

TUHKARAKENTAMISEN KÄSIKIRJA

Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa



Energiateollisuus



Metsäteollisuus



Tuhkarakentamisen käsikirja
Verkkajulkaisu, PDF 13.1.2012

Kannen kuva: Olli Kiviniemi, Ramboll 2010

Ramboll
Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN
P +358 20 755 6740
F +358 20 755 6741
www.ramboll.fi

Esipuhe

Voimalaitostuhkien hyötykäyttömahdollisuudet maarakentamisessa ovat laajentuneet 2000-luvun aikana teknologian, sovellusten ja lainsäädännön osalta. Tuhkien hyötykäytön yhtenä esteenä on ollut kattavan ohjeen puuttuminen. Tämä ohje korvaa Finergyn vuonna 2000 julkaiseman Tuhkarakentamisohjeen, koostaa yhteen muita vastaavia ohjeita ja julkaisuja sekä päivittää aiempien ohjeiden tietoja tämän hetkisellä tiedolla.

Tämän ohjeen ovat rahoittaneet Energiateollisuus ry, Metsäteollisuus ry, Infra ry, Yara Suomi Oy, Nordkalk Oy sekä Ramboll Finland Oy. Ohjeen laatimista varten perustettiin ohjausryhmä, jonka työskentelyyn ovat osallistuneet:

Harri Jussila, UPM-Kymmene Oyj
Matti Nuutila, Energiateollisuus ry
Pia Oesch, Energiateollisuus ry
Pasi Patrikainen, Pohjois-Savon ELY-keskus
Else Peuranen, Ympäristöministeriö
Asko Pöyhönen, Pohjois-Savon ELY-keskus
Pia Rämö, Infra ry
Jaakko Soikkeli, Vapo Oy
Kati Takala, Energiateollisuus ry
Tiina Vuoristo, Metsäteollisuus ry
Juha Forsman, Ramboll Finland Oy
Pentti Lahtinen, Ramboll Finland Oy

Ohjeen kirjoittajana ovat toimineet

DI Olli Kiviniemi,
DI Janne Sikiö,
DI Harri Jyrävä,
DI Susanna Ollila,
FM Merja Autiola,
DI Marjo Ronkainen,
FM Noora Lindroos
TKT Pentti Lahtinen sekä
DI Juha Forsman Ramboll Finland Oy:stä.

Ohje on tarkoitettu tuhkan tuottajille, rakennuttajille, suunnittelijoille, urakoitsijoille sekä lupaviranomaisille.

Sisällysluettelo

ESIPUHE	3
SISÄLLYSLUETTELO.....	3
MERKINNÄT	5
1 JOHDANTO.....	6
A-OSA: MATERIAALIT.....	7
2 TUHKAMATERIAALIT.....	8
2.1 Tuhkalaadut.....	8
2.2 Tuhkien tuotteistus.....	9
2.3 Tuhkien ympäristökelpoisuus.....	10
3 TUHKIEN TEKNISET OMINAISUUDET JA NIIDEN LUOKITTELU.....	12
3.1 Geotekniset indeksiominaisuudet	12
3.2 Lujittumisominaisuudet	16
3.3 Tuhkien luokittelun periaatteet.....	16
4 TUHKASEOSMATERIAALIT	18
4.1 Fosfokipsi	18
4.2 Rikastushiekka	18
4.3 Kuitusavi	19
B-OSA: SOVELLUKSET.....	21
5 TUHKIEN JA MUIDEN SIVUTUOTTEIDEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA.....	22
5.1 Massiiviset lentotuhkarakenteet	22
5.2 Pohjatuhkakerrosrakenteet.....	23
5.3 Rakenteet tuhkaseosmateriaaleista	24
5.4 Tuhkapohjaiset sideaineseokset stabilointiin.....	25
6 TUHKAT PÄÄLLYSRAKENTEISSA	28
6.1 Suunnittelun erityispiirteet.....	28
6.2 Mitoitus ja parametrit	29
6.2.1 Kuormituskestävyyssmitoitus	29
6.2.2 Routamitoitus	30
6.3 Työohjeistus.....	31
7 PINGER-, TÄYTTÖ- JA YMPÄRISTÖRAKENNESOVELLUKSET	32
8 HEIKKOLAATUISTEN MASSOJEN STABILOINTI	34
8.1 Massasyvästabilointi.....	34
8.2 Prosessistabilointi	35
8.3 Muut stabiloinnit	36
C-OSA: RAKENNUTTAMINEN	37
9 TUHKAT RAKENNUTTAMISEN KANNALTA	38
10 ILMOITUSMENETTELY- JA YMPÄRISTÖLUPAKÄYTÄNTÖ.....	40

11	TALOUDELLISTEN JA YMPÄRISTÖLLE KOITUVIEN HYÖTYJEN LASKEMINEN	42
11.1	Tuhkarakentamisen kustannukset	42
11.2	Elinkaariarviointi.....	43
D-OSA: RAKENTAMINEN.....		45
12	MATERIAALIEN KÄSITTELY, VARASTOINTI JA LOGISTIIKKA.....	46
12.1	Käsittely ja kuljetus.....	46
12.2	Varastointi ja sen vaikutus tuhkan laatuun	48
	12.2.1 Kuivavarastointi	48
	12.2.2 Varastointi kostutettuna	49
	12.2.3 Varastoinnin vaikutus tuhkien tekniseen laatuun	51
12.3	Sekoitusmenetelmät	52
13	TUHKARAKENTAMINEN.....	54
13.1	Materiaaliketju ja sen suunnittelu.....	54
13.2	Työn suunnittelu.....	54
13.3	Työmenetelmät ja toteutus.....	55
	13.3.1 Massiivilentotuhkarakenteet.....	55
	13.3.2 Pohjatuhkarakenteet	57
	13.3.3 Kerrosstabilointi	58
13.4	Työturvallisuus	59
13.5	Toimintamenettely tuhkarakenteen elinkaaren lopussa	59
14	LAADUNVARMISTUS.....	60
14.1	Materiaalintuottajan laadunvalvonta.....	60
14.2	Materiaalien välivarastoinnin ja käsittelyn laadunvalvonta	61
14.3	Rakentamisen laadunvalvonta	62
	14.3.1 Tuhkamateriaali.....	62
	14.3.2 Tiivistyskokeet ja lujuuskoeappaleet	62
	14.3.3 Tiiveysmittaukset.....	62
	14.3.4 Kerrospaksuudet.....	63
	14.3.5 Rakentamisen dokumentointi	63
KIRJALLISUUSLUETTELO.....		64
LIITTEET		
Liite 1	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 28.6.2006/591	
Liite 2	MARA-ilmoitusmalli	
Liite 3	Rakennevaihtoehtotarkastelu	
Liite 4	Esimerkkihankkeet	
Liite 5	Tuhkantuottajat Suomessa	

Merkinnot

<i>As</i>	Arseeni
<i>AVI</i>	Aluehallintovirasto
<i>Ba</i>	Barium
<i>CaO</i>	Kalsiumoksidi
<i>CBR</i>	California Bearing Ratio
<i>Cd</i>	Kadmium
<i>Cl</i>	Kloridi
<i>Co</i>	Koboltti
<i>Cr</i>	Kromi
<i>Cu</i>	Kupari
<i>d</i>	raekoko
<i>DOC</i>	Liennut orgaaninen hiili (dissolved organic carbon)
<i>E₅₀-moduuli</i>	50 % murtotilan kuormitusta vastaava muodonmuutosmoduuli
<i>ELY-keskus</i>	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
<i>F</i>	Fluoridi
<i>Hg</i>	Elohopea
<i>JS</i>	Jäätymis-sulamiskestävyys
<i>KJ400</i>	Masuunikuonajauhe
<i>LT</i>	Lentotuhka
<i>LTX</i>	Lentotuhka, käyttöluokka x
<i>MARA-asetus</i>	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 591/2006 ja VNa403/2009)
<i>m_d</i>	Näytteen kuivamassa
<i>Mn</i>	Mangaani
<i>Mo</i>	Molybdeeni
<i>m_w</i>	Näytteen sisältämän veden massa
<i>Ni</i>	Nikkeli
<i>PAH</i>	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (Polycyclic aromatic hydrocarbons)
<i>Pb</i>	Lyijy
<i>PCB</i>	Polyklooratut bifenyylit (polychlorinated biphenyl)
<i>PT</i>	Pohjatuhka
<i>PTx</i>	Pohjatuhka, käyttöluokka x
<i>Sb</i>	Antimoni
<i>Se</i>	Seleeni
<i>SO₄⁻²</i>	Sulfaatti
<i>TBT</i>	Tributyylitina
<i>UUMA</i>	Uusiomaarakentaminen
<i>V</i>	Vanadiini
<i>w</i>	Geotekninen vesipitoisuus (m_w/m_d)
<i>w_{opt}</i>	Optimaalinen vesipitoisuus
<i>YSe</i>	Ylissementti
<i>YVA</i>	Ympäristövaikutusten arviointi
<i>Zn</i>	Sinkki
<i>ρ_{d,max}</i>	Maksimi kuivairtoisuus

1 Johdanto

Uusiomaarakentamisella eli UUMA-rakentamisella pyritään vähentämään uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä. Valtakunnallinen uusiomaarakentamista edistävä UUMA-ohjelma käynnistettiin ympäristöministeriön toimesta vuonna 2006. Tuhkat muodostavat merkittävän mahdollisuuden UUMA-rakentamisen edistämiseksi.

Materiaalina tuhkat, erityisesti lentotuhkat eroavat tavanomaisista kiviaineksista sementinkaltaisten lujittumisominaisuuksiensa sekä huokoisten rakeidensa puolesta. Eroavien ominaisuuksien vuoksi tuhkien tehokas hyötykäyttö vaatii käyttäjiltä perehtymistä, mutta toisaalta tuhkarakentamisella voidaan saavuttaa etuja tavanomaisilla materiaaleilla tehtyyn rakentamiseen verrattuna.

Tuhkia voidaan käyttää maarakentamisessa monipuolisesti. Täytöissä ja kerrosrakenteissa niitä voidaan käyttää sekä sellaisenaan että seosmateriaalina yhdessä muiden teollisuuden sivutuotteiden kanssa. Tutkittuja sivutuotteita ovat muun muassa kuitusavi, sivutuotekipsi ja rikastushiekka. Lisäksi lentotuhkia voidaan käyttää monipuolisesti sellaisenaan tai muiden sivutuotteiden, kuten kipsin kanssa erilaisten stabilointien sideaineseoksissa korvaamaan kaupallisia sideaineita.

Tuhkia muodostuu Suomessa noin 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Määrä on pieni verrattuna Suomessa vuosittain käytettävään 100 miljoonan tonnin kiviainesmäärään, mutta paikallisesti tuhkillla voidaan vähentää merkittävästi neitseellisen kiviaineksen käyttöä. Hyötyvaikutus korostuu erityisesti tiheämmin asutuilla alueilla, jossa kiviaineksia voidaan joutua hankkimaan kaukaa rakennuskohteesta.

Tässä ohjeessa on käyty läpi tuhkarakentamiseen liittyvät menetelmät, tarvittavat taustatiedot sekä materiaalia koskevat säädökset. Esitetyt ratkaisut perustuvat eri ohjeista koottuihin tietoihin ja tutkimushankkeista saatuihin kokemuksiin. Ohje on pyritty kirjoittamaan siten, että siitä olisi hyötyä kaikille tuhkien hyötykäytön parissa toimiville tahoille.

A-osa: Materiaalit

2 Tuhkamateriaalit

Energiantuotannon polttoprosesseissa sivutuotteina muodostuu tuhkaa, jonka laatu riippuu polttoprosessista, polttoaineesta ja tuhkanerotustekniikasta. Tuhka on lähtökohtaisesti luokiteltu jätteeksi, joten sen hyödyntämistä sääntelee jätelaissa (646/2011, voimassa 1.5.2012) ja ympäristönsuojelulaissa (86/2000 ja 647/2011, voimassa 1.5.2012) sekä niiden alaisissa asetuksissa asetetut säädökset. Tuhkien hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii tällä hetkellä jäteluokituksen takia joko ilmoittamisenettelyn tai ympäristöluvan (ks. luku 10 *Ilmoitusmenettely- ja ympäristölupakäytäntö*). Tulevaisuudessa tuhkat voidaan mahdollisesti tuotteistaa maarakennuskäytössä, jolloin niitä ei enää luokitella jätteeksi.

2.1 Tuhkalaadut

Polttoprosessissa palamattomat aineet muodostavat tuhkan. Tuhkalaadut luokitellaan Suomessa niiden keräyspaikan (pohja- ja lentotuhka) ja polttoprosessin polttoainekoostumuksen mukaan kivihiilen polton-, seospolton- sekä rinnakkaispolton tuhkiin (Taulukko 2.1).

Taulukko 2.1 Suomessa tuhkien luokitteluun käytetyt määritelmät.

	Nimike	Määritelmä
Keräyspaikka	Pohjatuhka	Kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupeti-materiaalin mukana poistuva tuhka
	Lentotuhka	Savukaasuista erotettava tuhka
Polttoaine-koostumus	Kivihiilen poltto	Kivihiilen polton lentotuhka
	Seospoltto	Tavanomaisten polttoaineiden seospoltto
	Rinnakkaispoltto	Jätteiden ja tavanomaisten polttoaineiden rinnakkaispoltto

1.7.2013 voimaan tuleva Eurooppalainen toissijaisten kiviainesten standardi (CEN/TC 154/WG 12) tosin luokittelee tuhkat hieman erillä tavalla (Taulukko 2.2), joten luokittelukäytäntö voi muuttua jatkossa myös Suomessa.

Taulukko 2.2 Eurooppalaisen toissijaisten kiviainesten standardin (CEN/TC 154/WG 12) mukaiset määritelmät tuhkien luokitteluun. Standardi on tulossa voimaan 1.7.2013.

Lähde	Tunnus	Määritelmä
B Yhdyskuntajätteen-poltto	B1	Yhdyskuntajätteenpolton pohjatuhka
	B2	Yhdyskuntajätteenpolton lentotuhka
C Kivihiilen poltto	C1	Kivihiilen pölypolton lentotuhka
	C2	Kivihiilen leijupetipolton lentotuhka (750–900 °C)
	C3	Kivihiilen kattilakuona (1500–1700 °C)
	C4	Kivihiilen arinapolton pohjatuhka
	C5	Kivihiilen leijupetipolton lentotuhka (800–900 °C)
I Muut	I1	Paperilietteenpolton tuhka
	I2	Vedenkäsittelyjätteenpolton tuhka
	I3	Biomassatuhka

Pohja- ja lentotuhkan suhteelliset määrät riippuvat polttotekniikasta. Yleisimmät polttotekniikat ovat arina- ja leijupolttu. Arinapolton ja leijupolton pohjatuhkat eroavat toisistaan huomattavasti, koska leijupolton tukiaineena käytettävää hiekkaa on myös pohjatuhkassa. Arinapoltoissa tuhkan partikkelijakauma on suurempi ja pohjatuhka sisältää myös hienompia jakeita. Alla olevassa taulukossa on esitetty lentotuhkan ja pohjatuhkan jakautuminen leijukerros- ja arinapoltoissa.

Taulukko 2.3 Polttoprosessityypin vaikutus tuhkien muodostumiseen. Koottu eri lähteistä.

	Leijukerrospoltto	Arinapoltto
Lentotuhkan osuus	80–100 %	5–40 %
Pohjatuhkan osuus	0–20 %	60–95 %
Erityistä	-rikinpoistoprosessi -mahdollista polttaa hyvin erilaisia polttoaineita -pohjatuhkassa leijukerrosmateriaalia eli luonnonhiekkia -syötetään mahdollisesti kalkkia	-hehikutushäviö usein keskimääräistä suurempi

2.2 Tuhkien tuotteistus

EY-säädösten mukaan on olemassa tuotteita tai jätteitä. Tuotteistamisen myötä aine tai materiaali pyritään saamaan jätelainsäädännön ulkopuolelle. Tuotteistamiselle ei ole kuitenkaan ollut selkeää menettelyä, mikä on vaikeuttanut myös tuhkien tuotteistusta. Tilanne on muuttumassa uuden EU:n jätedirektiivin myötä, joka sisältää tuotteistamisen kannalta tärkeän sivutuotemääritelmän ja ns. End of Waste -kriteerit eli kriteerit jätteeksi luokittelun päättymisestä. Tuotteistamisen myötä aine tai esine tulee tuotesäätelyn piiriin ja materiaalin valmistukseen sekä käyttöön sovelletaan kemikaalilainsäädäntöä ja REACH-asetusta.

Uudessa jätelaissa on kirjattu menettely tuotteistamiselle sivutuotemääritelmän kautta, mutta käytännössä menettelyä ei ole vielä sovellettu tuhkien maarakentamiskäytölle. On todennäköistä, että tulevaisuudessa tuhkaa tulee olemaan markkinoilla sekä jätteeksi luokiteltuna että tuotteeksi luokiteltuna riippuen käyttösovelluksesta. Ns. jätetuhka ja tuotetuhka voivat olla teknisiltä ja ympäristöllisiltä ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia, mutta luokittelu ja tuhkaan sovellettava lainsäädäntö riippuvat siitä, onko tuhkan tuottaja käynyt läpi tuotteistamiseen liittyvät menettelyt.

CE-merkintä on EU-direktiiveihin (mm. rakennustuotedirektiiviin) perustuva vaatimustenmukaisuusmerkintä, jonka merkitys on kasvanut myös infrarakentamisessa käytettävien rakennustuotteiden hyväksymismenettelyissä. Tulevaisuudessa myös tuotetuhkien vaatimusten mukaisuus voidaan osoittaa CE-merkinnällä.

Tuotteistamisessa maarakentamiseen käytettävien tuhkien tekniset ominaisuudet on selvitettävä, mikäli niitä ei tunneta ennestään. Selvitettävien ominaisuuksien arvot ovat voimalaitos- ja polttoprosessikohtaisia sekä riippuvat myös kyseisellä hetkellä käytetystä polttoainekoostumuksesta. Mikäli voimalaitoksen polttoainekoostumus vaihtelee paljon eri vuodenaikoina, on suositeltavaa selvittää vähintään maarakentamiskäytön kannalta tärkeimmät ominaisuudet eli optimivesipitoisuus, maksimikuivairtotiheys, lujittumispotentiaali, jäätymis-sulamisrasituskestävyys, routivuus ja lämmönjohtavuus. Lisäksi myös haitta-aineiden pitoisuudet ja liukoisuudet tulee olla tiedossa.

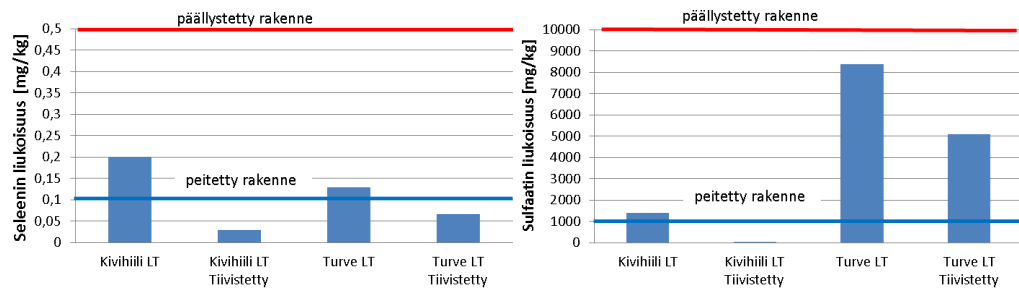
2.3 Tuhkien ympäristökelpoisuus

Tuhkien jäteluokituksen vuoksi niiden ympäristökelpoisuus tulee osoittaa, mikäli tuhkia aiotaan hyödyntää rakentamisessa. Tuhkien ympäristökelpoisuutta voidaan arvioida tutkimalla haitta-aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuuksia. Niin sanotun MARA-asetuksen (VNa 403/2009) raja-arvot alittavat tuhkat soveltuvat hyötykäyttöön asetuksessa mainittuihin sovelluksiin ilmoitusperiaatteella. Muissa tapauksissa hyötykäyttö edellyttää muiden lupa-prosessien läpikäymistä ja soveltuvuuden arvioimista riskinarvioinnin kautta. Lupa-asioita on käsitelty tarkemmin luvussa *10 Ilmoitusmenettely- ja ympäristölupakäytäntö*.

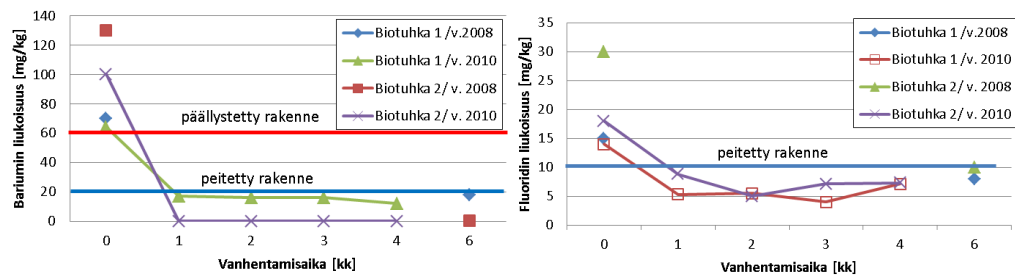
Lentotuhkien haitta-aineiden liukoisuudet voivat muuttua erilaisten käsittelyiden vaikutuksesta. Muun muassa seuraavanlaisia käsittelyjä voidaan tehdä lentotuhkalle:

- A. Lentotuhkan vanhentaminen: Varastointi kostutettuna, jolloin tapahtuu mineralisointumista, joka sitoo eräitä haitta-aineita niukkaliukoiseen muotoon (mm. barium ja fluoridi).
- B. Lentotuhkan stabiloiminen tai seostaminen: Ominaisuuksien jalostaminen side- tai seosaineilla, joilla voidaan side- tai seosaineesta riippuen pienentää eräiden haitta-aineiden liukoisuuksia
- C. Lentotuhkan tiivistäminen: Tiivistyminen ja lujittuminen rakenteessa voi myös vaikuttaa haitta-aineiden liukoisuuksiin

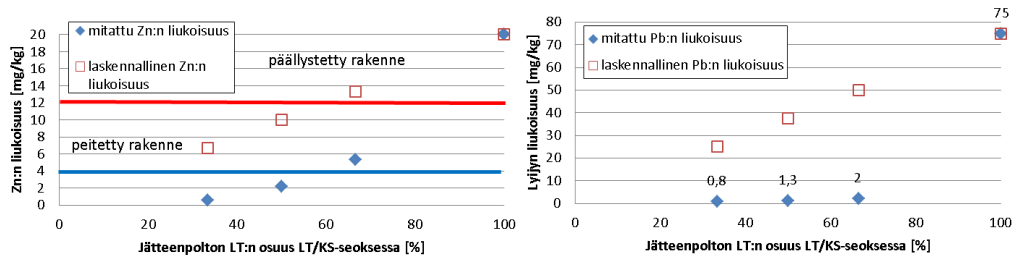
Lentotuhkien ympäristökelpoisuutta voi mahdollisesti parantaa edellä lueteltujen käsittelyjen kautta. Oleellisinta on pienentää tapauskohtaisesti lentotuhkien kriittisempien haitta-aineiden liukoisuuksia. Koska tietyillä toimenpiteillä voidaan vaikuttaa vain tiettyjen haitta-aineiden liukoisuuksiin, materiaalit tulee tutkia laboratoriossa tapauskohtaisesti. Eräiden haitta-aineiden liukoisuudet voivat myös kasvaa toimenpiteiden vaikutuksesta. Kun tämä huomioidaan, voidaan suunnitella materiaalien kannalta paras mahdollinen toimenpide lentotuhka-kohtaisesti. Alla on esitetty esimerkkinä millaisia tuloksia eräillä tuhkillä ja seosaineilla on saavutettu eräiden haitta-aineiden osalta. Kuvissa on esitetty VNa 403/2009 mukaiset raja-arvot peitetylle ja päällystetylle rakenteelle.



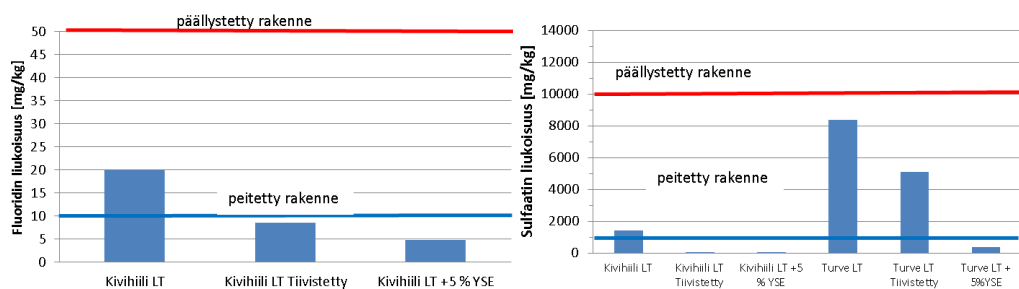
Kuva 2.1 Tiivistämisen vaikutus seleenin ja sulfaatin liukoisuuksiin erällä kivihiili- ja turvetuhkilla. (Ollila 2011)



Kuva 2.2 Vanhentamisen vaikutus bariumin ja fluoridin liukoisuuksiin kahden eri tehtaan biotuhkilla. (Ollila 2011)



Kuva 2.3 Seostamisen vaikutus sinkin ja lyijyn liukoisuuteen lentotuhkan ja kuitusaven seoksilla (lyijyn peitetyn rakenteen raja-arvo on 0,5 mg/kg ka ja päällystetyn rakenteen raja-arvo on 1,5 mg/kg ka.). (Ollila 2011)



Kuva 2.4 Stabiloinnin ja tiivistämisen vaikutus fluoridin ja sulfaatin liukoisuuksiin kivihiili- ja turvetuhkilla. (Ollila 2011)

3 Tuhkien tekniset ominaisuudet ja niiden luokittelu

Tuhkamateriaaleille voidaan määrittää geotekniset indeksiominaisuudet vastaavilla menetelmillä kuin luonnon kiviaineksille. Lentotuhkien käyttäytymiseen rakenteissa vaikuttaa geoteknisten indeksiominaisuuksien lisäksi myös lujittumisominaisuudet, jotka vaikuttavat lopputuotteen tekniseen laatuun merkittävästi. Pohjatuhkilla lujittumisominaisuuksien esiintyminen on niin vähäistä, että ne voi jättää käytännössä huomioimatta.

3.1 Geotekniset indeksiominaisuudet

Taulukossa 3.1 on esitetty lento- ja pohjatuhkien geoteknisten indeksiominaisuuksien ominaisarvoja. Taulukon tietoja on suositeltavaa käyttää lähinnä viitteellisenä informaationa. Käyttökohteen kannalta olennaiset ominaisuudet tulee selvittää ennen käyttöä. Lisäksi on suositeltavaa tehdä jatkuva laadunvaihteluseurantaa rakentamisen kannalta tärkeille parametreille (optimivesipitoisuus, maksimikuivairtotehiys, alkuperäinen vesipitoisuus ja puristuslujuus/rasituskestävyys), erityisesti, jos voimalaitoksella käytettävä polttoaine vaihtelee eri vuodenaikoina tai prosessiin tehdään muutoksia. Tässä osiossa on käsitelty lisäksi tuhkien iän ja polttoaineiden vaikutusta tärkeimpien ominaisuuksien arvoihin sekä vertailtu niitä luonnon kiviaineksien vastaaviin arvoihin.

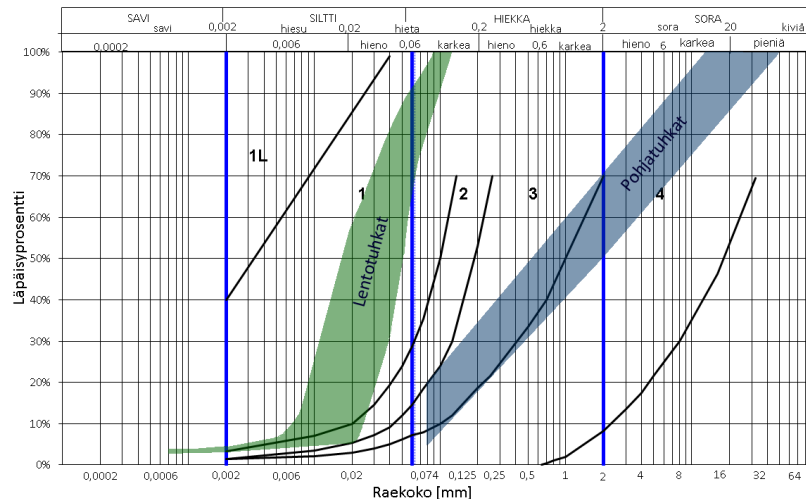
Taulukko 3.1 Tuhkien geoteknisten indeksiominaisuuksien tyypillisiä ominaisarvoja (Koostettu: Rambollin aineistot, Rudus 2008 ja Finergy 2000)

Ominaisuus	Olosuhde	Lentotuhka	Pohjatuhka
Rakeisuus [mm]		0,002–0,1 (siltti)	0,002–16 (hiekk)
Optimivesipitoisuus [%]		20–50	16–24
Maksimikuivairtotehiys [kg/m ³]		1100–1400	1000–1500
Märkäirtotehiys tiivistettynä [kg/m ³]		1300–1500	1250–1800
Kitkakulma [°]	lujittumaton	28–36	39–53
	lujittunut	49–77	
Koheesio [kPa]	lujittumaton	23–47	10–30
	lujittunut	64–490	
Vedenläpäisevyys [m/s]	lujittumaton	10 ⁻⁷ –10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ –10 ⁻⁵
	lujittunut	10 ⁻⁸ –10 ⁻⁶	
Hehkutushäviö [%]		1–15	-
Lämmönjohtavuus [W/mK]	sula	0,4–0,6	0,9
	jäätynyt	0,8	
Segregaatiopotentiaali [mm ² /Kh]		0,05–5	<0,2

Rakeisuus

Lentotuhkan rakeisuus vaihtelee geoteknisen maalajiluokituksen mukaan siltin ja hiekkaisen siltin välillä (Kuva 3.1). Hienoaineksen ($d \leq 0,06$) määrä on 65–90 %. Keskimääräinen raekoko d_{50} on noin 0,02–0,05 mm. Tuoreet tuhkat sijoittuvat yleisimmin jakauman vasempaan reunaan eli ne sisältävät selkeästi enemmän hienoainesta. Kasavarastoituna rakeisuusjakauma muuttuu vähitellen karkeampaan suuntaan. Pitkään tiivistettynä olleet kasavarastoidut tuhkat ovat voineet muodostaa suhteellisen suuriakin kokkareita, jotka useimmiten saadaan hienonnettua mekaanisen käsittelyn, kuten aumasekoituksen avulla.

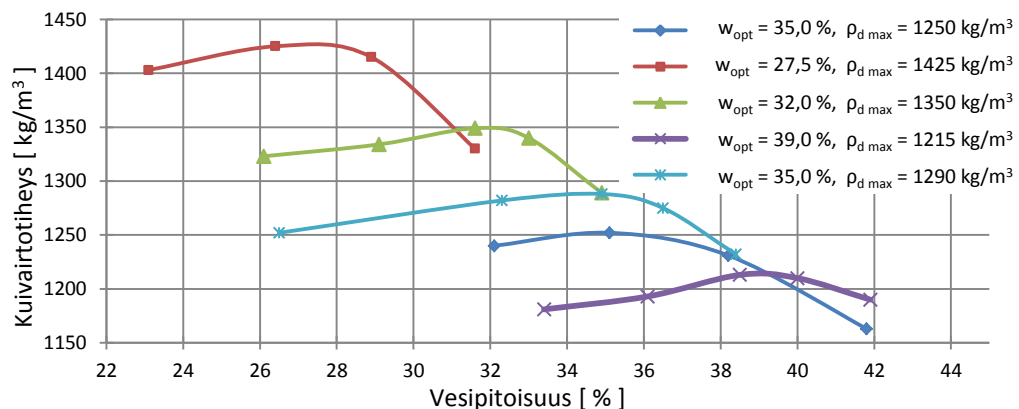
Pohjatuhkan rakeisuus vaihtelee geoteknisen maalajiluokituksen mukaan hienon hiekan ja hienon soran välillä (Kuva 3.1).



