

Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa

Tutkimusraportti

Noora Lindroos, Marjo Ronkainen, Kimmo Järvinen



Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa

Tutkimusraportti

Noora Lindroos, Marjo Ronkainen, Kimmo Järvinen



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 8 | 2016
Ympäristöministeriö
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: Anja Järvinen, valtioneuvoston hallintoyksikkö
Kansikuva: Raili Malinen

Julkaisu on saatavana internetistä:
www.ym.fi/julkaisut

Helsinki 2016

ISBN 978-952-11-4591-9 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkokj.)

ESIPUHE

Metsä- ja energiateollisuuden sivutuotteina syntyvillä lentotuhkilla on huomattava maarakennustekninen hyötykäyttöpotentiaali useissa erilaisissa sovelluksissa. Nykyinen asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 591/2006 ja VNa 403/2009, ns. Mara-asetus) mahdollistaa tuhkien hyötykäytön ilmoitusmenetelyllä tietyin kriteerein ja rajoituksin. Erityisesti metsäteollisuudessa muodostuvat puuperäisen aineksen ja turpeen polton lentotuhkat ovat täyttäneet heikosti asetuksen liukoisuuskriteerit, joten Mara-asetus ei ole toiminut näiden tuhkejakeiden hyötykäytön edistäjänä. Lisäksi asetuksessa ei ole mukana tärkeitä hyötykäyttösovelluksia kuten tuhkan käyttöä stabilointien sideaineena.

Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa -hankkeen tutkimuksissa on ollut mukana yhdeksän lentotuhkanäytettä suomalaisista voimalaitoksista sekä rikinpoiston lopputuote ja kuitusavi tuhcaseosmateriaaleina. Tutkimuksissa on tarkasteltu, miten tuhkan jalostaminen erilaisiin sovelluksiin muuttaa haitta-aineiden liukoisuuksia ja arvioitu, voidaanko maarakentamisessa käytössä olevia sovelluksia kuten tuhkan sideainekäyttöä ottaa mukaan uudistettavaan Mara-asetukseen. Tulosten perusteella on arvioitu, mitkä haitta-aineista ovat kriittisiä nykyisten liukoisuusraja-arvojen ylittymisen kannalta ja edellyttäisivät raja-arvojen uudelleen tarkastelua hyötykäytön edistämiseksi. Tutkimus on jaoteltu seuraaviin teemoihin:

- Tuhkan ikäännyttämisen vaikutus liukoisuuksiin
- Tiivistämisen ja sementtilisäyksen vaikutus massiivituhkan liukoisuuksiin
- Tuhkan seosmateriaalien liukoisuudet
- Tuhkan sideainekäyttö massastabiloinnissa
- Tuhkan sideainekäyttö kerrosstabiloinnissa
- Vanhojen sivutuoterakenteiden liukoisuudet

Tulosten perusteella haitta-aineiden liukoisuudet ylittivät lähes kaikissa maarakennussovelluksissa Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot vähintään yhden haitta-aineen osalta. Jalostettujen materiaalien liukoisuudet määräytyivät suurelta osin käytettyjen materiaalien liukoisuuksien perusteella.

Tuhkan käyttö sideaineena massastabiloinnissa tai kerrosstabiloinnissa osoittautui haitta-aineiden liukoisuuksien kannalta soveltuvan päällystettyihin rakenteisiin. Uudistettavaan Mara-asetukseen tulisikin ottaa mukaan tuhkan hyötykäyttösovellus sideaineena ja sallia liukoisuuksien tutkiminen jalostetusta materiaalista. Hyötykäytettävän materiaalin liukoisuuksien tutkiminen tuoreen tuhkan liukoisuuksien sijaan huomioisi myös paremmin tuhkan välivarastointiaikana tapahtuvan ikääntymisen vaikutukset tuhkan laatuun. Massiivituhkan liukoisuuksien tutkiminen tiivistetystä tai pienellä sementtimäärällä sidotusta tuhkasta ei sen sijaan ratkaise tuhkien soveltuvuutta nykyisiin Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvoihin laajassa mittakaavassa, sillä käsittelyn vaikutukset haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelivat tuhkakohtaisesti ja päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin useissa näytteissä.

Tutkimusaineistossa oli mukana 10–15 vuotta vanhoista tierakenteista otettuja sivutuoterakennenyhteitä. Vanhojen näytteiden tutkiminen osoitti, että haitta-aineiden liukeneminen rakenteesta on erittäin hidasta, sillä näytteet sisälsivät edelleen lähes samaa tasoa olevia haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia kuin tuoreet, laboratorioissa valmistetut näytteet. Todellisissa rakenteissa liukoisuustestituloksia vastaavan L/S-suhteen 10 saavuttaminen voi siten kestää hyvin kauan, jolloin sivutuoterakenteen ympäristössä kuormitus on erittäin vähäistä.

Hankkeen tuloksia voi hyödyntää jatkossa haitta-aineiden kulkeutumismallinnuksessa, jossa haitta-aineiden kemiallisten ominaisuuksien lisäksi huomioidaan sivutuoterakenteen geometria, geotekniset ominaisuudet sekä ympäristöolosuhteet. Mallinnuksen perusteella voidaan arvioida, aiheuttavatko liukoisuustestien raja-arvovertailun perusteella kriittiset haitta-aineet kuormitusta hyötykäyttörakenteiden ympäristössä ja onko edellytyksiä uudistaa Mara-asetuksen liukoisuuskriteerejä hyötykäytön edistämiseksi.

Helsingissä 19.2.2016

Ympäristöministeriö

SISÄLLYS

ESIPUHE	3
Lyhenteet ja termit	7
1 Johdanto	9
2 Tutkimusmateriaalit	11
3 Menetelmät ja analyysit	13
3.1 Pintaliukenemistesti.....	14
4 Lähtömateriaalien analyysitulokset	16
4.1 Tulokset.....	17
4.2 Yhteenveto lähtömateriaalien tuloksista.....	19
5 Tuhkien ikäännyttäminen	20
5.1 Tulokset.....	20
5.2 Yhteenveto ikäännyttämisen vaikutuksista liukoisuuksiin:.....	23
6 Tiivistämisen ja sideainelisäyksen vaikutus tuhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin	24
6.1 Tiivistämisen vaikutus massiivituhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin ravistelutesteissä.....	25
6.2 Yhteenveto tuhkan tiivistämisen vaikutuksesta liukoisuuksiin.....	27
6.3 Sideainelisäyksen vaikutus massiivituhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin ravistelutesteissä.....	28
6.4 Yhteenveto sideainelisäyksen vaikutuksesta massiivituhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin.....	30
6.5 Haitta-aineiden liukoisuudet massiivituhkanäytteistä pintaliukenemistesteissä.....	31
6.6 Yhteenveto massiivituhkanäytteiden pintaliukenemistestien tuloksista.....	33
7 Tuhkaseosmateriaalit	34
7.1 Tuhkan ja rikinpoistotuotteen seokset.....	34
7.2 Tuhkan ja kuitusaven seokset.....	35
7.3 Yhteenveto tuhkaseosmateriaalien liukoisuuksista.....	36
8 Tuhkasideaineiden käyttö massastabiloinnissa	38
8.1 Tuhkien reaktiivisuus sideaineena massastabiloinnissa.....	39
8.2 Haitta-aineiden liukoisuudet massastabiloidusta näytteistä ravistelutestissä ja läpivirtaustestissä.....	41

8.3	Haitta-aineiden liukoisuudet massastabiloiduista näytteistä pintaliukenemistestissä	42
8.4	Yhteenveto haitta-aineiden liukoisuuksista tuhalla stabiloidusta savesta	44
9	Tuhkasideaineiden käyttö kerrosstabiloinnissa	45
9.1	Haitta-aineiden liukoisuudet kerrosstabiloidusta näytteistä ravistelutestissä	46
9.2	Haitta-aineiden liukoisuudet kerrosstabiloidusta näytteistä pintaliukenemistestissä	48
9.3	Yhteenveto haitta-aineiden liukoisuuksista kerrosstabilointinäytteissä	48
10	Olemassa olevien, sivutuotteita sisältävien rakenteiden ympäristövaikutukset	49
10.1	Massiivituhkarakenteet	50
10.2	Kerrosstabiloinnit	51
10.3	Yhteenveto vanhojen, tuhkaa sisältävien rakenteiden tuloksista	52
12	Epävarmuustarkastelu	54
12	Tulosten yhteenveto	56
13	Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset	58
	Lähteet	62
	Liitteet	63
	Liite 1: Materiaalitestauksen menetelmät	63
	Liite 2: Lähtömateriaalien liukoisuudet (2-vaiheinen ravistelutesti)	65
	Liite 3: Lähtömateriaalien kokonaispitoisuudet	67
	Liite 4: Ikäännyttämistestien tulokset	69
	Liite 5: Tiivistämisen ja sideainelisäyksen vaikutukset tuhkan liukoisuuksiin	71
	Liite 6: Tuhkan seosmateriaalien kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet	75
	Liite 7: Massastabilointisovellusten kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet (ravistelutestit ja läpivirtaustestit)	77
	Liite 8: Kerrosstabilointisovellusten kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet (ravistelutestit)	83
	Liite 9: Pintaliukenemistestien ja ravistelutestien tulokset eri tuhkarakennesovelluksille	85
	Liite 10: Vanhojen sivutuoterakenteiden kohdekuvaukset	96
	Liite 11: Vanhojen massiivituhkarakenteiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet	97
	Liite 12: Vanhojen kerrosstabilointirakenteiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet	100
	Kuvailulehti	103
	Presentationsblad	104
	Documentation page	105

Lyhenteet ja termit

BCFB	Bubbling fluidized bed boiler, kuplaleijupetikattila
CFB	Circulating fluidized bed boiler, kiertoleijupetikattila
KaM / MU	Kalliomurske
KS	Metsäteollisuuden kuitusavi (siistausliete)
L/S	Nesteen (liquid) ja kiinteän (solid) aineen suhde liukoisuustestissä yksikössä l/kg
LT	Lentotuhka
Mara-asetus	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 ja Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa annetun valtioneuvoston asetuksen liitteiden muuttamisesta 403/2009
PC	Pulverized combustion, pölypoltto
PIMA	Pilaantunut maa-aines
PIMA-asetus	Valtioneuvoston asetus (214/2007) maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista
Plus	Plussementti
RPT	Savukaasujen puhdistuksessa muodostuva rikinpoiston lopputuote
SA	Savi
SI	Siltti

1 Johdanto

Metsä- ja energiateollisuuden sivutuotteina syntyvillä lentotuhkilla on huomattava maarakennustekninen hyötykäyttöpotentiaali useissa erilaisissa sovelluksissa. Nykyinen asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 591/2006 ja VNa 403/2009, jatkossa Mara-asetus) mahdollistaa tuhkien hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä tietyin kriteerein ja rajoituksin. Nykyinen asetus on laadittu perinteisille massiivituhkarakenteille tie- ja kenttärakenteisiin, eikä asetuksessa ole mukana tuhkan hyötykäytön kannalta tärkeitä sovelluksia, kuten tuhkan käyttöä stabilointien sideaineena. Tuhkista voidaan saada huomattavasti laajempi hyöty sideainekäytössä tai seosaineena yhdessä muiden jätejakeiden kanssa. Tuhkia voidaan käyttää sideaineina rakennusteknisesti heikkolaatuisten ylijäämämaiden jalostamisessa massastabilointitekniikalla tai vanhojen tierakenteiden kerrostabiloinneissa. Tyypillisimpiä seosmateriaaleja ovat sen sijaan kuitusaven ja tuhkan sekä kipsin ja tuhkan seokset, jolloin tuhkalla saadaan jalostettua hyötykäyttöön myös muita teollisuuden jätejakeita. Tuhkia käytetään sideaineina maarakentamisessa nykyisinkin, mutta hyötykäytölle on haettava ympäristölupa, koska sovellukset eivät kuulu Mara-asetuksen piiriin riippumatta siitä, täyttääkö tuhkan laatu Mara-asetuksen liukoisuus-kriteerit.

Erityisesti metsäteollisuudessa muodostuvat puuperäisen aineksen ja turpeen polton lentotuhkat (ns. biomassan polton tuhkat) ovat täyttäneet heikosti nykyisen asetuksen liukoisuus-kriteerit, joten nykyinen Mara-asetus ei ole toiminut näiden tuhkakajakeiden hyötykäytön edistäjänä niin merkittävästi kuin yleisesti olisi toivottu. Kuitenkin nämä biomassan polton tuhkat on nykyisinkin suurimmaksi osaksi hyödynnetty maarakentamisessa, mutta hyödyntäminen on toteutettu ympäristölupamenettelyllä, mikä lisää kustannuksia sekä aiheuttaa aikataulullisia haasteita lupaprosessin keston vuoksi. Kivihiilen polton lentotuhkat ovat soveltuneet hyödynnettäväksi nykyisen Mara-asetuksen kriteereillä tyypillisesti paremmin kuin biopolton tuhkat.

Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvojen perustana ovat jätelainsäädännössä määritetyt pysyvän jätteen liukoisuusraja-arvot, joita sovelletaan suoraan Mara-asetuksen mukaisissa peitetyissä rakenteissa. Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen osalta sovelletaan kolminkertaistettuja pysyvän jätteen liukoisuusraja-arvoja tietyin poikkeuksin. Tuhkien liukoisuudet määritetään yleensä tuoreesta, prosessista tulevasta lentotuhkasta ja liukoisuuksia verrataan Mara-asetuksen kriteereihin. Tuoreessa siilotuhkassa haitta-aineet esiintyvät palamisprosessin seurauksena kemiallisesti epästabieleina yhdisteinä. Haitta-aineiden liukoisuudet voivat muuttua merkittävästi tuhkan ikääntymisen ja erilaisten jalostustoimien myötä tuoreesta siilotuhkasta määritettyihin liukoisuuksiin verrattuna. Tietoa tuhkien ympäristökelpoisuudesta erilaisissa käyttösovelluksissa on saatu lisää Mara-asetuksen voimassaolon aikana, mutta tieto on ollut hajanaisena eri rakennushankkeissa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on koota laaja tutkimusaineisto yhteen raporttiin, jossa tarkoituksena on:

- arvioida, miten tuhkan jalostaminen erilaisiin sovelluksiin muuttaa haitta-aineiden liukoisuuksia
- selvittää, voidaanko maarakentamisessa käytössä olevia hyötykäyttösovelluksia ottaa mukaan Mara-asetukseen
- selvittää, voidaanko liukoisuudet tutkia myös jalostetusta materiaalista eikä yksinomaan tuoreiden tuhkien tulosten perusteella ratkaista materiaalin soveltumista hyötykäyttöön Mara-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä
- arvioida, mitkä haitta-aineista ovat kriittisiä nykyisten liukoisuusraja-arvojen ylittymisen kannalta ja edellyttäisivät raja-arvojen uudelleen tarkastelua
- Tutkimus sisältää myös testimenetelmien vertailua ja niiden soveltuvuuden arviointia eri materiaaleille ja käyttösovelluksiin

Tutkimus on jaoteltu seuraaviin teemoihin:

- Tuhkan ikäännyttämisen vaikutus liukoisuuksiin
- Tiivistämisen ja sideainelisäyksen vaikutus massiivituhkan liukoisuuksiin
- Tuhkan seosmateriaalien liukoisuudet
- Tuhkan sideainekäyttö massastabiloinnissa
- Tuhkan sideainekäyttö kerrostabiloinnissa
- Vanhojen sivutuoterakenteiden liukoisuudet

Tutkimuksissa on ollut mukana yhdeksän suomalaisen voimalaitoksen tuhkanäytteet sekä tuhkaseosmateriaaleissa käytetyt savukaasujen puhdistuksessa muodostuva rikinpoiston lopputuote ja metsäteollisuuden kuitusavi (siustausliete). Liukoisuustestituloksia ei ole tarkasteltu yksittäisten laitosten tuhkien hyötykäyttökelpoisuuden kannalta, vaan eri käyttösovellusten materiaalien liukoisuustestaustulokset on nähty merkittävänä, mikäli eri laitosten tuhkillä on saatu yhteneviä tuloksia.

Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa -hanke käynnistyi syksyllä 2014. Hankkeelle on myönnetty rahoitusta ympäristöministeriön Kierrätystä ja uusiomateriaalien käyttöä edistävien kehittämis- ja kokeiluhankkeiden hankehaussa ja lisäksi työtä rahoittavat Metsäteollisuus ry, Energiateollisuus ry, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Helen Oy (entinen Helsingin Energia Oy) ja Ramboll Finland Oy. Hankkeen tutkimusohjelman sisältö ja laajuus on päätetty hankkeen ohjausryhmässä, johon ovat kuuluneet rahoittajien ja SYKE:n edustajat:

- Else Peuranen, Ympäristöministeriö
- Maija Heikkinen, Metsäteollisuus ry
- Katja Kurki-Suonio, Energiateollisuus ry
- Sari Väättäjä, Helen Oy
- Mikko Suominen, Helsingin kaupungin rakennusvirasto
- Jani Salminen, Suomen Ympäristökeskus
- Marjo Ronkainen, Ramboll Finland Oy
- Noora Lindroos, Ramboll Finland Oy

Hanke tuottaa tietoa Mara-asetuksen uudistuksen valmistelutyöhön ja valtakunnalliseen UUMA2-hankkeeseen. Tutkimusraportti on laadittu Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työstä on vastannut projektipäällikkö Noora Lindroos.

2 Tutkimusmateriaalit

Tutkimuksissa on käytetty yhdeksää lentotuhkanäytettä kahdeksasta eri metsä- ja energiateollisuuden voimalaitoksesta Suomesta. Lisäksi tutkimuksissa on ollut mukana näytteet rikinpoiston lopputuotteesta ja kuitusavesta (siistausliete). Tutkimuksissa on tarkasteltu rikinpoiston lopputuotteen ja kuitusaven osalta ainoastaan niiden ympäristökelpoisuutta eri tuhkasovellusten lisämateriaaleina, eikä sovellusten teknistä kelpoisuutta.

Näytteiden keruu eri voimalaitoksilla ajoittui syys-talvikaudelle 11/2014 – 2/2015. Kukin voimalaitos keräsi neljä eri osanäytettä, jotka on yhdistetty kokoomanäytteeksi. Lisäksi tutkimuksia varten on otettu savi-, siltti ja kalliomurskenäytteitä runkoainemateriaaleiksi. Materiaalit on lueteltu taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Tutkimuksen runkomateriaalit.

Paikkakunta	Materiaali
Helsinki, Honkasuo	Savi
Tampere, Vehmainen	Siltti
Tampere, Sorila	Kalliomurske

Taulukko 2. Tutkimuksen jätemateriaalit.

Tunnus	Materiaali	Polttoainetietoja	Kattilatyyppi
LT1	Lentotuhka	puu turve kivihiili REF	CFB-kattila /kiertoilmaleijupetikattila
LT2	Lentotuhka	Bio (55 %) Turve (35 %) REF (10 %)	CFB /Leijupeti
LT3	Lentotuhka	turve (n. 90 %) puu (n. 10 %)	Pölypoltto / Välitulistuksella varustettu läpivirtauskattila
LT4	Lentotuhka	metsäbio (n.48 %) turve (n. 13 %) teollisuuden sivutuotteita (n. 39 %)	Kiertopetikattila/kuplaleijupetikattila
LT5	Lentotuhka	kivihiili (100 %)	Pölypolttokattila
LT6	Lentotuhka	kivihiili, puupelletti (n. 10 %)	Pölypolttokattila
LT7	Lentotuhka	kuori, liete, puujäte	Leijukerros
LT8	Lentotuhka	turve (10 %), kuori (70 %), puu (kanto, risu, hake) (20 %)	Leijupeti
LT9	Lentotuhka	puu (55 %) turve (35 %)	Leijupeti
KS	Kuitusavi	-	-
RPT	Rikinpoiston lopputuote	-	-

PC Pulverized combustion, pölypoltto
 CFB Circulating fluidized bed boiler, kiertoileijupetikattila
 BCFB Bubbling fluidized bed boiler, kuplaleijupetikattila

3 Menetelmät ja analyysit

Näyttemateriaalien peruskokeet, eri sovelluksiin kuuluvien näytteiden valmistus ja geotekninen testaus on tehty Rambollin ympäristögeotekniikan laboratoriossa Luopioisissa. Kemiaalliset analyysit on tehty SGS Inspection Services Oy:n laboratoriossa Kotkassa (haitta-aineiden kokonaispitoisuusanalyysit, ravistelutestit ja vesinäytteiden analyysit) pois lukien läpivirtaustestit, jotka on tehty SGS IF Hertenin laboratoriossa Saksassa. Läpivirtaustestien vesinäytteet on kuitenkin analysoitu Kotkan laboratoriossa.

- Tutkimusmateriaaleista (jättemateriaalit ja runkomateriaalit) on määritetty Mara-asetuksen mukaisten alkuaineiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet sekä soveltuvien osin geotekniset indeksiominaisuudet (rakeisuus, vesipitoisuus, tiheys, hehkutushäviö, pH) lähtötilanteen selvittämiseksi. Lisäksi metalleista analysoitiin pääkationeiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia, jotka eivät kuulu Mara-asetuksen analysoitavien aineiden listalle. Mara-asetuksen analysoitavien aineiden listalle kuuluvia PCB- ja PAH-yhdisteitä ei ole sisällytetty tutkimusohjelmaan.
- Karakterisointitestien tulosten perusteella valittiin jatkotutkimuksiin soveltuvat näytteet ja sopivat seossuhteet.

Taulukossa 3 on esitetty tutkimuksissa käytetyt testi- ja analyysimenetelmät sekä analysoidut haitta-aineet. Materiaalitestauksen menetelmät on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 3. Käytetyt analyysit, niiden menetelmät sekä tutkitut parametrit.

Testi	Testin kuvaus	Tutkitut parametrit
2-vaiheinen ravistelutesti (SFS-EN 12457-3)	Testin ensimmäisessä vaiheessa alle 4 mm raekokoon (tarvittaessa) murskattua näytettä ravistellaan veden ja kiinteän aineen suhteessa 2 l/kg kuiva-ainetta. Ensimmäisen vaiheen jälkeen kiinteä jäännös erotetaan nesteestä suodattamalla ja ravistelua jatketaan testin toisessa vaiheessa veden ja kiinteän aineen suhteessa 8 l/kg kuiva-ainetta. Tulokset ilmoitetaan L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.	Metallit: Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, Al, Ca, Fe, Mn, Mg, Na, K Muut: F-, SO ₄ ²⁻ , Cl-, DOC, pH, sähkönjohtavuus
Läpivirtaustesti (CEN/TS 14405)	Läpivirtaustestissä alle 4 mm raekokoon (tarvittaessa) murskattu näyte pakataan kolonniin, jonka läpi johdetaan vettä. Kolonnin yläpäästä kerätään seitsemän vesinäytettä määritellyissä nesteen ja kiintoaineen suhteissa. Tulokset ilmoitetaan kumulatiivisessa L/S-suhteessa 2 ja kumulatiivisessa L/S-suhteessa 10.	Metallit: Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, Al, Ca, Fe, Mn, Mg, Na, K Muut: F-, SO ₄ ²⁻ , Cl-, DOC, pH, sähkönjohtavuus
Pintaliukenemistesti (CEN/TS 16637-2) Rakennustuotteet. Vaarallisten aineiden päästöjen arviointi. Yleinen dynaaminen pintaliukenemistesti aineiden liukenemisen määrittämiseen monoliittisista tai levymäisistä rakennustuotteista.	Pintaliukenemistestissä tunnetun pinta-alan omaava näytekappale upotetaan veteen ja vettä vaihdetaan määritellyin aikavälein testin aikana (6 h; 1 d; 2,25 d; 4 d; 9 d; 16 d; 36 d; 64 d). Kerätyistä vesinäytteistä (8 kpl) analysoidaan veteen liuenneiden haitta-aineiden pitoisuudet. Testin tuloksena ilmoitetaan kumulatiivinen liuennut haitta-ainemäärä 64 vuorokauden mittaisen testin aikana testikappaleen pinta-alaa kohti (yksikössä mg/m ² / 64 d).	Metallit: Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, Al, Ca, Fe, Mn, Mg, Na, K Muut: F-, SO ₄ ²⁻ , Cl-, DOC, pH, sähkönjohtavuus
Metallien kokonaispitoisuudet	Kiinteät näytteet: ICP-AES menetelmällä Vesinäytteet: ICP-MS menetelmällä	Metallit: Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, Al, Ca, Fe, Mn, Mg, Na, K

3.1

Pintaliukenemistesti

Kiinteytetty koekappale on huokoinen kappale, jonka sisällä oleva huokosvesi on kemiallisessa tasapainossa kiinteän faasin kanssa. Kun koekappale upotetaan pintaliukenemistestissä veteen, tasapaino rikkoutuu. Tällöin koekappaleen pinnan ja ympäröivän veden välille syntyy kemiallinen potentiaali, mikä aiheuttaa diffuusiota koekappaleen sisällä olevassa huokosvedessä (VTT, 1996). Kun haitta-aineen liukoisuus on diffuusion kontrolloimaa, liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio \sqrt{t} (ajan) kanssa. Myös kappaleen pinnalta liukenee ja huuhtoutuu aineita. Diffuusio voi testin lopussa hidastua, kun liukenevassa muodossa olevan aineen määrä vähentyy (ehtyy) testikappaleessa.

Kemiallisten tekijöiden lisäksi myös materiaalin fysikaaliset ominaisuudet kuten huokoisuus ja huokoskoko vaikuttavat liukoisuuteen. Myös koekappaleen ikä vaikut-

taa liukoisuuksiin, sillä itselujittuvassa tuhkassa tai sementillä stabiloidussa massassa lujittumisreaktiot jatkuvat useita kuukausia koekappaleen valmistamisen jälkeen. Jos kiinteytys ei ole ollut riittävä koekappale voi murentua ja hajota testissä.

Pintaliukenemistestissä määritetyille liukoisuuksille ei ole sitovia raja-arvoja. VTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen oppaissa (*Wahlström, 1996 ja Sorvari, 2000*) esitettyjä diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoja kiinteytetyille rakennusmateriaaleille voidaan käyttää haitta-aineiden tunnistamiseen, joiden liukoisuus kiinteytystä materiaalista voi olla merkittävää. SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvot ovat ehdotuksia sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden liukoisuusraja-arvoiksi Suomessa enintään 0,7 m paksuiselle sivutuoterakenteelle. VTT oppaassa on esitetty hollantilaiset diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvot materiaalille, joka sijoitetaan pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen (Ryhmä 1A) tai eristämättömänä ajoittain kosteaan sijoituspaikkaan (Ryhmä 1B).

4 Lähtömateriaalien analyysitulokset

Laboratorioon toimitetuille näytteille tehtiin peruskokeet soveltuvin osin. Peruskokeiden tulokset on koottu taulukkoihin 4 ja 5.

Taulukko 4. Jättemateriaalien peruskokeiden tulokset.

Lyhenne	Vesipitoisuus (+105 °C) [%]	Hehkutushäviö LoI (800 °C) [%]	Tiheys [kg/m ³]	pH
LT1	0,7	4,9	510	12,6
LT2	0,3	3,1	590	12,7
LT3	0,1	0,6	920	9,8
LT4	0,3	3,0	930	12,9
LT5	0,1	2,9	920	11,8
LT6	0,1	5,0	960	11,9
LT7	0,0	2,7	760	12,9
LT8	0,1	<0,1	1040	12,9
LT9	5,6*	3,3	830	12,9
KS	226	57,5	ei määritetty	7,6
RPT	0,6** (2,0)	ei määritetty	680	11,4

LT = lentotuhka; RPT = rikinpoiston lopputuote; KS = kuitusavi

Tuhkan tiheys vastaa irtotiheyttä, joka on määritetty 10 L ämpärissä

* LT9 oli laboratorioon toimitettaessa kosteaa, tutkimuksissa yli 4 mm paakut murskattu alle 4 mm raekokoon

** Vesipitoisuus määritetty +40 °C:ssa, suluisissa oleva tulos +105 °C:ssa, jolloin kidevettä poistuu näytteestä

Taulukko 5. Runkomateriaalien peruskokeiden tulokset.

Alkuperä	Maalaji	Vesipitoisuus [%]	Hehkutushäviö [%]	Tiheys [kg/m ³]	pH
Savi, Honkasuo, Helsinki, SA	Cl (laSa)	47,9	1,8	1470	6,4
Siltti, Vehmainen, Tampere, SI	clSa (hkSi)	21,0	2,4	1480	5,6
Murske, Sorila, Tampere, MU	saGr (hkSr)	1,0	0,5	-	6,9

Savi-/silttinäytteen tiheys on määritetty sullomalla näytettä tunnetun tilavuuden omaavaan lieriön malliseen sylinteriin ja punnitsemalla sisään jäävän näytteen massa.

Tulokset

Tutkimusmateriaalien sisältämien haitta-aineiden kokonaispitoisuus- ja liukoisuustestien analyysitulokset on esitetty liitteissä 2 ja 3. Kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin useissa aiemmissa tutkimuksissa (esimerkiksi VTT, 2009). Metallien kokonaispitoisuuksien osalta Mara-asetuksen raja-arvot alittuvat testatuilla lentotuhkanäytteillä lukuun ottamatta yhtä lentotuhkanäytettä, jossa arseenin kokonaispitoisuus ylittää raja-arvon. Kyseisen lentotuhkan (LT3) polttoainekoostumus on ollut pääasiassa turvetta.

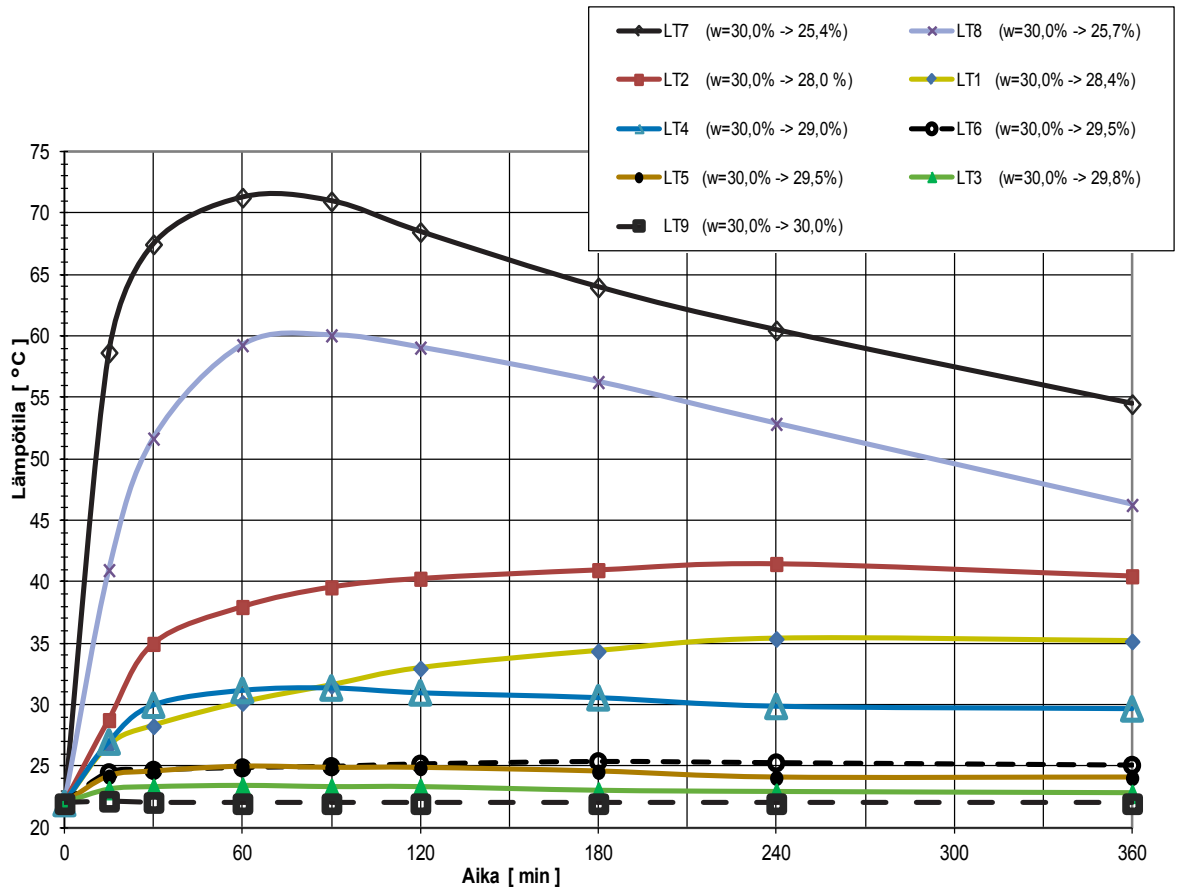
Lentotuhkien liukoisuuksien osalta yleisimmin Mara-asetuksen peitetyn tai päällystetyn rakenteen raja-arvojen ylityksiä todettiin kloridin, sulfaatin, fluoridin, kromin, molybdeenin ja seleenin osalta. Yksittäisiä ylityksiä todettiin myös antimonin, arseenin, bariumin, kadmiumin ja lyijyn osalta. Polttoainekoostumus ja polttoprosessi (erityisesti polton lämpötila) vaikuttavat tuhkien laatuun. Kivihiilenpolton tuhkissa (LT5 ja LT6) haitta-aineiden liukoisuudet ovat alhaisemmalla tasolla kuin biomassan poltossa syntyvissä tuhkissa alittaen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot.

Rikinpoiston lopputuotteessa kloridin ja fluoridin liukoisuudet ylittävät päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ja sulfaatin liukoisuus peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Metallien liukoisuudet ovat hyvin alhaisia rikinpoiston lopputuotteessa.

Kuitusavessa orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) on korkea ja orgaanisen hiilen (DOC) liukoisuus ylittää päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Metallien liukoisuudet ovat hyvin alhaisia kuitusavesta.

Saven, siltin ja kalliomurskeen liukoisuustesteissä ei todettu Mara-asetuksen raja-arvoja ylittäviä liukoisuuksia.

- Tuhkien reaktiivisuutta tutkittiin lämpenemistestillä, jonka tulokset on esitetty kuvassa 1 ja taulukossa 6. Lämpötilan nousu johtuu tuhkan sisältämän kalsiumoksidin lämpöä tuottavasta reaktiosta veden kanssa.
- Huomioitavaa on, että LT9 lentotuhkan lämpenemistestin tulos ei anna oikeaa kuvaa laitoksessa muodostuvan tuhkan reaktiivisuudesta, sillä näyte oli kostea laboratorioon toimitettaessa, jolloin tuhka on jo reagoinut veden kanssa. Reaktiivisimmat tuhkat ovat puuaineksen polton tuhkia. Reaktiivisuudeltaan alhaisia tuhkia ovat pääasiassa kivihiiltä polttoaineena käyttävän laitoksen tuhkat sekä pääasiassa turvetta polttoaineena käyttävän laitoksen tuhka.
- Tuhkan reaktiivisuus vaikuttaa siihen, millaisiin maarakennussovelluksiin tuhka soveltuu. Tuhkien hyödyntäminen sideaineena edellyttää tuhkalta reaktiivisuutta. Kaupallisen sideaineen lisäyksellä voidaan tosin aktivoida vähemmän reaktiivisia tuhkia, jolloin niiden tekniset ominaisuudet paranevat. Toisaalta kaupalliseen sideaineen lisäys nostaa kustannuksia.



Kuva 1. Tuhkien reaktiivisuus lämpenemistestin perusteella (testin alkulämpötila on ollut 22,0 °C).
Lähde: Ramboll Finland Oy.

Taulukko 6. Lentotuhkanäytteiden lämpenemiskokeiden tulokset. Testin alkulämpötila on ollut 22,0 °C.

Lyhenne	Lämpötila- maksimi °C	Vesipitoisuus testin alku %	Vesipitoisuus testin loppu %	Selite
LT7	71,3	30,0	25,4	reaktiivinen tuhka
LT8	60,1	30,0	25,7	reaktiivinen tuhka
LT2	41,5	30,0	28,0	kohtalaisen reaktiivinen tuhka
LT1	35,0	30,0	28,4	kohtalaisen reaktiivinen tuhka
LT4	31,4	30,0	29,0	melko vähäinen reaktiivisuus
LT6	25,4	30,0	29,5	vähäinen reaktiivisuus
LT5	25,0	30,0	29,5	vähäinen reaktiivisuus
LT3	23,4	30,0	29,8	vähäinen reaktiivisuus
LT9	22,2	30,0	30,0	reagoimaton (alun perin kostea tuhka)

Yhteenveto lähtömateriaalien tuloksista

- Lentotuhkien liukoisuuksien osalta yleisimmin Mara-asetuksen peitetyn tai päällystetyn rakenteen raja-arvojen ylityksiä todettiin kloridin, sulfaatin, fluoridin, kromin, molybdeenin ja seleenin osalta. Yksittäisiä ylityksiä todettiin myös antimonin, arseenin, bariumin, kadmiumin ja lyijyn osalta.
- Polttoainekoostumus (kivihiili, puu, turve) ja polttoprosessi (esim. polton lämpötila, polttotekniikka) vaikuttavat lentotuhkien laatuun.
- Kivihiilenpolton tuhkissa haitta-aineiden liukoisuudet ovat alhaisemmalla tasolla kuin biomassan (puu, turve) poltossa syntyvissä tuhkissa alittaen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot.
- Rikinpoiston lopputuotteessa kloridin ja fluoridin liukoisuudet ylittävät päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ja sulfaatin liukoisuus peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Metallien liukoisuudet ovat hyvin alhaisia rikinpoiston lopputuotteessa.
- Kuitusavessa orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) on korkea ja orgaanisen hiilen (DOC) liukoisuus ylittää päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Metallien liukoisuudet ovat hyvin alhaisia kuitusavesta.
- Runkoaineina käytettävien luonnonmaa-aineksien, saven, siltin ja kalliomurskeen, liukoisuustesteissä ei todettu Mara-asetuksen raja-arvoja ylittäviä liukoisuuksia.

5 Tuhkien ikäännyttäminen

Tuhkien liukoisuudet määritetään yleensä tuoreesta, prosessista tulevasta lentotuhkasta ja liukoisuuksia verrataan Mara-asetuksen kriteereihin. Tuoreessa siilotuhkassa haitta-aineet esiintyvät palamisprosessin seurauksena kemiallisesti epästabiileina yhdisteinä kuten metallioksideina. Haitta-aineiden liukoisuudet voivat muuttua merkittävästi tuhkan ikääntymisen myötä tuoreesta siilotuhkasta määritettyihin liukoisuuksiin verrattuna metallioksidien ja hydroksidien karbonoitumisen seurauksena. Tuhkien ikäännyttämistestien tavoitteena oli selvittää laboratorio-olosuhteissa tuhkien lyhytkestoisen kasavarastoinnin aikana tapahtuvia ikääntymisen vaikutuksia tuhkien liukoisuusominaisuuksiin.

Ikäännyttämistestin kesto valittiin noin 2,5 kuukautta, mikä alkaa olla enimmäispiikkus kostutetun tuhkan kasavarastointiajaksi, mikäli tuhkan reaktiivisuus on tärkeää tuhkarakentamishankkeen kannalta. Tuhkan reaktiivisuus on tärkeää sideainekäytössä esimerkiksi kerrosstabiloinnissa.

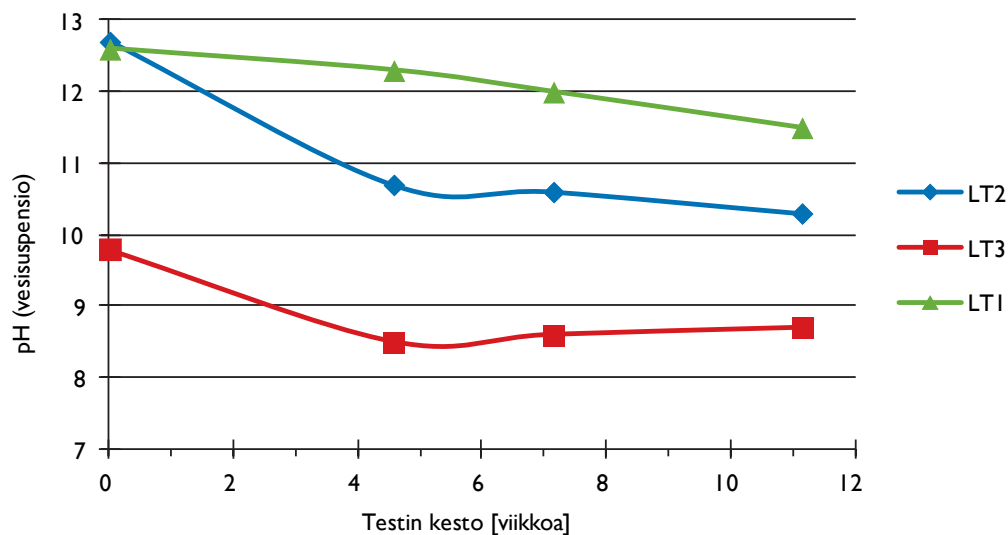
Laboratoriotestissä tuhkanäyte kostutettiin vesipitoisuuteen 20 %, sekoitettiin huolellisesti ja säilytettiin kannella suojatusta koeastiassa, jotta aineita ei voi huuhtoutua pois tuhkasta testin aikana. Kenttäolosuhteissa sadevesi voi huuhdella helpoimmin liukenevia haitta-aineita tuhkasta, jos kasaa ei ole peitetty.

Ilmakontaktin varmistamiseksi kanteen oli porattu ilma-aukkoja. Kostutusta jatkettiin viikoittain karbonointireaktioiden ylläpitämiseksi. Karbonoitumisessa ilman hiilidioksidi liukenee tuhkan huokosveteen ja kalsiittia (kalsiumkarbonaattia) saostuu kunnes tuhka on tasapainossa ilman hiilidioksidin kanssa. Kostutuksen yhteydessä tuhka myös sekoitettiin huolellisesti.

