3.3.1 Periaate

Eristemateriaalien kelpoisuuden arvioinnin lähtökohtana on niiden tekninen soveltuvuus, ts. materiaalien on täytettävä ko. rakennekerrokselta ja kaatopaikkatyypiltä edellytettävät tekniset vaatimukset. Lisäksi eristemateriaalin on oltava kaatopaikkakelpoinen ko. kaatopaikkaluokkaan. Vuoden 2005 jälkeen on yhdyskuntajäte esikäsiteltävä biohajoavan orgaanisen aineksen vähentämiseksi ennen sijoitusta sekalaisen jätteen kaatopaikalle. Tämän vaikutuksesta muiden jätteiden kaatopaikkakelpoisuuteen ei ole tällä hetkellä tietoa.

Ympäristökelpoisuus arvioidaan esimerkkimateriaaliseksi sisältämien haitallisten aineiden pitoisuuksien ja liukoisuustestien (kolonnitestin tai modifioidun diffuusiotestin, pH-staattisten testien) perusteella. Kaatopaikkajätteen vaikutus materiaalin ympäristöominaisuuksiin on erikseen arvioitava, jos eristerakennekerrokset ovat kosketuksessa kaatopaikkajätteen suotoveden kanssa. Erityisesti mahdollisen pH-muutoksen vaikutuksen merkitys rakenneominaisuuksiin tulee entistä tarkemmin arvioitavaksi (esim. sekajätteen hapan suotovesi, tuhka- ja kaatopaikkojen usein emäksisen veden vaikutus). Lisäksi sekajätteen kaatopaikalla suotoveden sisältämät liukoiset orgaaniset aineet (DOC) ja kompleksimuodostajat eivät saa lisätä haitta-aineiden liukoisuutta tai muuttaa materiaalin pitkäaikaisominaisuuksia.

Tässä tutkimuksessa on arvioitu ainoastaan esimerkkimateriaalin ympäristökelpoisuutta pintarakenteen tiivistyskerrokseen. Seoksen valmistuksessa käytettyjä jätemateriaaleja ei ole tässä tutkimuksessa erikseen tutkittu, vaan tämän työn lähtökohtana on ollut se, että käytetyt jätemateriaalit eivät ole ongelmajätteitä. Esimerkkimateriaalin sisältämien kriittisten haitta-aineiden tunnistamiseksi on metallien kokonaispitoisuuksia verrattu mm. maaperän saastuneisuuden arvioin-

nissa käytettäviin ohjearvoihin (Assmuth 1997, Puolanne *et al.* 1994). Liukoisuustestien tuloksia on verrattu sekä pysyvän että tavanomaisen jätteen kaatopaikkasijoitukselle esitettyihin raja-arvoihin että luvussa 4 ehdotettuihin kelpoisuusvaatimuksiin. Ympäristökelpoisuustutkimuksen analyysituloksista on yhteenveto liitteessä F. Biohajoavuustutkimuksen tulokset esitetään kohdassa 5.4.

Jätteiden käyttö eristemateriaaleissa on luvanvaraista toimintaa, josta jätehuoltoviranomainen päättää tapauskohtaisesti huomioiden erityisesti kaatopaikan sijainnin ja kaatopaikkaolosuhteet. Myös viihtyvyyteen vaikuttavat tekijät, kuten mahdolliset hajuhaitat, tulee ehkäistä rakentamisvaiheessa, varsinkin jos kaatopaikan sijainti on lähellä asutusta.

Seuraavissa kohdissa esitetyt kelpoisuusarviot on tehty esimerkinomaisesti. Näytteistä saatuja tuloksia ei voida yleistää, koska eristemateriaalien resepteistä, niiden lähtöaineiden alkuperästä tai laatuvaihteluista ei ole tietoa.

5.3.3.2 Esimerkkimateriaali A: Kuitusavi

Esimerkkimateriaali on siistauslietettä. Siistauslietettä muodostuu siistattaessa keräyspaperia uusiomassaksi. Siistausliete sisältää lyhyiden kuitujen lisäksi jätepaperista useimmiten vaahdotuksella poistettua painomustetta sekä täyte- ja päällystysaineita.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen haitallisten aineiden kokonaispitoisuusmääritysten mukaan kuitusavinäytteessä ei ollut merkittäviä pitoisuuksia tutkittuja metalleja. Ympäristötutkimuksissa seurattiin seuraavia aineita: sulfaatti, kloridi, DOC, alumiini, natrium, molybdeeni, kupari, kadmium, kromi, lyijy, nikkeli, sinkki ja barium. Näiden aineiden liukoisuutta arvioitiin kolonnitestien perusteella sekä pH-muutosten vaikutusta pH-staattisten testisarjojen perusteella. Modifioidun diffuusiotestin suorittaminen ei ollut kyseessä olevan materiaalin osalta mahdollista materiaalin paisumisen vuoksi. Tulokset on esitetty kuvassa 7 ja taulukossa 23.

Tutkittujen liukoisten aineiden määrää on tässä verrattu EU:n kaatopaikkakelpoisuuskkriteereihin (taulukko 10) ja tässä projektissa mineraaliselle tiivistyskerrokselle ehdotettuihin ympäristökelpoisuuskkriteereihin (taulukko 13). Kuitusavesta kolonnitestissä liukenevien metallien ja suolojen pitoisuudet olivat hyvin pieniä eivätkä ylittäneet DOC:a lukuun ottamatta EU:n kriteerejä pysyvän ja tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikkakelpoisuudelle tai tässä raportissa mineraaliselle pintatiivistyskerrokselle annettuja raja-arvoja. pH-staattisten testisarjojen saatujen tulosten perusteella pH-olosuhteet eivät vaikuttaneet lisäävästi liuenneiden metallien tai suolojen pitoisuuksiin.

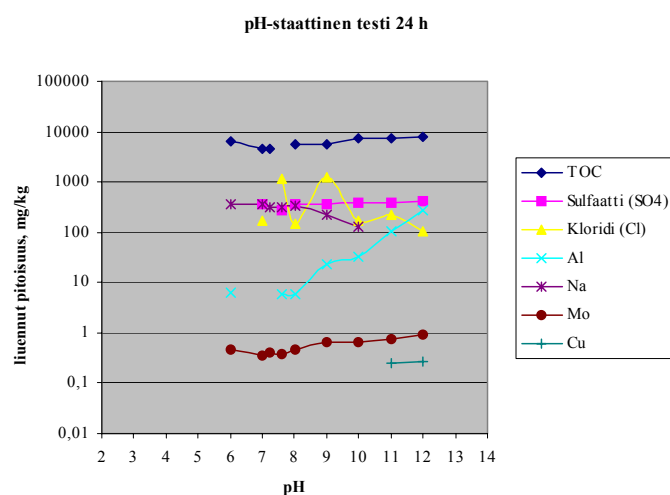
Kuitusavi sisältää orgaanista ainetta (mm. kuituja), minkä vuoksi savesta liukenee orgaanista hiiltä (DOC). Esimerkkiseoksen DOC-pitoisuus ylitti EU:n kriteerit pysyvän ja tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikkakelpoisuudelle. Sekalaisen orgaanisen ja epäorgaanisen jätteen

kaatopaikalle sijoitettavalle jätteen DOC-pitoisuudelle ei ole annettu EU:ssa raja-arvoa. Kuitusaven vesiseoksen pH-arvo ei pH-alueella 6–9 vaikuttanut merkittävästi DOC:n liukoisuuteen. Korkeammassa pH-arvoissa DOC kasvoi hieman.

Taulukko 23. Esimerkkimateriaalin ”kuitusavi” liukoisuustestitulokset kolonnitestiin osalta kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10 ja pintarakenteessa käytettävän mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalille ehdotetut ympäristökelpoisuuskriteerit.

	Eristeluokka II	
	Kuitusavi	Kelpoisuuskriteeri- ehdostus (taulukosta 13)
L/S-suhde	10	10
pH (testin lopussa)	7,3	ei annettu
Haaita-aineet, mg/kg		
Ba	3,9	60
Cd	< 0,02	0,04
Cr	< 0,1	1,5
Cu	< 0,1	6
Pb	< 0,2	1,5
Mo	< 0,3	1,5
Ni	< 0,1	1,2
Zn	< 0,1	12
SO ₄ ²⁻	250	6 000
Cl ⁻	46	2 400
DOC	15 000	500 ¹⁾

1) ei sovelleta nyt lopettaville sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikalle



Kuva 7. Esimerkkimateriaalin ”kuitusavi” pH-staattisen testisarjan tulokset.

VTT:n käsityksen mukaan nyt suljettavilla kaatopaikoilla DOC-pitoisuutta ei tarvitse ottaa huomioon, koska nykyisen suomalaisen orgaanisen ja sekalaisen jätteen kaatopaikan suotovesi sisältää runsaasti DOC:tä. VTT:n käsityksen mukaan kuitusavea voidaan ympäristöominaisuuksien perusteella käyttää tällä hetkellä käytössä olevien suljettavien sekalaisen jätteen kaatopaikkojen pintarakenteita. Kuitusaven käyttö epäorgaanisen jätteen kaatopaikan pintakerroksissa edellyttää riskinarviointia.

5.3.3.3 Esimerkkimateriaali B: Lentotuhka-kuitusavi-sakka

Ympäristötutkimuksissa seurattiin seuraavia aineita: sulfaatti, kloridi, DOC, alumiini, natrium, molybdeeni, kupari, kadmium, kromi, lyijy, nikkeli, sinkki ja barium. Liukoisten aineiden määrää arvioitiin kolonnitestien, modifioitujen diffuusiotestien ja pH-staattisten testisarjojen perusteella. pH-staattisen testin suorittaminen ei ollut mahdollista, koska esimerkkimateriaalin B alle 7:n pH-arvoissa materiaalin puskurikapasiteetti on suuri. Tulokset esitetään taulukoissa 24a ja b ja kuvassa 8.

Liukoisten aineiden määrää voidaan verrata taulukoissa 10 ja 12 esitettyihin ohjearvoihin. Massan kelpoisuutta pintarakenteen tiivistyskerroksessa voidaan periaatteessa arvioida sekä kolonnitestin että diffuusiotestin perusteella.

Kolonnitestissä ja modifioidussa diffuusiotestissä liukenevat sulfaatti-, kloridi- ja molybdeenipitoisuudet ylittävät tässä raportissa mineraaliselle pintatiivistyskerrokselle annetut kriteerit.” Lentotuhka-kuitu-sakka”-massalla on suuri neutralointikapasiteetti, esimerkiksi pH-arvossa 9 oli happokulutus yli 1 mol/kg. pH-staattisten testisarjojen saatujen tulosten perusteella metallien liukoisuudet eivät pH-alueella yli 9 ylittäneet tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annettuja kelpoisuuskriteerejä.

”Lentotuhka-kuitusavi-sakka”-massasta liukenevat sulfaatti- ja molybdeenipitoisuudet ovat esteenä materiaalin käytölle pintarakenteessa.

Taulukko 24a. Esimerkkimateriaalin ”Lentotuhka-kuitusavi-sakka” modifioidun diffuusiotestin tulokset (mg/m²/64 d) ja pintarakenteessa käytettävän mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalille ehdotetut ympäristökelpoisuuskriteerit.

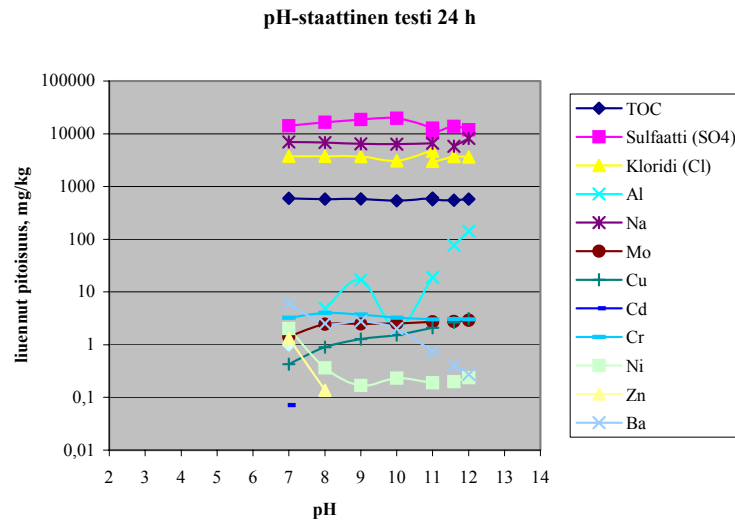
	Eristeluokka I: Modifioitu diffuusioteesti		
	Lentotuhka-kuitusavi-sakka		Ympäristökelpoisuus-kriteeriehtotus
Testikappale	R1	R2	
Varastointiaika	1,6 kk	1,6 kk	
Suodoksen pH (testin lopussa)	9,9	10,5	ei annettu
Haitta-aine, mg/m²/64 d			
Ba	-	-	2 000
Cd	-	-	3,8
Cu	49–51	56–58	170
Mo	99	110	62
Pb	- ¹⁾	-	400
Zn	- ¹⁾	-	670
SO ₄ ²⁻	340 000	370 000	100 000
Cl ⁻	250 000	190 000	70 000
DOC	14 000	19 000	arvioitava erikseen

¹⁾ pienet pitoisuudet todettu tuoreiden kappaleiden diffuusioteesteissä

Taulukko 24b. Esimerkkimateriaalin ”Lentotuhka-kuitusavi-sakka” kolonnitesti tulokset (L/S 10) ja pintarakenteessa käytettävän mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalille ehdotetut ympäristökelpoisuus-kriteerit.

	Eristeluokka II: Kolonnitesti L/S 10	
	Lentotuhka-kuitusavi-sakka	Ympäristökelpoisuus-kriteeriehtotus
Suodoksen pH (testin lopussa)	11,6	
Haitta-aine, pitoisuus, mg/kg		
Ba	0,23	60
Cd	< 0,02	0,04
Cu	4,3	6
Mo	2,7	1,5
Pb	< 0,2	1,5
Zn	< 0,2	12
SO ₄ ²⁻	16 000	6 000
Cl ⁻	3 500	2 400
DOC	1 200	500 ¹⁾

¹⁾ ei sovelleta nyt lopettaville sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikalle



Kuva 8. Esimerkkimateriaalin ”Lentotuhka-kuitusavi-sakka” pH-staattisen testisarjan tulokset.

5.3.3.4 Esimerkkimateriaali C: Hydrostab

Ympäristötutkimuksissa seurattiin seuraavia aineita: sulfaatti, kloridi, DOC, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. Liukoisten aineiden määrää arvioitiin kolonnitestien, modifioitujen diffuusiotestien sekä pH-staattisten testisarjojen perusteella. Tulokset esitetään taulukoissa 25a ja b ja kuvassa 9.

Liukoisten aineiden määrää voidaan verrata taulukossa 10 ja 13 esitettyihin ohjearvoihin. Massan kelpoisuutta tiivistekerroksessa voidaan arvioida sekä kolonnitestin että diffuusiotestin perusteella.

Massoista liuenneet sulfaattipitoisuudet ylittivät mineraaliselle tiivistekerrokselle taulukossa 13 esitetyt raja-arvot. Sen sijaan massoista kolonnitestissä tai modifioidussa diffuusiotestissä liukenevien metallien pitoisuudet olivat hyvin pieniä; esim. kolonnitestissä liuenneet metallipitoisuudet eivät ylitä EU:n kriteerejä pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuudelle eivätkä modifioidun diffuusiotestissä liuenneet metallipitoisuudet tässä julkaisussa mineraaliselle pintatiivistyskerrokselle esitettyjä kriteerejä.

Taulukko 25a. Esimerkkimateriaalin ”Hydrostab” modifioidun diffuusiotestin tulokset (mg/m²/64 d) ja pintarakenteessa käytettävän mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalille ehdotetut ympäristökelpoisuuskaiteerit.

	Eristeluokka I: Modifioitu diffuusiotesti		
	Esimerkkimateriaali: Hydrostab		Ympäristökelpoisuuskaiteeriehtotus
Testikappale	R1	R2	
Ikä	1 kk	1 kk	
Suodoksen pH (testin lopussa)	8,3	8,2	
Haitta-aine, mg/m²/64 d			
Cu	< 10	< 10	170
Ni	< 10	< 10	170
Pb	< 20	< 20	400
Zn	< 10	<20	670
SO ₄ ²⁻	110 000	120 000	100 000
Cl ⁻	60 000	55 000	72 000
DOC	24 000	15 000	arvioitava erikseen

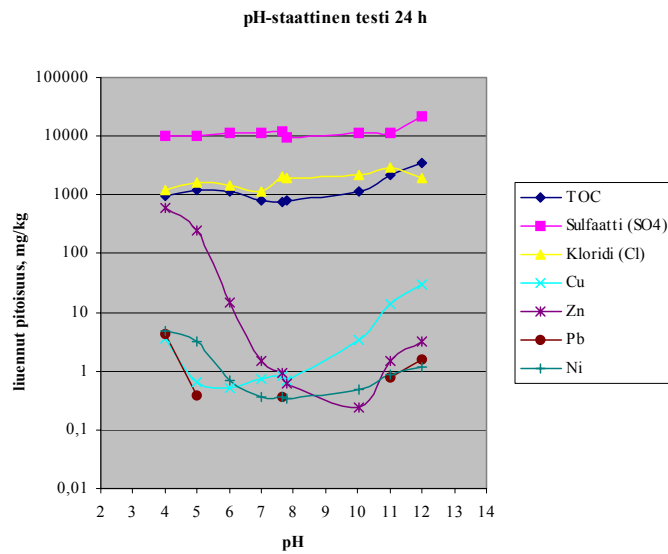
Taulukko 25b. Esimerkkimateriaalin ”Hydrostab” kolonnitesti tulokset (L/S 10) ja pintarakenteessa käytettävän mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalille ehdotetut ympäristökelpoisuuskaiteerit.

	Eristeluokka II: Kolonnitesti L/S 10	
	Esimerkkimateriaali: Hydrostab	Ympäristökelpoisuuskaiteeriehtotus
Suodoksen pH (testin lopussa)	8,9	
Haitta-aine, mg/kg		
Cu	<0,1	6
Ni	<0,1	1,2
Pb	<0,1	1,5
Zn	<0,1	12
SO ₄ ²⁻	7 500	6 000
Cl ⁻	770	2 400
DOC	800 # ¹⁾	500 ²⁾

¹⁾ pienet pitoisuudet todettu tuoreiden kappaleiden diffuusiotesteissä

²⁾ ei sovelleta nyt lopettaville sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikalle

mitattu pH-arvossa 8 (pH-staattisesta testistä)



Kuva 9. Esimerkkimateriaalin ”Hydrostab” pH-staattisen testisarjan tulokset.