Kuva 3.1 Tuhkien rakeisuuksien tyypilliset vaihtelualueet. Alueelle 1 sijoittuvat maainekset luokitellaan routiviksi. Hyvin lujittuvat lentotuhkat ovat routivuuteen viittaavasta rakeisuudestaan huolimatta usein routimattomia. Alueiden 2–4 materiaalit ovat routimattomia, mikäli käyrät eivät leikkaa vasemmanpuoleista rajakäyrää. Pohjatuhkat sijoittuvat kuitenkin useimmiten kokonaan alueille 3 tai 4.

Optimivesipitoisuus

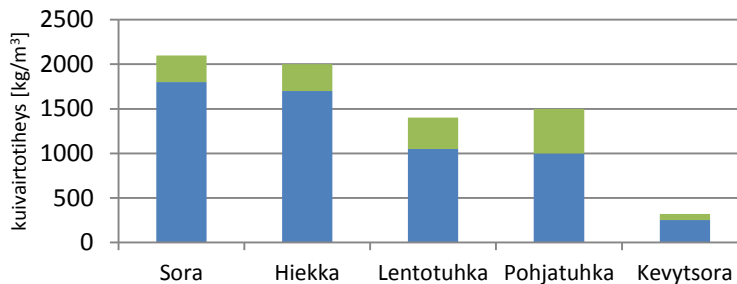
Materiaalin optimivesipitoisuudella tarkoitetaan vesipitoisuutta, jossa materiaali saavuttaa suurimman kuivatilavuuspainon. Tuhkien optimivesipitoisuudet ovat verrattain korkeita, ollen lentotuhkilla 20–50 % ja pohjatuhkilla 16–24 %. Lentotuhkien optimivesipitoisuus vaihtelee merkittävästi tuhkan iän ja polttoprosessissa käytetyn polttoaineen mukaan, minkä vuoksi sen tarkistaminen on aina suositeltavaa ennen rakentamista (Kuva 3.2). Yleisesti ottaen tuoreiden tuhkien optimivesipitoisuus on pienempi kuin vanhojen kasavarastoitujen tuhkien. Vastaavasti myös kivihiilituhkien optimivesipitoisuus on yleensä pienempi kuin seospolttoeräisten tuhkien.



Kuva 3.2 Erään voimalaitoksen lentotuhkalle eri vuodenaikoina tehtyjen optimivesipitoisuus- ja maksimikuivairtoitehuuomien tulokset. Kaikki näytteet on otettu yhden vuoden sisällä.

Tiheys

Tuhat ovat korkeasta huokoisuudestaan johtuen tiheydeltään kiviaineksia kevyempiä. Lentotuhkilla korkea optimivesipitoisuus rakenteessa tosin tasoittaa käytännössä tätä eroa. Yleisesti kuitenkin raskaammilla ja karkeammilla lentotuhkilla optimivesipitoisuus on pienempi kuin kevyemmillä ja hienorakeisilla lentotuhkilla. Kuljetuksen aikana lentotuhka painaa keskimäärin 800–1100 kg/m³. Alla olevassa kuvassa on vertailtu eri maarakentamiseen soveltuvien materiaalien kuivairtotiheyksiä.



Kuva 3.3 Eri rakentamiseen soveltuvien materiaalien kuivairtotiheyksiä. Vihreä väri kuvaa arvojen vaihteluväliä.

Kitkakulma ja koheesio

Lentotuhka vastaa välimalajeja, joiden leikkauslujuus muodostuu koheesiosta ja kitkasta. Kitkakulman ja koheesioarvot muuttuvat lentotuhkan lujittumisen myötä. Pohjatuhka vastaa hiekkamaisen rakeisuutensa vuoksi kitkamaalajeja.

Vedenläpäisevyys

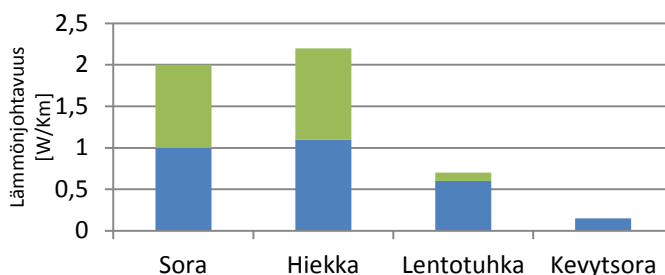
Tiivistetyillä lentotuhkilla vedenläpäisevyys on tyypillisesti 10⁻⁸–10⁻⁷ m/s. Pienehkö vedenläpäisevyys on huomioitava erityisesti tierakentamiskohteilla, joita ei päällystetä. Jos lentotuhkakerroksen pintaa ei muotoilla tarpeeksi kaltevaksi, vesi voi kerääntyä tuhkakerroksen päälle, mistä seuraa pintakelirikon riski tai mahdollisesti tuhkakerroksen pehmenemistä. Pohjatuhkan vedenläpäisevyys ja kapillaarisuus vastaavat yleensä rakeisuudeltaan samanlaisen luonnonmaamateriaalin tyypillisiä arvoja.

Hehikutushäviö

Palamattoman aineksen osuus lentotuhkassa eli hiilijännös vaikuttaa tuhkan lujittumiseen. Palamattoman aineksen pitoisuuden (hehikutushäviö) tulisi tuhkissa olla mahdollisimman alhainen. Hehikutushäviön voidaan sanoa olevan maarakentamisen kannalta alhainen, mikäli se on < 5 % ja korkea, kun se on >10 %.

Lämmönjohtavuus

Materiaalin lämmönjohtavuus on routamitoituksessa tarvittava ominaisuus. Lämmönjohtavuuteen vaikuttavat materiaalin ominaisuuksien ohella sen vesipitoisuus ja lämpötila. Tuhkien lämmönjohtavuudet ovat suuremman huokostilan vuoksi rakeisuudeltaan vastaavia kiviaineksia alhaisempia. Vedellä kylläisessä tilassa tuhkan lämmönjohtavuudet nousevat hieman korkeammalle tasolle. Alla olevassa kuvassa on vertailtu eri luonnonmateriaalien lämmönjohtavuutta lentotuhkan ja kevytsoran lämmönjohtavuuksiin.



Kuva 3.4 Eri rakentamiseen soveltuvien materiaalien lämmönjohtavuuksia. Vihreä väri kuvaa arvojen vaihteluväliä.

Routivuus

Lentotuhkat sijoittuvat rakeisuutensa perusteella voimakkaasti routivalle alueelle (Kuva 3.1), mutta lujittumiskyvyn vuoksi lentotuhkien segregatiopotentiaali jää useimmiten vastaavalla rakeisuusalueella esiintyviä silttejä huomattavasti alhaisemmaksi. Tuhkien routivuutta arvioidaan routanousukokeella määritetyn segregatiopotentiaalin arvon perusteella. Hyvin lujittuvat ja jäätymis-sulamissyklejä kestävät lentotuhkat sijoittuvat lähes poikkeuksetta routivuusluokituksessa luokkaan routimaton (Taulukko 3.2). Heikommin lujittuvat ja huonosti jäätymis-sulamissyklejä kestävät tuhkat luokitellaan useimmiten lievästi routivaan tai routivaan luokkaan.

Routivuuden arvioinnissa kannattaa käyttää apuna myös jäätymis-sulamistestausta, sillä routimattomaksi luokiteltu lentotuhka voi jäätymis-sulamissykliä seurauksena heiketä siten, että se muuttuu routivaksi. Tuhkarakenteen pitkäaikaiskestävyys edellyttää routimatonta ja hyvin jäätymis-sulamissyklejä kestävää rakennetta. Routiessaan lujittunut tuhka halkeilee ja sen ominaisuudet vähitellen heikkenevät (Kuva 3.5). Routivuusluokitusta ja jäätymis-sulamiskestävyyttä voidaan kuitenkin parantaa sideainelisäyksellä.

Taulukko 3.2 Segregatiopotentiaaliin perustuva routivuusluokitus (Konrad 1980)

Segregatiopotentiaali [mm ² /Kh]	Routivuusluokitus
<0,18	routimaton
0,18–0,72	lievästi routiva
0,72–3,6	routiva
3,6–7,2	voimakkaasti routiva
7,2–18	erittäin voimakkaasti routiva
>18	äärimmäisen voimakkaasti routiva



Kuva 3.5 Koekappaleita routanousukokeen jälkeen. Vasemmalla on voimakkaasti routinut, jäälinssejä muodostanut koekappale, ja oikealla routimaton koekappale. (Kuvat: Tero Jokinen, Ramboll)

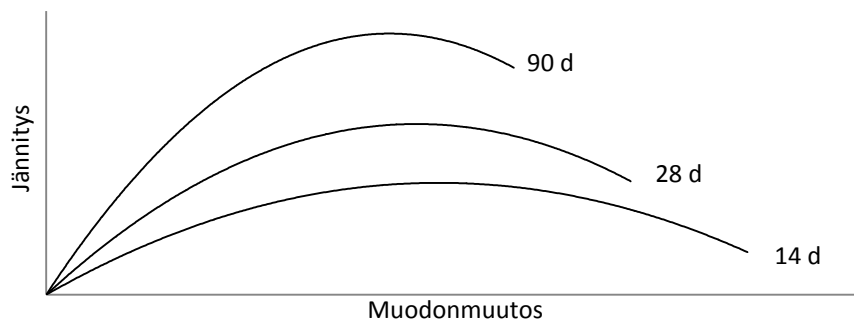
3.2 Lujittumisominaisuudet

Lujittumisominaisuudet kuvaavat materiaalin kykyä lujittua, kun sitä kostutetaan ja tiivistetään. Pohjatuhkilla lujittumisominaisuudet ovat yleensä melko vähäisiä, kun taas lentotuhkilla lujittumisominaisuuksilla on merkittävä vaikutus materiaalin geoteknisiin indeksiominaisuuksiin ja lopulta lopputuotteen tekniseen laatuun.

Lujittuvuusominaisuuksien selvittämiseksi tuhkamateriaalista valmistetaan koekappaleet, joista määritetään yksiaksiaalinen puristuslujuus sekä muodonmuutosmoduuli halutun lujittumisajan jälkeen (yleensä 28 d ja 90 d). Puristuslujuuden ja moduulin perusteella voidaan arvioida lentotuhkasta rakennettavan rakenteen kantavuusominaisuuksia

Aktiivisen kalkin (CaO) pitoisuuden on todettu vaikuttavan merkittävästi tuhkan lujittuvuuteen. Mitä korkeampi pitoisuus on, sitä korkeampi lujuustaso keskimäärin saavutetaan. Erityisesti sideainekäytössä korkea aktiivisen kalkin pitoisuus on hyvin hyödynnettävissä. Ulkoisia lujittumiseen olennaisesti vaikuttavia tekijöitä ovat oikea tiivistyshetken vesipitoisuus, toteutunut tiiveysaste sekä lujittumislämpötila ja -aika. Lujittumisominaisuuksia voidaan vahvistaa lisäämällä lentotuhkan sekaan kaupallista sideainetta.

Yksiaksiaalisen puristuskokeen jännitys-muodonmuutoskuvaajasta määritetään materiaalin 50 % jännitystä vastaava muodonmuutosmoduuli (E_{50} -moduuli). Aikalujittumisen myötä jännitys-muodonmuutoskuvaajan muoto yleensä muuttuu siten, että saavutettava puristuslujuus kasvaa ja murtotilan suhteellinen muodonmuutos pienenee, jolloin myös E_{50} -moduuli kasvaa (Kuva 3.6).



Kuva 3.6 Periaate yksiaksiaalisen puristuslujuuskokeen jännitys-muodonmuutoskäyrien muuttumisesta eripituisten lujittumisaikojen jälkeen.

3.3 Tuhkien luokittelun periaatteet

Massiivirakenteiden osalta tuhkat jaotellaan teknisten ominaisuuksiensa perusteella kuuteen käyttöluokkaan – lentotuhkat neljään ja pohjatuhkat kahteen käyttöluokkaan (Taulukko 3.3). Tuhka voidaan luokitella käyttöluokkaan vain jos se on todettu ensin täyttävän asetetut ympäristövaatimukset. Lentotuhkan käyttöluokkaa voi korottaa jalostamalla sitä kaupallisella sideaineella (Kuva 3.7). Sideainemaisesti käytettävän lentotuhkan sekä tuhkaseosmateriaalien soveltuvuus tulee testata tai arvioida tapauskohtaisesti.

Käyttöluokat määräävät tuhkien soveltuvuuden eri käyttötarkoituksiin (Taulukko 3.4). LT1 ja LT2 -luokkien lentotuhkat sekä PT1-luokan pohjatuhka soveltuvat hyvin tie-, katu- ja kenttäkohteilla päällysrakennekäyttöön. Päällysrakennekäyttöä on käsitelty tarkemmin luvussa 6 *Tuhkat päällysrakenteissa*. Routivuus tai väärä rakeisuus käytännössä rajaavat jalostamattomat LT3 ja LT4 -luokkien lentotuhkat sekä PT2-luokan pohjatuhkan ulos päällysrakennekäytöstä, mutta niitä voidaan käyttää soveltuvissa kohteissa pengeri- ja täyttötarkoituksiin. Edellä mainittuja käyttösovelluksia on käsitelty tarkemmin luvussa 7 *Penger-, täyttö- ja ympäristörakennesovellukset*.

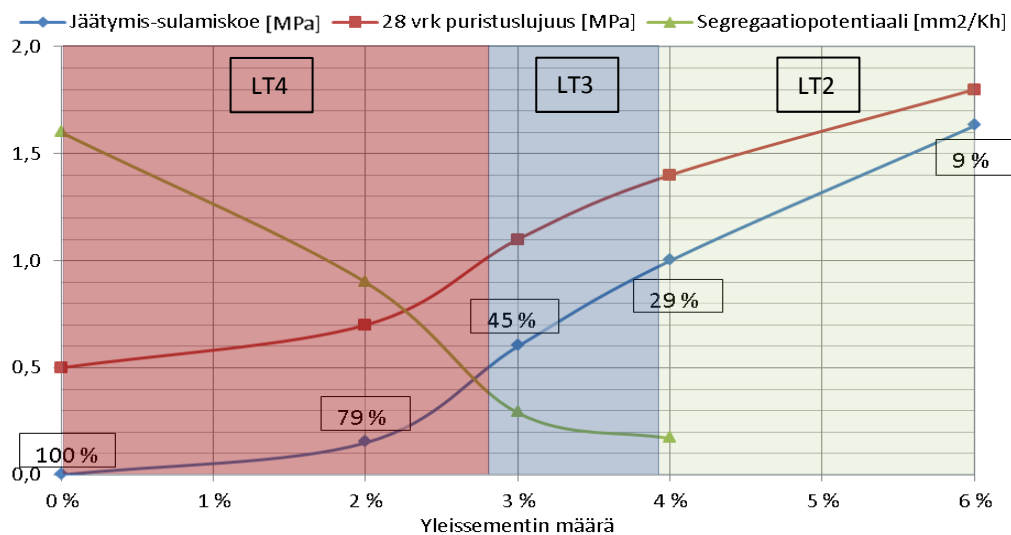
Taulukko 3.3 Tuhkien tekniset vaatimukset käyttöluokittain.

Käyttöluokka		1-aks. puristuslujuus, 28 d [MPa]	JS-kokeen muutos *	Routivuusluokitus	Lujittuminen	Rakeisuus
LT1	Lentotuhka	2	<20 %	Routimaton	Kyllä	
LT2		1	<30 %	Routimaton	Kyllä	
LT3		0,5	<50 %	Lievästi routiva	Kyllä	
LT4		-	-	Routiva		
PT1	Pohjatuhka			Routimaton	Ei	InfraRYL suod. hk
PT2				Routimaton	Ei	

* Jäätymis-sulamiskokeen jälkeinen muutos 1-aksiaalisessa puristuslujuudessa

Taulukko 3.4 Tuhkien soveltuvuus eri käyttökohteet käyttöluokittain.

Käyttöluokka	Käyttökohte	Huomioitavaa
LT1	kantavan kerroksen alaosa, jakava kerros	päällysteen alle murskekerros
LT2	jakava kerros, suodatinkerros	
LT3	suodatinkerros, pengeri	Routivuus huomioitava käyttökohteen valinnassa
LT4	pengeri, täytöt, putkikaivantojen arinat ja täytöt	Tuhkien korroosio-ominaisuudet huomioitava
PT1	suodatinkerros	
PT2	pengeri, täytöt	



Kuva 3.7 Esimerkki erään lentotuhkan jalostamisesta sementillä. Lentotuhkan käyttöluokka on korotettu käyttöluokasta LT4 käyttöluokkaan LT2. '28 vrk' puristuslujuus tarkoittaa 28 d lujittumisen jälkeen koestettua näytettä, 'Jäätymis-sulamiskoe' tarkoittaa, että näyte on testattu jäätymis-sulamiskokeella 28 d lujittumisen jälkeen ja 'Segregaatiopotentiaali' kuvaa routivuutta.

4 Tuhkaseosmateriaalit

Maarakentamisessa voidaan käyttää tuhkien lisänä muita teollisuuden sivutuotteita, kuten esimerkiksi kipsiä, rikinpoistotuotetta, kuonaa, rikastushiekkaa ja kuitusavea. Sivutuotteita voidaan käyttää yksinään tai yhdessä tuhkan kanssa seosmateriaaleina, jotka parantavat tuhkan ominaisuuksia rakenteessa. Seuraavissa kappaleissa on esitelty muutamia sivutuotteita ja miten niiden avulla voidaan yhdistellä eri materiaalien ominaisuuksia. Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin fosfokipsin, rikastushiekan ja kuitusaven käyttöön yhdessä tuhkan kanssa maarakentamisessa.

4.1 Fosfokipsi

Suomessa merkittävin teollisuuden laitoksista tuleva sivutuotekipsi on Yara Suomi Oy:n fosforihapon tuotannossa muodostuva fosfokipsi. Fosfokipsiä muodostuu noin 1,6 miljoonaa tonnia vuodessa. Sitä muodostuu, kun apatiitin trikalsiumfosfaatti reagoi rikkihapon kanssa muodostaen fosforihappoa ja dihydraattikipsiä.

Fosfokipsi erotetaan reaktion varsinaisesta tuotteesta fosforihaposta pesemällä ja suodattamalla. Valmistusprosessista sivutuotteena saadaan kosteaa fosfokipsiä. Fosfokipsiä on olemassa kahta eri muotoa, dihydraattikipsiä $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ja hemihydraattikipsiä $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Hemihydraattikipsissä on vähemmän kidevettä kuin dihydraattikipsissä ja sitä syntyy korkeammassa lämpötiloissa.

Fosfokipsi koostuu pääasiassa kidevedellisestä kalsiumsulfaatista. Fosfokipsissä on suhteellisen vähän haitta-aineita. Fosforin, fluoridin ja rikin pitoisuudet voivat olla korkeampia, mutta silti pääosin alle päällystetyn rakenteen raja-arvojen. Taulukossa 4.1 on esitetty fosfokipsin teknisiä ominaisuuksia. Taulukossa esitetyt ominaisuudet ovat lähinnä viitteellisiä, sillä fosfokipsi sopii maarakentamistarkoitukseen vain seostettuna tai sideainemaisesti käytettynä.

Taulukko 4.1 Fosfokipsin teknisiä ominaisuuksia. (Koostettu Rambollin aineistoista)

Ominaisuus	Fosfokipsi
Raekoko	0,5–1,0 mm (siltti, silttinen hiekka)
Optimivesipitoisuus	15–20 %
Maksimikuivatiheys	1470–1670 kg/m ³
Vedenläpäisevyys	10 ⁻⁵ –10 ⁻⁴ m/s

Fosfokipsi soveltuu hyvin yhdessä tuhkan ja kaupallisten sideaineiden kanssa sideaineena stabiloinnissa. Fosfokipsin avulla on saatu useissa tapauksissa alennettua kaupallisen sideaineen määrää verrattuna pelkkään lentotuhkalisäykseen. Fosfokipsillä voidaan sideainemaisena käytettynä parantaa useissa tapauksissa rakenteen pitkäaikaislujittumista. Lentotuhkasta ja fosfokipsistä on myös rakennettu massiivirakenteita, joissa kipsin lisäyksellä on saavutettu lisälujuutta. Tyyppirakennatarkaisu on esitetty liitteessä 3.

4.2 Rikastushiekka

Nordkalk Oy:n Lappeenrannan kaivoksella syntyy vuosittain 100 000 tonnia rikastushiekkaa kalsiitin rikastuksessa. Rikastushiekka soveltuu käytettäväksi tie- ja katurakenteissa sellaiseen tai runkoaineena yhdessä sitovien materiaalien kanssa.

Kalsiitin rikastushiekan raekoko vastaa hienoa hiekkaa ja sen keskimääräinen raekoko on 0,12 mm. Rikastushiekka on väriltään vaaleaa ja rakeet ovat epäsäännöllisen muotoisia ja särmikkäitä. Kalsiitin rikastuksessa syntyvä rikastushiekka koostuu kalsiitista (CaCO_3), wollas-

Tuhkarakentamisen käsikirja

toniitista (CaSiO_3), dolomiitista ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$) ja silikaattisista mineraaleista (SiO_2 , $\text{CaMg-Si}_2\text{O}_6$).

Rikastushiekka ei sisällä merkittäviä määriä ympäristölle haitallisia aineita tai yhdisteitä. Nordkalk Oy onkin saanut ympäristöluvan käyttää rikastushiekkaa muualla, kuin tärkeillä tai vedenhankintaan sopivilla pohjavesialueilla. Taulukossa 4.2 on esitetty rikastushiekan teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4.2 Rikastushiekan ominaisuuksia. (Nordkalk Oy, 2010)

Ominaisuus	Rikastushiekka
Rakeisuus	0–0,5 mm (hiekkä)
Vedenläpäisevyys	10^{-5} – 10^{-4} m/s
Ominaispaino	2,8 t/m ³
Kitkakulma	44–45°
Maksimikuivatilavuuspaino	17,6 kN/m ³
CBR-arvo	42–51 %
Optimivesipitoisuus	13 %
Lämmönjohtavuus	1,1–1,5 W/Km
Kapillaarisuus	<0,9 m
Segregaatiopotentiaali	<0,2 mm ² /Kh (routimaton)

Rikastushiekka käyttäytyy tiivistettäessä saman raekoon (0–0,5 mm) omaavan luonnonhiekan tapaan. Nordkalk FS suodatinhiekkä on luonnonhiekkää paremman raemuotonsa ja kitkakulman ansiosta helppo käsitellä ja tiivistää. Rikastushiekka sopii rakeisuutensa perusteella suodatinkerroskäyttöön. Tyypirakennratkaisu on esitetty liitteessä 3.

4.3 Kuitusavi

Kuitusavi on paperitehtaan jäteveden käsittelystä saatavaa primäärilietettä, joka sisältää kuituja sekä täyte- ja päällystyspigmenttien seosta. Kuitusavea saadaan myös uusiomassan valmistuksessa syntyvästä siistausjätteestä. Siistausjäte sisältää uusiopaperin valmistukseen käytettävään massaan soveltumatonta kuitumateriaalia, painovärejä ja paperin täyteainetta eli kaoliinisavea. Kuitu- ja siistauslietteitä syntyy Suomessa vuosittain noin 0,4 miljoonaa tonnia.

Kuitusavea ja lentotuhkaa sekoitettaessa saadaan kuitutuhkaa, joka on tierakentamiseen hyvin sopivaa tuotetta. Kuitutuhka on kevyt, routaa eristävä materiaali, jota on helppo käsitellä ja joka kestää hyvin muodonmuutosta. Kuitusaven vedenläpäisevyys kasvaa tuhkan lisäämisen johdosta, mutta se on edelleen alhainen. Yleensä kuitutuhka hyödynnetään stabiloituna, ja seosaineita käyttäen voidaan vaikuttaa mm. materiaalin routakäyttäytymiseen. Kuitutuhkarakenne sijoitetaan yleensä tien jakavaan kerrokseen. Tuhkan ja kuitusaven seossuhteet vaihtelevat 1:2–2:1 välillä. Taulukossa 4.3 on esitetty kuitusaven teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4.3 Kuitusaven ominaisuuksia. (Mäkelä, Höynälä 2000)

Ominaisuus	Kuitusavi
Vedenläpäisevyys	10^{-9} – $5 \cdot 10^{-8}$ m/s
Kuivairtoiheys	360–700 kg/m ³

Muuttamalla kuitusaven ja lentotuhkan osuuksia voidaan materiaalin ominaisuuksia muuttaa. Lentotuhkan osuutta kasvattamalla voidaan parantaa rakenteen lujuutta ja jäykkyyttä. Kuitusaven osuutta lisäämällä saadaan puolestaan materiaalille hyvä muodonmuutoskestävyys. Kuitusavi sisältää orgaanista ainesta, jonka vuoksi siitä liukenee orgaanista hiiltä, joka huomioitava sen hyötykäytössä. Tyypirakennratkaisu on esitetty liitteessä 3.

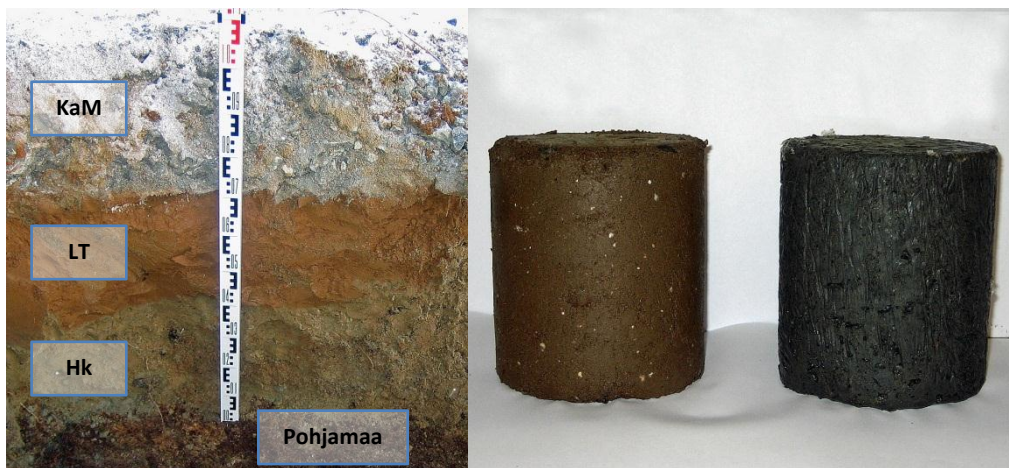
B-osa: Sovellukset

5 Tuhkien ja muiden sivutuotteiden käyttö maarakentamisessa

Tuhkia voidaan käyttää maarakentamisessa sellaisenaan, tiivistettynä, seostettuna toisen sivutuotteen kanssa tai sideainemaisesti. Tässä luvussa on esitelty erilaisia tuhkan käyttösovelluksia yleisellä tasolla. Eri käyttömenetelmiin liittyvät erityispiirteet on käsitelty omissa luvuisaan.

5.1 Massiiviset lentotuhkarakenteet

Massiivisilla lentotuhkarakenteilla tarkoitetaan pelkästään lentotuhkaa sekä tarvittaessa lujittavalla sideaineella stabiloitua lentotuhkaa sisältäviä kerrosrakenteita (Kuva 5.1).



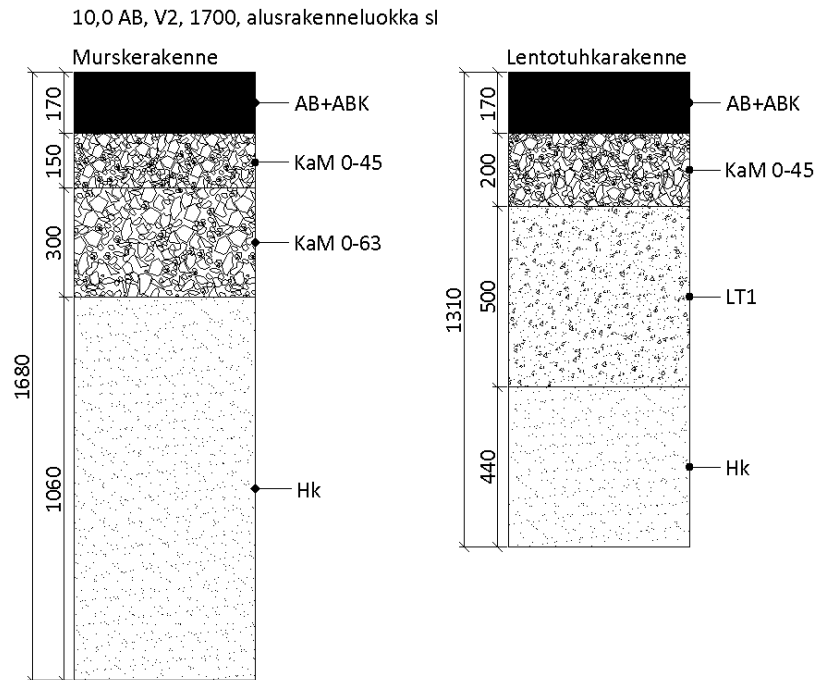
Kuva 5.1 Vasen: Seospolton lentotuhkasta rakennettu jakava kerros. Oikea: Seospolton lentotuhkasta (vas.) ja kivihiilenpolton lentotuhkasta (oik.) valmistetut puristuslujuuskoekappaleet jäätymis-sulamistestauksen jälkeen. (Kuvat: Tero Jokinen, Ramboll)

Massiivisten lentotuhkarakenteiden käyttö on teknisesti mahdollista uusien tie-, katu- ja kenttärakenteiden kerroksissa pengertäytöistä kantavan kerroksen alaosaan. Kaikki lentotuhkat eivät kuitenkaan sovellu suoraan käytettäväksi kaikkiin edellä mainittuihin käyttötarkoituksiin, sillä lentotuhkien tekniset ominaisuudet vaihtelevat polttoaineista, polttoprosessista ja tuhkan varastoinnista sekä käsittelystä riippuen. Tuhkille on tässä laadittu tekninen käyttöluokitusjärjestelmä, jonka perusteella voidaan määrittää eri tuhkien sopivuus erilaisiin rakenteisiin. Tuhkien tekninen käyttöluokitusjärjestelmä ja niiden teknisten ominaisuuksien ominaisarvoja on käsitelty luvussa 3.3 *Tuhkien luokittelu*.

Massiivisten tuhkarakenteiden selkeimmät edut tavanomaisiin rakenteisiin verrattuna ovat niiden

- lämmöneristävyys,
- kantavuus,
- keveys sekä
- luonnonvaroja säästävä vaikutus.

Massiivisilla tuhkarakenteilla on mahdollista rakentaa kestäviä rakenteita tavanomaisia rakenneratkaisuja ohuemmalla kokonaisrakennepaksuudella, mikä korostuu erityisesti routivan pohjamaan päälle rakennettaessa (Kuva 5.2). Ohuemman kokonaispaksuuden myötä tarvittavan maaleikkauksen tarve vähenee ja neitseellistä kiviainesta tarvitaan selvästi vähemmän.



Kuva 5.2 Esimerkki vastaaville vaatimuksille mitoitetuista kiviaines- ja lentotuhkarakenteista. Mitoituksessa on käytetty lentotuhkalle tässä ohjeessa esitettyjä parametreja. Luonnon kiviaineksa tarvitaan lentotuhkarakenteessa lähes 60 % vähemmän, ja rakenteen kokonaispaksuus pienenee noin 20 %.

Päällysrakenteen yläosaan rakennettavat lentotuhkakerrokset voivat vaatia stabilointia sementin tai muiden sideaineiden tai näiden seosten avulla, jotta tarvittava laatutaso saavutetaan. Sementin, tai muun sideaineen lisäys parantaa lentotuhkakerroksen kantavuutta sekä erityisesti rakenteen pitkäaikaiskestävyyttä. Stabilointi voi olla myös välttämätöntä, jos lentotuhka on routivaa. InfraRYL-määräyskokoelman mukaan routivia materiaaleja ei saa käyttää tien päällysrakenteissa.

