



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jyrki Saranpää

# TUHKARAKENTAMINEN

Vaskiluodon kivihiilituhkan hyötykäyttö

Toimialayksikkö Tekniikka ja liikenne  
2013

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jyrki Saranpää
Opinnäytetyön nimi	Tuhkarakentaminen
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	36 + 8 liitettä
Ohjaaja	Pia-Lena Närhi

---

Kivihiihlen poltosta sivutuotteena syntyvää lento- ja pohjatuhkaa voidaan hyödyntää maarakenteissa. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää tuhkarakentamisen kulkua ja siinä ilmeneviä ongelmia. Tutkimuksessa selvitettiin kolmen erilaisen maarakenteen ominaisuuksia, laatua sekä rakentamisessa käytettävää tekniikkaa ja työtapoja. Koealueita toteutettiin kolme; tavanomainen rakenne, massiivituhkarakenne ja kerrosstabilointirakenne.

Aineisto kerättiin koekenttärakentamista havainnoimalla, osallistumalla ja vuorovaikutuksella tuhkarakentamisen eri asiantuntijoiden kanssa. Tulokset koerakenteista saatiin laadunvalvontaraportista.

Massiivituhka- ja kerrosstabilointirakenteissa saavutettiin odotetut laatuvaatimukset, mutta massiivituhkarakenteen ominaisuuksissa jäätin toivotuista tavoitteista. Työtapa työmaalla oli sujuvaa ja tekniikka toimintavarmaa, mutta niissä havaittiin kuitenkin kehitettävää.

## ABSTRACT

Author	Jyrki Saranpää
Title	Recycling of Fly Ash
Year	2013
Language	Finnish
Pages	36 + 8 Appendices
Name of Supervisor	Pia-Lena Närhi

---

Fly ash and bottom ash that are coal combustion by-products formed in furnaces, can be used in engineering for site construction. The aim of this study is to account for and follow-up non-combustible ash-residue recycling phases. In addition, the study includes the problems arising from the various phases in the process of reuse. Soil characteristics of three different types of earthwork were explored with regard to quality, techniques used in earthwork and other work routines. Three experimental areas were carried out; conventional construction, solid-ashes construction and layer-stabilizer construction.

The material was collected by observation on construction sites and co-operation and interaction with the experts. The results were received from the quality assurance report.

Solid-ashes and layer-stabilizer constructions worked as expected but the characteristics of solid-ash construction were not as good quality as presumed. Working routines at the construction site were smooth and the techniques reliable but there were also issues found that leave room for improvement.