5.1

Tulokset

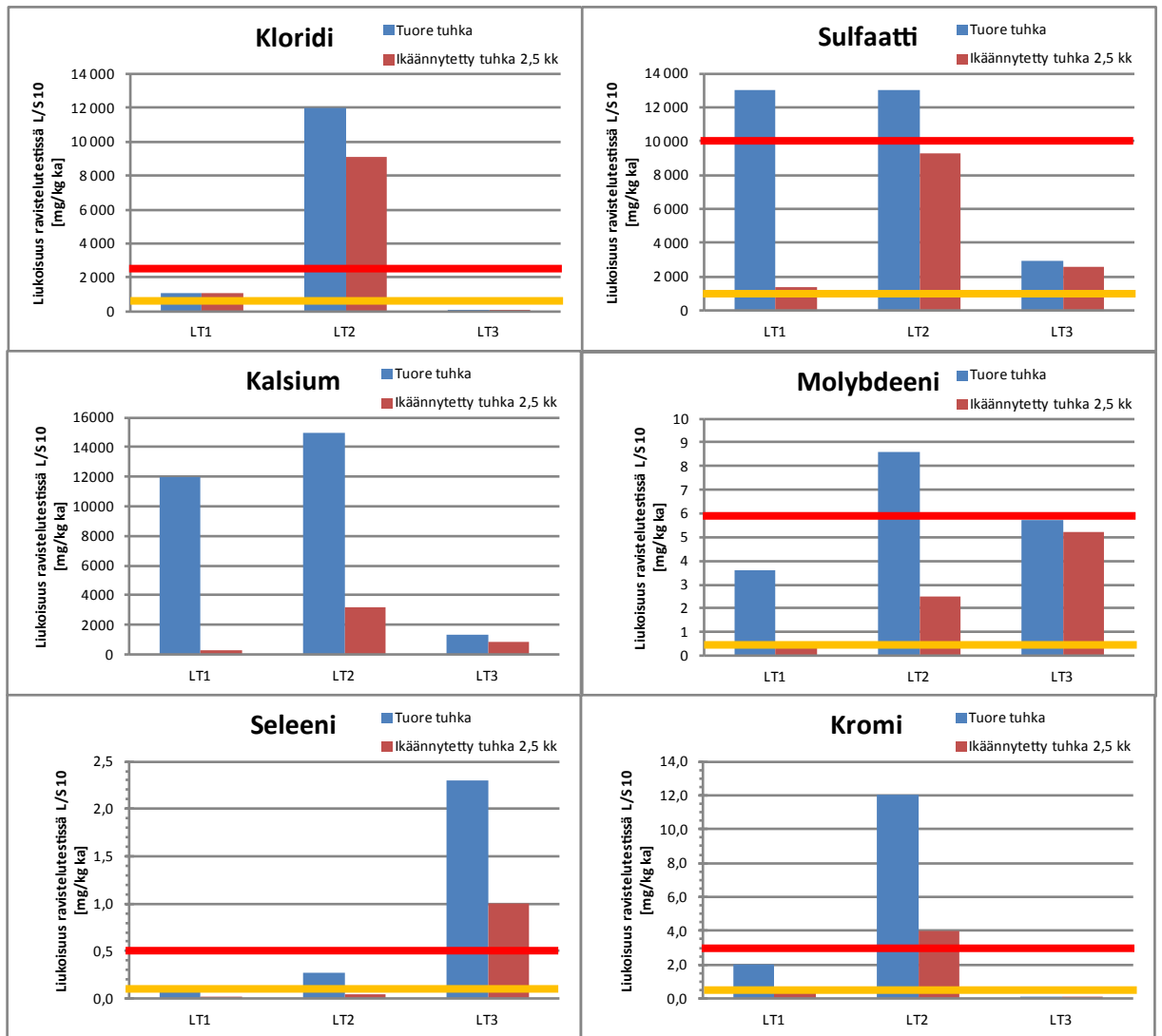
Testijakson aikana tuhkanäytteistä seurattiin pH:n muuttumista kolmesta eri tuhkanäytteestä (kuva 3). Testijakson aikana tuhkanäytteiden pH-arvot laskivat huomattavasti; vähintään yhden pH-yksikön ja suurimmillaan 2,4 pH-yksikköä. LT3-näytteellä pH-arvo asettui seurannan aikana pH-tasolle 8,5, mikä vastaa kalsiumkarbonaatin ja ilman hiilidioksidin tasapainotilannetta (pH 8,3). Kahden muun tuhkanäytteen pH-arvot olivat vielä laskusuunnassa eli tasapainon asettuminen hyvin emäksisillä tuhkillä kestää kasavarastointia mallintavilla tuhkillä useita kuukausia.



Kuva 2. Tuhkanäytteiden pH:n kehittyminen ikäännyttämistestin aikana.

Tuhkanäytteistä analysoitiin haitta-aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuuksia ravistelutestien ennen ja jälkeen ikäännyttämistestiä. Tulokset on esitetty liitteen 4 taulukossa.

LT1 ja LT2 näytteissä havaitaan merkittävä kalsiumin liukoisuuden lasku tuoreen tuhkan ja ikäännytetyn tuhkan välillä (kuva 3). Tuoreessa tuhkassa kalsiumoksidi reagoi veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia, joka liukenee veteen kalsium- ja hydroksidi-ioneina, minkä seurauksena tuoreen tuhkan ravistelutestissä havaitaan korkea kalsiumin liukoisuus. Ikäänntyneessä tuhkassa ilman hiilidioksidi on liuennut kostutuksessa käytettyyn veteen ja kalsium muodostaa niukkaliukoista kalsiumkarbonaattia, mikä havaitaan alentuneesta kalsiumin liukoisuudesta (kalsiumkarbonaatti on saostunut) ja pH:n laskusta.



Kuva 3. Haitta-aineiden liukoisuusmuutoksia tuoreen tuhkan (sininen pylväs) ja ikäännytetyn tuhkan (punainen pylväs) välillä. Punaisella viivalla merkitty Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvo ja keltaisella viivalla peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvo

Eri laitosten tuhkanäytteiden välillä on huomattavia eroja ikäännyttämistestin tuloksissa haitta-aineiden liukoisuuksien osalta. LT1 ja LT2 näytteissä todettiin sulfaatin, kromin, molybdeenin ja seleenin liukoisuuden laskua ikääntymisen myötä. LT3 näytteessä haitallisten aineiden liukoisuuksien muutokset ovat pääsääntöisesti pienempiä kuin LT1 ja LT2 näytteissä.

Koska ikääntymisen seurauksena tuhkien pH muuttuu merkittävästi, haitta-aineiden liukoisuuksien muutokset on tunnettava tuhakohtaisesti tasapainotilan pH:ssa. Testissä ainoastaan yhden tuhkan (LT1) liukoisuudet pienenevät niin huomattavasti, että tuhkan liukoisuudet alittavat ikäännytyksen jälkeen Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Kaksi muuta testattua tuhkaa eivät täytä Mara-asetuksen liukoisuuskaiteereitä 2,5 kk vanhentamisen jälkeen.

Tuhkan ikääntyminen ”luontaisissa” olosuhteissa, joissa hiilidioksidia ei erikseen syötetä kosteaan tuhkaan, on hidas prosessi (useita kuukausia). Tasapainotilan saavuttamisen kesto riippuu myös tuhkan alkuperäisestä pH-tasosta, toisin sanoen kalsiumoksidin määrästä. Lyhytkestoinen tuhkan varastointiaikaa vastaava ikäännytyksen muuttaa tulosten perusteella tuhkan laatua, mutta ei ratkaisevasti näyttäisi pienentä-

vän kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia siten, että tuhka täyttäisi liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen kriteerit.

Molybdeeni ja sulfaatti ovat olleet aineita, joiden liukoisuuksiin on voitu vaikuttaa 2,5 kk kestoisella ikäännyttämisellä siten, että liukoisuus vähenee päällystetyn rakenteen raja-arvon alle. Kromin, seleenin, arseenin ja kloridin liukoisuudet ovat puolestaan ylittäneet Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ikäännytyksessä tuhkassa. Tuhkan normaali välivarastointiaika on kolme vuotta, jolloin aikana on todennäköistä, että useamman haitta-aineen osalta liukoisuudet ovat pienempiä.

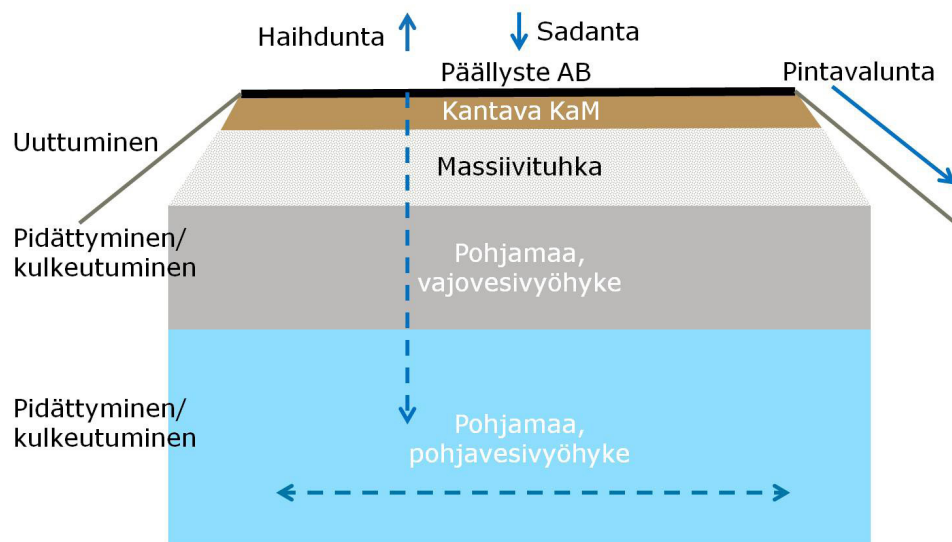
5.2

Yhteenveto ikäännyttämisen vaikutuksista liukoisuuksiin:

- Ikäännyttämisen vaikutus haitta-aineiden liukoisuuksiin on tuhkakohtaista. Eri voimalaitosten tuhkanäytteiden välillä on huomattavia eroja ikäännyttämisen vaikutuksista haitta-aineiden liukoisuuksiin. Testissä todettiin erityisesti sulfaatin mutta myös kromin, molybdeenin ja seleenin liukoisuuden pienentymistä ikäännyttämisen myötä. Koska ikäännyttämisen seurauksena alun perin emäksisten tuhkien pH laskee merkittävästi, haitta-aineiden liukoisuuksien muutokset on tunnettava tuhkakohtaisesti tasapainotilan pH:ssa.
- pH-arvo asettui vanhentamisen aikana pH-tasolle 8,5, kun tuhka oli saavuttanut tasapainotilanteen ilman hiilidioksidin kanssa. Tasapainon asettuminen hyvin emäksisillä tuhkillä kestää kauemmin kuin emäksisillä. Testissä tasapainotilanteen saavuttamiseen kului aikaa yhdestä kuukaudesta useisiin kuukausiin.
- Ikäännyttämisen jälkeen kalsiumin liukoisuus laskee merkittävästi tuoreen tuhkan liukoisuudesta. Kalsium muodostaa ikäännyttämisen aikana niukkaliukoista kalsiumkarbonaattia, mikä havaitaan epäsuorasti alentuneesta kalsiumin liukoisuudesta (kalsiumkarbonaatti on saostunut) ja pH:n laskusta. Ikäännyttämisen jälkeen myös vesisuodoksen sähkönjohtavuus pienenee huomattavasti.
- Lyhytkestoinen ikäännyttäminen (2,5 kk) ei ratkaisevasti pienennä kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia siten, että tuhkat täyttäisivät liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen kriteerit. Yksittäisen voimalaitoksen tuhkan laatua ikäännyttämisellä voidaan parantaa.
- Riippuen tuhkan hyötykäyttösovelluksesta ikäännyttämisen kestoa voidaan pidentää, jolloin liukoisuudet todennäköisesti pienentyvät edelleen. Mikäli tuhkan reaktiivisuus on hyötykäytön kannalta tärkeä parametri, kostutetun tuhkan kasvavarastoinnin kesto kannattaa rajoittaa mahdollisimman lyhyeksi, jotta tuhkan tekniset ominaisuudet eivät heikkene liian merkittävästi.

6 Tiivistämisen ja sideainelisäyksen vaikutus tuhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin

Massiivisilla lentotuhkarakenteilla tarkoitetaan pelkästään lentotuhkaa sekä tarvittaessa lujittavalla sideaineella stabiloitua lentotuhkaa sisältäviä kerrosrakenteita. Sideainelisäys aktivoi lujittumisreaktioita ja on tarpeen, mikäli ei-reaktiivisen tuhkan teknisiä ominaisuuksia halutaan parantaa. Massiivisten lentotuhkarakenteiden käyttö on teknisesti mahdollista tie-, katu- ja kenttärakenteissa tuhkan teknisestä laadusta riippuen eri rakennekerroksissa kuten kantavan kerroksen alaosassa, jakavassa kerroksessa, suodatinkerroksessa tai pengertäytöissä (Ramboll, 2012).



Kuva 4. Periaatekuva päällystetystä tierakenteesta, jossa massiivituhkaa on käytetty kantavan kerroksen alaosassa (AB, asfalttibetoni). Lähde: Ramboll Finland Oy.

Tuhkan tiivistämisen ja sideainelisäyksen vaikutuksia haitta-aineiden liukoisuuksiin tutkittiin ravistelutestein. Ravistelutestissä koekappale murskataan standardin edellyttämään alle 4 mm raekokoon. Osalle materiaaleista tehtiin lisäksi pintaliukenemistesti liukenevien haitta-ainemäärien arvioimiseksi ehjistä koekappaleista sekä haitta-ainekohtaisen liukoisuusmekanismin arvioimiseksi. LT3 tuhkanäytteellä pintaliukenemistesti ei onnistunut, sillä tuhkanäyte hajosi testissä. LT3 tuhka ei ollut laadultaan reaktiivista, joten kappale ei lujitu ilman sementtilisäystä. Kolmen prosentin sementtilisäyksellä LT3 tuhka pysyi hyvin koossa pintaliukenemistestissä.

Kaikki näytteet tiivistettiin Proctor-muotteihin lähellä optimivesipitoisuutta ja koekappaleet lujittuivat 7–8 viikkoa ennen liukoisuustestejä. Sideainelisäystä tutkittaessa 3 massa-%:n sementtimäärä sekoitettiin huolellisesti tuhkan joukkoon en-

nen tiivistämistä Proctor-muottiin. Materiaaleista, joista tehtiin pintaliukenemistesti, määritettiin myös vedenläpäisevyyskerroin k sekä huokoisuus. Taulukkoon 7 on koottu materiaalit, joista on tutkittu tiivistämisen ja tuhkan stabiloinnin vaikutuksia liukoisuustestein sekä kyseisten materiaalien fysikaalisia ominaisuuksia (kuivatiheys, vedenläpäisevyyskerroimen arvo, huokoisuus). Liukoisuustestien tulokset on esitetty liitteissä 5 (ravistelutestit ja kokonaispitoisuudet) ja 9 (pintaliukenemistestit).

Taulukko 7. Tiivistetyt tuhkakappaleet ja Plussementillä stabiloidut tuhkakappaleet ja niistä tehdyt testit.

Seossuhteet	Kokonaispitoisuudet	2-vaiheinen ravistelutesti	Pintaliukenemistesti	Kuivatiheys [t/m ³]	k -arvo* [m/s]	Huokoisuus* [%]
<i>Tiivistyksen vaikutus</i>						
LT2	tehty	tehty	tehty	1,20	$2,3 \cdot 10^{-8}$	54,4
LT3	tehty	tehty	ei onnistunut	1,18	$1,0 \cdot 10^{-6}$	52,5
LT8	tehty	tehty	tehty	1,35	$4,4 \cdot 10^{-9}$	48,5
<i>Tiivistyksen ja sideainelisäyksen vaikutus</i>						
LT1 + 3 % Plus	tehty	tehty		1,09		
LT2 + 3 % Plus	tehty	tehty	tehty	1,22	$1,5 \cdot 10^{-8}$	55,1
LT3 + 3 % Plus	tehty	tehty	tehty	1,19	$3,4 \cdot 10^{-7}$	48,2
LT4 + 3 % Plus	tehty	tehty		1,36		
LT5 + 3 % Plus	tehty	tehty		1,35		
LT7 + 3 % Plus	tehty	tehty		1,19		
LT8 + 3 % Plus	tehty	tehty		1,35		
LT9 + 3 % Plus	tehty	tehty		1,21		

* Määritetty vedenläpäisevyystestissä

6.1

Tiivistämisen vaikutus massiivituhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin ravistelutesteissä

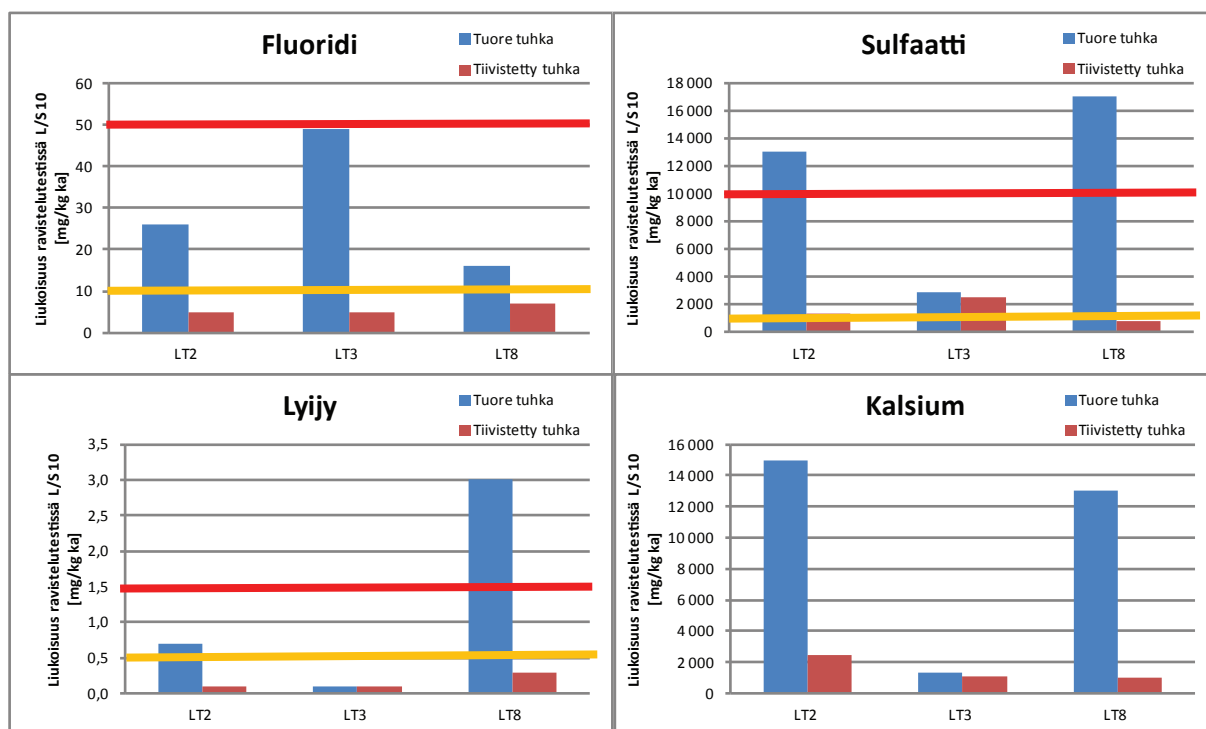
Tuhkan tiivistämisen vaikutukset eri haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelevat tuhkakokoisesti ja haitta-ainekohtaisesti. Ravistelutesteissä todettiin fluoridin, sulfaatin ja lyijyn liukoisuuksien merkittävää laskua tiivistetyissä tuhkanäytteissä verrattuna tuoreisiin tuhkanäytteisiin (kuva 5). Myös kloridin liukoisuus laski tiivistetyissä tuhkanäytteissä verrattuna tuoreeseen tuhkaan.

Ravistelutesteissä havaitut liukoisuuserot tuoreen tuhkan ja tiivistetyn (alle 4 mm raekokoon murskatun) tuhkan välillä johtuvat sekä fysikaalisista että kemiallisista syistä. Fysikaalisista tekijöistä testatun materiaalin raekoko ja ominaispinta-ala vaikuttavat haitta-aineiden liukoisuuksiin.

Tuore tuhka on hyvin hienojakoista (raekoko $\ll 0,25$ mm) ja siten sen ominaispinta-ala on moninkertaisesti suurempi verrattuna alle 4 mm raekokoon murskatun tiivistetyn tuhkan. Etenkin kloridin osalta liukoisuusero tuoreen tuhkan ja tiivistetyn tuhkan välillä on pitkälti fysikaalisista syistä johtuvaa.

Kalsiumin liukoisuuden pienentyminen tiivistetyssä tuhassa johtuu tuhkan itselujittumisreaktioissa muodostuvista ei-vesiliukoisista reaktiotuotteista. Tässä tutkimuksessa alkuaineiden muodostamia yhdisteitä ei ole tutkittu, vaan ainoastaan alkuaineiden pitoisuuksia liukoisuustestien suodoksissa. Vastaavan kaltaisille suomalaisen polttolaitosten biomassan polton (puu, turve) lentotuhkille on kirjallisuudessa

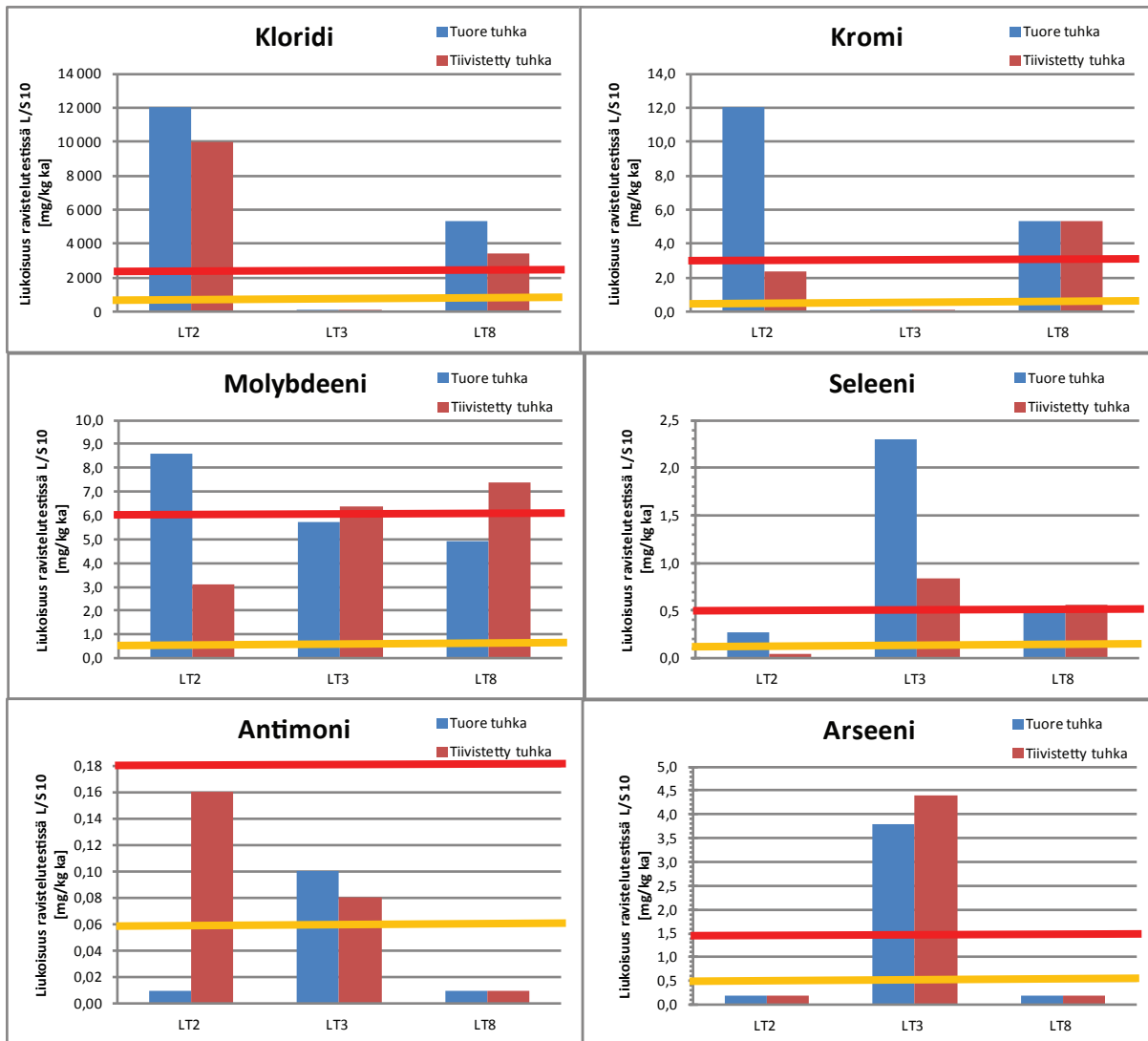
esitetty muodostavan tiivistetyissä, lujittuneissa tuhkissa kalsiumin reaktiotuotteina ettringiittiä, portlandiittiä, kalsiittiä, kalsiumsilikaattihydraatteja, ja kalsiumalumiinaattihydraatteja sekä heikosti lujittuvien, alhaisen kalsiumpitoisuuden tuhkien osalta kipsiä (Illikainen *et al*, 2014). Näitä kalsiumin yhdisteitä esiintyy myös tämän tutkimuksen tiivistetyissä tuhkissa. Samoin sulfaatin liukoisuuden pienentyminen tiivistetyssä tuhkassa johtuu niukkaliukoisten rikkiä sisältävien reaktiotuotteiden muodostumisesta (ettringiitti, kipsi).



Kuva 5. Tiivistämisen vaikutus fluoridin, sulfaatin, lyijyn ja kalsiumin liukoisuuksiin ravistelutesteissä (mg/kg kuiva-ainetta). Tuoreesta tuhkasta liukeneva määrä on merkitty sinisellä pylväällä ja tiivistetystä tuhkasta liukeneva määrä punaisella pylväällä. Punaisella viivalla merkitty Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen raja-arvo ja keltaisella peitetyn rakenteen raja-arvo

Haitta-aineista antimonin, arseenin, kromin, molybdeenin ja seleenin osalta liukoisuuksissa tapahtuvat muutokset vaihtelivat tuhkakohtaisesti suuntaan tai toiseen (kuva 6). Liukoisuuseroihin tuoreen tuhkan ja tiivistetyn tuhkan välillä vaikuttavat osaltaan myös pH-arvoissa tapahtuneet muutokset. Kaikilla testatuilla tuhilla elohopean, kuparin ja nikkelin liukoisuudet alittivat määritysrajat ravistelutesteissä.

Tiivistäminen ei ratkaisevasti pienennä kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia siten, että tuhka täyttäisi liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen kriteerit. Yksittäisen laitoksen tuhkalaadun ja yksittäisen haitta-aineen kannalta tiivistämisestä voi olla hyötyä liukoisuuksien pienentämisessä.



Kuva 6. Tiivistämisen vaikutus kloridin kromin, molybdeenin, seleenin, antimonin ja arseenin liukoisuuksiin ravistelutesteissä (mg/kg kuiva-ainetta). Tuoreesta tuhkasta liukeneva määrä on merkitty sinisellä pylväällä ja tiivistetystä tuhkasta liukeneva määrä punaisella pylväällä. Punaisella viivalla merkitty Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen raja-arvo ja keltaisella peitetyn rakenteen raja-arvo.

6.2

Yhteenveto tuhkan tiivistämisen vaikutuksesta liukoisuuksiin

- Tuhkan tiivistämisen vaikutukset eri haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelevat tuhkaakohtaisesti ja haitta-ainekohtaisesti. Ravistelutesteissä havaittiin fluoridin, sulfaatin ja lyijyn liukoisuuksien merkittävää pienentymistä tiivistetyssä tuhassa verrattuna tuoreeseen tuhkaan.
- Haitta-aineista antimonin, arseenin, kromin, molybdeenin ja seleenin osalta liukoisuuksissa tapahtuvat muutokset vaihtelivat tuhkaakohtaisesti suuntaan tai toiseen
- Liukoisuuden pienentymiseen tiivistämisen jälkeen vaikuttaa kemiallisten tekijöiden (tuhkan lujittumisreaktioissa muodostuvat niukkaliukoiset reaktiotuotteiden muodostuminen, pH-muutokset) lisäksi fysikaaliset tekijät kuten testattujen näytteiden rakeisuus ja veden kanssa kosketuksissa oleva ominaispinta-ala

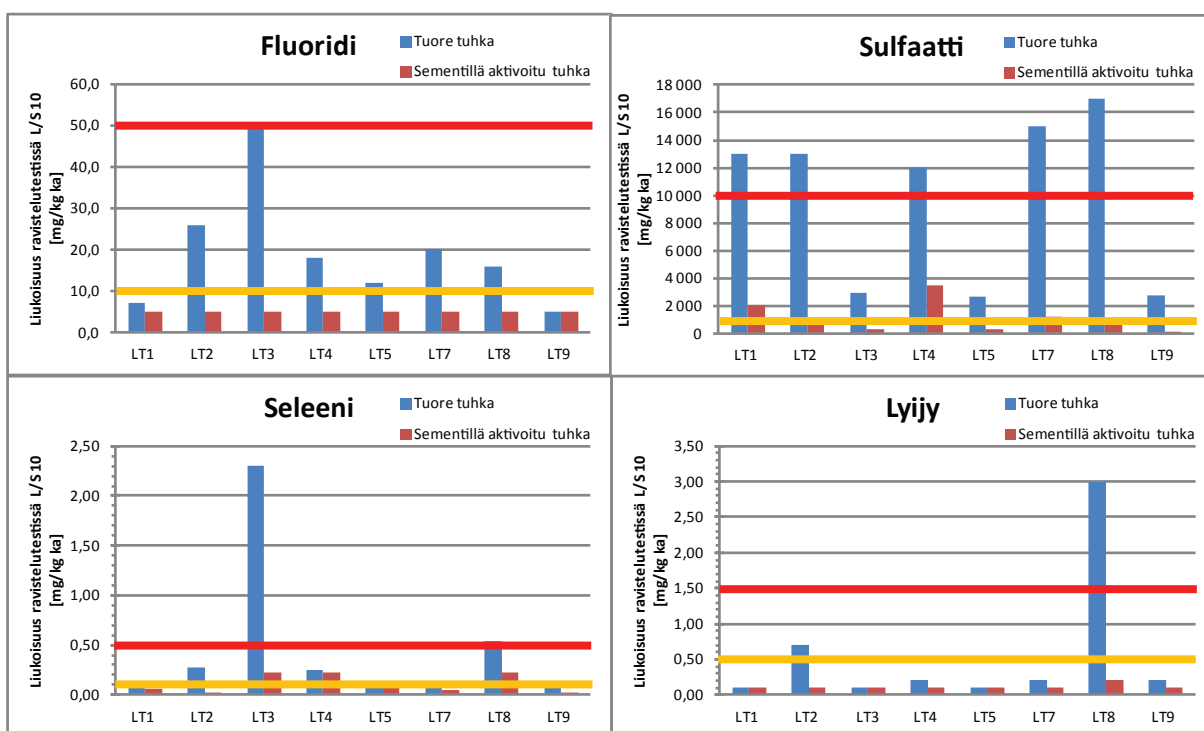
liukoisuustestissä. Etenkin kloridin osalta liukoisuusmuutos on pitkälti fysikaalisista syistä johtuvaa.

- Kalsiumin ja sulfaatin liukoisuuksien pienentyminen tiivistetyssä tuhassa johtuu tuhkan itselujittumisreaktioissa muodostuvista ei-vesiliukoisista reaktiotuotteista.
- Tiivistäminen ei ratkaisevasti pienennä kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia siten, että tuhka täyttäisi liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen kriteerit.
- Yksittäisen laitoksen tuhkalaadun ja yksittäisen haitta-aineen kannalta tiivistämisestä voi olla hyötyä liukoisuuksien pienentämisessä.

6.3

Sideainelisäyksen vaikutus massiivituhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin ravistelutesteissä

Sideainelisäyksen vaikutus haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelee tuhakohtaisesti ja haitta-ainekohtaisesti (liite 5). Liukoisuuden pienentyminen fluoridin, sulfaatin, lyijyn ja seleenin osalta sideaineella aktivoituilla ja tiivistetyillä tuhkanäytteillä on merkittävää verrattuna tuoreisiin tuhkanäytteisiin, eli testattujen tuhkien liukoisuudet alittavat Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ja fluoridin osalta myös peitetyn rakenteen raja-arvot sideainelisäyksen jälkeen (kuva 7).

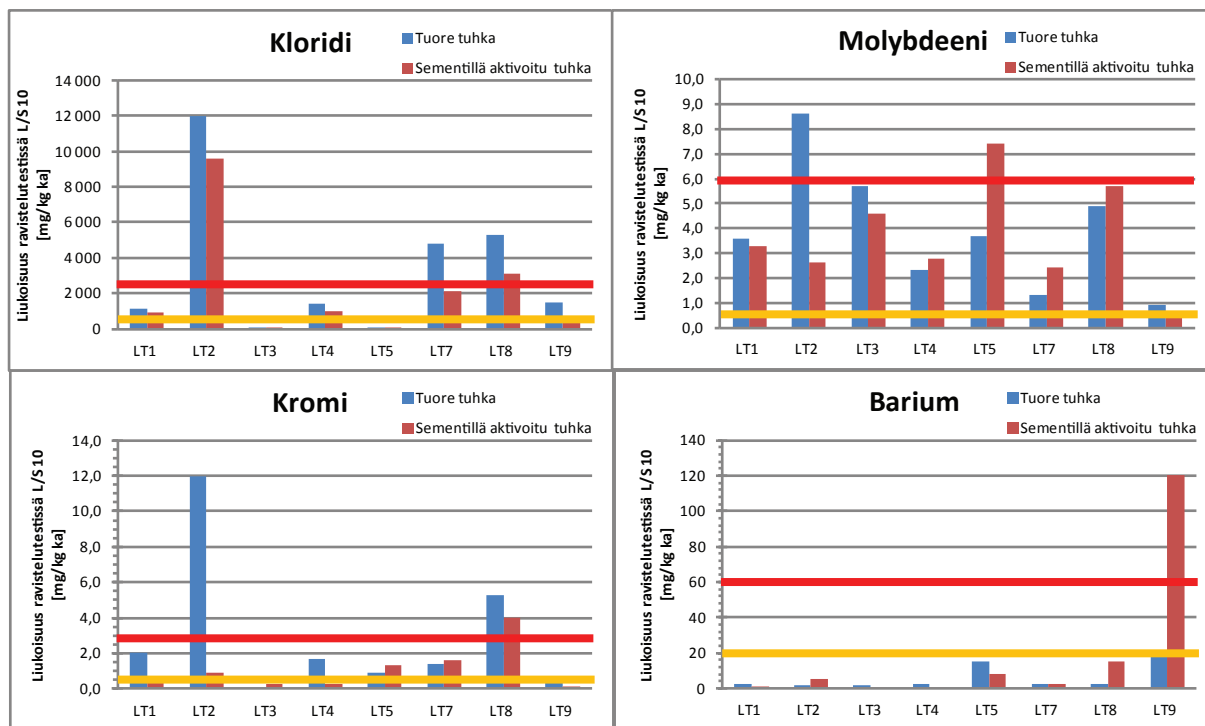


Kuva 7. Sideainelisäyksen vaikutus massiivituhkan liukoisuuksiin ravistelutesteissä (mg/kg kuiva-ainetta). Tuoreesta tuhasta liukeneva määrä on merkitty sinisellä pylväällä ja sideaineella aktivoitusta tuhasta liukeneva määrä punaisella pylväällä. Punaisella viivalla merkitty Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen raja-arvo ja keltaisella peitetyn rakenteen raja-arvo

Kloridin osalta todettiin myös liukoisuuden pienentymistä, mutta kloridin liukoisuus ei pienentynyt niin merkittävästi, että alun perin päällystetyn rakenteen raja-arvon ylittävä kloridipitoisuus olisi laskenut ko. raja-arvon alle sideainelisäyksen jälkeen

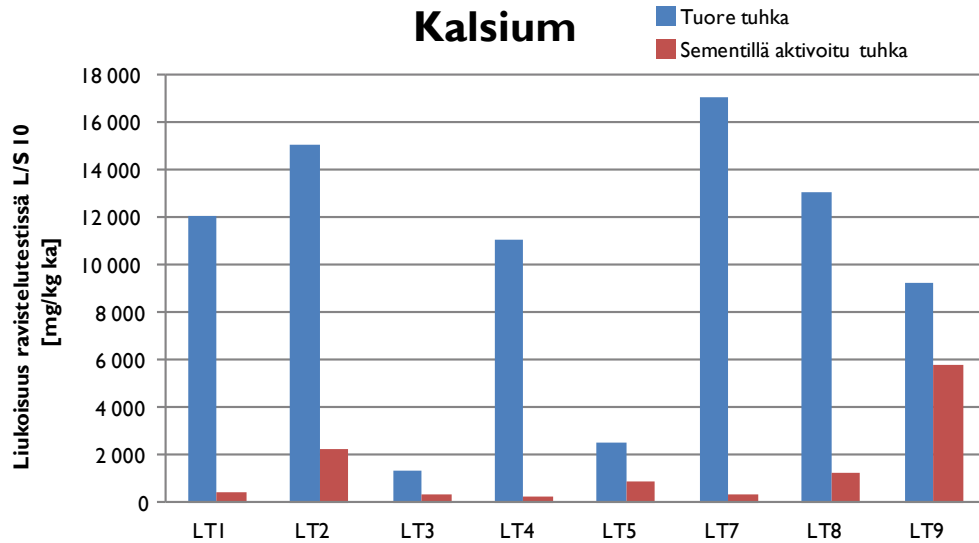
(LT2 ja LT8). Arseenin ja kadmiumin liukoisuudet pienentyivät myös merkittävästi sideainelisäyksen myötä, mutta kyseessä oli yksittäinen tuhkanäyte (LT3), joten tulosta ei voi yleistää laajemmin muille tuhkillle.

Haitta-aineista antimonin, bariumin, kromin ja molybdeenin osalta liukoisuuksissa tapahtuvat muutokset vaihtelivat tuhakohtaisesti suuntaan tai toiseen. Kaikilla testatuilla tuhilla elohopean, kuparin ja nikkelin liukoisuudet jäivät alle määrittämissä rajojen ravistelutesteissä.



Kuva 8. Sideainelisäyksen vaikutus liukoisuuksiin ravistelutesteissä (mg/kg kuiva-ainetta). Tuoreesta tuhasta liukeneva määrä on merkitty sinisellä pylväällä ja sideaineella aktivoidusta tuhasta liukeneva määrä punaisella pylväällä. Punaisella viivalla merkitty Mar-asetuksen päällystetyn rakenteen raja-arvo ja keltaisella peitetyn rakenteen raja-arvo.

Kalsiumin liukoisuuden muutos oli tuoreen tuhkan ja sideaineella aktivoituneen tiivistetyn tuhkan välillä selkeä (kuva 9). Muutos johtuu sementillä aktivoituneen tuhkan lujittumisreaktiossa muodostuvista ei-vesiliukoisista reaktiotuotteista.



Kuva 9. Sideainelisäyksen (= aktivoitu) vaikutus kalsiumin liukoisuuteen ravistelutesteissä (mg/kg kuiva-ainetta). Tuoreesta tuhkasta liukeneva määrä on merkitty sinisellä pylväällä ja sideaineella aktivoitusta tuhkasta liukeneva määrä punaisella pylväällä.

Sideainelisäys ja samassa yhteydessä tehty tiivistäminen pienentävät noin puolella testatuista tuhista kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia niin merkittävästi, että tuhka täyttää liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusstandardit. Kloridi on ongelmallinen haitta-aine; mikäli sen liukoisuus ylittää tuoreessa tuhassa päällystetyn rakenteen raja-arvon, sideainelisäys ja tiivistäminen eivät välttämättä pienennä kloridin liukoisuutta riittävästi. Myös bariumin, kromin ja molybdeenin päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin.

6.4

Yhteenveto sideainelisäyksen vaikutuksesta massiivituhkan haitta-aineiden liukoisuuksiin

- Fluoridin, sulfaatin, lyijyn ja seleenin liukoisuuden pienentyminen sideaineella aktivoituilla ja tiivistetyillä tuhkanäytteillä on merkittävää
- Kloridilla todettiin myös liukoisuuden pienentymistä, mutta ei merkittävässä määrin. Arseenin ja kadmiumin liukoisuudet pienentyivät myös merkittävästi sideainelisäyksen myötä, mutta kyseessä oli yksittäinen tuhkanäyte, joten tulosta ei voi yleistää laajemmin muille tuhille.
- Antimonin, bariumin, kromin ja molybdeenin liukoisuuksissa tapahtuvat muutokset vaihtelivat tuhakohtaisesti
- Kalsiumin ja sulfaatin liukoisuuden muutos oli tuoreen tuhkan ja sideaineella aktivoitun, tiivistetyn tuhkan välillä selkeä ja johtui lujittumisreaktiosta muodostuvista ei-vesiliukoisista reaktiotuotteista ja/tai kipsin muodostumisesta
- Sideainelisäys ja samassa yhteydessä tehty tiivistäminen pienentävät noin puolella testatuista tuhista kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia niin merkittävästi, että tuhka täyttää liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusstandardit.
- Kloridin liukoisuus sideaineella aktivoitusta tuhkasta määräytyy pitkälti käytetyn tuoreen tuhkan kloridin liukoisuudesta.

Haitta-aineiden liukoisuudet massiivituhkanäytteistä pintaliukenemistesteissä

Neljälle ehjälle massiivituhkakoekappaleelle tehtiin pintaliukenemistesti liukenevien haitta-ainemäärien arvioimiseksi sekä haitta-ainekohtaisen liukoisuusmekanismin arvioimiseksi (taulukko 7). Kaksi testatuista näytteistä oli tiivistettyjä tuhkanäytteitä ja kahdessa oli käytetty 3 % Plussementtiä lujittumisen aktivaattorina. Kappaleiden vedenläpäisevyyskertoimien arvot vaihtelivat välillä $3,4 \cdot 10^{-7} \dots 4,4 \cdot 10^{-9}$ m/s. Pintaliukenemistestin tulokset ja haitta-aineen liukoisuusmekanismi on esitetty liitteessä 9. Samassa taulukossa on myös esitetty vastaavan massiivituhkanäytteen kokonaispitoisuudet ja ravistelutestillä murskatusta näytteestä määritetyt liukoisuudet.

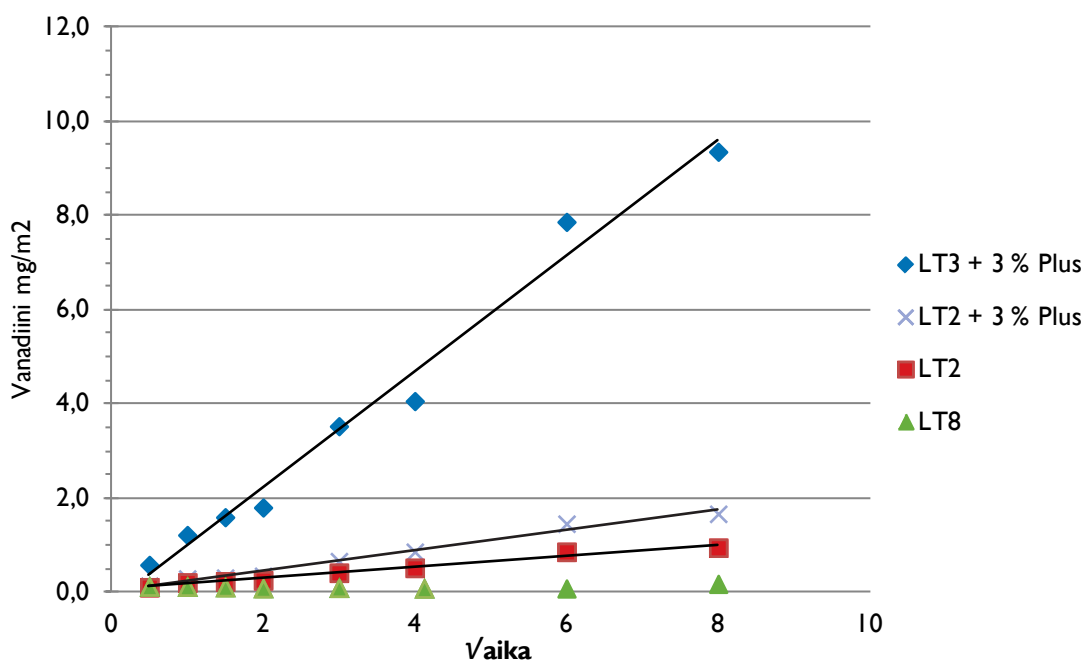
Pintaliukenemistestissä määritetyille liukoisuuksille ei ole sitovia raja-arvoja. VTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen oppaissa (*Wahlström, 1996 ja Sorvari, 2000*) esitetyt diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoja kiinteätetyille rakennusmateriaaleille voidaan käyttää haitta-aineiden tunnistamiseen, joiden liukoisuus kiinteästä materiaalista voi olla merkittävää. SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvot ovat ehdotuksia sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden liukoisuusraja-arvoiksi Suomessa enintään 0,7 m paksuiselle sivutuoterakenteelle. VTT oppaassa on esitetty hollantilaiset diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvot materiaalille, joka sijoitetaan pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen (Ryhmä 1A) tai eristämättömänä ajoittain kosteaan sijoituspaikkaan (Ryhmä 1B).