Jakavaan kerrokseen ja suodatinkerrokseen massiivinen lentotuhkakerros voidaan rakentaa usein ilman sideaineita, jolloin lentotuhkan käsittelyksi riittää pelkkä kostutus optimivesipitoisuuden sekä huolellinen tiivistystyö. Suodatinkerroksessa tuhkaa voidaan käyttää kuivilla pohjamailla. Kosteilla ja pehmeillä pohjamailla on rakennettava kapillaarisen vedennousun katkaiseva suodatinkerros lentotuhkarakenteen alle.

Massiiviset lentotuhkarakenteet rakennetaan lähes vastaavalla tavalla kuin tavanomaiset luonnon kiviainekista tehdyt tie- ja kenttärakenteet (*luku 13.3 Työmenetelmät ja toteutus*). Lentotuhka eroaa tosin materiaalina tyypillisistä rakentamiseen käytetyistä luonnon kiviainekista selvästi korkeamman optimivesipitoisuutensa ja suuremman tiivistyvyytensä puolesta. Mikäli tuhkaan sekoitetaan sideainetta, se voidaan lisätä joko työmaalla jyrseinsekoittamalla tai ennen levittämistä auma- tai asemasekoituksella (*luku 12.3 Sekoitusmenetelmät*).

5.2 Pohjatuhkakerrosrakenteet

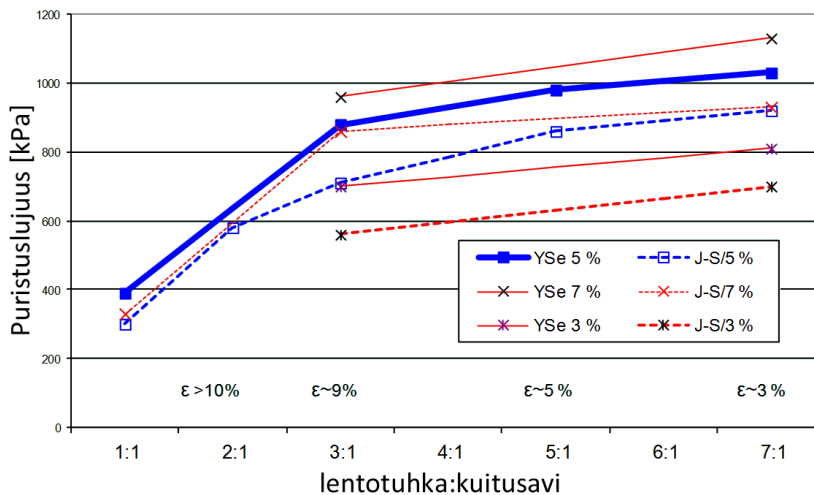
Rakeisuudeltaan ja ympäristöllisiltä ominaisuuksiltaan sopivaa pohjatuhkaa voidaan käyttää kuten hiekkaa tien päällysrakenteiden ja kenttärakenteiden suodatinkerroksessa sekä pengeri- ja muissa täytöissä. Hiekkarakenteisiin verrattuna pohjatuhkakerrosrakenteiden etuna ovat

- hyvä lämmöneristävyys,
- keveys sekä
- luonnonvaroja säästävä vaikutus.

5.3 Rakenteet tuhkaseosmateriaaleista

Tuhkaseosrakenteiden osalta lähtökohtana on pyrkimys yhdistää eri materiaaleja hallitusti siten, että pystytään mahdollisimman tehokkaasti hyödyntämään käytettävien osakomponenttien hyviä ominaisuuksia ja samalla pienentämään hyödynnettävien lähtömateriaalien ei-toivottujen ominaisuuksien vaikutusta. Seosrakenteet ovatkin aina tietynlainen kompromissi niissä käytettyjen komponenttien ominaisuuksista eikä materiaalien seostaminen yleensä johda laadun paranemiseen kaikkien yksittäisten ominaisuuksien osalta vaan materiaaleja sopivasti yhdistellen pyritään lopputulokseen, joka on käyttökohdetta kokonaisuutena ajatellen laadultaan ja ominaisuuksiltaan parempi tai sopivampi kuin yksittäisiä materiaaleja käytettäessä. Seosratkaisujen etuna on erityisesti lopputuloksen laadun säätelymahdollisuus hyödyntämiskohteen ja tarpeiden mukaan osakomponenttien laatua ja käyttömääriä varioimalla.

Hyvänä esimerkkinä tältä osin toimivat erilaiset lentotuhka-kuitusaviseokset, joissa pyritään hyödyntämään tuhkan lujuutta ja kuormituskestävyyttä, mutta samalla tuomaan kuitusaven avulla ratkaisuun mukaan myös muodonmuutoskestävyyttä ja joustavuutta, mikä ei pelkkää tuhkaa käyttäen ole mahdollista. Mainittujen komponenttien keskinäistä seossuhdetta tai stabiloinnissa käytettävän sideaineen määrää varioimalla voidaan vaikuttaa huomattavasti saavutettaviin ominaisuuksiin ja räätälöidä kunkin kohteen asettamien vaatimusten mukainen seosratkaisu (Kuva 5.3).



Kuva 5.3 Eri lentotuhka-kuitusavi-seossuhteilla saavutettuja puristuslujuuksia.

Tyypillisimpiä lentotuhkan kanssa seosrakenteissa hyödynnettäviä materiaalityyppejä ovat kuitusavet, kipsit ja rikastushiekat (*luku 4 Tuhkaseosmateriaalit*). Lisäksi tuhkaa on mahdollista käyttää betonimurskeen sekä erilaisten käsiteltävyydeltään hankalien materiaalien kuten soodasakan, pastajätteen sekä meesasakan ominaisuuksien parantamiseen. Viimeksi mainituissa tapauksissa kyse on kuitenkin jo enemmän lentotuhkan side- ja täyteainemaisesta käytöstä kuin varsinaisista tuhkaseosratkaisuksista.

Ominaisuuksia, joita seosratkaisujen käytöllä pyritään tyypillisimmin tuomaan esiin tai muokkaamaan ovat mm. muodonmuutoskäyttäytyminen, routakestävyys, lämmöneristyskyky sekä vedenläpäisyominaisuudet. Seosratkaisuja hyödynnetään myös kevennysratkaisuissa ja niitä käyttäen on saatujen kokemusten perusteella mahdollista vaikuttaa materiaalien liukoisuusominaisuuksiin.

Tuhkaseosmateriaalien käyttö ei eroa ratkaisevasti edellä käsitellyistä massiivituhrakenteista. Suurin käytännön ero liittyy materiaalien sekoittamiseen, jonka yhteydessä kahden tai useamman runkoainekomponentin käsittely ja tarpeeksi homogeenisen lopputuloksen varmistaminen asettavat työn toteutukselle ja laitteistolle jonkin verran pelkän tuhkan käyttöä enemmän haasteita.

Tuhkaseosmateriaalien käyttö erityyppisissä rakennesovelluksissa perustuu täysin rakenteelle asetettavien laatuvaatimusten ja räätälöityjä seosratkaisuja käyttäen saavutettavien ominaisuuksien tapauskohtaisesti tapahtuvaan yhteensovittamiseen. Käyttö on materiaaliratkaisusta ja kohteen vaatimuksista riippuen mahdollista täyttö- ja pengerrakenteista aina kantavaan kerrokseen saakka.

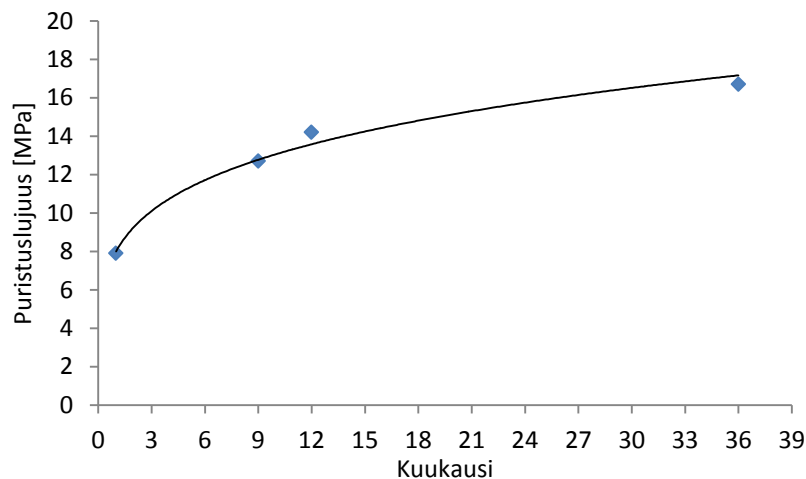
5.4 Tuhkapohjaiset sideaineseokset stabilointiin

Lujittuvaa, kuivana varastoitua lentotuhkaa voidaan käyttää erilaisten stabilointimenetelmien sideaineseoksessa joko sellaisenaan tai kaupallisten sideaineiden tai muiden sivutuotteiden kanssa. Tässä ohjeessa stabilointimenetelmät on jaoteltu lentotuhkan käytön osalta

- pehmeiden maa-ainesten stabilointiin (massa- ja syvästabilointi),
- tien ja kentän päällysrakenteen kantavan kerroksen stabilointiin (kerrosstabilointi),
- huonolaatuisen maa-aineksen ja sedimentin stabilointiin (auma-, massa- tai prosessi-stabilointi) sekä
- pilaantuneiden maiden stabilointiin.

Lentotuhkan käyttö stabilointien sideaineena on suositeltavaa, koska

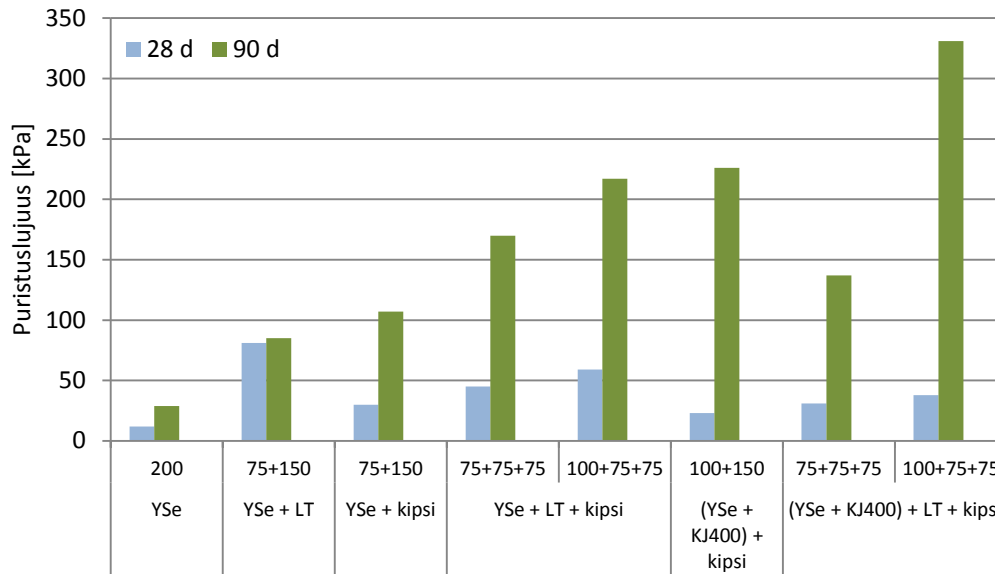
- sen avulla on mahdollista säästää sideainekustannuksissa, ja
- lentotuhkan on todettu parantavan stabiloitujen rakenteiden pitkän ajan lujuuskehitystä (Kuva 5.4) ja jäätymis-sulamisrasituksen kestävyttä.



Kuva 5.4 Kerrosstabilointikohteen lujuuden kehitys esimerkikohteessa poratuista näyteistä 3 vuoden aikana. Sideaineena on käytetty lentotuhkaa, kipsiä ja sementtiä.

Lentotuhkapohjaisissa sideaineseoksissa voidaan käyttää myös muita teollisuuden sivutuotteita tai jätemateriaaleja, kuten fosfokipsiä, rikinpoistotuotetta ja masuunikuonaa. Muilla sivutuotteilla voidaan tyypillisesti vahvistaa sideaineseoksella saavutettavaa lujuutta tai vastavasti vähentää tarvittavaa sideaineiden kokonaismäärää, mikä korostuu erityisesti isommissa kohteissa, joissa esimerkiksi lentotuhkan saatavuus voi olla rajattua (Kuva 5.5).

Sideaineseokset on tutkittava tapauskohtaisesti, sillä lentotuhkien ja stabiloitavien massojen laadut vaihtelevat merkittävästi. On suositeltavaa testata myös muiden sivutuotteiden soveltuvuus, mikäli niitä on saatavilla tai on odotettavissa, että niiden avulla saavutetaan merkittävä lisähyötyä.



Kuva 5.5 Erään ruoppausmassan stabilointi eri sideaineilla. Sivutuotteiden käytöllä on saavutettu selvästi korkeampia puristuslujuuksia kuin pelkällä kaupallisella sideaineella.

Pehmeiden- ja pilaantuneiden maiden stabilointi

Pehmeitä massoja, kuten turvetta tai ruoppausmassoja voidaan stabiloida hyötykäyttöön sopiviksi materiaaleiksi.

Stabiloinnin avulla voidaan

- lisätä pehmeän massan lujuutta ja jäykkyyttä,
- kunnostaa pilaantuneita maa-aineksia,
- helpottaa kaivua sekä
- vähentää massojen poiskuljetusta ja kiviainesten käyttöä.

Stabilointi on usein edullisempi vaihtoehto verrattuna esimerkiksi paalutukseen tai perinteiseen massanvaihtoon. Lentotuhkaa voidaan käyttää stabilointisovelluksissa sideainekomponenttina. Soveltuvia menetelmiä runkoaineesta riippuen ovat esimerkiksi massasyvästabilointi kohteella tai poiskaivetun materiaalin aumasekoitus tai prosessistabilointi.

Pilaantuneiden maiden stabilointimenetelmällä tarkoitetaan pilaantuneiden massojen kiinteyttämistä ja siten massasta tapahtuvaa liukoisuuksien pienentämistä. Haitta-aineiden liukoisuuksien pieneminen voi tapahtua myös kemiallisesti sitoutumalla. Käytettävät seossuhteet on tutkittava tapauskohtaisesti.

Tien päällysrakenteen kantavan kerroksen stabilointi (kerrosstabilointi)

Kerrosstabilointi on stabilointimenetelmä, jossa uuden kiviaineksen tai vanhan tien pintakerroksen sekaan jyrsinsekoitetaan lujittuvaa sideainetta. Lopputuloksena on erittäin kantava ja hyvin jäätymsulamissyklejä kestävä rakenne. Sideaineina käytetään yleensä tuoretta siilovastoitua lentotuhkaa ja sementtiä. Sideaineseokseen voidaan lisätä myös muita kaupallisia sideaineita ja teollisuuden sivutuotteita, kuten fosfokipsiä ja hienoksi jauhettua masuunikuo-
naa.

Kerrosstabilointi sopii hyvin raskaskuormitteisten teiden ja kenttärakenteiden kunnostukseen ja uudisrakentamiseen (Kuva 5.6). Se on hyvä menetelmä korjausrakentamiskohteisiin, joissa vanha päällyste ja pintakerrokset voidaan hyödyntää stabiloinnin runkoaineena, jolloin tasausta ei tarvitse juurikaan korottaa eikä lisämäärätarvetta tai ylijäämämassoja synny. Hyvän kantavuuskehityksen myötä kerrosstabiloinnin avulla voidaan monissa tapauksissa ohentaa päällysteen paksuutta ja samalla saavuttaa säästöjä päällystyskustannuksissa.

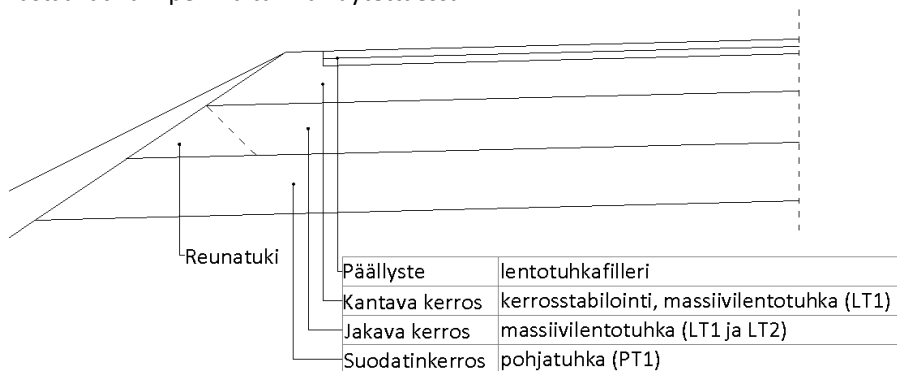


Kuva 5.6 Vasen: kerrosstabilointityöt käynnissä Vuosaaren satamassa. Oikea: Valmis kenttärakenne. Kerrosstabiloinnin tuoman kantavuuslisäyksen avulla voitiin päällysteen paksuutta ohentaa lähes 80 %. (Kuvat: Tero Jokinen, Ramboll)

6 Tuhkat päällysrakenteissa

Tuhkia voidaan käyttää päällysrakenteen jokaisessa kerroksessa suodatinkerroksesta kantaan kerrokseen (Kuva 6.1). Päällysrakenteessa lentotuhkaa voidaan käyttää massiivirakenteena (luku 5.1) ja kerrosstabiloinnin sideaineena (luku 5.4). Pohjatuhka soveltuu käytettäväksi suodatinkerroksessa hiekan korvikkeena (luku 5.2).

Eri tuhkamateriaalien soveltuvuutta eri päällysrakenteen osiin on luokiteltu tuhkien käyttöluokkien perusteella (luku 3.3). Lentotuhkien käyttö päällysrakenteessa rajautuu käytännössä ylempiin käyttöluokkiin (LT1 ja LT2), koska alempien käyttöluokkien lentotuhkat (LT3 ja LT4) eivät täytä yleisiä routivuusvaatimuksia, ja niistä rakennetun rakennekerroksen jäätymsulamiskuormituskestävyys on heikko. Kerrosstabilointikäytössä lentotuhkan soveltuvuus pitää testata erikseen. Tuhkaseosmateriaaleja (luku 5.3) käytettäessä materiaalin vaatimukset ovat vastaavat kuin pelkkiä tuhkia käytettäessä.



Kuva 6.1 Tuhkien käyttö päällysrakenteessa. Suluissa esitetty rakenneosaan soveltuvan tuhkan käyttöluokka.

6.1 Suunnittelun erityispiirteet

Tuhkarakenteiden suunnittelun lähtötiedoiksi riittävät samantasoiset lähtötiedot kuin perinteistä kiviainesrakennetta suunniteltaessa. Rakenteen lujittumisesta huolimatta tuhkaa sisältävää päällysrakennetta voidaan pitää joustavana rakenteena ja siksi mitoitus tehdään pääsääntöisesti Odemarkin kantavuuskaavaa apuna käyttäen.

Massiivista lentotuhkarakennetta ei suositella rakennettavan suoraan päällysteen alapuolelle vaan väliin pitää suunnitella aina vähintään 10 cm paksu murskekerros, jotta mahdollisesti päällysteen läpi suodatutuva vesi pääsee ulos rakenteesta. Tiivistämistä varten massiivilentotuhkarakennetta varten pitää tehdä reunatuet, jotka jäävät osaksi lopullista rakennetta.

Massiivisen lentotuhkarakenteen kuivatus suunnitellaan samojen periaatteiden mukaan kuin tavalliselle maarakenteelle. Tuhkan alle suositellaan rakennettavaksi kuivatuskerrosjärjestelmä (suodatinkerros). Erityisesti kostean pohjamaan päälle rakennettaessa on suositeltavaa rakentaa vähintään 0,2 metriä paksu suodatinkerros esimerkiksi hiekasta, pohjatuhkasta tai rikastushiekasta. Lentotuhkan vedenläpäisevyys on pieni ja siksi siitä tehdyn rakenteen pinnalle tulevien vesien poisjohtaminen on järjestettävä rakentamalla pinta riittävän sivukaltevaksi. Näin vähennetään veden imeytymistä lentotuhkarakenteeseen ja vähennetään sen pehmenemisvaaraa.

Salaojaputkia ei voi asentaa lentotuhkaan, sillä salaojissa kulkeva vesi liettää lentotuhkaa salaojaputkien ympärillä, jolloin salaojien toiminta heikkenee nopeasti. Pohjatuhkarakenteen salaojittaminen voidaan tehdä kuten vastaavan hiekkarakenteen.

Kerrosstabilointi suunnitellaan rakenteessa käytettävän runkoaineen stabiloituvuustesteillä määritettyjen puristuslujuuden ja jäätymsulamiskestävyyden perusteella. Runkoaineeksi soveltuvat hyvin vaihtelevantasoiset sorat ja murskeet, mutta tyypillisesti parhaat lopputulokset saavutetaan laadukkailla kantavan kerroksen murskeilla. Kerrosstabiloidun kerrokseen pinta on suositeltavaa peittää bitumiemulsiolla heti tiivistämisen jälkeen. Bitumiemulsio estää rakennetta kuivumasta ja parantaa päällysteen sitoutumista alempaan kerrokseen.

6.2 Mitoitus ja parametrit

Tien päällysrakenne suunnitellaan ja mitoitetaan kestävästi liikennekuormituksesta, roudasta ja sääolosuhteista aiheutuvat rasitukset. Päällysrakennemitoitukseen liittyy läheisesti myös kuivatuksen suunnittelu, sillä osa päällysrakennemateriaalien mitoituspäällystämistä on kosteustilasta riippuvia. Tierakenteen mitoitaminen tapahtuu Liikenneviraston ohjeen *Tierakenteen suunnittelu* (2004) mukaisesti. Katujen päällysrakenne mitoitetaan ohjeen *Katu 2002* mukaisesti.

6.2.1 Kuormituskestävyyssmitoitus

Tuhkarakenteen kuormituskestävyyssmitoitus tehdään Odemarkin kantavuuskaavalla. Mitoitus tehdään normaalisti käyttäen Odemarkin mitoitustaavaa ja sen lisäehtoja 1 ja 2. Tuhkien ja tuhkaa sisältävien stabilointien osalta moduulit on esitetty taulukoissa 6.1 ja 6.2. Rakenteiden mitoituksessa käytettävät parametrit määräytyvät tuhkan käyttöluokan perusteella massiivirakenteiden osalta. Kerrosstabiloinnin parametrit on johdettu Liikenneviraston julkaisun *Tietoa tiensuunnitteluun 71* mukaisista sementtistabiloidun kerroksen parametreista. Muiden rakennekerros materiaalien osalta moduulit on esitetty edellä mainitussa Liikenneviraston julkaisussa.

Odemarkin mitoitustaavaa (Kaava 1) käytettäessä sitomattomia kerroksia laskettaessa sopiva kerrospaksuus on normaalisti 200–300 mm ja lisäehtoa 1 käytettäessä 150–200 mm. Tätä paksummat kerrokset jaetaan laskennassa useampaan osaan.

$$E_P = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2 \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}}, \quad (1)$$

missä

E_A	on	mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa),
E_P	on	mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus (MPa),
E	on	mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuli (MPa) ja
h	on	mitoitettavan kerroksen paksuus (m).

Lisäehto 1: Sitomattoman kerroksen käyttökelpoinen E-moduuli on enintään $6 \cdot E_A$ ja osittain sidottujen enintään $n \cdot E_A$, missä kerroin n saadaan julkaisusta *Tietoa tiensuunnitteluun 71* tai taulukosta 6.4.sta

Lisäehto 2: Yhteen liimaantuneet, ehjät bitumilla sidotut kerrokset, joiden $E > 1500$ MPa, lasketaan yhtenä kerrokseksi, jonka moduuliksi otetaan osakerrosten moduulien paksuuksilla painotettu keskiarvo. Ehto voi täytyä vain, kun AB-kerrosten bitumipitoisuus on vähintään 3,8 % ja massa on asemasekoitteista. Pelkästään PAB-päällysteitä sisältävissä rakenteissa bitumipitoisuuden pitää olla vähintään 3,1 % ja E-moduulin vähintään 1400 MPa. Samassa rakenteessa olevat PAB- ja AB-kerrokset eivät ole tässä mielessä yhteen liimaantuneita vaan ne lasketaan erillisinä kerroksina.

Taulukko 6.1 Odemarkin kuormitusmitoituksessa käytettävät tuhkien moduulit ja Odemarkin lisäehto 1:n n-parametrit. Ks. Käyttöluokkien vaatimukset taulukosta 3.3.

Käyttöluokka	E-moduuli [MPa]	n	Huomautukset
LT1	600	10	28 d puristuslujuus ≥ 3 MPa, JS-kokeen muutos <20 %, routimaton
LT2	300	6	28 d puristuslujuus ≥ 3 MPa, JS-kokeen muutos <30 %, routimaton
LT3	100	6	Lievästi routiva -> ei sovellu päällysrakenteeseen
LT4	50	6	Routiva -> ei sovellu päällysrakenteeseen
PT1	50	6	Suodatinkerroksen rakeisuus

Taulukko 6.2 Odemarkin kuormitusmitoituksessa käytettävät kerrosstabilointien moduulit ja Odemarkin lisäehto 1:n n-parametrit.

Käyttöluokka	E-moduuli [MPa]	n	Huomautukset
Kerrosstabilointi 1	1500	18	28 d puristuslujuus ≥ 3 MPa, JS-kokeen muutos <20 %
Kerrosstabilointi 2	3500	35	28 d puristuslujuus ≥ 5 MPa, JS-kokeen muutos <20 %

6.2.2 Routamitoitus

Tuhkarakenteen routamitoituksessa tarvittavat arvot muiden kuin tuhkan osalta saadaan Liikenneviraston ohjeesta *Tierakenteen suunnittelu*. Tuhkan osalta routamitoituksessa tarvittava materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta saadaan taulukosta 6.3.

Taulukko 6.3 Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta.

Materiaali	Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta
Lentotuhka	1,7
Pohjatuhka	1,2
Kerrosstabiloitu rakenne	1,0

6.3 Työohjeistus

Suunnitelmien pohjalta kirjoitetaan vakimuotoinen työselostus tai työtapaohjeistus, joissa esitetään ainakin seuraavat kohdat:

- Materiaalit ja niiden käsittely (koskee käytettäviä tuhkia ja muita teollisuuden sivutuotteita)
 - Materiaalien laadunvarmistus ja dokumentointi
 - Hyötykäytetty tuhkamäärä (kirjataan kohteella jäteveron vuoksi)
- Työmenetelmät (työmenetelmät sivutuoterakenteen osalta)
 - Tarvittava erikoiskalusto
 - Valmistelevat työt
 - Materiaalien levittäminen (materiaalien levittämiseen tarvittava kalusto ja levitysjärjestys mikäli useampi materiaali tai sideaine)
 - Materiaalien (sekoitus ja) tiivistäminen (massiivirakenteissa tiivistyskerrosten määrä ja kerrospaksuus, kerrosstabiloinnissa jyrsimissyvyys, kaikissa kohteissa tiivistämisen työmäärä esim. jyrän ylityskertojen määrä)
 - Stabiloinnin päälle tulevat rakenteet
 - Liikennejärjestelyihin vaikuttavat seikat
 - Laadunvarmistus (laadunvarmistuksen tehtävälista)
- Yksikohtaiset tekniset tiedot kohteesta
 - Toimenpiteet (kerrospaksuudet, materiaalmäärä, paaluvälit, stabilointilevydet)
 - Poikkileikkaukset, suunnitelmakartat
 - Laatuvaatimukset (tavoitellut vesipitoisuudet, kuivairtitiheydet, tiiveysasteet jne.)

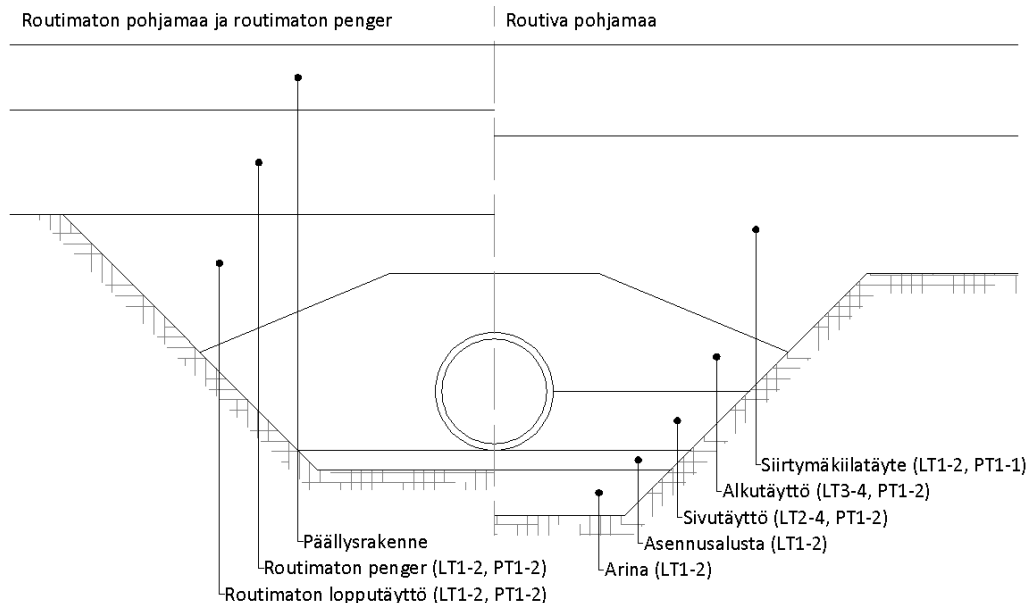
Työtapaohjeisiin voi liittää myös muita työhön olennaisesti liittyviä asioita, esimerkiksi materiaalien sekoituksesta mikäli tuhkaan lisätään sideainetta tai vettä tiekohteen ulkopuolella.

7 Penger-, täyttö- ja ympäristörakennesovellukset

Kaikkia tuhkalaatuja voidaan käyttää kuivalla maalla ja pohjavesialueiden ulkopuolella penger-, täyttö- ja ympäristörakennemateriaaleina, kun otetaan huomioon kunkin materiaalin yksilölliset ominaisuudet. Tuhkilla voidaan korvata penger- ja täyttömateriaaliksi kelpaavia maa-aineksia kuten moreeneja, hiekkaa, soraa tai louhetta kohteen olosuhteet ja vaatimukset huomioiden. Tuhkia voidaan käyttää myös toissijaisissa täytöissä hienojen moreenien, silttien tai savimaiden korvaajina, jolloin nämä tuhkia heikompilaatuisemmat maa-ainekset voidaan käyttää esimerkiksi penger- ja ojaluisien sekä täyttömaiden verhoilumateriaaleina.

Lentotuhkien käyttöä pengertäytöissä puoltavat niiden lujittumisominaisuudet, maa-aineksia suurempi leikkauslujuus ja maa-aineksia pienempi irtotiheys. Lentotuhkia ei voi suoraan luokitella kiviaineksien tapaan rakeisuuden perusteella määritettäviin pengermateriaaliluokkiin, koska niiden lujittumisominaisuudet vaikuttavat käytännön stabiliteettiominaisuuksiin. Sen sijaan on suositeltavaa käyttää tässä ohjeessa esitettyä luokitusjärjestelmää (*luku 3.3 Tuhkien luokittelun periaatteet*). Tuhkat voidaan luokitella kevennysmateriaaleiksi, vaikkakin niiden kevennysvaikutus on melko pieni verrattuna kaupallisiin kevennysmateriaaleihin, kuten vaahtolasiin tai kevytsoraan (Kuva 3.3). Tuhkien keveyttä hyödynnettäessä on muistettava, että tuhkillä on ominaista vesipitoisuuden kasvu rakenteessa. Mikäli rakenteeseen on mahdollista vapaasti kulkeutua kosteutta, saattaa tuhkan irtotiheys nousta lähelle maa-ainesten tiheyttä. Pohjatuhkat vastaavat pengerkäytössä rakeisuudeltaan vastaavaa materiaalia.