---

Keywords Fly Ash, Quality Control, Aquosity

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TARKOITUS .....	12
3	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	16
	3.1 Valmistelevat työt.....	16
	3.2 Kantavan kerroksen rakentaminen koalueet B ja D .....	17
	3.3 Stabilointi ja kerrosstabilointi.....	17
	3.4 Tuhkan tiivistäminen .....	19
	3.5 Suojaaminen .....	20
	3.6 Laadunvalvonta .....	20
	3.7 Erot luonnon maa- ja kiviaineksiin.....	20
	3.9 Tekniset vaatimukset .....	21
4	TULOKSIA .....	25
	4.1 Yleistä mittausmenetelmistä.....	25
	4.2 Levykuormituskoe .....	25
	4.3 Troxler-mittalaite.....	25
	4.4 Optimivesipitoisuus .....	26
	4.5 Vesipitoisuusseuranta .....	27
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	29
	5.1 Maaperäolosuhteet ja pohjatutkimukset .....	31
	5.2 Asemasekoitin .....	32
	5.4 Tiivistäminen .....	34
	5.5 Loppulausuma .....	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuvio 1.</b> Kuivan lentotuhkan tuotanto tonnia/kuukausi	s. 8
<b>Taulukko 1.</b> Lentotuhkan kemiallinen koostumus	s. 9
<b>Taulukko 2.</b> Kivihiilen pohjatuhkan kemiallinen koostumus	s. 10
<b>Taulukko 3.</b> Koealueiden rakenneratkaisut	s. 16
<b>Taulukko 4.</b> Tuhkan vesipitoisuus kuljetuksen jälkeen kuorman eri osista	s. 28
<b>Kuva 1.</b> Kivihiilen pohja- ja lentotuhkan hyötykäytön prosessi	s. 11
<b>Kuva 2.</b> Jukajan Ristikko Oy:n koekenttä	s. 12
<b>Kuva 3.</b> Koealueet A, B ja D. Rakenne A tavanomainen rakenne, B massiivituhkarakenne ja D kerrostabilointirakenne	s. 13
<b>Kuva 4.</b> Pyörökuormaaja syöttää tuhkaa asemasekoittimeen	s. 17
<b>Kuva 5.</b> Tuhka kuljettimelta sekoittimelle ja valmis tuhcaseos oikealla	s. 18
<b>Kuva 6.</b> Koekenttäalueen B tiivistäminen	s. 19
<b>Kuva 7.</b> Kantavan kerroksen rakentaminen: Koealue A; Tavanomainen rakenne. Kantava kerros rakennettiin kuvan mukaisesti 350mmKaM 0-64 ja 100mm KaM 0-32 kerroksilla (KaM=kalliomurske)	s. 22
<b>Kuva 8.</b> Kantavan kerroksen rakentaminen: Koealue B; Massiivituhkarakenne. Kantava kerros rakennettiin kuvan mukaisesti 50mm Kam 0-16 ja stabiloitu 2x20 lentotuhka (LT) Yse 4 % (Yse=Yleisementti)	s.23
<b>Kuva 9.</b> Kantavan kerroksen rakentaminen: Koealue D; kerrostabilointirakenne. Kantava kerros rakennettiin kuvan mukaisesti KaM 0-32+LT 10+Yse 2%	s. 24
<b>Kuva 10.</b> Troxler-mittalaite	s. 26
<b>Kuva 11.</b> Näytteenottajilla oli vahva näkemys siitä, että koekentän alla oli pehmeä savikerros. Tähän viittasi koekentän reunassa sijaitsevan ojan penkereen pehmeys	s. 30
<b>Kuva 12.</b> Pohjavesialuekartta Jukaja. Koekenttäalue sijaitsee nuolen osoittamassa kohdassa	s. 32

**LIITELUETTELO**

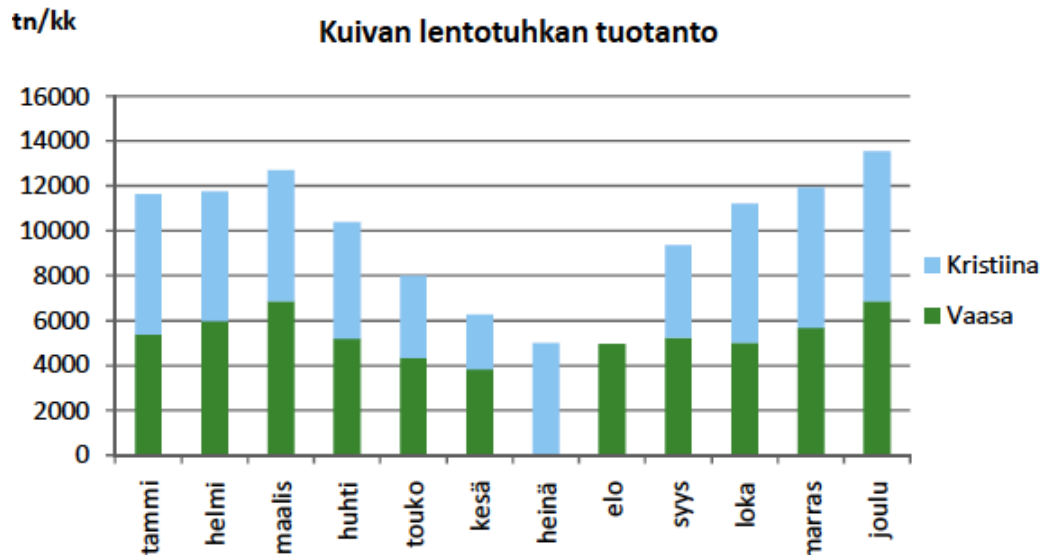
<b>LIITE 1.</b> Levykuorimituskokeen tulokset	s. 1
<b>LIITE 2.</b> Troxler-mittaustulosten kuvaajat	s. 5
<b>LIITE 3.</b> Jukaja- Massiivituhkaseoksesta valmistettujen koekappaleiden tulokset	s.7