Verrattaessa pintaliukenemistestin tuloksia ohjeellisiin diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin (hollantilaisiin ja SYKE:n oppaan raja-arvoihin) havaittiin seuraavaa:

- Kloridin liukoisuudet ylittivät diffuusiotestin hollantilaisia enimmäisliukoisuusraja-arvoja niissä näytteissä, joissa myös ravistelutesteissä kloridin liukoisuudet olivat korkeita
- Fluoridin ja sulfaatin liukoisuudet olivat alhaisia pintaliukenemistestissä diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin verrattuna. Huomioitavaa on, että tuoreiden tuhkanäytteiden ravistelutesteissä fluoridin ja sulfaatin liukoisuudet ylittivät päällystetyn tai peitetyn rakenteen raja-arvot
- Antimonin liukoisuudet olivat kohonneita pintaliukenemistestissä verrattuna hollantilaisiin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin. SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvo kuitenkin alittui selvästi. Huomioitavaa on, että ravistelutesteissä antimonin liukoisuudet olivat varsin alhaisia vaikka pintaliukenemistestissä antimonin liukoisuus oli kohonnut.
- Kromin liukoisuudet olivat hyvin alhaisia pintaliukenemistestissä diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin verrattuna. Huomioitavaa on, että ravistelutesteissä kromia liukeni massiivituhkanäytteistä päällystetyn tai peitetyn rakenteen raja-arvojen ylittäviä pitoisuuksia.
- Molybdeenin liukoisuudet olivat kohonneita pintaliukenemistestissä verrattuna hollantilaisiin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin (ryhmä 1A ja 1B). SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvo kuitenkin alittui. Molybdeenin liukoisuudet ylittivät päällystetyn tai peitetyn rakenteen raja-arvot ravistelutesteissä.
- Seleenin liukoisuudet olivat alhaisia pintaliukenemistestissä SYKE:n oppaan diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin verrattuna. Huomioitavaa on, että ravistelutesteissä seleeniä liukeni massiivituhkanäytteistä päällystetyn tai peitetyn rakenteen raja-arvojen ylittäviä pitoisuuksia
- Muiden metallien liukoisuudet olivat alhaisia sekä pintaliukenemistestissä että ravistelutesteissä.

- Minkään haitta-aineen liukoisuus pintaliukenemistesteissä ei ylittänyt SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvoja. Kloridille ja sulfaatile SYKE:n oppaassa ei esitetty liukoisuusraja-arvoja.

Pintaliukenemistestin tuloksista saadaan tietoa myös liukoisuusmekanismeista. Diffuusio oli vallitseva mekanismi erityisesti vanadiinin osalta, mutta diffuusion kontrolloimana liukeni myös sulfaatti, kromi, antimoni, barium ja molybdeeni osassa tuhkanäytteitä. Kun haitta-aineen liukoisuus on diffuusion kontrolloimaa, liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio \sqrt{t} (ajan) kanssa, mikä havaitaan esimerkiksi vanadiinin osalta kuvasta 10. Tuhkan aktivointi sementillä ei vaikuta merkittävästi vanadiinin liukoisuuteen ravistelutestissä tai pintaliukenemistestissä verrattaessa LT2 näytteen ja LT2 + 3 % Plus näytteen tuloksia keskenään (taulukko 8).



Kuva 10. Vanadiinin liukeneminen diffuusion kontrolloimana massiivituhanäytteissä

Taulukko 8. Vanadiinin liukoisuudet tuhkanäytteissä

Näyte ja seossuhteet	Kokonaispitoisuus [mg/kg ka]	Liukoisuus ravistelutesti L/S 10 [mg/kg ka]	Liukoisuus pintaliukenemistesti [mg/m²/64 d]	Liukoisuusmekanismi	Näytteen k-arvo [m/s]
LT3 +3 % Plus	77	2	30	diffuusio	$3,4 \cdot 10^{-7}$
LT2	62,5	0,2	3,6	diffuusio	$2,3 \cdot 10^{-8}$
LT2 + 3 % Plus	57	0,2	5,8	diffuusio	$1,5 \cdot 10^{-8}$
LT8	30	<0,1	0,9	tuntematon mekanismi	$4,4 \cdot 10^{-9}$

Kloridin liukoisuusmekanismi on kaikissa tuhkanäytteissä sama eli kloridi liukenee merkittävästi testin alkuvaiheessa ja testin edetessä sen pitoisuus vesiliuoksissa pienentyy kloridin määrän ehtyessä. Tuhkalle LT2 on tehty pintaliukenemistesti sekä tiivistetyllä tuhalla että sementillä aktivoitulla tuhalla. Kloridin liukoisuus

on samaa suuruusluokkaa molemmissa näytteissä eli tuhkan stabilointi ei muuta kloridin liukoisuutta.

Myös sulfaatin, bariumin, kromin ja molybdeenin liukoisuudet pienentyvät merkittävästi pintaliukenemistestissä pitoisuuksien ehtyessä osalla testatuista massiivituhanäytteistä.

6.6

Yhteenvedo massiivituhanäytteiden pintaliukenemistestien tuloksista

- Pintaliukenemistestissä määritetyille liukoisuuksille ei ole sitovia raja-arvoja. Ohjeellisia diffuusiotestien raja-arvoja voidaan käyttää kiinteytetyille rakennusmateriaaleille haitta-aineiden tunnistamiseen, joiden liukoisuus kiinteytetyistä materiaalista voi olla merkittävää. SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvot ovat ehdotuksia sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden liukoisuusraja-arvoiksi Suomessa enintään 0,7 m paksuiselle sivutuoterakenteelle. Hollantilaiset diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvot on laadittu materiaalille, joka sijoitetaan pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen (Ryhmä 1A) tai eristämättömänä ajoittain kosteaan sijoituspaikkaan (Ryhmä 1B).
- Minkään metallin tai fluoridin liukoisuus pintaliukenemistesteissä ei ylittänyt SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvoja massiivituhanäytteissä tai sementillä aktivoituissa massiivituhanäytteissä. SYKE:n oppaassa ei ole esitetty kloridille tai sulfaatille diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoja. Hollantilaisten diffuusiotestin enimmäisliukoisuusrajojen ylityksiä todettiin kloridilla, antimoniilla, molybdeenilla ja seleenillä.
- Tuhkan aktivointi sementillä pienentää tulosten perusteella sulfaatin ja kromin liukoisuuksia, mutta muiden haitta-aineiden liukoisuuksiin aktivoinnilla ei havaita olevan merkittävää vaikutusta.
- Pintaliukenemistestien tulosten perusteella diffuusio oli vallitseva liukoisuusmekanismi usealla haitta-aineella. Diffuusion kontrolloimana liukenivat vanadiini, sulfaatti, kromi, antimoni, barium ja molybdeeni osassa tuhanäytteitä. Kun haitta-aineen liukoisuus on diffuusion kontrolloimaa, liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio \sqrt{t} (ajan) kanssa.
- Pintaliukenemistestien perusteella kloridi on kriittisin haitta-aine massiivituhanäytteiden liukoisuuksien kannalta. Sen liukoisuusmekanismi oli kaikissa testatuissa massiivituhanäytteissä sama eli kloridi liukeni merkittävästi testin alkuvaiheessa ja testin edetessä sen pitoisuus vesiliuoksissa pienentyi kloridin määrän vähentyessä näytteestä. Kloridin liukoisuus massiivituhkasta määräytyi käytännössä käytetyin tuhkan kloridin liukoisuudesta.

7 Tuhkaseosmateriaalit

Tuhkan seosmateriaaleista tutkittiin haitta-aineiden liukoisuuksia ravistelutestein. Testatut seosmateriaalit olivat kivihiilenpolton lentotuhkan ja rikinpoistotuotteen seoksia sekä puuperäisen aineksen polton lentotuhkan ja kuitusaven seoksia. Kolmelle materiaaleista tehtiin lisäksi pintaliukenemistesti liukenevien haitta-ainemäärien arvioimiseksi ehjistä koekappaleista sekä haitta-ainekohtaisen liukoisuusmekanismin arvioimiseksi.

Materiaaleista, joista tehtiin pintaliukenemistesti, määritettiin myös vedenläpäisevyyskerroin k sekä huokoisuus. Kaikki näytteet tiivistettiin Proctor-muotteihin lähellä seoskohtaista optimivesipitoisuutta ja koekappaleet lujittuivat 7-8 viikkoa ennen liukoisuustestejä. Taulukkoon 9 on koottu materiaalit, joista on tutkittu seosmateriaalien liukoisuuksia sekä kyseisten materiaalien fysikaalisia ominaisuuksia (kuivatiheys, vedenläpäisevyyskerroimen arvo, huokoisuus). Liukoisuustestien tulokset on esitetty liitteiden 6 ja 9 taulukoissa.

Taulukko 9. Tuhkaseosmateriaalit ja niistä tehdyt testit.

Seossuhteet*	Kokonaispitoisuudet	2-vaiheinen ravistelutesti	Pintaliukenemistesti	Kuivatiheys [t/m ³]	k -arvo* [m/s]	Huokoisuus* [%]
3 % Plus + LT5:RPT (70:30)	tehty	tehty	tehty	1,41	$2,50 \cdot 10^{-9}$	36,5
3 % Plus + LT5:RPT (90:10)	tehty	tehty				
LT7:KS= 60:40	tehty	tehty	tehty	1,01	$1,910^{-7}$	57,7
LT7:KS = 80:20	tehty	tehty				
LT8:KS = 60:40	tehty	tehty	tehty	1,09	$2,910^{-7}$	58,4
LT8:KS = 80:20	tehty	tehty				

* Määritetty vedenläpäisevyystestissä

7.1

Tuhkan ja rikinpoistotuotteen seokset

Ravistelutestit

Rikinpoiston lopputuotteessa kloridin ja fluoridin liukoisuudet ovat korkeita ja ylittävät päällystetyn rakenteen raja-arvot ja sulfaatin liukoisuus ylittää peitetyn rakenteen raja-arvon (liite 6). Tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen massiiviseosnäytteissä kloridin ja sulfaatin liukoisuudet määräytyvät suurelta osin lähtömateriaalien liukoi-

suuksien perusteella. Sen sijaan fluoridin liukoisuus seoksissa on lähtömateriaaleihin verrattuna alhainen ollen määritysrajasolla. Massiiviseosnäytteistä liukenevista metalleista ainoastaan molybdeenin liukoisuus ylittää peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon, muiden metallien liukoisuudet ovat alhaisia.

Pintaliukenemistestit

Metallien tai fluoridin liukoisuudet pintaliukenemistesteissä eivät ylittäneet SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvoja tuhkan ja rikinpoistonlopputuotteen seosnäytteessä (liite 9). SYKE:n oppaassa ei ole esitetty kloridille tai sulfaatille diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoja. Hollantilaisten diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin kloridin, sulfaatin, antimonin ja molybdeenin osalta. Tulosten perusteella kloridi oli kriittisin haitta-aine massiiviseosnäytteessä liukoisuuksien kannalta. Kloridi liukeni merkittävästi testin alkuvaiheessa ja testin edetessä sen pitoisuus vesiliuoksissa pienentyi kloridin määrän vähentyessä näytteestä.

Pintaliukenemistestissä fluoridi, sulfaatti, molybdeeni ja vanadiini liukenevat diffuusion kontrolloimina tuhkan ja rikinpoistotuotteen seoksesta eli näiden haitta-aineiden liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio \sqrt{t} (ajan) kanssa.

7.2

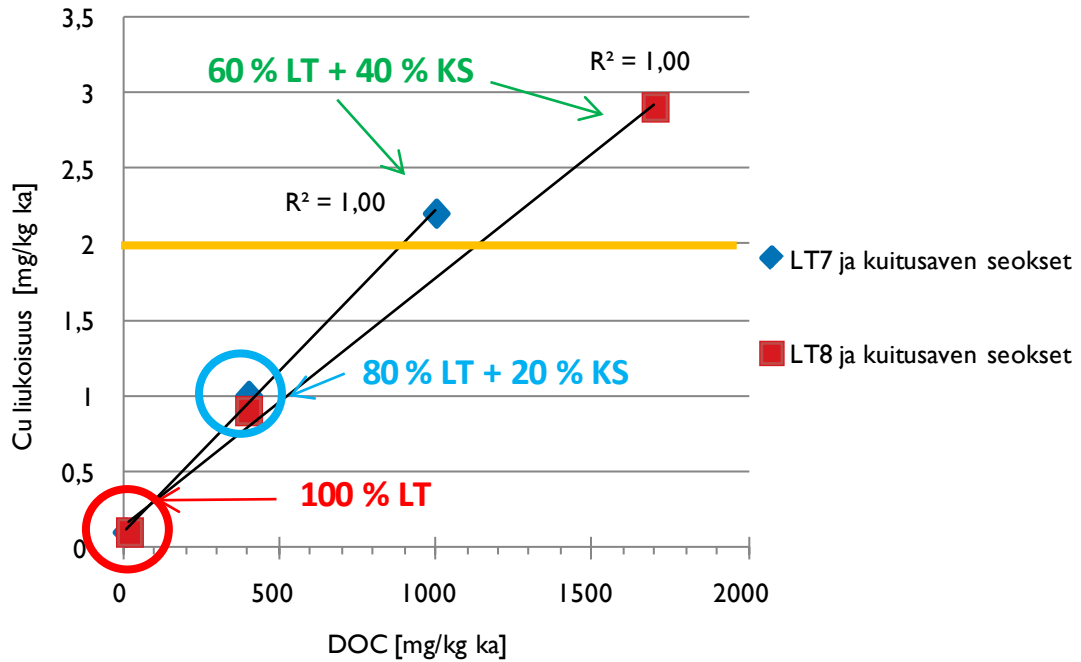
Tuhkan ja kuitusaven seokset

Ravistelutestit

Kuitusavessa orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) on korkea 17 % ja sen liukoisuus (DOC) ylittää ravistelutesteissä päällystetyn rakenteen raja-arvon (liite 6). Korkea orgaanisen hiilen pitoisuus vaikuttaa myös kuitusaven ja tuhkan seosten ominaisuuksiin. Kuitusaven osuudesta riippuen DOC-pitoisuus ylittää päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon myös kuitusaven ja lentotuhkan seoksissa. Tulosten perusteella mikäli kuitusaven osuus on noin 20 %, DOC raja-arvo alittaa peitetyn ja päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon.

Korkea DOC-pitoisuus näyttää tulosten perusteella lisäävän kuparin ja nikkelin liukoisuutta kuitusaven ja tuhkan massiiviseosnäytteistä. Kupari ja nikkeli ovat tuoreessa tuhassa niukkaliukoisessa muodossa mutta niiden liukoisuudet kasvavat kuitusaven osuuden kasvaessa seoksessa. Tämä johtuu todennäköisesti ko. metallien sitoutumisesta (kompleksin muodostus) liukoisiin orgaanisiin yhdisteisiin (DOC:iin). Kuparin liukoisuudella on selkeä lineaarinen korrelaatio orgaanisen hiilen liukoisuuden kanssa (kuva 11). Kuitusavea 40 % sisältävissä seoksissa kuparin ja nikkelin liukoisuudet ylittävät peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot, mutta 20 % kuitusavea sisältävissä seoksissa kuparin ja nikkelin liukoisuudet jäävät ko. raja-arvojen alle.

Kloridilla, kromilla, lyijyllä, molybdeenillä ja seleenillä ravistelutestissä määritetyt liukoisuudet ylittävät kuitusaven ja tuhkan seosnäytteissä päällystetyn tai peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvoja. Nämä liukoisuudet määräytyvät suurelta osin lähtömateriaalina käytetyn tuhkan liukoisuuksien perusteella.



Kuva 11. Lentotuhkan ja kuitusaven seosten ravistelutesteissä kuparin liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio kuitusavesta peräisin olevan DOC:n kanssa. Keltaisella viivalla merkitty Mara-asetuksen peitetyn rakenteen raja-arvo kuparille.

Pintaliukenemistestit

Haitta-aineiden liukoisuudet pintaliukenemistesteissä eivät ylittäneet SYKE:n oppaan enimmäisliukoisuusraja-arvoja tuhkan ja kuitusaven seosnäytteessä (liite 9). SYKE:n oppaassa ei ole esitetty kloridille, sulfaatille tai DOC:lle diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoja. Hollantilaisten diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin kloridilla, antimonilla, bariumilla ja molybdeenilla. Nämä liukoisuudet johtuvat lähtömateriaalina käytetyn tuhkan liukoisuuksista.

Pintaliukenemistestissä kuparia ja nikkeliä liukenee tuhkan ja kuitusaven seoksista diffuusion kontrolloimina, mutta liuenneet määrät jäävät kuitenkin alhaisiksi diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin verrattuna. Diffuusion kontrolloimina liukenevat myös barium, ja osassa näytteistä lyijy ja sinkki.

7.3

Yhteenvedo tuhkaseosmateriaalien liukoisuuksista

Tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seokset

- Testatuilla seossuhteilla tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seokset eivät sovellu kloridin liukoisuuden vuoksi voimassa olevan Mara-asetuksen mukaiseen hyötykäyttöön, koska rikinpoiston lopputuotteesta peräisin oleva kloridin liukoisuus ylittää päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Rikinpoiston lopputuotteen määrän vähentämisen vaikutus kannattaa kuitenkin testata.
- Kloridin lisäksi tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seoksissa sulfaatin ja molybdeenin liukoisuudet ovat koholla, ja ylittävät peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Muiden haitta-aineiden liukoisuudet ovat alhaisia.

- Kloridin liukoisuus on merkittävää myös pintaliukenemistestissä ja kloridin liukoisuus ylittää hollantilaiset diffuusiotestin enimmäisraja-arvot.
- Pintaliukenemistestissä fluoridi, sulfaatti, molybdeeni ja vanadiini liukenevat diffuusion kontrolloimina tuhkan ja rikinpoistotuotteen seoksesta eli näiden haitta-aineiden liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio \sqrt{t} (ajan) kanssa.

Tuhkan ja kuitusaven seokset

- Lentotuhkan ja kuitusaven seosnäytteiden liukoisuuksiin vaikuttaa käytettävän tuhkan ominaisuudet ja kuitusavesta peräisin oleva orgaaninen aines. Mikäli kuitusaven määrä seoksessa rajataan noin 20 %:iin, orgaanisen hiilen liukoisuus ei tutkimuksissa ylittänyt liukoisuusraja-arvoa ja toisaalta liukoiseen orgaaniseen hiileen sitoutuvien metallien (Cu, Ni) liukoisuudet jäivät hyvin alhaisiksi.
- Päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot alittava lentotuhkan ja kuitusaven seos voidaan saavuttaa, mikäli käytetään tuhkaa, jossa kloridin liukoisuus alittaa päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Tässä tutkimuksessa testatut tuhkan ja kuitusaven seokset eivät täyttäneet päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvoja.

8 Tuhkasideaineiden käyttö massastabiloinnissa

Massastabilointi on pehmeiden maa-ainesten kuten liejun, saven ja turpeen lujittamismenetelmä, jossa pehmeät maakerrokset lujitetaan sideaineella homogeeniseksi lujittuneeksi kerrokseksi tavoitesyvyyteen asti. Tällöin rakenteen painumista voidaan rajoittaa ja rakenteen stabiiliteetti eli varmuus sortumaa vastaan paranee. Massastabilointi voidaan toteuttaa myös altaaseen läjitetyille kaivetuille ylijäämämaille tai pilaantuneille ruoppaus sedimenteille. Ylijäämämaiden massastabilointi mahdollistaa niiden hyödyntämisen lujitettuna täyttö- tai rakennusmateriaalina (*Ramboll, 2014*).

Nykyisellä tekniikalla massastabilointi tehdään käyttäen kuivaa sideainetta. Metsä- ja energiateollisuuden lentotuhkia voidaan käyttää yhdessä kaupallisten sementti- ja kalkkituotteiden kanssa massastabiloinnin sideaineena. Joissain tapauksissa massastabilointi on mahdollista toteuttaa pelkästään lentotuhkaa käyttäen (*Ramboll, 2014*).

Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena selvittää massastabiloidun saven ympäristökelpoisuutta, kun sideaineena on käytetty metsä- ja energiateollisuuden eri tuhkalaatua. Tuhkan käyttöä sideaineena massastabiloinnissa tutkittiin ravistelutestein, läpivirtaustestein ja pintaliukenemistestein ja tuloksia verrattiin Mara-asetuksen kriteereihin. Massastabiloinnin runkoaineina käytettiin savea ja silttiä runkoaineen rakeisuuden vaikutuksen selvittämiseksi haitta-aineiden liukoisuuksiin. Tuhkan lisäksi sideaineena käytettiin sementtiä, jotta kaikissa näytteissä olisi teknisessä mielessä soveltuva puristuslujuustaso. Vertailun helpottamiseksi sideainemäärät olivat kaikissa seoksissa samat. Puristuslujuuksia määritettiin myös ilman sementtilisäystä käyttäen sideaineena pelkkää tuhkua, mutta tällöin puristuslujuudet jäivät liian alhaisiksi osassa näytteistä. Tutkimuksessa oli mukana kaikki yhdeksän tuhkalaatua. Taulukkoihin 10 ja 11 on koottu teknisten testien tulokset ja liitteisiin 7 ja 9 liukoisuustestien tulokset.

Taulukko 10. Eri tuhkalaaduilla tehdyt liukoisuustestit ja teknisten testien tulokset.

Runko- aine	Sideaineet	Sideaine- määrä [kg/m ³]	Puristus- lujuus II vrk, +30°C [kPa]	Ravistelu- testi ja kok. pitoi- suudet	Läpi- virtaus- testi	Pinta- liukene- mistesti	k-arvo [m/s]	Huokoi- suus [%]
Savi	PLUS + LT1	20+100	305	tehty	tehty	tehty	2,1·10 ⁻⁹	53,4
Savi	PLUS + LT2	20+100	204	tehty				
Savi	PLUS + LT3	20+100	94	tehty				
Savi	PLUS + LT4	20+100	206	tehty	tehty	tehty	2,1·10 ⁻⁹	53,6
Savi	PLUS + LT5	20+100	101	tehty				
Savi	PLUS + LT6	20+100	127	tehty	tehty	tehty	3,0·10 ⁻⁹	52,1
Savi	PLUS + LT7	20+100	484	tehty	tehty	tehty	1,1·10 ⁻⁹	53,3
Savi	PLUS + LT8	20+100	345	tehty	tehty	tehty	1,7·10 ⁻⁹	54,6
Savi	PLUS + LT9	20+100	314	tehty	tehty	tehty	9,7·10 ⁻¹⁰	53,9
Savi	PLUS + LT5+RPT	20+(80+20)	97	tehty				
Savi	PLUS + LT6+RPT	20+(80+20)	111	tehty	tehty	tehty	2,9·10 ⁻⁹	51,6
Siltti	PLUS + LT4	20+100	85	tehty	tehty	tehty	8,1·10 ⁻⁶	50,3
Siltti	PLUS + LT7	20+100	188	tehty	tehty	tehty	1,2·10 ⁻⁵	54,0
Siltti	PLUS + LT9	20+100	66	tehty				

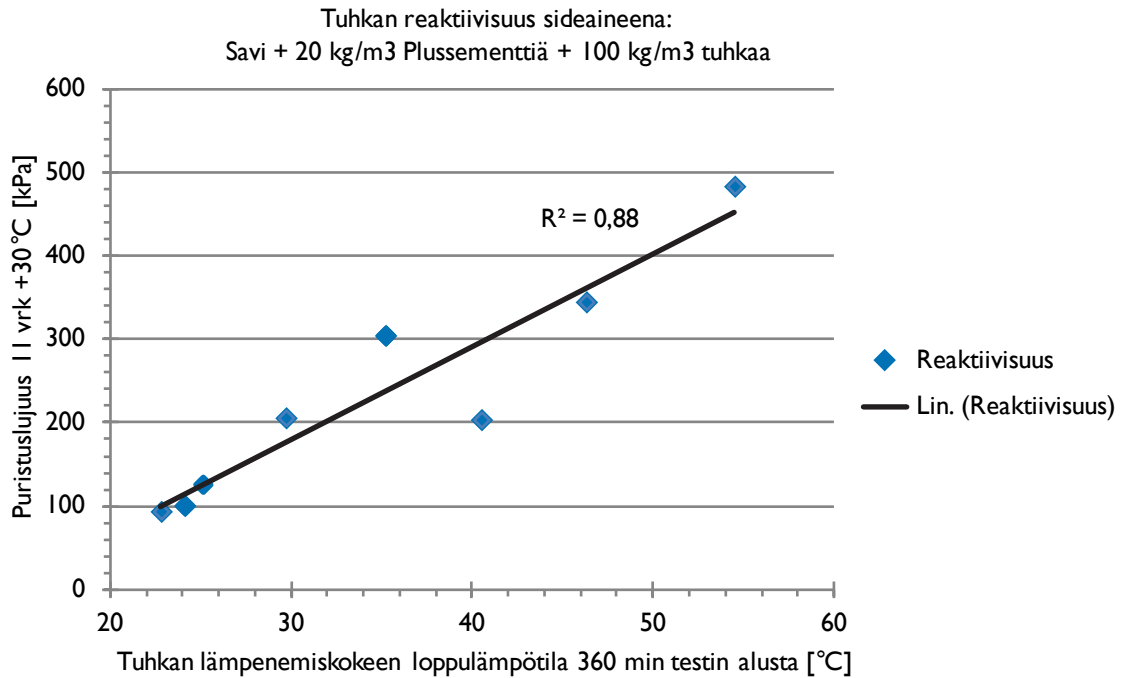
Taulukko 11. Stabiloitujen näytteiden puristuslujuudet käyttäen sideaineena pelkkää tuhkaa.

Runkoaine	Sideaine	Sideainemäärä [kg/m ³]	Puristuslujuus, II vrk, +30 °C [kPa]
Savi	LT2	100	17,6
Savi	LT3	100	<10
Savi	LT4	100	15
Savi	LT5	100	<10
Savi	LT6	100	<10
Savi	LT7	100	49
Savi	LT8	100	31
Savi	LT9	100	107
Siltti	LT4	100	30
Siltti	LT7	100	109

8.1

Tuhkien reaktiivisuus sideaineena massastabiloinnissa

Tuhkan lämpenemistestissä (kuva 1) reaktiivisiksi havaitut tuhkat toimivat hyvin massastabiloinnin sideaineina. Tuhkalla stabiloidun saven puristuslujuus korreloi selvästi tuhkan reaktiivisuuden kanssa eli tuhkan lämpenemistestin loppulämpötilan kanssa (kuva 12). Huomioitavaa on, että tuhkan lämpenemistestissä on seurattu pelkän tuhkan lämpötilan nousua vedenlisäyksen jälkeen, mutta stabiloiduissa savikappaleissa on kaikissa vakiomäärä plussementtiä sideaineseoksessa tuhkan lisäksi, mikä vaikuttaa merkittävästi saavutettuun lujuustasoon ja aktivoi tuhkan lujittamisominaisuuksia.



Kuva 12. Tuhka-sementti sideaineella stabiloitujen savikappaleiden puristuslujuuksien riippuvuus tuhkan lämpenemiskokeen loppulämpötilasta

Mitä enemmän tuoreessa tuhkassa on kalsiumoksidia, sitä reaktiivisempi tuhka on kyseessä ja sitä suurempi puristuslujuus yleensä saavutetaan, kun tuhkaa käytetään sideaineena (tässä tapauksessa yhdessä sementin kanssa). Lujittuneesta stabiloidusta savesta ei enää merkittävästi liukene kalsiumia, vaan kalsium on muodostanut niukkaliukoisia reaktiotuotteita, joita lujittumisreaktioissa on muodostunut (kuten kalsiumsilikaattihydraatti, kalsiumaluminaattihydraatti).

Myös liukoisen sulfaatin suuri määrä viittaa reaktiiviseen tuhkaan. Kirjallisuudessa on esitetty, että itselujittuvilla tuhilla lujuuden kehitys liittyy ettringiitin ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26(\text{H}_2\text{O})$) muodostumiseen ja että monilla suomalaisilla biomassan polton tuhilla sulfaatti on ettringiitin muodostumisessa rajoittava tekijä (Illikainen et al 2014). Tässä tutkimuksessa niissä tuoreissa tuhissa, joissa sulfaatin liukoisuus oli suuri, todettiin suurempia puristuslujuuksia massastabiloiduissa näytteissä verrattuna vähän liukoista sulfaattia sisältäviin tuhkiin.

Lujittuneesta stabiloidusta savesta ei enää merkittävästi liukene sulfaattia, vaan sulfaatti on sitoutunut lujittumisreaktioissa muodostuneeseen ettringiittiin. Puristuslujuuteen vaikuttaa myös muiden reaktiotuotteiden kuin ettringiitin muodostuminen (kuten kalsiumsilikaattihydraatti, kalsiumaluminaattihydraatti).

Haitta-aineiden liukoisuudet massastabiloidusta näytteistä ravistelutestissä ja läpivirtaustestissä

Haitta-aineiden liukoisuustestitulokset massastabiloiduista näytteistä on esitetty liitteen 7 taulukossa. Tutkimuksessa oli mukana yhdeksän tuhkalaatua. Massastabiloiduissa savinäytteissä ja siltinäytteissä haitta-aineiden liukoisuudet olivat merkittävästi pienempiä kuin tuoreissa tuhkanäytteissä (kuva 13). Kaikki testatut sementti-tuhkasideaineilla stabiloidut savi- ja siltinäytteet alittivat Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot.

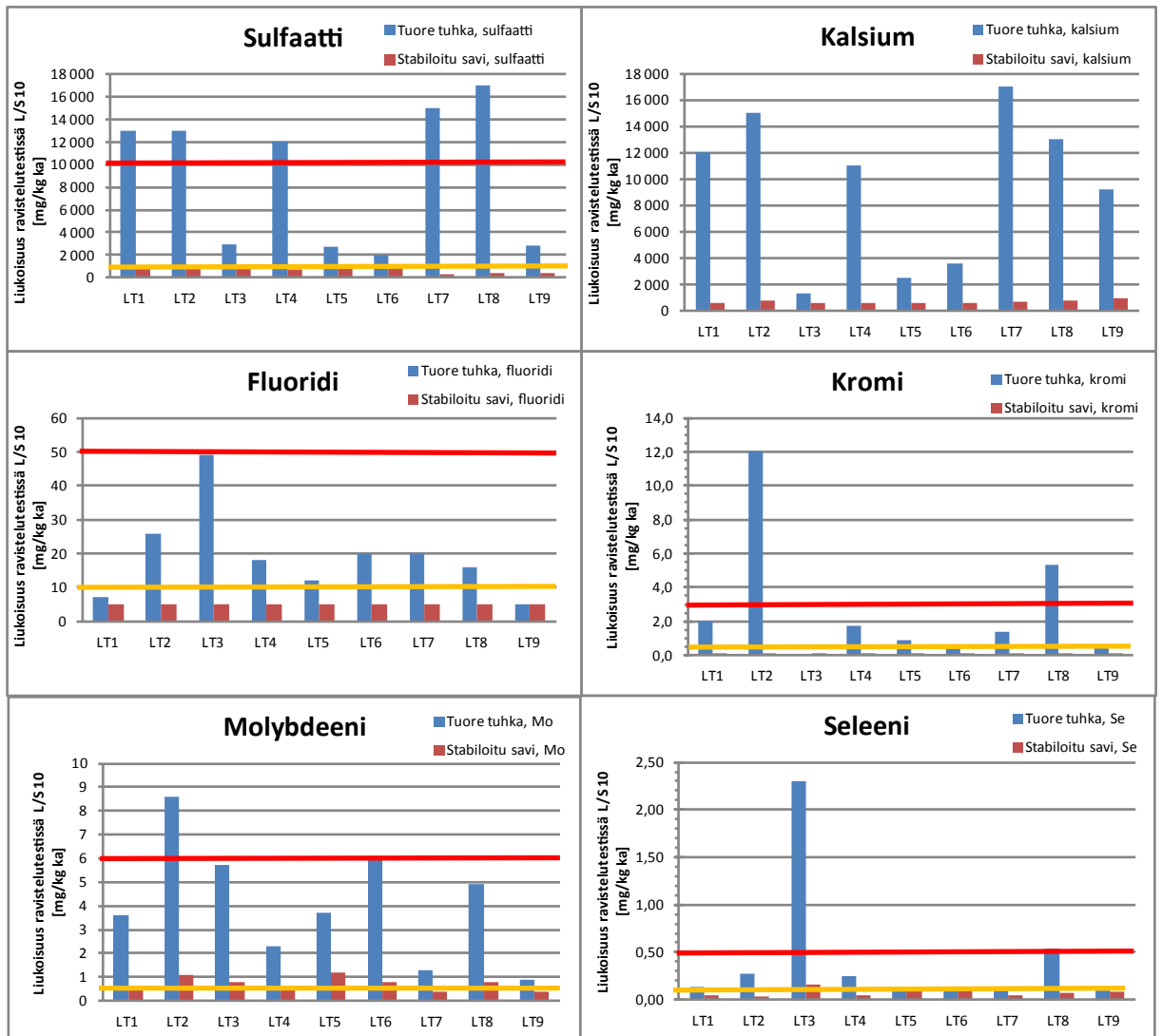
Tuhkasementtisideaineella stabiloiduissa savinäytteissä (9 kpl) Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin erityisesti molybdeenillä mutta yksittäisiä ylityksiä oli myös seleenillä, antimonilla, vanadiinilla ja kloridilla. Vanadiinin liukoisuus oli aivan peitetyn rakenteen raja-arvotasa, alittaen niukasti raja-arvon ravistelutesteissä ja ylittäen sen läpivirtaustestissä.

Tuhkasementtisideaineella stabiloiduissa siltinäytteissä (3 kpl) ei todettu peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä testatuilla tuhkalaaduilla.

Haitta-aineiden liukoisuudet olivat hyvin samalla tasolla massastabiloiduissa savi- ja siltinäytteissä, joissa sideaineena oli käytetty samaa tuhkalaatua. Muutaman haitta-aineen osalta havaittiin pieniä, käytännössä merkityksettömiä runkoaineista aiheutuvia liukoisuuseroja. Siltissä orgaanisen hiilen liukoisuus (DOC) oli hieman suurempi kuin savessa ja todennäköisesti tästä johtuen kuparin ja nikkelin liukoisuudet olivat hieman suurempia massastabiloidussa siltissä kuin savessa. Sen sijaan sulfaatin ja molybdeenin liukoisuudet olivat massastabiloidussa siltissä hieman pienempiä kuin savessa. Muiden haitta-aineiden liukoisuuksissa ei todettu runkoaineesta johtuvia eroja.

Rikinpoiston lopputuotteen käyttö massastabiloidun saven sideaineseoksessa lisäsi sulfaatin ja kloridin liukoisuutta, mutta liukoisuudet alittivat kuitenkin Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot.

Ravistelutestin ja läpivirtaustestin liukoisuustulokset olivat keskenään hyvin samalla tasolla näytteissä, joissa oli käytetty samaa sideainereseptiä ts. samaa tuhkasementtilaata. Tulosaineiston perusteella massastabiloidun saven ja siltin liukoisuustutkimuksissa ei ole merkitystä, käytetäänkö testimenetelmänä 2-vaiheista ravistelutestiä vai läpivirtaustestiä. Tämä on hyvä tieto, sillä stabiloitu, murskattu savi ei aina sovellu läpivirtaustestiin kolonnin tukkeutumisen tai ohivirtausten vuoksi.



Kuva 13. Haitta-aineiden liukoisuuksien vertailu tuoreessa tuhkassa (siniset pylväät) ja sementti-tuhkasideaineella stabiloidussa savessa (punaiset pylväät). Sideaineresepti on 20 kg/m³ Plussementtiä + 100 kg/m³ tuhkaa 1 savi m³ kohti.

8.3

Haitta-aineiden liukoisuudet massastabiloiduista näytteistä pintaliukenemistestissä

Stabiloiduille savinäytteille tehtiin pintaliukenemistesti liukenevien haitta-ainemäärien sekä haitta-ainekohtaisten liukoisuusmekanismien arvioimiseksi (taulukko 10). Stabiloitujen savikoe-kappaleiden vedenläpäisevyyshkertoimien arvot olivat keskenään hyvin samalla tasolla välillä $0,97 \cdot 10^{-9} \dots 3,0 \cdot 10^{-9}$ m/s. Stabiloitujen silttikoe-kappaleiden läpäisevyydet olivat moninkertaisesti suurempia vaihdellen välillä $8,1 \cdot 10^{-6} \dots 12,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Pintaliukenemistestien tulokset ja haitta-aineiden liukoisuusmekanismit on esitetty liitteessä 9.

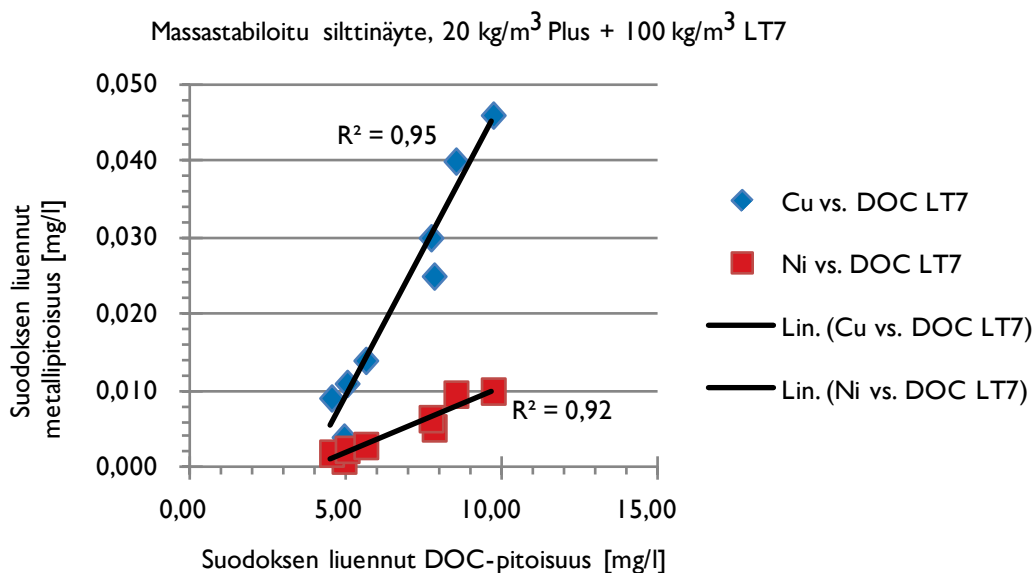
Massastabiloitu koe-kappale on huokoinen kiinteä kappale, jonka sisällä oleva huokosvesi on kemiallisessa tasapainossa kiinteän faasin kanssa. Tämän tutkimuksen massastabiloiduilla savikoe-kappaleilla huokoisuus vaihteli käytetystä tuhkasideai-

neesta riippuen välillä 52,1...54,6 % ja massastabiloiduilla silttikoe-kappaleilla vastaavasti välillä 50,3...54,0 %. Kuiva-ainepitoisuus vaihteli välillä 70,7...72,1 %. Kun koe-kappale upotetaan pintaliukenemistestissä veteen, tasapaino rikkoutuu. Tällöin koe-kappaleen pinnan ja ympäröivän veden välille syntyy kemiallinen potentiaali, mikä aiheuttaa diffuusiota koe-kappaleen sisällä olevassa huokosvedessä (VTT, 1996). Kun haitta-aineen liukoisuus on diffuusion kontrolloimaa, liukoisuudella on lineaarinen korrelaatio \sqrt{t} (ajan) kanssa. Diffuusio voi myös testin lopussa hidastua, kun liukenevassa muodossa olevan aineen määrä vähentyy testikappaleessa.

Massastabiloiduissa savi- ja silttikoe-kappaleissa diffuusio oli vallitseva liukoisuusmekanismi usealla haitta-aineella. Liukoisuustasapainon saavuttamiseen tarvittava aika riippuu mm. materiaalin raekokojakaumasta. Partikkelikoon pienentyessä tasapainotilan saavuttamiseen tarvittava aika lyhenee materiaalin ja veden välisen tehokkaan kosketuksen vuoksi. Lisäksi aineiden diffundoitumismatka partikkelin sisältä partikkelin pinnalle ja siitä nestefaasiin pienenee. Tavallisesti aineiden liukoisuus kasvaa partikkelikoon pienentyessä. (VTT, 1997).

Verrattaessa runkoaineen (siltin ja saven) vaikutusta haitta-aineiden liukoisuuksiin havaitaan, että haitta-aineiden liukoisuudet pintaliukenemistestissä olivat pääasiassa varsin samalla tasolla massastabiloiduissa savi- ja silttinäytteissä, joissa sideaineena oli käytetty samaa tuhkalaatua (LT4 ja LT7). Muutaman haitta-aineen osalta havaittiin runkoaineista aiheutuvia liukoisuseroja:

- Massastabiloidussa siltissä orgaanisen hiilen liukoisuus (DOC) oli selvästi suurempi kuin savessa. Tästä johtuen kuparin ja nikkelin liukoisuudet olivat suurempia massastabiloidussa siltissä kuin savessa. Kuparin ja nikkeli liukoisuudet kasvavat lineaarisesti orgaanisen hiilen liukoisuuden kasvaessa (kuva 14).
- Massastabiloidussa savessa antimonin, bariumin ja vanadiinin liukoisuudet olivat jonkin verran suurempia kuin siltissä.
- Muiden haitta-aineiden liukoisuuksissa ei todettu runkoaineesta johtuvia eroja.



Kuva 14. Kuparin ja nikkelin liukoisuuksien suhde orgaanisen hiilen liukoisuuteen (DOC) stabiloidun silttinäytteen pintaliukenemistestissä.