Massat ovat taulukon 10 mukaan kaatopaikkakelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Liuennut DOC-pitoisuus oli kuitenkin lähellä tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle (B1b) sijoitettaville jätteille annettua kelpoisuusrajaa. Hydrostab-massalla on suuri neutralointikapasiteetti; esimerkiksi pH-arvossa 6 oli happokulutus yli 1 mol/kg. pH-staattisista testisarjoista saatujen tulosten perusteella metallien liukoisuudet eivät pH-alueella yli 6 ylittäneet tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle annettuja kelpoisuuskuoreja.

Hydrostab-massasta liukenevat sulfaatti- ja kloridipitoisuudet ovat esteenä materiaalin käytölle pintarakenteessa. Metallien liukoisuudet pysyivät pieninä kaikissa testeissä. Liukoisesta DOC:n pitoisuutta on tarkkailtava, jos massaa käytetään tavanomaisen ja epäorgaanisen jätteen kaatopaikan pintarakenteissa.

5.4 Biohajoavuustutkimukset

5.4.1 Hajoavuus anaerobitestissä

Testimenetelmä perustuu anaerobihajoamisessa muodostuvan biokaasun (hiilidioksidi ja metaani) mittaamiseen (sovellettu standardeista ISO/DIS 14853 ja ASTM D 5210-92). Tutkittavaa näytettä inkuboidaan hapettomissa olosuhteissa +35°C:ssa 120 ml:n head space -pulloissa mineraalisuolaliuoksessa, johon on lisätty anaerobilietteen mikrobeja. Hajoamisessa muodostunut biokaasu mitataan epäsuorasti mittaamalla paineen muutosta kokeen aikana. VTT Biotekniikassa käytössä oleva koelaitteisto esitetään kuvassa 10. Jokaiseen head space -pulloon on kytketty painanturi, joka rekisteröi pullon paineen tunnin välein tietokoneelle (Hänninen, 1997).



Kuva 10. Anaerobitestissä käytetty koelaitteisto.

Näytteen biohajoavuus voidaan laskea seuraavasti:

$$\text{Näytteen biohajoavuus \%} = m_h/m_{\text{teor}} \times 100\% , \quad (1)$$

jossa

m_h on näytteen hajoamisessa muodostunut hiili (hiilidioksidi + metaani), mg

m_{teor} on näytteen sisältämä orgaaninen hiili, mg.

Näytteen hajoamisessa muodostunut hiili koostuu sekä kaasutilan sisältämästä hiilidioksidista ja metaanista sekä liuoksen sisältämästä hiilidioksidista ja metaanista:

$$m_h = m_l + m_g. \quad (2)$$

Kaasutilaan muodostunut hiilidioksidi ja metaani määritetään ideaalikaasuyhtälön avulla, kun tiedetään paineen lisäys kokeen aikana:

$$m_g = \frac{p V M}{R T} . \quad (3)$$

jossa p on paine

V on kaasun tilavuus reaktorissa

M on metaanin/hiilidioksidin sisältämän hiilen molekyylipaino, 12 g/mol

R on yleinen kaasuvakio

T on lämpötila.

Tutkittava näytemäärä oli n. 400 mg/l orgaanisena hiilenä laskettuna ja jokaisesta näytteestä oli kokeessa mukana 5 rinnakkaista näytettä (Taulukko 26). Kokeessa on mukana positiivikontrollina Whatman-selluloosa, joka tiedetään biohajoavaksi materiaaliksi. Koska jokaisessa biohajoavuskokeessa on mukana sama positiivikontrolli, voidaan sen hajoamisesta tehdä päätelmiä kokeen onnistumisesta ja esimerkiksi mikrobisiirrosteen toimivuudesta. Mikrobisiirrosteena käytetty anaerobiliete oli peräisin Suomenojan jätevedenpuhdistamolta. Liette suodatettiin sideharson läpi ja sitä inkuboitiin anerobikaapissa noin viikon ajan taustahiilen vähentämiseksi. Lisäksi kokeessa oli vertailunäytteenä kuitulietteestä kananlannasta ja puunkuoresta valmistettu komposti, jota oli kompostoitu 10 viikkoa. Komposti oli ohittanut aktiivisimman hajoamisvaiheen, mutta sen lämpötila ja hiilidioksidintuottoaktiivisuus olivat vielä melko voimakkaat. Kompostin kypsyyden toteamiseen käytetyssä ASTM-hapenkulutustestissä ASTM D 5975-96 (Determining the stability of compost by measuring oxygen consumption) tämän kompostin hapenkulutus oli 53,4 mg O₂/g vs/4d ja Solvita-testissä kompostin kypsyysindeksi oli 5, mikä merkitsee aktiivista kompostia.

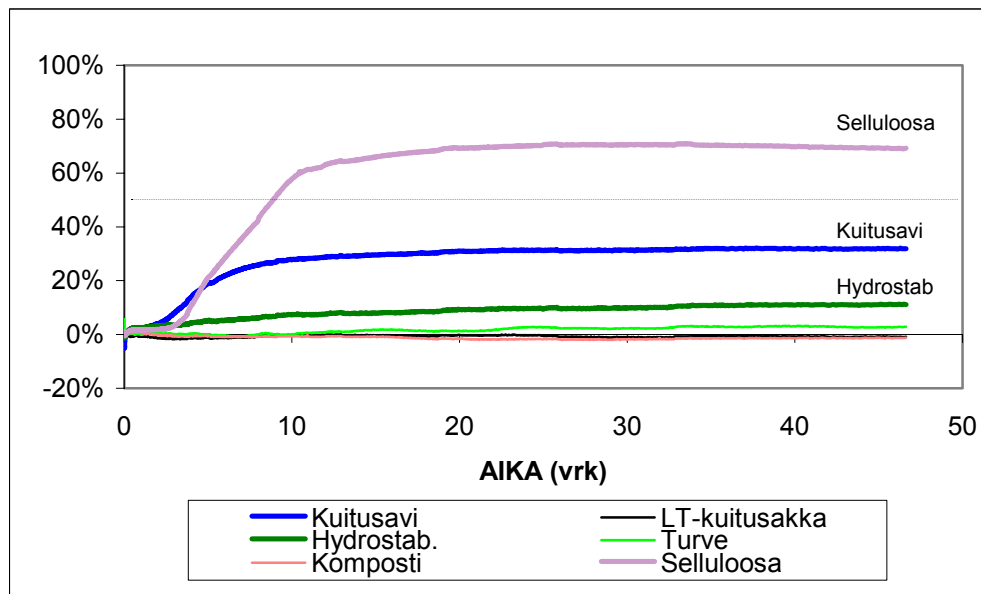
Taulukko 26. Anaerobihajoavuustestin näytteet.

Näyte	TOC-% saapumistilainen näyte	Kuiva-aine-%	TOC-% kuiva näyte
Kuitusavi	17	98,7	17,2
LT-kuitusakka	3,3	93,3	3,5
Hydrostab	4,8	66	7,3
Turve	51,7	94,2	54,9
Whatman 3M selluloosa	-	-	44
komposti (0124/5)	33,2	30,4	34

Positiivikontrolli alkoi hajota 3 vuorokauden lag-vaiheen jälkeen ja biohajoavuus oli kokeen lopussa 70,9 +/- 2,5% (Kuva 11). Näytteistä eniten hajosi kuitusavi, jonka hajoamisessa oli 2 vuorokauden lag-vaihe ja jonka hajoavuus 46 päivän jälkeen oli 32,1 +/- 2,1%. Biokaasun muodostuminen tapahtui pääasiassa ensimmäisen 10 vuorokauden aikana, jonka jälkeen hajoaminen oli hyvin vähäistä. Positiivikontrollin hajoaminen täyttää ASTM standardin vaatimuksen yli 70 % hajoavuudesta. Kuvassa 11 ja taulukossa 27 biohajoavuus on ilmoitettu orgaanista hiiltä kohden. Tulosten tarkastelussa on huomattavaa, että LT-kuitusakka- ja Hydrostab-näytteissä orgaanisen hiilen pitoisuus oli erittäin alhainen ja näin ollen hajonneen materiaalin osuus kokonaisnäytemäärästä hyvin pieni. Anaerobikokeessa biohajoavuus on yleisesti ottaen alempi kuin aerobisessa testissä. Esimerkiksi kompostinäytteen hapenkulutus 53,4 mg O₂/g haihtuvaa kiintoainetta 4 vuorokaudessa vastaa 3,5 %:n biohajoavuutta, kun tässä kokeessa kompostin anaerobihajoavuus oli 1,2 %.

Näytteen mahdollinen toksisuus ja siitä johtuva hajoitajamikrobiston inaktivoituminen on mahdollinen virhelähde sekä anaerobisessa että aerobisessa biohajoavuustestissä. Tämä mahdollisuus korostuu erityisesti näytteillä, joiden orgaanisen hiilen pitoisuus on matala ja joita laitetaan tes-

tiin suurena pitoisuutena. Tässä tutkimuksessa ei selvitetty näytteiden toksisuutta ja mahdollista siirrosten inaktivoitumista. Mahdollisia menetelmiä toksisuuden toteamiseksi on verrata tunnetusti hajoavan referenssinäytteen, referenssin ja tutkittavan näytteen seosten hajoamista tai selvittää näytteen toksisuus erillisellä toksisuustestillä, kuten Flash-valobakteeritestillä (Kapanen ja



Itävaara 2001, Lappalainen et al. 1999).

Kuva 11. Näytteiden biohajoavuus anaerobitestissä. Katkoviivalla on merkitty 50 %:n raja.

Taulukko 27. Näytteiden biohajoavuus 46 päivässä.

Näyte	Biohajoavuus (%)	Keskihajonta (%)	Näytteen hajoavuus positiivikontrolliin verrattuna (%)
Kuitusavi	32,1	2,1	45,3
LT-kuitusakka	0,2	2,0	0,3
Hydrostab	11,3	1,1	15,9
Turve	5,7	2,6	8,0
Whatman 3M -selluloosa	70,9	2,5	100
Komposti (0124/5)	1,2	1,9	1,7

6. Eristemateriaalien ympäristökelpoisuuden osoittamismenettely

Lähtökohtana on, että materiaalit ovat teknisesti kohteeseen soveltuvia. Lisäksi perusedellytys on, että materiaalit ovat kaatopaikkakelpoisia ko. kaatopaikkaluokkaan.

Taulukossa 28 on luettelo ympäristökelpoisuuden osoittamiseen liittyvistä seikoista, jotka pitää ottaa huomioon suunniteltaessa hyötykäyttöä kaatopaikkarakenteissa. Jokainen sovellus on erilainen ja tapauskohtaisuutta on syytä korostaa. Lopullisen päätöksen jätteen hyötykäytöstä tekee aina jätehuoltoviranomainen.

Taulukko 28. Eristemateriaalin ympäristökelpoisuuden osoittamismenettelyn työvaiheet.

Toimintavaihe	Selvitettävät tiedot / huomioitavat tai dokumentoitavat asiat	Vastuutaho
Taustatiedot	<ul style="list-style-type: none"> • Perustiedot jätteen muodostumisprosessista • Tiedot lähtömateriaaleista (arviot materiaaliominaisuuksista, koostumus, laatuvaihtelut) 	Jätteen tuottaja/hyödyntäjä
Näytteenotto	<ul style="list-style-type: none"> • Laadunvaihtelun selvittäminen • Näytteenottosuunnitelma 	Jätteen tuottaja, asiantuntija, viranomainen
Testaustarve ja testausohjelma	<ul style="list-style-type: none"> • Suunniteltu käyttötapa (materiaalin ja rakennekrroksen geotekniset tiedot) • Jätteen koostumus • Haitta-aineiden kokonaispitoisuuksien määrittäminen (mg/kg) • Jätteen ja haitta-aineiden yleiset ominaisuudet ja ympäristöominaisuudet • Sijoittamisen yleiset riskit (tarkasteltavat ympäristöolosuhteiden määrittäminen) • Testaustarpeen arvioiminen • Soveltuvien menetelmien valinta (menetelmien soveltuvuusalue, rajoitukset, ks. Taulukko 8) • Sopivan liukoisuustestin / sopivien testien valinta (karakterisointitestit / laadunvalvontatestit) • Analysoitavien komponenttien valinta (esim. liukenevat haitta-aineet) 	Jätteen tuottaja, asiantuntija, testauslaboratorio
Testaus	<ul style="list-style-type: none"> • Esikäsittely • Näytekappaleiden valmistus modifioitua diffuusiotestiä tai sellitestiä varten • Ympäristökelpoisuustestaus soveltuvilla menetelmillä 	Testauslaboratorio
Tulosten ja kelpoisuuden arviointi	<ul style="list-style-type: none"> • Testien riittävyyden ja soveltuvuuden arvioiminen ja toteaminen (luvun 4 periaatteiden mukaan) • Kelpoisuusarviointi 	Testauslaboratorio, asiantuntija
Riskinarviointi (tarvittaessa)	<ul style="list-style-type: none"> • Riskinarvioinnin laajuuden arviointi huomioiden materiaalin ja sijointiympäristön erikoispiirteet (ks. kohta 4.5) • hyväksyttävän riskitason määrittely 	Asiantuntija, viranomainen
Laaduntarkkailuohjelman laatiminen	<ul style="list-style-type: none"> • Karakterisointitestien ja laadunvalvontatestien välisten korrelaatioiden selvittäminen • Laadunvalvontaohjelma 	Asiantuntija
Hyväksymismenettely		Viranomainen

Lähdeluettelo

- Anon. 1992. The applicability, stability and effectiveness of asphalt landfill linings.
- Al-Tabbaa, A. & Aravinthan, T. 1998. Natural clay-shredded tire mixtures as landfill barrier Materials. *Waste Management*, Vol. 18, No. 1, s. 9–16.
- Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä – tiedolliset perusteet, määrittelyperiaatteet, soveltaminen, kehittäminen. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 92. 56 s.
- ASTM D 5210-92. Standard test method for determining the anaerobic biodegradation of plastic materials in the presence of municipal sewage sludge.
- Ballivy, G., Rouis, J. & Breton, D. 1992. Use of cement residual kiln dust as landfill liner. *Cem. Ind. Proc. 1st Int. Symp. Solutions Waste Manage. 1992*. Ed. by Piggott, Robert W. Can. Portland Cem. Assoc, Toronto, Canada. S. 99–118.
- Belouschek, P. & Novotny, R. 1989. Zur Chemie von pulverförmigem Wasserglas und seinen Folgeprodukten: Kieselsäuresole und -gele in Wasser als Ausgangsmaterial fuer die Herstellung einer hochwertigen mineralischen Abdichtungsschicht aus bindigen Boeden. *Muell Abfall*, Vol. 21, No. 12, s. 636, 638–640, 642–643.
- Belouschek, P., Loenz, P. & Kuegler, J. U. 1990. Testing of water glass-modified lining systems from wastes and recycling materials *Gewaesserschutz. Wasser, Abwasser*, 118 (Anal. Festst.-Abfall-Altlasten), s. 205–28.
- Belouschek, Peter, Kuegler, Jost Ulrich & Novotny, Rudolf. 1990. Water glass for landfill liners. *Umwelt*, 20(7–8), s. 387–388.
- Bracci, G., Paci, B. & Giardi, M. 1995. Paper mill sludge used as daily cover in landfills. *Proceeding Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, Italy*, 2–6 October 1995.
- Burnell, Barry N. & Mcomber, Gary. 1997. Used tires as a substitute for drainfield aggregate. *ASTM Spec. Tech. Publ. 1997, STP 1324 Site Characterization and Design of On-Site Septic Systems*. S. 207–216.
- Canty, G. A., Atalay, A., Laguros, J. G., Robertson, J. & Pandey, K. K. 1995. A preliminary assessment of utilizing fluidized bed ash in landfill liner applications. *J. Environ. Sci. Health, Part A: Environ. Sci. Eng. Toxic Hazard. Subst. Control*, Vol. A30, No. 2, s. 439–459.

Day, M. 1996. Automobile shredder residue, a low cost alternative to soil as a landfill day cover material. Paper from Proc. 18th Canadian Waste Management Conf. On The Evolution of Waste Management to Pollution Prevention and Resource Recovery, Winnipeg, Manitoba, Canada, 21–24 Oct. 1996. Canadian Environment Industry Association (CEIA).

EN 12457 part 1-4. Characterization of Waste – Leaching – Compliance Test for Leaching of Granular Materials and Sludge, European Committee for Standardization (CEN), 2002.

ENV 12920. Characterisation of waste – Methodology for the determination of the leaching behaviour of waste under specified conditions. European Committee for Standardization (CEN), 1997.

Espoon vesi. 2002. Teollisuusjätevesien johtaminen yleiseen viemäriin Espoossa. Tiedote 1.3.2002.

Giroud, P., Zornberg J. G. & Zhao A. 2000. Hydraulic design of geosynthetic and granular liquid collection layers. *Geosynthetic international*, Vol. 7, Nos. 4–6.

Guyonnet D., Perrochet P., Côme B., Seguin J.-J. & Parriaux A., 2001. On the hydro-dispersive equivalence between multi-layered mineral barriers. *Journal of contaminant hydrology* 51, s. 215–231.

Haahti, H. 1997. Merentutkimuslaitos. Suullinen tiedonanto 20.11.1997.

Hänninen, T. 1997. Anaerobihajoavuuden analysointi PC-pohjaisella laitteistolla. *Insinööriyö*, Espoon–Vantaan teknillinen oppilaitos, 29.5.1997.

ISO/DIS 14853. Plastics – Determination of the ultimate anaerobic biodegradability in an aqueous system – method by measurement of biogas production.

Jonmaire, P., Hahn, G., Siener, T. & Zimmern, J. 1996. Paper mill sludge used as daily cover in landfills. *Hazardous and Industrial Wastes*. Paper from Proc. 28th Mid-Atlantic Industrial Waste Conf., Buffalo, NY, USA, 14–17 Jul. 1996. Weber, A. S. (ed). Technomic.

Kapanen, A. & Itävaara, M. 2001. Ecotoxicity tests for compost applications. *Ecotoxicol. Environ. Saf., Environ Res. Sect. B* 49, s. 1–16.

Koerner R. M. & Daniel D. E. 1997. *Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps*. ASCE, Thomas Telford.

Kooper, W. (ed.) 1999. *From funnel to sieve. Remediation goal appraisal process*. Ministerie van volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. Suomen geokemian atlas, Osa 1. Suomen pohjavesien hydrokemiaallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 66 s.

Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. & Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, Osa 3. Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 149 s.

Lappalainen, J., Juvonen R., Vaajasaari, K. & Karp, M. 1999. A new flash method for measuring toxicity of solids and colored samples. *Chemosphere*, 38 (5), s. 1069–1083.

Laubenstein, Joseph W. 1995. Utilization of short paper fiber (SPF) in the manufacturing of synthetic soil used for capping landfills. WEF/AWWA Jt. Residuals/Biosolids Conf., Proc., 4th. S. 6/9–6/14.

Miljøstyrelsen 1995. Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og drikkevand. Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen. Nr 12.