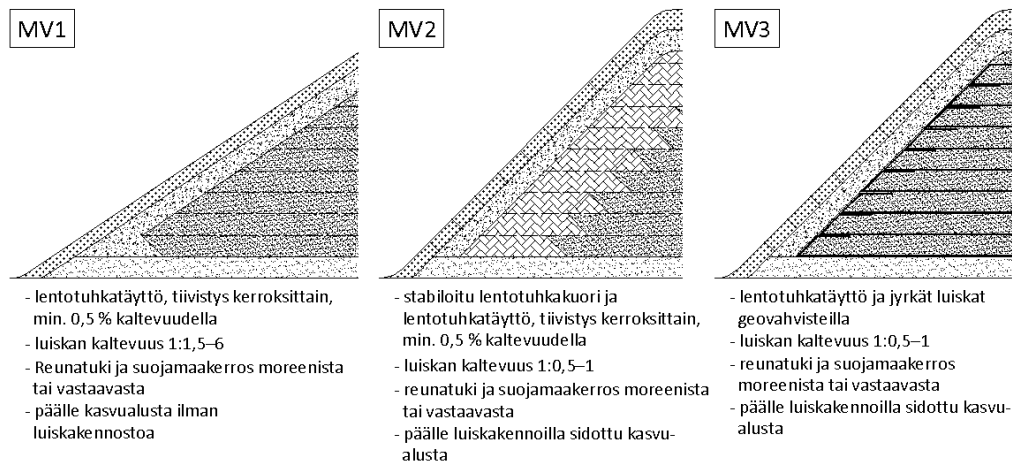
Tuhkat soveltuvat erilaisten kunnallistekniikan kaivantojen kuten viemäri-, vesijohto-, kaukolämpö- sekä sähkö- ja puhelinkaapelikaivantojen täytemateriaaleiksi ja arinaksi silloin, kun pohjavedenpinta on riittävän alhaisella tasolla. Sopiva täytemassan puristuslujuus on enintään 1 MPa. Kaivantojen alkutäyttöön putkien päälle ei liian kovaksi lujittuva tuhka sovellu, vaan täyttö on tehtävä hyvin tiivistettävissä olevalla kitkamaalla. Sivutäyttö on mahdollista tehdä putken puoliväliin saakka, jolloin putken myöhempi uusiminen tai korjaaminen on mahdollista. Tuhkien käyttömahdollisuudet kaivantojen täytöissä on kuitenkin tarkistettava laitteiden valmistajilta, joilla saattaa olla omia vaatimuksia käytettävästä maa-aineksesta. Alla olevassa kuvassa on esitetty eri käyttöluokkien tuhkien soveltuvuutta eri täyttö- ja pengertarkoituksiin.



Kuva 7.1 Tuhkien soveltuvuus eri täyttö- ja pengertarkoituksiin. Suluissa ilmoitettujen tuhkien käyttöluokkien vaatimukset on selitetty luvussa 3.3 Tuhkien luokittelun periaatteet.

Käytettäessä tuhkia putkijohtokaivannoissa on aina otettava huomioon tuhkien korroosio-ominaisuudet. Haponkestävä teräs, lyijy, betoni ja muovi kestävät tuhkatäytössä, mutta valurauta, teräs ja alumiini syöpyvät. Myös galvanoidut ja kuumasinkityt teräsrakenteet syöpyvät tuhkassa. Hiiliteräs on havaittu korroosioherkäksi sekä tuhkassa että normaalissa pohjamaassa. Korroosiovaaraa ei ole tai vaara on pieni bitumi- ja sinkkipinnoitetuilla valurautaputkilla, joissa pinnoite on säilynyt ehjänä. Pohjatuhka ja lentotuhka eivät sellaisenaan aiheuta vaaraa suojaamattomalle kuparille, mutta lentotuhka rikinpoistolopputuotteen kanssa sekoitettuna aiheuttaa syöpymää ja voimakasta pintakerrostumaa kuparin pinnalle. (Havukainen et al. 1987)

Ympäristörakennesovelluksissa, kuten esimerkiksi meluvalleissa voidaan tuhkien keveyden ansiosta säästää perustamiskustannuksissa. Lisäksi lentotuhkan lujittumisominaisuus mahdollistaa jyrkkien luiskien teon ja meluvalli saadaan sijoitettua kapeampaan tilaan pienemmillä massoilla. Luiskaa voidaan vahvistaa myös geovahvisteilla. Alla olevassa kuvassa on esitetty esimerkkejä tuhkaa sisältävien meluvallien tyyppirakenteista.



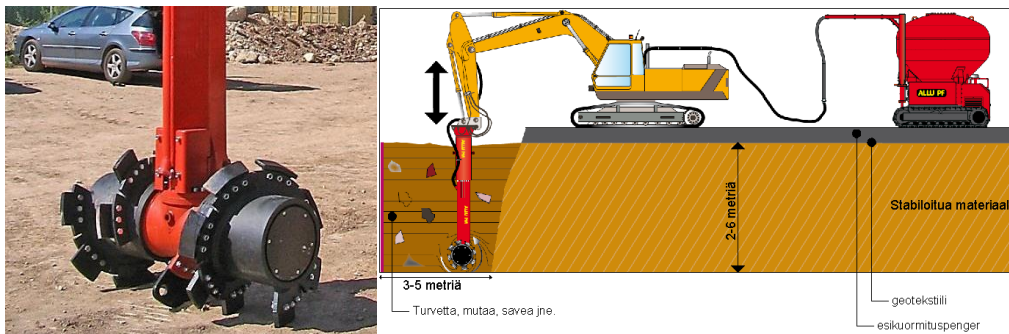
Kuva 7.2 Esimerkkejä tuhkaa sisältävistä meluvallirakenteista.

8 Heikkolaatuisten massojen stabilointi

8.1 Massasyvästabilointi

Massasyvästabilointimenetelmä on kehitetty Suomessa heikkolaatuisten maa-ainesten stabilointiin 1990-luvun alussa. Menetelmä on levinnyt laajasti myös kansainvälisesti. Suomessa massasyvästabilointia on käytetty tie-, katu-, kunnallistekniikka-, rata-, kenttä-, satama- ja pilaantuneiden maiden kohteissa.

Massasyvästabilointi tehdään maa-ainekselle, joka ei heikkojen kantavuusominaisuuksien vuoksi sovellu rakentamiseen. Massasyvästabiloinnissa heikkolaatuiseen maahan sekoitetaan sideainetta homogeenisesti, kaivinkoneeseen liitetyn sekoituslaitteiston avulla. Kuiva sideaineseos puhalletaan sekoittimen päähän ja pystysuunnassa liikkuva sekoitin sekoittaa sideaineseoksen homogeenisesti maahan 6,0 metrin syvyyteen asti (joissakin tapauksissa stabilointi myös syvemmälle on mahdollista). Menetelmän periaate sekä siinä käytettäviä laitteita on esitetty kuvassa 8.1. Massasyvästabiloinnissa stabiloitu maakerros muodostaa lujittuneen laatan ja parantaa pohjamaan ominaisuuksia rakentamiseen. Tyypillisiä massasyvästabiloitavia maa-aineksia ovat savet, liejut, turpeet ja ruoppausmassat. Massasyvästabiloinnin avulla voidaan välttyä massanvaihdolta, ja stabiloituja heikkolaatuista massoja voidaan hyödyntää myös täytöissä.



Kuva 8.1. Massasyvästabiloinnin sekoituskärki (vasemmalla) ja periaatekuva (oikealla). Menetelmässä sideaine syötetään ilmanpaineella sekoittimen kärkeen. Pyörivä sekoitin sekoittaa sideaineen maa-aineksen sekaan. Sekoittimen varsi liikkuu pystysuunnassa, millä saadaan koko massa sekoitettua. (Kuvat: Allu Finland Oy)

Sideaineiksi massasyvästabilointiin soveltuvat erilaisten kaupallisten sideaineiden lisäksi erilaiset teollisuuden sivutuotteet, kuten lentotuhkat ja fosfokipsi. Ennen stabilointia suositellaan tehtäväksi stabiloituvuustutkimus, jolla selvitetään optimaalinen sideainemäärä kohteelle. Tarvittava sideainemäärä vaihtelee voimakkaasti maa-ainestyyppin (savi, turve tms.) sekä sen ominaisuuksien, kuten vesipitoisuus, humuspitoisuus, pH yms. mukaan. Paljon humusta sisältävät tai alhaisen pH:n omaavat maa-ainekset vaativat usein suuremman määrän sideainetta. Tuhkan osuus massasyvästabiloinnissa vaihtelee usein 100–200 kg/m³ välillä. Näin ollen esim. 100 000 m³ stabilointiin tarvittaisiin 10 000–20 000 tonnia tuhkaa. Puristuslujuuden tavoitetaso massasyvästabiloinnissa on yleensä 60–100 kPa.

Liikennevirasto on esittänyt massasyvästabiloinnin suunnitteluperiaatteet julkaisussa *Syvästabiloinnin suunnittelu – Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet, Liikenneviraston ohjeita 11/2010*.

8.2 Prosessistabilointi

Prosessistabilointi on Suomessa 2000-luvulla kehitetty asemastabilointimenetelmä ruoppausmassojen ja muiden pehmeiden ylöskaivettujen maa-ainesten stabilointiin. Menetelmä soveltuu myös pilaantuneiden massojen stabilointiin. Prosessistabilointimenetelmässä stabiloitava sedimentti syötetään kaivinkoneella prosessistabilointilaitteistolle. Kuivat sideaineet syötetään prosessistabilointilaitteistoon painesyöttimillä silloista, kun taas kosteat sideaineet syötetään hihnakuljettimella prosessistabilointilaitteistolle. Ruoppausmassa ja sideaineet sekoittuvat tehokkaasti sekoitusyksikössä. Sekoitettu massa tyhjennetään sekoittimen alaosasta ja siirretään sijoitusaltaaseen. Prosessistabiloinnin asemasekoituslaitteisto on esitetty kuvassa 8.2



Kuva 8.2. *Prosessistabilointilaitteiston toimintaperiaate. Stabiloitava massa syötetään proomuista aseman syöttötasolle A, jossa tapahtuu esisekoitus ja homogenisointi. Syöttötasolla annostellaan myös reseptin mukaiset sideainekomponentit jotka tulevat joko takana olevista silloista tai kuvan vasemmassa reunassa näkyvältä hihnakuljettimelta. Ruoppausmassa ja sideaineet sekoitetaan paineistetussa kaksoisakselisekoittimessa B. Käsitelty massa puretaan osassa C ja siirretään loppusijoitusalueelle. (Kuva: Biomaa Oy)*

Prosessistabilointilaitteistolla stabiloitua massa voidaan hyödyntää mm. satamakenttien ja aluetäyttöjen rakenteissa. Prosessistabilointia voidaan soveltaa myös pilaantuneiden massojen stabilointiin. Prosessistabiloinnin avulla on saatu hyviä tuloksia esimerkiksi tributyyliitin (TBT) liukoisuuksien alentamisessa. Prosessistabilointiin soveltuu samanlaiset sideaineet kuin massasyvästabilointiin. Myös prosessistabiloinnissa on materiaalin stabiilitavuus tutkittava ennen stabilointityön aloittamista. Prosessistabilointi antaa tasalaatuisemman sekoitustuloksen kuin massasyvästabilointi, minkä ansiosta prosessistabiloinnissa tarvittavat sideainemäärät voivat olla hieman massasyvästabiloinnin vastaavia pienempiä.

8.3 Muut stabiloinnit

Kaivettuja massojen stabilointia voidaan tehdä myös aumassa, jolloin suuria määriä runko- ja sideainetta voidaan sekoittaa keskenään tehokkaasti (Kuva 8.3). Lisäksi pieniä määriä on mahdollista stabiloida seulukauhalla, joka murskaa ja seuloa samanaikaisesti stabiloitavan aineksen ja sideaineen. Massasyvästabiloinnin alapuolisiin kerroksiin on sovellettu myös pilaristabilointia, jossa maa-aineksesta stabiloidaan maan alle pilareita joille kuormitus jakautuu, esimerkiksi sen päällä olevan massasyvästabilointikerroksen kautta.



Kuva 8.3 Aumasekoitus - tuhkan ja sementin sekoitus. (Kuvat: Harri Jyrävä, Ramboll)

C-osa: Rakennuttaminen

9 Tuhkat rakennuttamisen kannalta

Rakennuttamisen näkökulmasta mahdollinen tuhkien ja muiden sivutuotteiden käyttö hankkeessa tulisi arvioida jo hankkeen valmisteleavassa vaiheessa, jolloin voidaan selkeimmin kohdistaa niihin perustuvat ratkaisut niille soveltuviin kokonaisuuksiin, ja niiden mahdollistamat taloudelliset ja tekniset hyödyt olisivat selkeimmin arvioitavissa. Tällä hetkellä jätteiden, sivutuotteiden ja uusiomateriaalien hyödyntämistä ei varsinaisesti ole huomioitu erikseen julkisen hankintamenettelyiden pisteytyksissä, mutta tulevaisuudessa kyseisten materiaali- ja jätteiden merkitys tulee korostumaan.

Tuhkien hyötykäytön ensimmäinen vaihe on selvittää sen tekniset ja ympäristölliset ominaisuudet, joiden perusteella voidaan arvioida niiden soveltuvuus tai jalostettavuus eri maarakentamisen osa-alueille. Tuhkan haitta-aineiden kokonaispitoisuuksien ja liukoisuuksien perusteella voidaan selvittää onnistuuko tuhkan hyödyntäminen ilmoitusmenettelyllä vai tarvitaanko ympäristölupa. Tätä kautta voidaan myös helpommin varautua lupaprosessin pituuteen ja huomioida sen vaikutus toteuttamisen aikatauluun.

Tuhkien hyödyntämisen kannalta merkittävä huomioitava seikka on tuhkien muodostumisen ja maarakentamisen ajankohdan eriaikaisuus. Voimalaitoksissa muodostuu tuhkaa vuosittain yleensä talviaikaan enemmän, kun taas kesäkuukausina tuhkan muodostuminen on vähäistä. Tuhkan saatavuuteen vaikuttaa tuhkien tuotantomäärät eri aikoina ja tuhkasiilojen koko. Tämän vuoksi tuhkatuotantoina on varmistettava tapauskohtaisesti jo hyvissä ajoin.

Tuhkarakentamisen avulla voidaan saavuttaa selviä kustannussäästöjä tietyissä tapauksissa sekä tuottaa kokonaisuudessaan ekologisempia ratkaisuja.

Varsinaisen rakentamistyön kustannukset ovat käytännössä vastaavat kuin vastaavilla tavantomaisilla menetelmillä toteutettavan maarakentamisen kustannukset. Kustannuseroja tuhkarakentamisen eduksi muodostuu kuitenkin useissa tapauksissa vastaaville vaatimuksille suunniteltujen rakenteiden ja alhaisemman materiaalitarpeen myötä. Tuhkarakenteen elinkaari poikkeaa normaalista kiviainesrakenteesta, mikä on suositeltavaa huomioida jo rakennuttamisvaiheessa ja päätöksenteossa.

Tuhkarakentamisvaihtoehto vaikuttaa seuraavien rakentamista koskevien asiakirjojen sisältöön:

- *Tarjouspyyntökirje*
- *Urakkaohjelma*
- *Turvallisuusasiakirja*
- *Tarjouslomake*
- *Urakkasopimus*
- *Työkohtainen työselostus tai työtapaohjeistus*

Taulukkoon 9.1 on koottu muistilista asioita, jotka on otettava huomioon tuhkarakentamisen rakennuttamis-, suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa sekä valmiin rakenteen seurantavaiheessa, sekä tieto missä käsikirjan kappaleessa asiaa on käsitelty.

Taulukko 9.1 Muistilista tuhkarakennuttamisessa huomioon otettavista asioista.

Vaihe	Huomioitavia asioita
Rakennuttaminen	<ul style="list-style-type: none"> – tuhkien soveltuvuus hankkeeseen – tuhkien saatavuus ja toimituskapasiteetti – muiden sivutuotteiden saatavuus ja soveltuvuus – välivarastointimahdollisuudet (<i>luku 12</i>) – tuhkarakentamisen kustannukset – ympäristölupa-asiat tai ilmoitusmenettely (<i>luku 10</i>) – rakentamisen valvonta (<i>luku 13</i>)
Suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> – tuhkan soveltuvuus ympäristöön (pohjavesi, kasvillisuus, korrosio, pölyäminen, liettyminen, eroosio) – tuhkan tekniset ominaisuudet (optimivesipitoisuus, maksimi kuivatilavuuspaino, rakeisuus, puristuslujuus, jäätymissulamiskestävyys, routivuus) (<i>luku 3</i>) – vaatimukset rakennuspohjalle (<i>luku 13</i>) – kantavuus- ja routamitoitus (<i>luku 6</i>) – kiviainesrakenne varalle
Rakentaminen	<ul style="list-style-type: none"> – työsuojelu (<i>luku 13.4</i>) – sääolosuhteet (sade, tuuli, pakkanen) (<i>luku 13.2</i>) – kuljetus- ja rakennuskaluston soveltuvuus ja kapasiteetti (<i>luku 12.1</i>) – materiaalien laatuseuranta (vesipitoisuus, sideaine, sekoituslaatu) (<i>luku 13</i>) – tiiviys- ja kantavuusmittaukset (<i>luku 13</i>)
Dokumentointi	<ul style="list-style-type: none"> – tuhkarakenteen sijaintitieto – käytetyt materiaalit ja määrät
Rakentamisen jälkeinen seuranta ja ylläpito	<ul style="list-style-type: none"> – tilaajan edellyttämät tekniset mittaukset – lupaviranomaisen edellyttämät seurannat – rakenteiden ylläpito
Käytöstä poistaminen	<ul style="list-style-type: none"> – kaivettujen massojen sijoittaminen (<i>luku 13.5</i>)

10 Ilmoitusmenettely- ja ympäristölupakäytäntö

Tuotteistamattomien (sivutuote/EOW) tuhkien hyötykäyttö on mahdollista pääsääntöisesti kahden eri menettelyn kautta, joko ilmoitusmenettelyllä (ns. MARA-asetus) tai ympäristöluvalla. Harvinaisempina mahdollisuuksina kysymykseen tulevat joissakin kunnissa käytössä oleva rekisteröintimenettely pienille sivutuotemäärille sekä selvästi koetoimintatyyppisissä tapauksissa koetoimintailmoituksen mukainen menettely.

Tuhkien hyötykäyttöön liittyviä viranomaisia ovat:

- elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskus),
- aluehallintovirastot (AVI) sekä
- kuntien ympäristölupaviranomaiset.

Näiden tehtävät on jaettu siten, että ELY-keskukset rekisteröivät ns. MARA-ilmoituksia ja kuntien ympäristölupaviranomaiset ja aluehallintovirastot käsittelevät ympäristölupia.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä (MARA-asetus, VNa 591/2006 ja VNa 403/2009, Liite 1) sallii hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä silloin, kun tuhkat kuuluvat asetuksen piiriin. Näitä tuhkia ovat kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton tuhkat silloin, kun ne täyttävät asetuksessa annetut kokonaispitoisuus- ja liukoisuusraja-arvot. Rakennettavan kohteen tulee olla asetuksen mukainen ja peitetty tai päällystetty ja tuhkarakenteen paksuuden enintään 150 cm. Asetus koskee mm. yleisiä teitä, katuja, kevyen liikenteen väyliä, urheilukenttiä ja -reittejä, pysäköintialueita sekä erikseen mainittuja teollisuuden ja liikenteen alueita. Asetusta ei sovelleta pohjavesialueilla eikä se koske esimerkiksi meluvalleja ja yksityisteitä. Ilmoituksen alueen ELY-keskukseen ympäristönsuojelulain 65 § mukaiseen tietojärjestelmään tekee hyödyntämispaikan haltija tai jätteen tuottaja hyödyntämispaikan haltijan valtuuttamana. Hyödyntäminen voidaan aloittaa vasta, kun ilmoitus on rekisteröity. Asetus sallii varastoinnin hyödyntämispaikalla 4 viikon (suojattuna 10 kuukauden) ajan ennen hyödyntämistä. Muulla tapahtuvaan varastointiin ja materiaalin käsittelyyn on oltava voimassa oleva ympäristölupa kyseiselle alueelle. Malli ns. MARA-ilmoituksesta on esitetty liitteessä 2.

Mikäli tuhka ei täytä MARA-asetuksen vaatimuksia tai mikäli tuhkalaatu tai sen käyttösovellutus ei kuulu asetuksen piiriin, tuhkan käytölle on haettava ympäristönsuojelulain (86/2000) 28 §:n mukainen ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta, jos vuosittainen hyödynnettävä määrä on alle 10 000 t ja aluehallintoviranomaiselta (AVI), jos määrä on 10 000 t tai sen yli (UUMA-materiaalit, 2010). Taulukkoon 10.1 on koottu ilmoitusmenettelyn ja ympäristöluvan keskeiset periaatteet ja asiaa käsittelevät viranomaiset.

Taulukko 10.1 Jätetuhkien ilmoitusmenettelyä ja ympäristölupaa koskevat keskeiset periaatteet ja asiaa käsittelevät viranomaiset. Menettelytavat eivät koske tuotteistettuja tuhkia (sivutuote/EOW).

Tuhkan luokitus	Menettelytapa	Tuhkalaatu	Viranomainen
MARA-asetus täyttyy	Ilmoitusmenettely	Biotuhkat / Kivihiilituhkat	ELY-keskus
MARA-asetus ylittyy / Muut kuin MARA-asetuksen sivutuotteet tai sovellukset	Ympäristölupa	Kaikki tuhkat	Kunnan ympäristölupaviranomainen: hyödynnettävä määrä <10 000 t/a Aluehallintoviranomainen: hyödynnettävä määrä ≥10 000 t/a

MARA-asetus: VNa 591/2006 ja VNa 403/2009

Pienien tuhkamäärien hyödyntäminen on periaatteessa mahdollista myös Ympäristönsuojelulain (86/2000) 19 § mukaisella kuntien ympäristönsuojelumääräyksien rekisteröintimenettelyllä, mikäli sellainen on kunnassa olemassa. Kyse on menettelystä, jossa kiviainesta korvaavia jätteitä voidaan sijoittaa pieniä määriä maaperään (esimerkiksi Espoon kaupungin ympäris-

tönsuojelumääräykset § 11). Rekisteröintimenettelyn piiriin soveltuva tuhkamäärä on niin pieni, että käytännössä toteutettava kohde koskee joko pehmeikön massasyvästabilointia ja siinä tuhkan hyötykäyttöä stabiloinnin sideaineena tai muutoin pientä rakentamiskohdetta.

Eräissä tapauksissa on mahdollista edetä nk. koetoimintailmoituksen mukaisesti. Kysymyksessä on ympäristönsuojelulain 61 §:n mukainen toiminta. Ilmoituksen käsittelijä on joko kunnan ympäristöviranomaisen tai isommissa ja/tai useamman kunnan alueelle sijoituvissa kohteissa AVI. Koetoiminta on lyhytaikaista toimintaa, jossa kokeillaan menetelmiä tai laitteita. Ilmoituksen käsittelijäviranomaiseen on välttämätöntä olla yhteydessä ennen koetoimintailmoituksen jättämistä, jotta voidaan varmistua menettelyn soveltuvuudesta kohteeseen ja siihen tarvitaanko kohteen mahdollisesti pysyväksi jäävälle rakenteelle lisäksi ympäristölupa.

Ympäristölupaa varten kohteelle tulee olla laadittuna työsuunnitelma, josta käy ilmi kuinka paljon ja millä tavoin sivutuotetta tullaan kohteella käyttämään (määrät, menetelmät, rakenteet, varastointi ja kohteen tiedot, naapurit ym.). Lisäksi ympäristöluvassa todetaan kaikki sivutuotteella rakentamisesta aiheutuvat riskit ympäristölle ja ihmisille sekä toimenpiteet haittojen ehkäisemiseksi. Tarkemmat ohjeet ja lomakkeet ympäristölupahakemuksen laatimiseen löytyvät ympäristöhallinnon verkkopalvelusta (www.ymparisto.fi). Samasta verkkoosoitteesta löytyvät MARA-ilmoituksen ohjeet ja lomakkeet. MARA-ilmoituslomakkeen täyttäminen on selväpiirteisempää kuin ympäristölupalomakkeen, mutta siinäkin on huomioitava, että tuhkan ominaisuuksien lisäksi kohteesta tulee esittää tietoja mm. rakenteesta sekä kohteen sijainnista suhteessa vesistöihin, kaivoihin ja pohjavesialueisiin.

MARA-asetuksen mukaiset tuhkien liukoisuudet ja pitoisuudet määritetään tuhkasta sellaisenaan. Tuhkan seostamisella, vanhentamisella ja stabiloinnilla voidaan vaikuttaa tuhkan ominaisuuksiin liukoisuuksia pienentävästi. Nämä tapauskohtaiset käsittelyt voidaan esittää ympäristölupahakemuksissa lisätietoina, koska ne kuvaavat paremmin materiaalin ominaisuuksia rakenteessa, vaikkakin ympäristöluvuissa tarkastellaan tuhkien liukoisuuksia ja pitoisuuksia pääsääntöisesti sellaisenaan.

Taulukkoon 10.2 on koottu kokemusten perusteella suuntaa-antavia käsittelyaikoja ympäristölupa- ja ilmoitusmenettelyissä. Ennen luvan hakemista on kuitenkin syytä olla yhteydessä lupaviranomaiseen, koska käsittelyaikaan vaikuttavat mm. lupienkäsittelyruuhkat, lautakuntien kokousajat sekä lupien kuulutusajat. Lisäksi hakemusaineiston täydennyspyynnöt voivat lisätä luvan käsittelyaika merkittävästi.

Taulukko 10.2 Ilmoitusmenettelyn ja ympäristöluvan suuntaa-antavat käsittelyajat.

Viranomaisen	Menettelytapa	Käsittelyaika
ELY-keskus	Ilmoitusmenettely	≤ 1 kk
	Ympäristölupa	> 4 kk
Kunnan ympäristöviranomaisen	Koetoimintailmoitus	>1 kk
	Rekisteröinti (ei kaikissa kunnissa)	>1 kk
Aluehallintoviranomaisen (AVI)	Ympäristölupa	> 10 kk
	Koetoimintailmoitus	> 1 kk

Ympäristölupamenettelyn yksinkertaistamiseksi hakija voi neuvotella lupaviranomaisen kanssa usean samantyyppisen hankkeen lupien hakemisesta kerralla (nippuna). Tällöinkin lupahakemukset on laadittava kohdekohtaisina, mutta menettelyllä voidaan tehostaa lupien laatimista ja viranomaisen päätösten valmistelutyötä.

Tuhkan hyötykäyttö saattaa vaatia ympäristövaikutusten arviointi -asetuksen (YVA-asetus) (VNa 713/2006) 6 § 12-kohdan mukaista menettelyä, mikäli hankkeen tuhkamäärä on vähintään 50 000 t. YVA-menettelyn tarpeen arvioinnista, tulee olla yhteydessä alueen ELY-keskukseen.

11 Taloudellisten ja ympäristölle koituvien hyötyjen laskeminen

11.1 Tuhkarakentamisen kustannukset

Tällä hetkellä tuhkarakentamisen kustannuksista ei ole olemassa varsinaisesti yleistä koottua tietoa. Kustannukset voidaan kuitenkin jakaa yleisellä tasolla materiaalin varastoinnin ja käsittely, kuljettamisen sekä rakentamisen kustannuksiin. Lisäksi huomionarvoinen asia on vaikutus elinkaarikustannuksiin, joita on käsitelty seuraavassa alaluvussa.

Tällä hetkellä suositeltavin tapa on vertailla tuhkarakentamisen kustannuksia vastaaville toiminnallisille vaatimuksille mitoitettujen kiviainesrakenteiden kustannuksiin, joiden kustannuksia voidaan arvioida ja osittaa kohtuullisen tarkasti. Seuraavissa kappaleissa on avattu kyseisellä periaatteella tuhkarakentamisen vaikutuksia eri kustannusosiin.

Varastoinnin ja käsittelyn kustannukset riippuvat käytetystä menetelmästä (*luku 12*) ja olemassa olevasta infrastruktuurista, joten niiden arviointi yleisellä tasolla on ongelmallista. Yleensä onkin järkevintä laskea kokonaishinta perille toimitetulle valmiiksi käsitellylle materiaalille. Kokonaismateriaalikustannus voikin siten olla joko positiivinen tai negatiivinen riippuen materiaalin jalostusasteesta ja tuhkan tuottajan osallisuudesta.

Kuljetuskustannuksiin tuhkarakentamisella on käytännössä aina positiivinen vaikutus, jos matkaeroja ei oteta huomioon, koska tuhka on kiviaineksia kevyempää ja useimmiten tarvittavat materiaalmäärät ovat pienempiä verrattuna.

Rakentamisen kustannuksiin vaikuttavat materiaalikustannusten lisäksi työn kustannukset, jotka vertautuvat päällysrakenteisiin sopivissa tuhkarakentamismenetelmissä vastaaviin kiviainesrakentamisen menetelmiin (Taulukko 11.1). Muissa stabilointimenetelmissä tuhkien ja myös muiden sivutuotteiden vaikutus kohdistuu pääosin sideainekustannuksiin.

Taulukko 11.1 Päällysrakenteisiin soveltuvien tuhkarakentamismenetelmien vastaavuudet ja vaikutukset verrattuna kiviainesrakentamiseen.

Rakennetyyppi	Rakentaminen	Vaikutukset muihin kustannusosiin
Pohjatuhka	Vastaa hiekalla tapahtuvaa rakentamista	- Materiaalikustannukset - Kuljetuskustannukset
Massiivilentotuhka ja tuhcaseos	Vastaa 0–32 mm kalliomurskeella rakentamista. Vaatii mahdollisesti enemmän tiivistämistä ja laadunvalvontaa.	- Materiaalikustannukset - Kuljetuskustannukset - Materiaalien määrät - Elinkaarikustannukset
Kerrosstabilointi	Vastaa muita in-situ -stabilointimenetelmiä.	- Sideainekustannukset - Päällystyskustannukset

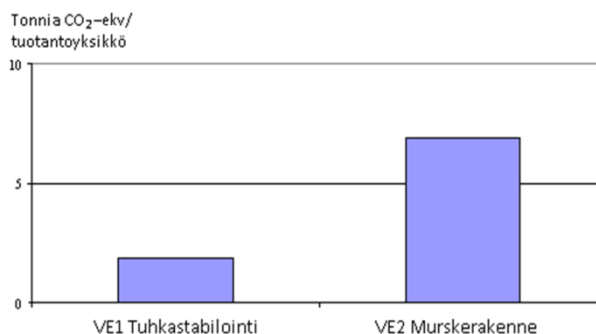
11.2 Elinkaariarviointi

Rakenteen kustannuksia ja ympäristökuormitusta sen koko elinkaaren aikana voidaan arvioida hankekohtaisesti elinkaariarvioinnin avulla. Elinkaariarvioinnissa voidaan vertailla kahden eri rakennevaihtoehdon ympäristöllisiä ja taloudellisia vaikutuksia. Vertailun pohjalta voidaan valita toteutettavaksi rakenne, jolla kustannukset tai ympäristökuormitukset ovat pienemmät. Elinkaariarvioinnin avulla voidaan todentaa laskennallisesti, miksi vaihtoehtoinen rakenne, esimerkiksi sivutuotteilla rakennettuna, on kannattavaa niin taloudellisesti kuin ympäristönkin kannalta.

Rakenteen kustannuksia elinkaaren aikana arvioidaan hankekohtaisesti LCC:n (life cycle costing) eli elinkaarikustannusten kautta. Arvioinnissa lasketaan rakentamisen ja rakenteen koko elinaikana aiheutuvat kustannukset. Kun näitä kustannuksia verrataan vaihtoehtoisen rakenteen kustannuksiin samalla aikavälillä, voidaan laskea vaihtoehtoista rakenteesta saatava rahallinen hyöty.

Ympäristökuormitusta voidaan arvioida laskennallisesti samaan tapaan kuin taloudellista hyötyä. Rakentamisen ja rakenteen ympäristöllisiä haittoja koko elinkaaren aikana arvioidaan LCA:n (life cycle assessment) avulla. Näitä haittoja verrataan vaihtoehtoisen rakenteen saman eliniän aikana aiheutuviin haittoihin. Vertailun avulla saadaan näyttöä siitä, kuinka paljon erilaisilla rakenneratkaisuilla voidaan vaikuttaa ympäristövaikutuksiin. Elinkaariarviointiin on olemassa ISO-standardi (ISO sarja 14040), jonka perustalta arviointia voidaan suorittaa.