Verrattaessa pintaliukenemistestin tuloksia ohjeellisiin diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvoihin (hollantilaisiin ja SYKE:n oppaan raja-arvoihin) havaittiin seuraavaa:

- Tuhkasementti-sideaineella massastabiloidusta savesta tai siltistä liukenee enimmäisliukoisuusraja-arvot ylittäviä antimoni-pitoisuuksia. Muiden haitta-aineiden liukoisuudet alittavat raja-arvot.
- Tuhka-sementti-rikinpoiston lopputuote –sideaineella massastabiloidusta savesta liukenee antimonin lisäksi enimmäisliukoisuusraja-arvon ylittävä pitoisuus sulfaattia

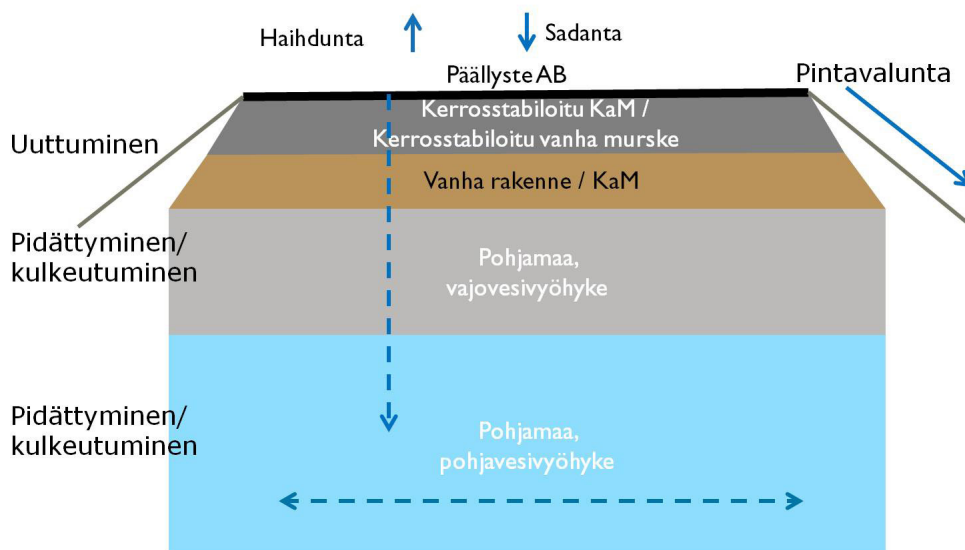
8.4

Yhteenveto haitta-aineiden liukoisuuksista tuhalla stabiloidusta savesta

- Reaktiivisiksi havaitut tuhkat toimivat hyvin massastabiloinnin sideaineina. Tuhalla stabiloidun saven puristuslujuus korreloi selvästi tuhkan reaktiivisuuden kanssa.
- Tuhkasementillä stabiloidun saven puristuslujuudella on korrelaatio myös tuoreen tuhkan kalsiumin liukoisuuden kanssa. Sen sijaan jo lujittuneesta stabiloidusta savesta ei enää merkittävästi liukene kalsiumia, vaan kalsium on muodostanut niukkaliukoisia reaktiotuotteita. Lujittuneesta stabiloidusta savesta ei enää merkittävästi liukene myöskään sulfaattia, vaan sulfaatti on sitoutunut lujittumisreaktioissa muodostuneeseen reaktiotuotteisiin (mahdollisesti ettringiittiin).
- Kaikki sementti-tuhka sideaineilla tai sementti-tuhka-rikinpoiston lopputuote -sideaineilla stabiloidut savi- tai siltinäytteet alittivat päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Haitta-aineiden liukoisuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin tuoreissa tuhkanäytteissä.
- Stabiloiduissa savinäytteissä peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon ylityksiä todettiin erityisesti molybdeenillä mutta yksittäisiä ylityksiä oli myös seleenillä, antimonilla, vanadiinilla ja kloridilla.
- Käytännössä runkoaineen (savi/siltti) rakeisuuden vaikutus haitta-aineiden liukoisuuksiin on ravistelutestitulosten ja pintaliukenemistestin tulosten perusteella pieni tässä tutkimusaineistossa.
- Runkoaineen orgaanisen hiilen (TOC) korkea määrä ja korkea liukoisuus voi lisätä kuparin ja nikkelin liukoisuutta
- Pintaliukenemistestissä antimonin liukoisuus ylittää ohjeellisen diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvon. Ravistelu- ja läpivirtaustestissä antimonin liukoisuus on määritysrajatasoa tai alittaa sen. Muiden haitta-aineiden liukoisuudet alittavat ohjeelliset diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvot pintaliukene mistesteissä.
- Massastabiloiduissa savi- ja silttikoe-kappaleissa diffuusio oli vallitseva mekanismi sulfaatin, antimonin ja vanadiinin osalta, mutta diffuusion kontrolloimana liukeni myös arseeni, barium, kromi, molybdeeni ja DOC.

9 Tuhkasideaineiden käyttö kerrosstabiloinnissa

Kerrosstabilointi on menetelmä, jossa uuden kiviaineksen tai vanhan tien pintakerroksen sekaan jyrsinsekoitetaan lujittavaa sideainetta. Sideaineina käytetään usein lentotuhkaa ja sementtiä. Lopputuloksena on erittäin kantava ja hyvin jäätymissu-lamissyklejä kestävä rakenne. Monissa tapauksissa päällysteen paksuutta voidaan ohentaa merkittävästi (Ramboll, 2012).



Kuva 15. Periaatekuva päällystetyssä rakenteessa olevasta kerrosstabiloinnista (AB, asfalttibetoni).
Lähde: Ramboll Finland Oy.

Tuhkan käyttöä sideaineena kerrosstabiloinnissa tutkittiin ravistelutestein ja pinta-liukenemistestein. Kerrosstabiloinnin runkoaineina käytettiin kalliomursketta. Tuhkan lisäksi sideaineena käytettiin sementtiä, jotta kaikissa näytteissä olisi teknisessä mielessä järkevä lujuustaso. Tutkimuksessa oli mukana kolme tuhkalaatua ja lisäksi tutkittiin rikinpoiston lopputuotteen vaikutusta liukoisuuksiin. Näytteiden lujittumisaika oli 34-56 vrk ennen liukoisuustestejä. Taulukkoon 12 on koottu teknisten testien tulokset ja liitteisiin 8 ja 9 liukoisuustestien tulokset.

Kerrosstabilointinäytteiden vedenläpäisevyyskertoimet ovat hyvin alhaisia vaihdellen välillä $5,5 \cdot 10^{-8} \dots 1,2 \cdot 10^{-10}$ m/s. Reaktiivisella LT1 tuhalla vedenläpäisevyys on suurempi kuin LT4:lla ja LT6:lla, koska näyte on turvonnut hieman lujittumisen yhteydessä, mikä aiheuttaa kappaleessa löyhtymistä.

Taulukko 12. Kerrosstabilointinäytteet.

Runko- aine	Sideaineet	Kuiva- tiheys [t/m ³]	Raviste- lutesti ja kokonais- pitoisuudet	Pinta- liukene- mistesti	k-arvo [m/s]	Huokoi- suus [%]
KaM	3 % Plus + 10 % LT1	2,10	tehty	tehty	$5,5 \cdot 10^{-8}$	19,1
KaM	3 % Plus + 10 % LT4	2,15	tehty	tehty	$1,2 \cdot 10^{-10}$	15,9
KaM	3 % Plus + 6 % LT6	2,20	tehty			
KaM	3 % Plus + 10 % LT6	2,15	tehty	tehty	$3,3 \cdot 10^{-10}$	13,7
KaM	3 % Plus + 6 % (LT6:RPT = 1:1)	2,20	tehty			
KaM	3 % Plus + 10 % (LT6:RPT = 1:1)	2,15	tehty	tehty	$1,6 \cdot 10^{-10}$	14,7

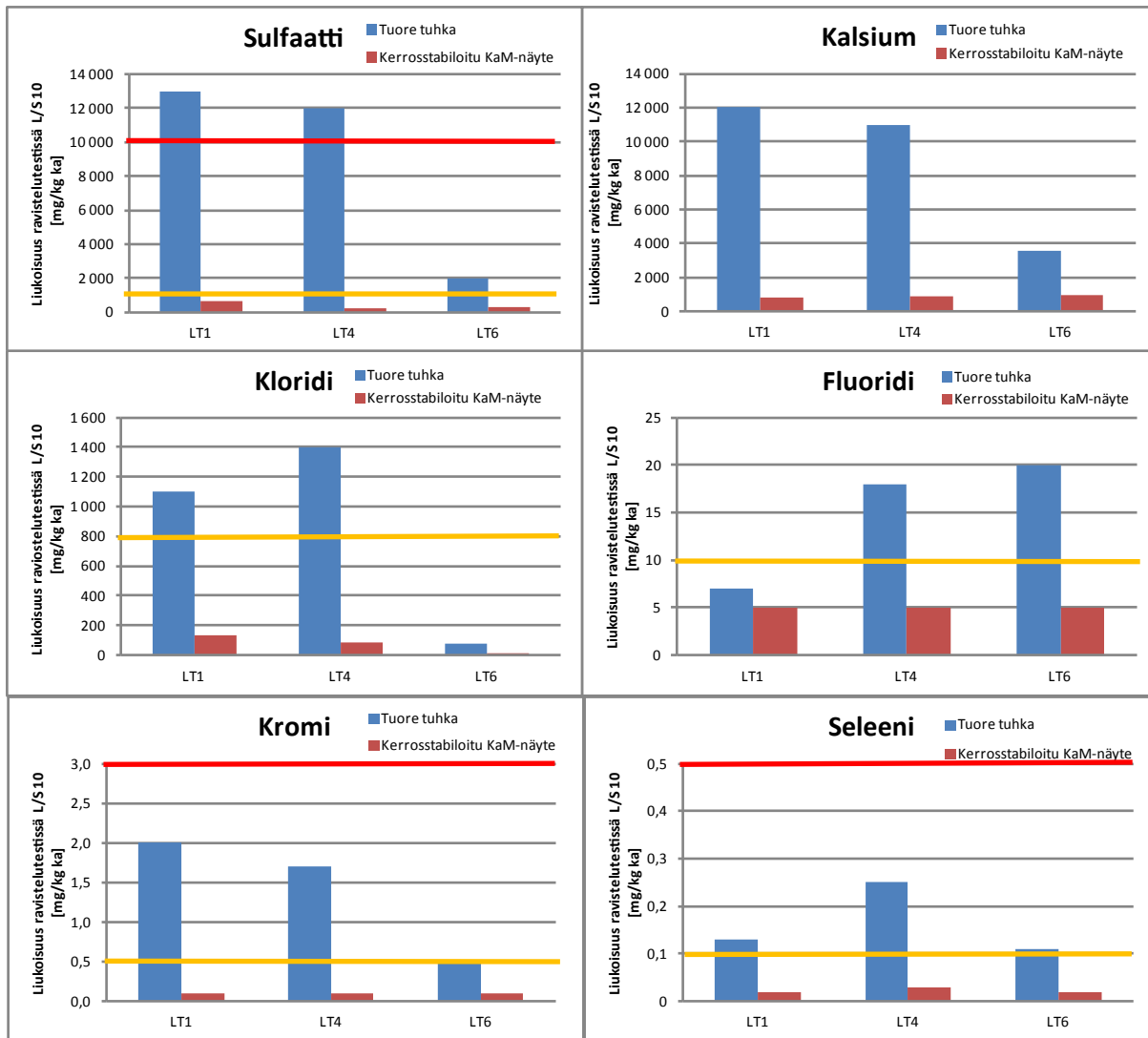
9.1

Haitta-aineiden liukoisuudet kerrosstabiloidusta näytteistä ravistelutestissä

Haitta-aineiden ravistelutestitulokset ja kokonaispitoisuudet kerrosstabiloiduista näytteistä on esitetty liitteen 8 taulukossa. Sementti-tuhkasideaineella stabiloitujen näytteiden liukoisuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin tuoreessa tuhassa. Kuvassa 16 on havainnollistettu liukoisuuksien pienentymistä sementti-tuhkasideaineella kerrosstabiloiduissa näytteissä verrattuna tuoreeseen tuhkaan.

Kerrosstabilointinäytteitä valmistettiin kolmesta eri tuhkalaadusta ja kaikkien testattujen näytteiden osalta liukoisuudet alittavat Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Tuhkasementti-sideainetta sisältävissä kerrosstabilointinäytteissä Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin erityisesti molybdeenilla mutta yksittäisiä ylityksiä todettiin myös bariumin ja kromin osalta.

Sulfaatin ja kalsiumin liukoisuudet pienenevät huomattavasti stabiloiduissa näytteissä verrattuna tuoreeseen tuhkaan. Syynä tähän on todennäköisesti lujittumisreaktioissa muodostuvat veteen niukkaliukoiset reaktiotuotteet kuten ettringiitti (kts. 8.1 Tuhkien reaktiivisuus sideaineena massastabiloinnissa). Tässä tutkimuksessa kerrosstabilointinäytteille ei määritetty puristuslujuutta.



Kuva 16. Haitta-aineiden liukoisuudet ravistelutesteissä L/S-suhteessa 10 tuoreissa tuhkanäytteissä (siniset pylväät) ja kerrosstabiloiduissa näytteissä (punaiset pylväät). Sideaineresepti on 3 % Plussementtiä + 10 % tuhkaa.

Kahdessa koekappaleessa puolet kivihiilenpolton lentotuhkasta korvattiin rikinpoiston lopputuotteella. Rikinpoiston lopputuotteen käyttö nostaa kloridin ja fluoridin liukoisuuksia verrattuna näytteisiin, joissa sideaineena on vastaava määrä lentotuhkaa. Kloridin ja fluoridin liukoisuudet alittivat kuitenkin Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Myös kromin, bariumin ja molybdeenin osalta todetaan peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä. Kalsiumin ja sulfaatin liukoisuudet ovat alhaisia kerrosstabiloiduissa näytteissä myös rikinpoiston lopputuotetta käytettäessä.

Haitta-aineiden liukoisuudet kerrosstabiloidusta näytteistä pintaliukenemistestissä

Kerrosstabiloiduille kalliomurskenäytteille tehtiin pintaliukenemistesti liukenevien haitta-ainemäärien arvioimiseksi monoliittisista materiaaleista sekä haitta-ainekoh- taisten liukoisuusmekanismien arvioimiseksi (taulukko 12). Pintaliukenemistestin tulokset ja haitta-aineiden liukoisuusmekanismit on esitetty liitteessä 9.

Useat haitta-aineet liukenivat kerrosstabiloiduista kalliomurskenäytteistä diffuusion kontrolloimina. Pintaliukenemistestissä antimonin liukoisuus ylitti ohjeelliset diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvot. Muiden haitta-aineiden liukoisuudet alittivat ohjeelliset diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvot pintaliukenemistes- teissä, kun näytteiden sideaineina käytettiin tuhkan ja sementin seosta. Rikinpoiston lopputuotteen käyttö kerrosstabiloinnin sideaineseoksessa nostaa kloridin liukoisuut- ta siten, että ohjeellinen diffuusiotestin enimmäisliukoisuusraja-arvo ylittyy.

Yhteenveto haitta-aineiden liukoisuuksista kerrosstabilointinäytteissä

- Tutkimusaineiston kerrosstabilointinäytteissä haitta-aineiden liukoisuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin tuoreessa tuhkassa ja alittavat Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Peitetyn rakenteen liukoisuusraja- arvojen ylityksiä todettiin erityisesti molybdeenilla mutta yksittäisiä ylityksiä oli myös bariumilla ja kromilla.
- Rikinpoiston lopputuotteen hyödyntäminen kerrosstabiloinnin sideaineseok- sessa soveltuu päällystettyihin rakenteisiin tutkimusaineiston perusteella. Pei- tetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin kloridilla, fluoridilla, bariumilla, kromilla ja molybdeenilla
- Sulfaatin ja kalsiumin liukoisuudet pienenevät huomattavasti stabiloiduissa näytteissä verrattuna tuoreeseen tuhkaan. Syynä tähän on lujittumisreaktioissa muodostuvien veteen niukkaliukoisten reaktiotuotteiden muodostuminen

10 Olemassa olevien, sivutuotteita sisältävien rakenteiden ympäristövaikutukset

Vuosina 1998–2003 rakennetuista tie- ja kenttärakenteista, joissa on käytetty lentotuhkia ja seosaineita (RPT, kuitusavi) joko kerrosstabilointien sideaineena tai massiivituhkarakenteissa, on tehty rakenneselvityksiä diplomitöiden yhteydessä (Tarkkio, 2014 ja Hyvönen, 2014). Selvityksessä on tehty kuntotutkimuksia ja otettu poranäytteitä puristuslujuusmäärittämisiksi varten vuosina 2013 ja 2014. Näytteenoton yhteydessä on otettu myös pohjamaanäytteitä 30...40 cm ja 60...80 cm syvyydeltä sivutuotekerroksen alapuolelta. Rakenneselvityksissä mukana olleista kohteista valittiin taulukossa 13 esitetyt eri sovelluksia edustavat näytteet ympäristökelpoisuustutkimuksiin. Testattavien sivutuoterakenteiden analyysitulokset on esitetty liitteissä 11 ja 12. Sivutuoterakenteiden kohdekortit on esitetty liitteessä 10.

Taulukko 13. Tutkimuksiin valitut vanhat sivutuoterakenteet

Kohde	Rakennetyyppi	Materiaalit
Inkoo, Solbergintie /Päivöläntie, PT 11146 (Degerby – Tyräs)	Kerrosstabilointi, päällystetty rakenne, rakennettu 2000	Sideaineet: 7 % LT (Helsingin Energia) + RPT (Helsingin Energia) + YleisSe (1:1:1)
	Massiivirakenne, päällystetty rakenne, rakennettu 2000	Massiivirakenne: 5 % CaO + LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15
Kukkia Luopioinen, MT 3201 tieosat 03 ja 04 (Kuohijoki – Kynnärö)	Kerrosstabilointi, peitetty rakenne, rakennettu 2002	Sideaineet: 10 % LT (Jämsänkoski/Kaipola) YleisSe (3:2)
	Kerrosstabilointi, peitetty rakenne, rakennettu 2002	Sideaineet: 10 % LT (Jämsänkoski) +RPT (Helsingin Energia) + YleisSe (3:3:4)
Koria, tie 14567, Metsäkulmantie	Massiivirakenne, peitetty rakenne, rakennettu 2001	Massiivirakenne: 5 % Kalkkisementti + LT (Espoon Sähkö): RPT (Helsingin Energia) = 85:15
	Massiivirakenne, peitetty rakenne, rakennettu 1998	Massiivirakenne, 3 % YleisSe + LT (Kymenoso)
Auraanpohja, Pihtisalmentie	Massiivirakenne, peitetty rakenne, rakennettu 2003	Massiivirakenne: 6 % YleisSe + 55 % kuitusavi + 39 % LT (Jämsänkoski)

Tutkimuksiin valituista sivutuotenäytteistä analysoitiin haitta-aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuuksia sekä pohjamaanäytteistä metallien kokonaispitoisuuksia.

Massiivituhkarakenteet

Tutkimuksissa oli mukana massiivituhkarakenteiden näytteitä sekä peitetyistä (murskepintainen tie) että päällystetyistä (asfaltoitu tie) rakenteista. Tulosten perusteella havaittiin seuraavaa:

Sementillä aktivoidut tuhkan massiivirakenteet:

- Korian vuonna 1998 rakennettu massiivituhkarakenne on peitetty rakenne. Rakenteesta vuonna 2013 (3 % YleisSe + LT) otetussa näytteessä kloridin, sulfaatin, kromin ja molybdeenin liukoisuudet ylittävät Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Massiivituhkamateriaalista ei ole liukoisuustestituloksia rakentamista edeltävältä ajalta, joihin voisi verrata tässä tutkimuksessa määritettyjä liukoisuuksia. Haitta-aineet ovat kuitenkin pitkälti samoja, jotka ylittävät laboratoriossa valmistetuissa sementillä aktivoiduissa massiivituhkanäytteissä peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot (liite 5). Myös haitta-aineiden liukoisuudet Korian rakenninäytteessä ovat samaa suuruusluokkaa kuin laboratoriossa valmistettujen massiivituhkanäytteiden liukoisuudet.

Sementillä aktivoidut tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen massiivirakenteet:

- Korian v. 2001 rakennetussa peitetyssä rakenteessa ja Inkoon v. 2000 rakennetussa päällystetyssä rakenteessa on käytetty samojen voimalaitosten tuhka- ja RPT-laatuja ja niiden seossuhteita; vain kaupallisen sideaineen laadussa on eroa. Vuonna 2013 otettujen näytteiden ravistelutesteissä haitta-aineiden liukoisuudet ovat molemmissa näytteissä keskenään samalla tasolla, vaikka Inkoon rakenne on ollut päällystetty ja Korian rakenne peitetty. Molemmissa näytteissä sulfaatin liukoisuus ylittää päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon ja molybdeenin liukoisuus ylittää peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Kloridin liukoisuudet sekä sähkönjohtavuudet ovat näytteissä samalla tasolla. Haitta-aineista fluoridi on ainoa, jonka liukoisuudessa on eroa näytteiden välillä siten, että Korian peitetyn rakenteen massiivituhkanäytteessä fluoridi ylittää peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon, mutta Inkoon näytteessä alittaa ko. raja-arvon.
- Materiaalista ei ole liukoisuustestituloksia rakentamista edeltävältä ajalta, joihin voisi verrata tässä tutkimuksessa määritettyjä liukoisuuksia. Pitkälti samat haitta-aineet ylittävät Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvoja vanhoissa tierakenteesta otetuissa näytteissä ja tämän tutkimuksen yhteydessä laboratoriossa valmistetuissa tuhkan ja RPT:n näytteissä (tuhkaseosmateriaalien tulokset liitteessä 6). Korian ja Inkoon 12–13 vuotta tierakenteesta olleissa massiivituhkanäytteissä sulfaatti, molybdeeni ja fluoridi ylittävät liukoisuusraja-arvoja. Laboratoriossa valmistetuissa tuhkan ja RPT:n näytteissä kloridi, sulfaatti ja molybdeeni ylittävät liukoisuusraja-arvoja. Kloridin liukoisuus vanhoissa tierakenteesta otetuissa näytteissä on selvästi alhaisempi kuin laboratorionäytteissä. Mahdollisesti kloridi on liuennut vanhoista rakenninäytteistä tai sen pitoisuus on ollut lähtökohtaisesti alhaisempi vanhoissa tuhkan ja RPT:n seoksissa verrattuna laboratorionäytteisiin.
- Tulosten perusteella yli 10 vuotta vanhoissa tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen massiivirakenteissa haitta-aineiden liukoisuudet ovat päällystetyissä ja peitetyissä rakenninäytteissä hyvin samalla tasolla. Johtopäätös koskee tarkasteltuja massiivirakenteita, eikä ole yleistettävissä tämän aineiston perusteella laajemmin. Vanhoissa massiivirakenninäytteissä kloridin liukoisuudet ovat alhaisia verrattuna laboratoriossa valmistettujen tuhkan ja RPT:n massiivirakenninäytteiden kloridin liukoisuuksiin.

Sementillä aktivoidut tuhkan ja kuitusaven massiivirakenteet:

- Pihtisalmentien v.2003 rakennetusta massiivikuitutuhkarakenteesta on ennen rakentamista tehty läpivirtaustesti, mutta näytteessä on ollut hieman eri seosuhteet verrattuna rakentamisessa käytettyyn. Ennen rakentamista tehdyssä testissä bariumin, molybdeenin ja seleenin liukoisuudet ylittivät peitetyn rakenteen raja-arvot, mutta vuonna 2014 rakenteesta otetussa massiivikuitutuhkanäytteessä bariumin, molybdeenin ja seleenin liukoisuudet alittavat ko. raja-arvot. Ennen rakentamista tehdyssä testissä fluoridia, kloridia tai sulfaattia ei ole analysoitu. Vuonna 2014 rakenteesta otetussa massiivikuitutuhkanäytteessä kloridin ja fluoridin liukoisuudet ylittävät Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ja muut haitta-aineet alittavat ne.
- Laboratoriossa valmistetuissa tuhkan ja kuitusaven näytteissä Mara-asetuksen liukoisuuskriteerit ylittäviä haitta-aineita on enemmän kuin tierakenteesta otetussa kuitutuhkanäytteessä (tuhkaseosmateriaalien liukoisuudet liite 6). Orgaanisen hiilen liukoisuus (DOC) Pihtisalmentien kuitutuhkanäytteessä on alhainen alittaen Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvot, mikä poikkeaa laboratoriossa valmistetuista kuitutuhkanäytteiden tuloksista, joissa orgaanisen hiilen liukoisuus (DOC) on merkittävää. Pihtisalmentien massiivikuitutuhkarakenteessa käytetyn kuitusaven orgaanisen hiilen liukoisuus on mahdollisesti ollut lähtökohtaisesti alhaisempaa kuin laboratoriossa valmistetun kuitusaven.

Koerakenteen alapuolisesta pohjamaasta määritetyt metallien kokonaispitoisuudet ovat pienempiä kuin PIMA-kynnysarvot, joten viitteitä haitta-aineiden kulkeutumisesta rakenteen alapuoliseen maaperään ei tulosten perusteella ole.

10.2

Kerrosstabiloinnit

Tutkimuksissa oli mukana kerrosstabilointirakenteiden näytteitä sekä peitetystä (murskepintainen tie) että päällystetyistä (asfaltoitu tie) rakenteista. Vanhoista tierakenteista otettujen kerrosstabilointinäytteiden liukoisuustuloksia on verrattu laboratoriossa valmistettujen kerrosstabilointinäytteiden liukoisuuksiin (liite 8) liukoisuuksien suuruusluokan arvioimiseksi ja merkityksellisten haitta-aineiden tunnistamiseksi, vaikka vanhojen rakenninäytteiden ja uusien laboratoriossa valmistettujen näytteiden sisältämät jätejakeet ovat peräisin eri voimalaitoksilta ja runkoaineet ovat erilaisia. Tulosten perusteella havaittiin seuraavaa:

Kerrosstabiloinnin sideaineena lentotuhkan ja sementin seos:

- Kukkian v. 2002 rakennettu kerrosstabilointitieosuus on peitetty rakenne. Rakenteesta otetussa näytteessä kaikkien haitta-aineiden liukoisuudet alittavat Mara-asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Vanhasta rakenteesta otetun kerrosstabilointinäytteen sähkönjohtavuus ja kloridin, fluoridin, sulfaatin liukoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin laboratoriossa valmistettujen näytteiden vastaavat ominaisuudet, joten merkittävää haitta-aineiden kulkeutumista vanhasta kerrosstabilointirakenteesta ei välttämättä ole tapahtunut. Laboratoriossa määritettyjen kerrosstabilointinäytteiden vedenläpäisevyydet ovat hyvin alhaisia, joten haitta-aineiden kulkeutuminen veteen liuenneena todellisesta kerrosstabilointirakenteesta on erittäin hidasta, mikäli vastaava vedenläpäisevyystaso on saavutettu tierakenteessa.

Kerrosstabiloinnin sideaineena lentotuhkan, rikinpoiston lopputuotteen ja semennin seos:

- Kukkian v. 2002 rakennettu kerrosstabilointitieosuus on peitetty rakenne ja Inkon v. 2000 rakennettu kerrosstabilointitieosuus on päällystetty rakenne. Vanhoissa kerrosstabilointinäytteissä peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvoylityksiä todetaan kloridilla, fluoridilla ja sulfaatilla, mutta metallien liukoisuudet ovat alittaneet raja-arvot. Laboratoriossa valmistettuihin kerrosstabilointinäytteisiin verrattuna kloridin ja fluoridin liukoisuudet ovat samassa suuruusluokassa, mutta sulfaatin liukoisuus on vanhoissa kerrosstabilointirakenninäytteissä selvästi korkeampi kuin laboratoriossa valmistetuissa näytteissä. Ilmeisesti rikinpoiston lopputuotteessa sulfaatin liukoisuus on ollut lähtökohtaisesti suurempi rakentamisessa käytetyssä materiaalissa kuin laboratoriossa valmistettujen näytteiden rikinpoiston lopputuotteessa.

Koerakenteen alapuolisesta pohjamaasta määritetyt metallien kokonaispitoisuudet ovat pienempiä kuin PIMA-kynnysarvot (VNa 214/2007) tai luontaiset taustapitoisuudet, joten viitteitä haitta-aineiden kulkeutumisesta rakenteen alapuoliseen maaperään ei tulosten perusteella ole.

10.3

Yhteenveto vanhojen, tuhkaa sisältävien rakenteiden tuloksista

Massiivirakenteet

- Vanhojen tierakenteiden massiivituhkanäytteissä peitetyn rakenteen raja-arvoylityksiä todetaan kloridin, sulfaatin, kromin ja molybdeenin osalta. Tulokset ovat varsin samanlaisia verrattuna laboratoriossa valmistettuihin massiivituhkanäytteisiin.
- Vanhojen tierakenteiden tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen massiivirakenninäytteissä todetaan peitetyn rakenteen raja-arvoylityksiä fluoridilla ja molybdeenillä sekä päällystetyn rakenteen raja-arvoylityksiä sulfaatilla. Päällystetyssä ja peitettyssä tierakenteessa olleiden materiaalien välillä ei havaita merkittäviä eroja liukoisuuksissa. Merkittävimpänä erona laboratoriossa valmistettuihin tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seosnäytteisiin on se, että laboratorionäytteissä kloridin liukoisuus on ollut suurempaa.
- Vanhojen tierakenteiden tuhkan ja kuitusaven massiivirakenninäytteissä todetaan peitetyn rakenteen raja-arvoylityksiä kloridilla ja fluoridilla. Merkittävimpänä erona laboratoriossa valmistettuihin tuhkan ja kuitusaven näytteisiin on se, että laboratorionäytteissä orgaanisen hiilen ja kloridin liukoisuudet ovat olleet suurempia.
- Raja-arvojen ylittävien liukoisuuksien esiintyminen yli 10 vuotta tierakenteessa olleissa näytteissä viittaa siihen, että haitta-aineiden kulkeutuminen massiivirakenteista ympäristöön veteen liuenneena on hidas prosessi, joten liukoisuustesti L/S-suhde 10 saavuttaminen tierakenteessa oli sitten kyse peitetystä tai päällystetystä rakenteesta, kestää hyvin kauan.
- Tulosten arviointia hankaloittaa se, että vastaavilla liukoisuustestimenetelmillä tehtyjä analyysituloksia ei ole rakentamisajankohdalta, joten nykytilanteen ja alkuperäisen tilanteen vertailua ei voi tehdä. Vertailua on voitu tehdä ainoastaan laboratoriossa valmistettujen massiivituhkanäytteiden liukoisuuksiin, jotka on määritetty eri voimalaitosten sivutuotteista valmistetuista näytteistä ja siten ovat vain suuntaa-antavia.

- Sivutuoterakenteiden alta otetuissa pohjamaanäytteissä ei ole todettu PIMAKynnysarvojen ylityksiä, joten viitteitä haitta-aineiden kulkeutumisesta rakenteen alapuoliseen maaperään ei tulosten perusteella ole. Tutkimuksissa ei ole analysoitu alueiden pohjavesinäytteitä, joten tietoa siitä, onko haitta-aineita kulkeutunut pohjaveteen, ei ole.

Kerrosstabilointirakenteet

- Sekä vanhojen tierakenteiden kerrosstabilointinäytteissä että uusissa, laboratoriossa valmistetuissa kerrosstabilointinäytteissä todetaan ainoastaan Marasetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä.
- Vanhojen tierakenteiden kerrosstabilointinäytteissä raja-arvoylityksiä todetaan kloridin, fluoridin ja sulfaatin osalta. Päällystetyn ja peitetyn rakenteen näytteiden välillä ei havaita merkittäviä eroja liukoisuuksissa.
- Uusissa, laboratoriossa valmistetuissa kerrosstabilointinäytteissä raja-arvoylityksiä todetaan erityisesti molybdeenin ja lisäksi kromin ja bariumin osalta. Näytteissä, jotka sisältävät rikinpoiston lopputuotetta sideaineseoksessa todetaan raja-arvoylityksiä myös fluoridin ja kloridin osalta.
- Raja-arvojen ylittävien liukoisuuksien esiintyminen yli 10 vuotta tierakenteessa olleissa näytteissä viittaa siihen, että haitta-aineiden kulkeutuminen kerrosstabilointirakenteesta ympäristöön veteen liuenneena on hidas prosessi, joten liukoisuustesti L/S-suhde 10 saavuttaminen tierakenteessa oli sitten kyse peitetystä tai päälllystetystä rakenteesta, kestää hyvin kauan.
- Tulosten arviointia hankaloittaa se, että vastaavilla liukoisuustestimenetelmillä tehtyjä analyysituloksia ei ole rakentamisajankohdalta, joten nykytilanteen ja alkuperäisen tilanteen vertailua ei voi tehdä. Karkeaa vertailua on voitu tehdä ainoastaan laboratoriossa valmistettujen kerrosstabilointinäytteiden liukoisuuksiin, jotka on määritetty eri voimalaitosten sivutuotteista valmistetuista näytteistä ja ovat siten vain suuntaa-antavia.
- Sivutuoterakenteiden alta otetuissa pohjamaanäytteissä ei ole todettu PIMAKynnysarvojen ylityksiä, joten viitteitä haitta-aineiden kulkeutumisesta rakenteen alapuoliseen maaperään ei tulosten perusteella ole. Tutkimuksissa ei ole analysoitu alueiden pohjavesinäytteitä, joten tietoa siitä, onko haitta-aineita kulkeutunut pohjaveteen, ei ole.

12 Epävarmuustarkastelu

Tulosten tarkasteluun ja niistä tehtäviin johtopäätöksiin liittyviä epävarmuustekijöitä on tarkasteltu taulukossa 14.

Taulukko 14. Epävarmuustarkastelu

Lähtömateriaalit	<p>Tutkimuksessa on mukana lentotuhkanäytteitä kahdeksasta eri voimalaitoksesta Suomesta, joista yhden voimalaitoksen osalta näytteitä oli kahdesta eri polttoainekoostumuksesta (LT5 ja LT6). Lentotuhkien osalta kokonaispitoisuudet ja 2-vaiheisen ravistelutestin analyysitulokset vastaavat varsin hyvin muissa tutkimuksissa saatuja tietoja ja merkittävimmät haitta-aineet, jotka ylittävät Mara-asetuksen raja-arvot on tunnistettu ja ne ovat jäljitettävissä voimalaitoksessa käytettyyn polttoaineeseen ja polttotekniikkaan. Lentotuhkien osalta lähtömateriaalien lukumäärää voidaan pitää riittävänä, vaikka yksittäisten voimalaitosten tuhkissa saattaa olla laatuvariaatiota, joka ei tule tässä tutkimusaineistossa ilmi.</p> <p>Rikinpoiston lopputuotteesta ja kuitusavesta on mukana ainoastaan yhdet näytteet, joten näiden osalta kokonaispitoisuudet ja ravistelutestin analyysitulokset edustavat kyseisen laitoksen materiaalia, eikä laatuvariaatiota eri laitosten materiaalien välillä voida siten arvioida. Lähtömateriaalien muodostumiseen liittyvissä prosesseissa (mm. polttoprosessi, savukaasujen puhdistus, siistaus) tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa materiaalien liukoisuuksiin merkittävästi, mutta tässä tutkimuksessa prosesseihin liittyvää laatuvariaatiota ei tutkittu.</p>
Runkoaineen vaikutus	<p>Massastabilointisovelluksen ja kerrosstabilointisovelluksien näytteissä käytettyjä runkoaineita on tutkimuksessa mukana vain yhdet näytteet, joten runkoaineesta johtuvia laatuvariaatioita ei ole voitu ottaa tulosten tarkastelussa täysin huomioon. Esimerkiksi orgaanisen aineksen suurempi määrä massastabiloitavassa materiaalissa (esim. lieju) voi vaikuttaa tiettyjen haitta-aineiden liukoisuuksiin (DOC, kupari, nikkeli). Kerrosstabiloinnin osalta tutkimuksissa käytettiin kalliomurskettä, mutta todellisessa rakenteessa voidaan jyrsiä olemassa oleva tienpintakerros runkoaineeksi.</p>
Testien lukumäärä	<p>Liukoisuustestejä on tehty tutkittavalle materiaalille ainoastaan yksi testi/näyttemateriaali eli testien toistettavuudesta ei tässä tutkimuksessa saatu tietoa.</p>
Liukoisuustestimenetelmien vertailtavuus	<p>Massastabilointisovelluksissa osalle näytteistä tehtiin liukoisuustestaus sekä 2-vaiheisella ravistelutestillä että läpivirtaustestillä. Tulokset olivat keskenään hyvin samaa tasoa. Mikäli läpivirtaustestiä ei voida materiaalille tehdä (kolonnin tukkeutumisen tai ohivirtausten vuoksi), ravistelutesti soveltuu ainoaksi testimenetelmäksi tulosten perusteella.</p> <p>Eri sovellusten näytteille (massiivituhkat, tuhaseosmateriaalit, massastabiloidut materiaalit, kerrosstabiloidut materiaalit) tehtiin ravistelutestien lisäksi pintaliukenemistesti. Pintaliukenemistestissä antimonin liukoisuus ylittää ohjeellisen diffuusiostestin enimmäisliukoisuusraja-arvon. Ravistelu- ja läpivirtaustestissä antimonin liukoisuus on määrittäjärajatasoa tai alittaa sen. Muiden haitta-aineiden osalta tulokset ovat yhteensopivia eli pintaliukenemistestissä korkea liukoisuus on myös korkea ravistelutestissä tai päinvastoin.</p>

Ikäännyttäminen	Ikäännyttämisen osalta tuloksiin vaikuttaa testin kesto. 2,5 kk mittaisessa testissä ei kaikilla tuhilla saavutettu tasapainotilaa ilman hiilidioksidin ja tuhkan välillä. Tämän vuoksi metallien liukoisuudet eivät välttämättä edusta tasapainotilan liukoisuuksia, vaan testiin vaadittaisiin huomattavasti pidempi aika.
Vanhat, sivutuotteita sisältävät rakenteet	<p>Vanhon sivutuoterakenteiden näytteiden liukoisuustulosten perusteella ei voida luotettavasti arvioida, kuinka paljon vanhoista rakenteista on mahdollisesti liuennut ympäristöön haitta-aineita, koska ennen rakentamista tehdyissä materiaalitutkimuksissa ei ole analysoitu haitta-aineiden liukoisuuksia. Vertailua on kuitenkin tehty uusien laboratorioissa valmistettujen näytteiden kanssa ja pitkälti samat haitta-aineet ylittävät Mara-asetuksen raja-arvoja uusissa näytteissä ja vanhoissa tierakenteista otetuissa näytteissä.</p> <p>Pohjamaanäytteissä ei ole havaittavissa PIMA-kynnysarvojen tai luonnon taustapitoisuusarvojen ylityksiä metallien kokonaispitoisuuksien osalta. Siltä osin viitteitä haitta-aineiden kulkeutumisesta rakenteen alapuoliseen maaperään ei tulosten perusteella ole. Epävarmuutta haitta-aineiden kulkeutumiseen arviointiin tuo se, että pohjavesinäytteistä ei ole pitkäaikaisseuranta kohteista.</p>
Ympäristöolosuhteet todellisissa rakenteissa	<p>Todellisessa hyötykäyttökohteessa tuhkarakenteista vapautuviin haitta-ainepitoisuuksiin vaikuttavat lukuisat tekijät, joista esimerkiksi ympäristön suotoveden pH tai liukoisen orgaanisen hiilen suurempi määrä voivat muuttaa aineiden liukoisuuksia. Lisäksi monet muutkin tekijät vaikuttavat haitta-aineiden kulkeutumiseen ja liukoisuuksiin, jotka eivät tule laboratoriomittakaavan testeissä esille. Näitä ovat esimerkiksi tierakenteessa mahdollisesti rapautumista aiheuttavat jäätymis-sulamissyklit, routiminen ja suotoveden vaihteleva määrä (kuiva rakenne / tulvat). Todellisessa rakenteessa liukenemistapahtumaan kuluva aika on huomattavan pitkä. Ravistelutesteissä ja läpivirtaustesteissä tutkitaan <4 mm raekokoon murskattuja näytteitä, jolloin liukeneminen on huomattavasti tehokkaampaa kuin todellisessa rakenteessa.</p> <p>Siitä huolimatta, että ympäristöolosuhteita ei kaikilta osin tunneta, voidaan tuloksia pitää luotettavina, koska testiolosuhteissa liukeneminen on huomattavasti voimakkaampaa kuin todellisessa rakenteessa.</p>

12 Tulosten yhteenveto

Tuhkan lyhytkestoinen ikäännyttäminen ennen sen käyttöä maarakentamisessa voi parantaa yksittäisen voimalaitoksen tuhkan liukoisuusominaisuuksia, mutta ikäännyttäminen ei ratkaise suuressa mittakaavassa tuhkien liukoisuusongelmia, koska tuhkien laatuvaihtelu on suurta. Massastabiloinnin sideainekäytössä tuhkat tulee varastoida kuivina, jolloin ikäännyttäminen ei sovellu menetelmäksi massastabiloinnissa käytettävien tuhkien jalostamiseen. Kerrosstabiloinnissa tuhka hyödynnetään kostutettuna, mutta tuhkan varastointiaikana tuhkan reaktiivisuus laskee kustutuksen myötä, mikä voi heikentää tuhkan teknisiä ominaisuuksia hyötykäyttökohteessa ja vaatia aktivointia kaupallisella sideaineella. Näin ollen sideainekäytössä tuhkan varastointiaika kustutettuna tulee minimoida.

Massiivirakenteissa voidaan hyödyntää myös lujittamisominaisuuksiltaan heikosti reaktiivisia tuhkia, joita voidaan välivarastoida ennen hyötykäyttöä nykylainsäädännön mukaan enintään kolmen vuoden ajan. Välivarastointiaikana tuhkan liukoisuusominaisuudet ehtivät ikääntymisen myötä muuttua ja helppoliukoisimmat haitta-aineet kuten kloridit voivat osittain liueta välivarastointialueen hulevesiin, jotka voidaan johtaa tarvittaessa käsittelyyn. Tuhkan laatu on välivarastoinnin aikana voinut huomattavasti parantua ja tuhkan laadun tutkiminen hallituissa olosuhteissa välivarastoidusta tuhkasta kannattaisikin todentaa liukoisuustestein sen sijaan, että materiaalin hyödynnettävyys todennetaan ennen varastointia tuoreesta tuhkasta tehtyjen analyysien perusteella. Pitkään kustutettuna välivarastoitu tuhka soveltuu lähinnä täyttömateriaaliksi tai sitten sen tekniset ominaisuudet vaativat jalostamista kaupallisella sideaineella. Tuoreen, reaktiivisen tuhkan käyttöä pitkään välivarastoidun tuhkan aktivoinnissa kannattaisi myös selvittää tutkimuksin.

Tuhkan tiivistämisen osalta yksittäisen voimalaitoksen tuhkan liukoisuusominaisuuksia voidaan parantaa, mutta tiivistämisellä ei ratkaista suuressa mittakaavassa tuhkien soveltuvuutta nykyisiin Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvoihin, sillä tiivistämisen vaikutus haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelee tuhakohtaisesti ja haitta-ainekohtaisesti. Fluoridin, sulfaatin ja lyijyn liukoisuuksissa todettiin merkittävää pienentymistä ravistelutestitulosten perusteella.

Tuhkan sementtiaktiivoinnilla ja sitä seuraavalla tiivistämisellä on voitu vaikuttaa joidenkin haitta-aineiden liukoisuuksia pienentävästi. Sideainelisäys ja samassa yhteydessä tehty tiivistäminen pienentävät noin puolella testatuista tuhkista kriittisten haitta-aineiden liukoisuuksia niin merkittävästi, että tuhka täyttää liukoisuuksien puolesta Mara-asetuksen päällystetyn rakenteen liukoisuuskriteerit. Erityisesti fluoridin, sulfaatin, lyijyn ja seleenin liukoisuuden pienentyminen sideaineella aktivoituilla ja tiivistetyillä tuhkanäytteillä oli merkittävää. Tutkimusten perusteella kloridi oli ongelmallisin haitta-aineista, sillä sen liukoisuus ei juuri muutu. Sementtiaktiivointi parantaa usein myös tuhkan teknistä laatua, joten hyötykäyttökelpoisuus lisääntyy menetelmällä myös teknisessä mielessä. Kaupallisen sideaineen lisääminen aiheuttaa

kustannuksia eikä se luonnollisesti ole tavoitteena, mutta se lisää tuhkan hyötykäytömahdollisuuksia.

- Tuhkan seosmateriaaleista lentotuhkan ja kuitusaven seoksella voidaan saavuttaa päällystettyyn rakenteeseen soveltuva materiaali, mikäli kloridin liukoisuus tuhkassa on lähtökohtaisesti riittävän alhainen ja kuitusaven määrää seoksessa rajoitetaan (tässä tutkimuksessa noin 20 %:iin). Tällöin orgaanisen hiilen liukoisuus ei ylitä liukoisuusraja-arvoa ja toisaalta liukoiseen orgaaniseen hiileen sitoutuvien metallien (Cu, Ni) liukoisuudet jäävät hyvin alhaisiksi. Tutkimuksissa oli mukana ainoastaan yksi kuitusavilaatu, joten orgaanisen hiilen liukoisuus ei välttämättä ole samanlaista jollain toisella kuitusavilaadulla.
- Tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seosten ravistelutesteissä kloridia liukenee päällystetyn rakenteen raja-arvon ylittävä pitoisuus, vaikka rikinpoiston lopputuotteen osuus seoksessa on noin 10 %. Näiden tutkimusten perusteella tuhkan ja rikinpoiston lopputuotteen seokset eivät täytä Mara-asetuksen liukoisuusvaatimuksia, koska rikinpoiston lopputuotteesta peräisin oleva kloridin liukoisuus on seoksessa korkea. Tutkimuksissa oli mukana ainoastaan yhden laitoksen näyte rikinpoiston lopputuotteesta, joten kloridin liukoisuus ei välttämättä ole yhtä samanlaista jonkin toisen laitoksen rikinpoiston lopputuotteella.