Miljøstyrelsen 1995. Okotoksikologiske jordkvalitetskriterier. Miljø- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen. Nr. 13.

Motz, H., Merkel, T. & Geiseler, J. Utilisation of Fine Grained Steel Slags for Mineral Sealing Products – Laboratory and Practical Investigations. Forschungsgemeinschaft Eisenhuetten-schlacken Bliersheimer Str. 62, 47229 Duisburg, Nordrhein–Westfalen.

Moo-Young, F., Horace K., Jr. & Zimmie, Thomas. 1996a. Environ. Laboratory testing of paper sludge landfill covers. Proc. 3rd Int. Symp. Geotechnol. 1996, Volume 1. S. 475–484.

Moo-Young, Horace K. Jr. & Zimmie, Thomas F. 1996b. A municipal landfill cover with a paper sludge barrier layer. *Hazard. Ind. Wastes* (1996), 28th, s. 646–654.

Moo-Young, Horace K. Jr. & Zimmie, Thomas F. 1996c. Laboratory testing of paper sludge landfill covers Environ. Proc. 3rd Int. Symp. Geotechnol. 1996, Volume 1. Ed. by Fang, Hsai-Yang & Inyang, Hilary I. S. 475–484.

Moo-Young, Horace K. Jr. & Zimmie, Thomas F. 1996. Effects of freezing and thawing on the hydraulic conductivity of paper mill sludges used as landfill covers. *Can. Geotech. J.*, 33(5), s. 783–792.

Mroueh, U.-M., Eskola, P., Vahanne, P., Wahlström, M., Ojaniemi, U., Mäkelä, E., Harmaajärvi, I., Korkiala-Tanttu, L. & Nieminen, J., Maa-alueiden puhdistamistarve kaupunkialueilla. Cityinfra-tutkimusprojekti, VäliRaportti, 12.3.2002.

Mroueh, U.-M., Mäkelä, E., Wahlström, M., Kauppila, J., Sorvari, J., Heikkinen, P., Salminen, R., Juvankoski, M & Tammirinne, M. 2000. Sivutuotteet maarakenteissa – Käyttökelpoisuuden osoittaminen. *Teknologiakatsaus* 93/2000. 48 s. + liitt. 37 s.

- Mulder, E. 1991. The leaching behaviour of some primary and secondary raw materials used in pilot-scale road bases. In: *Waste Materials in Construction*, Ed. Goumans, J. J. J. M., van der Sloot, H. A. & Aalbers, Th. G. *Studies in Environmental Science* 48. Amsterdam: Elsevier. S. 255–264.
- Muller, M. & Onnich, K. 1996. Coal fly ash as a component of landfill base liners. *Wasser Boden*, Vol. 48, No. 3, s. 43–46.
- Mäkelä, E., Wahlström, M., Mroueh, U.-M., Keppo, M. & Rämö, P. 1995. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteiden ja lentotuhkan hyötykäyttö maarakentamisessa. *VTT Julkaisuja* 809. 78 s. + liitt. 8 s.
- Nhan, C. T., Graydon, J. W. & Kirk, D. W. 1997. Utilizing coal fly ash as a landfill barrier material. *Waste Management*, (N.Y.), 16(7), s. 587–595.
- NEN 7343. 1992. Leaching characteristics of building materials and solid waste material – Leaching tests – Determination of leaching characteristics of inorganic components from granular and building waste materials. Delft: NNI.
- NT ENVIR 002. 1995. Solid waste, granular inorganic material: Column test. Espoo: Nordtest.
- NT ENVIR 005. 1998. Leaching test procedure for granular waste materials: Serial Compliance Batch Leaching Test.
- NVN 7347. 1999. Leaching characteristic of solids earthy and stony building and waste materials – Leaching tests – Determination of the leaching of inorganic components from compacted granular materials. Delft: NNI.
- NT ENVIR 007. 2004. Solid waste, granular inorganic material: Up-flow percolation test using a flexible wall permeameter. Espoo: Nordtest.
- Okoli, R. E. & Balafoutas, G. 1999. Bottom ash from sludge cake as a barrier material to pollutant migration in landfills. *Waste Management & Research*, Vol. 17, No. 4, s. 288–295.
- Orkas J., Vehmas, M., Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J. 2001. Valimoiden ylijäämähiekan hyötykäyttö ja sijoituskelpoisuus, Osa 2. TKK-VAL-1. Teknillinen korkeakoulu, Valimotekniikan laboratorio, Espoo, 2001. 48 s. + liitt. 14 s.
- Palmer, B. G., Edil, T. B. & Benson, C. H. 2000. Liners for waste containment constructed with class F and C fly ashes. *J. Hazard. Mater.*, Vol. 76, No. 2–3, s. 193–216.
- Paul, B. C., Esling, S., Pisani, F. & Wells, T. 1995. Use of fluidized bed combustion by-products for liners and Alkali substitutes; technical report, March 1 – May 31, 1995. Rept No. DOE/PC/92521-T242. USA. 13 s.

Puolanne, J., Pyy, O. & Jeltsch, U. 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa, Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti; loppuraportti, Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto, Muistio 5 1994, Painatuskeskus Oy, Helsinki. 218 s.

Qian X., Koerner R. M. & Gray D. H. 2002, Geotechnical aspects of landfill design and construction. Prentice Hall.

Quiroz, Juan D., Zimmie, Thomas F. & Rosenthal, Benjamin D. 2000. Field hydraulic conductivity of a paper mill sludge hydraulic barrier using two stage borehole tests. In: International Conference on Practical Applications in Environmental Geotechnology, *ecogeo* 2000. Ed. by Tammirinne, M. Espoo: VTT Symposium 204. S. 143–149.

Rivard-Lentz, David J., Sweeney, Lesley R. & Demars, Kenneth R. 1997. Incinerator bottom ash as a soil substitute: physical and chemical behavior. ASTM Spec. Tech. Publ. STP 1275 Testing Soil Mixed with Waste or Recycled Materials. S. 246–262.

Rowe R. K., Barone F. S. & Hrapovic L. 1997. Laboratory and field studies of salt diffusion through a composite liner. Proceedings Sardinia 97.

Saarela J. 1997, Hydraulic approximation of infiltration characteristics of surface structures on closed landfills. Monographs of the boreal environment research No. 3. ISBN 952-11-0961-0.

Schmucker, B. O. & Buffalini, R. J. 1995. Pulverized glass and landfill liner systems. WASTE AGE, Vol. 26, No. 4, s. 251–262.

SNV (Naturvårdsverket), 1996. Generella riktvärden för förorenad mark. Beräkningsprinciper och vägledning för tillämpning. Efterbehandling och sanering. Rapport 4683.

SYKE 2002. Asfalttiset tiivistysrakenteet, esiversio. 2002 Suomen ympäristökeskus.

SYKE 2001. Kaatopaikkojen lopettamisopas. Ympäristöopas 89, Suomen ympäristökeskus. 109 s.

SYKE 1998. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Ympäristöopas 36. Suomen ympäristökeskus. 141 s.

SYKE. 1999. Third international workshop on the use of paper industry sludges in environmental geotechnicology and construction. Proceedings, 1–4 June 1999, Finland. Haavikko, K., Zimmie, T. F., Saarela, J. & Tähtinen, M. (eds.). Suomen ympäristökeskuksen moniste 186.

TS 14405. Characterization of waste – Leaching behaviour tests – Up-flow percolation test. European Committee for Standardization (CEN), 2004.

Vaajasaari, K., Dahlbo, H., Joutti, A., Schultz, E., Ahtiainen, J., Nakari, T., Pönni, S. & Nevalainen, J. 1998. Liukoisuus- ja biotestit jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä: loppuraportti. Tampere: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 202. 84 s.

Valtioneuvoston päätös (861/97) kaatopaikoista. Annettu Helsingissä 4 päivänä syyskuuta 1997.

van der Sloot, H. (ECN, Hollanti). Suullinen tiedonanto 24.3.2003.

Vipulanandan, C. & Elton, D. J. (eds). 1998. Recycled materials in geotechnical application. Proc. Geo-Congress 98, Boston, MA, USA, 18–21 Oct. 1998. Geotechnical Special Publication No. 79. American Society of Civil Engineers (ASCE). 227 s.

Vogel, P. 1994. Muellverbrennungsaschen für hydraulisch verfestigte Tragschichten. Entsorgung von Schlacken und sonstigen Reststoffen. Berlin – Bielefeld – München: Schmidt, E. S. 183–187.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Walavaara, M. & Vahanne, P. 2001. Teollisuusjätteiden kaatopaikkakelpoisuus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2086. 69 s. + liitt. 19 s.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J. 1997. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1852. 78 s. + liitt. 12 s.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J. 1996a Standardoidut liukoisuustestimenetelmät maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien ympäristötestauksessa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1801. 44 s. + liitt. 16 s.

Ympäristöministeriö, 1998. Ympäristöministeriön lausuntopyyntö 8.10.1998 (Diaarinro 9/400/98) ehdotuksesta valtioneuvoston päätökseksi maa-alueen ja sen maaperän saastuneisuuden selvittämiseksi ja puhdistustarpeen arvioinnista.

Liite A: Yhteenveto EU:n kaatopaikkakelpoisuuskriteereistä

EU:n kaatopaikkadirektiivin liitteen 2 kelpoisuusvaatimukset on hyväksytty joulukuussa 2002. Voimaan k.o. kriteerit tulee saattaa viimeistään heinäkuussa 2005. Yhteenveto kaatopaikkakelpoisuuskriteereistä on esitetty seuraavissa taulukoissa. EU-tasolla ei ole annettu vaatimuksia sekalaiselle tavanomaiselle jätteelle, jossa on sekä orgaanista että epäorgaanista ainesta. Jätteiden kelpoisuusstandardit tällaiselle kaatopaikalle asetetaan jäsenvaltioiden tasolla.

Viite: EU:n kaatopaikkadirektiivin liite on julkaistu Euroopan yhteisöjen virallisessa lehdessä L011, 16/01/2003, s. 0027–0049.

Taulukko 1. Liukoisuuskriteerit kahdelle L/S-suhteelle. Testimenetelmänä kolonnitesti TS14405 tai CEN-ravistelutesti EN12457.

JÄTELUOKKA	PYSYVÄN JÄTTEEN KAATOPIAKKA (Luokka A)		TAVANOMAISEN JÄTTEEN KAATOPIAKKA alaluokka: epäorgaanisen jätteen kaatopaikka (luokka B1b) (Jätteen orgaanisen tai biohajoa- van aineksen osuus on alhainen)		VAARALLISEN JÄTTEEN SIIJOITUS TAVANOMAISEN JÄTTEEN KAATOPIAKALLE alaluokka: epäorgaanisen jätteen kaatopaikka (luokka B1b)		VAARALLISEN JÄTTEEN KAATOPIAKKA (luokka C)	
	L/S-suhde 2	L/S-suhde 10	L/S-suhde 2	L/S-suhde 10	L/S-suhde 2	L/S-suhde 10	L/S-suhde 2	L/S-suhde 10
Yksikkö								
Arseeni	0,1	0,5	0,4	2	0,4	2	6	25
Barium	7	20	30	100	30	100	100	300
Kadmium	0,03	0,04	0,6	1	0,6	1	3	5
Kromi (kok.)	0,2	0,5	4	10	4	10	25	70
Kupari	0,9	2	25	50	25	50	50	100
Elohopea	0,003	0,01	0,05	0,2	0,05	0,2	0,5	2
Molybdeeni	0,3	0,5	5	10	5	10	20	30
Nikkeli	0,2	0,4	5	10	5	10	20	40
Lyijy	0,2	0,5	5	10	5	10	25	50
Antimoni	0,02	0,06	0,2	0,7	0,2	0,7	2	5
Seleen	0,06	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	4	7
Sinkki	2	4	25	50	25	50	90	200
Kloridi, Cl ⁻	550	800	10 000	15 000	10 000	15 000	17 000	25 000
Fluoridi, F ⁻	4	10	60	150	60	150	200	500
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	560	1 000*	10 000	20 000	10 000	20 000	25000	50 000
Fenoli-indeksi	0,47	1						
Liuenut orgaaninen hiili, DOC [#]	240	500	380	800	380	800	480	1 000
Kiintoainepitoisuus, TDS**	2 500	4 000	40 000	60 000	40 000	60 000	70 000	100 000

mitattu säädetyssä (neutraalissa) pH-arvossa

*) vaihtoehtoisesti kolonnitestin ensimmäisen fraktion (L/S 0,1) sulfaattipitoisuus enintään 1500 mg/l ja sulfaatin liukoisuus L/S-suhteessa 10 on enintään 6 000 mg/kg

**) liuenneiden aineiden kokonaismäärän arvoja voidaan käyttää sulfaatti- ja kloridiarvojen sijasta.

Taulukko 2. Muut kriteerit.

JÄTELUOKKA	PYSYVÄN JÄTTEEN KAATOPIAIKKA	TAVANOMAISEN JÄTTEEN KAATOPIAIKKA alaluokka: epäorgaanisen jätteen kaatopaikka (Jätteen orgaanisen tai biohajoavan aineksen osuus on alhainen)	VAARALLISEN JÄTTEEN SIJOITTAMINEN TAVANOMAISEN JÄTTEEN KAATOPIAIKALLE	VAARALLISEN JÄTTEEN KAATOPIAIKKA
pH			>6	
Hehkutushäviö 550°C				10 %*)
TOC	3 %**		5 % ***)	6 %***)
BTEX	6 mg/kg			
PCB	1 mg/kg			
Mineraaliöljy (C10- C40)	500 mg/kg			
PAH-yhdisteet	Jäsenvaltioiden asettavat rajat			
Haponneutralointika- pasiteetti (ANC)			Arvioitava	Arvioitava

*) käytettävä joko hehkutushäviötä tai orgaanisen hiilen kokonaispitoisuutta (TOC)

***) maaperälle voidaan sallia korkeampi raja-arvo, jos liukoisuustestissä liuenneelle DOC:lle esitetty enimmäispitoisuus täyttyy (ks. Taulukko 1)

**) jätteelle voidaan sallia korkeampi raja-arvo, jos liukoisuustestissä liuenneelle DOC:lle esitetty enimmäispitoisuus täyttyy (ks. Taulukko 1)

Liite B: Maarakentamisessa käytettävien mineraalisten sivutuotteiden liukoisuudelle esitetyt kriteerit

Suomessa ei ole esitetty liukoisuustesteille virallisia ohjearvoja jätteiden tai sivutuotteiden sijoituskelpoisuuden osoittamiseksi. Taulukkoihin 1 ja 2 on koottu sekä Suomen ympäristökeskuksen v. 2000 esittämät enimmäisliukoisuusohjearvot teollisuusjätteiden käytölle maarakentamisessa (Sorvari 2000) että Suomessa aikaisemmin yleisesti sovelletut hollantilaisten aikaisemmin sivutuotteille esittämät maarakentamiskäytön ohjearvosuosituksukset (Aalbers *et al.* 1993).

Taulukossa 1 on esitetty **granuloiduille tai rakeiselle materiaaleille** annetut enimmäisliukoisuusarvot. Ohjearvot on annettu kolonnitestissä (NEN7343, NT ENVIR 002) liuenneiden aineiden määrille (L/S 10). Kyseiset ohjearvot on esitetty esimerkkitapaukselle, jossa materiaalin paksuus sijoituskohteessa on 0,7 metriä. Tiukemman enimmäisliukoisuusohjearvon (ryhmä 1) alittuessa kolonnitestillä tutkittua materiaalia voidaan käyttää lähes rajoituksetta maarakentamisessa. Väljemmän enimmäisliukoisuusohjearvon (ryhmä 2) alittuessa materiaalia voidaan käyttää maarakentamisessa siten, että veden pääsy materiaaliin on estetty ja materiaali ei ole kosketuksissa pohjaveden kanssa (hollantilainen sijoitusvaatimus vähintään 0,5 metriä pohjaveden tason yläpuolelle).

Taulukko 1. Kolonnitestille esitetyt (kumulatiivinen L/S 10) enimmäispitoisuusehdotukset **granuloitujen jätteiden tai sivutuotteiden** käytölle maarakentamisessa. Ohjearvot on laskettu esimerkkitaipaukselle, jossa materiaalikerroksen paksuus sijoituskohteessa on 0,7 m. (Aalbers et al. 1993, Sorvari 2000).

	Kolonnitestissä liuenneille aineille annetut enimmäispitoisuusohjearvot, mg/kg			
Haitta-aine	Hollantilaiset enimmäispitoisuusohjearvot		SYKE:n esittämät enimmäis-pitoisuusohjearvot	
	Ryhmä 1*	Ryhmä 2**	Ryhmä 1	Ryhmä 2
Arseeni (As)	0,88	7,0	0,14	0,85
Barium (Ba)	5,5	58	10	28
Kadmium (Cd)	0,032	0,066	0,011	0,015
Koboltti (Co)	0,42	2,5	1,1	2,5
Kromi (Cr)	1,3	12	2,0	5,1
Kupari (Cu)	0,72	3,5	1,1	2,0
Elohopea (Hg)	0,018	0,076	0,014	0,032
Molybdeeni (Mo)	0,28	0,91	0,31	0,50
Nikkeli (Ni)	1,1	3,7	1,2	2,1
Lyijy (Pb)	1,9	8,7	1,0	1,8
Antimoni (Sb)	0,045	0,43	0,12	0,40
Seleen (Se)	0,044	0,10	0,060	0,098
Tina (Sn)	0,27	2,4	0,85	3,1
Vanadiini (V)	1,6	32	2,2	10
Sinkki (Zn)	3,8	15	1,5	2,7
Kloridi (Cl ⁻)	600	8 800	250	Ei annettu
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	750	22 000	1500	Ei annettu
Fluoridi (F ⁻)	13	100	11	25
Bromi (Br ⁻)	2,9	4,1	Ei annettu	Ei annettu
CN-vapaa	0,013	0,076	0,06	0,098
CN-kompleksi	0,067	0,38	ei annettu	Ei annettu

* ryhmä 1: lähes rajoitukseton käyttö maarakentamisessa

** ryhmä 2: käyttö maarakentamisessa siten, että veden pääsy materiaaliin on estetty ja materiaali ei ole kosketuksissa pohjaveden kanssa.

Taulukossa 2 on esitetty **kiinteytetylle materiaalille** ehdotetut enimmäisliukoisuusohjearvot. Ohjearvot on annettu diffuusiotestissä (NEN 7345) liuenneiden aineiden määrälle. Hollantilaiset arvot on esitetty kahdelle sijoitusryhmälle: sijoitusryhmässä IA (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) ja IB (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoituspaikkoihin). Suomen ympäristökeskuksen esittämä arvo kiinteytetylle materiaalille on laskettu sijoituspaikalle, joka on ajoittain kostea.

Taulukko 2. Diffuusiotestille esitetyt enimmäisliukoisuusohjearvoehdotukset **kiinteyte-**
tyille rakennusmateriaaleille, joissa diffuusiokerroin on alle 10^{-11} m/s.