## 1 JOHDANTO

Voimalaitostuhkien hyötykäyttömahdollisuudet maanrakennuksessa ovat laajentuneet tällä vuosituhanalla teknologian, sovellusten ja lainsäädännön osalta. Uusiorakentamisella pyritään vähentämään uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä ja hyödyntämään jo olemassa olevia resursseja kuten tuhkaa, joka lähtökohtaisesti luokitellaan jätteeksi. Valtakunnallinen uusiorakentamista edistävä UUMA-ohjelma käynnistettiin ympäristöministeriön toimeenpanemana vuonna 2006. Energiantuotannosta peräisin oleva tuhka on merkittävä mahdollisuus uusiorakentamisen edistämiseksi. Vuosittain Suomessa muodostuu tuhkaa noin 1,5 miljoonaa tonnia. Kuviossa 1 sivulla 8 on esitetty Vaasan ja Kristiinankaupungin lentotuhkan tuotannon määrä eri kuukausina. /1/

Energiantuotannon sivutuotteena syntyvä pohjatuhka ja erityisesti kivihiilen poltosta syntyvä lentotuhka eroavat tavanomaisista kiviaineksista sementin kaltaisten lujittumisominaisuuksiensa sekä huokoisten rakeidensa puolesta. Eroavien ominaisuuksien vuoksi tehokas tuhkien hyötykäyttö vaatii käyttäjiltä perehtymistä. Toisaalta tuhkarakentamisella voidaan saavuttaa etuja tavanomaisilla materiaaleilla tehtyyn rakentamiseen verrattuna. /1/

Tuhkia käytetään maarakennuksessa monipuolisesti ja niitä voidaankin käyttää sekä täytöissä että kerrosrakenteissa. Tuhkaa käytetään sellaisenaan sekä seosmateriaalina yhdessä muiden teollisuuden sivutuotteiden kanssa. Teollisuuden tutkittuja sivutuotteita ovat muun muassa kuitusavi, sivutuotekipsi ja rikastushiekka. Esimerkiksi tuhkaa ja kipsiä voidaan käyttää erilaisissa stabiloivissa sideaineseoksissa korvaamaan teollisesti tuotettuja sideaineita. /1/



**Kuvio 1.** Kuivan lentotuhkan tuotanto tonnia/kuukausi Kristiinankaupungissa ja Vaasassa. /2/

### 1.1 Kivihiilen lentotuhka

Pohja- ja lentotuhkaa muodostuu kivihiilen polton sivutuotteena. Alkuperäisestä kivihiilen massasta tuhkan osuus on noin 10-15% riippuen polttotekniikasta ja kivihiilen ominaisuuksista. Kivihiiltä poltettaessa palamattomat alkuaineet sitoutuvat tuhkaan. Kaasuvirran mukana kevyempi aines, lentotuhka, erotellaan tavallisesti voimalaitoksissa savukaasuista sähkö- tai letkusuodattimilla (kuva 1 sivulla 11).

Kivihiilen pohjatuhkalla on hyvät ominaisuudet rakennusmateriaalina, koska tuhkat sisältävät mineraaleja. Nämä mineraalit voivat korvata luonnon kiviaineksia rakenteissa. Taulukossa 1 sivulla 9 on esitetty lentotuhkan ja taulukossa 2 sivulla 10 pohjatuhkan kemiallinen koostumus. /3; 4/