Tuhkien hyötykäyttö sideaineina kerrosstabiloinnissa ja massastabiloinnissa ovat haitta-aineiden liukoisuuksien kannalta selkeästi turvallisia sovelluksia ja soveltuvat tulosten perusteella uudistuvaan Mara-asetukseen tuhkan laadusta riippuen ainakin päällystettyihin rakenteisiin ja joillakin tuhkalaaduilla myös peitettyihin rakenteisiin. Sideainesovelluksissa rakenteessa käytettävän tuhkan määrä on huomattavasti pienempi kuin massiivituhkarakenteissa, joten myös liukoisuudet ovat pienempiä ja siten ympäristön kannalta turvallisempia. Tuhkien käyttö sideaineena kerrosstabiloinneissa tai massastabiloinneissa on perusteltua, mikäli rakenteiden tekninen kelpoisuus on osoitettavissa. Reaktiivisiksi havaitut puuaineksen polton lentotuhkat toimivat hyvin massastabiloinnin sideaineina teknisessä mielessä.

Tutkimusaineistossa oli mukana 10–15 vuotta vanhoja sivutuoterakennenytytteitä peitettyistä ja päällystetyistä tierakenteista. Vanhojen näytteiden tutkiminen osoitti, että haitta-aineiden liukeneminen rakenteesta on erittäin hidasta, sillä näytteet sisälsivät edelleen lähes samaa tasoa olevia haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia kuin tuoreet, laboratoriossa valmistetut näytteet.

13 Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Polttoainekoostumuksen perusteella jaoteltujen tuhkien ja seosmateriaalien soveltuvuus peitettyyn tai päällystettyyn rakenteeseen eri maarakennussovelluksissa on koottu seuraavaan:

Kivihiilen polton lentotuhkien hyötykäyttömahdollisuudet nykyisen Mara-asetuksen peitetyn ja päällystetyn rakenteen hyötykäyttökriteereihin verrattuna:

- **Tuoreessa tuhkassa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät fluori-dilla, sulfaatilla, kromilla, molybdeenilla ja seleenillä. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu
- **Massiivituhanäytteissä** (sementtiaktivointi) peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät kromilla ja päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot molybdeenillä
- **Massastabilointinäytteissä** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät molybdeenillä, seleenillä ja vanadiinilla. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu
- **Kerrosstabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät bariumilla, kromilla ja molybdeenillä. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- Kivihiilenpolton lentotuhka soveltuu päällystettyihin rakenteisiin tuoreen tuhkan analyysitulosten perusteella sekä päällystettyihin rakenteisiin massastabiloinnissa ja kerrosstabiloinnissa. Kivihiilenpolton lentotuhka ei sovellu liukoisuustestitulosten perusteella peitettyihin rakenteisiin Mara-ilmoitusmenettelyllä.

Puuaineksen ja turpeen (polttoaineesta ≤ 35 %) seospolton lentotuhkien hyötykäyttömahdollisuudet nykyisen Mara-asetuksen peitetyn ja päällystetyn rakenteen hyötykäyttökriteereihin verrattuna:

- **Tuoreessa tuhkassa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät erityisesti kloridilla, fluoridilla, sulfaatilla, kromilla, molybdeenillä ja seleenillä. Yksittäisiä ylityksiä todettiin myös lyijyllä ja bariumilla. Osassa tuhkista päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät kloridilla, sulfaatilla, kromilla ja molybdeenillä.
- **Tuhkan ikäännyttäminen** vähentää joidenkin haitta-aineiden liukoisuuksia (sulfaatti, fluoridi, kromi, molybdeeni, seleeni, lyijy). Lähtökohtaisesti korkea kloridin ja kromin liukoisuus voivat estää hyötykäytön päällystetyssä rakenteessa.
- **Tuhkan tiivistäminen** ei vaikuttanut tuhkan laatuun merkittävästi, mikäli kloridin liukoisuus oli lähtökohtaisesti korkea. Tuhka ei soveltunut päällystettyyn rakenteeseen.

- **Massiivituhkanäynteissä** (sementtiaktivointi) sulfaatin liukoisuus vähentyi merkittävästi siten, että osa tuhkista soveltui päällystettyyn rakenteeseen.
- **Massastabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät molybdeenillä ja osalla tuhkista myös kloridilla, vanadiinilla ja antimonilla. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- **Kerrosstabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät molybdeenillä. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- Puuaineksen ja turpeen polton lentotuhkat soveltuvat päällystettyihin rakenteisiin massastabiloinnissa ja kerrosstabiloinnissa. Osa tuhkista soveltuu myös sementillä aktivoituihin päällystettyihin massiivirakenteisiin. Puuaineksen ja turpeen polton lentotuhkat eivät sovellu liukoisuustestitulosten perusteella peitettyihin rakenteisiin Mara-ilmoitusmenettelyllä.

Turpeen polton (polttoaineesta noin 90 %) lentotuhkien hyötykäyttömahdollisuudet nykyisen Mara-asetuksen peitetyn ja päällystetyn rakenteen hyötykäyttökriteereihin verrattuna:

- **Tuoreessa tuhkassa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät fluoridilla, sulfaatilla, antimonilla, kadmiumilla, molybdeenillä ja päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot arseenilla ja seleenillä.
- **Tuhkan ikäännyttäminen** ei vaikuttanut tuhkan laatuun merkittävästi. Tuhka ei soveltunut päällystettyyn rakenteeseen.
- **Tuhkan tiivistäminen** ei vaikuttanut tuhkan laatuun merkittävästi. Tuhka ei soveltunut päällystettyyn rakenteeseen.
- **Massiivituhkanäynteissä** (sementtiaktivointi) peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät ainoastaan molybdeenillä ja seleenillä. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- **Massastabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät ainoastaan molybdeenillä ja seleenillä. Päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- Turpeen polton lentotuhka soveltuu sementillä aktivoituihin päällystettyihin massiivirakenteisiin. Myös massastabilointi tai kerrosstabilointi voi tulla kyseeseen päällystetyissä rakenteissa. Turpeen polton lentotuhka ei sovellu liukoisuustestitulosten perusteella peitettyihin rakenteisiin Mara-ilmoitusmenettelyllä.

Puuperäisenaineksen polton lentotuhkien hyötykäyttömahdollisuudet nykyisen Mara-asetuksen peitetyn ja päällystetyn rakenteen hyötykäyttökriteereihin verrattuna:

- **Tuoreessa tuhkassa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyvät kloridilla, fluoridilla, sulfaatilla, kromilla, lyijyllä, molybdeenillä ja seleenillä. Osassa tuhkista päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyvät kloridilla, sulfaatilla, kromilla, lyijyllä ja seleenillä.
- Tuhkan **ikännnyttämistä** ei tutkittu. Todennäköisesti kloridin lähtökohtaisesti korkea liukoisuus olisi ylittänyt päällystetyn rakenteen raja-arvon ikäännytyssä tuhkassa.
- **Tuhkan tiivistäminen** ei vaikuttanut tuhkan laatuun merkittävästi. Tuhka ei soveltunut päällystettyyn rakenteeseen.
- **Massiivituhkanäynteissä** sementtiaktivointi ja tiivistäminen eivät vaikuttaneet tuhkan laatuun riittävästi, mikäli kloridin ja kromin liukoisuudet olivat lähtökohtaisesti suuria. Sen sijaan sulfaatin, fluoridin, lyijyn ja seleenin liukoisuudet laskivat merkittävästi. Osa puuaineksen polton tuhkista voi alittaa päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot sementtiaktivoinnin ja tiivistämisen jälkeen.

- **Massastabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät ainoastaan molybdeenillä. Päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- **Kerrosstabilointia** ei tutkittu. Todennäköisesti tuhka soveltuisi päälystettyyn rakenteeseen.
- Puun polton lentotuhkat soveltuvat päälystettyihin rakenteisiin massastabiloinnissa ja kerrosstabiloinnissa. Osa tuhkista voi soveltua myös sementillä aktivoituihin päälystettyihin massiivirakenteisiin. Puun polton lentotuhka ei sovellu liukoisuustestitulosten perusteella peitettyihin rakenteisiin Mara-ilmoitusmenettelyllä.

Rikinpoiston lopputuotteen ja kivihiilenpolton lentotuhkan hyötykäyttömahdollisuudet nykyisen Mara-asetuksen peitetyn ja päälystetyn rakenteen hyötykäyttökriteereihin verrattuna. Arvio on tehty, vaikka rikinpoiston lopputuote ei kuuluukaan Maraan:

- Sellaisenaan rikinpoiston lopputuotteen liukoisuudet ylittävät Mara-asetuksen päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot kloridin ja fluoridin osalta sekä peitetyn rakenteen raja-arvot sulfaatin osalta. Rikinpoiston lopputuote ei sovellu liukoisuusominaisuuksiensa puolesta sellaisenaan Mara-asetuksen materiaaliksi nykyisillä liukoisuusraja-arvoilla
- Rikinpoiston lopputuotteen ja lentotuhkan **massiiviseosmateriaalista** kloridin liukoisuus ylittää päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvon. Massiiviseosmateriaali ei soveltunut Mara-asetuksen materiaaliksi.
- **Massastabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät sulfaatilla molybdeenillä, vanadiinilla. Päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- **Kerrosstabiloinnissa** peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot ylittyivät kloridilla, fluoridilla, bariumilla, kromilla ja molybdeenillä. Päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä ei todettu.
- Rikinpoiston lopputuotteen ja kivihiilenpolton lentotuhkan seos voi soveltua päälystettyihin rakenteisiin massastabiloinnissa ja kerrosstabiloinnissa.
- Tutkimuksissa on tarkasteltu ainoastaan rikinpoiston lopputuotetta sisältävien seosten ympäristökelpoisuusominaisuuksia eikä teknistä kelpoisuutta ole tarkasteltu tässä tutkimuksessa

Kuitusaven ja bioaineksen polton lentotuhkien hyötykäyttömahdollisuudet nykyisen Mara-asetuksen peitetyn ja päälystetyn rakenteen hyötykäyttökriteereihin verrattuna. Arvio on tehty, vaikka kuitusavi ei kuuluukaan Maraan:

- Sellaisenaan kuitusaven liukoisuudet ylittävät Mara-asetuksen päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot orgaanisen hiilen (DOC) osalta, eikä kuitusavi sovellu liukoisuusominaisuuksiensa puolesta sellaisenaan Mara-asetuksen materiaaliksi nykyisillä liukoisuusraja-arvoilla
- Kuitusaven ja lentotuhkan **massiiviseosmateriaalista** kloridin ja orgaanisen hiilen liukoisuudet ylittävät päälystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot. Seosmateriaali ei soveltunut päälystettyyn rakenteeseen.
- Mikäli seosmateriaalissa kuitusaven osuus rajataan riittävän pieneksi ja lentotuhkaksi valitaan tuhka, jossa kloridin liukoisuus ei ole lähtökohtaisesti korkea, seosmateriaali saattaa soveltua päälystettyyn rakenteeseen.
- Tutkimuksissa on tarkasteltu ainoastaan kuitusavea sisältävien seosten ympäristökelpoisuusominaisuuksia eikä teknistä kelpoisuutta ole tarkasteltu tässä tutkimuksessa.
- Tutkimusaineisto on laaja ja se tuo esille erilaisten tuhkaa sisältävien maarakennussovellusten haitta-aineiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet. Haitta-aineiden liukoisuudet ylittivät lähes kaikissa maarakennussovelluksissa Mara-

asetuksen peitetyn rakenteen liukoisuusraja-arvot vähintään yhden haitta-aineen osalta. Jalostettujen materiaalien liukoisuudet määräytyivät suurelta osin käytettyjen materiaalien liukoisuuksien perusteella. Aineisto on viranomaisen hyödynnettävissä Mara-asetuksen uudistustyössä uusien maarakennussovellusten saamiseksi Mara-asetuksen piiriin ja mahdollisesti myös Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvojen uudelleentarkastelussa.

- Maarakennussovelluksista tuhkan käyttö sideaineena massastabiloinnissa tai kerrosstabiloinnissa osoittautuivat haitta-aineiden liukoisuuksien kannalta selkeästi turvallisiksi ympäristölle ainakin päällystetyissä rakenteissa. Mara-asetukseen suositellaan otettavaksi mukaan tuhkan hyötykäyttösovellus sideaineena massastabiloinnissa ja kerrosstabiloinnissa.
- Tuhkien hyötykäyttöä lisäisi myös liukoisuuksien tutkiminen jalostetusta/hyötykäytettävästä materiaalista eikä yksinomaan tuoreiden tuhkien tulosten perusteella ratkaistaisi materiaalin soveltumista hyötykäyttöön Mara-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä. Hyötykäytettävän materiaalin liukoisuuksien tutkiminen tuoreen tuhkan liukoisuuksien sijaan huomioisi myös paremmin tuhkan välivarastointiaikana tapahtuvan ikääntymisen vaikutukset tuhkan laatuun. Lisäksi hyötykäytettävän materiaalin tutkimisella saataisiin realistisempi käsitys mahdollisista ympäristövaikutuksista.

Tutkimusaineistossa oli mukana 10–15 vuotta vanhoista tierakenteista otettuja sivutuoterakennenyhteitä sekä peitetystä että päällystetyistä rakenteista. Vanhojen sivutuoterakenteiden tutkiminen osoitti, että haitta-aineiden liukeneminen rakenteesta on erittäin hidasta, sillä näytteet sisälsivät edelleen lähes samaa tasoa olevia haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia kuin tuoreet, laboratoriossa valmistetut näytteet. Todellisissa rakenteissa liukoisuustestituloksia vastaavan L/S-suhteen 10 saavuttaminen voi siten kestää hyvin kauan, jolloin sivutuoterakenteen ulkopuolisessa ympäristössä kuormitus on erittäin vähäistä.

Erilaisten tuhkasovellusten hyötykäytön edistämiseksi tutkimusaineiston tuloksia voidaan hyödyntää haitta-aineiden kulkeutumismallinnuksessa, jossa haitta-aineiden liukoisuuksien ja muiden kemiallisten ominaisuuksien lisäksi huomioidaan kohteen maaperä- ja pohjavesiolosuhteet, sivutuoterakenteen geometria ja geotekniset ominaisuudet sekä ympäristöolosuhteiden muutokset (ilmasto-olosuhteet, jäätymissulamissyklit). Mallinnuksen tuloksia on mahdollista todentaa rakentamalla todellisia sivutuoterakenteita ja havainnoimalla niistä aiheutuvaa ympäristökuormitusta lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Mallinnuksen perusteella voidaan arvioida, aiheuttavatko liukoisuustestien raja-arvovertailun perusteella kriittiset haitta-aineet kuormitusta ympäristössä ja onko edellytyksiä uudistaa lainsäädännön liukoisuuskriteerejä hyötykäytön edistämiseksi.

LÄHTEET

- Hyvönen Iikka, **Kuitutuhkan pitkäaikaistoimivuus teiden ja urheilukenttien päällysrakenteissa**, Diplomityö, 2014, Tampereen teknillinen yliopisto
- Illikainen, Mirja et al, **Reactivity and self-hardening of fly ash from the fluidized bed combustion of wood and peat**, Fuel 135, 2014, s. 69-75
- Korpijärvi Kirsi et al, **Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön**, VTT Tiedotteita 2499, 2009
- Ramboll, **Tuhkarakentamisen käsikirja**, Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa, 2012, http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf
- Ramboll, **Massastabilointikäsikirja**, 2014, http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf
- Sorvari J., Ympäristökriteerit mineraalisten teollisuusjätteiden käytölle maarakentamisessa, Suomen ympäristö, 421, 2000
- Tarkkio, Timo, **Lentotuhkan pitkäaikaistoimivuus teiden ja kenttien päällysrakenteissa**, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2014
- UUMA-inventaarihankkeen koerakenteiden raportit: <http://projektit.ramboll.fi/uuma/index.asp>
- Wahlström, Margaretha, Laine-Ylijoki, Jutta, Standardoidut liukoisuustestimenetelmät maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien ympäristötestauksessa, VTT Tiedotteita 1801, 1996
- Wahlström, Margaretha, Laine-Ylijoki, Jutta, Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa, VTT Tiedotteita 1852, 1997

LIITE I: Materiaalitestauksen menetelmät

Vesipitoisuus (SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-1:fi) kuvaa näytteen (m_m) sisältämän veden suhdetta näytteen kuivamassaan (m_d). Vesipitoisuus määritetään kuivaamalla näytettä uunissa 105 °C lämpötilassa, minkä jälkeen vesipitoisuus lasketaan haihtuneen veden ja kuivamassan suhteena alla olevalla kaavalla.

$$w = \frac{m_m - m_d}{m_d} * 100\%$$

Hehkutushäviö (SFS-EN 1997-2 5.6) kuvaa näytteen sisältämän orgaanisen materiaalin ja kideveden määrää. Hehkutushäviön määrittämisessä pieni määrä näytettä hehkutetaan 800 °C lämpötilassa. Hehkutushäviö (LoI) lasketaan massan häviön suhteena alkuperäiseen kuivamassaan, alla olevalla kaavalla.

$$LoI = \frac{m_d - m_i}{m_d} * 100\%$$

jossa m_d on kuivan näytteen massa ja m_i on hehkutetun näytteen massa.

Hehkutushäviö määritetään kahden näytteen keskiarvona. Tuloksissa täytyy huomioida, että hehkutushäviö ei anna suoraan näytteen humuspitoisuutta, vaan tuloksesta tulee arvioida näytteen sisältämän kideveden vaikutus tulokseen. Kideveden osuus voidaan arvioida näytteen savipitoisuuden perusteella.

pH määritetään sekoittamalla kuivaa näytettä ja tislattua vettä keskenään suhteessa 1:5 (massa). Kosteasta näytteestä mitattaessa vesipitoisuus huomioidaan vettä lisätessä siten, että kuiva-aineen ja veden massasuhde pysyy vakiona (1:5). Seosta sekoitetaan viiden minuutin ajan. Tämän jälkeen se annetaan seistä 2–4 tuntia, minkä jälkeen näyte sekoitetaan uudelleen huolellisesti. pH mittaus suoritetaan sekoitetusta näytteestä kalibroidulla pH-mittarilla.

Näytteen raekokojakauma (SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-4:fi) määritetään pesu- ja kuivaseulonnalla sekä areometrikokeella. Pesuseulonnalla selvitetään alle 0,063 mm rakeiden osuus koko näytteen massasta. Kuivaseulonnalla määritetään 32–0,063 mm rakeiden jakauma ja areometrikokeella määritetään alle 0,063 mm rakeiden jakauma.

Stabiloituvuustutkimusten koekappaleiden valmistaminen ja säilytys

Stabiloituvuustutkimuksissa homogenisoituun runkomateriaalinäytteeseen sekoitetaan haluttu määrä sideainetta. Sideaineen määrä lasketaan suhteessa stabiloitavan runkomateriaalin tilavuuteen (kg/m^3). Sideainetta sekoitetaan runkomateriaalin kanssa laboratoriosekoittimella kahden minuutin ajan. Sekoitettu massa sullotaan (mutta ei varsinaisesti tiivistetä) näytesylintereihin, joiden halkaisija on 42–50 mm ja korkeus yli kaksinkertainen näytesylinterin halkaisijaan verrattuna. Koekappaleiden kuivuminen lujittumisjakson aikana estetään pakkaamalla ne muovipusseihin.

Näytesylinterit säilytetään sideaineen sekoittamisen jälkeen kaksi ensimmäistä vuorokautta huoneenlämmössä (noin +20 °C) lämpöeristettyihin laatikoihin sideainetyyppittäin pakattuna. Tämän jälkeen näytesylinterit siirretään +8 °C lämpötilaan, jossa niitä säilytetään koestamiseen saakka.

Poikkeuksen em. tavanomaiseen säilytykseen muodostavat lämpökäsittelykappaleet, joiden säilytyslämpötila on koko lujittumisjakson ajan +30 °C. Lämpökäsittelyn avulla pyritään nopeuttamaan lujittumisprosessia ja siten saamaan selvästi normaalisäilytystapaa lyhyemmässä ajassa karkea yleiskuva testattavien ratkaisujen pitkän aikavälin lujittumispotentiaalista. Lämpökäsitteltyjen koekappaleiden lujuuksia ei voi käyttää sellaisenaan mitoituksessa, mutta niitä voidaan käyttää apuna eri sideainevaihtoehtojen keskinäisessä toimivuusarvioinnissa.

Ennen puristuslujuusmäärittystä koekappaleet poistetaan näytesylinteristä ja niiden päät leikataan, siten että koekappaleen korkeus on kaksinkertainen halkaisijaan verrattuna. Samalla tarkistetaan silmämääräisesti kappaleen eheys.

Proctor–menetelmällä koekappaleet valmistetaan homogenisoidusta materiaalista lähellä optimivesipitoisuutta. Koekappaleet tiivistetään Proctor–vasaralla Proctor-muottiin (halkaisija 102 mm ja korkeus 116 mm). Koekappaleiden tiivistystyömäärällä pyritään simuloimaan rakentamisen aikaista tiivistystyötä, sekä tavoitettavuutta ja mahdollisesti sen vaihteluja.

Yksiaksiaalinen puristuslujuus (mukailtu SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-7:fi) testataan muotoon leikatuista koekappaleista ennalta määritetyn lujittumisajan jälkeen. Testissä sylinterin muotoista koekappaletta kuormitetaan tasaisella nopeudella, kunnes koekappale murtuu. Kuormitusnopeus on 1 tai 2 mm/min. Jos koekappaleen murtumista ei tapahdu, puristusta jatketaan kunnes muodonmuutos on 15 %. Raportissa esitetyjä tuloksia ei ole korjattu halkaisijan ja korkeuden suhteen välisellä muotokertoimella.

Vedenläpäisevyydestissä (SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-11:fi) testikappale asetetaan membraanikalvon sisälle kolmiaksiaaliseen paineeseen testiselliin. Testikappaleen läpi johdatetaan vettä etusäiliöstä takasäiliöön ja säiliöiden vedenpintojen muutoksia mitataan. Kun etusäiliössä on korkeampi paine kuin takasäiliössä, vesi virtaa koekappaleessa. Vedenvirtaus tapahtuu testimetodissa alhaalta ylöspäin. Vedenläpäisevyys lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$k = \frac{Q * L}{A * t * H}$$

jossa k= vedenläpäisevyys [m/s]; Q = testikappaleen läpi menneen veden tilavuus [m³]; L = testikappaleen korkeus [m]; A = testikappaleen poikkileikkauksen pinta-ala [m²]; t = aika [s]; H = hydraulinen paine-ero [m]

Tuhkan reaktiivisuutta arvioidaan niin sanottua **lämpenemistestiä** käyttäen. Testissä huoneenlämpöiseen tuhkaan lisätään huoneenlämpöistä vettä siten, että näytteen vesipitoisuudeksi tulee 30 %. Vesi sekoitetaan tuhkaan tasaisesti, minkä jälkeen näytteeseen työnnetään lämpötila-anturi, ja näyte suljetaan tiiviisti solumuovieristeestä valmistettuun laatikkoon. Näytteen lämpötilan kehitystä seurataan tavallisesti 6 tunnin ajan. Testissä saadaan selville tuhkassa tapahtuneista reaktioista aiheutuva lämmön nousu ja maksimilämpötila. Lopuksi määritetään näytteen vesipitoisuus, jolloin saadaan selville kuinka paljon vesipitoisuus muuttuu reaktioiden vaikutuksesta. Käytetty testi ei ole standardoitu.

Näyte-tunnus	Neste/kiinto-aine-suhde	Parametri	pH	Sähkön-johtavuus mS/m	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseeni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Eiohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka	Kupari (Cu) mg/kg ka
LT1	L/S 2		12,5	1100	<5	920	<5	2800	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,5	<0,1
	L/S 10		12,6	900	6	1 100	7	13 000	<0,01	<0,2	2,5	<0,002	<0,01	2,0	<0,1
LT2	L/S 2		12,2	2 200	<5	11 000	9	2 900	<0,01	<0,2	1,4	<0,002	<0,01	2,5	<0,1
	L/S 10		12,2	890	7	12 000	26	13 000	<0,01	<0,2	1,8	<0,002	<0,01	12,0	<0,1
LT3	L/S 2		9,9	200	<5	72	28	2 100	0,03	0,2	0,7	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	L/S 10		9,6	47	<5	84	49	2 900	0,10	3,8	1,6	<0,002	0,04	<0,1	<0,1
LT4	L/S 2		12,6	2 300	<5	1 400	7	6 900	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	1,3	<0,1
	L/S 10		12,4	860	9	1 400	18	12 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	1,7	<0,1
LT5	L/S 2		12,0	460	<5	25	<5	2 100	<0,01	<0,2	1,9	<0,002	<0,01	0,6	<0,1
	L/S 10		11,9	180	<5	28	12	2 700	<0,01	<0,2	15	<0,002	<0,01	0,9	<0,1
LT6	L/S 2		12,3	520	<5	25	6	1 600	<0,01	<0,2	2,4	<0,002	<0,01	0,4	<0,1
	L/S 10		12,2	3,1	13	80	20	2 000	<0,01	<0,2	17	<0,002	<0,01	0,5	<0,1
LT7	L/S 2		12,6	2 600	<5	5 000	9	7 000	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,8	<0,1
	L/S 10		12,4	1 000	8	4 800	20	15 000	<0,01	<0,2	2,8	<0,002	<0,01	1,4	<0,1
LT8	L/S 2		12,8	3 300	<5	5 200	<5	9 100	<0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	4,1	<0,1
	L/S 10		12,6	1 200	19	5 300	16	17 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	5,3	<0,1
LT9	L/S 2		12,3	1 800	<5	1 300	<5	4 500	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	0,9	<0,1
	L/S 10		12,6	950	17	1 500	<5	2 800	<0,01	<0,2	20	<0,002	<0,01	0,6	<0,1
RPT	L/S 2		11,1	2 700	<5	18 000	15	880	<0,01	<0,2	2,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	L/S 10		11,1	580	14	17 000	65	2 000	0,02	<0,2	3,9	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
Kuitusavi	L/S 2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L/S 10		7,6	140	5 200	60	<5,0	310	<0,01	<0,20	2,3	<0,002	<0,010	<0,10	0,10
Savi	L/S 2		8,4	4,5	5	<10	<5	<20	<0,01	<0,2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	L/S 10		8,3	2,2	11	<10	<5	37	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	<0,1	0,1
Siltti	L/S 2		7,8	4,3	8	<10	<5	<20	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	L/S 10		7,8	1,8	43	<10	<5	<20	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
Murske	L/S 2		9,0	9,7	<5	<10	<5	<20	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	L/S 10		9,0	3,9	5	11	7	<20	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1

Näyte- tunnus	Neste/ kiinto- aine- suhde	Parametri	Lyijy (Pb) mg/kg ka	Molybdeeni (Mo) mg/kg ka	Nikkeli (Ni) mg/kg ka	Seleen (Se) mg/kg ka	Sinkki (Zn) mg/kg ka	Vanadiini (V) mg/kg ka	Rauta (Fe) mg/kg ka	Mangaani (Mn) mg/kg ka	Magnesium (Mg) mg/kg ka	Alumiini (Al) mg/kg ka	Natrium (Na) mg/kg ka	Kalium (K) mg/kg ka	Kalsium (Ca) mg/kg ka	
LT1		Yksikkö Vna 403/2009 Peitetty rakenne	0,5	0,5	0,4	0,1	4,0	2,0								
	L/S 2		<0,1	1,2	<0,1	0,07	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	210	310	2 500	
LT2			<0,1	3,6	<0,1	0,13	0,3	<0,1	0,4	<0,2	1,2	<0,2	640	580	12 000	
	L/S 2		0,4	3,5	<0,1	0,11	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	940	2 300	6 600	
LT3			0,7	8,6	<0,1	0,27	0,8	<0,1	<0,2	<0,2	0,24	0,6	15 000	3 800	15 000	
	L/S 2		<0,1	4,7	<0,1	0,83	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	7,8	33	61	64	920	
LT4			<0,1	5,7	<0,1	2,3	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	13,2	82	69	69	1 300	
	L/S 2		<0,1	1,5	<0,1	0,21	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	570	7 600	2 200	
LT5			0,2	2,3	<0,1	0,25	0,3	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	590	7 700	11 000	
	L/S 2		<0,1	5,3	<0,1	0,08	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	1,0	650	49	1 000	
LT6			<0,1	3,7	<0,1	0,11	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	0,37	15	670	51	2 500	
	L/S 2		<0,1	4,4	<0,1	0,07	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	400	63	1 300	
LT7			<0,1	5,9	<0,1	0,11	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	0,31	4,0	440	69	3 600	
	L/S 2		<0,1	0,7	<0,1	0,08	0,5	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 000	8 100	2 600	
LT8			0,2	1,3	<0,1	0,10	1,3	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	0,8	2 300	9 000	17 000	
	L/S 2		1,2	3,4	<0,1	0,50	0,9	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 700	11 000	2 100	
LT9			3,0	4,9	<0,1	0,54	3,4	<0,1	<0,2	<0,2	0,7	0,2	2 700	12 000	13 000	
	L/S 2		<0,1	0,7	<0,1	0,15	0,2	<0,1	0,3	0,3	0,70	<0,2	1 400	3 900	2 100	
RPT			0,2	0,9	<0,1	0,10	0,3	<0,1	<0,2	<0,2	0,73	<0,2	1 500	3 900	9 200	
	L/S 2		<0,1	0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,73	0,7	6 900	340	5 100	
Kuittusavi			<0,1	0,4	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	2,20	4,1	8 200	420	7 300	
	L/S 2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Savi			<0,10	<0,10	<0,10	0,03	<0,10	-	1,6	2,4	154	29	740	62	2800	
	L/S 2		<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	1,9	<0,2	3,5	2,5	12	3,2	14	
Siltti			<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	0,2	<0,1	2,4	0,3	9,6	31	25	15	31	
	L/S 2		<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	1,9	<0,2	2,8	2,0	2,0	10	4,7	
Murske			<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	5,2	<0,2	6,2	5,3	9,0	20	210	
	L/S 2		<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	0,6	0,4	1	1,3	11	19	27	
	L/S 10		<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	3,7	0,4	1,3	7,9	23	55	37	

Näyte-tunnus	Parametri	TOC	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseeni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka	Kupari (Cu) mg/kg ka	Lyijy (Pb) mg/kg ka	Molybdeeni (Mo) mg/kg ka	Nikkeli (Ni) mg/kg ka	Seleen (Se) mg/kg ka	Sinkki (Zn) mg/kg ka	Vanadiini (V) mg/kg ka
LT1		2,6	14	35	640	<0,2	2,4	59	230	53	<10	42	<10	510	65
LT2		0,4	49	15,7	203,8	0,3	5,3	102,4	369,8	106,6	12	59,4	<10	778,2	43,0
LT3		0,8	<1	89,8	322,4	<0,2	2,1	63,9	57,2	25,1	10	21,0	<10	82,1	78,1
LT4		1,3	<1	8,5	958,8	<0,2	1,7	41,8	91,6	19,2	<10	30,7	<10	494,4	56,9
LT5		5,5	<1	38,6	1 137	0,3	0,9	27,3	41,9	13,3	<10	59,3	<10	132,3	32,5
LT6		7,5	<1	45,1	1 106	0,5	0,7	33,7	27,7	13,9	11	44,3	<10	106,7	72,6
LT7		0,6	2	1,8	280,2	<0,2	6,0	36,3	66,5	12,5	<10	19,2	<10	1 341	15,3
LT8		0,4	3	29,9	482,0	0,3	9,6	70,8	116,6	177,9	11	37,1	<10	1 986	43,4
LT9		0,6	<1	11,6	391,1	0,6	2,6	47,5	83,1	23,9	<10	30,0	<10	454,3	74,4
RPT		0,9	<1	7,3	120,9	1,2	<0,3	9,3	5,6	4,9	<10	8,1	<10	37,2	15,2
Kultusavi		17,0	<1	<0,7	476,6	<0,2	<0,3	14,1	99,5	4,4	<10	3,9	<10	14,6	6,3
SAVI		0,2	<1	3,4	103,4	<0,2	<0,3	46,2	28,7	4,9	<10	20,7	<10	63,9	49,6
SILTII		0,4	<1	10,3	85,6	<0,2	<0,3	45,0	25,6	4,9	<10	14,3	<10	49,6	46,3
MURSKKE		<0,1	<1	2,5	58,6	<0,2	<0,3	6,0	4,9	4,6	<10	1,2	<10	48,7	15,8

Näyte- tunnus	Parametri	Rauta (Fe)	Magnesium (Mg)	Mangaani (Mn)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)
		mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
LT1	Yksikkö Vna 403/2009 Pitoisuus	57 000	9 900	1200	38 000	3 600	7 900	130 000
LT2		28 270	8 848	1710	23 920	3 757	9 117	89 360
LT3		106 200	4 012	959	29 900	685	1 466	26 650
LT4		363 380	13 050	6702	24 130	3 555	21 090	114 000
LT5		39 210	7 952	267	29 110	4 062	2 352	32 790
LT6		33 020	7 168	304	25 030	2 621	2 958	28 520
LT7		12 930	11 820	8167	46 210	6 856	19 270	210 800
LT8		23 650	14 820	8198	38 650	9 452	22 390	200 900
LT9		26 640	15 970	2756	26 370	5 190	7 649	202 000
RPT		3 538	4 884	124	5 027	9 245	1 273	278 800
Kuittusavi		3 106	1 900	75	8 830	947	493	133 100
SAVI		30 760	9 221	293	16 150	349	5 669	4 538
SILTTI		30 380	8 995	289	16 240	<170	6 269	1 873
MURSKKE		20 260	4 530	359	7 636	190	4 146	2 133

LIITE 4: Ikäännyttämistestien tulokset

1/4

Näyte-tunnus	Parametri	Kuiva-aine-pitoisuus	pH	Sähkö-johtavuus	TOC	DOC	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti	Antimoni (Sb)	Arseeni (As)	Barium (Ba)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Kromi (Cr)	
		%	-	mS/m	%	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	
LT1 tuore	Yksikkö															
	Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus										50	3000		15	400	
	Vna 403/2009 Peitetty rakenne liukoisuus					500	800	10	1 000	0,06	0,5	20	0,01	0,04	0,5	
LT1 vanhennettu	Vna 403/2009 Päälystetty rakenne liukoisuus					500	2 400	50	10 000	0,18	1,5	60	0,01	0,04	3,0	
	Kokonaispitoisuus	99,5			2,6					14	35	640,0	<0,2	2,4	59	
	Ravistelutesti L/S 2		12,5	1100		<5	920	<5	2800	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,5	
LT2 tuore	Ravistelutesti L/S 10		12,6	900		6	1 100	7	13 000	<0,01	<0,2	2,5	<0,002	<0,01	2,0	
	Kokonaispitoisuus	86,3			2,8					11	28	360	0,4	2,1	46	
	Ravistelutesti L/S 2		11,8	380		<5	770	<5	630	0,02	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	0,4	
LT2 vanhennettu	Ravistelutesti L/S 10		11,5	150		5	1 100	<5	1 400	0,08	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	0,7	
	Kokonaispitoisuus	100,0			0,4					49	15,7	203,8	0,3	5,3	102,4	
	Ravistelutesti L/S 2		12,2	2 200		<5	11 000	9	2 900	<0,01	<0,2	1,4	<0,002	<0,01	2,5	
LT3 tuore	Ravistelutesti L/S 10		12,2	890		7	12 000	26	13 000	<0,01	<0,2	1,8	<0,002	<0,01	12	
	Kokonaispitoisuus	86,5			1,0					69	20	680	0,7	6,7	140	
	Ravistelutesti L/S 2		10,1	1 600		<5	8 200	<5	2 600	<0,01	<0,2	0,4	<0,002	<0,01	2,7	
LT3 vanhennettu	Ravistelutesti L/S 10		10,6	320		<5	9 100	10	9300	0,08	<0,2	1,8	<0,002	<0,01	4,0	
	Kokonaispitoisuus	100,0			0,8					<1	89,8	322,4	<0,2	2,1	63,9	
	Ravistelutesti L/S 2		9,9	200		<5	72	28	2 100	0,03	0,2	0,7	<0,002	<0,01	<0,1	
LT3 vanhennettu	Ravistelutesti L/S 10		9,6	47		<5	84	49	2 900	0,10	3,8	1,6	<0,002	0,04	<0,1	
	Kokonaispitoisuus	84,7			0,7					<10	71	310	<0,2	1,6	73	
	Ravistelutesti L/S 2		8,6	200		<5	87	12	2 300	0,04	0,7	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	
	Ravistelutesti L/S 10		8,8	33		<5	95	27	2 600	0,08	4,3	0,5	<0,002	<0,01	<0,1	

Näyte- tunnus	Parametri	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleen (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)
	Yksikkö	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
	Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus	400	300	50			2000	400							
	Vna 403/2009 Peitetty rakenne liukoisuus	2,0	0,5	0,5	0,4	0,1	4,0	2,0							
	Vna 403/2009 Päälystetty rakenne liukoisuus	6,0	1,5	6,0	1,2	0,5	12	3,0							
LT1 tuore	Kokonaispitoisuus	230	53	<10	42	<10	510	65	57 000	1 200	9 900	38 000	3 600	7 900	130 000
	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	1,2	<0,1	0,07	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	210	310	2 500
	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	3,6	<0,1	0,13	0,3	<0,1	0,4	<0,2	1,2	<0,2	640	580	12 000
LT1 vanhennettu	Kokonaispitoisuus	190	45	<10	34	<10	400	54	47 000	970	7 900	32 000	3 000	6 300	100 000
	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,01	<0,1	0,2	0,3	<0,2	0,3	12	660	740	35
	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	0,02	<0,1	0,5	0,3	<0,2	1,2	48	1 100	1 400	300
LT2 tuore	Kokonaispitoisuus	370	106,6	12	59,4	<10	778,2	43,0	28 270	1 710	8 848	23 920	3 757	9 117	89 360
	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,4	3,5	<0,1	0,11	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	940	2 300	6 600
	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,7	8,6	<0,1	0,27	0,8	<0,1	<0,2	<0,2	0,24	0,6	1 500	3 800	15 000
LT2 vanhennettu	Kokonaispitoisuus	490	130	14	78	<10	1000	56	41 000	2 100	11 000	34 000	5 100	13 000	110 000
	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	1,4	<0,1	0,04	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	2,4	0,3	2 000	4 000	2 300
	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	2,5	<0,1	0,05	<0,1	0,2	0,5	<0,2	3,6	8,3	2 300	4 700	3 200
LT3 tuore	Kokonaispitoisuus	57,2	25,1	10	21,0	<10	82,1	78,1	106 200	959	4 012	29 900	685	1 466	26 650
	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	4,7	<0,1	0,83	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	7,8	33	61	64	920
	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	5,7	<0,1	2,3	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	13,2	82	69	69	1 300
LT3 vanhennettu	Kokonaispitoisuus	62	25	<10	27	<10	94	83	160 000	1 000	4 600	37 000	930	1 900	32 000
	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	4,1	<0,1	0,37	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	40	0,9	63	64	710
	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	5,2	<0,1	1,0	<0,1	0,4	0,3	<0,2	48	9,2	81	88	870

LIITE 5: Tiivistämisen ja sideainelisäyksen vaikutukset tuhkan liukoisuuksiin 1/5

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Kuiva-aine-%	pH	Sähkönjohtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseeni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka
		Yksikkö		-												
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus								1 000	0,06	0,5	20	0,01	0,04	0,5
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne liukoisuus					500	800	10	1 000	0,06	0,5	20	0,01	0,04	0,5
		Vna 403/2009 Päällystetty rakenne liukoisuus					500	2 400	50	10 000	0,18	1,5	60	0,01	0,04	3,0
	LT2	Kokonaispitoisuus	100,0			0,4					49	15,7	203,8	0,3	5,3	102,4
		Ravistelu L/S 2		12,2	2 200		<5	11 000	9	2 900	<0,01	<0,2	1,4	<0,002	<0,01	2,5
		Ravistelu L/S 10		12,2	890		7	12 000	26	13 000	<0,01	<0,2	1,8	<0,002	<0,01	12
	VTL-5A	Kokonaispitoisuus	75,0			1,2					70	22,1	229,9	0,6	6,5	138,2
		Ravistelu L/S 2		10,7	1 500		<5	8 500	<5	300	0,02	<0,2	2,4	<0,002	<0,01	1,6
		Ravistelu L/S 10		11,1	330		12	10 000	<5	1 300	0,16	<0,2	4,3	<0,002	<0,01	2,4
	VTL-7A	Kokonaispitoisuus	75,2			1,1					62	20,7	166,7	0,9	5,7	119,9
		Ravistelu L/S 2		11,1	1 400		7	7 900	<5	170	0,02	<0,2	4,2	<0,002	<0,01	0,6
		Ravistelu L/S 10		11,2	300		7	9 600	<5	950	0,16	<0,2	5,1	<0,002	<0,01	0,9
	LT3	Kokonaispitoisuus	100,0			0,8					<1	89,8	322,4	<0,2	2,1	63,9
		Ravistelu L/S 2		9,9	200		<5	72	28	2 100	0,03	0,2	0,7	<0,002	<0,01	<0,1
		Ravistelu L/S 10		9,6	47		<5	84	49	2 900	0,10	3,8	1,6	<0,002	0,04	<0,1
	VTL-1A	Kokonaispitoisuus	77,7			0,9					1	86,4	389,7	0,9	2,7	64,4
		Ravistelu L/S 2		8,9	190		<5	91	6	2 000	0,03	0,7	0,3	<0,002	<0,01	<0,1
		Ravistelu L/S 10		9,1	39		10	98	<5	2 500	0,08	4,4	0,6	<0,002	<0,01	<0,1
	VTL-3A	Kokonaispitoisuus	78,6			1					<1	67,9	309,5	0,3	2,2	50,6
		Ravistelu L/S 2		11,4	110		7	69	<5	150	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	0,2
		Ravistelu L/S 10		11,2	50		18	77	<5	300	0,01	0,3	0,2	<0,002	<0,01	0,3
	LT8	Kokonaispitoisuus	99,2			0,4					3	29,9	482,0	0,3	9,6	70,8
		Ravistelu L/S 2		12,8	3 300		<5	5 200	<5	9 100	<0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	4,1
		Ravistelu L/S 10		12,6	1 200		19	5 300	16	17 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	5,3
	VTL-24A	Kokonaispitoisuus	82,7			0,4					<10	21	190	<0,2	6,9	45
		Ravistelu L/S 2		13,1	3 900		<5	2 600	<5	920	<0,01	<0,2	0,4	<0,002	<0,01	5,6
		Ravistelu L/S 10		12,6	740		10	3 400	7	810	<0,01	<0,2	13	<0,002	<0,01	5,3
	VTL-28	Kokonaispitoisuus	81,5			0,3					<10	23	230	<0,2	6,6	38
		Ravistelu L/S 2		13,1	4 200		<5	2 500	<5	900	<0,01	<0,2	0,3	<0,002	<0,01	4,9
		Ravistelu L/S 10		12,7	860		20	3 100	5	650	<0,01	<0,2	15	<0,002	<0,01	4,0
	LT1	Kokonaispitoisuus	99,5			2,6					14	35	640,0	<0,2	2,4	59
		Ravistelu L/S 2		12,5	1 100		<5	920	<5	2800	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,5
		Ravistelu L/S 10		12,6	900		6	1 100	7	13 000	<0,01	<0,2	2,5	<0,002	<0,01	2,0
	VTL-30	Kokonaispitoisuus	73,5			3,0					13	29	580	<0,2	2,0	44
		Ravistelu L/S 2		12,2	540		<5	780	<5	970	0,03	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	0,6
		Ravistelu L/S 10		12,1	180		7	940	<5	2 000	0,09	<0,2	0,9	<0,002	<0,01	0,70
	LT4	Kokonaispitoisuus	99,9			1,3					<1	8,5	958,8	<0,2	1,7	41,8
		Ravistelu L/S 2		12,6	2 300		<5	1 400	7	6 900	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	1,3
		Ravistelu L/S 10		12,4	860		9	1 400	18	12 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	1,7