Aine	Kiinteä rakennusmateriaali ($V > 50 \text{ cm}^3$) Enimmäispitoisuusohjearvot, $\text{mg/m}^2/64 \text{ d}$		
	Hollantilaiset enimmäispitoisuusohjearvot		SYKEN esittämät enimmäispitoisuusohjearvot
	Ryhmä 1A	Ryhmä 1B	
Arseeni (As)	41	140	58
Barium (Ba)	600	2 000	2 800
Kadmium (Cd)	1,1	3,8	2,1
Koboltti (Co)	29	95	280
Kromi (Cr)	140	480	550
Kupari (Cu)	51	170	250
Elohopea (Hg)	0,4	1,4	1,6
Molybdeeni (Mo)	14	48	70
Nikkeli (Ni)	50	170	270
Lyijy (Pb)	120	400	210
Antimoni (Sb)	3,7	12	36
Seleeni (Se)	1,4	4,8	14
Tina (Sn)	29	95	280
Vanadiini (V)	230	760	700
Sinkki (Zn)	200	670	330
Bromi (Br)	29	95	Ei annettu
Kloridi (Cl)	18 000	54 000	Ei annettu
Fluoridi (F)	1 300	4 400	2 800
Sulfaatti (SO_4^{2-})	27 000	80 000	Ei annettu
CN-kompleksi	7,1	24	Ei annettu
CN-vapaa	1,4	4,8	14

Kirjallisuus

Aalbers, Th.G., de Wilde, P.G.M., Rood, G.A., Vermij, P.H.M., Saft, R.J., van den Beek, A.I.M., van de Broeckman, M.H., Masereeuw, P., Kamphuis, Ch., Dekker, P.M. & Valtinjn, E. 1993. Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire ouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewateren-bescherming. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, RIVM-rapport no 771 402 006. 456 s.

Sorvari, J. 2000. Ympäristökriteerit mineraalisten teollisuusjätteiden käytölle maarakentamisessa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 421. 119 s. + liitt. 25 s.

Liite C: Kaatopaikkavesien laatu Suomessa

1. Kaatopaikkojen suotovesille asetetut lupamääräykset

Kaatopaikoilta viemäriin tai ympäristöön johdettaville suotovesille ei Suomessa ole asetettu varsinaisia haitta-ainekohtaisia lupamääräyksiä. Kaatopaikkojen ympäristöluvut edellyttävät kuitenkin kaatopaikan suoto- ja valumavesien johtamista siten, ettei niistä aiheudu vaaraa tai haittaa alueen pinta- tai pohjavesille eikä alueen maaperälle. Lisäksi kaatopaikalta aiheutuvaa kuormitusta on vähennettävä ohjaamalla kaatopaikan ulkopuoliset puhtaat sade- ja sulamisvedet niskaojien ym. rakenteiden avulla kaatopaikka-alueen ohi. Kaatopaikoilta viemäriin johdettavien ja niiden pinta- sekä pohjavesien tarkkailutulokset raportoidaan yleensä vuosittaisessa yhteenvetoreportissa, joka toimitetaan ympäristöviranomaiselle viimeistään seuraavan vuoden maaliskuun loppuun mennessä. Jos analyysituloksissa on tavallisuudesta poikkeavia pitoisuuksia, niistä on tiedotettava välittömästi. Lisäksi viranomainen voi antaa tarvittaessa tarkkailua koskevia määräyksiä ja päättää mahdollisesta vesienkäsittelyn tehostamisesta tai tarkkailun lopettamisesta tarkkailutulosten perusteella.

Kaatopaikan suotovesille on asetettu myös muutamissa tapauksissa raja-arvoja eri aineille. Raja-arvot voivat olla liitettyinä kaatopaikkavesien puhdistusmenetelmään ja sen tarkkailuun, kuten Metsä-Tuomelan jäteasemalla Nurmijärvellä. Lisäksi asetettujen raja-arvojen avulla voidaan arvioida, pärjääkö kaatopaikka omien, yksinkertaisimpien, ns. luonnollisten puhdistusmenetelmien avulla. Näin tehdään Mõmossenin kaatopaikalla Sipoossa, jossa kaatopaikkavesille asetettujen raja-arvojen ylitykset voivat johtaa puhdistuksen tai viemäröinnin järjestämiseen, kuitenkin viranomaisen harkinnan mukaan (Suunnittelukeskus 2000).

Ulkomailla kaatopaikkavesien käsittelylle on annettu raja-arvoja jossakin määrin. Raja-arvoja on annettu joko vesien johtamiselle yleiseen viemäriin tai suoraan vesistöön, mihin liittyen Saksassa, Sveitsissä, Hollannissa ja Itävallassa käytössä olevat käsittelyvaatimukset on esitetty taulukossa 1 (Pelkonen 2002).

Taulukko 1. Kaatopaikoilta suoraan vesistöön johdettavien suotovesien käsittelyvaatimukseen liittyvät raja-arvot eräissä Euroopan maissa (Pelkonen 2002).

Aine	Vesistöön johdettavien kaatopaikkavesien käsittelyvaatimukset, mg/l			
	Saksa	Sveitsi	Hollanti	Itävalta
COD	200	-	-	75
BOD	20	20	7–20	20
SO ₄	-	300	500	-
TKN	70	-	8–15	-
NH ₄ -N	50	-	4–8	-
NO ₂ -N	2	0,3	1–4	1,5
Pb	0,5	0,5	0,05	1
Cd	0,1	0,1	0,003	0,1
Cr(IV)	0,1	0,1	0,075	0,1
Cr, tot	0,5	2,1	-	2,1
Cu	0,5	0,5	0,05	1
Ni	0,5	2	0,1	2
Hg	0,05	0,01	0,0005	0,01
Zn	2	2	0,2	3
Sn	-	2	-	2
Fe	-	2	-	2
AOX	0,5	-	-	-
Fenoli	-	0,05	-	0,1
Kok. hiilivedyt	10	10	-	-
CN	0,2	-	-	-
S	1	-	-	-
P, tot	3	-	-	-

2. Kaatopaikoilla muodostuvien suotovesien laatu ja laatuvaihtelut

Kaatopaikkavesien laatu riippuu lähinnä kaatopaikalle sijoitettujen jätteiden laadusta ja kaatopaikalla vallitsevista olosuhteista, kuten jätetäytön hajoamisvaiheesta ja iästä. Yhdyskuntajätteiden kaatopaikoilla syntyville suotovesille tyypillisiä piirteitä ovat korkea orgaanisen aineksen pitoisuus nuorilla ja matala pitoisuus vanhoilla kaatopaikoilla. Ammoniumtypen, fosforin ja kloridien pitoisuudet eivät sen sijaan ole riippuvaisia jätetäytön iästä. Metallien liukeneminen jätteistä suotovesiin on seurausta suotovesien pH:n laskusta, mikä on todennäköisintä nuorilla kaatopaikoilla (Suomen ympäristökeskus 2001). Taulukossa 2 on esitetty Suunnittelukeskuksen (2000) kirjallisuudesta keräämiä pitoisuustietoja laimentumattomille kaatopaikkavesille.

Taulukko 2. Kaatopaikkojen suotovesien pitoisuustietoja Suomesta (Suunnittelukeskus 2000).

Parametri	Yks.	Kirjallisuustietoja suomalaisista tutkimuksista (Suunnittelukeskus 2000)			
		Pienin	Keskiarvo	Mediaani	Suurin
Sähkönjoht.	mS/m	5,0	160	150	820
Kloridi	mg/l	4,8	220	130	1 800
pH	-	2,8	-	7,0	8,6
Alkaliteetti	mmol/l	1,0	15	-	36
COD _{Mn}	mg/l	7,0	230	-	1 200
COD _{Cr}	mg/l	40	390	200	2 200
TOC	mg/l	0,04	180	-	590
BOD ₇	mg/l	< 1	270	-	3 900
P-kok	µg/l	< 16	513	-	3 900
N-kok	mg/l	5,0	74	-	370
NH ₄ -N	mg/l	-	33	6,4	340
F	mg/l	< 0,1	3,30	-	44
SO ₄	mg/l	< 1	110	-	1 000
Al	µg/l	600	4 600		12 700
As	µg/l	-	9,50	< 6	760
B	µg/l	-	500	250	2 900
Hg	µg/l	< 0,01	-	-	-
Cd	µg/l	< 0,01	0,80	< 6	70
K	mg/l	-	66	43	650
Ca	mg/l	-	67	-	-
Co	µg/l	-	35	30	260
Cr	µg/l	-	71	15	7 000
Cu	µg/l	-	22	20	190
Pb	µg/l	-	0,70	3,0	63
Mg	mg/l	24	42	-	60
Mn	µg/l	80	1 600	1 400	81 000
Na	mg/l	-	120	73	750
Ni	µg/l	-	260	12	3 200
Fe	mg/l	< 0,1	23	6,1	150
Zn	µg/l	-	1 200	90	110 000
AOCL	µg/l	-	160	37	3 200
AOX	µg/l	-	510	-	-
2,4,6-TCP	µg/l	-	0,82	0,09	6,00
2,3,4,6-TeCP	µg/l	-	0,74	0,10	5,60
PCP	µg/l	-	0,15	0,08	3,00
Kresolit	µg/l	-	78,00	4,20	870
Syanidi	µg/l	-	< 5	62	650
PCB	µg/l	-	0,49	< 0,05	3,80

3. Esimerkkitapaukset

3.1. *Tarastenjärven kaatopaikka, Pirkanmaan Jätehuolto Oy*

Tarastenjärven kaatopaikka sijaitsee Tampere–Orivesi-tien varressa Näsijärven valuma-alueella. Kaatopaikan täyttöalueen pinta-ala on noin 30 ha. Vuosittainen kaatopaikalle tuotava jätemäärä on lähes 200 000 t/a, ja yhteensä vuoteen 1999 mennessä kaatopaikalle on läjitetty 3 300 000 m³ jätettä. Kaatopaikka on viemäroity vuonna 1983. Viemäriin johdettavien kaatopaikkavesien määrä on ollut vuosina 1996–1999 vuorokausittain 195–490 m³ ja vuosittaisella tasolla 71 000–179 000 m³. Kyseiset vedet sisältävät kaatopaikkavesien ohella pintavalumavedet biojätteen kompostointialueelta ja ovat suuruudeltaan vastanneet noin 50–80 %:a alueelle kohdistuvasta sadannasta (Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2001).

Kaatopaikalta viemäriin johdettujen ja alueen pintavesistöjä sekä pohjavesiä kuormittavien kaatopaikkavesien haitta-ainepitoisuudet esitetään taulukossa 3. Suotovesien pitoisuudet esitetään keskimääräisinä arvoina sekä vaihteluväleinä vuosilta 1996–2001. Pintavesistön tiedot ovat peräisin Tiikonojassa ja Merjanlahteen laskevassa ojassa sijaitsevista tarkkailupisteistä ja pohjavesien tiedot vuonna 2000 neljästä ja vuonna 2001 yhdestätoista pohjavesiputkesta (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2001 ja 2002)

3.2. *Ämmässuon kaatopaikka, YTV*

Ämmässuon kaatopaikka sijaitsee Helsinki–Turku-moottoritien varrella Espoossa. Kaatopaikan pinta-ala on noin 50 ha ja jätteiden hyötykäyttöalueen pinta-ala noin 20 ha. Vuosittain Ämmässuolle tuodaan jätettä noin 680 000 t/a, josta 85–90 % menee kaatopaikalle. Kaatopaikalle sijoitettujen jätteiden yhteismäärä oli 2001 noin 7,3 Mm³. Kaatopaikalta viemäriin johdettujen vesien määrä on viime vuosien aikana hieman kasvanut. Vuosina 1999, 2000 ja 2001 kaatopaikkavesiä on viemäroity 210 000 m³, 242 000 m³ ja 333 000 m³, mikä vuorokauteen suhteutettuna tarkoittaa 580 m³/d, 660 m³/d ja 910 m³/d. Vuonna 2001 on kaatopaikan pohjarakenteen kalvon alapuoliset vedet johdettu viemäriin, mikä on syynä huomattavaan vesien määrän kasvamiseen (Vesihydro Oy 2000, 2001 ja 2002).

Taulukossa 4 esitetään Ämmässuon kaatopaikan viemäriin johdettujen vesien sekä pinta- ja pohjavesien laatutietoja vuosilta 1996–2001. Pintavesistöjen tarkkailupisteitä on seurannassa ollut mukana 7–9 pistettä. Varsinaisen kaatopaikan pohjavesiä tarkkaillaan kahdeksasta pisteestä, joista mitattujen pitoisuuksien keskimääräiset arvot ja vaihteluvälit esitetään myös taulukossa 4. (Vesihydro Oy 2000, 2001 ja 2002)

Taulukko 3. Yhteenveto Pirkanmaan jätehuolto Oy:n Tarastenjärven kaatopaikan viemäriin johdettavien vesien sekä pintavesistö- ja pohjavesitarkkailusta vuosien 1996 ja 2001 välisenä aikana (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2001 ja 2002).

Parametri	Yksikkö	Viemäri-vesien tarkkailu v. 1996–2000		Pintavesistö-tarkkailu v. 2000–2001		Pohjavesitarkkailu v. 2000–2001	
		Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli
Q	l/s	3,9	1,4–7,0	-	-	-	-
pH	-	7,5	7,2–8,1	7	6,3–7,3	6,7	6,1–7,3
S-johtavuus	mS/m	432	272–870	31,25	13–65	155,2	6,1–1050
Sameus	FTU	225	23–485	7,2	3,7–16	28,4	1,1–530
Kiintoaine	mg/l	116	41–220	-	-	-	-
BOD ₇	mg/l	114	23–160	-	-	-	-
COD _{Mn}	mg/l	149	64–500	21	14–29	50,5	1,0–450
COD _{Cr}	mg/l	635	380–1 100	-	-	-	-
Kok-N	mg/l	224	120–580	6,8	2–13	-	-
NH ₄ -N	mg/l	213	74–530	2,05	0,1– 6,9	48,8	0,01–650
NO ₂₃ -N	mg/l	-	-	-	-	6,5	< 0,01–43
Kok-P	mg/l	1,3	0,6–2,3	0,025	0,02–0,04	-	-
Cl	mg/l	349	240–630	41,5	19–50	175,8	< 2–800
Fe	mg/l	-	-	-	0,3–1,4	5,9	0,08–54
Mn	mg/l	-	-	-	-	2,2	< 0,01–13
SO ₄	mg/l	58,3	< 4,0–94	17,8	11–26	33,4	6,5–90
TOC	mg/l	210*	180 – 240*	20,8	19–23	34,6	2,9–81
Cu	mg/l	0,017*	-	0,004	< 0,003–0,006	0,016	0,002–0,065
Ni	mg/l	0,052	0,036–0,1	0,007	0,003–0,013	0,028	< 0,002–0,180
Pb	mg/l	0,003	< 0,001–0,009	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001–0,002
Cr	mg/l	0,061	0,036–0,1	< 0,002	0,001–0,003	0,012	< 0,002–0,160
Cd	mg/l	0,0001	< 0,0001–0,0002	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	< 0,0001–0,0003
Zn	mg/l	0,051	< 0,020–0,1	0,009	0,007–< 0,02	0,015	< 0,005–0,026

* Pirkanmaan Jätehuolto Oy 2001.

Taulukko 4. Yhteenveto pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) Ämmässuon kaatopaikan viemäriin pumpattavien vesien, vesistövesien ja pohjavesien tarkkailusta vuosien 1996 ja 2001 välisenä aikana (Vesihydro Oy 2000, 2001 ja 2002).

Parametri	Yksikkö	Viemäri-vesien tarkkailu v. 1999–2001		Pintavesistö-tarkkailu v. 1996–2000		Pohjavesitarkkailu v. 1996–2000	
		Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli	Keskiarvo	Vaihteluväli
pH		7,6	7,3–7,9	6,5	4,5–7,8	6,1	5,7–7
S-johtavuus	MS/m	696	440–926	48,6	4,1–174,7	14,5	5,8–50,7
Sameus	FTU	96	49–190	14,2	1,3–64,7	-	-
Kiintoaine		-	-	14,0	1,3–63,6	-	-
BOD ₇	mg/l	308	24–800	7,7	1,6–51,8	-	-
COD _{Cr}		1 344	610–2 400	78,5	25,8–156,2	7,9	0,4–98
Kok-N		408	240–750	4,5	0,405–21,0	2,9	0,22–12,07
NH ₄ -N		380	220–720	2,6	0,034–19,5	1,2	0,01–11,4
NO ₃ -N		0,74	< 0,1–2,1	1,1	0,002–7,5	6,0	0,04–24
Kok-P		4,4	1,2–12	0,056	0,003–0,25	-	-
Cl		608	360–880	77,1	3,2–380	6,3	2,4–40,7
Fe		16	11–25	4,5	0,44–14,7	10,5	0,021–85,8
Mn		0,89	0,68–1,3	-	-	-	-
SO ₄		142	33–520	-	-	-	-
TOC		531	210–1 500	37,5	7,7–64	9,8	0,7–122,8
Cu		0,039	0,006–0,084	-	-	-	-
Ni		0,060	0,025–0,14	-	-	-	-
Pb		0,012	0,007–0,019	-	-	-	-
Cr		0,063	0,021–0,11	-	-	-	-
Cd		0,001		-	-	-	-
Zn		0,28	0,14–0,52	0,017	0,009–0,04	0,075	0,009–0,432
Co		0,011	0,005–0,020	-	-	-	-
As		0,012	< 0,001–0,036	-	-	-	-
CN		0,010		-	-	-	-
AOX		0,599	0,33–1,2	-	-	-	-

3.3. Topinojan kaatopaikka, Turun kaupunki

Topinojan kaatopaikka sijaitsee 6 km päässä Turun keskustasta lähellä Kaarinan kaupunginrajaa. Vuonna 1971 käyttöön otetun kaatopaikan kokonaispinta-ala on noin 50 ha. Vuonna 2000 Topinojan kaatopaikalle vietiin noin 136 000 t jätettä, josta täyttöalueelle sijoitettiin noin 91 000 t. Vuonna 2001 vastaavat määrät olivat noin 131 000 t ja 93 500 t. Yhteensä Topinojan kaatopaikalle on sijoitettu jätteitä 2,3 Mm³ (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2000). Topinojan kaatopaikan suoto- ja valumavedet johdetaan Turun kaupungin jätevedenpuhdistamolle käsiteltäviksi. Kaatopaikalta tulevien suotovesien määrää on arvioitu ohitustien (Metsämäen) pumppaamon virtaamien keskiarvoista öiseen aikaan, jolloin pumppaamoon tulevien asumajätevesien määrä on minimissään. Vuonna 2000 kokonaisjätevesimäärä kaatopaikalta oli noin 681 500 m³ (1 870 m³/d) ja vuonna 2001 702 000 m³ (1 920 m³/d). (Vainio 2001 ja 2002).