Kuvassa 11.1 on esitetty esimerkinomaisesti supistetun LCA-tarkastelun tuloksia. Kyseisessä laskennassa on verrattu kerrosstabiloinnin ja tavanomaisen korjausrakentamisen materiaalikuljetuksista aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä.



Kuva 11.1 *Materiaalikuljetusten LCA kahdella eri vaihtoehdolla. Tarkasteltava tuotantoyksikkö on yksi kilometri tierakennetta. Vaihtoehdossa 1 tierakenne on stabiloitu 250 mm tuhka-sementtikerrosstabiloinnilla ja vaihtoehdossa 2 tien tasausviivaa on nostettu 300 mm murskelisäyksellä. Kyseiset vaihtoehdot ovat olleet esillä tienparannushankkeen vaihtoehtoina, joilla on pyritty kasvattamaan tien kantavuutta. Vaihtoehdossa 2 on lisäksi huomioitu myös hyötykäyttöön päätyvä tuotteen tuhkan kuljetuskustannukset kaatopaikalle.*

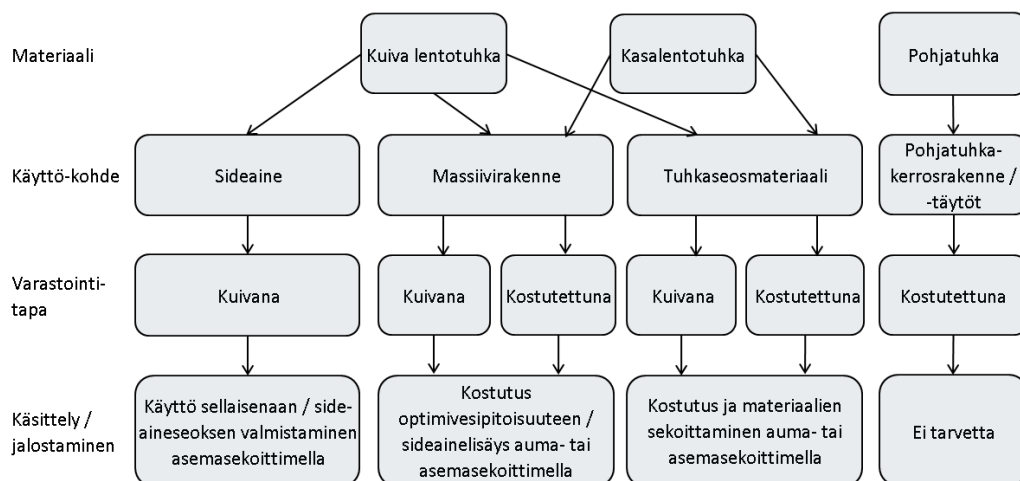
D-osa: Rakentaminen

12 Materiaalien käsittely, varastointi ja logistiikka

Tuhkarakentamisen erottaa tavanomaisesta kiviainesrakentamisesta se, että lentotuhkien tekniset ja ympäristölliset ominaisuudet voivat muuttua merkittävästi koko materiaalin käyttötöketjun aikana. Tämän takia ketjun eri osioiden laadunvalvonta tulee olla huolella suunniteltu.

Käsittely-, varastointi- ja logistiset menetelmät tulee valita tuhkan käyttötarkoituksen mukaan (Kuva 12.1). Materiaalin vesipitoisuuden hallinnalla on tässä ketjussa hyvin keskeinen rooli. Se vaikuttaa toisaalta käsittelyn ja kuljetuksen toimivuuteen ja taloudellisuuteen, ja toisaalta materiaalin laatuun.

Rakentamishankkeiden aloituspäätökset on myös tärkeää tehdä hyvissä ajoin, jotta materiaa-
livaraukset ja tuhkan varastointi voidaan hoitaa hallitusti ja kustannustehokkaasti. Myös suunnittelu ja tarvittavat materiaalitutkimukset on käynnistettävä riittävän ajoissa, jopa vuosi ennen suunniteltua rakentamista. Varastointiin on kiinnitettävä tuhkarakentamisen yhteydessä erityishuomiota, koska varastointimenetelmällä ja -ajalla on merkittävä vaikutus materiaalin laatuun.



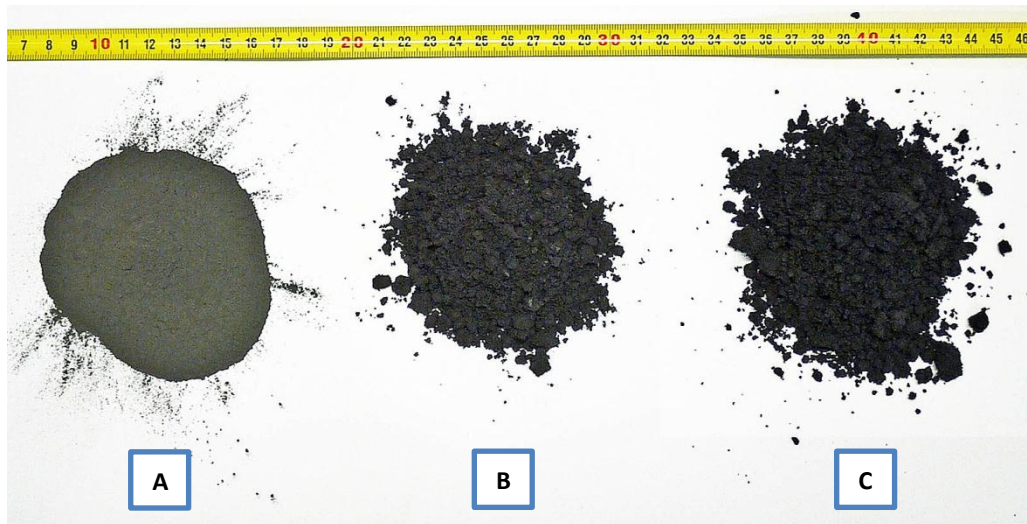
Kuva 12.1 Eri lentotuhkan käyttökohteille soveltuvat varastointi- ja käsittelymenetelmät.

12.1 Käsittely ja kuljetus

Tuhkien käsittelyssä ja kuljetuksessa on neljä eri materiaalista ja käyttömuodosta riippuvaa lähtökohtaa:

- täysin kuivan lentotuhkan-,
- kostutetun lentotuhkan-,
- sideaineella jalostetun lentotuhkan- sekä
- pohjatuhkan käsittely ja kuljetus.

Lentotuhkat sitovat vettä huomattavia määriä ja vaikuttavat kuivilta korkeissakin vesipitoisuuksissa (Kuva 12.2). Kuiva lentotuhka on hienojakoista ja pölyävää materiaalia. Pölyhaitat vähenevät merkittävästi, kun lentotuhkan sekaan lisätään vettä 10–20 % materiaalin kuivapainosta. Ennenaikaisesti lisätty vesi kuitenkin vähentää lentotuhkan lujittumispotentiaalia. Tämän takia lentotuhkakohtainen optimaalinen pölyämättömyyskosteus ja veden lisäyksen vaikutus lentotuhkan laatuun on suositeltavaa tutkia laboratorioissa etukäteen, jotta vältetään lentotuhkan laadun ennen aikaiselta heikkenemiseltä ennen käyttöä. Pölyävyyden lisäksi käsittelytavoissa on huomioitava työturvallisuustekijät (Luku 13.4 Työturvallisuus).



Kuva 12.2 Lentotuhkaa eri vesipitoisuuksissa: A) $w < 1\%$, B) $w = 26\%$ (optimi), C) $w = 41\%$.
(Kuva: Olli Kiviniemi, Ramboll)

Kuivaa lentotuhkaa tulee käsitellä, kuten muitakin pölyämiselle herkkiä materiaaleja. Siirtäminen säiliöstä toiseen tapahtuu pneumaattisesti. Kuiva lentotuhka kuljetetaan joko säiliöautolla tai tiiviskontissa.

Pölyämättömäksi kostutettua lentotuhkaa voidaan käsitellä, kuten hienoja hiekkamaisia materiaaleja. Lentotuhka tosin kuivuu lämpimällä ja tuulisella säällä nopeasti, minkä vuoksi varastokasan tai kuorman pintaa on suositeltavaa kastella ennen käsittelyä. Kostutetun lentotuhkan kuljettamisessa voidaan käyttää kiviaineksen kuljetukseen soveltuvaa kalustoa. Kuljetus on suositeltavaa suorittaa kaarevapohjaisilla lavoilla, jolloin kuorman purkaminen työmaalla helpottuu. Kuormat tulee peittää tiiviisti pölyämisen estämiseksi.

Lentotuhkan käsittely- ja kuljetustavoissa on huomioitava myös lentotuhkan lujittumispotentiaali – kostutettua lentotuhkaa ei saa tiivistää eikä jättää työ- ja kuljetusvälineisiin paikalleen pitkäksi aikaa. Lujittumisen vaikutus korostuu erityisesti sideaineilla parannetulla lentotuhkalla. Kaupallisella sideaineella parannettu kostutettu lentotuhka tulee käyttää mahdollisimman nopeasti sekoituksen jälkeen. Käyttö seuraavana päivänä sekoituksesta ei ole mahdollista.

Tuhkasiilojen tyhjentäminen tapahtuu yleisesti ruuvipurkaimilla. Purkunopeus vaihtelee laitoksittain, minkä vuoksi se kannattaa selvittää kuljetusaikoja arvioitaessa. Myös veden lisäysmahdollisuus sekä sen tarkkuus vaihtelevat laitoksittain. Kuljetusten ajankäyttöön vaikuttaa erityisesti kuljetettava matka, joka tulisi myös optimoida. Jos tuhkaravastoinnissa päädytään suurempaan välivarastoon, sen sijoituspaikka kannattaa valita voimalaitosten ja mahdollisten kohteiden sijainti huomioiden.

Tuhkan kuljetuskustannuksia laskettaessa on huomioitava tuhkien tiheys ja kosteus (Taulukko 3.1). Esimerkiksi 10 t kuivalentotuhkamäärä voi painaa noin 12 t, kun se on kostutettu pölyämättömyyskosteuteen. Optimivesipitoisuuteen kostutettuna sama tuhkamäärä painaa 13–14 t. Ylimääräistä vettä ei kannata kuljettaa pitkiä matkoja. Tämän takia optimivesipitoisuuteen kostuttaminen kannattaa tehdä lähellä rakentamiskohdetta, jos kuljetusmatka on pitkä.

Pohjatuhkilla on rakentamisen kannalta vain vähän tai ei lainkaan reaktiivisuutta, joten ne eivät ole niin herkkiä veden lisäyksen suhteen. Pohjatuhkaa voidaan käsitellä, kuten luonnonhiekkaa.

12.2 Varastointi ja sen vaikutus tuhkan laatuun

Tuhkarakentaminen keskittyy sulan maan ajanjaksolle, kun taas voimalaitosten tuhkan tuotanto keskittyy pääosin talven kylmiin kuukausiin. Tuhkan tuotannossa poikkeuksena ovat kuitenkin teollisuuden voimalaitokset, missä lämpöä ja sähköä tarvitaan tasaisesti jokaisena vuodenaikana ja tuhkaa muodostuu vastaavasti suhteellisen tasaisesti ympäri vuoden. Maarakentamisen sujuvuuden kannalta on tärkeää saada oikeanlaatuiset materiaalit haluttuun aikaan riittävällä toimituskapasiteetilla (Taulukko 12.1), minkä vuoksi tuhkan varastointi on usein pakollinen välivaihe tuhkan logistisessa ketjussa. Jäteverolain (1126/2010) 3 §:n mukaan jätettä eli tuhkaa voi varastoida muista jätteistä erillään korkeintaan kolmen vuoden ajan ilman veroseuraamuksia.

Taulukko 12.1 Työmaan asettamat tyypilliset tuhkan toimituskapasiteettivaatimukset eri menetelmillä.

Kohde	Toimituskapasiteetti
Massiiviset tierakenteet	50–100 t/h
Pengertäyttö	>100 t/h
Stabiloinnin sideaine	30–35 t/h

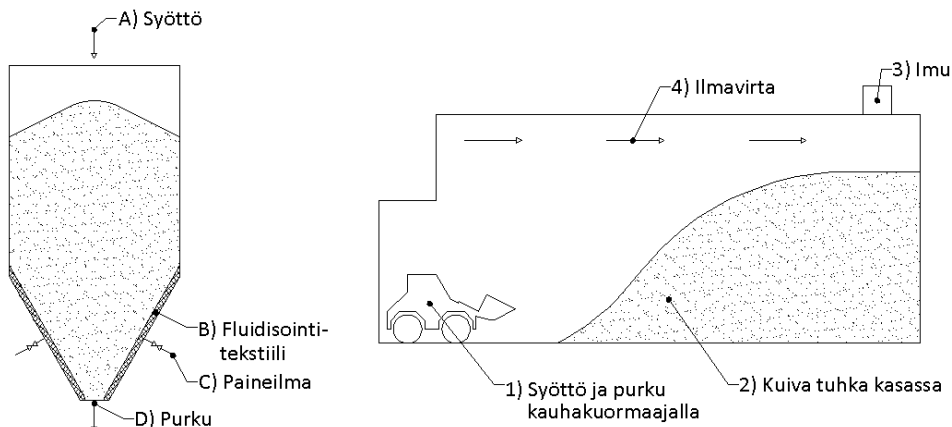
Maarakentamiskäytön kannalta hallittu tuhkien varastointi voidaan jakaa kahteen eri pääluokkaan:

- kuivavarastointiin ja
- varastointiin kostutettuna.

12.2.1 Kuivavarastointi

Kuivavarastointi voidaan toteuttaa hienorakeisen materiaalin varastointiin soveltuviin suljetuihin varastohalleihin tai siiloisiin (Kuva 12.3). Kuivavarastoinnissa oleellista on tuhkan purkuteknikka. Eri kuivavarastointiin soveltuvia varastotyyppisiä on esitelty taulukossa 12.2.

Uuden, kapasiteetiltaan riittävän lentotuhkan kuivavarastointiin soveltuvan varaston rakentaminen voi olla kannattavaa, mikäli vuosittain syntyvä tuhkamäärä saadaan kokonaisuudessaan hyötykäytettyä. Uuden kuivavaraston rakentamisesta olisi logistista etua myös siinä mielessä, että purkulaitteisiin voisi yhdistää samalla sekoittimen mahdollisesti tarvittavan sideaineen ja halutun vesimäärän lisäämistä varten.



Kuva 12.3 Periaatteet kuivan lentotuhkan varastointiin soveltuvista fluidipohjasiloista ja varastohallista.

Tuhkarakentamisen käsikirja

Taulukko 12.2 Tuhkien kuivavarastointiin soveltuvia varastotyyppejä (Ahlqvist, Niutanen 2003)

Varastotyyppi	Koko [m ³]	Täyttöaste [%]	Purkulaite	Huom!
Betonisiilo, tasapohjainen	15 000–50 000	90	ruuvikuljetin	Suomessa 12 000 m ³ tuhkasiilo
Terässiilo, tasapohjainen/kartio	15 000–50 000	90	painovoimaisesti purkautuva	
Kalliosiilo			Yksilöllisiä.	
Teräsrakenteinen halli	15 000–50 000	55	täyttö: ruuvikuljetin ja etukuormaaja; purku: imulaitteisto, pneumaattiset siirtimet, elevaattori, etukuormaaja	väliseinien käytöllä voitaisiin parantaa täyttöastetta (75 % täyttöasteella 30 % kustannussäästö) ja erotella tuhkalaadut
Teräskontit (konttikentällä)	15 000–50 000	65	kontin kuljetus käyttökohteelle	Kontti 30 m ³ ; Ongelmat: tilantarve, automatisointi, ei referenssejä
Suursäkit	15 000–50 000	85		Ongelmat: tilantarve, automatisointi
Ruiskubetonoidut holviraakenteet / Dome-tekniikka	15 000–50 000	85	ruuvikuljetin, fluidipohja	Ei Suomessa v. 2003
Le Pillow	15 000	70	täyttö: pneumaattisesti esim. säiliöautosta; purku: imulla tai pneumaattisesti	Käytössä USA:ssa
Olemassa olevan säiliön tai varaston muuttaminen, esim. öljysäiliö	15 000	90	ruuvikuljetin, fluidipohja	vanha öljysäiliö, ontelolaattavarasto

12.2.2 Varastointi kostutettuna

Tuhkan varastointi kostutettuna tulee kyseeseen silloin, kun tuhkaa pitää varastoida suuria määriä esimerkiksi tie- tai kenttärakentamista varten. Vesi vaikuttaa lentotuhkan ominaisuuksiin heikentävästi varastoinnin aikana, mutta käytännössä suuremmissa hankkeissa kostutettuna varastointi voi olla ainoa taloudellinen tapa varastoida lentotuhkaa. Pohjatuhkilla varastointi optimivesipitoisuuteen kostutettuna on suositeltavin tapa, koska se ei ole altista veden vaikutuksille varastoinnin aikana.

Varastointi kostutettuna on mahdollista toteuttaa kahdella eri tavalla:

- hallitusti suuriin kasoihin läjittämällä tai
- varastoautoissa.

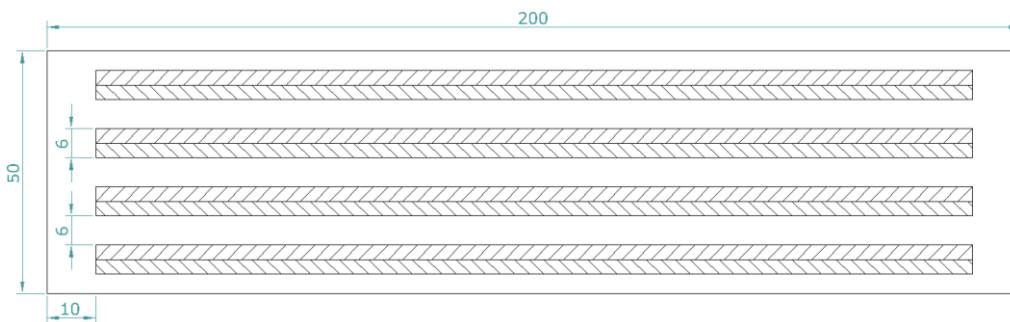
Läjittäminen on vähemmän tilaa vaativa ja yksinkertaisempi tapa varastoida. Se sopii hyvin silloin, kun lentotuhka hyötykäytetään sellaisenaan ja käytettävä tuhka on laadultaan homogeenista. Mikäli lentotuhkaa joudutaan sekoittamaan suuria määriä (suuri vedenlisäystarve tai sideaineen lisäys), aumavarastointi tulee vartenotettavaksi menetelmäksi, koska silloin säästetään ylimääräiseltä materiaalin siirtämiseltä. Pohjatuhkan varastointi voidaan käytännössä aina suorittaa läjittämällä eikä siihen tarvitse kiinnittää erityishuomiota.

Lentotuhkan varastointi on yleensä suositeltavaa toteuttaa hallitun läjittämisen ja aumavarastoinnin yhdistelmällä, jolloin osa varastointialueesta varataan aumavarastointikäyttöön ja loput läjittämiseen. Läjittämisen tai aumaamisen aikana tuhkaa ei saa missään tapauksessa

tiivistää esimerkiksi kasan päällä ajamalla. Kasojen tulee pysyä löyhänä, koska tiivistyessään kostea lentotuhka alkaa lujittua.

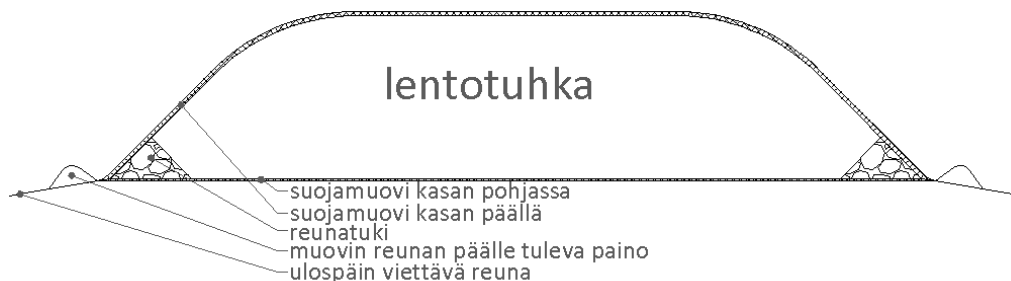
Läjittäminen suoritetaan käytössä olevan siirtokaluston rajoitteet huomioiden. Periaatteessa muita kokorajoituksia kuin kasan korkeus ei ole, mutta voi olla järkevää jakaa varastoitava materiaali useampaan kasaan, jolloin materiaalia on helpompi ottaa eri osista esimerkiksi silloin, kun käytettävää lentotuhkaa pitää homogenisoida useammalta laitokselta tulevan materiaalin takia.

Aumavarastointi kannattaa toteuttaa käytettävän aumasekoittimen toiminnalliset vaatimukset huomioiden. Kuvassa 12.4 on esitetty esimerkki aumojen sijoituksesta yhden hehtaarin kokoisella kentällä. Lentotuhka aumataan noin 4–6 m leveisiin ja 2,5 m korkeisiin aumoihin. Aumausalueen pohjan tulee olla tarpeeksi kantava, jotta aumasekoitin voi liikkua esteettömästi. Päällystetty kenttärakenne on suositeltavin ratkaisu aumausalueen pohjaksi. Aumojen päätyihin tulee jättää vähintään 10–15 m ja sivuille 6 m vapaata tilaa sekoittimen liikuttelua ja kääntämistä varten. On huomioitava, että aumat siirtyvät noin 2 m eteenpäin jokaisen sekoituskerran yhteydessä, mutta toisaalta tämä siirtyminen voidaan minimoida vaihtamalla sekoitussuuntaa jokaisen sekoituskerran jälkeen. Näillä periaatteilla esimerkin hehtaarin (50 m x 200 m) kokoiselle kentälle mahtuu yhteensä neljä 180 m pitkää aumaa eli noin 5400 m³ tuhkaa.



Kuva 12.4 Esimerkki tuhkan aumavarastoinnista hehtaarin kokoisella kentällä. Kentälle mahtuu kyseisellä varastointitavalla 5400 m³ tuhkaa yhdellä kertaa.

Kasat ja aumat on suositeltavaa suojata kuvan 12.5 periaatteiden mukaisesti, mikäli tuhkaa varastoidaan pitempiä aikoja. Kasa ja sen reunat pitää muotoilla ja peittää siten, että sadevesi pääsee valumaan esteettömästi pois sen päältä. Mikäli on mahdollista, että sadevesi kerääntyy kasan reunoille niin sivuojat voivat tulla tarpeeseen. Kasa voi olla myös tarpeellista suojata alhaaltapäin. Mikäli kasaa ei suojata perusteellisesti, voidaan osa tuhkasta joutua hylkäämään sen kastuessa.



Kuva 12.5. Periaatekuva lentotuhkakasan suojaamisesta.

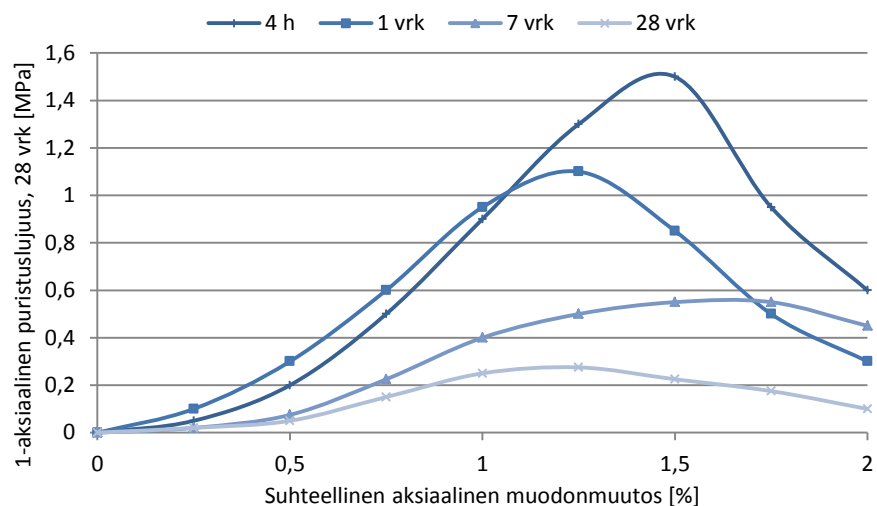
Periaatteessa kaikki kenttäalueet, jotka eivät sijaitse tärkeillä pohjavesialueilla, soveltuvat tuhkien varastointiin. Myös uusien tuhkien varastoinnille tarkoitettujen kenttäalueiden rakentaminen voi olla kannattavaa, koska näin hallittu varastointi ja käyttö helpottuvat huomattavasti. Tuhkien varastoinnissa on kuitenkin huomioitavaa, että varastointitoiminta on luvanvaraista toimintaa.

12.2.3 Varastoinnin vaikutus tuhkien tekniseen laatuun

Lentotuhkien varastoinnilla on merkittävä vaikutus niiden teknisiin ominaisuuksiin ja sitä kautta rakentamisen kustannuksiin. Mitä tuoreemmasta ja kuivemmasta tuhkasta on kyse, sitä vähemmän sen jalostaminen aiheuttaa mahdollisia sideainekustannuksia. Pohjatuhkilla varastointi ei juuri vaikuta tekniseen laatuun.

Kuivavarastoinnissa tuhkan maarakennusominaisuudet säilyvät paremmin kuin kostutettuna varastoitaessa. Kuiva lentotuhka säilyy reaktiivisena ja homogeenisena jopa vuosia. Kuivavarastointi on tuhkan pölyävyyden, käsiteltävyyden ja kuljetusten vuoksi kuitenkin haastavaa. Lisäksi kuivavarastointikapasiteetti on useimmiten rajallista. Tietyissä tuhkasovelluksissa kuivavarastointi on kuitenkin välttämätöntä tai siitä seuraa niin merkittävää etua, että sitä käytetään. Tällaisia sovelluksia ovat mm. tuhkan käyttö sementin lisäaineena ja tuhkan käyttö asfaltissa.

Kostutus vähentää tuhkan reaktiivisuutta. Vaikutus alkaa heti kostutuksen jälkeen ja pääosa heikkenemisestä tapahtuu 1–2 viikon kuluessa (Kuva 12.6). Varastointiajan vaikutus ja sopiva varastointivesipitoisuus on tutkittava lentotuhkakohtaisesti.



Kuva 12.6 Eräällä lentotuhkalla saavutettavat yksiakseliset puristuslujuudet 4 h, 1 vrk, 7 vrk ja 28 vrk materiaalin vanhentamisen eli kostuttamisen jälkeen.

12.3 Sekoitusmenetelmät

Tässä osiossa käsitellään välivarastointipaikalla tapahtuvaa materiaalin jalostamiseen liittyvää sekoitusta. Työmaalla tapahtuvaa sekoitusta on käsitelty luvussa 13 *Tuhkarakentaminen*.

Taulukko 12.3 Tuhkan jalostamiseen soveltuvat sekoitusmenetelmät

Sekoitusmenetelmä	Soveltuvuus	Sekoituspaikka	Kapasiteetti
Ruuvisekoitin	Lentotuhkan jalostaminen ja kostutus	Voimalaitos, välivarastointialue, työmaa	laitteiston mukaan
Asemasekoitin	Stabilointien sideaineseokset, lentotuhkaseosmateriaalit, lentotuhkan jalostaminen ja kostutus	Välivarastointialue, työmaa	50–100 t/h
Aumasekoitin	Stabiloinnin sideaineseokset, lentotuhkaseosmateriaalit, lentotuhkan jalostaminen ja kostutus	Välivarastointialue	1000–5000 t/h *
Kevyet sekoittimet	Pienet kohteet, ei vaativiin töihin, epähomogeenisuus todennäköistä	Välivarastointialue	10–25 t/h
Jyrsinsekoittimet	Lentotuhkan jalostaminen	Työmaalla	

* Sekoituskapasiteetti ei sisällä aumojen rakentamista, mikä rajoittaa todellisuudessa sekoitustehon tasolle 500–2000 t/tv.

Aumasekoitus

Aumasekoitus soveltuu suurien massamäärien, kuten sementillä jalostettavan ja kostutettavan lentotuhkan tehokkaaseen sekoittamiseen. Sekoitus tapahtuu erillisellä aumasekoittimella, joka on materiaalia ulkoa sisäänpäin siirtävällä ruuvilla varustettu tela-alustainen kone (Kuva 12.7) Suomessa käytössä olevia aumasekoittimia varten sekoitettava materiaali kasataan sopiviin aumoihin (Kuva 12.4). Aumasekoittimen teoreettinen sekoituskapasiteetti voi olla 6000 m³ tunnissa. Lentotuhka-aumat tarvitsevat kuitenkin yleensä useamman kääntökerän, jolla varmistetaan veden ja mahdollisen sideainelisäyksen tasainen jakautuminen. Tämän takia aumasekoittimen sekoituskapasiteetti lentotuhkan osalta on luokkaa 1000 m³/h. Sekoitusyön kokonaiskeston arvioinnissa on kuitenkin huomioitava myös muut työvaiheet, kuten aumojen rakentaminen ja veden lisääminen (luku 12.2).



Kuva 12.7 Lentotuhkien jalostamiseen soveltuva aumasekoitin. (Kuva: Harri Jyrävä, Ramboll)

Asemasekoitus

Asemasekoitus soveltuu pienempien materiaalmäärien, kuten kerrostabiloinnin sideaineen, sekoitukseen. Asemasekoittimella on mahdollista sekoittaa hyvin hallitusti eri aineita halutussa suhteessa ja samalla kostuttaa sideaineseos halutulla vesimäärällä. Kuvassa 12.8 on esitetty lentotuhkapohjaista sideaineseosta valmistava asemasekoitin.

Asemasekoittimen toimintakapasiteetti on esimerkiksi kerrostabiloinnin sideaineseosta valmistettaessa noin 50 t/h valmistamassa sideaineseosta. Toimintakapasiteetti riittää hyvin yhden stabilointiryhmän tarpeisiin. Massiivirakentamisen materiaalien sekoituksessa kapasiteetti voi olla jopa 100 t/h riippuen massojen olomuodosta (kuiva/kostea) ja syöttötavasta (siilosta/kiviainessyötöstä).



Kuva 12.8 Asemasekoitin valmistamassa lentotuhkapohjaista sideaineseosta kerrostabilointikäyttöön. (Kuva: Olli Kiviniemi, Ramboll)

Ruuvisekoitus

Ruuvisekoituksesta ei ole tällä hetkellä vielä kokemusta tuhkien sekoituksessa muualla kuin voimalaitosten siilojen purkuruuveissa, jotka on suunniteltu veden lisäykseen lentotuhkan kaatopaikkaläjitystä varten. Periaatteessa esimerkiksi liikuteltavan asematyypin ruuvisekoittimen avulla tuhkia voisi kostuttaa ja jalostaa tehokkaasti.

13 Tuhkarakentaminen

Tässä luvussa on käsitelty tuhkarakentamisen työn suunnittelua, kuvattu eri työmenetelmät yleispiirteisesti sekä käsitelty tuhkarakentamisen työturvallisuuteen liittyviä erityispiirteitä.

13.1 Materiaaliketju ja sen suunnittelu

Tuhkarakentamisen materiaaliketjun suunnittelussa lähtökohtana on tasainen ja riittävä materiaalin toimitusnopeus rakennustyömaalle sekä rakentamisen erilaisten tehtävien yhteensovittaminen. Tuhkarakentamisen materiaaliketjussa tulee huomioida materiaalin tuotannon ajankohta, joka tapahtuu suurimmalla volyyymilla talven kylmimpinä kuukausina. Rakentaminen tapahtuu puolestaan loppukevään ja syksyn aikana, jonka vuoksi materiaalin varastointi on tuhkarakentamisessa suuressa roolissa. Varastointimenetelmien periaatteita ja muita käsittelyyn liittyviä periaatteita on käsitelty tarkemmin luvussa 12.