Materiaali	Näyte- tunnus	Parametri	Kuiva- aine- %	pH	Sähkön- johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseeni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka
		Yksikkö		-												
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus										50	3000		15	400
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne liukoisuus					500	800	10	1 000	0,06	0,5	20	0,01	0,04	0,5
		Vna 403/2009 Päällystetty rakenne liukoisuus					500	2 400	50	10 000	0,18	1,5	60	0,01	0,04	3,0
Massiivientouhka LT4 + 3 % Plussementti	VTL-26	Kokonaispitoisuus	82,7			1,6					<10	7	690	<0,2	1,4	33
		Ravistelutesti L/S 2		12,6	1 500		8	800	<5	2 200	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	0,2
		Ravistelutesti L/S 10		12,3	370		22	970	<5	3 500	0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	0,3
Tuore lentouhka, LT5	LT5	Kokonaispitoisuus	99,7			5,5					<1	38,6	1137,0	0,3	0,9	27,3
		Ravistelutesti L/S 2		12,0	460		<5	25	<5	2 100	<0,01	<0,2	1,9	<0,002	<0,01	0,6
		Ravistelutesti L/S 10		11,9	180		<5	28	12	2 700	<0,01	<0,2	15	<0,002	<0,01	0,9
Massiivientouhka LT5 + Plussementti 3 %	VTL-29	Kokonaispitoisuus	86,7			4,9					<10	41	1100	<0,2	0,6	32
		Ravistelutesti L/S 2		12,3	350		11	25	<5	170	<0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	1,0
		Ravistelutesti L/S 10		12,1	120		14	29	<5	330	0,02	<0,2	8,3	<0,002	<0,01	1,3
Tuore lentouhka, LT7	LT7	Kokonaispitoisuus	99,9			0,6					2	1,8	280,2	<0,2	6	36,3
		Ravistelutesti L/S 2		12,6	2 600		<5	5 000	9	7 000	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,8
		Ravistelutesti L/S 10		12,4	1 000		8	4 800	20	15 000	<0,01	<0,2	2,8	<0,002	<0,01	1,4
Massiivientouhka LT7+ Plussementti 3 %	VTL-27	Kokonaispitoisuus	79,2			0,3					<10	<5	220	<0,2	4,6	25
		Ravistelutesti L/S 2		13,0	3 300		<5	1 700	<5	1 400	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	1,8
		Ravistelutesti L/S 10		12,6	720		16	2 100	<5	1 200	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	1,6
Tuore lentouhka, LT9	LT9	Kokonaispitoisuus	94,3			0,6					<1	11,6	391,1	0,6	2,6	47,5
		Ravistelutesti L/S 2		12,3	1 800		<5	1 300	<5	4 500	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	0,9
		Ravistelutesti L/S 10		12,6	950		17	1 500	<5	2 800	<0,01	<0,2	20	<0,002	<0,01	0,6
Massiivientouhka LT9 + Plussementti 3 %	VTL-31	Kokonaispitoisuus	76,4			0,5					<10	9	380	<0,2	2,2	33
		Ravistelutesti L/S 2		13,0	2 300		<5	320	<5	<20	<0,01	<0,2	9,6	<0,002	<0,01	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10		13,0	980		9	540	<5	23	<0,01	<0,2	120	<0,002	<0,01	0,1

Materiaali	Näyte- tunnus	Parametri	Kupari (Cu)	Lyyjy (Pb)	Molybdeen (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seeleni (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)		
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	
Tuore lentotuhka, LT2	LT2	Yksittäkö	400	300	50	2000	400	43,0	28 270	1 710	8 848	23 920	3 757	9 117	89 360			
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus																
		Vna 403/2009 Peifetty rakenne Liukoisuus	2,0	0,5	0,5	0,4	0,1	0,5	4,0	2,0								
		Vna 403/2009 Päälylystetty rakenne liukoisuus	6,0	1,5	6,0	1,2	0,5	12	3,0									
Massiivientotuhka LT2 + 3 % Pussementti	VTL-5A	Kokonaispitoisuus	370	106,6	12	59,4	<10	778,2	43,0	28 270	1 710	8 848	23 920	3 757	9 117	89 360		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,4	3,5	<0,1	0,11	0,6	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	940	2 300	6 600	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,7	8,6	<0,1	0,27	0,8	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2	0,24	0,6	1 500	3 800	15 000	
		Kokonaispitoisuus	470,4	193,4	18	86	<10	1124	62,5	36 970	2 194	11 430	32 390	5 304	11 810	83 850		
Massiivientotuhka LT2 + 3 % Pussementti	VTL-7A	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	2,1	<0,1	0,02	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	1,1	2,2	1 800	3 600	1 600		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	3,1	<0,1	0,04	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	1,5	4,2	2 100	4 600	2 500		
		Kokonaispitoisuus	410,4	167,8	17	78,8	<10	965,1	57	32 940	2 009	10 450	28 840	4 688	10 510	81 520		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	1,7	<0,1	0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,4	2,6	1 900	4 200	1 200		
Tuore lentotuhka, LT3	LT3	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	2,6	<0,1	0,02	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	0,7	2,9	2 200	5 000	2 200		
		Kokonaispitoisuus	57,2	25,1	10	21,0	<10	82,1	78,1	106 200	959	4 012	29 900	685	1 466	26 650		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	4,7	<0,1	0,83	<0,1	0,83	0,1	<0,2	<0,2	7,8	33	61	64	920	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	5,7	<0,1	2,3	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	13,2	82	69	69	1 300		
Tiivistetty massiivientotuhka LT3	VTL-1A	Kokonaispitoisuus	57	37,5	14	27,8	<10	108,3	93,4	98 890	1 121	4 504	31 630	821	1 746	27 230		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	5,2	<0,1	0,28	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	15,4	1,7	67	66	840		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	6,4	<0,1	0,84	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	21,3	15	75	73	1 100		
		Kokonaispitoisuus	48	30,1	10	22,9	<10	83,6	77,3	72 265	872	4 063	25 430	932	1 500	31 315		
Massiivientotuhka LT3 + 3 % Pussementti	VTL-3A	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	4,0	<0,1	0,06	<0,1	0,9	<0,2	<0,2	<0,2	6,8	150	170	64		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	4,6	<0,1	0,23	<0,1	1,7	<0,2	<0,2	0,9	29	190	230	360		
		Kokonaispitoisuus	116,6	177,9	11	37,1	<10	198,6	43,4	23 650	8 198	14 820	38 650	9 452	22 390	200 900		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	1,2	3,4	<0,1	0,50	0,9	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 700	11 000	2 100	
Tiivistetty massiivientotuhka, LT8	VTL-24A	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	3,0	4,9	<0,1	0,54	3,4	<0,1	<0,2	<0,2	0,7	0,2	2 700	12 000	13 000		
		Kokonaispitoisuus	89	99	<10	28	<10	1 300	30	17 000	7 700	10 000	29 000	6 900	17 000	180 000		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,2	6,4	<0,1	0,64	0,7	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	11	2 800	9 800	70	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,3	7,4	<0,1	0,56	0,7	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	30	3 900	13 000	1 000	
Massiivientotuhka LT8 + 3 % Pussementti	VTL-28	Kokonaispitoisuus	89	98	<10	24	<10	1 100	30	15 000	7 400	28 000	6 700	17 000	260 000			
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,1	6,6	<0,1	0,27	0,4	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	7,4	3 100	10 000	39		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,2	5,7	<0,1	0,23	0,5	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	22	4 000	13 000	1 200		
		Kokonaispitoisuus	230	53	<10	42	<10	510	65	57 000	1 200	9 900	38 000	3 600	7 900	130 000		
Tuore lentotuhka, LT1	LTI	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	1,2	<0,1	0,07	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	210	310	2 500		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	3,6	<0,1	0,13	0,3	<0,1	0,4	<0,2	1,2	<0,2	640	580	12 000		
		Kokonaispitoisuus	200	43	<10	35	<10	360	56	46 000	1 000	8 100	32 000	3 300	6 900	110 000		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	2,5	<0,1	0,04	<0,1	0,8	<0,2	<0,2	<0,2	22	850	1 100	42		
Massiivientotuhka LT1 + 3 % Pussementti	VTL-30	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	3,30	<0,1	0,06	<0,1	1,3	<0,2	<0,2	0,4	70	1 200	1 900	440		
		Kokonaispitoisuus	91,6	19,2	<10	30,7	<10	494,4	56,9	363 380	6 702	13 050	24 130	3 555	21 090	114 000		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	1,5	<0,1	0,21	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	570	7 600	2 200		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,2	2,3	<0,1	0,25	0,3	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	590	7 700	11 000		

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Kupari (Cu)	Lyjy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Selenei (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)		
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	
Massiivientotuhka LT4 + 3 % Plussementti	VTL-26	Yksikkö	400	300	50	2000	400	52	32 000	4 700	10 000	22 000	3 300	18 000	110 000			
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus																
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus	2,0	0,5	0,5	0,4	0,1	0,2	2,0									
		Vna 403/2009 Päällystetty rakenne liukoisuus	6,0	1,5	6,0	1,2	0,5	12	3,0									
Tuore lentotuhka, LT5	LT5	Kokonaispitoisuus	81	17	<10	29	<10	400	52	32 000	4 700	10 000	22 000	3 300	18 000	110 000		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	1,9	<0,1	0,16	0,8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	31	610	5 300	16	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	2,8	<0,1	0,22	1,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	76	990	8 400	210	
		Kokonaispitoisuus	41,9	13,3	<10	59,3	<10	132,3	32,5	39 210	267	7 952	29 110	4 062	2 352	32 790		
Massiivientotuhka LT5 + Plussementti 3 %	VTL-29	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	5,3	<0,1	0,08	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1	650	49	1 000		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	3,7	<0,1	0,11	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	15	670	51	2 500		
		Kokonaispitoisuus	47	13	11	77	<10	150	70	32 000	300	8 300	34 000	5 100	3 200	45 000		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	5,1	<0,1	0,06	<0,1	0,5	<0,2	<0,2	<0,2	60	620	190	67		
Tuore lentotuhka, LT7	LT7	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	7,4	<0,1	0,08	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	0,3	120	780	250	870		
		Kokonaispitoisuus	66,5	12,5	<10	19,2	<10	1 341	15,3	12 930	8 167	11 820	46 210	6 856	19 270	210 800		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,08	0,5	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 000	8 100	2 600	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,2	1,3	<0,1	0,1	1,3	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,8	2 300	9 000	17 000	
Massiivientotuhka LT7+ Plussementti 3 %	VTL-27	Kokonaispitoisuus	55	11	<10	16	<10	940	15	9 600	7 100	8 800	36 000	5 800	15 000	160 000		
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	2,3	<0,1	0,05	0,3	0,2	1,2	<0,2	<0,2	67	2 600	8 000	10		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	2,4	<0,1	0,05	0,3	0,2	0,8	<0,2	<0,2	190	3 600	12 000	360		
		Kokonaispitoisuus	83,1	23,9	<10	30	<10	454,3	74,4	26 640	2 756	15 970	26 370	5 190	7 649	202 000		
Tuore lentotuhka, LT9	LT9	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,15	0,2	<0,1	0,3	0,3	0,7	<0,2	1 400	3 900	2 100		
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,2	0,9	<0,1	0,10	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,73	<0,2	1 500	3 900	9 200	
		Kokonaispitoisuus	66	12	<10	22	<10	270	<10	1 900	18 000	1 900	11 000	21 000	4 200	6 800	220 000	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	1,2	1 700	3 700	340		
Massiivientotuhka LT9 + Plussementti 3 %	VTL-31	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,1	0,5	<0,1	0,02	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	2,9	2 100	4 700	5 800		

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Kuiva-aine-%	pH	Sähkö-johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka		
Rikkipolstotuote	RPT	Yksikkö	98,8	-	0,9													
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus																
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus																
Tuore, kuiva lentotuikka, LT5	LT5	Kokonaispitoisuus		11,1	2 700	0,9	<5	18 000	15	880	<0,01	<0,2	2,2	<0,002	<0,01	<0,1		
		Ravistelutesti L/S 10		11,1	580		14	17 000	65	2 000	0,02	<0,2	3,9	<0,002	<0,01	<0,1		
		Kokonaispitoisuus	99,7			5,5						<1	38,6	1137,0	0,3	0,9	27,3	
Massiivilentotuikka LT5 +	VTL-29	Ravistelutesti L/S 2		12,0	460		<5	25	<5	2 100	<0,01	<0,2	1,9	<0,002	<0,01	0,6		
		Ravistelutesti L/S 10		11,9	180		<5	28	12	2 700	<0,01	<0,2	15	<0,002	<0,01	0,9		
		Kokonaispitoisuus	86,7			4,9					<10	41	1100	<0,2	0,6	32		
Plussementti 3 %	VTL-12A	Ravistelutesti L/S 2		12,3	350		11	25	<5	170	<0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	1,0		
		Ravistelutesti L/S 10		12,1	120		14	29	<5	330	0,02	<0,2	8,3	<0,002	<0,01	1,3		
		Kokonaispitoisuus	84,3			4,1					<10	33	59			0,8	22	
Tuhkaseosmateriaali (LT5;RPT=70:30) + 3 % PLUS	VTL-14	Ravistelutesti L/S 2		11,2	1 100		12	5 900	<5	2 000	<0,01	<0,2	1	<0,002	<0,01	<0,1		
		Ravistelutesti L/S 10		11,2	210		22	3 600	<5	3 800	<0,01	<0,2	4,1	<0,002	<0,01	0,1		
		Kokonaispitoisuus	84,8			4,9					<10	31	100			0,7	21	
Tuhkaseosmateriaali (LT5;RPT=90:10) + 3 % PLUS	KS	Ravistelutesti L/S 2		11,0	690		8	2 500	<5	3 600	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	0,2		
		Ravistelutesti L/S 10		11,0	150		17	2 700	6	6 700	<0,01	<0,2	2,8	<0,002	<0,01	0,3		
		Kokonaispitoisuus	30,7			17,0					<1	<0,7	476,6	<0,2	<0,3	14,1		
Tuore, kuiva lentotuikka, LT7	LT7	Ravistelutesti L/S 10		7,6	140		5200	60	<5,0	310	<0,01	<0,20	2,3	<0,002	<0,010	<0,10		
		Kokonaispitoisuus	99,9			0,6					2	1,8	280,2	<0,2	6	36,3		
		Ravistelutesti L/S 2		12,6	2 600		<5	5 000	9	7 000	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,8		
Tuhkaseosmateriaali LT7:KS = 60:40	VTL-15A	Ravistelutesti L/S 10		12,4	1 000		8	4 800	20	15 000	<0,01	<0,2	2,8	<0,002	<0,01	1,4		
		Kokonaispitoisuus	69,2			3,4					<10	<5	350	<0,2	4,8	26		
		Ravistelutesti L/S 2		12,8	2 600		1000	2 400	<5	78	<0,01	<0,2	1,3	<0,002	<0,01	0,3		
Tuhkaseosmateriaali LT7:KS = 80:20	VTL-17	Ravistelutesti L/S 10		12,5	840		1000	2 700	<5	45	<0,01	<0,2	19	<0,002	<0,01	0,2		
		Kokonaispitoisuus	72,8			1,5					<10	<5	290	<0,002	5	26		
		Ravistelutesti L/S 2		12,8	3 000		370	1 900	<5	290	<0,01	<0,2	0,5	<0,02	<0,01	0,7		
Tuore, kuiva lentotuikka, LT8	LT8	Ravistelutesti L/S 10		12,6	920		400	2 400	<5	110	<0,01	<0,2	13	<0,002	<0,01	0,4		
		Kokonaispitoisuus	99,2			0,4					3	29,9	482,0	0,3	9,6	70,8		
		Ravistelutesti L/S 2		12,8	3 300		<5	5 200	<5	9 100	<0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	4,1		
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 60:40)	VTL-9A	Ravistelutesti L/S 10		12,6	1 200		19	5 300	16	17 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	5,3		
		Kokonaispitoisuus	72,6			5,3					<1	19	264,6	<0,2	5,5	40,4		
		Ravistelutesti L/S 2		12,6	2 000		1200	2 600	<5	300	<0,01	<0,2	1,2	<0,002	<0,01	1,0		
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 80:20)	VTL-11	Ravistelutesti L/S 10		12,5	970		1 700	4 000	<5	160	<0,01	<0,2	16	<0,002	<0,01	1,2		
		Kokonaispitoisuus	75,4			1,9					<10	22	330			7	45	
		Ravistelutesti L/S 2		13,0	3 500		360	3 300	<5	240	<0,01	<0,2	1,3	<0,002	<0,01	2		
		Ravistelutesti L/S 10		12,4	1 100		400	3 800	<5	100	<0,01	<0,2	34	<0,002	<0,01	1,2		

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Kupari (Cu)	Lytily (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleeni (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)	
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
RIKINPÖISTÖTUOTE	RPT	Kokonaispitoisuus	5,6	4,9	<10	8,1	<10	37,2	15,2	3538	124	4884	5027	9 245	1 273	278 800	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,73	0,7	6 900	340	5 100
Tuore, kuiva lentotuhka, LT5	LT5	Kokonaispitoisuus	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	2,20	4,1	8 200	420	7 300	
		Ravistelutesti L/S 10	41,9	13,3	<10	59,3	<10	132,3	32,5	39 210	267	7 952	29 110	4 062	2 352	32 790	
Massiivientotuhka LT5 + Plussementti 3 %	VTL-29	Kokonaispitoisuus	<0,1	<0,1	5,3	<0,1	0,08	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	1	650	49	1 000	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	3,7	<0,1	0,11	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	0,37	15	670	51	2 500	
Tuhkaseosmateriaali (LT5:RPT=70:30) + 3 % PLUS	VTL-12A	Kokonaispitoisuus	47	13	11	77	<10	150	70	32 000	300	8 300	34 000	5 100	3 200	45 000	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	5,1	<0,1	0,06	<0,1	0,5	<0,2	<0,2	<0,2	60	620	190	67	
Tuhkaseosmateriaali (LT5:RPT=90:10) + 3 % PLUS	VTL-14	Kokonaispitoisuus	<0,1	<0,1	7,4	<0,1	0,08	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	0,3	120	780	250	870	
		Ravistelutesti L/S 10	34	10	<10	43	<10	110	53	20 000	230	7 500	23 000	5 900	2 400	110 000	
Kultusavi	KS	Kokonaispitoisuus	<0,01	<0,1	3,2	<0,1	<0,01	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	1,9	0,7	1 600	360	1 200	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	4,1	<0,1	0,02	<0,1	1,0	<0,2	<0,2	4,2	9,3	1 800	430	2 600	
Tuore, kuiva lentotuhka, LT7	LT7	Kokonaispitoisuus	99,5	4,4	<10	3,9	<10	14,6	6,3	3106	75	1900,00	8830	947	493	133 100	
		Ravistelutesti L/S 10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,03	<0,10	1,341	15,3	12 930	8 167	11 820	46 210	6 856	19 270	210 800
Tuhkaseosmateriaali LT7:KS = 60:40	VTL-15A	Kokonaispitoisuus	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,08	0,5	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 000	8 100	2 600	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,2	1,3	<0,1	0,1	1,3	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	0,8	2 300	9 000	17 000	
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 80:20)	VTL-17	Kokonaispitoisuus	76	11	<10	15	<10	960	13	10 000	5 900	10 000	38 000	6 700	19 000	180 000	
		Ravistelutesti L/S 2	3,9	<0,1	1	0,3	0,01	0,3	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	30	2 400	7 700	140	
Tuore, kuiva lentotuhka, LT8	LT8	Kokonaispitoisuus	2,2	<0,1	1,0	0,2	0,01	0,4	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	46	2 700	8 700	2 300	
		Ravistelutesti L/S 10	65	12	<10	15	<10	1000	13	10 000	6 200	10 000	39 000	6 600	18 000	180 000	
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 60:40)	VTL-9A	Kokonaispitoisuus	1,0	<0,1	1,2	<0,1	0,01	0,3	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	84	2 500	7 700	62	
		Ravistelutesti L/S 10	116,6	177,9	11	37,1	<10	1986	43,4	23 650	8 198	14 820	38 650	9 452	22 390	200 900	
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 80:20)	VTL-11	Kokonaispitoisuus	<0,1	1,2	3,4	<0,1	0,50	0,9	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 700	11 000	2 100	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	3,0	4,9	<0,1	0,54	3,4	<0,1	<0,2	<0,2	0,7	0,2	2 700	12 000	13 000	
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 80:20)	VTL-11	Kokonaispitoisuus	76,3	119,9	<10	22	<10	1186	28,2	11 640	4 859	8 760	23 710	5 779	13 700	126 300	
		Ravistelutesti L/S 2	3,1	0,1	2,6	0,5	0,16	0,3	<0,1	<0,2	<0,2	0,6	<0,2	1,9	1 600	5 900	220
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 80:20)	VTL-11	Kokonaispitoisuus	2,9	0,3	3,6	0,5	0,18	0,8	<0,1	<0,2	0,6	0,2	2,7	2 400	9 200	3 800	
		Ravistelutesti L/S 10	97	120	<10	25	<10	1 300	30	17 000	6 700	12 000	31 000	7 400	20 000	200 000	
Tuhkaseosmateriaali (LT8:KS = 80:20)	VTL-11	Kokonaispitoisuus	1,5	0,2	4	0,1	0,17	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	3,6	2 800	10 000	160	
		Ravistelutesti L/S 10	0,9	0,5	3,2	<0,1	0,8	0,10	0,8	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	3 300	12 000	2 700	

LIITE 7: Massastabilointisovellusten kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet
(ravistelutestit ja läpivirtaustestit)

1/7

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Kuiva-aine-pitoisuus %	pH	Sähkö-johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka	Kupari (Cu) mg/kg ka	
Tuore lentotuikka	LT1	Kokonaispitoisuus	99,5		2,6													
		Ravistelutesti L/S 2		12,5	1100		<5	920			2800	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,5	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10		12,6	900		6	1 100		7	13 000	<0,01	<0,2	2,5	<0,002	<0,01	2,0	<0,1
		Kokonaispitoisuus	70,7		0,3							<10	5	140	<0,2	<0,4	38	39
		Ravistelutesti L/S 2		11,1	88		23	91		<5	320	<0,01	<0,2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10		11,2	65		31	97		<5	920	0,03	<0,2	0,4	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Läpivirtaustesti L/S 2																
		Läpivirtaustesti L/S 10					27	86		3,4	719	0,01	0,04	0,22	<0,002	0,001	0,03	0,06
		Kokonaispitoisuus	100,0		0,4							49	15,7	203,8	0,3	5,3	102,4	370
		Ravistelutesti L/S 2		12,2	2 200		<5	11 000	9	2 900	<0,01	<0,2	<0,2	1,4	<0,002	<0,01	2,5	<0,1
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT2	VT-21B	Ravistelutesti L/S 10		12,2	890		7	12 000	26	13 000	<0,01	<0,2	1,8	<0,002	<0,01	12	<0,1	
		Kokonaispitoisuus	71,6		1,3					1,3	6	4,4	182,4	<0,2	0,5	50,9	62,5	
Tuore lentotuikka	LT3	Ravistelutesti L/S 2		11	200		8	860	<5	200	<0,01	<0,2	0,3	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
		Ravistelutesti L/S 10		11,3	74		22	910	<5	850	0,11	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT3	VT-22B	Kokonaispitoisuus	100,0		0,8						<1	89,8	322,4	<0,2	2,1	63,9	57,2	
		Ravistelutesti L/S 2		9,9	200		<5	72	28	2 100	0,03	0,2	0,7	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
Tuore lentotuikka	LT4	Ravistelutesti L/S 10		9,6	47		<5	84	49	2 900	0,10	3,8	1,6	<0,002	0,04	<0,1	<0,1	
		Kokonaispitoisuus	71,3		0,2						<1	8,8	126,5	<0,2	<0,3	44	28,8	
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-19D	Ravistelutesti L/S 2		11,1	83		9	13	<5	420	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
		Ravistelutesti L/S 10		11,2	52		24	15	5	870	0,01	0,2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-30D	Kokonaispitoisuus	99,9		1,3						<1	8,5	958,8	<0,2	1,7	41,8	91,6	
		Ravistelutesti L/S 2		12,6	2 300		<5	1 400	7	6 900	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	1,3	<0,1	
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-19E	Ravistelutesti L/S 10		12,4	860		9	1 400	18	12 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	1,7	<0,1	
		Kokonaispitoisuus	71,1		0,5						<1	3,5	198,6	<0,2	<0,3	44,8	32	
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-30E	Ravistelutesti L/S 2		11,5	130		10	300	<5	87	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
		Ravistelutesti L/S 10		11,4	78		25	110	<5	760	<0,01	<0,2	0,4	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-30E	Läpivirtaustesti L/S 2					25,2	89	2,6	565	<0,01	0,01	0,16	0,00	<0,001	0,07	0,02	
		Läpivirtaustesti L/S 10				0,7					<1	9,4	167	<0,2	<0,3	39,3	28,6	
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-30E	Ravistelutesti L/S 2		11,3	95		110	110	<5	96	<0,01	<0,2	<0,1	<0,002	<0,01	<0,1	0,3	
		Ravistelutesti L/S 10		11,3	57		190	120	<5	400	<0,01	<0,2	0,2	0,003	<0,01	<0,1	0,5	
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-30E	Läpivirtaustesti L/S 2					258,3	88	6,4	231	<0,01	0,01	0,09	0,00	<0,001	0,08	0,85	
		Läpivirtaustesti L/S 10									<0,01	0,01	0,09	0,00	<0,001	0,08	0,85	

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Kuiva-aine-pitoisuus %	pH	Sähkön-johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseeni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka	Kupari (Cu) mg/kg ka
	LT5	Tuore lentotunka	99,7			5,5					<1	38,6	1137,0	0,3	0,9	27,3	41,9
		Ravisteltusti L/S 2		12,0	460		<5	25	<5	2 100	<0,01	<0,2	1,9	<0,002	<0,01	0,6	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		11,9	180		<5	28	12	2 700	<0,01	<0,2	15	<0,002	<0,01	0,9	<0,1
Massastabiilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT5	VT-24B	Kokonaispitoisuus	72,1			0,5					<1	6,5	194,4	<0,2	<0,3	41,1	28,3
		Ravisteltusti L/S 2		11,3	83		9	<10	<5	400	<0,01	<0,2	0,1	<0,02	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		11,2	58		24	10	<5	910	0,01	<0,2	0,4	<0,02	<0,01	<0,1	<0,1
Massastabiilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 80 kg/m ³ LT5 + 20 kg/m ³ RPT	VT-27B	Kokonaispitoisuus	71,5			0,2					<1	5,6	180,2	<0,2	<0,3	42,2	27,9
		Ravisteltusti L/S 2		11	160		8	350	<5	680	<0,01	<0,2	0,3	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		11,1	62		12	370	<5	1 200	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
Tuore lentotunka	LT6	Kokonaispitoisuus	100,0			7,5	<5	25	6	1 600	<0,01	<0,2	2,4	<0,002	<0,01	0,4	<0,1
		Ravisteltusti L/S 2		12,3	520		13	80	20	2 000	<0,01	<0,2	17	<0,002	<0,01	0,5	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		12,2	3		0,6				<1	6,1	161,3	<0,2	<0,3	39,9	26,8
Massastabiilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT6	VT-25D	Kokonaispitoisuus	71,3														
		Ravisteltusti L/S 2		11,3	91		14	<10	<5	450	<0,01	<0,2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		11,2	55		26	<10	<5	810	0,01	<0,2	0,3	<0,002	<0,01	0,1	<0,1
	VT-25E	Läpivirtaustesti L/S 2															
		Läpivirtaustesti L/S 10					17	10	4,6	619	<0,01	0,12	0,17	0,01	<0,001	0,09	0,02
Massastabiilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 80 kg/m ³ LT6 + 20 kg/m ³ RPT	VT-28D	Kokonaispitoisuus	71,0			0,6					<1	5,3	148,7	<0,2	<0,3	39,8	25,9
		Ravisteltusti L/S 2		11,0	150		9	370	<5	680	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		11,1	62		12	400	7	1 200	<0,01	<0,2	0,4	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	VT-28E	Läpivirtaustesti L/S 2															
		Läpivirtaustesti L/S 10					18	263	8,3	1 359	<0,01	0,07	0,32	<0,002	<0,001	0,02	0,07
Tuore lentotunka	LT7	Kokonaispitoisuus	99,9			0,6					2	1,8	280,2	<0,2	6	36,3	66,5
		Ravisteltusti L/S 2		12,6	2 600		<5	5 000	9	7 000	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	0,8	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		12,4	1 000		8	4 800	20	15 000	<0,01	<0,2	2,8	<0,002	<0,01	1,4	<0,1
Massastabiilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-18D	Kokonaispitoisuus	71,2			0,4					<1	2,9	194,2	<0,2	0,5	40,1	29,4
		Ravisteltusti L/S 2		11,9	260		10	300	<2	87	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravisteltusti L/S 10		11,7	130		28	360	<5	350	<0,01	<0,2	0,8	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
	VT-18E	Läpivirtaustesti L/S 2															
		Läpivirtaustesti L/S 10					48	322	5,6	395	0,01	0,01	0,21	<0,002	0,001	0,08	0,10
Massastabiilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-29D	Kokonaispitoisuus	85,8			0,6					<1	7,9	170,1	<0,2	0,5	40,3	25,9
		Ravisteltusti L/S 2		11,7	210		120	310	<5	<20	<0,01	<0,2	0,3	<0,002	<0,01	<0,1	0,4
		Ravisteltusti L/S 10		11,6	110		210	350	<5	220	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	0,2	0,8
	VT-29E	Läpivirtaustesti L/S 2															
		Läpivirtaustesti L/S 10					273	308	6,8	203	<0,01	0,01	0,68	<0,002	<0,001	0,21	1,09

Materiaali	Näyte- tunnus	Parametri	Kuiva- aine- pitoisuus %	pH	Sähkö- johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka	Kupari (Cu) mg/kg ka	
Tuore lentotuikka	LT8	Yksikkö		-									3000		15	400	400	
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus											50					
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus						500	800	10	1 000	0,06	0,5	20	0,01	0,04	0,5	2,0
		Vna 403/2009 Päälystetty rakenne liukoisuus						500	2 400	50	10 000	0,18	1,5	60	0,01	0,04	3,0	6,0
		Kokonaispitoisuus		99,2			0,4					3	29,9	482,0	0,3	9,6	70,8	116,6
		Ravistelutesti L/S 2			12,8	3 300		<5	5 200	<5	9 100	<0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	4,1	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10			12,6	1 200		19	5 300	16	17 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	5,3	<0,1
		Kokonaispitoisuus		71,8			<0,1					<1	5	186,8	<0,2	0,6	41	31,7
		Ravistelutesti L/S 2			11,8	250		9	390	<5	79	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10			11,7	120		24	410	<5	450	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
Tuore lentotuikka	VT-20E	Läpivirtaustesti L/S 2																
		Läpivirtaustesti L/S 10					40,3	384	2,6	326	<0,01	0,01	0,32	<0,002	<0,001	0,17	0,08	
		Kokonaispitoisuus		94,3			0,6					<1	11,6	391,1	0,6	2,6	47,5	83,1
		Ravistelutesti L/S 2			12,3	1 800		<5	1 300	<5	4 500	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	0,9	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10			12,6	950		17	1 500	<5	2 800	<0,01	<0,2	20	<0,002	<0,01	0,6	<0,1
		Kokonaispitoisuus		70,9			0,2					<1	3,3	146,8	<0,2	<0,3	41,2	30,7
		Ravistelutesti L/S 2			11,9	200		9	85	<5	74	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Ravistelutesti L/S 10			11,7	130		16	110	<5	360	<0,01	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1
		Läpivirtaustesti L/S 2																
		Läpivirtaustesti L/S 10						23	236	6	669	<0,01	0,01	0,34	<0,002	<0,001	0,06	0,37
Massastabiilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT9	VT-31B	Kokonaispitoisuus				0,6					<1	9,6	125,7	<0,2	<0,3	42,6	28,5	
		Ravistelutesti L/S 2			12	280		140	<5	<20	<0,01	<0,2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	
		Ravistelutesti L/S 10			11,8	150		240	85	<5	140	<0,01	<0,2	0,3	<0,002	<0,01	0,2	0,9

Materiaali	Näyte- tunnus	Parametri	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleneeni (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
		Yksikkö	300	50		2000	400								
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus													
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus	0,5	0,5	0,4	0,1	4,0	2,0							
		Vna 403/2009 Päällystetty rakenne liukoisuus	1,5	6,0	1,2	0,5	12	3,0							
Tuore lentotuhka	LT1	Kokonaispitoisuus	53	<10	42	<10	510	65	57 000	1 200	9 900	38 000	3 600	7 900	130 000
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	1,2	<0,1	0,07	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	210	310	2 500
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT1	VT-23D	Kokonaispitoisuus	<10	<10	23	<10	88	47	31 000	290	8 800	15 000	640	4 900	17 000
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,5	<0,1	0,04	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	0,3	2,1	130	68	140
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,60	<0,1	0,05	<0,1	1,3	<0,2	<0,2	0,4	18	170	170	620
	VT-23E	Läpivirtaustesti L/S 2													
		Läpivirtaustesti L/S 10	<0,006	0,63	0,03	0,03	<0,15	2,08	<0,20	<0,03	0,16	9,72	184	270	221
Tuore lentotuhka	LT2	Kokonaispitoisuus	106,6	12	59,4	<10	778,2	43,0	28 270	1 710	8 848	23 920	3 757	9 117	89 360
		Ravistelutesti L/S 2	0,4	3,5	<0,1	0,11	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	940	2 300	6 600
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT2	VT-21B	Kokonaispitoisuus	0,7	8,6	<0,1	0,27	0,8	<0,1	<0,2	<0,2	0,24	0,6	1 500	3 800	15 000
		Ravistelutesti L/S 2	20,6	<10	25	<10	148,4	54,6	32140	430	9 242	18 050	949	6 293	20 440
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,9	<0,1	0,9	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	330	220	180	<0,2
		Ravistelutesti L/S 20	<0,1	1,1	<0,1	0,03	<0,1	1,1	<0,2	<0,2	<0,2	12	260	340	800
Tuore lentotuhka	LT3	Kokonaispitoisuus	25,1	10	21,0	<10	82,1	78,1	106 200	959	4 012	29 900	685	1 466	26 650
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	4,7	<0,1	0,83	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	7,8	33	61	64	920
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	5,7	<0,1	2,3	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	13,2	82	69	69	1 300
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT3	VT-22B	Kokonaispitoisuus	7,6	<10	20,7	<10	68,1	52,9	34 130	312	8 480	16 170	407	5 388	11 960
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,7	<0,1	0,09	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	1	46	20	210
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,8	<0,1	0,16	<0,1	1,6	<0,2	<0,2	<0,2	11	64	51	640
Tuore lentotuhka	LT4	Kokonaispitoisuus	19,2	<10	30,7	<10	494,4	56,9	363 380	6 702	13 050	24 130	3 555	21 090	114 000
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	1,5	<0,1	0,21	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	570	7 600	2 200
		Ravistelutesti L/S 10	0,2	2,3	<0,1	0,25	0,3	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	590	7 700	11 000
Massastabilointi, savi, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-19D	Kokonaispitoisuus	7,6	<10	21,5	<10	105,1	54,7	32 050	633	9 629	17 640	740	7 189	19 110
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,3	<0,1	0,02	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	22	300	390	110
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,5	<0,1	0,05	<0,1	0,9	<0,2	<0,2	<0,2	16	130	480	590
		Läpivirtaustesti L/S 2													
	VT-19E	Läpivirtaustesti L/S 10	<0,006	0,52	<0,03	0,05	<0,15	1,27	<0,20	0,22	0,26	12	144	714	43
Massastabilointi, siltti, 20 kg/m3 Plus + 100 kg/m3 LT4	VT-30D	Kokonaispitoisuus	7	<10	14,6	<10	83,8	46,2	29 130	587	8 427	15 810	389	7 150	14 760
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,3	0,1	0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	5,9	17	100	180
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,4	0,1	0,01	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	57	35	180	700
	VT-30E	Läpivirtaustesti L/S 2													
		Läpivirtaustesti L/S 10	<0,006	0,49	0,19	0,02	<0,15	0,31	<0,20	0,03	0,17	28,3	39	272	337

Materiaali	Näyte-tunnus	Parametri	Lyijy (Pb)	Molybdeen (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleneeni (Se)	Sinkki (Zn)	Vanaadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
Tuore lentotuhka	LT5	Kokonaispitoisuus	13,3	<10	59,3	<10	132,3	32,5	39 210	267	7 952	29 110	4 062	2 352	32 790
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	5,3	<0,1	0,08	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1	650	49
Massastabilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT5	VT-24B	Kokonaispitoisuus	<0,1	3,7	<0,1	0,11	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	0,37	15	670	51	2 500
		Ravisteluasti L/S 10	6,5	<10	23	<10	73,1	50,8	27 220	246	8 012	15 480	456	5 232	11 830
Massastabilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 80 kg/m ³ LT5 + 20 kg/m ³ RPT	VT-27B	Kokonaispitoisuus	0,7	<0,1	<0,1	0,06	0,4	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	2,3	99	24	170
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	1,2	<0,1	0,10	<0,1	1,6	<0,2	<0,2	<0,2	18	180	70	630
Tuore lentotuhka	LT6	Kokonaispitoisuus	6,4	<10	22,8	<10	72	52,8	31 360	272	8 836	16 660	858	5 453	16 170
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	0,6	<0,1	0,06	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1	210	45
Massastabilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT6	VT-25D	Kokonaispitoisuus	13,9	11	44,3	<10	106,7	72,6	33 020	304	7 168	25 030	2 621	2 958	28 520
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	4,4	<0,1	0,07	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	400	63
Massastabilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 80 kg/m ³ LT6 + 20 kg/m ³ RPT	VT-25E	Kokonaispitoisuus	5,7	<10	20,4	<10	66	48	27 220	246	8 012	14 370	456	5 332	11 140
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	0,7	<0,1	0,08	<0,1	0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2,1	87	31
Massastabilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 80 kg/m ³ LT6 + 20 kg/m ³ RPT	VT-28D	Kokonaispitoisuus	<0,1	0,8	<0,1	0,1	<0,1	1,6	<0,2	<0,2	<0,2	16	110	71	620
		Ravisteluasti L/S 2	<0,006	0,91	<0,03	0,09	<0,15	2,3	<0,20	<0,03	0,19	11,72	241,787	100	263
Tuore lentotuhka	LT7	Kokonaispitoisuus	5,8	<10	20	<10	65,4	47,9	28 230	245	8 236	14 260	529	5 202	14 290
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	0,6	<0,1	0,02	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	0,8	0,8	220	46
Massastabilointi, savi 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-28E	Kokonaispitoisuus	<0,1	0,7	<0,1	0,06	<0,1	1,4	<0,2	<0,2	<0,2	7,4	250	95	880
		Ravisteluasti L/S 2	0,01	0,59	0,03	0,06	<0,15	2,26	<0,20	0,03	0,16	9,2	250	177	612
Massastabilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-18E	Kokonaispitoisuus	12,5	<10	19,2	<10	1,341	15,3	12 930	8 167	11 820	46 210	6 856	19 270	210 800
		Ravisteluasti L/S 2	<0,1	0,7	<0,1	0,08	0,5	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 000	8 100
Massastabilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-29D	Kokonaispitoisuus	0,2	1,3	<0,1	0,1	1,3	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	0,8	2 300	9 000	17 000
		Ravisteluasti L/S 10	6,8	<10	18,9	<10	169,3	45,6	28 250	765	8 534	17 180	1 018	6 758	26 620
Massastabilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-29E	Kokonaispitoisuus	<0,1	0,3	<0,1	0,02	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	22	300	390	110
		Ravisteluasti L/S 10	<0,1	0,4	<0,1	0,04	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	80	360	690	680
Massastabilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-29F	Kokonaispitoisuus	0,01	0,58	0,03	0,07	0,32	0,25	0,20	<0,03	0,15	85,1	423,4	1 041,4	147,2
		Ravisteluasti L/S 2	6,4	<10	14,2	<10	164,9	45,7	28 380	802	8 782	18 920	772	7 430	22 570
Massastabilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-29G	Kokonaispitoisuus	<0,1	<0,2	0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	11	57	140	390
		Ravisteluasti L/S 10	<0,1	0,3	0,2	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	62	78	200	1 100
Massastabilointi, siltti 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7	VT-29H	Kokonaispitoisuus	<0,006	0,45	0,26	0,01	<0,15	0,05	<0,20	0,03	0,15	59,9	128	343	652
		Ravisteluasti L/S 2	<0,006	0,45	0,26	0,01	<0,15	0,05	<0,20	0,03	0,15	59,9	128	343	652

Materiaali	Näyte- tunnus	Parametri	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seleen (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)	
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
		Yksikkö	300	50		2000	400									
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus	0,5	0,5	0,4	0,1	4,0	2,0								
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus	1,5	6,0	1,2	0,5	12	3,0								
		Vna 403/2009 Päällystetty rakenne liukoisuus														
	LT8	Kokonaispitoisuus	177,9	11	37,1	<10	1986	43,4	23 650	8 198	14 820	38 650	9 452	22 390	200 900	
		Ravistelutesti L/S 2	1,2	3,4	<0,1	0,50	0,9	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2 700	11 000	2 100	
		Ravistelutesti L/S 10	3,0	4,9	<0,1	0,54	3,4	<0,1	<0,2	<0,2	0,7	0,2	2 700	12 000	13 000	
	VT-20D	Kokonaispitoisuus	17,4	<10	20,4	<10	185,6	46,1	27 080	714	8 584	16 040	1 044	6 707	25 490	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,5	<0,1	0,03	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2		6,4	260	350	140	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,8	<0,1	0,07	<0,1	0,3				28	310	620	770	
	VT-20E	Läpivirtaustesti L/S 2														
		Läpivirtaustesti L/S 10	0,01	1,04	<0,03	0,09	<0,15	0,29	<0,20	0,08	<0,15	29,9	355	882	243	
	LT9	Kokonaispitoisuus	23,9	<10	30	<10	454,3	74,4	26 640	2 756	15 970	26 370	5 190	7 649	202 000	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,7	<0,1	0,15	0,2	<0,1	0,3	0,3	0,7	<0,2	1 400	3 900	2 100	
		Ravistelutesti L/S 10	0,2	0,9	<0,1	0,10	0,3	<0,1	<0,2	<0,2	0,73	<0,2	1 500	3 900	9 200	
	VT-26D	Kokonaispitoisuus	6,8	<10	20,4	<10	90,4	49,7	28 450	408	8 845	15 300	654	5 753	24 870	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,2	<0,1	0,03	0,1	<0,1	<0,2	<0,2		12	160	170	180	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,4	<0,1	0,08	<0,1	0,2	<0,2	<0,2		64	200	320	980	
	VT-26E	Läpivirtaustesti L/S 2														
		Läpivirtaustesti L/S 10	<0,006	0,70	0,11	0,09	<0,15	0,19	0,20	0,03	0,18	46,6	216	359	590	
	VT-31B	Kokonaispitoisuus	6,5	<10	14,8	<10	76,2	51,2	29 280	421	9 316	17 560	6 699	<10	21 640	
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2		8,5	6,1	12	530	
		Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,3	0,2	0,02	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2		59	16	25	1 600	