Kesällä 2002 on Topinojan kaatopaikalle valmistunut uusi vesienhallintajärjestelmä, jossa kaatopaikkavedet kerätään neljän jätevesipumppaamon kautta tasausaltaaseen, josta vedet johdetaan edelleen kaupungin jätevesiviemäriin. Lisäksi kaatopaikan pintakeristyksen rakentamisen yhteydessä alueella toteutetaan kaatopaikkavesien kierrätysjärjestelmä. Näin ollen tulevaisuudessa kaatopaikkavesien määrä ja laatu tulevat muuttumaan tässä esitetyistä arvoista (Karsten 2002). Taulukossa 5 on Topinojan kaatopaikan vesien tarkkailutiedot vuosilta 2000 ja 2001. Kaatopaikan suotovesien laatua on tarkkailtu kolmesta pisteestä, pintavesien laatua kaatopaikkaa ympäröivistä ojista myös kolmesta pisteestä sekä kaatopaikan pohjavesiä neljästä havaintoputkesta. Kaikkien tarkkailutulosten osalta taulukossa esitetään laatuparametrien keskiarvo sekä pienin ja suurin pitoisuus.

4. Suotovedet ulkomailta ja skenaariotarkastelun lähtöpitoisuudet

Kaatopaikan pintakerroksen mineraaliselle eristeelle soveltuvien liukoisuuskriteerien arviointiin on tässä työssä käytetty skenaariotarkastelua, jonka toimintamalli esitetään liitteessä D. Projektissa mukana olleiden esimerkkimateriaalien liukoisuusominaisuuksien vuoksi skenaariotarkastelun mallinnettaviksi aineiksi on valittu sulfaatti (SO₄), kloridi (Cl), barium (Ba), kupari (Cu), molybdeeni (Mo) ja orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus (TOC). Suomalaisilla kaatopaikoilla suotovedestä on usein määritetty SO₄, Cl, Cu ja TOC, kuten myös taulukoista 2–5 havaitaan, mutta barium- ja molybdeenimäärityksiä ei kirjallisuushaun perusteella Suomesta löydy. Näin ollen lähtötietoina skenaariotarkasteluissa on suomalaisten kaatopaikkojen suotovesien pitoisuuksien ohella käytetty tutkimuksia ulkomaisilta kaatopaikoilta, jotka esitetään taulukossa 6.

Taulukko 5. Turun kaupungin Topinojan kaatopaikan suotovesien, pintavesien sekä pohjavesien tarkkailutietoja vuosilta 2000 ja 2001 (Vainio 2001 ja 2002).

Parametri	Yksikkö	Suotovedet (2000–2001)			Pintavedet (2000–2001)			Pohjavedet (2000–2001)		
		Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
pH		7,7	7,4	8,0	7,2	6,6	8,0	7,3	7,1	7,5
S-johtavuus	mS/m	690	330	870	62	11	210	206	90	335
Väri	mg/l Pt	553	140	800	163	30	360	20	8	80
Sameus	FNU	-	-	-	79	7	150	40	10	110
Kiintoaine	mg/l	91,7	7,0	370,0	39,8	4,3	140,0	-	-	-
BOD ₇	mg/l	41,0	3,5	67,0	3,7	1,0	17,0	-	-	-
COD _{Cr}	mg/l	541	230	690	-	-	-	-	-	-
COD _{Mn}	mg/l	-	-	-	11,8	6,4	25,0	5,4	2,2	7,8
Kok-N	mg/l	326,2	71,0	450,0	2,2	0,8	5,2	-	-	-
NH ₄ -N	mg/l	293	15,00	430	0,28	0,01	0,56	2,58	1,20	4,90
NO ₃ -N	mg/l	-	-	-	-	-	-	0,012	0,005	0,061
Kok-P	mg/l	6,9	0,210	50	0,212	0,029	0,590	-	-	-
Cl	mg/l	701	280	910	96	29	410	503	140	920
Fe	mg/l	14,2	0,9	67,0	4,8	0,5	9,6	3,8	1,0	9,7
Mn	mg/l	-	-	-	-	-	-	0,17	0,08	0,36
SO ₄	mg/l	33,5	1,0	66,0	-	-	-	8,6	1,0	24,0
TOC	mg/l	174,9	68,0	290,0	9,0	6,9	17,0	4,4	1,8	8,3
Ni	mg/l	0,043	0,006	0,110	-	-	-	0,003	0,001	0,007
Pb	mg/l	0,004	0,001	0,011	0,003	0,001	0,006	0,008	0,002	0,020
Cr	mg/l	0,035	0,003	0,080	0,008	0,003	0,016	0,003	0,003	0,004
Cd	mg/l	0,0002	0,0001	0,0012	0,0001	0,0001	0,0003	0,0004	0,0001	0,0015
Zn	mg/l	0,136	0,009	0,430	0,046	0,014	0,150	0,090	0,011	0,160
Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0003	-	-	-	0,001	0,000	0,008
As	mg/l	0,010	0,002	0,020	0,002	0,001	0,004	-	-	-
Öljy	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
AOX	mg/l	0,304	0,150	0,410	-	-	-	0,021	0,005	0,045

Taulukko 6. Suotovesien sisältämiä Ba-, Mo-, Cu-, SO₄- ja TOC-pitoisuuksia ulkomaisilla kaatopaikoilla ja muissa tutkimuksissa.

Kaatopaikka	Kaatopaikkaveden sisältämät aineet, mg/l					(viite)
	Ba	Mo	Cu	SO ₄	TOC	
Pirai, Rio de Janeiro, Brasilia	-	-	0,03	1,3	3 411	Ferreira <i>et al.</i> 2001
Thuringia, Saksa	-	-	0–0,002	850–1 300	-	Kulle & Scwherdtfeger 2001
Yachiyo Town, Japani	7,05	-	-	-	-	Ushikoshi <i>et al.</i> 2001
Gipuzkoa ja Bizkaia, Espanja ¹⁾	-	-	0,11	89,5	215	Gómez-Martin <i>et al.</i> 1999
Durban, Etelä-Afrikka, 2 kaatopaikkaa	-	-	< 0,01	48–96	-	Robinson & Strachan 1999
UK ja Irlanti, 5 kaatopaikkaa	-	-	<0,02–0,09	8–222	20,4–2 930	Robinson <i>et al.</i> 1999
Laboratoriomittakaava, Ruotsi ²⁾	0,13–0,43	-	0,058–0,69	-	1 300–17 000	Kylefors & Lagerkvist 1997
Tanska, 4 kaatopaikkaa	0,002–0,034	-	-	7–15	78–540	Jensen & Christensen 1997
Norja, 2 kaatopaikkaa	0,165–0,246	-	0,01–0,019	-	146–592	Maehlum & Haarstad 1997
Soul, Korea ³⁾	0,27–1,08	-	0,02–0,25	870–2 010	1 060–2 380	Chang <i>et al.</i> 1995
Sobacken, Borås, Ruotsi ⁴⁾	0,011–0,148	-	0,002–0,111	-	0,8–24 000	Lagerkvist & Kylefors 1993
Madrid, Espanja, 2 kaatopaikkaa	0,08–3,0	<0,03–<0,1	0,03–0,51	-	-	Sanchez <i>et al.</i> 1993

1) Pitoisuudet ilmoitettu keskiarvoina 9 eri kaatopaikan suotovesistä

2) Pitoisuuksien vaihtelut metanogeenin ja haponmuodostusvaiheen välillä

3) Kaatopaikalle on sijoitettu yhdyskuntajätteen lisäksi myös mm. teollisuuden jätevesilietettä

4) Tutkimuksissa mukana viisi erilaista yhdyskunta- ja teollisuusjäteajetta.

Kaatopaikkojen suotovesien laatu vaihtelee mm. kaatopaikan iän, rakenteen, hoidon, jätteen laadun sekä näytteenottoaikaisten ja -tapojen mukaan. Näin ollen ns. tyypillisen suotoveden laatu-parametrien arvoja on mahdotonta määrittää. Teollisuuden sivutuotteiden ympäristökriteerien arvioinnissa apuna käytetyn skenaariotarkastelun lähtöarvoiksi on otettu 75. prosenttipistettä aineistosta, joka on esitetty tässä liitteessä. Sulfaatin, kloridin, kuparin ja orgaanisen kokonai-shiilen osalta tiedot ovat suomalaisista tutkimuksista (Suunnittelukeskus 2000) sekä Suomen suurimpiin kaatopaikkoihin kuuluvien Tarastenjärven, Ämmässuon ja Topinojan kaatopaikkojen tarkkailu- ja seurantaraporteista. Bariumin ja molybdeenin ulkomaiset lähtötiedot löytyvät taulukosta 6. Skenaariotarkasteluissa käytettävät lähtöarvot on esitetty taulukossa 7 ja ne ovat

- 120 mg/l SO₄
- 630 mg/l Cl
- 1,10 mg/l Ba
- 0,03 mg/l Cu
- 0,10 mg/l Mo ja
- 290 mg/l TOC.

Taulukko 7. Skenaariotarkastelussa käytettävien suotoveden sisältämien aineiden laskenta-arvojen lähtökohdat.

	Huom.	SO ₄ , mg/l	Cl, mg/l	Ba, mg/l	Cu, mg/l	Mo, mg/l	TOC, mg/l
LÄHTEET				<i>Tulokset</i>		<i>Tulokset 2</i>	
Suunnittelukeskus 2000	(taul. 2)	110	220	<i>16 ulkom.</i>	0,022	<i>ulkom.</i>	180
Tarastenjärvi, Pirkanmaan JH Oy	(taul. 3)	58	349	<i>kaato-</i>	0,017	<i>kaato-</i>	210
Ämmässuo, YTV	(taul. 4)	142	608	<i>paikalta.</i>	0,039	<i>paikalta.</i>	531
Topinoja, Turku	(taul. 5)	34	701	<i>ks. taul 6.</i>	-	<i>ks. taul 6.</i>	175
75. PROSENTTIPISTE		118	631	1,11	0,03	0,10	290
Skenaariotarkastelun lähtöarvo		120	630	1,10	0,03	0,10	290

Kirjallisuus

Chang, D., Kim, S.Y., Hur, J.M., Chung, T.H., & Choi, J.G. 1995. Feasibility of Combined Treatment of Leachate from a Mature Codisposal Landfill and its Pretreatment Option. Proceedings Sardinia 1995. 5th International Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol I. S. 499–510.

Ferreira, J.A., Ritter, E., Rosso, T.C.A., Giordano, G. & Campos, J.C. 2001. Treatment of Landfill Leachate Using Biological Filter and Reed Bed System. Proceedings Sardinia 2001. 8th International Waste Management and Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 241–247.

Goméz-Martin, M.A., Antigüedad, I. & Ansoleaga, I. 1999. Physico-Chemical Evolution of Leachate from MSW Landfills in the Basque Country (Spain). Proceedings Sardinia 1999. 7th International Waste Management and Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 89–96.

- Jensen, D.L. & Christensen, T.H. 1997. Speciation of Heavy Metals in Landfill Leachate. Proceedings Sardinia 1997. 6th International Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 161–168.
- Karsten, K. 2002. Kirjallinen tiedonanto 28.8.2002. Turun kaupunki, Jätelaitos.
- Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2001. Yhteenveto Tarastenjärven kaatopaikan kuormitus- ja vesistötarkkailusta vuodelta 2000. Kirje nro 370, 7.5.2001. 12 s. + liitteet.
- Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2002. Vuosiyhteenveto Tarastenjärven kaatopaikan kuormitus- ja vesistötarkkailusta vuodelta 2001. Kirje nro 193, 4.3.2002. 15 s. + liitteet.
- Kulle, E.-P. & Schwerdtfeger, I. 2001. Purification of Low Polluted Landfill Leachate with a Combined Technique Consisting of Compost Filter and Constructed Wetland. Proceedings Sardinia 2001. 8th International Waste Management and Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 257–264.
- Kylefors, K. & Lagerkvist, A. 1997. Changes of Leachate Quality with Degradation Phases and Time. Proceedings Sardinia 1997, 6th International Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 133–149.
- Lagerkvist, A. & Kylefors, K. 1993. Composition and Treatment of Leachates from Different Wastes. Proceedings Sardinia 1993, 4th International Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol I. S. 811–819.
- Lounais-Suomen ympäristökeskus. 2000. Päätös: Turun kaupungin Topinojan kaatopaikan käyttö- ja hoitosuunnitelman, perustilaselvityksen sekä vesien ja kaatopaikkakaasun tarkkailuohjelman hyväksyminen. 23.5.2000.
- Mæhlum, T. & Haarstad, K., 1997. Leachate Treatment in Ponds and Wetlands in Cold Climate. Proceedings Sardinia 1997. 6th International Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 337–344.
- Pelkonen M. 2002. Kaatopaikkavesien käsittely. Julkaisussa: Tanskanen, J.-H. ja Ettala, M. Jätteiden loppusijoituksen tutkimustarpeet Suomessa 2002. Liite 8, Tekesin STREAMS-teknologiaohjelmaan kuuluvan KAATIS-hankkeen jatkoselvitys (18.1.2002) CD-Rom. Suomen ympäristökeskus.
- Pirkanmaan Jätehuolto Oy. 2001. Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n jätteenkäsittelykeskusten YVA. Luettavissa osoitteessa: <http://www.pirkanmaan-jatehuolto.fi/yva>. Luettu 7.8.2002. Päivitetty 10.4.2002.
- Robinson, H.D., & Strachan, L. J. 1999. Simple and Appropriate Landfill Leachate Treatment Strategies in South Africa. Proceedings Sardinia 1999, 7th International Waste Management and Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 269–276.
- Robinson, H.D., Harris, G. R. & Last, S.D. 1999. The Stripping of Dissolved Methane from Landfill Leachates Prior to their Discharge into Sewers. Proceedings Sardinia 1999, 7th International Waste Management and Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 285–293.
- Sanchez Ledesma, D. M., Dorronsoro, J.L., Fernandez-Serrano, M.E. & Herraes, I. 1993. Study of the Leachates Generated by Two Different Landfills Located in the Municipality of Madrid. Proceedings Sardinia 1993, 4th International Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol I. S. 1019–1032.
- Suomen ympäristökeskus. 2001. Kaatopaikkojen lopettamisopas. Ympäristöopas 89, Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 109 s.
- Suunnittelukeskus. 2000. Mõmossen Jätehuolto Oy, Sipoon kunta, Mõmossenin jätteenkäsittelyalueen pinta- ja pohjavesien velvoitetarkkailu. Yhteenveto vuodelta 1999. 26.4.2000.
- Ushikoshi, K., Kobayashi, T., Toji, A., Kojima, D. & Kobayashi, T. 2001. Operating Results and Dioxins Removal Technology for Leachate Treatment by Reverse Osmosis System. Proceedings Sardinia 2001, 8th International Waste Management and Landfill Symposium. Editors Christensen, T.H., Cossu, R. & Stegmann, R. Vol II. S. 383–390.
- Vainio, K. 2002. Turun kaupungin Topinojan kaatopaikan tarkkailututkimus vuonna 2001, Vuosiyhteenveto. Tutkimuslause 194. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Turku. 24 s. + liitteet.
- Vainio, K. 2001. Turun kaupungin Topinojan kaatopaikan tarkkailututkimus vuonna 2000, Vuosiyhteenveto. Tutkimuslause 170. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Turku. 22 s. + liitteet.
- Vesihydro Oy. 2002. Ämmässuon kaatopaikan viemäriin pumpattavien vesien, vesistövesien ja pohjavesien tarkkailu v. 2001. Suppeampi yhteenveto 12.2.2002. 19 s. + liitteet.
- Vesihydro Oy. 2001. Ämmässuon kaatopaikan viemäriin pumpattavien vesien, vesistövesien ja pohjavesien tarkkailu v. 2000. Laajempi yhteenveto 27.2.2001. 22 s. + liitteet.
- Vesihydro Oy. 2000. Ämmässuon kaatopaikan viemäriin pumpattavien vesien, vesistövesien ja pohjavesien tarkkailu v. 1999. Suppeampi yhteenveto 8.2.2000. 19 s. + liitteet.

Liite D: Pintarakenteessa käytetyn sivutuotteen merkitys kaatopaikkapäästöihin – skenaariotarkastelu

1. Yleistä

Skenaariotarkastelulla voidaan arvioida tunnistettujen haittatekijöiden suuruutta (esim. haitta-aineen pitoisuutta kaatopaikan pinta- tai pohjavesissä tai liukenevia aineita sijoituspaikan pinta-alaa kohden) eri aikaväleillä. Tästä voidaan arvioida hetkelliset päästöt tai ns. keskimääräiset päästöt koko tarkasteluajana. Näitä arvioita voidaan verrata vertailuarvoihin, joita pidetään sijoituspaikalla hyväksyttävänä. Vertailuarvoina voidaan käyttää Suomen kaatopaikkavesistä kerättyjä tietoja kaatopaikalta maastoon johdettavan veden pitoisuustasoista ja toisaalta myös jätevesien viemärikelpoisuusvaatimuksia. Kaatopaikkavesien pitoisuustasoista on kerätty tietoja liitteeseen C. Skenaariotarkastelun avulla voidaan myös verrata pinta- ja pintakerrosvalunnan sekä kaatopaikan täytön läpi suotautuvan veden aiheuttamia ympäristökuormia eri rakenneratkaisussa.

Skenaariossa tarkastellaan kaatopaikan rakennetta (massamäärä, kerrospaksuus, sijoitustapa kuten tiivistykset) ja sijoituspaikan olosuhteita (esim. pohjarakenteet, suotoveden kulkeutuminen ympäristöön, sijoituspaikan erityispiirteet) ja alueen käyttö tulevaisuudessa. Skenaariotarkastelussa tulee käydä läpi CEN-metodologiaohjeessa (ENV 12920) esitettyjä näkökohtia. Metodologia-ohje sisältää luettelon mm. jätteiden liukoisuusominaisuuksien tutkimuksissa huomioitavista tekijöistä sekä jätteistä ja sijoituspaikasta tarvittavista taustatiedoista. Käytännössä skenaariotarkastelussa rajataan huomioon otettavat ympäristöolosuhteet sekä laskelmissa tehdään yksinkertaistuksia ja eri tekijöiden vaikutuksista karkeita oletuksia.

2. Lähtötiedot

2.1 Materiaalitiedot

Laskelmat on tehty esimerkkimateriaalille, jossa on lentotuhkaa, soodasakkaa ja kuitusavea. Esimerkkimateriaalin liukoisuustulokset esitetään taulukossa 1, jossa esitetään myös sivutuotteiden sijoituskelpoisuuden arviointia varten annetut kriteerit.

Taulukko 1. Esimerkkimateriaalien liukoisuustestitulokset.