Tuhkarakentamisen materiaaliketjua suunniteltaessa on otettava erityisesti huomioon seuraavat tuhka ja sivutuotemateriaaleja koskevat asiat:

- materiaalien saatavuus
- materiaalien varastointi ja sen vaikutus laatuun
- materiaalien jalostus (laatu ja kapasiteetti)
- materiaalien kuljetus ja rakentaminen (kalustot ja niiden kapasiteetti)

Rakentamiseen tuotavien materiaalien kuljetuksen kannalta rakentaminen on suositeltavaa toteuttaa siten, että lähdetään liikkeelle kohteelle tuotavien kuljetusten tulosuuntaan nähden osuuden loppupäästä. Näin pyritään minimoimaan raskas liikenne sivutuoterakenteen päällä välittömästi levitys- ja tiivistysvaiheen jälkeen, jolloin rakenne ei ole vielä lainkaan lujittunut. Vasta rakennetun sivutuotekerroksen päällä liikkuvan raskaan liikenteen määrä on muiltakin osin pyrittävä mahdollisuuksien mukaan minimoimaan.

13.2 Työn suunnittelu

Tuhkarakentamisen ennakkosuunnittelussa on huomioitava käytettäväksi suunnitellun tuhkan tyyppi ja varmistuttava siitä, että ennakkotutkimukset ja rakenteen mitoitus on tehty saman käyttöluokan tuhkalta kuin mitä käytetään varsinaisessa rakentamisessakin (ks. luku 3.3 *Tuhkien luokittelun periaatteet*). Erityisesti on huomioitava eri tavalla varastoitujen tuhkien väliset erot (esim. kuivana ja kostutettuna varastoitu lentotuhka). Myös käytettävissä olevan rakennuskaluston (kuljetukset, sekoitus, tiivistys) soveltuvuus ja kapasiteetin riittävyys on syytä varmistaa ja tarvittaessa testata etukäteen. Ennakkotestausta suoritetaan erityisesti, kun tarkkaillaan tuhkan hallittua varastointia ja sekoitusprosessia sekä tiivistymistä työmaalla, koska työmaaolosuhteet, kalusto sekä tuhkamateriaalien laatu vaihtelevat monesti alkuperäisistä tutkimuksista.

Tuhkan saatavuus ja toimituskapasiteetti on selvitettävä hyvissä ajoin ennen varsinaista rakentamista ja tarvittaessa rakennusmateriaaleja on kerättävä välivarastoon. Tuotannossa on usein seisokkeja, jotka tulee huomioida tuhkamääriä arvioitaessa. Tuhkamääriä arvioitaessa on selkeintä käyttää yksikkönä kuivatonneja. Muita työn ennakkosuunnittelussa huomioitavia tekijöitä ovat mm. liikennejärjestelyt, työsuojelu, mahdolliset lupa-asiat sekä erityisesti sääolosuhteiden (*Taulukko 13.1*) mahdolliset vaikutukset työn edistymiseen ja lopputuloksen laatuun. Lentotuhkarakentaminen on suositeltavaa toteuttaa toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. Muina ajankohtina riskit kasvavat erityisesti rakenteiden alkulujittumisen suhteen. Matala lämpötila hidastaa oleellisesti lujittumista ja lähellä 0 °C lämpötilaa rakenteen lujittuminen pysähtyy kokonaan.

Taulukko 13.1 Sääolosuhteiden vaikutus työn suunnitteluun.

Sääolosuhde		Vaikutus	Toimenpide
Sade	Rankka	Materiaalin liettyminen	Töiden keskeytys ja keskeneneräisten rakenteiden suojaus
	Kevyt	Ei vaikutusta	-
Tuuli	Voimakas	Materiaalin kuivaaminen ja mahdolliset pölyhaitat	Pinnan kastelu
Lämpötila	Kuuma (>20 °C), aurinkoista	Materiaalin kuivaaminen ja mahdolliset pölyhaitat	Lisäkostutus
	Kylmä (<5 °C)	Lujittumisen hidastuminen	Töiden teko ei ole suositeltavaa

Mikäli on olemassa sateen riski, on suositeltavaa käyttää porrastettua rakentamistapaa eli lyhyitä kerralla valmiiksi tehtäviä osuuksia. Mursketta tulee tällöin olla nopeasti saatavilla tuhkarakenteen pinnan suojaamista varten.

Rakennuspohjan on ehdottomasti oltava kuiva, koska märälle pohjalle levitetty tuhka voi liettyä tiivistämiskelvottomaksi. Huonosti kantavalle pohjalle rakennettaessa on kiinnitettävä erityishuomiota riittävän tiiviysasteen saavuttamiseen ja työn ohjaukseen. Huonosti kantavilla alueilla on varauduttava rakentamaan murskeesta tukikerros, joka muodostaa paremman tiivistämispohjan. Tukikerroksessa voidaan hyödyntää myös pohjatuhkaa.

13.3 Työmenetelmät ja toteutus

13.3.1 Massiivilentotuhkarakenteet

Massiivilentotuhkarakenteiden rakentaminen vaatii sivuttaistukea reunapenkereistä. Reunatuki tehdään esimerkiksi murskeesta tai soveltuvista kaivumaista ja se rakennetaan vähintään suunnitellun kerroksen korkuiseksi. Reunatuet tiivistetään ennen tuhkerakenteen levittämistä, mikäli ne jätetään paikalleen. Mikäli tuhkerakenteen rakennetaan jo olemassa olevan tasauksen alapuolelle, voidaan reunatuenta järjestää jo vanhojen massojen kaivuvaiheessa jättämällä osa massoista poistamatta reunoilta (Kuva 13.1). Reunatuen materiaali tulee olla vettä läpäisevää materiaalia, jotta vesi pääsee virtaamaan tuhkerakenteesta pois. Mikäli reunatuen materiaali on huonosti vettä läpäisevää, on siihen tehtävä alueita, joita pitkin vesi pääsee virtaamaan pois rakenteesta.



Kuva 13.1 Lentotuhkan levitys ja tiivistäminen käynnissä. Kuvassa oikeanpuoleinen kaista on jo tiivistetty ja kevyessä liikennekäytössä. Sivuilla näkyvät murskekasat toimivat tiivistystukena. (Kuva: Olli Kiviniemi, Ramboll)

Tuhkamateriaali

Massiivilentotuhkarakentamisessa kohteelle toimitettavan lentotuhkamassan tulee olla tiivistymisen kannalta oikeassa vesipitoisuudessa ja homogeenista, jotta se voidaan levittää ja tiivistää sellaisenaan. Liian kuiva lentotuhka tiivistyy huonosti ja tiivistystavoitteen saavuttaminen vaikeutuu. Liian kostea tuhka puolestaan pehmenee ja vesi erottuu siitä tiivistettäessä. Liian kosteaa tuhkaa ei saa käyttää rakentamisessa, vaan se toimitetaan tuhkan toimittajan osoittamalle läjitysalueelle. Vesipitoisuuden korjaaminen ja homogenisointi työkohteella eivät ole suositeltavia, mutta voidaan tarvittaessa toteuttaa esimerkiksi jyrsinsekoituksen avulla. Jyrsinsekoituksen yhteydessä on mahdollista lisätä lentotuhkaan myös sideainetta. Tuhkamateriaali on pyrittävä käyttämään mahdollisimman nopeasti työmaalle toimittamisen jälkeen.

Levitys ja tiivistäminen

Levitettävän löyhän lentotuhkakerroksen paksuus ennen tiivistämistä on noin 1,5-kertainen tavoitteena olevaan, tiivistettyyn kerrospaksuuteen nähden. Lentotuhkarakentamisessa suositeltava kerralla tiivistettävä kerrospaksuus on tie- ja kenttärakentamisessa maksimissaan 200 mm (löyhänä 300 mm). Jos tiivistäminen toteutetaan useammassa vaiheessa, on kaikki kerrokset saatava valmiiksi saman työvuoron aikana. Tuhkamassoja ei saa levitysvaiheessa joutua ojiin. Mikäli materiaalia kuitenkin joutuu rakenteen ulkopuolelle, on se siivottava pois. Lopputilanteessa sivutuotekerroksen on oltava kaikilta osin peitettynä. Levitetty kerros on tiivistettävä ennen kuin sen päälle päästetään autoliikennettä.

Tuhkan levitys on suositeltavaa toteuttaa asfaltinlevitintä käyttäen, jolloin kerros saadaan levitettyä ja tiivistettyä tasaisesti. Levitys voidaan tehdä myös tiehöylällä, mutta tällöin pitää kiinnittää erityisesti huomiota kerroksen tasaiseen tiivistymiseen, koska tuhkaa levittäessä ja kerroksen päällä liikuttaessa renkaat helposti tiivistävät materiaalia epätasaisesti, aiheuttaen poikisuuntaista vaihtelua tiivistymisessä. Kaivinkoneen käyttö levityksessä ei ole suositeltavaa. Tuhkarakenteen pinta on suositeltavaa muotoilla ulospäin viettäväksi siten, että rakenteen päälle ei jää vettä kerääviä taskuja. Raskaan kaluston liikkumista juuri levitetyn ja tiivistetyn tuhkakerroksen päällä tulee välttää.

Tuhkarakenteen onnistumiseen vaikuttavat olennaisesti tiivistettävän materiaalin vesipitoisuus ja tiivistyksen onnistuminen. Tiivistystyö tehdään tuhkakerroksen pinnan muotoilun jälkeen täryjyrällä. Ensimmäinen ylityskerta suoritetaan kuitenkin aina ilman täryä. Tiivistystuloksen varmistamiseksi on suositeltavaa tehdä lopputiivistys ohuen murskekerroksen päältä, jottei tiivistetyn tuhkakerroksen pintaosa jää jyräyksen jälkeen löyhäksi eikä irtonaiseksi. Suositeltavat 1-valssisen jyrän painot ovat vedettävälle vähintään 5 t ja itsekulkevalle 6–10 t. Tiivistämisessä on suositeltavaa käyttää jyrää, jonka iskun pituutta voidaan säätää. Tällöin kerroksen pintaosat saadaan tiivistettyä tehokkaammin lyhentämällä jyrän iskupituutta viimeisillä yliajokerroilla. Rakenteen reunojen tiivistykseen on kiinnitettävä erityishuomiota.

Lentotuhkakerroksen tiivistystyö toteutetaan mahdollisimman nopeasti levittämisen jälkeen ja joka tapauksessa saman työvuoron kuluessa kuin massojen sekoitustyö. Ennen lopputiivistyksessä käytettävän murskeen levittämistä sivutuotekerroksen pinta tarvittaessa oikaistaan höylällä. Tiivistys seuraavana päivänä on ehdottomasti kielletty. Työvuorojen lopussa tehtävät työsaumat tehdään mahdollisimman jyrkiksi ja sivutuotekerros peitetään murskeella yön ajaksi.

Rakentamisessa käytettävällä tiivistyskalustolla tehty koetiivistystyö on tärkeä osa ennen varsinaisen tuhkarakentamisen aloittamista. Koetiivistyksellä etsitään ko. tuhkatyypille ja käytettävälle kalustolle sopiva tiivistämistapa. Tarvittavaa tiivistystyömäärää on kuitenkin varauduttava säätämään työn edetessä tehtävän tiivistystyön tarkkailun perusteella. Tuhkarakenteiden tiiviysvaatimus on yleensä vähintään 90–95 % parannetulla Proctor-kokeella määritetystä optimivesipitoisuutta vastaavasta maksimitiiviydestä.

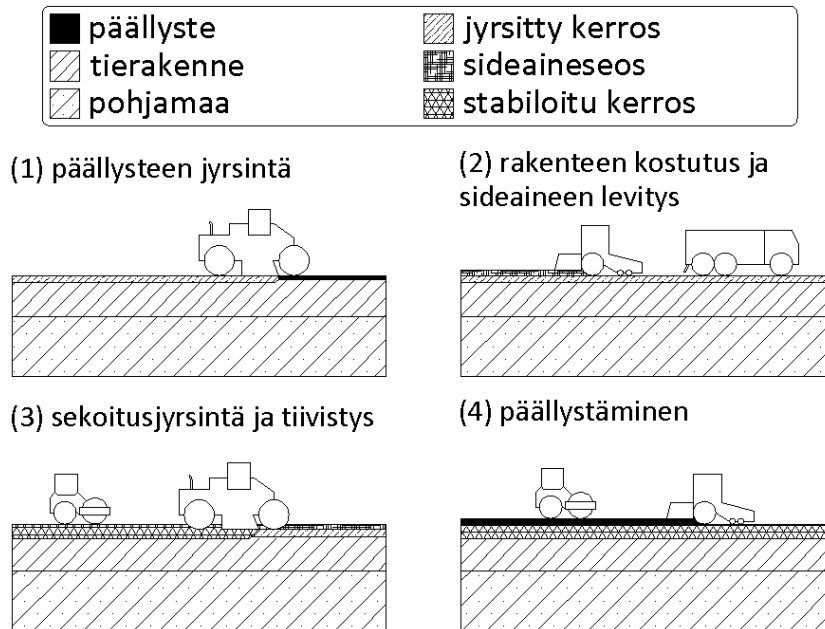
Tulevaisuudessa tuhkarakentamiseen tullaan mitä todennäköisimmin soveltamaan myös uudenlaisia rakentamismenetelmiä, esimerkiksi erilaisten levittimien käyttämistä, joilla voidaan kontrolloida paremmin kerrospaksuutta, ja joilla voidaan saada myös tuhkakerroksen reunaosat täsmällisesti rakennettua. Myös erilaiset siirrettävät reunatukiratkaisut voivat olla tulevaisuudessa mahdollisia.

13.3.2 Pohjatuhkarakenteet

Käyttö ja työtavat normaalin hiekkamaisen materiaalin tapaan.

13.3.3 Kerrosstabilointi

Kerrosstabiloinnin työvaiheet esitetään kuvassa 13.2. Korjausrakentamiskohteilla työ aloitetaan jyrsimällä vanha päällyste pois tai olemassa olevan kantavan kerroksen sekaan, jonka jälkeen rakenne tarvittaessa kostutetaan ja muotoillaan haluttuun muotoon. Uudisrakennuskohteilla stabilointityö aloitetaan valmiiksi levitetyn ja muotoillun murskekerroksen päältä (kuvassa kohta 2).



Kuva 13.2 Kerrosstabiloinnin työvaiheet korjausrakentamiskohteissa. Uudisrakentamiskohteissa työ alkaa vaiheesta (2).

Kohteella käytettävä sideaine levitetään tielle joko valmiina sideaineseoksena tai sideaine kerrallaan. Kerrosstabiloinnissa voidaan käyttää sekä kuivia että kosteita sideainekomponenttejä ja käytettävä levityskalusto on valittava käytettävän materiaalin mukaisesti. Kosteiden sideaineiden levitys onnistuu parhaiten asfaltinlevittintä tai vastaavaa käyttäen, kun taas erilaiset kalkinlevittimet sopivat parhaiten kuivien osakomponenttien levittämiseen.

Sideainekomponentit voidaan levittää, jyrsiä ja tiivistää joko kaikki kerralla tai kahdessa vaiheessa. Kahdessa vaiheessa toteutettava kerrosstabilointi toteutetaan siten, että hitaammin lujittuvat komponentit (yleensä sivutuotteet) levitetään, jyrsinsekoitetaan ja painetaan kevyesti kiinni ensimmäisenä ja kuivan kaupallisen sideainekomponenttien levitys, jyrsimetty ja tiivistys tapahtuu tämän jälkeen toisessa vaiheessa. Pinta muotoillaan lopulliseen muotoonsa kaksivaiheisessa kerrosstabiloinnissa ensimmäisten sideaineiden levittämisen jälkeen, kun yksivaiheisessa kerrosstabiloinnissa pinta muotoillaan ennen sideaineiden levittämistä. Kaikki sideaineet jyrsinsekoitetaan ennalta määrätystä syvyydestä ja lopulta tiivistetään täryjyrillä vaadittuun tiiveystasoon. Tiivistystyö tulee toteuttaa mahdollisimman nopeasti sekoitustyön jälkeen, saman työvuoron aikana. Rakenteen tiivistäminen jyrillä on tämän jälkeen kielletty.

Kerrosstabilointiin määritetään kohdekohtainen optimivesipitoisuus, johon pyritään rakentamisen aikana. Vesipitoisuudella on kerrosstabiloidun kerroksen ja työn lopputuloksen kannalta olennainen merkitys. Stabiloitavan kerroksen vesipitoisuusseuranta sekä työohjauksen (liisäveden määrä) on suositeltavaa kiinnittää erityistä huomiota. Jyrsimettyjen kautta on useimmiten mahdollista lisätä myös vettä rakenteeseen.

Kulutuskerroksen levitys tehdään suoraan kerrosstabiloidun kerroksen päälle. Päällystämisen yhteydessä käytetään tarvittaessa ohutta tasauserrosta. Mikäli päällysteen levitys tehdään suoraan kerrosstabiloidun kerroksen päälle, on suositeltavaa varmistaa päällysteen tarttuminen ennen varsinaisen päällystystyön aloittamista esimerkiksi bitumiliimaa käyttäen.

13.4 Työturvallisuus

Tuhkaa käsiteltäessä on aina huomioitava pölyämrisriski. Osa tuhkista on syövyttäviä korkean pH:n vuoksi, ja tuhkalta altistuminen saattaa vaurioittaa silmiä sekä ärsyttää ihoa sekä hengitysteitä. Oikeanlaisilla työsuojelutoimenpiteillä ja työtekniikoilla haitallinen altistuminen voidaan välttää. Siksi pölyävissä työvaiheissa suositellaan käytettäväksi silmäsuojaimia, hengityssuojainta (P2), suojakäsineitä ja suojavaatetusta. Silloin, kun tuhka on kostutettu eikä muodosta pölyä, suositellaan käytettäväksi suojavaatetusta ja suojakäsineitä ihoaltistuksen välttämiseksi. Pohjatuhka ei ole niin pölyävää kuin lentotuhka.

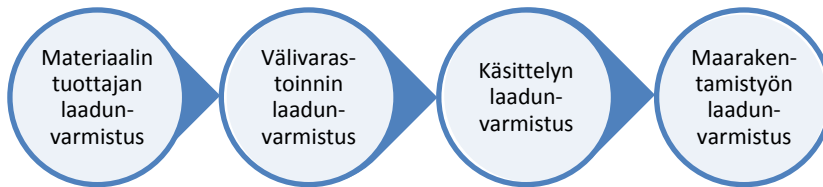
Tuhkarakentamisessa kuivalla säällä, voimakkaassa auringonpaisteessa ja tuulisella säällä lentotuhka pölyää helposti, joten siksi tuhkarakenteet tulee peittää mahdollisimman nopeasti. Pölyhaittojen minimointi tulee huomioida myös tuhkan kuljetuksessa ja varastoinnissa. Oikein käytettynä tuhkarakentamisen pöly ei aiheuta työsuojelullisia ongelmia. Tuhkarakentamiskohteisiin on suositeltavaa laatia työturvallisuusohje tai -suunnitelma, jossa on käyty läpi työsuojelutoimenpiteet ja oikeanlaiset työtekniikat.

13.5 Toimintamenettely tuhkarakenteen elinkaaren lopussa

Lujittuvaa lentotuhkaa sisältävien rakenteiden elinkaaren lopussa tai muuten poistettaessa esimerkiksi kunnallistekniikan korjaustöiden yhteydessä rakenteessa kertaalleen käytetyn lentotuhkan ominaisuudet voidaan palauttaa lisäämällä siihen sementtiä jyrsimen tai seulauhan avulla. Pohjatuhka voidaan käyttää kaivun jälkeen samaan käyttötarkoitukseen kuin se oli ennen rakenteen avaamista. Vaihtoehtoisesti materiaalit voidaan sijoittaa sille soveltuvalla hyödyntämiskohteelle tai läjitysalueelle. Rakenteesta poistettavia tuhkia käsitellään jäteilainsäädännön mukaisesti läjitysalueelle sijoitettaessa.

14 Laadunvarmistus

Onnistuneen tuhkarakentamisen kannalta on oleellista, että laadunvarmistus toteutuu ja toimii koko ketjussa lähtien tuhkan tuottajan tekemästä laadunvalvonnasta, välivarastoinnin ja sekoitustyön aikaiseen laadunvalvontaan ja päättyen työmaalla tapahtuvaan laadunvalvontaan (Kuva 14.1). Kuvassa esitetyt laadunvarmistuksen vaiheet on esitelty tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 14.1 Laadunvarmistusketju

14.1 Materiaalintuottajan laadunvalvonta

Materiaalintuottajan laadunvarmistus sisältää olennaisten prosessitietojen seurannan, tuhkien teknisten ominaisuuksien määrittämisen ja seurannan sekä tuhkien ympäristöllisten ominaisuuksien seurannan.

on suositeltavaa aloittaa selvittämällä materiaalien tekniset perusominaisuudet taulukon 14.1 mukaan. Perusominaisuuksien perusteella voidaan materiaalit luokitella käyttöluokkiin (luku 3.3) ja arvioida niiden soveltuvuus ja mahdollinen jalostamistarve eri käyttökohteita ajatellen. Polttoainekoostumuksen tai prosessin muuttuessa merkittävästi ovat kaikki määritetyt taulukon 14.1 ominaisuudet käytännössä tarkistettava.

Lentotuhkien osalta perusominaisuudet käsittävät hehkutushäviö, tiivistyvyysominaisuudet, lämmönjohtavuuden, routivuuden sekä lujittumisominaisuudet. Näistä erityisesti tiivistyvyysominaisuudet on tarkistettava aina rakentamishankkeiden yhteydessä. Lujittumisominaisuudet on suositeltavaa tarkistaa vaativampien hankkeiden yhteydessä, rakentamisen kannalta merkitsevissä olosuhteissa. Rakeisuutta, vedenläpäisevyyttä ja kapillaarisuutta voidaan tarvita joissakin tietyissä erityissovelluksissa, joten niiden määrittäminen tulee kyseeseen vain tarpeen vaatiessa.

Pohjatuhkien osalta olennaisin ominaisuus on rakeisuus, jota on suositeltavaa seurata tasaisin väliajoin. Muut olennaiset perusominaisuudet ovat hehkutushäviö, tiivistyvyysominaisuudet, kapillaarisuus sekä lämmönjohtavuus. Muiden ominaisuuksien määrittäminen tulee kyseeseen tarpeen vaatiessa.

Teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavia seurattavia prosessitietoja ovat käytetty polttoaine, varastoitavan tuhkan vesipitoisuus sekä kattilan kuormitustilanne.

Teknisten ominaisuuksien lisäksi ympäristölainsäädännön edellyttämät kokonaispitoisuus- ja liukoisuusarvot on selvitettävä vuosittain tai prosessin tai polttoainekoostumuksen muuttuessa merkittävästi.

Taulukko 14.1 Määritettävät ja seurattavat tuhkien tekniset ominaisuudet

Ominaisuus	Lentotuhka	Pohjatuhka
Perusominaisuudet		
Rakeisuus	Tarvittaessa	Jatkuva seuranta
Hehkutushäviö	Perustieto	Perustieto
Varastoitavan tuhkan vesipitoisuus	Jatkuva seuranta	Jatkuva seuranta
Optimivesipitoisuus	Perustieto ja tarkistukset	Perustieto
Maksimikuivairtoteisyys	Perustieto ja tarkistukset	Perustieto
Vedenläpäisevyys	Tarvittaessa	Tarvittaessa
Kapillaarisuus	Tarvittaessa	Perustieto
Lämmönjohtavuus	Perustieto	Perustieto
Routivuus (segregaatiopotentiaali)	Perustieto	Tarvittaessa (mikäli rakeisuus- käyrä viittaa routivuuteen)
Lujittumisominaisuudet		
Puristuslujuus	Perustieto ja tarkistukset	-
Jäätymis-sulamiskestävyys	Perustieto ja tarkistukset	-
Soveltuvuus stabilointiin	Tarvittaessa	-

14.2 Materiaalien välivarastoinnin ja käsittelyn laadunvalvonta

Välivarastoinnin laadunvarmistukseen kuuluu tuhkan vesipitoisuuden seuranta. Myös tuhkan tiivistymistä ja paakkuuntumista tulee seurata. Mikäli tuhkaa varastoidaan kostutettuna, on selvitettävä varastoinnin vaikutus tuhkan laatuun. Oleellista on saada hyötykäyttöön riittävän laadukasta ja homogeenistä tuhkaa, jonka ominaisuudet vastaavat etukäteen tehtyjen tutkimusten perusteella määritettyä laatutasoa.

Tuhkan sekoitustyö voi tapahtua tuotantopaikalla, välivarastointialueella tai työmaalla, mutta oleellista on, että sekoituksen seossuhdetta, vesipitoisuutta ja homogeenisuutta valvotaan ja kontrolloidaan. Ennakkotutkimuksissa tuhkamassojen optimivesipitoisuus ja maksimikuivairtoteisyys määritetään Proctor-kokeella. Proctor-koe uusitaan sekoitustyön edetessä, mikäli käytettävien materiaalien laadun voidaan olettaa muuttuneen. Testien perusteella varmistetaan massoihin sekoitusvaiheessa lisättävän veden määrä, sekä tarkistetaan tiivistystyön laadunvalvonnassa käytettävät kuivairtoteisyysvaatimukset.

Sekoitustyön aikana valmiiden massojen laadunvaihtelua on valvottava koko ajan (minimissään homogeenisuuden silmämääräinen seuranta, käytettyjen massojen määräseuranta sekä vesipitoisuuden seuranta ja säätö). Alkuvaiheessa vesipitoisuusseurantaväli on tiheämpi, mutta työn edetessä seurantaväliä voidaan harventaa jopa tasolle 1 näyte/100 t, mikäli sekoitetujen massojen laadunvaihtelu on todettu vähäiseksi (dokumentointi). Massojen homogeenisuutta ja määrää seurataan jatkuvaluonteisesti. Rakentamisessa käytettävien materiaaliseosten eri komponenttien määräsuhteiden tulee pysyä vakiona. Mikäli todetaan, että sekoitetun materiaalin laatu ei täytä asetettuja vaatimuksia, sitä ei saa käyttää rakentamiseen. Tarvittaessa massojen laatua voidaan arvioida myös esim. erilaisia ympäristöanalysointoreita hyödyntäen.

Sekoitustyössä käytetyistä sivutuotemassoista sekä vesipitoisuudesta on pidettävä kirjaa siten, että seossuhteiden tarkistus myös jälkikäteen on mahdollista.

14.3 Rakentamisen laadunvalvonta

Tuhkarakennuskohteen rakennuttaja vaatii urakoitsijalta laadunvalvontaa, minkä lisäksi rakennuttaja valvoo rakentamista pistokoeluoontoisesti. Laadunvalvonnalla urakoitsija osoittaa rakennuttajalle, että työ on tehty suunnitelmien mukaan. Tuhkarakenteiden laadunvalvonnassa käytetään pääsääntöisesti samoja menetelmiä ja laatuvaatimuksia kuin luonnon ki-
viaineisia käytettäessä.

14.3.1 Tuhkamateriaali

Työn aikana seurataan jatkuvasti sekoitusasemalta tulevan materiaalin vesipitoisuutta ja annetaan tarvittaessa vesipitoisuuden säätöohjeita sekoituspaikalle. Käytettävän massan vesipitoisuus täytyy määrittää lisäksi aina silloin, kun levitettävän ja tiivistettävän sivutuotekerroksen käyttäytyminen työn aikana muuttuu, työssä esiintyy ongelmia tai seurantamittaustulokset poikkeavat oletusarvoista.

Rakentamisessa käytettävän tuhkamateriaalin laatua (maksimikuivairtoteiheys ja optimivesipitoisuus) seurataan työn kuluessa tehtävillä Proctor-sarjoilla (tai IC-testerillä). Saatavia tuloksia hyödynnetään tiivistystyön laatureurannassa (=vertailuarvot). Tiiviysasteita laskettaessa vertailuarvona käytetään viimeksi tutkitulla näyte-erällä määritettyä maksimitasoa.

14.3.2 Tiivistyskokeet ja lujuuskoeappaleet

Tiivistyskokeissa ja lujuuskoeappaleissa käytettävät materiaalinäytteet otetaan tielle levitetyistä massasta ennen jyräystä. Tiivistyskoe tehdään Proctor-kokeen mukaista maksimityömäärää käyttäen tiivistäen materiaali siinä vesipitoisuudessa (määritys työmaalla), kuin se on tiekohteelle toimitettu. Tiivistyskokeen tuloksena saadaan testatun materiaalin suurin mahdollinen kuivairtoteiheys, joka voidaan saavuttaa testatun materiaalin vesipitoisuudessa. Samasta kohdasta otetusta materiaalista voidaan tiivistää myös toteutuvan lujittumisen tason määrittelyssä käytettävät seurantakappaleet (lujuuskoeappaleet). Lujuuskoeappaleiden tiivistystyömäärä pyritään valitsemaan siten, että seurantakappaleet tiivistetään rakenteen tavoitetiiviyttä vastaavalle tasolle.

Laadunvalvontatyön yhteydessä on huomioitava, että sivutuoteseoksilla saavutettava maksimiteiheystaso on suhteellisen voimakkaasti riippuvainen massan komponenttien seossuhteesta. Komponenttien seossuhteen vaihtelu voi aiheuttaa epäloogisia tuloksia esim. tiiveysasteita määritettäessä ja epäloogiset tulokset onkin varmennettava tekemällä heti uusi rinnakkaisesti tai tarkistamalla kyseisellä materiaalinäytteellä saavutettava maksimikuivairtoteiheys Proctor-kappaleilla.

Jälkikäteen laboratorioissa tehtävillä laatuasteilla voidaan tarvittaessa selvittää mm. sekoituksen homogeenisuutta. Laboratoriomäärityksiä ei kuitenkaan käytetä varsinaisessa työohjauksessa, vaan ne tulevat kysymykseen lähinnä jälkikontrollinnissa mikäli ilmenee epäilyksiä esimerkiksi sekoituksen tasalaatuisuuden osalta.

14.3.3 Tiiveysmittaukset

Rakenteen tiiveysastetta seurataan koko rakentamistyön ajan. Mittausten perusteella ohjataan tiivistystyötä ja ohjataan tarvittavaa tiivistystyömäärää. Rakenteen tiiveysasteen toteaminen voidaan tehdä volymetrillä tai Troxlerilla. Tiivistystulosta voidaan arvioida myös kantavuusmittauksista (Loadman, levykuormitus- tai pudotuspainolaite) saatavan tiiveysasteen perusteella. Saavutettava tiiveysaste vaikuttaa merkittävästi valmiin rakenteen lujuuteen, joten huolellinen tiivistystyö onkin yksi tärkeimmistä tuhkarakentamisen onnistumiseen vaikuttavista tekijöistä.

Tuhkakerrosten tiiviysmittauksia tehdään jokaisesta tiivistyskerroksesta. Mitattua kuivairtiheyttä verrataan parannetulla Proctor-kokeella määritettyyn maksimikuivairtiheyteen. Mikäli saatu tulos alittaa tavoitetiivistystason, on mittausalueella suoritettava lisätiivistystä ja tämän jälkeen uusittava mittaus.

Troxlerin käyttöä ei suositella massiivituuhkarakenteiden tiiviyn eikä vesipitoisuuden mittaamiseen. Mikäli sitä halutaan käyttää, on laite kalibroitava käytettävälle tuhkamateriaalille ja varmistuttava laitteen luotettavuudesta. Kerrostabilointitöiden yhteydessä Troxlerin käyttö on mahdollista.

14.3.4 Kerrospaksuudet

Kerrospaksuuksien toteutumista seurataan ja ohjataan koko levitys- ja tiivistysvaiheen ajan. Sallittu vaihteluväli sivutuotekerroksen lopullisessa kokonaispaksuudessa on -1– +3 cm ja lopulliset kerrospaksuudet kirjataan ylös vähintään 50 m välein (sekä keskilinja että molemmat reunat, = reuna+0,5 m).

14.3.5 Rakentamisen dokumentointi

Työmaalla kirjataan ylös saapuvien massojen saapumisaika ja sijoituskohta (paaluväli). Lisäksi kirjataan ylös kaikki ne seikat, joiden katsotaan voivan vaikuttaa rakentamisen lopputulokseen (sää, työsuorituksiin kulunut aika, ongelmat, poikkeaminen työohjeista yms.).

Kirjallisuusluettelo

Ahlqvist, E., Niutanen, V., 2006. Lentotuhkan, kuitusaven ja rikastushiekan varastointimahdollisuudet ja logistiset tarpeet. Esiselvitys, LTY, Ecoinfo II.