LIITE 8: Kerrostabiointisovellusten kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet (ravistelutestit)

1/8

Näyte-tunnus	Materiaali	Parametri	Kuiva- aine- pitoisuus %	pH	Sähkön- johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseni (As) mg/kg ka	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka
LT1	Tuore LT1	Kokonaispitoisuus	99,5			2,6					14	35	640,0	<0,2	2,4	59
		Ravistelusti L/S 2		12,5	1100		<5	920	<5	2800	<0,01	<0,2	2,8	<0,002	<0,01	0,5
VTL-34A	Kerrostabiointi, murske + 10 % LT1 + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 10		12,6	900		6	1 100	7	13 000	<0,01	<0,2	2,5	<0,002	<0,01	2,0
		Kokonaispitoisuus	95,2			0,3					<10	6	150	<0,2	0,4	13
LT4	Tuore LT4	Ravistelusti L/S 2		12,2	320		5	87	<5	210	<0,01	<0,2	0,2	<0,002	<0,01	<0,1
		Ravistelusti L/S 10		11,9	120		8	130	<5	620	0,03	<0,2	1,2	<0,002	<0,01	0,1
VTL-32A	Kerrostabiointi, murske + 10 % LT4 + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	99,9			1,3					<1	8,5	958,8	<0,2	1,7	41,8
		Ravistelusti L/S 2		12,6	2 300		<5	1 400	7	6 900	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	1,3
LT6	Tuore LT6	Ravistelusti L/S 10		12,4	860		9	1 400	18	12 000	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	1,7
		Kokonaispitoisuus	96,7			0,1					<10	<5	160	<0,2	<0,4	11
VTL-18	Kerrostabiointi, murske 6 % LT6 + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 2		12,5	490		16	52	<5	75	<0,01	<0,2	0,6	<0,002	<0,01	<0,1
		Ravistelusti L/S 10		12,1	140		22	82	<5	230	<0,01	<0,2	3,0	<0,002	<0,01	<0,1
VTL-19A	Kerrostabiointi, murske 10 % LT6 + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	100,0			7,5					<1	45,1	1106,0	0,5	0,7	33,7
		Ravistelusti L/S 2		12,3	520		<5	25	6	1 600	<0,01	<0,2	2,4	<0,002	<0,01	0,4
VTL-21	Kerrostabiointi, murske 6 % LT6 + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 10		12,2	3		13	80	20	2 000	<0,01	<0,2	17	<0,002	<0,01	0,5
		Kokonaispitoisuus	95,7			0,3					<10	<5	94	<0,2	<0,4	<10
VTL-22A	Kerrostabiointi, murske 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 2		12,2	290		12	30	<5	52	<0,01	<0,2	0,9	<0,02	<0,01	<0,1
		Ravistelusti L/S 10		12,0	130		25	44	6	250	<0,01	<0,2	31	<0,002	<0,01	0,6
VTL-22A	Kerrostabiointi, murske 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	95,3			0,5					<10	6	140	<0,2	<0,4	<10
		Ravistelusti L/S 2		12,0	240		12	<10	<5	78	<0,01	<0,2	0,5	<0,02	<0,01	<0,1
VTL-22A	Kerrostabiointi, murske 6 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 10		11,9	110		25	14	5	280	0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	<0,1
		Kokonaispitoisuus	95,9			0,3					<10	<5	85	<0,2	<0,4	<10
VTL-22A	Kerrostabiointi, murske 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 2		12,0	350		8	570	<5	<20	<0,01	<0,2	1,2	<0,02	<0,01	<0,1
		Ravistelusti L/S 10		11,9	150		22	720	19	180	<0,01	<0,2	3,1	<0,002	<0,01	<0,1
VTL-22A	Kerrostabiointi, murske 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	95,3			0,9					<10	<5	91	<0,2	<0,4	<10
		Ravistelusti L/S 2		11,8	330		6	910	6	52	<0,01	<0,2	0,8	<0,02	<0,01	<0,1
VTL-22A	Kerrostabiointi, murske 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Ravistelusti L/S 10		11,8	130		17	1 100	25	390	<0,01	<0,2	31	<0,002	<0,01	0,6
		Kokonaispitoisuus	95,3			0,9					<10	<5	91	<0,2	<0,4	<10

Näytteen- tunnus	Materiaali	Parametri	Kupari (Cu)	Lyjy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Seeleni (Se)	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangaani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)	
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka
LT1	Tuore LT1	Kokonaispitoisuus	230	53	<10	42	<10	510	65	57 000	1 200	9 900	38 000	3 600	7 900	130 000	
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	1,2	<0,1	0,07	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	210	310	2 500
		Ravisteltusti L/S 10	<0,1	<0,1	3,6	<0,1	0,13	0,3	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	1,2	<0,2	640	580	12 000
		Kokonaispitoisuus	37	13	<10	<10	<10	<10	110	24	20 000	470	4 800	10 000	760	4 000	34 000
VTL-34A	Kerrosstabiointi, murske + 10 % LT1 + 3 % Plus	Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	0,01	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	<0,2	17	280	470	82	
		Ravisteltusti L/S 10	<0,1	<0,1	0,70	<0,1	0,02	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	60	360	710	820	
		Kokonaispitoisuus	91,6	19,2	<10	30,7	<10	494,4	56,9	363 380	6 702	13 050	24 130	3 555	21 090	114 000	
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	1,5	<0,1	0,21	0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	570	7 600	2 200
VTL-32A	Kerrosstabiointi, murske + 10 % LT4 + 3 % Plus	Ravisteltusti L/S 10	<0,1	0,2	2,3	<0,1	0,25	0,3	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	590	7 700	11 000	
		Kokonaispitoisuus	17	<10	<10	<10	95	<10	95	22	18 000	840	4 900	8 700	5 300	27 000	
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	12	240	1 100	100
		Ravisteltusti L/S 10	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,03	0,1	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	0,2	42	300	1 400	860
LT6	Tuore LT6	Kokonaispitoisuus	27,7	13,9	11	44,3	<10	106,7	72,6	33 020	304	7 168	25 030	2 621	2 958	28 520	
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	4,4	<0,1	0,07	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	400	63	1 300	
		Ravisteltusti L/S 10	<0,1	<0,1	5,9	<0,1	0,11	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,31	4	440	69	3 600
		Kokonaispitoisuus	<10	<10	<10	<10	<10	<10	44	18	14 000	250	4 200	7 300	550	3 100	17 000
VTL-18	Kerrosstabiointi, murske 6 % LT6 + 3 % Plus	Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	12	230	280	200	
		Ravisteltusti L/S 10	0,5	0,4	2,3	<0,1	0,05	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	60	260	370	1 100	
		Kokonaispitoisuus	12	<10	<10	<10	<10	50	<10	23	17 000	280	4 600	8 900	820	3 600	19 000
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	17	210	220	130
VTL-19A	Kerrosstabiointi, murske 10 % LT6 + 3 % Plus	Ravisteltusti L/S 10	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	<0,01	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	78	250	310	990	
		Kokonaispitoisuus	<10	<10	<10	<10	<10	58	18	15 000	330	4 300	7 600	890	3 600	27 000	
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	5,3	290	290	290
		Ravisteltusti L/S 10	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	40	460	360	1 400	
VTL-22A	Kerrosstabiointi, murske 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	11	<10	<10	<10	<10	50	19	15 000	250	4 700	7 800	1 100	3 500	34 000	
		Ravisteltusti L/S 2	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	8,2	260	260	280	
		Ravisteltusti L/S 10	0,5	<0,1	2,2	<0,1	0,05	<0,1	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	45	590	330	1 300
		Kokonaispitoisuus	0,5	<0,1	<10	<10	0,05	<0,1	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	0,3	45	590	330	1 300

LIITE 9: Pintaliukenemistestien ja ravistelutestien tulokset eri tuhkarakennesovelluksille

1/9

LIUKOISUUSRAJA-ARVOEHDOUKSET PINTALIUKENEMISTESTILLE												
Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden arvioinnin raja-arvot) mg/m ² / 64 d												
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) mg/m ² / 64 d												
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoitiin) mg/m ² / 64 d												
SOVELLUS / SEOSSUITEET												
Testi	Koekpl-koodi	Yksikkö	DOC	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti	Sb	As	Ba	Hg	Cd	Cr
Massiivihukan tiivistyksen vaikutus												
LT3	VTL-1A	Kokonaispitoisuus					1,0	86,4	389,7	0,9	2,7	64,4
	VTL-1A	Ravistelutesti L/S 10	10	98	<5	2500	0,08	4,4	0,6	<0,002	<0,01	<0,1
LT2	VTL-5A	Kokonaispitoisuus					70	22,1	229,9	0,6	6,5	138,2
	VTL-5A	Ravistelutesti L/S 10	12	10 000	<5	1300	0,16	<0,2	4,3	<0,002	<0,01	2,4
	VTL-5B	Pintaliukenemistesti	246	173 340	60	25 553	5,8	0,21	72	0,1	0,05	71
		kum. 64 vrk										
LT8	VTL-5B	Mekanismitulokinta	<	E	<	D	?	<	?	<	<	D
	VTL-24A	Kokonaispitoisuus					<10	21	190	<0,2	6,9	45
	VTL-24A	Ravistelutesti L/S 10	10	3 400	7	810	<0,01	<0,2	1,3	<0,002	<0,01	5,3
	VTL-24B	Pintaliukenemistesti	171	24 749	72	5 938	23	0,2	132	0,1	0,06	16
		kum. 64 vrk										
	VTL-24B	Mekanismitulokinta	<	E	<	E	?	<	D	<	<	?
Massiivihukan aktiivointi												
LT3 + 3 % Plus	VTL-3A	Kokonaispitoisuus					<1	68	310	0,3	2,2	51
	VTL-3A	Ravistelutesti L/S 10	18	77	<5	300	0,01	0,3	0,2	<0,002	<0,01	0,3
	VTL-3B	Pintaliukenemistesti	262	1 330	59	2 347	19	6,3	8,8	0,1	0,05	3,7
		kum. 64 vrk										
LT2+3 % Plus	VTL-3B	Mekanismitulokinta	?	E	<	D E	D	?	?	<	<	E
	VTL-7A	Kokonaispitoisuus					62	21	167	0,9	5,7	120
	VTL-7A	Ravistelutesti L/S 10	7	9 600	<5	950	0,16	<0,2	5	<0,002	<0,01	0,9
	VTL-7B	Pintaliukenemistesti	185	176 813	60	9 199	8,2	0,2	107	0,1	0,05	19
		kum. 64 vrk										
	VTL-7B	Mekanismitulokinta	<	E	<	?	L	<	E	<	<	D
LT4+ 3 % Plus	VTL-26	Kokonaispitoisuus					<10	7	690	<0,2	1,4	33
	VTL-26	Ravistelutesti L/S 10	22	970	<5	3 500	0,01	<0,2	0,7	<0,002	<0,01	0,3
LT7+ 3 % Plus	VTL-27	Kokonaispitoisuus					<10	<5	220	<0,2	4,6	25
	VTL-27	Ravistelutesti L/S 10	16	2 100	<5	1 200	<0,01	<0,2	2,3	<0,002	<0,01	1,6
LT8 + 3 % Plus	VTL-28	Kokonaispitoisuus					<10	23	230	<0,2	6,6	38
	VTL-28	Ravistelutesti L/S 10	20	3 100	5	650	<0,01	<0,2	15	<0,002	<0,01	4,0
LT5 + 3 % Plus	VTL-29	Kokonaispitoisuus					<10	41	1 100	<0,2	0,6	32
	VTL-29	Ravistelutesti L/S 10	14	29	<5	330	0,02	<0,2	8,3	<0,002	<0,01	1,3
LT1+ 3 % Plus	VTL-30	Kokonaispitoisuus					13	29	580	<0,2	2,0	44
	VTL-30	Ravistelutesti L/S 10	7	940	<5	2 000	0,09	<0,2	0,9	<0,002	<0,01	0,7
LT9 + 3 % Plus	VTL-31	Kokonaispitoisuus					<10	9	380	<0,2	2,2	33
	VTL-31	Ravistelutesti L/S 10	9	540	<5	23	<0,01	<0,2	120	<0,002	<0,01	0,1

LUUKOISUUSRAJA-ARVOEHDOUKSET PINTALUUKENEMISTESTILLE

Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristörisikolaisuuden arvioinnin raja-arvo **mg/m² / 64 d** 250 210 70 270 14 330 700
 VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) **mg/m²/64 d** 51 120 14 50 1,4 200 230
 VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajollain kosteisiin sijoi) **mg/m²/64 d** 170 400 48 170 4,8 670 760

SOVELLUS / SEOSSUITEET	Koekpl- koodi	Testi	Yksikkö	Cu	Pb	Mo	Ni	Se	Zn	V	Fe	Mn	Mg
Massiivihukan tiivistyksen vaikutus	LT3	Kokonaispitoisuus	mg/kg	57	37,5	14	27,8	<10	108,3	93,4	98890	1121	4504
	VTL-1A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	6,4	<0,1	0,84	<0,1	0,4	<0,2	<0,2	21,3
	VTL-5A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	470,4	193,4	18	86	<10	1124	62,5	36970	2194	11430
	VTL-5A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	3,1	<0,1	0,04	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	1,5
	VTL-5B	Pintaluukemistesti	mg/m²/64 d	0,5	0,3	36	0,5	0,8	2,7	3,6	7,99	1,60	43
	VTL-5B	Mekanismitulokinta	-	<	<	E	<	<	<	D	<	<	P
	VTL-24A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	89	99	<10	28	<10	1.300	30	17.000	7.700	10.000
	VTL-24A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	0,3	7,4	<0,1	0,56	0,7	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2
	VTL-24B	Pintaluukemistesti	mg/m²/64 d	0,6	0,3	23	0,6	1,1	11	0,9	8,57	1,71	8,57
	VTL-24B	Mekanismitulokinta	-	<	<	?	<	?	?	?	<	<	<
Massiivihukan aktiivointi	LT3 + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	48	30	10	23	<10	84	77	72.265	872	4.063
	VTL-3A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	4,6	<0,1	0,23	<0,1	1,7	<0,2	<0,2	0,9
	VTL-3B	Pintaluukemistesti	mg/m²/64 d	0,5	0,3	64	0,5	1,6	2,6	30	7,87	1,57	64
	VTL-3B	Mekanismitulokinta	-	<	<	E	<	?	<	D	<	<	D
	LT2+3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	410	168	17	79	<10	965	57	32.940	2.009	10.450
	VTL-7A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	2,6	<0,1	0,02	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	0,7
	VTL-7B	Pintaluukemistesti	mg/m²/64 d	0,5	0,3	26	0,5	0,5	2,6	5,8	7,9	1,6	40
	VTL-7B	Mekanismitulokinta	-	<	<	D,E	<	<	<	D	<	<	P
	LT4+ 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	81	17	<10	29	<10	400	52	32.000	4.700	10.000
	VTL-26	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	2,8	<0,1	0,22	<0,1	1,2	<0,2	<0,2	<0,2
LT7+ 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	55	11	<10	16	<10	940	15	9.600	7.100	8.800	
VTL-27	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	2,4	<0,1	0,05	0,3	0,2	0,8	<0,2	<0,2	
LT8 + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	89	98	<10	24	<10	1.100	30	15.000	7.400	9.800	
VTL-28	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	0,2	5,7	<0,1	0,23	0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
LT5 + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	47	13	11	77	<10	150	70	32.000	300	8.300	
VTL-29	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	7,4	<0,1	0,08	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	0,3	
LT1+ 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	200	43	<10	35	<10	360	56	46.000	1.000	8.100	
VTL-30	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	3,3	<0,1	0,06	<0,1	1,3	<0,2	<0,2	0,4	
LT9 + 3 % Plus	Kokonaispitoisuus	mg/kg	66	12	<10	22	<10	270	50	18.000	1.900	11.000	
VTL-31	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	<0,1	0,1	0,5	<0,1	0,02	0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	

LIUKOISUUSRAJA-ARVOEHDOITUKSET PINTALIUKENEMISTESTILLE

Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristökestoisuuden arvioinnin raja-arvo mg/m²/64 d
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) mg/m²/64 d
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä aljollain kosteisiin sijoit. mg/m²/64 d

SOVELLUS / SEOSSUITEET		Koekpi- koodi	Testi	Yksikkö	Al	Na	K	Ca	Kuiva- tiheys t/m ³	Märkä- tiheys t/m ³	k-arvo m/s	Huokoisuus %	
Massiivihukan tiivistyksen vaikutus													
LT3		VTL-1A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	31630	821	1746	27230	1,18		1,0E-06	52,5	
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	15	75	73	1100					
LT2		VTL-1A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	32390	5304	11810	83850	1,20		2,3E-08	54,4	
		VTL-5A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	42	2100	4600	2500					
		VTL-5B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	442	35 228	72 915	38 143					
		kum. 64 vrk	Mekanismitulokinta		D	?	?	E					
LT8		VTL-24A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	29 000	6 900	17 000	180 000	1,35		4,4E-09	48,5	
		VTL-24A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	30	3 900	13 000	1 000					
		VTL-24B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	569	32 103	121 285	15 785					
		kum. 64 vrk	Mekanismitulokinta		L	?	L	D					
Massiivihukan aktiivointi													
LT3 + 3 % Plus		VTL-3A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	25 430	932	1 500	31 315	1,19		3,4E-07	48,20	
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	29	190	230	360					
LT2+3 % Plus		VTL-3B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	386	3 297	4 637	6 830					
		kum. 64 vrk	Mekanismitulokinta		D	E	?	D,E					
		VTL-7A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	28 840	4 688	10 510	81 520	1,22		1,5E-08	55,10	
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	29	2 200	5 000	2 200					
LT4+ 3 % Plus		VTL-7B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	276	37 269	90 678	27 850					
		kum. 64 vrk	Mekanismitulokinta		P,E	E	E	E					
		VTL-26	Kokonaispitoisuus	mg/kg	22 000	3 300	18 000	110 000	1,36				
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	76	990	8 400	210					
LT7+ 3 % Plus		VTL-27	Kokonaispitoisuus	mg/kg	36 000	5 800	15 000	160 000	1,19				
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	190	3 600	12 000	360					
LT8 + 3 % Plus		VTL-28	Kokonaispitoisuus	mg/kg	28 000	6 700	17 000	260 000	1,35				
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	22	4 000	13 000	1 200					
LT5 + 3 % Plus		VTL-29	Kokonaispitoisuus	mg/kg	34 000	5 100	3 200	45 000	1,35				
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	120	780	250	870					
LT1+ 3 % Plus		VTL-30	Kokonaispitoisuus	mg/kg	32 000	3 300	6 900	110 000	1,09				
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	70	1 200	1 900	440					
LT9 + 3 % Plus		VTL-31	Kokonaispitoisuus	mg/kg	21 000	4 200	6 800	220 000	1,21				
		Ravistelutesti L/S 10		mg/kg	2,9	2 100	4 700	5 800					

Suomen ympäristö 421 (Sivututteden ympäristökelepoisuuden arvioinnin raja-arvot mg/m ² /64 d VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) mg/m ² /64 d VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoit mg/m ² /64 d)												
SOVELLUS / SEOSSUITEET		Testi	DOC	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti	Sb	As	Ba	Hg	Cd	Cr
		Koekpi- koodi	Yksikkö									
Tuhkaseosmateriaalit (LT5:RPT = 70:30) + 3 % Plus		VTL-12A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-12A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-12B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	328	47 684	9,7	1,1	75	0,1	0,06	2,4
			kum. 64 vrk									
(LT5:RPT = 90:10) + 3 % Plus		VTL-12B	Mekanismitulkin	-	D	D	P	?	?	<	<	E
		VTL-14	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-14	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-15A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-15A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-15B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	72	652	5,0	0,2	435	0,1	0,06	1,5
			kum. 64 vrk									
(LT7:KS=80:20)		VTL-15B	Mekanismitulkin	-	<	?	?	<	D	<	<	L
		VTL-17	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-17	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
(LT8:KS=60:40)		VTL-9A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-9A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-9B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	92	2 311	0,8	0,2	620	0,1	0,05	6,8
			kum. 64 vrk									
(LT8:KS=80:20)		VTL-9B	Mekanismitulkin	-	?	L	<	<	D	<	<	E
		VTL-11	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-11	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
Kerrosstabilointi												
Murske + 6 % LT6 + 3 % Plus		VTL-18	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-18	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-19A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-19A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-19B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	59	756	7,7	0,6	13	0,1	0,06	0,6
			kum. 64 vrk									
(LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus		VTL-19B	Mekanismitulkin	-	<	D	D	D	?	<	<	D,E
		VTL-21	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-21	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-22A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-22A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-22B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	224	9 990	5,7	0,3	37	0,1	0,06	0,3
			kum. 64 vrk									
(LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus		VTL-22B	Mekanismitulkin	-	D	D	D	D	D,E	<	<	?
		VTL-32A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-32A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-32B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	72	2 675	7,4	0,2	30	0,1	0,06	0,5
			kum. 64 vrk									
(LT4 + 3 % Plus)		VTL-32B	Mekanismitulkin	-	<	P	D	<	?	<	<	P
		VTL-34A	Kokonaispitoisuus	mg/kg								
		VTL-34A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg								
		VTL-34B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	73	4 813	5,8	0,4	15	0,1	0,06	1,5
			kum. 64 vrk									
(10 % LT1 + 3 % Plus)		VTL-34B	Mekanismitulkin	-	<	D	D	D,E	?	<	<	D,E

Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristökestoisuuden arvioinnin raja-arvot)												
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi koostaan sijoituskohteeseen)												
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kohteisiin sijoit)												
SOVELLUS / SEOSSUITEET												
Koekpl- koodi	Testi	Yksikkö	Cu	Pb	Mo	Ni	Se	Zn	V	Fe	Mn	Mg
Tuikkaseosmateriaalit												
(LT5:RPT = 70:30) + 3 % Plus												
VTL-12A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	34	10	<10	43	<10	110	53	20 000	230	7 500
VTL-12A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	0,1	<0,1	4,1	<0,1	0,02	<0,1	0,7	<0,2	<0,2	2,9
VTL-12B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	0,7	0,3	40	0,6	0,6	2,8	15	8,53	1,91	98
kum. 64 vrk												
VTL-12B	Mekanismitulkinna	-	<	<	D E	<	<	<	D	<	<	P
VTL-14	Kokonaispitoisuus	mg/kg	33	10	<10	43	<10	120	50	19 000	230	6 500
VTL-14	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	4,1	<0,1	0,02	<0,1	1,0	<0,2	<0,2	4,2
VTL-15A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	76	11	<10	15	<10	960	13	10 000	5 900	10 000
VTL-15A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	2,2	<0,1	1,0	0,2	0,01	0,4	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2
VTL-15B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	10,1	0,3	6,9	1,1	0,6	1,2	0,6	8,62	1,72	8,69
kum. 64 vrk												
VTL-15B	Mekanismitulkinna	-	D	<	L	D	<	E	<	<	<	<
VTL-17	Kokonaispitoisuus	mg/kg	65	12	<10	15	<10	1 000	13	10 000	6 200	10 000
VTL-17	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	1,0	<0,1	1,2	<0,1	0,01	0,3	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2
VTL-9A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	76	120	<10	22	<10	1 186	28	11 640	4 859	8 760
VTL-9A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	2,9	0,3	3,6	0,5	0,18	0,8	<0,1	<0,2	0,6	0,2
VTL-9B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	19	2,2	28	3,4	1,3	4,4	0,5	7,77	1,55	10
kum. 64 vrk												
VTL-9B	Mekanismitulkinna	-	D	D E	L	D	L	D E	<	<	<	<
VTL-11	Kokonaispitoisuus	mg/kg	97	120	<10	25	<10	1 300	30	17 000	6 700	12 000
VTL-11	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	0,9	0,5	3,2	<0,1	0,10	0,8	<0,1	<0,2	<0,2	0,3
Kerrosstabilointi												
Murske												
+ 6 % LT6 + 3 % Plus												
VTL-18	Kokonaispitoisuus	mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	44	18,0	14 000	250	4 200
VTL-18	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	0,5	0,4	2,3	<0,1	0,05	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2
VTL-19A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	12	<10	<10	<10	<10	50	23,0	17 000	280	4 600
VTL-19A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	0,02	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	<0,2
VTL-19B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	0,6	0,3	5,5	0,6	0,6	6,4	4,9	8,80	1,76	30
kum. 64 vrk												
VTL-19B	Mekanismitulkinna	-	<	<	P	<	<	?	D	<	<	?
VTL-21	Kokonaispitoisuus	mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	58	18,0	15 000	330	4 300
VTL-21	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,01	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	0,2
VTL-22A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	11	<10	<10	<10	<10	50	19,0	15 000	250	4 700
VTL-22A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	0,5	<0,1	2,2	<0,1	0,05	0,6	<0,1	<0,2	<0,2	0,3
VTL-22B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	0,6	0,3	4,7	0,6	0,6	6,7	5,1	10	1,73	48
kum. 64 vrk												
VTL-22B	Mekanismitulkinna	-	<	<	D	<	<	?	D	<	<	D
VTL-32A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	17	<10	<10	<10	<10	95	22,0	18 000	840	4 900
VTL-32A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,03	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	0,2
VTL-32B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	0,6	0,3	4,4	0,6	0,6	5,4	3,5	8,60	1,72	13
kum. 64 vrk												
VTL-32B	Mekanismitulkinna	-	<	<	D P	<	<	?	D P	<	<	E
VTL-34A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	37	13	<10	<10	<10	110	24,0	20 000	470	4 800
VTL-34A	Ravistelusti L/S 10	mg/kg	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,02	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	<0,2
VTL-34B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	0,6	0,3	8,3	0,6	0,6	6,8	5,0	8,71	1,74	20
kum. 64 vrk												
VTL-34B	Mekanismitulkinna	-	<	<	D	<	<	?	D	<	<	?

Suomen ympäristö 421. (Sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden arvioinnin raja-arv. mg/m² / 64 d
 VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijotus pysyvästi kostean sijoituskohteeseen) mg/m²/64 d
 VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijotus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoil. ma/m²/64 d

SOVELLUS / SEOSSUITEET	Koekpl-koodi	Testi	Yksikkö	Al	Na	K	Ca	Kuiva- tiheys t/m ³	Märkä- tiheys t/m ³	k-arvo m/s	Huokoisuus %	
Tuikkaosmateriaalit (LT5:RPT= 70:30) + 3 % Plus	VTL-12A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	23 000	5 900	2 400	110 000	1,41		2,5E-09	36,50	
	VTL-12A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	13	3 100	590	2 600					
	+ 6 % LT6 + 3 % Plus	VTL-12B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	488	53 578	9 712	39 761	1,09		2,9E-07	58,40
			kum. 64 vrk									
	+ 10 % LT6 + 3 % Plus	VTL-12B	Mekanismituikinta	-	D	E	E	D	1,01		1,9E-07	57,70
		VTL-14	Kokonaispitoisuus	mg/kg	22 000	4 200	2 000	60 000				
		VTL-14	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	9,3	1 800	430	2 600				
		VTL-15A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	38 000	6 700	19 000	180 000				
		VTL-15A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	46	2 700	8 700	2 300				
	Kerrosstabilointi Murske + 6 % LT6 + 3 % Plus + 10 % LT6 + 3 % Plus	VTL-15B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	618	34 224	111 352	45 951	1,11		2,5E-09	36,50
			kum. 64 vrk									
+ 6 % LT6 + 3 % Plus		VTL-15B	Mekanismituikinta	-	?	?	E	D	1,23		1,2E-10	15,90
		VTL-17	Kokonaispitoisuus	mg/kg	39 000	6 600	18 000	180 000				
+ 10 % LT4 + 3 % Plus		VTL-17	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	140	3 500	1 100	1 300	2,10		5,5E-08	19,10
		VTL-9A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	23 710	5 779	13 700	126 300				
		VTL-9A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	2,7	2 400	9 200	3 800				
		VTL-9B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	148	29 102	121 824	79 843				
			kum. 64 vrk									
Kerrosstabilointi Murske + 6 % LT6 + 3 % Plus + 10 % LT6 + 3 % Plus		VTL-9B	Mekanismituikinta	-	L	E	E	?	1,23		1,2E-10	15,90
		VTL-11	Kokonaispitoisuus	mg/kg	31 000	7 400	20 000	200 000				
	+ 6 % LT6 + 3 % Plus	VTL-11	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	8,5	3 300	12 000	2 700	2,20		3,3E-10	13,70
		VTL-18	Kokonaispitoisuus	mg/kg	7 300	550	3 100	17 000				
	+ 10 % LT6 + 3 % Plus	VTL-18	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	60	260	370	1 100	2,15		1,6E-10	14,70
		VTL-19A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	8 900	820	3 600	19 000				
		VTL-19A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	78	250	310	990				
		VTL-19B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	391	7 376	6 740	5 238				
			kum. 64 vrk									
	Kerrosstabilointi Murske + 6 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus + 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus	VTL-19B	Mekanismituikinta	-	?	D	D E	D E	2,20		1,6E-10	14,70
		VTL-21	Kokonaispitoisuus	mg/kg	7 600	890	3 600	27 000				
+ 6 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus		VTL-21	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	40	460	360	1 400	2,15		1,6E-10	14,70
		VTL-22A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	7 800	1 100	3 500	34 000				
+ 10 % (LT6:RPT = 1:1) + 3 % Plus		VTL-22A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	45	590	330	1 300	2,15		1,6E-10	14,70
		VTL-22B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	423	14 678	7 583	20 077				
			kum. 64 vrk									
		VTL-22B	Mekanismituikinta	-	E	D P E	D P E	D E				
		VTL-32A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	8 700	680	5 300	27 000				
Kerrosstabilointi Murske + 10 % LT4 + 3 % Plus		VTL-32A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	42	300	1 400	860	2,15		1,2E-10	15,90
		VTL-32B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	347	6 821	27 551	6 864				
		kum. 64 vrk										
	VTL-32B	Mekanismituikinta	-	E	D P	L	D E	2,10		5,5E-08	19,10	
	VTL-34A	Kokonaispitoisuus	mg/kg	10 000	760	4 000	34 000					
	+ 10 % LT1 + 3 % Plus	VTL-34A	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	60	360	710	820	2,10		5,5E-08	19,10
		VTL-34B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	722	8 153	12 092	8 043				
			kum. 64 vrk									
		VTL-34B	Mekanismituikinta	-	?	D	D	?				

Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden arvioinnin raja-arv. mg/m ³ /64 d		2800	36	58	2800	1,6	2,1	550				
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kostean sijoituskohteeseen)		18 000	37	41	600	0,4	1,1	140				
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoi)		54 000	12	140	2000	1,4	3,8	480				
SOVELLUS / SEOSSURTEET		Yksikkö	DOC	Kloridi	Fluoridi	Sulfaatti	Sb	As	Ba	Hg	Cd	Cr
Koekplii-koodi	Testi											
Massastabilointi												
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<10	5	140	<0,2	<0,4	
+ 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT1	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	31	97	<5	920	0,03	<0,2	0,4	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	27	86	3,4	719	0,01	0,04	0,22	<0,002	0,001	0,03
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	322	1 332	73	12 132	53	1,2	6,1	0,1	0,06	0,6
	Mekanismitulkinta		D	?	<	?	D	D	?	<	<	D
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					6	4,4	182,4	<0,2	0,5	50,9
+ 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT2	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	22	910	<5	850	0,11	<0,2	0,5	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	24	15	5	870	<1	8,8	126,5	<0,2	<0,3	44
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	24	15	5	870	0,01	0,2	0,10	<0,002	<0,01	<0,1
	Mekanismitulkinta		24	15	5	870	<1	3,5	198,6	<0,2	<0,3	44,8
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<1	3,5	198,6	<0,2	<0,3	44,8
+ 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT4	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	25	110	<5	760	<0,01	<0,2	0,40	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	25,2	89	2,6	565	<0,01	0,01	0,16	0,00	<0,001	0,07
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	251	1 122	59	7 301	46	0,5	9,4	0,1	0,06	0,3
	Mekanismitulkinta		<	?	<	D	D	D	D	<	<	E
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<1	6,5	194,4	<0,2	<0,3	41,1
+ 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT5	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	24	10	<5	910	0,01	<0,2	0,40	<0,02	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	26	<10	<5	810	0,01	<0,2	0,30	<0,002	<0,01	0,1
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	17	207	82	6 996	38	0,12	0,17	0,1	<0,001	0,09
	Mekanismitulkinta		D	<	<	D	D	D	D	<	<	E
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<1	2,9	194,2	<0,2	0,5	40,1
+ 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT7	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	28	360	<5	350	<0,01	<0,2	0,80	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	48	322	5,6	395	0,01	0,01	0,21	<0,002	0,001	0,08
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	283	4 891	60	4 045	25	0,2	13	0,1	0,06	0,4
	Mekanismitulkinta		L	E	<	D	D	<	?	<	<	D
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<1	5	186,8	<0,2	0,6	41
+ 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT8	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	24	410	<5	450	<0,01	<0,2	0,60	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	40,3	384	2,6	326	<0,01	0,01	0,32	<0,002	<0,001	0,17
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	297	5 797	59	4 762	31	0,2	17	0,1	0,06	0,8
	Mekanismitulkinta		L	E	<	D	D	<	D	<	<	D
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<1	3,3	146,8	<0,2	<0,3	41,2
+ 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT9	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	16	110	<5	360	<0,01	<0,2	0,50	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	23	236	6	669	<0,01	0,01	0,34	<0,002	<0,001	0,06
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	512	1 520	80	4 500	30	0,3	10	0,1	0,06	0,3
	Mekanismitulkinta		L	E	<	D	D	<	D	<	<	D
Savi	Kokonaispitoisuus	mg/kg					<1	5,6	180,2	<0,2	<0,3	42,2
+ 20 kg/m ³ Plus+ 80 kg/m ³ LT5+ 20	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	12	370	<5	1 200	<0,01	<0,2	0,50	<0,002	<0,01	<0,1
	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	12	400	7	1 200	<0,01	<0,2	0,40	<0,002	<0,01	<0,1
	Pintailukemistesti kum. 64 vrk	mg/m²/64 d	505	5 109	266	27 296	28	2,8	8,1	0,1	0,06	0,2
	Mekanismitulkinta		P	?	D	D	D	D	D	<	<	<

Suomen ympäristö 421 (Sivututettujen ympäristökelpoisuuden arvioinnin raja-arvot)		250	210	70	270	14	330	700				
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi koostaan sijoituskohteeseen)		51	120	14	50	1,4	200	230				
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain koostein sijoit)		170	400	48	170	4,8	670	760				
SOVELLUS / SEOSSUITEET		Cu	Pb	Mo	Ni	Se	Zn	V				
Koekpl-koodi	Testi	Yksikkö							Mg			
Massastabilointi												
Savi + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT1	VT-23D	Kokonaispitoisuus	39	<10	<10	23	<10	47	31 000	290	8 800	
	VT-23D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,60	<0,1	0,05	1,3	<0,2	<0,2	0,4	
	VT-23E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,06	<0,006	0,63	0,03	0,03	2,08	<0,20	<0,03	0,16	
	VT-23B	Pintaliukenemistesti								1,7		
		kum. 64 vrk	0,6	0,3	8,3	0,6	0,7	5,7	21,3	8,7	44	
		Mekanismitulokinta	<	<	E	<	<	?	D	<	P	
		Kokonaispitoisuus	62,5	20,6	<10	25	<10	148,4	54,6	32140	430	9 242
	VT-21B	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	1,1	<0,1	0,03	<0,1	1,1	<0,2	<0,2	
	VT-22B	Kokonaispitoisuus	28,8	7,6	<10	20,7	<10	68,1	52,9	34 130	312	8 480
	VT-22B	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	0,16	<0,1	1,6	<0,2	<0,2	
Savi + 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT3	VT-19D	Kokonaispitoisuus	32	7,6	<10	21,5	<10	105,1	54,7	32 050	633	9 629
	VT-19D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	0,05	0,9	<0,2	<0,2		
	VT-19E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,02	<0,006	0,52	<0,03	0,05	<0,15	1,27	<0,20	0,26	
	VT-19B	Pintaliukenemistesti	0,6	0,3	7,1	0,6	0,6	3,1	14,9	8,9	27	
		kum. 64 vrk			E	<	<	<	D	<	P	
		Mekanismitulokinta	<	<	E	<	<	<	D	<	P	
	VT-24B	Kokonaispitoisuus	28,3	6,5	<10	23	<10	73,1	50,8	27 220	246	8 012
	VT-24B	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	1,2	<0,1	0,10	<0,1	1,6	<0,2	<0,2	
	VT-25D	Kokonaispitoisuus	26,8	5,7	<10	20,4	<10	66	48	27 220	246	8 012
	VT-25D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	0,10	<0,1	1,6	<0,2	<0,2	
Savi + 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT6	VT-25E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,02	<0,006	0,91	<0,03	0,09	<0,15	2,3	<0,20	0,19	
	VT-25B	Pintaliukenemistesti	0,6	0,3	11,0	0,6	0,6	3,4	27,3	8,9	64	
		kum. 64 vrk			E	<	<	<	D	<	?	
		Mekanismitulokinta	<	<	E	<	<	<	D	<	?	
	VT-18D	Kokonaispitoisuus	29,4	6,8	<10	18,9	<10	169,3	45,6	28 250	765	8 534
	VT-18D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,04	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	
	VT-18E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,10	0,01	0,58	0,03	0,07	0,32	0,20	<0,03	0,15	
	VT-18B	Pintaliukenemistesti	0,6	0,3	5,5	0,6	0,6	3,5	5,1	9,1	1,8	15
		kum. 64 vrk			D	<	<	<	D	<	<	
		Mekanismitulokinta	<	<	D	<	<	<	D	<	<	
Savi + 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT8	VT-20D	Kokonaispitoisuus	31,7	17,4	<10	20,4	<10	185,6	46,1	27 080	714	8 584
	VT-20D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	0,07	<0,1	0,3	<0,2	<0,2	
	VT-20E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,08	0,01	1,04	<0,03	0,09	<0,15	0,29	<0,20	0,08	
	VT-20B	Pintaliukenemistesti	0,6	0,3	11,4	0,6	0,8	3,6	5,7	8,9	1,8	19
		kum. 64 vrk			D	<	<	<	D	<	?	
		Mekanismitulokinta	<	<	D	<	<	<	D	<	?	
	VT-26D	Kokonaispitoisuus	30,7	6,8	<10	20,4	<10	90,4	49,7	28 450	408	8 845
	VT-26D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,08	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	
	VT-26E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,37	<0,006	0,70	0,11	0,09	<0,15	0,19	0,20	0,03	
	VT-26B	Pintaliukenemistesti	0,7	0,3	5,6	0,6	0,7	4,3	4,1	8,8	1,8	17
	kum. 64 vrk			D	<	<	<	D	<	?		
	Mekanismitulokinta	<	<	D	<	<	<	D	<	?		
Savi + 20 kg/m ³ Plus+ 100 kg/m ³ LT9	VT-27B	Kokonaispitoisuus	27,9	6,4	<10	22,8	<10	72	52,8	31 360	272	8 836
	VT-27B	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	0,06	<0,1	1,5	<0,2	<0,2	
	VT-28D	Kokonaispitoisuus	25,9	5,8	<10	20	<10	65,4	47,9	28 230	245	8 236
	VT-28D	Ravistelutesti L/S 10	<0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,06	<0,1	1,4	<0,2	<0,2	
	VT-28E	Läpivirtaustesti L/S 10	0,07	0,01	0,59	0,03	0,06	<0,15	2,26	<0,20	0,16	
	VT-28B	Pintaliukenemistesti	0,6	0,3	9,4	0,6	0,8	3,7	24,1	8,8	1,8	194
		kum. 64 vrk			E	<	<	<	D	<	P	
		Mekanismitulokinta	<	<	E	<	<	<	D	<	P	

Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristökeuhkokoostumuksen arvioinnin raja-arv. $\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$
 VT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kostean sijoituskohteeseen) $\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$
 VT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoit $\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$

SOVELLUS / SEOSSUITEET		Koekpl- koodi	Testi	Yksikkö	Al	Na	K	Ca	Kuiva- tiheys t/m^3	Märkä- tiheys t/m^3	k-arvo m/s	Huokoisuus %
Massastabilointi												
Savi + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT1	VT-23D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	15 000	640	4 900	17 000			1,75	2,1E-09	53,4
	VT-23D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	18	170	170	620					
	VT-23E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	9,72	184	270	221					
	VT-23B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	304	3 505	3 497	10 127					
		kum. 64 vrk		?	L	?	?					
		Mekanismitulkinta										
	VT-21B	Kokonaispitoisuus	mg/kg	18 050	949	6 293	20 440					
	VT-21B	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	12	260	340	800					
	VT-22B	Kokonaispitoisuus	mg/kg	16 170	407	5 388	11 960					
	VT-22B	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	11	64	51	640					
Savi + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT3	VT-19D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	17 640	740	7 189	19 110			1,76	2,1E-09	53,6
	VT-19D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	16	130	480	590					
	VT-19E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	12	144	714	43					
	VT-19B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	181	3 194	9 580	7 663					
		kum. 64 vrk		?	D	L	?					
		Mekanismitulkinta										
	VT-24B	Kokonaispitoisuus	mg/kg	15 480	456	5 232	11 830					
	VT-24B	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	18	180	70	630					
	VT-25D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	14 370	456	5 332	11 140			1,74	3,0E-09	52,1
	VT-25D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	16	110	71	620					
Savi + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT6	VT-25E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	11,72	241 787	100	263					
	VT-25B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	132	2 515	1 514	7 799					
		kum. 64 vrk		?	D	D	?					
		Mekanismitulkinta										
	VT-18D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	17 180	1 018	6 758	26 620			1,77	1,1E-09	53,3
	VT-18D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	80	360	690	680					
	VT-18E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	85,1	423,4	1 041,4	147,2					
	VT-18B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	839	6 472	13 777	11 064					
		kum. 64 vrk		D	L	L	?					
		Mekanismitulkinta										
Savi + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT8	VT-20D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	16 040	1 044	6 707	25 490			1,75	1,7E-09	54,6
	VT-20D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	28	310	620	770					
	VT-20E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	29,9	355	882	243					
	VT-20B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	340	5 793	12 549	12 570					
		kum. 64 vrk		E	L	DE	DE					
		Mekanismitulkinta										
	VT-26D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	15 300	654	5 753	24 870			1,76	9,7E-10	53,9
	VT-26D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	64	200	320	980					
	VT-26E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	46,6	216	359	590					
	VT-26B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	536	4 167	4 916	16 188					
	kum. 64 vrk		?	L	DE	D						
	Mekanismitulkinta											
Savi + 20 kg/m ³ Plus + 80 kg/m ³ LT5 + 20 kg/m ³ RPT	VT-27B	Kokonaispitoisuus	mg/kg	16 660	858	5 453	16 170					
	VT-27B	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	8,9	260	90	900					
	VT-28D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	14 260	529	5 202	14 290			1,73	2,9E-09	51,6
	VT-28D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	7,4	250	95	880					
	VT-28E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	9,2	250	177	612					
	VT-28B	Pintaliukenemistesti	$\text{mg}/\text{m}^2 / 64 \text{ d}$	117	3 625	1 901	16 554					
		kum. 64 vrk		?	L	D	D					
		Mekanismitulkinta										