Materiaali	Viite	Testi	Yksikkö	Sulfaatti
Kuitusavi-sakka-tuhkaseos	Kokeellinen työ	Kolonnitesti NEN 7343 (kum. L/S 10)	mg/kg	15 500
		Diffuusiotesti NVN 7347 (1 kk)	mg/m ²	350 000
		Maksimiliukoisuustesti Nordtest ENVIR 003	mg/kg	72 000
		Diffuusiokerroin D _e	m ² /s	4,6 10 ⁻¹²
Kivihiiilen lentotuhka	Wahlström 1992	Kolonnitesti NEN 7343	mg/kg	4 700
	Wahlström 1992	Maksimiliukoisuustesti NEN 7341	mg/kg	7 200
	Oletusarvo	Diffuusiokerroin	m ² /s	10 ⁻¹²
Jätteen polttolaitoksen kuona	Wahlström 1992	Kolonnitesti NEN 7343	mg/kg	1 300
	Wahlström 1992	Maksimiliukoisuustesti NEN 7341	mg/kg	3 900
	Oletusarvo	Diffuusiokerroin	m ² /s	10 ⁻¹²

*) pienet arvot

Viite: Wahlström, M. Leaching tests for waste products. Espoo 1992. Nordtest, NT Techn Report 193. 64 p. (in Swedish)

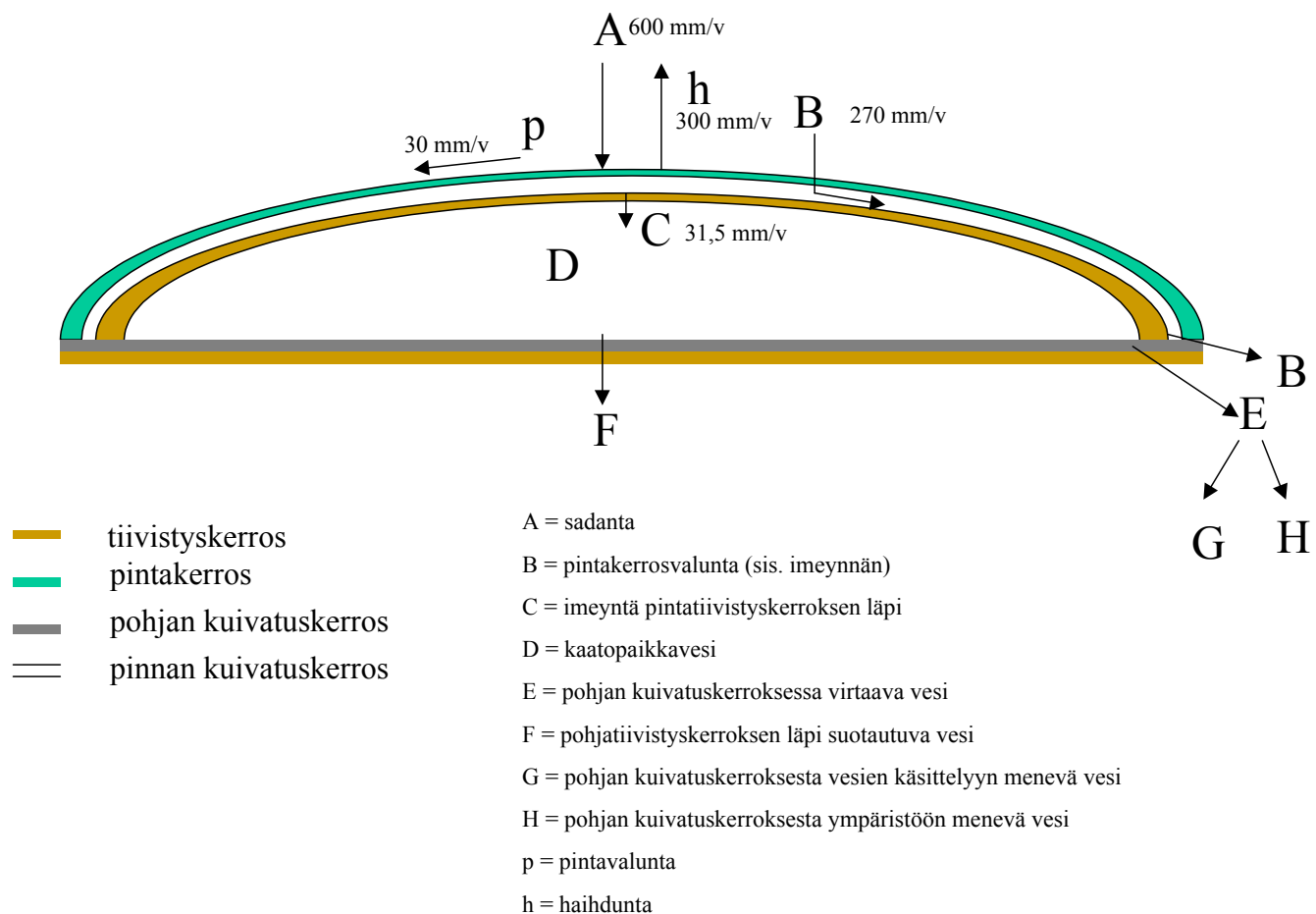
Kaatopaikan täytön oletettiin kestävän 30 vuotta, jonka jälkeen kaatopaikka oletettiin suljettavaksi. Skenaariotarkastelu aloitettiin kaatopaikan sulkemisesta (vuosi 0) ja tarkastelua jatkettiin 70 vuotta. Taulukossa 2 esitetään laskennassa käytetyt lähtöparametrit.

Taulukko 2. Lähtöparametrit.

Hydrologiset parametrit	
Sadanta	600 mm/v
Haihdunta 50,0 %	300 mm/v
Pintavalunta 5,0 %	30,0 mm/v
Pintakerrosvalunta 45,0 %	238,5 mm/v
Imeyntä tiivistyskerroksen läpi 5,25 %	31,5 mm/v
Suotoveden viipymä jätetäytössä 11–15 v.	ei huomioida
Pintaeristekerroksen kyllästyminen 1–3 v.	ei huomioida
Pintakerrosvaluntamatka:	ei huomioida
Kaatopaikan mitat	
Pinta-ala	22 500 m ² (150 m x 150 m)
Korkeus	20 m
Pinnan kaltevuus	5 %
Kaatopaikan täyttöaika	
Täyttöaika	0–30 v
Rakennekerrokset	
Pohjaeriste	1 m savi tai keinotekoinen eriste, $k < 10^{-9}$ m/s (uusi kaatopaikka)
Pintaeriste	0,5 m sivutuote, $k < 10^{-9}$ m/s
Kuivatuskerrokset	VNp:n mukaiset
Kaatopaikkaveden laatu (liite C)	
Sulfaatti	120 mg/l
Kloridi	630 mg/l
TOC	290 mg/l
Barium	1,1 mg/l
Molybdeeni	0,1 mg/l
Kupari	0,03 mg/l

2.2 Kaatopaikan eri kohdissa liikkuvien vesimäärien laskenta

Seuraavassa tarkastelussa laskettiin karkeasti kaatopaikan eri kohdissa liikkuvia vesimääriä. Kuvassa 1 esitetään tarkasteltavat vesivirrat. Tarkastelun helpottamiseksi vesivirtoja kuvattiin kirjainkoodeilla. Kuvassa 1 esitetään tarkasteltavat vesivirrat. Laskennassa on käytetty samoja oletuksia ja laskentaperiaatteita haitta-aineiden kulkeutumisesta ympäristöön kuin EU:n kaatopaikkakelpoisuuskrityerien mallinnusryhmässä. Esimerkki skenaariotarkastelun tuloksista esitetään taulukossa.



Kuva 1. Kaatopaikalla tarkasteltavat vesivirrat.

Vesivirtojen laskentaa varten eristekerrosten ja pohjan salaojan toimivuudesta tehtiin seuraavat oletukset:

1. Pintaeriste

Pintaeristeen läpi menee vettä 31,5 mm/v (5,25 % sadannasta) ensimmäiset 50 vuotta. Tämän jälkeen vuoto kasvaa vähitellen. Vuosina 50–60 vuoto on 116 mm/v (19,3 % sadannasta) ja vuosina 60–70 200 mm/v (33,3 % sadannasta).

2. Pohjan salaoja

Pohjan salaoja on oletettu toimivaksi 10 vuotta 100-prosenttisesti, minkä jälkeen sen toiminta heikkenee vähitellen. Salaoja toimii aikavälillä 10–40 vuotta 50-prosenttisesti ja aikavälillä 40–70 vuotta 20-prosenttisesti. Salaojasta vesi johdetaan jätevedenpuhdistamolle, jonne päätyy 80 % vedestä. Loput 20 % menee ympäristöön. Jätevedenpuhdistamo on toiminnassa 30 vuotta.

3. Pohjaeriste

Pohjaeriste toimii 10 vuotta. Vuosina 10–40 pohjaeristeen läpi menevän veden määrä on 50 % suotoveden määrästä ja vuosina 40–70 80 % suotoveden määrästä.

Kaatopaikan eri kohdissa eri ajanjaksoina kulkevat vesimäärät laskettiin e.m. oletuksia käyttäen. Nämä laskentatulokset esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Kaatopaikan eri kohdissa kulkevat vesimäärät.

Vuodet		0–5	5–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70
Pintakerrosvaluntana, mm/v	B	238,5	238,5	238,5	238,5	238,5	238,5	154,2	70,2
Pintaeristeen läpi, mm/v	C	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	116	200
Kp-vesi, mm/v	D	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	116	200
Pohjan salaojassa, mm/v	E	31,5	31,5	15,75	15,75	15,75	6,3	23,2	40,0
Suotovesien käsittelyyn, mm/v	G	25,2	25,2	12,6	12,6	0	0	0	0
Pohjaeristeen läpi, mm/v	F	0	0	15,75	15,75	15,75	25,2	92,8	160,0
Pohjan salaojasta ympäristöön, mm/v	H	6,3	6,3	3,15	3,15	15,75	6,3	23,2	40,0

Kaatopaikan eri kohdissa kulkevien vesivirtojen sisältämien haitta-ainepitoisuuksien laskenta

Seuraavaksi esitetään kaatopaikan eri kohdissa kulkevien vesivirtojen sisältämien haitta-ainepitoisuuksien laskenta:

Pintakerrosvalunta (B)

Pintakerrosvalunta tarkoittaa pintaeristekerroksen pinnalla tapahtuvaa vesivirtausta. Veteen liukenee (diffusoi) haitta-aineita sen virratessa eristekerroksen pinnalla. Laskennassa ei huomioidu veden valuntamatkaa. Haitta-ainepitoisuudet laskettiin esimerkinomaisesti käyttäen seuraavaa yhtälöä (Dominique Guyonnet, BRGM (Ranska), Suullinen tiedonanto 11.3.2002):

$$C_i(t) = \frac{2\rho P}{q_i} \sqrt{\frac{D^*}{\pi t}}, \quad (1)$$

missä

$C_i(t)$ on veden haitta-ainepitoisuus ajan (t) funktiona [mg/l]

P on haitta-aineen pitoisuus eristemateriaalissa [mg/kg]

ρ on eristemateriaalin tiheys [kg/m³]

D^* on eristemateriaalin diffuusiokerroin [m^2/s]
 q_i on pintakerrosvalunta [mm/v]
 t on aika [s].

Tarkastelussa laskettiin myös kumulatiivisesti pintakerrosvaluntaveden sisältämän sulfaatin määrä.

Kumulatiivinen sulfaatin määrä kiloina ajan funktiona saatiin käyttäen seuraavaa kaavaa (Dominique Guyonnet, BRGM (Ranska), Suullinen tiedonanto 11.3.2002):

$$M(t) = 2\rho C_0 \sqrt{\frac{D^*t}{\pi}}, \text{ missä} \quad (2)$$

C_0 = eristemateriaalin sulfaattipitoisuus = 72 000 mg/kg

Muut symbolit samoja kuin kaavassa 1.

Pintaeristeen läpi kulkeva vesi (C)

Pintaeristeen läpi kulkevan veden haitta-ainepitoisuudet arvioitiin eristemateriaalista tehtyjen kolonniliukoisuustestitulosten perusteella (hollantilainen kolonnitesti, NEN 7343). Testin tuloksena saadaan eri L/S-suhteita (kiinteän aineen ja nesteen suhde) vastaavat haitta-ainepitoisuudet. Veden haitta-ainepitoisuus eri ajanjaksoina saatiin laskemalla kutakin ajanjaksoa vastaava L/S-suhde ja määrittämällä testitulosten perusteella tätä vastaava haitta-ainepitoisuus.

Kaatopaikkavesi (D)/ pohjan salaojassa kulkeva vesi (E)

Kaatopaikkavedellä tarkoitetaan tässä kaatopaikan sisällä olevaa suotovettä. Kaatopaikkaveden haitta-ainepitoisuuksien laskennan lähtökohtana pidettiin kirjallisuudesta saatua kaatopaikan suotoveden keskiarvopitoisuutta, joka on sulfaatille 120 mg/l (liite C). Tähän pitoisuuteen lisättiin pintaeristeestä liukeneva haitta-ainemäärä ajan funktiona. Pohjan salaojassa kulkevan veden pitoisuus laskettiin huomioimalla pintaeristeestä liukenevan haitta-aineen aiheuttama lisäys kaatopaikan suotoveden sen hetkiseen pitoisuuteen pintaeristeen ja koko kaatopaikan kerrospaksuuksien suhteessa.

Pohjan salaojasta jätevedenpuhdistamolle (G) ja ympäristöön (H) menevä vesi

Pohjan salaojasta jätevedenpuhdistamolle (G) ja ympäristöön (H) menevän veden haitta-ainepitoisuudet ovat samat kuin edellisessä luvussa lasketut pitoisuudet (E).

Pohjaeristeen läpi kulkenut vesi (F)

Pohjaeristeen läpi menevän veden haitta-ainepitoisuudet laskettiin käyttämällä eräänlaista pidättymiskerrointa (tässä käytetty arvoa 1,1). Toisin sanoen pohjaeristeen läpi menevän veden haitta-ainepitoisuus saatiin jakamalla pohjan salaojassa kulkevan suotoveden pitoisuus tällä kertoimella.

Kaatopaikan pintavalunnan ja sen läpi suotautuvan veden aiheuttamien ympäristökuormien vertailu

Skenaariotarkastelussa oli tarkoitus vertailla kaatopaikan pintavalunnan ja sen läpi suotautuvan veden aiheuttamia ympäristökuormia. Kaatopaikan pintavalunnan ja sen läpi menevän veden sisältämän haitta-aineen suhde (Z) laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$Z = \frac{B}{E + F} \quad (3)$$

2.3 Tulokset ja tulosten arviointi

Esimerkkilaskennan tulokset ovat hyvin yksinkertaistettuja ja tarkoitus oli lähinnä osoittaa skenaariotarkastelun tavoitteet. Luotettava arvio edellyttää tarkempaa mallinnusta. Mallinnuksessa tulisi huomioida liukenevuuteen vaikuttavia, rajoittavia tekijöitä (esim. kyllästyneen vesifaasin muodostuminen, lämpötila, liukoisen aineen pitoisuuden vähentyminen matriisissa, kuivien ja kosteiden jaksojen vaikutusta). Läpisuotautuneen veden pitoisuuden arvioinnissa tulisi lisäksi huomioida kaatopaikan vesimäärä (vesitaseet) ja aineiden pidättyminen.

Kaatopaikan pintaeristekerroksen pintavaluntaveden (virta B) sulfaattipitoisuuksia voidaan verrata kaatopaikkavesissä ja luonnossa esiintyviin pitoisuuksiin ja eri vesille annettuihin raja-arvoihin. Vertailun perusteella voidaan arvioida kaatopaikkaveden käsittelytarve tai selvittää, kuinka paljon suotoveden tulee laimentua, jotta saavutetaan sama pitoisuus kuin esim. luonnonvesissä.

Taulukko 4. Esimerkki skenaariotarkastelun tulosteesta.

Veden määrät ja pitoisuudet kaatopaikan eri kohdissa

Tarkastelu alkaa kaatopaikan sulkemisesta (vuosi 0)

Kaatopaikan pinta-ala, m ²	22500
Kaatopaikan korkeus, m	20
Pintaeristeen paksuus, m	0,5
Sadanta, mm/v	600
Haihunta, mm/v	300
Imeyntä, mm/v	31,5
Pintavalunta (5 % sadannasta)	30
Pintakerrosvalunta	238,5

VETTÄ KULKEE		Koodi	VUODET							
Tarkastelujakso			0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Vuodet			5	10	20	30	40	50	60	70
Pintakerrosvaluntana, mm/v	B	238,5	238,5	238,5	238,5	238,5	238,5	238,5	154,2	70,2
Pintaeristeen läpi, mm/v	C	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	116	200
Kp-vesi, mm/v	D	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	116	200
Pohjan salaojassa, mm/v	E	31,5	31,5	15,75	15,75	15,75	15,75	6,3	23,2	40,0
Suotovesien käsittelyyn, mm/v	G	25,2	25,2	12,6	12,6	0	0	0	0	0
Pohjaeristeen läpi, mm/v	F	0	0	15,75	15,75	15,75	15,75	25,2	92,8	160,0
Pohjan salaojasta ympäristöön, mm/v	H	6,3	6,3	3,15	3,15	15,75	15,75	6,3	23,2	40,0

KOKONAISSVESIMÄÄRÄ		Koodi	VUODET							
Tarkastelujakso			0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Vuodet			5	10	20	30	40	50	60	70
Pintakerrosvaluntana, m3/v	B	5366	5366	5366	5366	5366	5366	5366	3470	1580
Pintaeristeen läpi, m3/v	C	709	709	709	709	709	709	709	2610	4500
Kp-vesi, m3/v	D	709	709	709	709	709	709	709	2610	4500
Pohjan salaojassa, m3/v	E	709	709	354	354	354	142	522	900	900
Suotovesien käsittelyyn, m3/v	G	567	567	284	284	0	0	0	0	0
Pohjaeristeen läpi, m3/v	F	0	0	354	354	354	567	2088	3600	3600
Pohjan salaojasta ympäristöön, m3/v	H	142	142	71	71	354	142	522	900	900

Haitta-aine	SO4
Eristemateriaalin tiheys, kg/m3	1460
Haitta-aineen pitoisuus eristemateriaalissa, mg/kg	72 000
Diffuusiokerroin	4,60E-12
POC ₀ -arvo	1,1
Kaatopaikan suotoveden keskiarvopitoisuus, mg/l	120

SO4-pitoisuus tarkastelujakson aikana, mg/l		Koodi	VUODET							
Tarkastelujakso			0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Vuodet			5	10	20	30	40	50	60	70
Pintaeristeen L/S-suhde		0,22	0,43	0,86	1,29	1,73	2,16	9,53	19,18	19,18
L/S-suhdetta vastaava pitoisuus, mg/l		16900	16900	11319	6772	3376	1160	94	80	80
Sadevesi	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pintakerrosvalunta	B	2680	1895	1340	1094	947	847	1196	2433	2433
Pintaeristeen läpi	C	16900	16900	11319	6772	3376	1160	94	80	80
Kp-vesi	D	120	529	929	1182	1318	1369	1363	1332	1332
Pohjan salaojassa	E	529	929	1182	1318	1369	1363	1332	1302	1302
Suotovesien käsittelyyn	G	529	929	1182	1318	0	0	0	0	0
Pohjaeristeen läpi	F	481	844	1075	1198	1244	1239	1211	1184	1184
Pohjan salaojasta ympäristöön	H	529	929	1182	1318	1369	1363	1332	1302	1302

Kumulatiivinen SO4 määrä, kg		Koodi	VUODET							
Tarkastelujakso			0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Vuodet (kumul.)			5	10	20	30	40	50	60	70
Pintakerrosvalunta	B	71877	101649	143754	176062	203299	227295	248989	268939	268939
Pintaeristeen läpi	C	119779	239558	319780	367777	391706	399931	402372	405972	405972
Kp-vesi	D	851	4602	11183	19560	28904	38603	74189	134150	134150
Pohjan salaojassa	E	3751	10332	14521	19193	24042	25975	32931	44648	44648
Suotovesien käsittelyyn	G	3001	8266	11617	15354	15354	15354	15354	15354	15354
Pohjaeristeen läpi	F	0	0	3808	4247	8656	15684	40976	83585	83585
Pohjan salaojasta ympäristöön	H	750	2066	2904	3839	8688	10621	17576	29294	29294
Pintakerrosvalunta (B)		71877	101649	143754	176062	203299	227295	248989	268939	268939
Kaatopaikan läpi menevä vesi (E+F)		3751	10332	18329	23440	32698	41659	73907	128232	128232
Suhde (pinta/läpi menevä)		19,2	9,8	7,8	7,5	6,2	5,5	3,4	2,1	2,1

Taulukko 5. Eri lähtöoletusten merkitys pintavalunnan (B) ja pohjaeristeen läpi menevän veden (F) sulfaattipitoisuuksiin.