Finergy, 2000, Tuhkarakentamisohe. Energia-alan keskusliitto ry Finergy.

Forsman, J., Haatainen, M. 2001, Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohe, Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2001:7

Havukainen, J., Hämäläinen, A. & Latvala, A. 1987, Kivihiilituhkien käyttökemukset kunnallistekniikan maarakenteissa. Tuhkaprojektin loppuraportti. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto. Geotekninen osasto.

Huttunen, E. 2005, Metsäteollisuuden lentotuhkien käyttö tie-, katu- ja kenttärakenteissa; Suunnittelu- ja mitoitusohje. (Finncao, Envitop ja Oulun Yliopisto)

Konrad, J-M, 1980, Frost Heave Mechanics, University of Alberta

Korpijärvi, K., et al. 2009, Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. VTT. ISBN 978-951-38-7317-2.

Kujala K., 2002, Rikastushiekan käyttö tie- ja katurakenteissa, Suunnittelu- ja mitoitusohje. Lappeenranta, Nordkalk Oyj Abp,

Lahtinen P., 2001, Fly ash mixtures as flexible structural materials for low-volume roads, Helsinki, Tiehallinto, Finnra Reports 70/2001 ISBN 951-726-826-2, ISSN 1457-9871

Lounais-Suomen ympäristökeskus. 2009, Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 09/2009. Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnittelu. Taustaraportti. Tuhkat ja kuonat. Turku. ISBN 978-952-11-3538-5.

Maijala, A., Ronkainen, M. 1999. Tuhkarakentamisohe. Tuhkat hyötykäyttöön -projekti. Finergy.

Mäkelä, E, Wahlström, M, Mroueh, U-M , Keppo, M, Rämö, P. (1995) Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteiden ja lentotuhkan hyötykäyttö maarakentamisessa. Sihti 2. Energia- ja ympäristöteknologia. VTT julkaisuja 809. Espoo.

Mäkelä, E., et al. 1999. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteet ja lentotuhka maarakentamisessa. Jatkotutkimus. VTT Tiedotteita 1952. ISBN 951-38-5419-1

Mäkelä, H, Höynälä, H, 2000, Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa – Materiaalit ja käyttökohteet, TEKES, Teknologiakatsaus 91/2000ISSN 1239-758x ISBN 952-9621-97-3

Nordkalk Oy, 2010, Nordkalk FS suodatinhiekkä tie-, katu- ja ympäristörakentamiseen. Nordkalk Oy Ab tuote-esite.

Ollila, S., 2011. Teollisuuden sivutuotteiden stabiloinnin, seostamisen ja vanhentamisen vaikutus haitta-aineiden liukoisuuksiin. Diplomityö. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta.

Ranta, J., Wahlström, M. 2002. Tuhkien laatu REF-seospoltossa. VTT Tiedotteita 2138. ISBN 951-38-5885-5.

Rudus Oy, 2008, Lentotuhkaohje: Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun

Rudus Oy, 2008, Pohjatuhkaohje: Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun

Stekete, J. 2009, Accelerated carbonation and washing of MSWI bottom ash: pilot experiments and full scale applications, Publications from Wascon in Lyon

Tiehallinto, 2007, Päällysrakenteen stabilointi, Tiehallinto, Helsinki, ISBN 978-951-803-970-2
TIEH 2100055-07

Tiehallinto, 2004, Tierakenteen suunnittelu. Tiehallinto, Helsinki, ISBN 951-803-402-8
TIEH 2100029-04

UUMA hanke, 2010, UUMA-materiaalien ympäristökelpoisuuden osoittaminen ja tuotteistaminen Suomessa. Luonnos 5.11.2010.

Walsh, M. 1997. Kivihiihi- ja turvevoimalaitosten sivutuotteet ja niiden hyötykäyttö. Finergy. ISBN 952-440-001-4.

Liite 1: Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa

28.6.2006/591

Valtioneuvoston päätöksen mukaisesti, joka on tehty ympäristöministeriön esittelystä, säädetään 4 päivänä helmikuuta 2000 annetun ympäristönsuojelulain (86/2000) 12 §:n 4 kohdan ja 30 §:n 1 momentin sekä 3 päivänä joulukuuta 1993 annetun jätelain (1072/1993) 18 §:n 1 momentin 1–3 ja 6 kohdan ja 2 momentin nojalla:

1 §

Tarkoitus

Tämän asetuksen tarkoituksena on edistää jätteiden hyödyntämistä määrittelemällä edellytykset, joiden täytyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (86/2000) mukaista ympäristölupaa.

2 §

Soveltamisala

Tätä asetusta sovelletaan liitteessä 1 tarkoitettujen jätteiden laitos- tai ammattimaiseen hyödyntämiseen seuraavissa maarakentamiskohteissa:

- 1) yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, pois lukien meluesteet;
- 2) pysäköintialueet;
- 3) urheilukentät sekä virkistys- ja urheilualueiden reitit;
- 4) ratapihat sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet.

Asetusta sovelletaan 1 momentissa tarkoitettuun maarakentamiseen vain, jos se toteutetaan maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) tarkoitettuna katusuunnitelman, yleisen alueen toteuttamissuunnitelman, luvan tai ilmoituksen mukaisesti taikka yleisistä teistä annetussa laissa (243/1954) tai maantielaisissa (503/2005) tarkoitettuna tiesuunnitelman mukaisesti.

Asetusta ei sovelleta tärkeillä tai muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla.

3 §

Määritelmät

Tässä asetuksessa tarkoitetaan:

- 1) hyödyntämispaikan haltijalla luonnollista henkilöä tai oikeushenkilöä, joka hallitsee omistus- tai vuokraoikeuden perusteella paikkaa, jossa jätettä hyödynnetään maarakentamisessa;
- 2) peittämisellä jätettä sisältävän rakenteen suojaamista jätteen leviämisen estämiseksi vähintään 10 cm paksuisella kerroksella luonnon kiviainesta;
- 3) päällystämällä jätettä sisältävän rakenteen suojaamista sadeveden suotautumisen vähentämiseksi asfaltilla, jonka tyhjätila on enintään 5 prosenttia, tai muulla materiaalilla, jolla saavutetaan vastaava suojaustaso.

4 §

Poikkeus ympäristöluvanvaraisuudesta

Jätteen saa hyödyntää ilman ympäristönsuojelulain 28 §:n 2 momentin 4 kohdassa tarkoitettua ympäristölupaa, jos jätteen laadunhallinta ja hyödyntäminen järjestetään ja toiminnasta ilmoitetaan ympäristönsuojelun tietojärjestelmään merkitsemistä varten tämän asetuksen mukaisesti.

5 §**Jätteen hyödyntämistä koskevat vaatimukset**

Jätteen hyödyntämisessä on sen lisäksi, mitä ympäristönsuojelulaissa ja jätelaissa (1072/1993) sekä niiden nojalla säädetään, huolehdittava siitä, että:

- 1) jätteen haitallisten aineiden pitoisuus ja liukoisuus määritettynä liitteen 2 mukaisesti eivät ylitä liitteessä 1 säädettyjä raja-arvoja eikä jäte sisällä epäpuhtauksina muita haitallisia aineita siten, että sen hyödyntämisestä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle;
- 2) sekoitettaessa teknisten ominaisuuksien parantamiseksi liitteessä 1 tarkoitettuja jätteitä keskenään tai lisättäessä jätteeseen kalkkia, sementtiä tai vastaavia sideaineita haitallisten aineiden liukeneminen ja muut ympäristölle tai terveydelle haitalliset päästöt jätteestä eivät sekoittamisen seurauksena lisäänty;
- 3) käytetään vain maarakenteen tasauksen, kantavuuden ja kestävyuden kannalta tarpeellinen määrä jätettä kuitenkin niin, että jätettä sisältävän rakenteen paksuus on enintään 150 cm;
- 4) jätettä sisältävä rakenne ei joudu kosketuksiin vesilain (264/1961) 1 luvun 4 §:ssä tarkoitetun pohjaveden kanssa;
- 5) jätettä sisältävän rakenteen etäisyys talousvesikäyttöön tarkoitetusta kaivosta tai lähteestä on vähintään 30 m;
- 6) jätettä sisältävä rakenne peitetään tai päällystetään;
- 7) jätteen väliaikainen varastointi ja muu toiminta hyödyntämispaikalla järjestetään siten, että jätteen joutuminen ympäristöön estyy eikä toiminnasta aiheudu muutakaan vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle;
- 8) jätteen varastointi hyödyntämispaikalla aloitetaan aikaisintaan neljä viikkoa tai, jos jäte varastoidaan suojattuna, kymmenen kuukautta ennen hyödyntämistä.

Vesil 264/1961 on kumottu L:lla 587/2011, joka on voimassa 1.1.2012 alkaen. Ks. pohjaveden määritelmästä Vesil 587/2011 1 luku 3 § 1 mom. 7 k.

6 §**Ilmoitus ympäristönsuojelun tietojärjestelmään**

Hyödyntämispaikan haltijan on tehtävä ympäristönsuojelulain 65 §:n 1 momentissa tarkoitettu ilmoitus elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle toiminnan merkitsemiseksi ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. Ilmoituksessa on oltava: (29.12.2009/1825)

- 1) hyödyntämispaikan haltijan nimi ja yhteystiedot;
- 2) tiedot hyödyntämispaikan sijainnista sekä sen läheisyydessä sijaitsevista pohjavesialueista ja niiden luokista sekä vedenottoaikoista ja vesistöistä;
- 3) tiedot maarakentamista koskevasta maankäyttö- ja rakennuslain, yleisistä teistä annetun lain tai maantielain mukaisesta suunnitelmasta, ilmoituksesta tai luvasta;
- 4) jätteen luovuttajan nimi ja yhteystiedot;
- 5) jätteen nimike ja selvitys siitä, että liitteessä 1 säädettyt raja-arvot alittuvat;
- 6) jätteen määrä;
- 7) selvitys jätettä sisältävästä rakenteesta, peittämisestä tai päällystämiseen käytettävästä materiaalista, varastoinnista ja muusta toiminnasta hyödyntämispaikalla sekä näihin liittyvistä tarpeellisista suojaustoimista;
- 8) ajankohta, jolloin hyödyntäminen maarakentamisen aikana alkaa ja päättyy.

7 §**Jätteen luovuttaminen ja hyödyntämisen aloittaminen**

Jätelain 15 §:n 1 momentin 3 kohdan mukaan jätteen saa luovuttaa hyödyntämispaikan haltijalle, kun toiminta on merkitty ympäristönsuojelun tietojärjestelmään.

8 §**Valvonta**

Tässä asetuksessa tarkoitetun toiminnan valvontaviranomaisia ovat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ja kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. (29.12.2009/1825)

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen on viivytyksettä tarkastettava ympäristönsuojelun tietojärjestelmään merkitsemistä varten tehty ilmoitus ja lähetettävä tieto merkitsemisestä hyödyntämispaikan haltijalle, jätteen luovuttajalle ja kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. (29.12.2009/1825)

Valvontaviranomainen voi ympäristönsuojelulain 13 luvun säännösten nojalla kieltää jätteen hyödyntämisen, jos ilmoitettu toiminta ei täytä jätelaissa tai ympäristönsuojelulaissa taikka niiden nojalla säädettyjä vaatimuksia tai jos hyödyntäminen aloitetaan ennen toiminnan merkitsemistä ympäristönsuojelun tietojärjestelmään.

9 §**Voimaantulo**

Tämä asetus tulee voimaan 15 päivänä heinäkuuta 2006.

Ennen tämän asetuksen voimaantumista voidaan ryhtyä sen täytäntöönpanon edellyttämiin toimiin.

(4.6.2009/403)

ASETUKSEN SOVELTAMISALAAN KUULUVAT JÄTTEET

Tässä liitteessä määritellään asetuksen soveltamisalaan kuuluvat jätteet sekä niiden sisältämien haitallisten aineiden pitoisuuden ja liukoisuuden raja-arvot.

1. Betonimurske (jätenimikkeet¹ 10 13 14, 17 01 01, 17 01 07 ja 19 12 12)

(Poistettu tästä liitteestä)

2. Kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat (jätenimikkeet¹ 10 01 02, 10 01 03 ja 10 01 17), pohjatuhkat (jätenimikkeet¹ 10 01 01 ja 10 01 15) ja leijupetihiekka (jätenimike¹ 10 01 24)

Kivihiilen polton lento- ja pohjatuhkalla tarkoitetaan jätettä, joka on eroteltu mekaanisesti tai sähköisesti kivihiilen poltossa syntyvistä savukaasuista tai joka on poistettu kivihiilen polttolaitoksen polttokammion pohjalta.

Turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkalla tarkoitetaan jätettä, joka on eroteltu mekaanisesti tai sähköisesti turpeen, puuhakkeen, kuorijätteen, ensiomassan tuotannon tai massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvän kuituainetta sisältävän kasviperäisen jätteen, käsittelemättömän puujätteen tai muun näihin rinnastettavan puuperäisen aineksen taikka niiden seoksen poltossa syntyvistä savukaasuista tai poistettu polttolaitoksen polttokammion pohjalta.

Kivihiilen, turpeen ja edellä tarkoitetun puuperäisen aineksen polton leijupetihiekalla tarkoitetaan leijukerroslaitoksen polttoprosessista poistettavaa hiekkapetimateriaalia tai poltossa hienontunutta hiekkapetimateriaalia, joka erottuu savukaasusta joko kattilassa tai savukaasujen puhdistuksessa.

Haitallinen aine	Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta					
	Perustutkimukset			Laadunvalvontatutkimukset		
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S=10 l/kg)	Liukoisuus (L/S=10 l/kg)	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S=10 l/kg)	Liukoisuus (L/S=10 l/kg)
		Peitetty rakenne	Päälystetty rakenne		Peitetty rakenne	Päälystetty rakenne
PCB ²	1,0					
PAH ³	20/40 ⁴					
DOC ⁵		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,18			
Arseeni (As)	50	0,5	1,5	50		
Barium (Ba)	3 000	20	60	3 000		
Kadmium (Cd)	15	0,04	0,04	15		
Kromi (Cr)	400	0,5	3,0	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	400	2,0	6,0	400		
Elohopea (Hg)		0,01	0,01			
Lyijy (Pb)	300	0,5	1,5	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	50	0,5	6,0	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		0,4	1,2			
Vanadiini (V)	400	2,0	3,0	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2 000	4,0	12	2 000		
Seleen (Se)		0,1	0,5		0,1	0,5
Fluoridi (F ⁻)		10	50		10	50
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)		1 000	10 000		1 000	10 000
Kloridi (Cl ⁻)		800	2 400		800	2 400

² Polyklooratut bifenyylit, kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

³ Polyaromaattiset hiilivedyt, yhdisteiden kokonaismäärä.

⁴ Peitetty rakenne/päälystetty rakenne.

⁵ Liuennut orgaaninen hiili.

JÄTTEEN LAADUNHALLINTA

Tässä liitteessä määritellään asetuksen mukaisen hyödyntämisen edellyttämän jätteen laadunhallinnan yleisperiaatteet.

1. Laadunvarmistusjärjestelmä

Jätteen luovuttajalla on oltava laadunvalmistusjärjestelmä, joka sisältää ainakin seuraavat kohdat:

1) laadunvalvontatutkimukset

- näytteenottosuunnitelma ja arvio näytteenoton edustavuudesta sekä ohjeet näytteenotosta, näytteiden valmistuksesta ja näytteiden toimittamisesta analysoitaviksi
- tutkimus- ja määritysmenettelyt, seurattavat haitalliset aineet ja muut seurattavat ominaisuudet sekä seurantatiheydet
- tutkittavien haitallisten aineiden raja-arvot
- laatupoikkeamien käsittely ja hyväksyttävät poikkeamat
- näytteenoton ja tutkimusten laadunvarmistus
- laadunvalvonnan seuranta-asiakirjat ja raportointiohje

2) vastuuhenkilöt ja näiden pätevyys

- 3) ohjeet jätteen vastaanotosta (erityisesti, jos kysymys on useista kohteista toimitettavan jätteen käsittelystä hyödyntämiskelpoiseksi), varastoinnista, käsittelystä ja toimitamisesta hyödyntämispaikkaan
- 4) laadunvarmistusjärjestelmän arviointi- tai auditointisuunnitelma
- 5) tarvittaessa erityiset puhtausvaatimukset, kuten jätteeseen kuulumattoman aineksen osuus
- 6) seuranta ja raportointi
 - laadunvalvontapöytäkirja kultakin näytteenotto- ja tutkimuskerralta
 - havaitut laatupoikkeamat ja niiden johdosta tehdyt toimenpiteet
 - hyödynnettäväksi toimitettavan jätteen määrä ja laatu sekä toimituskohteet.

2. Tutkimukset

Jätteen laatu on selvitettävä perus- ja laadunvalvontatutkimuksin. Mittaukset, testaukset, selvitykset ja tutkimukset on tehtävä ympäristönsuojelulain 108 §:n mukaisesti pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin.

Perustutkimuksilla osoitetaan jätteen kuuluvan asetuksen soveltamisalaan. Perustutkimuksissa on vakioiduin analyysi- ja testausmenetelmin selvitettävä ainakin jätteen koostumus ja haitallisten aineiden liukoisuus. Vähintään viiden vuoden väliajoin tai, jos jätettä tuottavassa toiminnassa tapahtuu muutoksia, jotka voivat olennaisesti vaikuttaa jätteen laatuun, on tehtävä riittävät lisätutkimukset sen varmistamiseksi, että jäte edelleen vastaa perustutkimuksia. Samalla on tarkistettava ja tarvittaessa uusittava laadunvarmistusjärjestelmä.

Jätteen laatua on seurattava laadunvalvontatutkimuksin riittävän pitkän ajan laadunvarmistusjärjestelmän mukaisesti. Vähimmäisvaatimuksena pidetään viittä peräkkäistä näytteenotto-suunnitelman mukaista tutkimuskertaa. Jos jätteen laatua ei ole seurattu riittävän pitkältä ajalta, voidaan jätteen hyväksyttävyyttä asetuksen mukaiseen käyttöön arvioida jäte-erittäin tehtävien perustutkimusten perusteella.

Laadunvalvonnan tuloksissa voidaan hyväksyä enintään 30 prosentin raja-arvon ylitys, jos viimeisten kahden vuoden aikana tehtyjen määritysten keskiarvo ei ylitä asetettua raja-arvoa. Jos jätteestä ei ole käytettävissä laadunvalvonnan tuloksia viimeisten kahden vuoden ajalta, lasketaan keskiarvo laadunvalvonnan kestoajalta, kuitenkin vähintään viideltä peräkkäiseltä tutkimuskerralta.

Näytteenotto on tehtävä 2.1 kohdan ja haitallisten aineiden määritykset 2.2 kohdan mukaisesti. Vastavuoroisen tunnustamisen periaatteen mukaisesti voidaan myös käyttää menetelmiä, jotka perustuvat Euroopan unionin toisessa jäsenvaltiossa, Turkissa tai ETA-sopimuksen osapuolena olevassa EFTA- valtiossa käytettyihin standardeihin tai teknisiin eritelmiin, jotka täyttävät 2.1 ja 2.2 kohdassa tarkoitettujen menetelmien keskeiset vaatimukset.

2.1 Näytteenotto

Näytteenotto ja näytteiden valmistus on tehtävä standardien SFS-EN 932-1 ja SFS-EN 932-2 sekä standardin SFS-EN 14899 mukaisesti. Näytteet on otettava ensisijaisesti jatkuvasta jätevirrasta. Näytteenottajalla tulee olla tehtävän edellyttämä riittävä pätevyys. Standardien mukaisista näytteenottovaatimuksista voidaan poiketa, jos niiden mukainen näytteenotto ei jätteen laadun vuoksi ole teknisesti tai taloudellisesti kohtuullisesti toteutettavissa.

2.2 Määritysmenetelmät

Jätteen sisältämien ja siitä liukenevien haitta-aineiden määrityksissä on käytettävä ensisijaisesti standardoituja ja toissijaisesti muita määritysherkkyydeltään, tarkkuudeltaan ja toistettavuudeltaan riittäviksi todettuja muita menetelmiä.

Haitallisten aineiden pitoisuus jätteessä

Näytteen esikäsittelyssä metallien määrittämistä varten on käytettävä standardin SFS-EN 13656 mukaista happouuttoa ja mikroaltohajoitusta tai standardin SFS-EN 13657 mukaista *aqua regia* uuttoa.

Metallien määrittämisessä on käytettävä standardoituja menetelmiä (ICP- MS, ICP- AES tai AAS). Niiden sijasta voidaan käyttää muita menetelmiä, jos tulosten vastaavuus mainittujen menetelmien tulosten kanssa tunnetaan.

Mineraaliöljyn (hiilivetyjakeet C10 - C40) määrittämisessä on käytettävä standardin SFS-EN 14039 mukaista menetelmää.

Polykloorattujen bifenyyliden (PCB) määrittämisessä on käytettävä standardin SFS-EN 15308 mukaista menetelmää.

Haitallisten aineiden liukoisuus jätteestä

Haitallisten aineiden liukoisuuden määrittämisessä on käytettävä standardin CEN/TS 14405 mukaista läpivirtaustestiä. Laadunvalvonnassa voidaan myös käyttää standardin SFS-EN 12457-3 mukaista kaksivaiheista ravistelutestiä.

Haitallisten aineiden pitoisuus uuttoluoksissa on määritettävä standardien SFS-EN 12506 (pH, As, Ba, Cd, Cl-, Co, Cr, CrVI, Cu, Mo, Ni, NO₂ -, Pb, kokonais-S, SO₄ 2-, V ja Zn) ja SFS-EN 13370 (ammonium, AOX, sähkön johtavuus, Hg, fenoli-indeksi, TOC, helposti vapautuva CN- ja F-) mukaisesti.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/12/EY (32006L0012); EYVL N:o L 114, 27.4.2006, s. 9, Ilmoitettu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 98/34/EY, muut. 98/48/EY, mukaisesti.

Muutossäädösten voimaantulo ja soveltaminen:**4.6.2009/403:**

Tämä asetus tulee voimaan 15 päivänä kesäkuuta 2009.

Ilmoitusasiassa, joka on tullut vireille ennen tämän asetuksen voimaantuloa, sovelletaan asetuksen voimaan tullessa voimassa olleita säännöksiä.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/12/EY (32006L0012); EYVL N:o L 114, 27.4.2006, s. 9

29.12.2009/1825:

Tämä asetus tulee voimaan 1 päivänä tammikuuta 2010.

Liite 2: MARA-ilmoitusmalli

Malliksi täytetty *Ilmoitus jätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa* (MARA-ilmoitus) on laadittu kuvitteelliselle kohteelle, jossa routimisesta ja heikosta kantavuudesta kärsineen tierakenteen routaeristystä sekä kantavuutta parannetaan korottamalla tasausta 250 mm massiivilentotuhkakerroksen avulla ja stabiloimalla vanhan kantavan kerroksen materiaali 250 mm kerrosstabiloinnilla, joka sisältää 6 % tuhkaa runkomateriaalin kuivapainosta.

Toimenpiteissä käytetään karkeasti arvioituna yhteensä noin 3300 tonnia kuivaa lentotuhkaa, josta noin 3000 tonnia tarvitaan massiivirakenteeseen ja 300 tonnia kerrosstabilointiin. Laskelmissa on käytetty tierakenteen pituutena 1000 m ja leveytenä 9 m. Lentotuhkan kuivairto-
tiheytenä on käytetty arvoa 1300 kg/m³.

Ilmoituksessa on esitetty lentotuhkan kokonaismääräksi noin 10 % suurempi määrä eli 3500 tonnia, koska käytännössä esimerkiksi sekoitustyössä tai maksimikuivairtoteiheyden arvioinnissa voi tulla virheitä ja tarvittava materiaalimäärä voi olla hieman suunniteltua suurempi.

Koska ilmoitukseen merkitään käytetyt materiaalimäärät massoina maarakentamisessa yleisemmin käytettyjen tilavuuksien sijaan, ilmoituksen täyttämisen ja työmaadokumentoinnissa on tehtävä selvä ero kuivan ja kostutetun lentotuhkan välillä. Ero kuivan ja kostutetun lentotuhkan massoissa voi olla suurimmillaan jopa 50 %.

Malliksi täytetty ilmoitus sisältää lisäksi kommentteja ja täyttöohjeita.

Ilmoituksen liitteeksi tulee lisäksi laittaa:

- suunnitelmakartta kohteesta
- käytettävän tuhkan pitoisuus ja liukoisuustiedot
- tiedot mahdollisesta välivarastointi- ja käsittelypaikasta
- tiivistelmä toimenpiteistä
- mahdolliset lisätutkimussuunnitelmat

Virallinen lomakepohja ja ohjeistus löytyvät Valtion ympäristöhallinnon sivuilta osoitteesta:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19366&lan=fi>

MARA-asetus on esitetty kokonaisuudessaan liitteellä 1.

**ILMOITUS JÄTTEEN HYÖDYNTÄMISESTÄ
MAARAKENTAMISESSA**
(Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006)

(Viranomaisen täyttää) Diaarinumero	Viranomaisen yhteystiedot
Ilmoitus on tullut vireille	

1. HYÖDYNTÄMISPAIKAN HALTIJA

Nimi Tilaaaja X (Esim. paikallinen ELY-keskus)	Yritys- ja yhteisötunnus
Postiosoite	Postinumero ja -toimipaikka
Yhteyshenkilön nimi ja yhteystiedot (osoite, puhelin, telefax, sähköposti)	

2. HYÖDYNNETTÄVÄN JÄTTEEN LUOVUTTAJAN NIMI JA YHTEYSTIEDOT

Nimi Voimalaitos Y	Yritys- ja yhteisötunnus
Postiosoite	Postinumero ja -toimipaikka
Yhteyshenkilön nimi ja yhteystiedot (osoite, puhelin, telefax, sähköposti)	

3. MAHDOLLINEN VALTUUTUS ILMOITUKSEN TEKEMISEEN HYÖDYNTÄMISPAIKAN HALTIJAN PUOLESTA

Olen saanut valtuuden ilmoituksen tekemiseen hyödyntämispaikan haltijalta <input type="checkbox"/>	Mikäli ilmoituksen jättää joku muu kuin kohteen haltija, täytetään myös kohdat 3 ja 4. Muu ilmoituksen jättäjä voi olla esimerkiksi urakoitsija.
Diaarinumero/sopimusnumero/muu tunnistus	
Pvm	
4. ILMOITUKSEN TEKIJÄ, JOS JOKU MUU KUIN HYÖDYNTÄMISPAIKAN HALTIJA	
Nimi	Yritys- ja yhteisötunnus
Postiosoite	Postinumero ja -toimipaikka
Yhteyshenkilön nimi ja yhteystiedot (osoite, puhelin, telefax, sähköposti)	

5. TIEDOT HYÖDYNTÄMISPAIKAN SIJAINNISTA

Kunta Kunta Z	Koordinaatti (alueellisesta kohteesta keskipiste) itä: pohj:	Kiinteistörekisterinumero
Osoite	Postinumero ja -toimipaikka	
Tienumero ja tieosa XXXXX	1	100
	1	1100
Muu tieto xxxx m tiealue, yyyy m kevyen liikenteen väylä	Sijainti on esitetty liitteenä olevassa kartassa <input checked="" type="checkbox"/>	

6. MAARAKENTAMISKOHDE/KOhteet

<input type="checkbox"/>	yleinen katu
<input checked="" type="checkbox"/>	yleinen tie
<input type="checkbox"/>	kevyen liikenteen väylä
<input type="checkbox"/>	jalkakäytävä
<input type="checkbox"/>	edellä mainitun liitännäisalue
<input type="checkbox"/>	pysäköintialue
<input type="checkbox"/>	urheilukenttä
<input type="checkbox"/>	virkestys- tai urheilualan reitti
<input type="checkbox"/>	ratapiha
<input type="checkbox"/>	varastointikenttä teollisuusalueella
<input type="checkbox"/>	varastointikenttä jätteenkäsittelyalueella
<input type="checkbox"/>	varastointikenttä lentoliikenteen alueella
<input type="checkbox"/>	tie teollisuusalueella
<input type="checkbox"/>	tie jätteenkäsittelyalueella
<input type="checkbox"/>	tie lentoliikenteen alueella

7. LYHIN ETÄISYYS I-LUOKAN POHJAVESIALUEESEEN (MIKÄLI ALLE 200 m)

m

8. LYHIN ETÄISYYS II-LUOKAN POHJAVESIALUEESEEN (MIKÄLI ALLE 200 m)

m

9. TALOUSVESIKÄYTTÖSSÄ OLEVAN KAIVON ETÄISYYS RAKENTEESTA

Yli 30 m	<input checked="" type="checkbox"/>
Alle 30 m	<input type="checkbox"/>

10. ETÄISYYS ALLE 200 m ETÄISYYDELLÄ OLEVIIN VESISTÖIHIN

Järvi	80	m
Joki	130	m
Meri		m
Puro		m

11. RAKENNUSKOHDTE ON SEURAAVAN MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSLAIN, MAANTIELAIN TAI YLEISISTÄ TEISTÄ ANNETUN LAIN MUKAISEN SUUNNITELMAN, LUVAN TAI ILMOITUKSEN MUKAINEN

<input type="checkbox"/>	katusuunnitelma	tunnistetieto
<input type="checkbox"/>	tiesuunnitelma	tunnistetieto
<input type="checkbox"/>	yleisen alueen toteuttamissuunnitelma	tunnistetieto
<input type="checkbox"/>	rakennuslupa	tunnistetieto
<input type="checkbox"/>	toimenpidelupa	tunnistetieto
<input type="checkbox"/>	purkamislupa	tunnistetieto
<input type="checkbox"/>	maisematyöluva tai -ilmoitus	tunnistetieto
<input checked="" type="checkbox"/>	parantamiskohteen rakentamissuunnitelma (jolla aiemmin joku edellä mainituista luvista, suunnitelmista tai ilmoituksista)	

12. HYÖDYNNETTÄVÄN JÄTTEEN NIMI JA MÄÄRÄ

Betonimurske		
Jätenimike 10 13 14	tonnia	
Jätenimike 17 01 01	tonnia	
Jätenimike 17 01 07	tonnia	
Jätenimike 19 12 12	tonnia	
Kivihien lentotuhka		
Jätenimike 10 01 02	tonnia	
Kivihien pohjatuhka		
Jätenimike 10 01 01	tonnia	
Turpeen lentotuhka		
Jätenimike 10 01 03	tonnia	
Jätenimike 10 01 17	tonnia	

Merkittään käytettävän jätteen arvioitu maksimimäärä. Määrässä on suositeltavaa huomioida mahdolliset epätarkkuudet sekoituksessa sekä vaihtelu tuhkan kuivairtotiheydessä.