Suomen ympäristö 421 (Sivutuotteiden ympäristökehlpoisuuden arvioinnin raja-arvi		mg/m ² / 64 d		2800		36		58		2800		1,6		2,1		550							
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi koetaan sijoituskohteeseen)		mg/m ² /64 d		18 000		1 300		27 000		3,7		41		600		0,4		1,1					
VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoltain kosteisiin sijoit		mg/m ² /64 d		54 000		4 400		80 000		1,2		140		2000		1,4		3,8					
SOVELLUS / SEOSSUITEET		Testi		DOC		Kloridi		Fluoridi		Sulfaatti		Sb		As		Ba		Hg		Cd		Cr	
Koeoppi-		Yksikkö																					
koodi																							
Siltti		VT-30D		Kokonaispitoisuus		mg/kg																	
+ 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT4		VT-30D		Ravistelutesti L/S 10		190		120		400		<0,01		<0,2		0,20		0,003		<0,01		<0,1	
		VT-30E		Läpivirtaustesti L/S 10		258,3		88		231		<0,01		0,01		0,09		0,00		<0,001		0,08	
		VT-30B		Pintaliukenemistesti		3 544		1 566		6 001		29		0,9		4,2		0,1		0,06		1,3	
				kum. 64 vrk																			
				Mekanismitulkinta		D		?		D		D		D		?		<		<		?	
Siltti		VT-29D		Kokonaispitoisuus		mg/kg																	
+ 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7		VT-29D		Ravistelutesti L/S 10		210		350		220		<0,01		<0,2		0,60		<0,002		<0,01		0,2	
		VT-29E		Läpivirtaustesti L/S 10		273		308		203		<0,01		0,01		0,68		<0,002		<0,001		0,21	
		VT-29B		Pintaliukenemistesti		3 880		4 863		94		16		0,7		10		0,1		0,06		2,5	
				kum. 64 vrk																			
				Mekanismitulkinta		D		E		?		D		D E		?		<		<		D	
Siltti		VT-31B		Kokonaispitoisuus		mg/kg																	
+ 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT9		VT-31B		Ravistelutesti L/S 10		240		85		140		<0,01		<0,2		0,30		<0,002		<0,01		0,2	

Mekanismitulkinta pintaliukenemistestissä:

- < Aineen liukoisuus pintaliukoisuuteen lähellä määritysrajaa tai sen alapuolella, ettei mekanismitulkintaa voi tehdä
 E Aineen määrä ehtyy testin aikana (depletion)
 L Aine liukoisuus pH:sta riippuvaisista, (pH-dependent dissolution)
 D Aine liukenee diffuusion kontrolloimana (diffusion)
 D E Aine liukenee diffuusion kontrolloimana, mitä seuraa aineen pitoisuuden ehtyminen (diffusion followed by depletion)
 D P Aine liukenee diffuusion kontrolloimana, mitä edeltää pintahuuhtoutuminen (surface wash off preceding diffusion)
 D P E Aine liukenee diffuusion kontrolloimana, mitä edeltää pintahuuhtoutuminen ja seuraa ehtyminen
 ? Aineen liukoisuusmekanismi tuntematon (unidentified)
 P Pintahuuhtoutuminen (surface wash-off)
 P E Pintahuuhtoutuminen seuraa ehtymisen

Raja-arvojen lähteet:

- Sorvari J., Ympäristökirjeet mineraalisten teollisuusjätteiden käytölle maarakentamisessa, Suomen ympäristö, 421, 2000
 Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa

Suomen ympäristö 421 (Sivutiutteden ympäristökelpoisuuden arvioinnin raja-arv. mg/m²/64 d

VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) mg/m²/64 d

VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoil. ma/m²/64 d

SOVELLUS / SEOSSUhteet	Koekpl-koodi	Testi	Yksikkö	Cu	Pb	Mo	Ni	Se	Zn	V	Fe	Mn	Mg
Siltti + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT4	VT-30D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	28,6	7	<10	14,6	<10	83,8	46,2	29 130	587	8 427
	VT-30D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	0,5	<0,1	0,4	0,1	0,01	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	
	VT-30E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	0,85	<0,006	0,49	0,19	0,02	<0,15	0,31	<0,20	0,03	0,17
	VT-30B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	9,6	0,3	7,5	3,3	0,6	2,9	7,9	8,7	1,7	108
Siltti + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7		Mekanismitulokinta		DE	<	E	DE	<	<	D	<	<	DP
	VT-29D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	25,9	6,4	<10	14,2	<10	164,9	45,7	28 380	802	8 782
	VT-29D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	0,8	<0,1	0,3	0,2	<0,01	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	
	VT-29E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	1,09	<0,006	0,45	0,26	0,01	<0,15	0,05	<0,20	0,03	0,15
VT-29B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	12,9	0,3	5,9	2,8	0,6	3,4	3,6	8,7	1,7	105	
Siltti + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT9		Mekanismitulokinta		D	<	DE	D	<	<	D	<	<	P
	VT-31B	Kokonaispitoisuus	mg/kg	28,5	6,5	<10	14,8	<10	76,2	51,2	29 280	421	9 316
	VT-31B	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	0,9	<0,1	0,3	0,2	0,02	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	

Suomen ympäristö 421 (Sivutiutteden ympäristökelpoisuuden arvioinnin raja-arv. mg/m²/64 d

VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1A (sijoitus pysyvästi kosteaan sijoituskohteeseen) mg/m²/64 d

VTT tiedotteita 1852, Ryhmä 1B (sijoitus eristämättömänä ajoittain kosteisiin sijoil. ma/m²/64 d

SOVELLUS / SEOSSUhteet	Koekpl-koodi	Testi	Yksikkö	Al	Na	K	Ca	Kuiva-tiheys t/m ³	Märkä-tiheys t/m ³	k-arvo m/s	Huokoisuus %
Siltti + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT4	VT-30D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	15 810	389	7 150	14 760		1,64	8,1E-06	50,3
	VT-30D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	57	35	180	700				
	VT-30E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	28,3	39	272	337				
	VT-30B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	315	1 374	4 301	9 969				
Siltti + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT7		Mekanismitulokinta		?	DE	DE	?				
	VT-29D	Kokonaispitoisuus	mg/kg	18 920	772	7 430	22 570		1,55	1,2E-05	54,0
	VT-29D	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	62	78	200	1 100				
	VT-29E	Läpivirtaustesti L/S 10	mg/kg	59,9	128	343	652				
VT-29B	Pintaliukenemistesti	mg/m²/64 d	507	2 450	5 325	12 910					
Siltti + 20 kg/m ³ Plus + 100 kg/m ³ LT9		Mekanismitulokinta		?	D	DE	?				
	VT-31B	Kokonaispitoisuus	mg/kg	17 560	6 699	<10	21 640				
	VT-31B	Ravistelutesti L/S 10	mg/kg	59	16	25	1 600				

Inkoo Solbergintie (Degerby - Tyräs) PT11146			
Paaluväli	Rakennusaika	Toimenpide	Materiaalit
01/500 - 01/1500	10/2000	Vanhan rakenteen kerrosstabilointi -stabilointijyrsintä 25 cm:n syvyydeltä vanhaan rakenteeseen -päälle murske 10 cm ja asfaltointi	Sideaineena Helsingin Energian kuiva lentotuhka + Helsingin Energian rikinpoiston lopputuote + Yse 1:1:1, 7 % -kokonaissideainemäärä 40 kg/m ²
01/3000 - 3940	10/2000	Tuhkarakenne -stabilointi sivutuotekerros 20 cm + murske 10 cm + asfaltointi 4 cm	Espoon sähkön lentotuhka + Helsingin Energian rikinpoiston lopputuote 85:15 -sideaine CaO 5 %
01/3940 - 3980	10/2000	Tuhkarakenne -stabilointi sivutuotekerros 20 cm + murske 10 cm + asfaltointi 4 cm	Espoon sähkön lentotuhka + Helsingin Energian rikinpoiston lopputuote 85:15 -sideaine YSe 5 %
Koria, Kouvola Metsäkulmantie PT 14567			
Paaluväli	Rakennusaika	Toimenpide	Materiaalit
01/500 - 01/1500	08/2001	Tuhkarakenne -stabiloitu sivutuotekerros 20 cm +murske 10-15 cm -sivutuotekerroksen leveys 6 metriä	Espoon sähkön lentotuhka + Helsingin Energian rikinpoiston lopputuote 85:15 -sideaine (CaO + Yse 1:1) 5 %
01/1695 - 01/1840	09/1998	Tuhkarakenne -stabiloitu sivutuotekerros 20 cm + murske 10 cm	Lahden lämpövoima Oy:n lentotuhka -sideaineena Nordkalkin FT2 6%
01/1860 - 01/2000	09/1998	Tuhkarakenne -stabiloitu sivutuotekerros 20 cm + murske 10 cm	Kymen Oyj:n Anjalankosken lentotuhka -sideaineena YSe 3%
01/2135 - 01/2250	09/1998	Tuhkarakenne -sivutuotekerros 20 cm ilman sideainetta + murske 10 cm	UPM Oyj Voikkaan lentotuhka -ei sideainetta
01/2250 - 01/2385	09/1998	Tuhkarakenne -stabiloitu sivutuotekerros 25 cm + murske 10 cm	Myllekoski Paper Oy:n arinatuhka -sideaineena YSe 6 %
Kukia, Luopioinen MT 3201 (Kuohijoki - Kyynärö) Tieosa 03 ja 04, paalulukemat osan 03 alusta			
Paaluväli	Rakennusaika	Toimenpide	Materiaalit
03/2850 - 03/4350 7640 - 8690 10340 - 12180	08/2002	Vanhan rakenteen kerrosstabilointi -stabilointijyrsintä 20 cm:n syvyydeltä vanhaan rakenteeseen -päälle murske 10 cm	Sideaineena Jämsänkosken /Kaipolan lentotuhka + YSe 3:2, 10 % -kokonaissideainemäärä 44 kg/m ²
5800 - 7640	08/2002	Vanhan rakenteen kerrosstabilointi -stabilointijyrsintä 20 cm:n syvyydeltä vanhaan rakenteeseen -päälle murske 5 cm ja suotojättemurskeseos 5 cm	Sideaineena Jämsänkosken lentotuhka + FTC (Nordkalk) 3:2, 10 % -kokonaissideainemäärä 44 kg/m ²
9320 - 10340	08/2002	Vanhan rakenteen kerrosstabilointi -stabilointijyrsintä 20 cm:n syvyydeltä vanhaan rakenteeseen -päälle murske 5 cm ja suotojättemurskeseos 5 cm	Sideaineena Jämsänkosken lentotuhka + Helsingin Energian rikinpoiston lopputuote + YSe 3:3:4, 10 % -kokonaissideainemäärä 44 kg/m ²

LIITE II: Vanhojen massiivituhrakenteiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet

1/11

Kohde	Rakennekuvaus	Näytteen kuvaus	Parametri	Kuiva- aine-pit. %	pH	Sähkö- johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseni (As) mg/kg ka		
Koria, Pt 14567	Materiaalitestaus ennen rakentamista Peitetty massiivirakenne v. 1998: LT (Kymenso, Anjalankoski) ja sideaine 3 % YleisSe Peitetty massiivirakenne v. 2001: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO:YleisSe=1:1 Päällystetty massiivirakenne v. 2000: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO Materiaalitestaus ennen rakentamista Peitetty massiivikutuhturakenteen v. 2003: 39 % LT + 55 % kuitusavi + 6 % YleisSe	Näytteen kuvaus	Yksikkö	-	-										
			Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus											50	
			Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus							500	800	10	1 000	0,06	0,5
			Vna 403/2009 Päällystetty rakenne Liukoisuus							500	2 400	50	10 000	0,18	1,5
			Kokonaispitoisuus											<13	<10
			Kokonaispitoisuus	83,7										<10	21
			Ravistelutesti L/S 2		10,4	170				8	700	<5	420	<0,01	<0,2
			Ravistelutesti L/S 10		11,0	73				9	840	<5	1300	0,04	<0,2
			Kokonaispitoisuus			0,6								<10	<5
			Kokonaispitoisuus			0,5								<10	<5
Inkoo, Pt 11146	Päällystetty massiivirakenne v. 2000: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO Päällystetty massiivirakenne v. 2000: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO Seuranäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta Seuranäyte pohjamaasta v. 2013 80 cm sivutuoterakenteen alta Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyppi A, PL 1400) Seuranäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta Seuranäyte pohjamaasta v. 2013 80 cm sivutuoterakenteen alta Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyppi B, PL 3410 KL) Seuranäyte pohjamaasta v. 2013 0,3-0,4 m sivutuoterakenteen alta Seuranäyte pohjamaasta v. 2013 0,75-0,8 m sivutuoterakenteen alta Seosnäyte 6 % FTC + (KS:LT = 1:1) Näyte kuitutuhturakenteesta v. 2014 6 % YleisSe + 39 % LT (Jämsänkoski) + 55 % KS (Georgia Pacific)		Kokonaispitoisuus	77,9									<10	<5	
			Kokonaispitoisuus											<10	13
			Ravistelutesti L/S 2		9,3	300				<5	600	6	2 600	<0,01	<0,2
			Ravistelutesti L/S 10		9,4	240				11	640	28	14 000	0,01	<0,2
			Kokonaispitoisuus			0,6								<10	7
			Kokonaispitoisuus			<0,1								<10	<5
			Kokonaispitoisuus	77,8		6								<10	6
			Ravistelutesti L/S 2		8,7	300				<5	650	<5	2 800	<0,01	<0,2
			Ravistelutesti L/S 10		10,2	240				<5	760	7	14 000	<0,01	<0,2
			Kokonaispitoisuus			0,6								<10	<5
Kokonaispitoisuus			0,8								<10	<5			
Auraanpohja / Pihlismäentie, Pt 13981	Materiaalitestaus ennen rakentamista Peitetty massiivikutuhturakenteen v. 2003: 39 % LT + 55 % kuitusavi + 6 % YleisSe		Kolonmitesti L/S 10		12,5	5						0,002	0,004		
			Kokonaispitoisuus	53,8									<10	5	
			Ravistelutesti L/S 10		11,3	130				380	1500	11	930	<0,01	<0,20

Kohde	Rakennekuvaus	Parametri	Barium (Ba)	Elohopea (Hg)	Kadmium (Cd)	Kromi (Cr)	Kupari (Cu)	Lyijy (Pb)	Molybdeeni (Mo)	Nikkeli (Ni)	Selenei (Se)	
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	
Kohde	Rakennekuvaus	Näytteen kuvaus										
		Yksikkö										
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus	3000		15	400	400	300	50			
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus	20	0,01	0,04	0,5	2,0	0,5	0,5		0,4	0,1
Koria, PT 14567	Materiaaliteastaus ennen rakentamista		60	0,01	0,04	3,0	6,0	1,5	6,0	1,2	0,5	
		Päällystetty rakenne Liukoisuus										
		Kokonaispitoisuus	115		3,9	40	80	103	8		32	
		Lentotuhkanäyte, Kymenso, Anjalankoski	470	0,2	2,3	28	88	21	11		25	<10
Inkoo, PT 11146	Päällystetty massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi C, PL1935) Peitetty massiivirakenteesta v. 1998: LT (Kymenso, Anjalankoski) ja sideaine 3 % YleisSe Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 80 cm sivutuoterakenteen alta Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi A, PL 1400) Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi B, PL 3410 KL) Päällystetty massiivirakenteesta v. 2001: LT (Espoon sähkö);RPT (Helsingin Energia) = 85:15 Ja sideaine 5 % CaO:YleisSe=1:1 Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 80 cm sivutuoterakenteen alta Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi A, PL 1400) Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 80 cm sivutuoterakenteen alta Päällystetty massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi B, PL 3410 KL) Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 0,3-0,4 m sivutuoterakenteen alta Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 0,75-0,8 m sivutuoterakenteen alta Seosnäyte 6 % FTC + (KS:LT = 1:1) Näyte kuitutuhkarakenteesta v. 2014 6 % YleisSe + 39 % LT (Jämsänkoski) + 55 % KS (Georgia Pacific) Peitetty massiivikuitutuhkarakenteesta v. 2003: 39 % LT + 55 % kuitusavi + 6 % YleisSe		0,2	<0,002	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
		Ravistelutesti L/S 2	0,7	<0,002	<0,01	0,8	<0,1	<0,1	<0,1	2,1	<0,1	0,04
		Ravistelutesti L/S 10	170	<0,2	<0,4	52	26	<10	<10	<10	26	<10
		Kokonaispitoisuus	220	<0,2	<0,4	66	33	<10	<10	<10	32	<10
		Kokonaispitoisuus	130	<0,2	<0,4	17	17	<10	<10	<10	18	<10
		Ravistelutesti L/S 2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	0,02
		Ravistelutesti L/S 10	0,5	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	<0,1	0,05
		Kokonaispitoisuus	190	<0,2	<0,4	86	61	13	<10	<10	58	<10
		Kokonaispitoisuus	120	<0,2	<0,4	56	32	<10	<10	<10	32	<10
		Kokonaispitoisuus	190	<0,2	<0,4	<10	22	10	<10	<10	21	<10
Ravistelutesti L/S 2	0,3	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,03		
Ravistelutesti L/S 10	1,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	0,07		
Kokonaispitoisuus	23	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10		
Kokonaispitoisuus	31	<0,2	<0,4	17	<10	<10	<10	<10	<10	<10		
Auraanpohja / Pihlitsalmentie, PT 13981	Materiaaliteastaus ennen rakentamista		30		0,003	0,034	0,713	0,006	1,1	0,126	0,2	
		Kolonnitesti L/S 10	230	<0,2	0,9	20	71	18	<10	15	<10	
		Ravistelutesti L/S 10	1,0	<0,022	<0,010	<0,10	0,63	<0,10	0,11	<0,10	<0,01	

Kohde	Rakennekuvaus	Näytteen kuvaus	Parametri	Sinkki (Zn) mg/kg ka	Vanadiini (V) mg/kg ka	Rauta (Fe) mg/kg ka	Mangaani (Mn) mg/kg ka	Magnesium (Mg) mg/kg ka	Alumiini (Al) mg/kg ka	Natrium (Na) mg/kg ka	Kalium (K) mg/kg ka	Kalsium (Ca) mg/kg ka
Koria, PT 14567	Materiaalitestaus ennen rakentamista	Lentotuhkanäyte, Kymenso, Anjalankoski	Kokonaispitoisuus	1020	41							
				Kokonaispitoisuus	270	59	30 000	1 900	6 500	41 000	2 300	4 900
	Peitetty massiivirakenne v. 1998: LT (Kymenso, Anjalankoski) ja sideaine 3 % YleisSe	Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi C, PL1935)	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	0,8	26	110	120	500
			Ravistelutesti L/S 10	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	1,3	180	140	180	1 100
	Peitetty massiivirakenne v. 2001: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO:YleisSe= 1:1	Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta	Kokonaispitoisuus	83	59	42 000	450	9 100	25 000	790	7 100	7 500
			Kokonaispitoisuus	100	77	57 000	550	13 000	34 000	1 200	10 000	9 900
	Peitetty massiivirakenne v. 2001: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO:YleisSe= 1:1	Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi A, PL 1400)	Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,2	<0,2	<0,2	37	0,8	130	90	1 300
			Ravistelutesti L/S 10	<0,1	1,0	0,6	<0,2	87	4,1	190	190	6 000
	Peitetty massiivirakenne v. 2000: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO	Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta	Kokonaispitoisuus	110	94	71 000	800	15 000	37 000	850	8 700	7 700
			Kokonaispitoisuus	70	63	40 000	420	10 000	23 000	860	6 200	8 600
Inkoo, PT 11146	Pääilystetty massiivirakenne v. 2000: LT (Espoon sähkö):RPT (Helsingin Energia) = 85:15 ja sideaine 5 % CaO	Näyte massiivirakenteesta v. 2013 (Rakennetyyppi B, PL 3410 KL)	Kokonaispitoisuus	25	22	20 000	310	2 600	9 500	290	1 100	
			Ravistelutesti L/S 2	<0,1	0,1	<0,2	<0,2	0,4	96	170	1 600	
Auraanpohja / Pihitsalmentie, PT 13981	Materiaalitestaus ennen rakentamista	Seosnäyte 6 % FTC + (KS:LT = 1:1)	Kokonaispitoisuus	0,062	0,004	0,300	0,053	1,000	1,763	432,0	756,7	4 878
			Ravistelutesti L/S 10	<0,10	0,21	<0,20	<0,10	0,54	31	150	260	1 500
Pihitsalmentie, PT 13981	Peitetty massiivikutuhkarakenne v. 2003: 39 % LT + 55 % kuitusavi + 6 % YleisSe	Näyte kuitutuhkarakenteesta v. 2014 6 % YleisSe + 39 % LT (Jämsänkoski) + 55 % KS (Georgia Pacific)	Kokonaispitoisuus	200	15	5 200	1 100	7 200	19 000	1 100	1 200	220 000
			Ravistelutesti L/S 10	<0,10	0,21	<0,20	<0,10	0,54	31	150	260	1 500

LIITE 12: Vanhojen kerrostabilointirakenteiden kokonaispitoisuudet ja liukoisuudet

1/12

Kohde	Rakennekuvaus	Näytteen kuvaus	Parametri	Kuiva- aine-pit. %	pH	Sähkön- johtavuus mS/m	TOC %	DOC mg/kg ka	Kloridi mg/kg ka	Fluoridi mg/kg ka	Sulfaatti mg/kg ka	Antimoni (Sb) mg/kg ka	Arseni (As) mg/kg ka		
Inkoo, Pt 11146	Materiaalitestaus ennen rakentamista	Päälystetty vanhan rakenteen kerrostabilointi v.2000: sideaineena 7 % [LT(Helsingin Energia) +RPT (Helsingin Energia) +YleisSe]	Yksikkö		-										
			Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus											50	
			Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus						500	800	10	1 000	0,06	0,5	
			Vna 403/2009 Päälystetty rakenne liukoisuus					500	2 400	50	10 000	0,18	1,5		
Kukkia Circler, Mt 3201 Päikkäne (Kuohijoki- kynnärö)	Materiaalitestaus ennen rakentamista	Näyte kerrostabilointirakenteesta v. 2013 Rakennetyyppi A, PL 910 KL Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 0,3 m sivutuoterakenteen alta Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 0,6 m sivutuoterakenteen alta	Kolonnitesti L/S 2		12,4	505			1375		12	<0,001	<0		
			Kolonnitesti L/S 10		12,0	168		1482					<0,002	<0,002	
			Kokonaispitoisuus	97,2			0,3							<10	<5
			Ravisteluasti L/S 2		8,4	160		31	66	<5	1 700	<0,01	<0,2	<0,2	
			Ravisteluasti L/S 10		10,4	46		49	75	12	2500	0,01	<0,2	<0,2	
			Kokonaispitoisuus				0,6							<10	<5
			Kokonaispitoisuus				0,7							<10	<5
			Kokonaispitoisuus											13	<10
			Kokonaispitoisuus											<0,05	5,9
			Kolonnitesti L/S 10											0,0024	0,1098
Kukkia Circler, Mt 3201 Päikkäne (Kuohijoki- kynnärö)	Peitetty vanhan rakenteen kerrostabilointi v. 2002: sideaineena 10 % LT (Jämsänkoski/Kaipola); YleisSe = 3:2	Näyte kerrostabilointirakenteesta v. 2013 Rakennetyyppi A, PL 8270 Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 40 cm sivutuoterakenteen alta Seurantänäyte pohjamaasta v. 2013 80 cm sivutuoterakenteen alta	Kokonaispitoisuus	96,3			0,4					<10	<5		
			Ravisteluasti L/S 2		11,6	170		18	430	<5	99	<0,01	<0,2		
			Ravisteluasti L/S 10		11,7	130		35	600	<5	450	<0,01	<0,2		
			Kokonaispitoisuus				3,0						<10	7	
			Kokonaispitoisuus				0,5						<10	<5	
			Kokonaispitoisuus	97,6			<0,1						<10	<5	
			Ravisteluasti L/S 2		10,0	300		29	780	<5	2 400	<0,01	<0,2		
			Ravisteluasti L/S 10		10,6	75		45	880	5	4 100	<0,01	<0,2		
			Kokonaispitoisuus				<0,1						<10	<5	
			Kokonaispitoisuus										<10	<5	

Kohde	Rakennekuvaus	Parametri	Barium (Ba) mg/kg ka	Elohopea (Hg) mg/kg ka	Kadmium (Cd) mg/kg ka	Kromi (Cr) mg/kg ka	Kupari (Cu) mg/kg ka	Lyijy (Pb) mg/kg ka	Molybdeeni (Mo) mg/kg ka	Nikkeli (Ni) mg/kg ka	Seleni (Se) mg/kg ka	
Inkoo, Pt 11146	Näytteen kuvaus	Yksikkö										
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus	3000		15	400	400	300	50			
		Vna 403/2009 Peitetty rakenne Liukoisuus	20	0,01	0,04	0,5	2,0	0,5	0,5	0,5	0,4	0,1
		Vna 403/2009 Päälystetty rakenne Liukoisuus	60	0,01	0,04	3,0	6,0	1,5	6,0	1,2	1,2	0,5
		Kolonnitesti L/S 2	3,477	<0	<0	0,166	0,051	0,003	0,059	0,153	0,153	0,011
		Kolonnitesti L/S 10	5,96	<0	<0	0,7	0,117	0,007	0,149	0,256	0,256	0,05
		Kokonaispitoisuus	71	<0,2	<0,4	11	13	<10	<10	<10	<10	<10
		Ravistelutesti L/S 2	<0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,01
		Ravistelutesti L/S 10	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	0,02
		Kokonaispitoisuus	52	<0,2	<0,4	35	<10	<10	<10	<10	12	<10
Kukkia Circler, Mt 3201 Palkane (Kuohijoki- Kynnärö)	Materiaalitestaus ennen rakentamista	Kokonaispitoisuus	71	<0,2	<0,4	49	15	<10	<10	15	<10	
		Kokonaispitoisuus	506		0,8	70	37	23	<5	42		
		Kokonaispitoisuus	600		1,1	105	260	21	2,5	81	<1,2	
		Kolonnitesti L/S 10	23		0,00565	0,1015	0,221	0,0224	0,407	0,0099	0,5	
		Kokonaispitoisuus	62	<0,2	<0,4	14	43	<10	<10	<10	<10	
		Ravistelutesti L/S 2	0,2	<0,002	<0,01	0,2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	<0,01	
		Ravistelutesti L/S 10	0,5	<0,002	<0,01	0,4	0,1	<0,1	<0,2	<0,1	0,02	
		Kokonaispitoisuus	<10	<0,2	<0,4	13	<10	<10	<10	<10	<10	
		Kokonaispitoisuus	15	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
		Kokonaispitoisuus	35	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Kukkia Circler, Mt 3201 Palkane (Kuohijoki- Kynnärö)	Peitetty vanhan rakenteen kerrostaloliinti v. 2002: sideaineena 10 % LT (Jämsänkoski/Kaipola); YleisSe = 3:2	Ravistelutesti L/S 2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	0,02	
		Ravistelutesti L/S 10	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	0,05	
		Kokonaispitoisuus	<10	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
		Kokonaispitoisuus	15	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
		Kokonaispitoisuus	35	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
		Ravistelutesti L/S 2	0,1	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	0,02	
		Ravistelutesti L/S 10	0,2	<0,002	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	0,05	
		Kokonaispitoisuus	<10	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
		Kokonaispitoisuus	<10	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
		Kokonaispitoisuus	<10	<0,2	<0,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	

Kohde	Rakennekuvaus	Parametri	Sinkki (Zn)	Vanadiini (V)	Rauta (Fe)	Mangani (Mn)	Magnesium (Mg)	Alumiini (Al)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)	
			mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	mg/kg ka	
Inkoo, PT 11146	Materiaalitestatus ennen rakentamista	Näytteen kuvaus	2000	400								
		Vna 403/2009 Kokonaispitoisuus	2000	400								
		Vna 403/2009 Peilitetty rakenne Liukoisuus	4,0	2,0								
		Vna 403/2009 Päällystetty rakenne liukoisuus	12	3,0								
Kukkipää (Kuhijoki-Kynnärö)	Materiaalitestatus ennen rakentamista	Kolonnitesti L/S 2	0,011		0,062	0,001	0,104	0,042	383	207	1491	
		Kolonnitesti L/S 10	0,033		0,3	0,002	0,5	1,633	419	272	3334	
		Kokonaispitoisuus	32	17	13 000	180	3 700	7 400	300			
		Ravistelu L/S 2	<0,1	<0,1	0,3	<0,2			0,3	39	<0,2	660
		Ravistelu L/S 10	<0,1	0,5	<0,2	<0,2			7,3	57	93	1 300
		Kokonaispitoisuus	60	33	21 000	240	5 500	13 000	190			
		Kokonaispitoisuus	67	46	35 000	200	7 800	18 000	270			
		Kokonaispitoisuus	199	38	22 900	2 170						
		Kokonaispitoisuus	420	30	9 800	2 630	20 630	63 750	7 780	1 500	15 000	76 300
		Kokonaispitoisuus	0,843	0,0199	0,439	0,0184	1,37	132,35	476,1	2 513,9	2 972,3	
Kukkipää (Kuhijoki-Kynnärö)	Materiaalitestatus ennen rakentamista	Kokonaispitoisuus	48	11	6 800	230	3 400	10 000	440	750	77 000	
		Ravistelu L/S 2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2			8,9	39	44	
		Ravistelu L/S 10	<0,1	<0,1	0,4	<0,2	0,5	63	59	98	1 500	
		Kokonaispitoisuus	15	21	17 000	26	630	11 000	59	150	380	
		Kokonaispitoisuus	<10	<10	3 500	16	510	4 200	68	80	270	
		Kokonaispitoisuus	20	<10	6 600	110	1 600	5 200	160	540	44 000	
		Ravistelu L/S 2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	5,4	1,2	34	24	1 300	
		Ravistelu L/S 10	<0,1	0,1	0,3	<0,2	6,4	20	51	58	2 300	
		Kokonaispitoisuus	<10	<10	2 300	16	150	590	87	160	450	
		Kokonaispitoisuus	<10	<10	3 400	18	210	990	23	200	440	

KUVAILEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto	Julkaisu-aika	Maaliskuu 2016
Tekijä(t)	Noora Lindroos, Marjo Ronkainen, Kimmo Järvinen		
Julkaisun nimi	Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöministeriön raportteja 8 2016		
Tiivistelmä	<p>Nykyinen asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 591/2006 ja VNa 403/2009, ns. Mara-asetus) mahdollistaa tuhkien hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä tietyin kriteerein ja rajoituksin. Erityisesti metsäteollisuudessa muodostuvat puuperäisen aineksen ja turpeen polton lentotuhkat ovat täyttäneet heikosti asetuksen liukoisuus-kriteerit, joten Mara-asetus ei ole toiminut näiden tuhkejakeiden hyötykäytön edistäjänä.</p> <p>Tutkimuksissa on ollut mukana yhdeksän lentotuhkanäytettä suomalaisista voimalaitoksista sekä rikinpoiston lopputuote ja kuitusavi tuhkeosmateriaaleina. Tutkimuksissa on tarkasteltu, miten tuhkan jalostaminen erilaisiin maarakennussovelluksiin muuttaa haitta-aineiden liukoisuuksia ja arvioitu, voidaanko maarakentamisessa käytössä olevia sovelluksia kuten tuhkan sideainekäyttöä ottaa mukaan uudistettavaan Mara-asetukseen. Tulosten perusteella on arvioitu, mitkä haitta-aineista ovat kriittisiä nykyisten liukoisuusraja-arvojen ylittymisen kannalta ja edellyttäisivät raja-arvojen uudelleen tarkastelua hyötykäytön edistämiseksi.</p> <p>Tuhkan käyttö sideaineena massastabiloinnissa tai kerrosstabiloinnissa osoittautui haitta-aineiden liukoisuuksien kannalta soveltuvan päällystettyihin rakenteisiin. Uudistettavaan Mara-asetukseen tulisikin ottaa mukaan tuhkan hyötykäyttösovellus sideaineena ja sallia liukoisuuksien tutkiminen jalostetusta materiaalista. Hyötykäytettävän materiaalin liukoisuuksien tutkiminen tuoreen tuhkan liukoisuuksien sijaan huomioisi myös paremmin tuhkan väliarastointiaikana tapahtuvan ikääntymisen vaikutukset tuhkan laatuun. Massiivituhkan liukoisuuksien tutkiminen tiivistetystä tai pienellä sementtimäärällä sidotusta tuhkasta ei sen sijaan ratkaise tuhkien soveltuvuutta nykyisiin Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvoihin laajassa mittakaavassa, sillä käsittelyn vaikutukset haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelivat tuhka-kohtaisesti ja päällystetyn rakenteen liukoisuusraja-arvojen ylityksiä todettiin useissa näytteissä. 10–15 vuotta vanhojen, tierakenteesta otettujen sivutuotenäytteiden tutkiminen osoitti, että haitta-aineiden liukeneminen rakenteesta on erittäin hidasta, sillä näytteet sisälsivät edelleen lähes samaa tasoa olevia haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia kuin tuoreet, laboratoriossa valmistetut näytteet.</p> <p>Hankkeen tuloksia voi jatkossa hyödyntää haitta-aineiden kulkeutumismallinnuksessa, jossa haitta-aineiden kemiallisten ominaisuuksien lisäksi huomioidaan sivutuoterakenteen geometria, geotekniset ominaisuudet sekä ympäristöolosuhteet. Mallinnuksen perusteella voidaan arvioida, aiheuttavatko liukoisuustestien raja-arvovertailun perusteella kriittiset haitta-aineet kuormitusta hyötykäyttörakenteiden ympäristössä ja onko edellytyksiä uudistaa Mara-asetuksen liukoisuus-kriteerejä hyötykäytön edistämiseksi.</p>		
Asiasanat	lentotuhka, kuitusavi, rikinpoisto, liukoisuus, jätteet, hyödyntäminen, maarakentaminen, ympäristövaikutukset		
Rahoittaja/toimeksiantaja	Ympäristöministeriö, Metsäteollisuus ry, Energiateollisuus ry, Helen Oy, Helsingin kaupunki, Ramboll Finland Oy		
	ISBN 978-952-11-4591-9 (PDF)	ISSN 1796-170X (verkkoy.)	
	Sivuja 105	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen
Julkaisun myynti/jakaja	Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.ym.fi/julkaisut		
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö		
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2016		

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Miljövårdsavdelningen	Datum Mars 2016
Författare	Noora Lindroos, Marjo Ronkainen, Kimmo Järvinen	
Publikationens titel	Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa (Skogs- och energiindustrins avfallsfraktioner och deras miljöduglighet i markbyggnad)	
Publikationsserie och nummer	Miljöministeriets rapporter 8 2016	
Sammandrag	<p>Den gällande förordningen om återvinning av vissa avfall i markbyggnad (statsrådets förordning 591/2006 och ändringsförordningen 403/2009) möjliggör, under vissa kriterier och med vissa begränsningar, återvinning av aska genom ett anmälningsförfarande. I synnerhet den flygaska som uppstår inom skogsindustrin vid förbränning av träbaserat material och torv har i låg utsträckning uppfyllt förordningens kriterier i fråga om utlakning, vilket innebär att förordningen inte har främjat återvinning av dessa askfraktioner.</p> <p>Undersökningarna baserar sig på nio prov av flygaska från finländska kraftverk samt en slutprodukt från avsvavling och fiberlera som båda utgjort material i en askblandning. Man har undersökt på vilket sätt aska som förädlas för olika markbyggnadstillämpningar förändrar utlakningen av skadliga ämnen, och det har bedömts huruvida befintliga tillämpningar inom markbyggnad, t.ex. användning av aska som bindemedel, kan tas med i förordningen när den revideras. På basis av resultaten har det gjorts en bedömning av vilka skadliga ämnen som är kritiska med tanke på en överskridning av de nuvarande gränsvärdena för utlakning och som skulle förutsätta en revidering av gränsvärdena för att återvinning ska kunna främjas.</p> <p>Användningen av aska som bindemedel vid masstabilisering eller stabilisering av lager visade sig, om man ser till utlakningen av skadliga ämnen, lämpa sig för belagda konstruktioner. När förordningen om återvinning av vissa avfall i markbyggnad ses över bör man därför beakta återvinning av aska som bindemedel och tillåta att utlakningen ur förädlad material undersöks. Att man undersöker utlakningen ur material som återvinns i stället för utlakningen ur färsk aska beaktar också bättre de verkningar som tillfällig lagring har på askans kvalitet, i och med att askan då är äldre. Att undersöka utlakningen av massiv aska ur koncentrerad aska eller aska som bundits med en liten cementmängd kan däremot inte i någon större skala avgöra askans lämplighet när det gäller dagens gränsvärden för utlakning i förordningen, eftersom behandlingens inverkan på utlakningen av skadliga ämnen varierade beroende på asksort och det kunde konstateras att gränsvärdena för utlakning ur belagda konstruktioner överskreds i flera prover. Undersökningen av 10–15 år gamla biproduktprover som tagits ur vägkonstruktioner visade att utlakningen av skadliga ämnen ur konstruktionerna är väldigt långsam, eftersom proverna fortfarande innehöll nästan samma halter och utlakningar av skadliga ämnen som färskas laboratorieprover.</p> <p>Resultaten av projektet kan i fortsättningen utnyttjas vid modellering av hur skadliga ämnen sprids, och i en sådan modellering beaktas utöver de skadliga ämnens kemiska egenskaper även biproduktkonstruktionens geometri och geotekniska egenskaper samt miljöförhållandena. Utifrån modelleringen går det att bedöma om de kritiska skadliga ämnena, enligt en jämförelse av gränsvärdena i utlakningstesterna, orsakar belastning i miljön kring återvinningskonstruktionerna och om det finns förutsättningar att revidera utlakningskriterierna i förordningen så att återvinning främjas.</p>	
Nyckelord	flygaska, fiberlera, avsvavling, utlakning, avfall, återvinning, markbyggnad, miljökonsekvenser	
Finansiär/ uppgångsgivare	Miljöministeriet, Skogsindustrin rf, Finsk Energiindustri rf, Helen Ab, Helsingfors stad, Ramboll Finland Ab	
	ISBN 978-952-11-4591-9 (PDF)	ISSN 1796-170X ((online)
	Sidantal 105	Språk Finska
		Offentlighet Offentlig
Beställningar/ distribution	Publikationen finns tillgänglig endast på internet: www.ym.fi/julkaisut	
Förläggare	Miljöministeriet	
Tryckeri/tryckningsort och -år	Helsingfors 2016	

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Environmental Protection Department	<i>Date</i> March 2016
<i>Author(s)</i>	Kaisa Manninen, Jáchym Judl, Tuuli Myllymaa	
<i>Title of publication</i>	Metsä- ja energiateollisuuden jätejakeiden ympäristökelpoisuus maarakentamisessa (Environmental acceptability of waste fractions from the forestry and energy industries in earth construction)	
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Ministry of the Environment 8 2016	
<i>Abstract</i>	<p>The current Government Decree Concerning the Recovery of Certain Wastes in Earth Construction (government decrees 591/2006 and 403/2009, so-called Earth Construction Decree) enables the recovery of ashes based on a notification procedure and subject to certain criteria and restrictions. Particularly fly ashes from the combustion of peat and wood-based material generated by forestry have often failed to meet the solubility criteria laid down in the Decree, which means that the Earth Construction Decree has not promoted the recovery of the ash fractions.</p> <p>Nine fly ash samples from Finnish power plants were included in the studies, along with desulphurisation end-product and fibrous peat as material for the ash mixture. The studies analysed how the processing of ashes for various earth construction applications changes the solubilities of harmful substances and assessed whether the existing earth construction applications, such as the use of ash as a binder, could be included in the amendment of the Earth Construction Decree. The results were used for assessing which harmful substances are critical from the point of view of the current maximum limit values for solubility and would require re-assessment in order to promote recovery.</p> <p>The use of ash as a binder in mass stabilisation or layer stabilisation was found to be applicable to paved structures in view of the solubility of harmful substances. Thus, the amendment of the Earth Construction Decree should include the recovery application of using ash as a binder and allow the solubility analysis to be carried out on processed material. Carrying out the solubility analysis on the material to be recovered instead of fresh ash would also take the quality effects of the ageing of ash during the intermediate storage better into account. Analysing the solubilities of solid ash in condensed ash or ash mixed with a small amount of cement, on the other hand, would not make ash acceptable within the solubility limit values laid down in the current Earth Construction Decree on a wider scale, because there was variation in the effects of processing on the solubilities of harmful substances between the ashes, and instances of exceeded solubility limit values were found in several samples of paved structures. The analysis of by-product samples taken from 10–15-year-old road structures indicated that the harmful substances in the structure dissolve very slowly – the concentrations and solubilities of harmful substances in the samples were almost as high as in the fresh samples made at the laboratory.</p> <p>The results of the project can be used to create migration models of harmful substances that take into account not only the chemical properties of the harmful substances, but also the geometry, geotechnical properties and environmental conditions of the by-product structure. The models can be used for assessing whether the harmful substances that are considered critical on the basis of their solubility limit values cause an environmental load in the recovery structures, and whether the solubility criteria laid down in the Earth Construction Decree could be amended in order to promote recovery.</p>	
<i>Keywords</i>	fly ash, fibrous peat, desulphurisation, solubility, waste, recovery, earth construction, environmental impacts	
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment, The Finnish Forest Industries Federation, Finnish Energy, Helen Oy, City of Helsinki, Ramboll Finland Oy	
	ISBN 978-952-11-4591-9 (PDF)	ISSN 1796-170X ((online)
	<i>No. of pages</i> 105	<i>Language</i> Finnish
		<i>Restrictions</i> For public use
<i>For sale at/ distributor</i>	The publication is available on the internet: www.ym.fi/julkaisut	
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment	
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2016	

Tutkimuksissa on tarkasteltu, miten metsä- ja energiateollisuuden lentotuhkien jalostaminen erilaisiin maarakennussovelluksiin muuttaa haitta-aineiden liukoisuuksia ja arvioitu, voidaanko maarakentamisessa käytössä olevia sovelluksia kuten tuhkan sideainekäyttöä ottaa mukaan uudistettavaan Mara-asetukseen.

Tuhkan käyttö sideaineena massastabiloinnissa tai kerrosstabiloinnissa osoittautui haitta-aineiden liukoisuuksien kannalta soveltuvan päällystettyihin rakenteisiin. Uudistettavaan Mara-asetukseen tulisikin ottaa mukaan tuhkan hyötykäyttösovellus sideaineena ja sallia liukoisuuksien tutkiminen jalostetusta materiaalista. Hyötykäytettävän materiaalin liukoisuuksien tutkiminen tuoreen tuhkan liukoisuuksien sijaan huomioi myös paremmin tuhkan välivarastointiaikana tapahtuvan ikääntymisen vaikutukset tuhkan laatuun. Massiivituhkan liukoisuuksien tutkiminen tiivistetystä tai pienellä sementtimäärällä sidotusta tuhkasta ei sen sijaan ratkaise tuhkien soveltuvuutta nykyisiin Mara-asetuksen liukoisuusraja-arvoihin laajassa mittakaavassa, sillä käsittelyn vaikutukset haitta-aineiden liukoisuuksiin vaihtelivat tuhakohtaisesti.

Hankkeen tuloksia voi jatkossa hyödyntää haitta-aineiden kulkeutumismallinnuksessa, jonka perusteella voidaan arvioida, aiheuttavatko liukoisuustestien raja-arvovertailun perusteella kriittiset haitta-aineet kuormitusta hyötykäyttörakenteiden ympäristössä ja onko edellytyksiä uudistaa Mara-asetuksen liukoisuuskriteerejä hyötykäytön edistämiseksi.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4591-9 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkokj.)