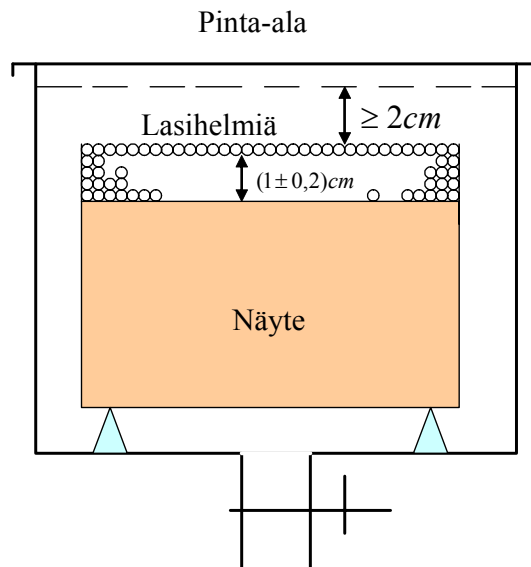
	Koodi	VUODET							
Tarkastelujakso		0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Vuodet		5	10	20	30	40	50	60	70
KOKONAISVESIMÄÄRÄ									
Lähtötilanne A									
Pintakerrosvaluntana, m3/v	B	5366	5366	5366	5366	5366	5366	3469,5	1579,5
Pintaeristeen läpi, m3/v	C	709	709	709	709	709	709	2610	4500
Kp-vesi, m3/v	D	709	709	709	709	709	709	2610	4500
Pohjan salaojassa, m3/v	E	709	709	354	354	354	142	522	900
Suotovesien käsittelyyn, m3/v	G	567	567	284	284	0	0	0	0
Pohjaeristeen läpi, m3/v	F	0	0	354	354	354	567	2088	3600
Pohjan salaojasta ympäristöön, m3/v	H	142	142	71	71	354	142	522	900
Pintaeristeen vedenläpäisevyys suuri (10⁻⁸ m/s)									
Pintakerrosvaluntana, m3/v	B	3375	3375	3375	3375	3375	3375	2700	1579,5
Pintaeristeen läpi, m3/v	C	2700	2700	2700	2700	2700	2700	3375	4500
Kp-vesi, m3/v	D	2700	2700	2700	2700	2700	2700	3375	4500
Pohjan salaojassa, m3/v	E	2700	2700	1350	1350	1350	540	675	900
Suotovesien käsittelyyn, m3/v	G	2160	2160	1080	1080	0	0	0	0
Pohjaeristeen läpi, m3/v	F	0	0	1350	1350	1350	2160	2700	3600
Pohjan salaojasta ympäristöön, m3/v	H	540	540	270	270	1350	540	675	900
SO4-pitoisuus tarkastelujakson aikana, n									
Lähtötilanne A									
Pintakerrosvalunta	B	2680	1895	1340	1094	947	847	1196	2433
Pohjaeristeen läpi	F	481	844	1075	1198	1244	1239	1211	1184
Pintaeristeen vedenläpäisevyys suuri (10⁻⁸ m/s)									
Pintakerrosvalunta	B	4261	3013	2130	1739	1506	1347	1537	2433
Pohjaeristeen läpi	F	196	280	289	287	284	280	275	270
Eristemateriaalin diffuusiokerroin suuri									
Pintakerrosvalunta	B	3951	2794	1975	1613	1397	1249	1764	3587
Pohjaeristeen läpi	F	481	844	1075	1198	1244	1239	1211	1184
VERTAILU: Kivihiilen lentotuhka									
Pintakerrosvalunta	B	125	88	62	51	44	40	56	113
Pohjaeristeen läpi	F	149	187	217	241	263	283	279	274
VERTAILU: Jätteenpolttolaitoksen kuona									
Pintakerrosvalunta	B	68	48	34	28	24	21	30	61
Pohjaeristeen läpi	F	116	123	128	130	132	133	131	129

Liite E: Kaatopaikan mineraalisen tiivistyskerroksessa käytettävän materiaalin liukoisuusominaisuuksiin määrittämiseen soveltuvat menetelmät

1. Modifioitu diffuusiotesti (NVN7347)

Periaate

Testin periaate esitetään kuvassa 1 ja testiolosuhteet taulukossa 1. Testi on kehitetty kiinteille materiaaleille kehitetyn hollantilaisen diffuusiotestin perusteella. Modifioidussa diffuusiotestissä NVN 7347 näyteseos tiivistetään testiastiaan siten, että astian täyttö jää hieman vajaaksi ja seoksen pintakerros peitetään lasihelmillä. Testissä näyteastia upotetaan veteen ja vaihdetaan vesi tietyin välein. Testissä arvioidaan näytteen pinnalta liuenneiden aineiden määrä (mg/m^2) tietyssä aikayksikössä. Testituloksista voidaan myös arvioida tarkasteltavien aineiden liukoisuuskäyttäytymistä.



Kuva 1. Modifioidun diffuusiotestin NVN7347 periaate.

Taulukko 1. Modifioidun diffuusiotestin NEN7347 testiolosuhteet.

	Testin vaatimus	HUOM!
Näytemäärä	n. 0,8 dm ³ näytseosta	
Näytteen valmistustapa	Testimateriaali tiivistetään kosteana 1 dm ³ sylinterimuotoiseen näyteastiaan kerroksittain siten, että astiaa jää hieman vajaaksi. Näytteen tiheys ja kosteuspitoisuus mitataan.	Näyte varastoidaan vähintään viikonlopun yli ennen testausta.
Periaate	Testimateriaalin pinta peitetään lasihelmeillä. Testimateriaalin astioineen upotetaan veteen siten, että näyttemateriaalin pintakerroksen astiaan	
Uuttovesi	Deminalisoitu vesi, jonka pH 4	
Vesimäärä	Maks. 0,75 dm ³	
Vesivaihdot	8	
Testin kesto	64 d	
Analyysit	Kerätyistä vesifraktioista analysoidaan halutut haitta-aineet	
Testitulokset	Analyysitulosten perusteella lasketaan kumulatiivisesti liuenneet haitta-ainemäärät per pinta-ala (mg/m ² / 64 d)	Tuloksista voidaan myös arvioida liukoisuusmekanismi

Soveltuvuusalue ja rajoitukset

Testi soveltuu saven kaltaisille materiaaleille, jotka liettyvät vedessä.

Testissä tulee ottaa huomioon mahdolliset paisumiset (lasihelmet uppoutuvat seokseen) ja mahdolliset reunaefektit, erityisesti jos materiaali kutistuu tai kuivuu reunoilta. Diffuusiotesti saattaa antaa ylisuuria arvoja, koska testissä käytetty vesimäärä on hyvin suuri verrattuna veden kanssa kosketukseen olevaan pinta-alaan. Testin toistettavuus ja testiolosuhteiden vaikutukset on selvitetty kokeellisessa työssä.

Testi on vaativampi kuin tavallinen diffuusiotesti NEN 7345. Vaativuutta lisäävät lukuisat työvaiheet. Esimerkiksi näytteen valmistus on työläs, koska näyteastian täyttö edellyttää vaiheittaista työskentelyä ja useita punnituksia.

2. Sellitesti (NT ENVIR 007)

Periaate

Pohjaeristeen tiivistyskerroksen tutkimiseen soveltuu sellitesti NT ENVIR 007 (modifioitu kolonnitesti NEN 7343), jossa käytetään vedenläpäisevyysmittauksia varten kehitettyä laitteistoa. Laitteisto on muunneltu kolonnitestistä NEN7343 siten, että testikappaleen läpi suotautuneita vesifraktioita voidaan kerätä. Menetelmässä testimateriaali tiivistetään haluttuun tiiviyteen ennen testausta. Sellitestistä on kokemusta Nordtestin rahoittamisissa hankkeissa, jossa testit on tehty

kahdella eri laitteistolla (Ruotsin SGI:ssa ja VTT:ssä). Sellitestistä on esitetty menetelmäkuvaus Nordtest-raportissa (Wahlström *et al.* 2002). Testillä voidaan karkeasti arvioida myös vedenläpäisevyyttä.

Sekalaisen epäorgaanisen ja orgaanisen jätteen kaatopaikkaolosuhteita simuloimiseksi on uuttoliuksena on käytettävä hapanta TOC-pitoista vettä sekä vertailuna demineralisoitua vettä.

Soveltuvuusalue ja rajoitukset

Testiä voidaan käyttää materiaalille, jolla on pieni vedenläpäisevyys. Tavallista kolonnitestiä ei voida suorittaa materiaalille, jonka vedenläpäisevyys on alle 10^{-8} m/s. Sellitestissä voidaan arvioida ikääntymisen vaikutusta liukoisuuteen. Nordtest-hankkeessa todettiin parempaa toistettavuutta sellitestissä kuin kolonnitestissä.

Testi vaatii erikoislaitteiston. Lisäksi testissä on useita työvaiheita (mm. näytteenvalmistus).

3. Biohajoavuuden tutkimusmenetelmät

Taulukossa 2 on vertailtu eri menetelmiä.

Taulukko 2. Biohajoavuuden tutkimusmenetelmien vertailu.

	OECD 301F *	ASTM D5210 ** ISO/DIS 14853 ***	Modifioitu anaerobitesti, VTT
Testityyppi	aerobinen liuostesti, jossa tutkittava materiaali ainoana hiilenlähteenä	anaerobinen liuostesti, jossa tutkittava materiaali ainoana hiilenlähteenä	anaerobinen liuostesti, jossa tutkittava materiaali ainoana hiilenlähteenä
mikrobisiirrostesti	yhdyskuntajätevedenpuhdistamon jätevesiliete, komposti tai maa	yhdyskuntajätevedenpuhdistamon anaerobiliete	yhdyskuntajätevedenpuhdistamon anaerobiliete
näytemäärä	100 mg/l (50–100 mg ThOD/l)	soveltuva (ASTM) 20–200 mg/l (ISO)	20 mg org.-C
mitattava suure	BOD/ThOD tai BOD/COD	(CO ₂ + CH ₄)-C / TOC kaasutilavuus, paine	painemittaus
lämpötila	+16 – +24 °C +/- 1°C	+35 °C +/- 2 °C	+35 °C +/- 2 °C, myös muut lämpötilat mahdollisia
kontrollinäyte	etyleeniglykoli	selluloosa tai muu tunnetusti täysin hajoava näyte	selluloosa
testin kesto	28 vrk	kunnes hajoaminen on loppunut max. 60 vrk	kunnes hajoaminen on loppunut
mittausastian koko	?	noin 160 ml tai tarvittaessa suurempi (ASTM) 100 ml – 1 000 ml (ISO)	120 ml
tarvittava erityinen laitteisto	respirometri	välineet anaerobityöskentelyyn	välineet anaerobityöskentelyyn, paineenmittauslaitteisto
testin alkuperäinen käyttö	kemikaalien välitön biohajoaminen	muovien välitön biohajoaminen	
testin rajoitukset	näyte ei saa olla haitallinen mikrobeille	näyte ei saa olla haitallinen mikrobeille	

* OECD guidelines for testing of chemicals, Ready biodegradability OECD 301F, July 1992

** ASTM D 5210-92 Standard test method for determining the anaerobic biodegradation of plastic materials in the presence of municipal sewage sludge

*** ISO/DIS 14853 Plastics – Determination of the ultimate anaerobic biodegradability in an aqueous system – method by measurement of biogas production

Viite:

Wahlström, M., Pihlajaniemi, M., Nilsson, U. & Fällman, A.-M. 2002, Percolation test for material with low water permeability. (in Swedish) Espoo 2002, Nordtest NT Techn Report, 41 p, NT Project 1493-00.

Liite F: Esimerkkimateriaalien ympäristökelpoisuus- tutkimuksissa saadut tulokset

Seuraavassa esitetään tutkituista esimerkkimateriaaleista saadut kokonaispitoisuudet ja tärkeimmät liukoisuustestitulokset.

1. Kuitusavesta saadut tulokset (kahdesta näyte-erästä)

Taulukko 1. Kuitusavinäytteen kokonaispitoisuudet ilmoitettuna mg/kg kuiva-ainetta kohti.

Alkuaine	<i>ERÄ 1</i>	<i>ERÄ 1</i>	<i>ERÄ 2</i>
	<i>Kuituliete kuiva-ainetta (XRF)</i>	<i>Kuituliete kuiva-ainetta (märkäkemial)</i>	<i>Kuituliete kuiva-ainetta (XRF)</i>
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Natrium, Na	619	700	608
Magnesium, Mg	5 670	ei määr.	4 865
Alumiini, Al	11 340	17 900	23 310
Pii, Si	24 742	ei määr.	36 485
Fosfori, P	206	ei määr.	203
Rikki, S	412	ei tulosta	608
Kloori, Cl	1 340	ei tulosta	304
Kalium, K	< 103	1 100	1 216
Kalsium, Ca	164 948	210 000	222 963
Titaani, Ti	619	ei määr.	811
Mangaani, Mn	< 103	ei määr.	203
Rauta, Fe	3 196	3 700	3 648
Arseeni, As	< 103	< 20	< 101
Barium, Ba	< 103	110	< 101
Elohopea, Hg	< 103	< 0,1	< 101
Kadmium, Cd	< 103	< 2	< 101
Kromi, Cr	< 103	24	< 101
Kupari, Cu	103	25	< 101
Lyijy, Pb	< 103	< 20	< 101
Molybdeeni, Mo	< 103	< 10	< 101
Nikkeli, Ni	< 103	18	< 101
Sinkki, Zn	103	49	< 101
Vanadiini, V	< 103	12	< 101
Kuiva-ainepitoisuus (105 °C)*	97 %	97 %	99 %
Hehkutushäviö (550 °C)	68 %		

* ilmakeivä /

Taulukko 2. Kuitusavesta liuenneet haitta-ainemäärät kolonnitestissä ja sellitestissä. Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

Parametri	Kolonne	Kolonne (N ₂)	Selli
	Näyte-erä I (ilmakuivattu näyte)	Näyte-erä II (ilmakuivattu näyte)	Näyte-erä II (kosteaa näyte)
Suodoksen pH (testin lopussa)	6,6	7,3	7,7
Haitta-aine, mg/kg			
SO ₄ ²⁻	330	250	270
Cl ⁻	< 75	46	72
DOC	14 000	15 000	13 000
Al	< 18	< 5,6	23–24
Na	-	< 340	390
Ba	-	3,9	2,6
Cd	-	< 0,02	< 0,02
Cr	-	< 0,1	0,06
Cu	-	< 0,10	< 0,12
Pb	-	< 0,2	< 0,2
Mo	-	< 0,30	0,18
Ni	-	< 0,1	< 0,1
Zn	-	< 0,1	0,76

Taulukko 3. Kuitusavesta (näytet-erä II) liuenneet haitta-ainemäärät pH-staattisessa testisarjassa. Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 20.

24 h pH-staattinen testi

pH	L/S-suhde	H ⁺ /OH ⁻ -kulutus	DOC	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Al	Na	Mo	Cu
	l/kg	mol/kg	mg/kg						
6,0	21,2	6,73	6 400	-	-	6,4	360	0,47	< 0,21
7,0	19,8	0,91	4 500	360	160	< 4,0	360	0,36	< 0,20
7,2	19,7	0,09	4 500			< 3,9	320	0,39	< 0,20
7,6	20,2	0,02	-	280	1 200	6,0	320	0,38	< 0,20
8,0 (oma pH)	20,0	0	5 800	360	140	340	340	0,48	< 0,20
9,0	19,7	0,06	5 500	350	1 300	1 600	-	0,65	< 0,20
10,0	19,6	0,08	7 200	390	170	1 900	-	0,65	< 0,20
11,0	19,7	0,16	7 500	390	220	3 200	-	0,77	0,26
12,0	20,5	0,66	8 000	410	110	15 000	-	0,90	0,27

2. Lentotuhka-kuitusavi-sakkamassasta saadut tulokset

Taulukko 4. Lentotuhka-kuitusavi-sakkanäytteen kokonaispitoisuudet ilmoitettuna mg/kg kuiva-ainetta kohti.