Jäteluettelo:
http://tilastokeskus.fi/til/jate/jate_2005-01-19_luo_002.html

Turpeen pohjatuuhka	
Jättenimike 10 01 01	tonnia
Jättenimike 10 01 15	tonnia
Puuperäisen aineksen polton lentotuuhka	
Jättenimike 10 01 03	3500 tonnia
Jättenimike 10 01 17	tonnia
Puuperäisen aineksen polton pohjatuuhka	
Jättenimike 10 01 01	tonnia
Jättenimike 10 01 15	tonnia
Leijupetihiekka	
Jättenimike 10 01 24	tonnia
Käytetty sideaine	
tonnia	

13. ILMOITUKSEEN LIITETÄÄN JÄTTEEN LUOVUTTAJAN SELVITYS PERUSTUTKIMUS- JA/TAI LAADUNVALVONTATULOKSISTA, JONKA MUKAAN

tulokset alittavat asetuksen liitteessä 1 säädetty raja-arvot	<input checked="" type="checkbox"/>
raja-arvon ylitys on liitteen 2 mukainen	<input type="checkbox"/>
tulokset ylittävät sallitut arvot	<input type="checkbox"/>

14. HYÖDYNETTÄVÄÄ JÄTETTÄ SISÄLTÄVÄ RAKENNE JA SEN PAKSUUS

<input checked="" type="checkbox"/> kantava kerros	25 cm
<input checked="" type="checkbox"/> jakava kerros	25 cm
<input type="checkbox"/> suodatinkerros	cm
<input type="checkbox"/> pengertäyte	cm
<input type="checkbox"/> muu	cm

15. JÄTETTÄ SISÄLTÄVÄN RAKENTEEN PEITTO/PÄÄLLYSTYSMATERIAALI

<input type="checkbox"/> vähintään 10 cm luonnonkiviaines (peittäminen)
<input checked="" type="checkbox"/> materiaali, jolla saavutettava rakenteen vedenläpäisy on 10 % vastaavan päällystämättömän rakenteen läpäisevästä vesimäärästä (päällystäminen)
<input checked="" type="checkbox"/> asfaltti, jonka tyhjätila enintään 5 prosenttia
<input type="checkbox"/> muu materiaali

16. JÄTTEEN VARASTOINTI

<input type="checkbox"/> välitön käyttö
<input type="checkbox"/> enintään 4 viikkoa
<input checked="" type="checkbox"/> enintään 10 kk, varastointi suojattuna
<input type="checkbox"/> jätteen varastointi hyödyntämispaikalla

17. HYÖDYNTÄMISEN ARVIOITU AJANKOHTA MAARAKENTAMISEN AIKANA

Kesäkuu 2012

18. HYÖDYNTÄMISEN ARVIOITU PÄÄTTYMINEN MAARAKENTAMISEN AIKANA

Elokuu 2012

19. HAKIJAN ALLEKIRJOITUS

Paikka ja päivämäärä Allekirjoitus Nimen selvennys
--

Liite 3: Rakennevaihtoehtotarkastelu

Kuvissa 1–4 on esitelty erilaisia rakennevaihtoehtoja eri kantavuusluokkien teille. Ensimmäinen rakennevaihtoehto jokaisessa kuvassa on murskerakenne, johon sivutuoterakenteita voidaan verrata. Laskennassa on käytetty kahta erilaista alusrakenneluokkaa. Alusrakenneluokat on esitetty taulukossa 1, jossa on esitelty myös laskelmissa käytettyjä arvoja kantavuudelle, sallitulle laskennalliselle routanousulle ja mitoitusroutansyvyydelle eri tapauksissa.

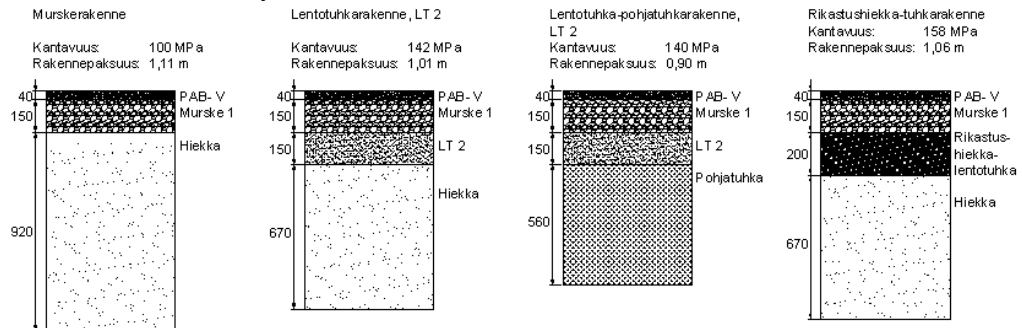
Taulukko 1 Laskennassa käytetyt parametrit.

	Alus- kenne- luokka	Alus- rakenteen moduuli	Routa- turpoama	Tavoite- kantavuus	Sallittu lasken- nallinen routa- nousu	Mitoitus- routan- syvyys
Helppo pohjamaa	sF	35 MPa	6 %	100 MPa	30 mm	1,6 m
Vaikea pohjamaa	sl	20 MPa	16 %	100 MPa	30 mm	1,6 m
Vaikea pohjamaa	sl	20 MPa	16 %	200 MPa	30 mm	1,6 m
Vaikea pohjamaa	sl	20 MPa	16 %	300 MPa	10 mm	1,6 m

Tärkeimpänä kriteerinä rakennevaihtoehtojen laskennassa on käytetty routanousua. Kuvissa käytettävillä LT2 ja LT1 merkinnöillä viitataan käsikirjan luvussa 3.3 määriteltyihin käyttöluokkiin. Murske1:n moduuli on 280 MPa ja murske 2:n moduuli on 200 MPa.

Helppo pohjamaa, 100 MPa

Kuvassa 1 on esitetty erilaisia rakennevaihtoehtoja helpon pohjamaan tielle, jonka tavoitekantavuus on 100 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu 30 mm.

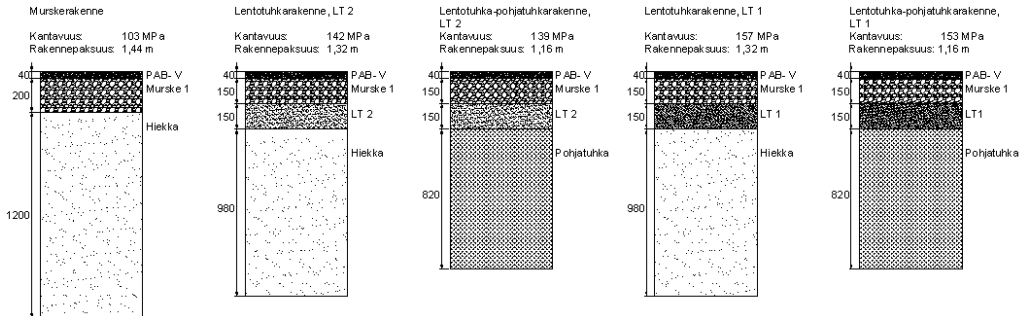


Kuva 1 Kevyenliikenteentien rakennevaihtoehtoja helvolle pohjamaalle. Tavoitekantavuus on 100 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 30 mm.

Kuvan 1 rakennevaihtoehtoista nähdään, että kun hiekkaa korvataan lentotuhkalla, rakennetta voidaan ohentaa lentotuhkan lämmöneristävyyden ansiosta. Lisäksi kantavuus paranee lentotuhkaa käyttämällä. Jos rakenteessa käytetään vielä suodatinkerroksen hiekan sijasta pohjatuhkaa, voidaan rakennetta ohentaa entisestään. Myös rikastushiekan ja lentotuhkan seos murskekerroksen alla ohentaa rakennetta hieman sekä nostaa kantavuutta.

Vaikea pohjamaa, 100 MPa

Kuvassa 2 on esitetty rakennevaihtoehtoja vaikean pohjamaan tielle, jonka tavoitekantavuus on 100 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 30 mm.

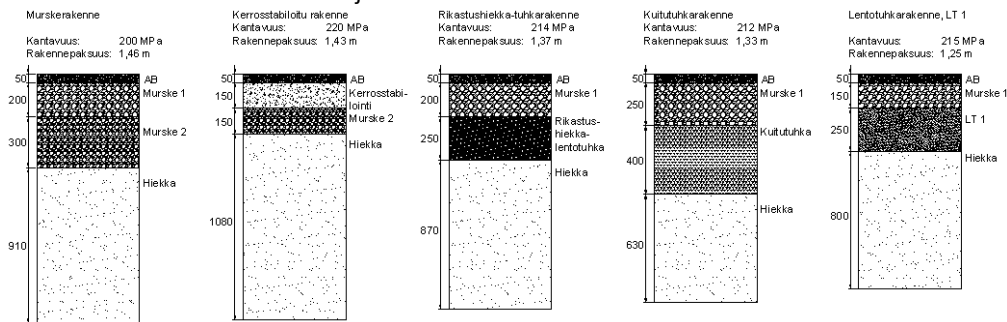


Kuva 2 Kevyenliikenteentien rakennevaihtoehtoja vaikealle pohjamaalle. Tavoitekantavuus on 100 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 30 mm.

Kuvasta 2 nähdään kuinka vaikeammalla pohjamaalla lentotuhkan ominaisuuksia pystytään hyödyntämään vielä helppoa pohjamaata paremmin. Helpolla pohjamaalla lentotuhkarakenteella pystyttiin rakentamaan 100 mm matalampi rakenne lentotuhkalla LT2, vaikealla pohjamaalla jopa 120 mm matalampi. Parempilaatuista lentotuhkaa käyttämällä (LT2 → LT1) rakenteen kantavuus paranee, mutta rakenteen paksuutta ei voida alentaa, koska routanousu kasvaa silloin yli sallitun 30 mm rajan. Pohjatuhkalla voidaan madaltaa rakennetta sen hiekkaa matalamman lämmönjohtavuuden ansiosta.

Vaikea pohjamaa, 200 MPa

Kuvassa 3 on esitetty rakennevaihtoehtoja vaikealle pohjamaalle rakennettavalle tielle, jonka kantavuusvaatimus on 200 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 30 mm.

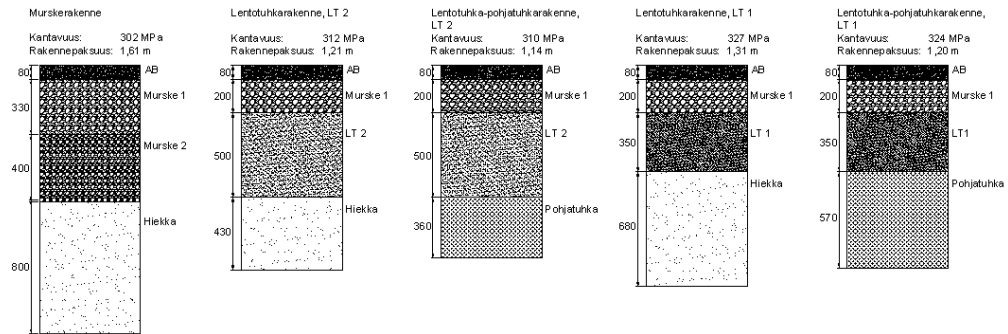


Kuva 3 Kuormitusluokan 2,0 tien rakennevaihtoehtoja vaikealle pohjamaalle. Tavoitekantavuus on 200 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 30 mm.

Kuvasta 3 nähdään kuinka kerrosstabilointi vähentää alemman murskekerroksen paksuutta. Toisaalta rikastushiekka-lentotuhkarakenteella sekä kuitutuhkarakenteella voidaan vähentää myös sekä murskeen, että hiekkan tarvetta. Rakenteiden viereen on vielä esitetty lentotuhkarakenne vastaavassa tilanteessa. Kyseinen lentotuhkarakenne on ohuin.

Vaikea pohjamaa, 300 MPa

Kuvassa 4 on esitetty rakennevaihtoehtoja vaikealle pohjamaalle rakennettavalle tielle, jonka kantavuusvaatimus on 300 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 10 mm.



Kuva 4 Kuormitusluokan 6,0 tien rakennevaihtoehtoja vaikealla pohjamaalla. Tavoite-kantavuus on 300 MPa ja sallittu laskennallinen routanousu on 10 mm.

Kuvasta 4 nähdään, että käyttöluokan 2 tuhkaa joudutaan laittamaan jo aika suuri kerros, jotta saavutetaan vaadittu kantavuustaso. Toisaalta tämä vähentää rakenteen lämmönjohtavuutta ja johtaa siten kokonaisuudessaan matalaan rakenteeseen. Käyttöluokan 1 tuhka-kerroksen paksuus on LT2:ta pienempi, mutta kantavuus on parempi.

Liite 4: Esimerkkihankkeet

1. Turku Life Stable

Lähtökohdat

STABLE (LIFE06 ENV/FIN/000195) toteutettiin EU:n tukemana Life-Ympäristö projektina "TBT:llä saastuneiden sedimenttien hallittu käsittely ja hyödyntäminen infra-sovelluksissa. Tapaus: Aurajoki – Turku". STABLE:ssa kehitettiin ja testattiin ruoppausta ympäristökauhalla sekä stabilointia prosessistabilointilaitteistolla. Projektiin kuului kaksi pilottikohdetta Turun satamassa: pienempi menetelmien kenttätestaus vuonna 2007 ja laitteiston kehittämisen jälkeen suuremman mittakaavan pilotti vuonna 2008-2009.

Materiaalit ja rakenne

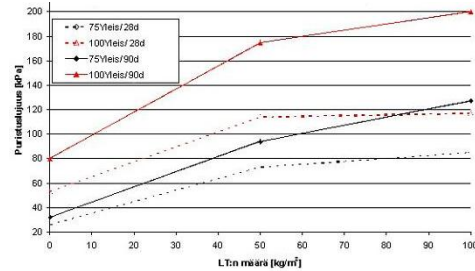
Aurajoen stabiloitavat sedimentit olivat saastuneet TBT:llä eli tributyyliinilla. Saastuneet sedimentit ruopattiin ympäristökauhalla ja stabiloitiin prosessistabilointilaitteistolla. Stabiloidut massat läjitettiin joesta rajattuun altaaseen. Massojen läjitysalueen on tarkoitus toimia valmiina konttien säilytysalueen perustana. Läjitysalue on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1 Stabiloitujen sedimenttien läjitysalue.

Suunnittelu

Ennen rakentamista laboratoriossa suoritettiin tutkimuksia, joilla selvitettiin mikä kohteella on paras sideaineratkaisu niin teknisesti kuin ympäristönkin kannalta. Laboratoriossa tutkittiin lentotuhkan vaikutusta lujisuuden kehitykseen. Kuvassa 2 on esitetty stabiloitavuuskokeen tuloksia, jossa sedimenttiä stabiloitiin sementillä sekä sementti lentotuhka seoksilla. Tuloksista nähdään selkeästi kuinka lentotuhkan lisäys kasvattaa puristuslujuutta huomattavasti.



Kuva 2 Puristuslujuuden kasvu, kun lentotuhkan määrä kasvaa.

Laboratoriossa todettiin, että käyttämällä 250 kg/m³ sementtiä tai pudottamalla sementin määrä 45 kg/m³ ja lisäämällä sideaineseokseen lentotuhkaa ja masuunikuonaa saavutettiin sama lujuustaso (100 kPa). Sideaineseoksessa kokonaissideainemäärä oli myös 250 kg/m³.

Tulokset

Pilotin tuloksista voitiin todeta että, prosessistabilointilaitteisto sekoittaa sideaineen homogeenisesti ruopattuun sedimenttiin, joka varmistaa tasaisen stabilointitulokset. Tämä mahdollistaa myös pienemmän sideainemäärän käytön verrattuna massasyvästabilointilaitteistoon ja siten aiheuttaa säästöjä. Prosessistabilointi vaatii suuria massamääriä toimiakseen kustannustehokkaasti.

Käytetty sideaineseos vaikuttaa kriittisesti stabiloinnin tekniseen laatuun ja taloudellisuuteen. Sideainereseptin optimointi vaatii laajaa laboratoriotestausta, jotta voidaan löytää paras mahdollinen sideaineyhdistelmä stabilointia varten.

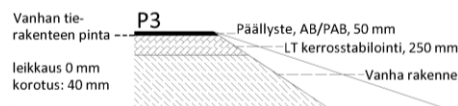
Yhdistetty ympäristökauhan ja prosessistabilointilaitteiston käyttö kuluttaa vähemmän uusiutumattomia luonnonvaroja ja energiaa kuin vaihtoehtoiset menetelmät. Vaihtoehtoisia menetelmiä ovat mm. normaalin kauhan käyttö ruoppauksessa, massasyvästabilointi prosessistabiloinnin sijaan, murske täytöissä stabiloidun sedimentin sijaan jolloin stabiiloitu sedimentti sijoitettaisiin kaatopaikalle.

2. Keski-Suomen UUMA – Jämsän tuhkarakentamishankkeet 2010

Lähtökohdat

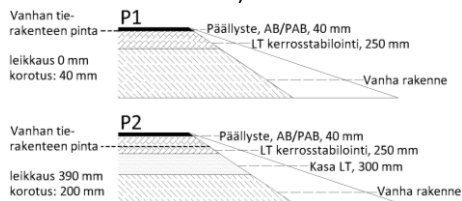
Tiehankkeet toteutettiin vuonna 2010 osana alueellista UUMA-kehitysohjelmaa "Infrarakentamisen uusi materiaalitekologia" (UUMA). Vuoden 2010 Keski-Suomen UUMA-rakennuskohteiksi valikoitui kaksi korjausta vaativaa tiekohdetta: Maantie 16563 Seppola-Kaipola ja maantie 16573 Hiidenmäki-Vaheri, tieosa 2.

Mt 16563 Seppola-Kaipolassa oli lähes koko suunnittelualueella kantavuusongelmia. Tie suunniteltiin parannettavaksi koko suunnittelualueen osalta lentotuhka-sementtikerrosstabiloinnin avulla (Kuva 3).



Kuva 3 Mt 16563 Seppola-Kaipola korjauksessa käytetty rakenne.

Mt 16573 Hiidenmäki-Vaheri tieosa 2 oli ennen korjaustoimenpiteitä pääosin kantavuudeltaan riittämätön, selvästi urautunut ja sisälsi routahalkeamia. Kohde suunniteltiin parannettavaksi lähes koko suunnittelualueen osalta kantavan kerroksen lentotuhka-sementtikerrosstabiloinnilla. Lisäksi routanousujen vaurioittamat osuudet suunniteltiin parannettavaksi massiivituhkaisen jakavan/routaeristyskerroksen avulla (**Error! Reference source not found.**).



Kuva 4 Mt 16573 Hiidenmäki-Vaheri korjauksessa käytetyt rakenteet.

Materiaalit ja rakenne

Hankkeessa stabiloinnit toteutettiin käyttäen sideaineena lentotuhkia ja sementtiä. Seppola-Kaipolan kerrosstabilointi oli 4150 m pitkä osuus. Lentotuhkaa suunniteltiin käytettäväksi 8 % stabiloitavan materiaalin kuivapainosta. Kokonaisuudessaan sitä käytettiin stabiloinnissa yhteensä 1300 t.

Hiidenmäki-Vaheri tieosa 2:n massiivituhkaisen eristekerroksen sisältävää osuutta toteutettiin yhteensä 3420 m ja kerrosstabilointia kokonaisuudessaan 4325 m. Massiivituhkaosuuksilla lentotuhkaa käytettiin yhteensä 1120 t ja kerrosstabiloinnissa 11150 t (7 % stabiloitavan materiaalin kuivapainosta).

Suunnittelu

Kerrosstabilointirakenteiden optimaaliset sideainekoostumukset ja rakentamisen keskeiset parametrit selvitettiin valmistamalla rakentamiskohteilta kerätyistä vanhan tierakenteen kantavaa kerrosta edustavista näytteistä ja eri sideaineseoksista koekappaleita. Täysin tuhka tai stabiloidusta tuhka rakennettävien rakenteiden toimivuutta tutkittiin valmistamalla tuhkanäytteistä ja eri seosaineista koekappaleita. Laboratoriossa selvitettiin koekappaleiden puristuslujuuksia ja jäätymsulamiskestävyyttä.

Tulokset

Seppola-Kaipola: tie koko matkalta erinomaisessa kunnossa. Tieosuus oli lähes vauriottomassa tilassa. Kantavuus oli pääosin huomattavan korkea vaihdellen välillä 356–1669 MPa ja ollen keskimäärin 749 MPa. Tieosuuksien keskimääräiset kantavuudet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Tieosuuksien kantavuudet rakentamisen jälkeen.

Tie	Osuus	Rakenne	Keskikantavuus [MPa]
16563	1/300- 1/4450	Kerrosstabilointi 250 mm	749
16573	2/0- 2/4700	Massiivituhka 300 mm ja/tai Kerrosstabilointi 250 mm	493

Koeporausten perusteella stabilointi oli onnistunut hyvin ja saavuttanut hyvän lujuustason talven jälkeen. Päällysteen kiinnittyminen stabiloituun kerrokseen on tosin porausten perusteella heikohkoa.

Hiidenmäki-Vaheri: kantavuus oli korkeampi kuin muualta tiestä mitatut arvot. Tieosuus oli pääosin vauriottomassa tilassa. Paikoin havaittiin kapeita pituus- ja keskisaumahalkeamia, sekä yhdessä kohtaa lievä reunapainuma. Päällyste oli erityisesti osuuden alkupäästä ajourien kohdalta kulunut ja hieman rosoinen, mutta selviä purkauksia ei vielä havaittu.

Kantavuus oli pääosin korkeahko (>300 MPa) vaihdellen välillä 192–973 MPa ja ollen keskimäärin 493 MPa. Tien 16563 kantavuustasosta jäätii silti selvästi, mikä johtuu pääosin ohuemmasta päällysteestä, ohuemmasta kokonaisrakenteesta ja pehmeämmästä pohjamaasta, mutta toisaalta todennäköisesti myös heikommin onnistuneesta stabiloinnista. Heikommin onnistuneesta stabiloinnista antoi viitteitä myös porauksen vaikeus ja ylös nostetuista kappaleista mitatut alhaiset puristuslujuudet. Stabiloinnin onnistumiseen on todennäköisimmin vaikuttanut myöhäinen stabilointitajankohta (lokakuun alku).

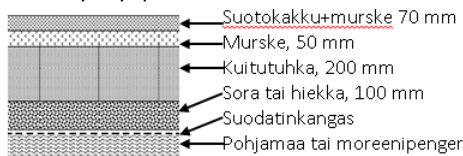
3. Kukkia Circlet

Lähtökohdat

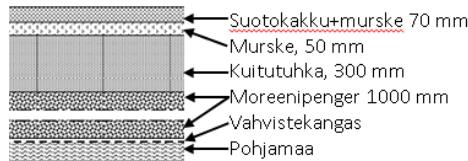
Kukkia Circlet Life hankkeessa pilotissa testattiin sorateiden kunnostamista ja ylläpitoa sekä kevyen liikenteen väylien rakentamista teollisuuden sivutuotteita hyödyntäen. Kukkia Circlet -projektissa rakennettiin kaksi kevyen liikenteen väylää kuitutuhka rakenteella. Pohjana kohteissa oli turvepehmeikkö ja siltti.

Materiaalit ja rakenne

Kohteilla käytettiin kuitusaven (KS), lentotuhkan (LT) ja yleissementin (YSe) sekoitusta suhteessa KS:LT 10:7 + 6 % YSe. Lisäksi kohteilla käytettiin pintamateriaalina suotokakkumurske -seosta. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty kohteilla käytetyt periaaterakenteet.



Kuva 5 Silttisen pohjamaan kevyen liikenteen väylän rakenne.



Kuva 6 Turvepehmeikön kevyen liikenteen väylän rakenne.

Turvepehmeiköllä kuitutuhkakerros toimii lähinnä kantavana ja keventävänä materiaalina, ja silttisellä pohjalla sekä kantavana että routaeristävänä materiaalina.

Pehmeikköjen rakentamisen jälkeisen painuman estämiseksi talven aikana rakennettiin pehmeikköjen kohdille noin 1 metrin paksuinen ylipenger vahvistekankaasta ja moreenista tai murskeesta. Painumisen jälkeen alkukesällä pengertasoitettiin alusrakenteeksi suunnitellun päällysrakenteen tasoon.

Suunnittelu

Kuitusaven (KS), lentotuhkan (LT) ja seoksessa käytettävän sideaineen resepti optimoitiin laboratoriotestein. Hyväksyttävälle seokselle tehtiin pitkän ajan käyttäytymistä ennustavat rasiuskokeet. Teknisten testausten lisäksi kuitusavi-lentotuhka seoksen ympäristökelvopoisuus tutkittiin liukoisuustestein. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty kuitutuhka-sideaineseoksille asetetut tavoitearvot rakentamista varten.

Taulukko 2 Kuitutuhka-sideaineseoksen tavoitearvot rakentamista varten.

Materiaali-seos	Koerakentaminen			
	Tiiviysaste D(%) / ρ (kg/m ³)	Vesipitoisuus (%)		Rakennepaksuus (cm)
		Tavoite	Valvojan arvio/hylkäys	
[KS + LT 10:7] + YSe 6%	89-90/850-880	54-62	>66	20
[KS + LT 10:10] + YSe 6%	90/900-930	50-58	>60	>20

Taulukko 3 Kuitutuhka-sideaineseoksen tavoitearvot rakentamista varten.

Materiaaliseos	Seos (laboratoriotutkimukset)	
	Optimivesipitoisuus (%)	Kuivairtoteheys max (kg/m ³)
[KS + LT 10:7] + YSe 6%	45 (w ₀ = 62)	965 (898)
[KS + LT 10:10] + YSe 6%	41 (w ₀ = 54)	1010 (962)

Tulokset

Kevyen liikenteen väylät olivat pääosin säilyneet hyväkuntoisina yhden vuoden seurannan aikana. Väylissä oli ollut keväisin halkeamia niillä kohdoin, joissa kuitutuhkakerros oli jäänyt suunniteltua ohuemmaksi. Bitumisekoitteinen pinta (murske+SJ+BIE+SRSe) oli halkeillut rakentamisen jälkeisenä keväänä, mutta sulkeutunut kesällä. Kuitusavisekoitteinen pinta (murske+SJ+kuja+CaO+KS) oli säilynyt suhteellisen hyväkuntoisena. Pintauksessa käytettiin 12 mm:n soramursketta, jolla saatiin tiivis pinta. Kalliomursketta käyttämällä tulos olisi ehkä vielä parempi.

Kantavuudet olivat alhaisia, mutta kuitutuhkarakenteella ei pyritä pelkästään kantavuuden parantamiseen vaan ratkaisu perustuu nimenomaan eristävään, erottavaan ja joustavaan kerrokseen, joka pienentää roudan tunkeutumissyvyyttä, estää kulutuskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen sekä tasaa routaliikkeitä.

Liite 5: Tuhkantuottajat Suomessa

Taulukkoon on listattu vähintään 1000 t vuodessa tuottavien voimalaitosten vuosittaiset lento- ja pohjatuhkan tuotantomäärät.

Tuottaja	Paikka-kunta	Puhelin-numero	www-sivut	Lento-tuhka	Pohja-tuhka
Alholmens Kraft Oy	Pietarsaari	06 7899 503	www.alholmentskraft.com	>25000 t	5000-15000 t
Avillon Oy	Valkeakoski	03 57 311	www.sateri.fi	?	<5000 t
EPV Energia Oy, Tornion Voima Oy	Tornio	06 337 5300	-	15000-25000 t	<5000 t
Etelä-Savon Energia Oy	Mikkeli	015 1951	www.es.fi	<5000 t	<5000 t
Fortum Power and Heat Oy	Inkoo	010 45 43111	www.fortum.fi	<5000 t	<5000 t
Fortum Power and Heat Oy	Joensuu	010 45 47111	www.fortum.fi	5000-15000 t	<5000 t
Fortum Power and Heat Oy	Pori	010 45 43611	www.fortum.fi	<5000 t	<5000 t
Helsingin Energia, Hanasaaren voimalaitos	Helsinki	09 6171	www.helen.fi	15000-25000 t	>25000 t
Kainuun Voima Oy	Kajaani	08 6192 221	www.kainuunvoima.fi	5000-15000 t	?
Kanteleen Voima Oy	Haapavesi	08 4599 111	www.kanteleenvoima.fi/	15000-25000 t	>25000 t
Kotkan Energia Oy	Kotka	05 2277 270	www.kotkanenergia.fi	<5000 t	<5000 t
Kumpuniemen Voima Oy	Suolahti	010 465 7760	-	<5000 t	<5000 t
Kuopion Energia	Kuopio	0205 2070	www.kuopionenergia.fi	15000-25000 t	<5000 t
Lahti Energia Oy	Lahti	03 823 00	www.lahtienergia.fi	>25000 t	<5000 t
Metsä-Botnia Oy, Ab	Kaskinen	010 466 9999	www.metsabotnia.com	<5000 t	<5000 t
Metsä-Botnia Oy, Ab	Kemi	010 466 1999	www.metsabotnia.com	<5000 t	<5000 t
M-real Simpele	Simpele	010 464 8322	www.m-real.com	5000-15000 t	?
M-real Oyj, Kaskinen	Kaskinen	010 469 5094	www.m-real.com	<5000 t	?
Mäntän Energia Oy	Mänttä	010 464 7501		5000-15000 t	?
Oulun Energia, Toppilan voimalaitos	Oulu	08 5584 3300	www.ouluenergia.fi	>25000 t	?
Pori Energia Oy, Aittaluodon voimalaitos	Pori	02 621 2233	www.porienergia.fi	5000-15000 t	5000-15000 t
Powerflute Oyj, Savon Sellu	Kuopio	010 6606999	www.powerflute.com	<5000 t	<5000 t
PVO / Vieskan Voima Oy, Ylivieska	Ylivieska	08 426 351	www.pohjolanvoima.fi	<5000 t	<5000 t
PVO Oy, Kristiinan voimalaitos	Kristiinan-kaupunki	06 337 5600	www.pohjolanvoima.fi	>25000 t	5000-15000 t
PVO Oy, Laanilan Voiman voimalaitos	Oulu	08 5508 5400	www.pohjolanvoima.fi	?	?
PVO Oy, Mussalon voimalaitos	Kotka	05 2299 5800	www.pohjolanvoima.fi	5000-15000 t	?
PVO Oy, Rauman Voiman voimalaitos	Rauma	0204 14 101	www.pohjolanvoima.fi	?	?

PVO Oy, Tahkoluodon voimalaitos	Pori	02 6286 800	www.pohjanvoima.fi	>25000 t	5000-15000 t
Rovaniemen Energia	Rovaniemi	0207 566 400	www.ren.fi	5000-15000 t	?
Sappi Finland I Oy, Kirkiniemi	Lohja	010 464 2475	www.sappi.com	<5000 t	<5000 t
Stora Enso Oyj, Anjalankosken tehtaas	Anjalankoski	02046 117	www.storaenso.com	5000-15000 t	<5000 t
Stora Enso Oyj, Heinolan Flutingtehdas	Heinola	02046 118	www.storaenso.com	5000-15000 t	?
Stora Enso Oyj, Imatran tehtaas	Imatra	02046 121	www.storaenso.com	5000-15000 t	<5000 t
Stora Enso Oyj, Oulun tehdas	Oulu	02046 124	www.storaenso.com	5000-15000 t	<5000 t
Stora Enso Oyj, Sunila	Kotka		www.sunila.fi	<5000 t	<5000 t
Stora Enso Oyj, Varkauden tehtaas	Varkaus	02046 120	www.storaenso.com	<5000 t	<5000 t
Stora Enso Oyj, Veitsiluodon tehtaas	Kemi		www.storaenso.com	5000-15000 t	<5000 t
Tampereen Sähkölaitos, Naistenlahden voimala	Tampere	03 5653 5111	www.tampereensahkolaitos.fi	5000-15000 t	<5000 t
Turku Energia	Turku	022628111	www.turkuenergia.fi	<5000 t	<5000 t
UPM-Kymmene Oyj, Jokilaakson tehtaas	Jämsä	0204 16 161	www.upm-kymmene.com	>25000 t	?
Upm-Kymmene Oyj, Kaukaan tehdas	Lappeenranta	0204 15 161	www.upm-kymmene.com	<5000 t	<5000 t
UPM-kymmene Oyj, Kymin tehdas	Kuusankoski	0204 15 121	www.upm-kymmene.com	5000-15000 t	<5000 t
UPM-Kymmene Oyj, Tervasaaren tehdas	Valkeakoski	0204 16 111	www.upm-kymmene.com	5000-15000 t	<5000 t
Vantaan Energia	Vantaa	09 829 01	www.vantaanenergia.fi	15000-25000 t	<5000 t
Vapo Oy Haapaveden voimalaitos	Haapavesi	040 839 6582	www.vapo.fi	<5000 t	<5000 t
Vapo Oy Kevätniemen voimalaitos	Liekka	020 7905 131	www.vapo.fi	<5000 t	<5000 t
Vapo Oy Kiimassuon voimalaitos	Forssa	020 7906 780	www.vapo.fi	<5000 t	<5000 t
Vapo Oy Salo voimalaitos	Salo	020 7906 477	www.vapo.fi	<5000 t	<5000 t
Vapo Oy Sotkamon voimalaitos	Sotkamo	020 7905 168	www.vapo.fi	<5000 t	<5000 t
Vaskiluodon Voima Oy, Seinäjoki	Seinäjoki	06 337 5311	www.vv.fi	15000-25000 t	<5000 t
Vaskiluodon Voima Oy, Vaasa	Vaasa	06 337 5311	www.vv.fi	>25000 t	15000-25000 t
Äänevoima Oy	Äänekoski	020 632 3800	http://www.aane-energia.fi	?	?