Alkuaine	ERÄ 1	ERÄ 1	ERÄ 2
	Lentotuhkakuitusakka	Lentotuhkakuitusakka	Lentotuhkakuitusakka
	XRF	märkäkemia	XRF
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Natrium, Na	13 000	10 400	14 000
Magnesium, Mg	16 000	ei määr.	16 000
Alumiini, Al	44 000	46 600	45 000
Pii, Si	64 000	ei määr.	66 000
Fosfori, P	7 200	ei määr.	7300
Rikki, S	21 000		23 000
Kloori, Cl	4 300		4 200
Kalium, K	24 000	23 000	22 000
Kalsium, Ca	170 000	160 000	170 000
Titaani, Ti	1 700	ei määr.	1 800
Kromi, Cr	< 100	81	100
Mangaani, Mn	6 800	ei määr.	6 900
Rauta, Fe	19 000	18 700	20 000
Nikkeli, Ni	100	54	< 100
Kupari, Cu	100	110	100
Sinkki, Zn	1 600	1 600	1 600
Rubidium, Rb	100	ei määr.	100
Strontium, Sr	1 000	ei määr.	1 000
Zirkonium, Zr	80	ei määr.	100
Barium, Ba	1 600	1 900	1 700
Lyijy, Pb	90	85	70
Molybdeeni, Mo	< 100	< 10	< 100
Kadmium, Cd	< 100	5,7	< 100
Elohopea, Hg	< 100	0,3	< 100
Arseeni, As	< 100	< 20	< 100
Vanadiini, V	< 100	70	< 100
Kuiva- ainepitoisuus (105 °C)	74 %	74 %	75 %
Hehkutushäviö (550 °C)	88 %		

Taulukko 5. Lentotuhka-kuitusavi-sakkanäyttestä (näyte-erä I) liuenneet haitta-ainemäärät modifoidussa difuusiotestissä. Haitta-ainepitoisuudet mg/m²/64 d.

Valmistaja	VTT	VTT	VTT	VTT	VTT	VTT	VTT	VTT
Ikä	3 d	3 d	10 d	10 d	1,3 kk	1,3 kk	1,3 kk	1,5 kk
poikkeamat	Pieni halkaisija, suuri uutovesimäärä	Suuri uutovesimäärä	R1	R2	R1	R2	Pieni halkaisija sekä uutovesimäärä	Pieni näytekorkeus
DOC	5 400–5 700	6 100–6 200	11 000	11 000	9 500	13 000	5 200	12 000
SO ₄ ²⁻	250 000	300 000	250 000	260 000	350 000	350 000	260 000	380 000
Cl ⁻	120 000	140 000	130 000	140 000	150 000	160 000	150 000	130 000
Al	160–540	140–340	1 000	810	1 900	1 200	350	370–410
Na	150 000	170 000	160 000	140 000	190 000	190 000	150 000	200 000
Mo	59–62	67–69	69–70	56–57	75–76	81	62–63	85–86
Cu	18–30	21–28	35–37	31–34	35–39	37–40	25–26	56–58
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-

Valmistaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja
Ikä	5 d	6 d	6 d	1,6 kk	1,6 kk	3 kk	3 kk	6 kk
poikkeamat	Liimareunus	R1	R2	R1	R2	R1	R2	
DOC	13 000	10 000	11 000	14 000	19 000	12 000	14 000	15 000
SO ₄ ²⁻	470 000	280 000	290 000	340 000	370 000	310 000	310 000	270 000
Cl ⁻	190 000	160 000	170 000	250 000	190 000	170 000	240 000	170 000
Al	310–410	850	1 100	540–580	360–390	320–360	320	270
Na	270 000	-	-	210 000	200 000	200 000	190 000	160 000
Mo	140	93	98–99	99	110	91–93	93	84
Cu	67–69	49	59	49–51	56–58	55–57	58	51
Cd	-	< 1,4	< 1,5	-	-	-	-	-
Pb	-	< 14	< 15	-	-	-	-	-
Zn	-	< 6,8	< 10	-	-	-	-	-
Ba	-	< 10	< 10	-	-	-	-	-

Taulukko 6. Lentotuhka-kuitusavi-sakasta liuenneet haitta-ainemäärät kolonnitestissä ja sellitestissä. Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

Parametri	Kaksivaiheinen Testi	Kolonnitesti(ilmakuivattu näyte)	Sellitesti	Sellitesti	Sellitesti
	Näyte-erä I	Näyte-erä I	Ikä: 8 d	Ikä: 1,5 kk	Ikä: 3,9 kk
Suodoksen pH (testin lopussa)	11,9	11,6			11,3
Haitta-aine, mg/kg					
SO ₄ ²⁻	9 900	16 000	5 000	9 600	3 400
Cl ⁻	2 800	3 480	2 400	2 500	2 500
DOC	480	1 200	860	980	520
Al	100	140	120	120	11
Na	5 200		6 000	5 000	2 200
Ba	0,34	0,23	0,27		0,13
Cd	< 0,02	< 0,020	< 0,02		< 0,02
Cr	2,5		0,56		0,46
Cu	2,3	4,3	2,1-2,2	5,7	1,3
Pb	< 0,2	< 0,20	< 0,2		< 0,2
Mo	2,2	2,7	2,0	2,0	1,1
Ni	0,23		0,69		< 0,25
Zn	< 0,1	< 0,13	< 0,1		< 0,1

Taulukko 7. Lentotuhka-kuitusavi-sakkanäyttestä (näytet-erä II) liuenneet haitta-ainemäärät pH-staattisessa testisarjassa. Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

24 h pH-staattinen testi

pH	L/S-suhde l/kg	H ⁺ /OH ⁻ -kulutus mol/kg	DOC mg/kg	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na	Al	Mo	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni	Zn	Ba
7,0	10,5	3,9	600	14 000	3 800	7 000	< 2,0	1,4	0,43	0,071	3,3	< 0,2	2,0	1,3	6,0
8,0	10,1	2,2	580	16 000	3 800	6 800	4,9	2,4	0,90	< 0,02	4,0	< 0,2	0,36	0,14	2,5
9,0	10,2	1,3	580	18 000	3 700	6 400	17	2,5	1,3	< 0,02	3,8	< 0,2	0,17	< 0,1	2,8
10,0	10,5	0,94	540	20 000	3 100	6 400	2,0	2,5	1,5	< 0,02	3,2	< 0,2	0,23	< 0,1	2,0
11,0	10,4	0,20	600	13 000	4 700	6 600	19	2,7	2,1	< 0,02	3,0	< 0,2	0,19	< 0,1	0,74
11,0	9,8	0,14	560	10 000	3 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,6	9,9	-ma pH)	550	14 000	3 700	5 800	77	2,8	2,7	< 0,02	3,0	< 0,2	0,20	< 0,1	0,40
12,0	9,8	0,11	580	12 000	3 600	-	140	2,9	3,1	< 0,02	3,0	< 0,2	0,24	< 0,1	0,27

- ei määritetty

3. Hydrostab-massasta saadut tulokset (kahdesta näyte-erästä)

Taulukko 8. Hydrostab-näytteen kokonaispitoisuudet ilmoitettuna mg/kg kuiva-ainetta kohti.

Alkuaine	ERÄ 1	ERÄ 1	ERÄ 1	ERÄ 2	ERÄ 2
	Hydrostab pintakuivattu	Hydrostab kuivattu +40 °C:ssa	Hydrostab (ilman vesilasia) kuivattu +40 °C:ssa	Hydrostab	Hydrostab (ilman vesilasia) pintakuivattu,
	XRF mg/kg	märk. mg/kg	märk. mg/kg	märk. mg/kg	XRF mg/kg
Natrium, Na	7 700	4 990	1 090	6 800	2 400
Magnesium, Mg	8 600	17 700	17 000	-	5 200
Alumiini, Al	24 000	11 500	11 500	23 000	22 000
Pii, Si	87 000	-	-	-	130 000
Fosfori, P	12 000	10 300	10 300	-	12 000
Rikki, S	10 000	5 810	6 580	-	9 100
Kloori, Cl	1 600	-	-	-	1 100
Kalium, K	6 200	2 290	2 180	9 900	6 600
Kalsium, Ca	61 000	58 900	58 400	61 000	56 000
Titaani, Ti	6 400	172	162	-	2 300
Kromi, Cr	200	74	81	74	90
Mangaani, Mn	500	314	339	-	500
Rauta, Fe	29 000	31 300	34 100	36 000	24 000
Nikkeli, Ni	200	152	153	68	80
Kupari, Cu	200	191	198	330	300
Sinkki, Zn	700	776	739	1 700	1 200
Strontium, Sr	300	-	-	-	200
Zirkonium, Zr	100	-	-	-	100
Barium, Ba	500	154	139	460	300
Lyijy, Pb	300	416	469	1 000	900
Hopea, Ag		4,4	4,2	-	
Arseeni, As		6,3	7,2	39	
Boori, B		21	21	-	
Beryllium, Be		< 0,5	< 0,5	-	
Kadmium, Cd		1,4	1,4	4	
Koboltti, Co		14,5	14,6	-	
Molybdeeni, Mo		5,0	6,2	< 10	
Antimoni, Sb		11	12	-	
Vanadiini, V		21	20	49	
Elohopea, Hg		-	-	0,21	
Kuiva-ainepitoisuus (105 °C)					
Hehkutushäviö (550 °C)	86 %				

Taulukko 9. Hydrostab-näytteistä liuenneet haitta-ainemäärät modifioidussa diffuusio-testissä. Haitta-ainepitoisuudet mg/m²/64 d.

Valmistaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja	Materiaali-toimittaja /VTT	Materiaali-toimittaja /VTT	Materiaali-toimittaja /VTT
Ikä	1,5 kk	1,5 kk	1 kk	1 kk	1 kk	4 kk	4 kk
	ERÄ 1	ERÄ 1	ERÄ 2	ERÄ 2	ERÄ 2	ERÄ 2	ERÄ 2
		<i>Polyuretaanireunus</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>Liihareunus</i>	<i>Kappaleen ulkoreunoissa parafiiniä ja astiassa helmilä</i>	<i>Kappaleen ulkoreunoissa parafiiniä ja astiassa helmilä</i>
DOC	93 000	61 000	24 000	15 000	30 000	7 400 (36 d)	7 300 (36 d)
SO ₄ ²⁻	97 000	92 000	110 000	120 000	160 000	140 000 (36 d)	140 000 (36 d)
Cl ⁻	39 000	86 000	60 000	55 000	99 000	42 000 (36 d)	42 000 (36 d)
Al	< 170	< 380	-	-	-	-	-
Na	140 000	210 000					
Mo	14–16	< 19					
Cu	< 8	< 19	< 9,4	< 9,4	< 19	< 7,4 (36 d)	< 7,3 (36 d)
Pb	-	-	< 19	< 19	< 38	< 15 (36 d)	< 15 (36 d)
Ni	-	-	< 9,4	< 9,4	< 19	< 7,4 (36 d)	< 7,3 (36 d)
Zn	-	-	< 9,4	7,5–11	< 19	10 (36 d)	6,0–8,0 (36 d)

Taulukko 10. Hydrostabista liuenneet haitta-ainemäärät kolonnitestissä. Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

Parametri	Kolonnitesti (ilmakuivattu näyte)	Kaksivaiheinen CEN-ravistelutesti
	Näyte-erä 2	L/S 10
Suodoksen pH (testin lopussa)	8,9	8,5
Haitta-aine, mg/kg		
SO ₄ ²⁻	7 500	9 900
Cl ⁻	770	940
DOC		880
Cu	<0,1	< 0,34
Pb	<0,1	< 0,20
Ni	<0,1	0,31
Zn	<0,1	0,28

Taulukko 11. Hydrostab-massasta (näyte-erä II) liuenneet haitta-ainemäärät pH-staattisessa testisarjassa.. Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) on ilmoitettu kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.

24 h pH-staattinen testi

pH	L/S -suhde	H ⁺ /OH -kulutus	DOC	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Cu	Zn	Pb	Ni
	l/kg	mol/kg	mg/kg						
4,0	10,2	2,8	950	10 000	1 200	3,6	590	4,2	4,7
5,0	10,2	2,6	1 200	10 000	1 600	0,66	240	0,38	3,2
6,0	10,3	1,4	1 100	11 000	1 500	0,52	14	< 0,3	0,70
7,0	9,8	0,35	780	11 000	1 100	0,75	1,5	< 0,3	0,35
7,6	9,6	0,025	760	12 000	2 100	0,82	0,95	0,37	0,37
7,8 (oma pH)	10,1	0	820	9 300	2 000	0,67	0,63	< 0,3	0,35
10,0	9,7	0,17	1 200	11 000	2 200	3,3	0,23	< 0,3	0,48
11,0	9,7	0,28	2 100	11 000	2 900	14	1,5	0,76	0,88
12,0	10,0	0,78	3 600	22 000	2 000	30	3,2	1,6	1,2

Tekijä(t) Wahlström, Margareta, Laine-Ylijoki, Jutta, Eskola, Paula, Vahanne, Pasi, Mäkelä Esa, Vikman, Minna, Venelampi, Olli, Hämäläinen, Jyrki & Frilander, Reetta			
Nimeke Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen tavoitteena oli luoda selkeä ja toimiva menettelytapa kaatopaikkarakenteissa hyötykäytettävien teollisuuden sivutuotteiden kaatopaikkakelpoisuuden arviointiin. Julkaisussa annetaan ehdotus kelpoisuusmenettelystä ja tarkasteltavista parametreista, soveltuvista tutkimusmenetelmistä sekä kelpoisuusarviointiin soveltuvista kriteereistä. Jätteiden käyttö eristemateriaaleissa on aina luvanvaraista toimintaa, josta jätehuoltoviranomainen päättää tapauskohtaisesti huomioiden erityisesti kaatopaikan sijainnin ja kaatopaikkaolosuhteet.</p> <p>Tutkimuksen pääpaino oli mineraalisten sivutuotteiden käytössä kaatopaikkarakenteissa. Ensisijaisena kohteena olivat pintaeristemateriaalit. Erityisesti energian tuotannossa syntyvä lentotuhka, paperiteollisuudessa muodostuva kuituliete ja valimohiekka ovat sekä teknisesti soveltuvia (potentiaalisia) että massamäärinä kiinnostavia vaihtoehtomateriaaleja. Vaikka julkaisussa kiinnitetään ensisijaisesti huomiota ympäristökelpoisuuteen, edellyttää materiaalien käyttöönotto kaatopaikkarakenteissa aina vaihtohtoisen materiaalin teknistä soveltuvuutta. Orgaanisia haitta-aineita sisältäviä sivutuotteita käsitellään vain rajoitetusti.</p> <p>Kaatopaikkaeristemateriaalien ympäristökelpoisuusstandardien määrittely perustuu tässä kahteen pääperiaatteeseen. Ensimmäiseksi kaikkien eristerakenteissa käytettävien materiaalikerrosten on oltava kelpoisia vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Toiseksi soveltavien kriteerien tulee olla sopuoinnissa olemassa olevien kriteerien (esim. maarakentamiskäytön ympäristökelpoisuusstandardien) kanssa. Näin tässä esitettävät rajat asettuvat pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalle annettujen kriteerien välille. Lisäksi haitta-aineiden kokonaispitoisuudet (esim. metallipitoisuudet) eivät saa ylittää ongelmajäteluokituksen raja-arvoja.</p> <p>Projektiin kuului myös kokeellinen työ, jossa ehdotettujen tutkimusmenettelyjen käytännön soveltuvuutta selvitettiin esimerkkimateriaalien avulla. Tulosten perusteella arvioitiin esimerkinomaisesti k.o. materiaalien ympäristökelpoisuus.</p>			
Avainsanat landfilling sites, landfill constructions, acceptance, recommendations, waste materials, mineral by-products, fly ash, hazardous materials, environmental properties, testing			
Toimintayksikkö VTT Biotekniikka, Tietotie 2, PL 1500, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6470-7 (nid.) 951-38-6471-5 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero	
Julkaisu-aika Kesäkuu 2004	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 84 s. + liitt. 38 s.	Hinta C
Projektin nimi PIPO		Toimeksiantaja(t) Tekes	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Author(s) Wahlström, Margareta, Laine-Ylijoki, Jutta, Eskola, Paula, Vahanne, Pasi, Mäkelä Esa, Vikman, Minna, Venelampi, Olli, Hämäläinen, Jyrki & Frilander, Reetta			
Title Environmental acceptability of industrial by-products in landfill constructions			
Abstract <p>The aim of this project was to develop a clear and practical procedure for assessing the acceptance industrial by-products used in landfill constructions. Proposal for the acceptance procedure and recommendations of parameters to be studied and suitable test methods are presented. Moreover, criteria for the assessment of the suitability are proposed. The authorities responsible for waste management make the final approval of the utilisation of waste material in constructions on a case by case evaluation that takes into account the local conditions.</p> <p>The project focussed on the use of mineral by-products in the mineral top layer. Typical technically suitable waste materials produced in huge amounts are fly ashes in the energy production, sludges from the paper industry and foundry wastes. The main interest is in the environmental assessment of the potential materials. However, the technical requirements for the material in the construction layer must be fulfilled. By-products containing organic contaminants are only discussed shortly.</p> <p>The proposed criteria for the environmental acceptability of waste material are based on two principles: the waste material has to be suitable for landfilling in the landfill category in question (in this case the waste has at least to fulfil the criteria given for non-hazardous wastes), and the criteria need to be in line with the environmental criteria used for the road construction materials. The criteria are, consequently, between the criteria given for waste to be disposed on a landfill for inert waste and non-hazardous waste. Moreover, the waste properties (e.g. total content of heavy metals) should not exceed the values given for hazardous wastes.</p> <p>The work also included an experimental part in which the applicability of the test methods was evaluated for some case materials. The suitability of the each tested material was also evaluated.</p>			
Keywords landfilling sites, landfill constructions, acceptance, recommendations, waste materials, mineral by-products, fly ash, hazardous materials, environmental properties, testing			
Activity unit VTT Biotechnology, Tietotie 2, P.O.Box 1501, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6470-7 (soft back ed.) 951-38-6471-5 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)			Project number
Date June 2004	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 84 p. + app. 38 p.	Price C
Name of project PIPO		Commissioned by Tekes	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

Kaatopaikkojen pintaeristeet ja -rakenteet sekä rajoitetusti myös pohjarakenteet kuuluvat käyttökohteisiin, joihin teollisuuden sivutuotteet voivat toiminnallisilta ominaisuuksiltaan soveltua. Hyödyntämällä käyttökelpoisia sivutuotteita pystytään säästämään luonnonmateriaaleja ja vähentämään kaatopaikoille läjitettävien materiaalien määriä. Korvaavia materiaaleja tarvitaan, koska rakenteisiin soveltuvien luonnonmateriaalien saatavuus on monilla alueilla huono.

Jotta sivutuotteista pystyttäisiin kehittämään kilpailukykyisiä tuotteita kaatopaikkarakentamiseen, on tiedettävä, mitä ympäristövaatimuksia ja teknisiä vaatimuksia materiaalin on täytettävä. Lisäksi on tunnettava kaatopaikkaolosuhteet ja kaatopaikoille asetettavat vaatimukset, jotka poikkeavat monilta osin muille maarakenteille asetettavista vaatimuksista.

Julkaisussa annetaan ehdotus kelpoisuusmenettelystä ja tarkasteltavista parametreista, soveltuvista tutkimusmenetelmistä sekä kelpoisuusarviointiin soveltuvista kriteereistä.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FIN-02044 VTT, Finland
Puh. (09) 456 4404	Tel. (09) 456 4404	Phone internat. + 358 9 456 4404
Faksi (09) 456 4374	Fax (09) 456 4374	Fax + 358 9 456 4374