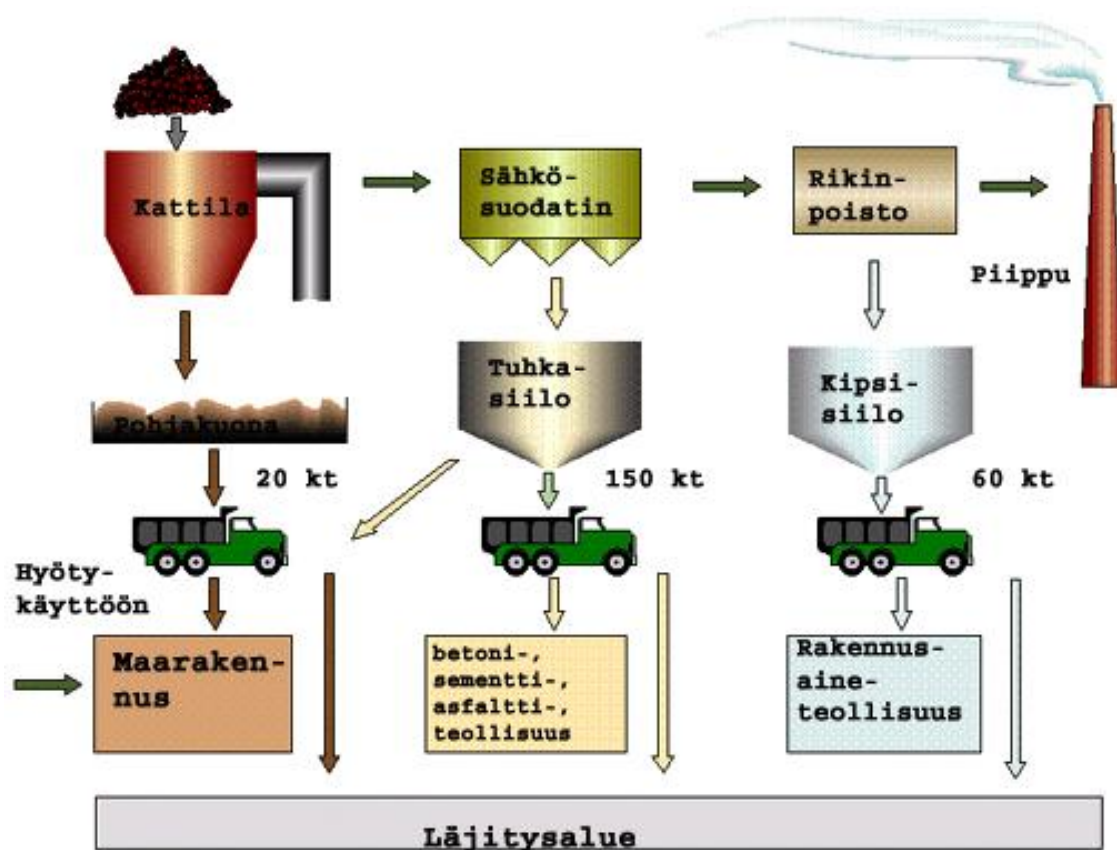
**Taulukko 1.** Lentotuhkan kemiallinen koostumus. /5/

Kemiallinen yhdiste	Paino-%
Kvartsi SiO <sub>2</sub>	45-55%
Kroundi Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20-30%
Hematiitti Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8-11%
Kalsiumoksidi CaO	4-7%
Mangnesiumoksidi MgO	3-5%
Kaliumoksidi K <sub>2</sub> O	1-2%
Natriumoksidi Na <sub>2</sub> O	0-2%

Lentotuhka sisältää myös vaihtelevia määriä raskasmetalleja, joista merkittävimmät molybdeeni, kromi, arseeni, lyijy ja seleeni. /6/

**Taulukko 2.** Kivihiilen pohjatuhkan kemiallinen koostumus. /7/

Kemiallinen yhdiste	Paino- %
Piidioksidi SiO <sub>2</sub>	34,2
Alumiinioksidi, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,6
Mangnesiumoksidi, MgO	2,6
Kalsiumoksidi, CaO	4,4
Rautaoksidi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,6
Titaanidioksidi, TiO <sub>2</sub>	0,7
Kaliumoksidi, K <sub>2</sub> O	1,2
Sulfiitti, SO <sub>3</sub>	0,2
Fosforioksidi, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1



**Kuva 1.** Kivihiilen pohja- ja lentotuhkan syntymisen ja hyötykäytön prosessi. /8/

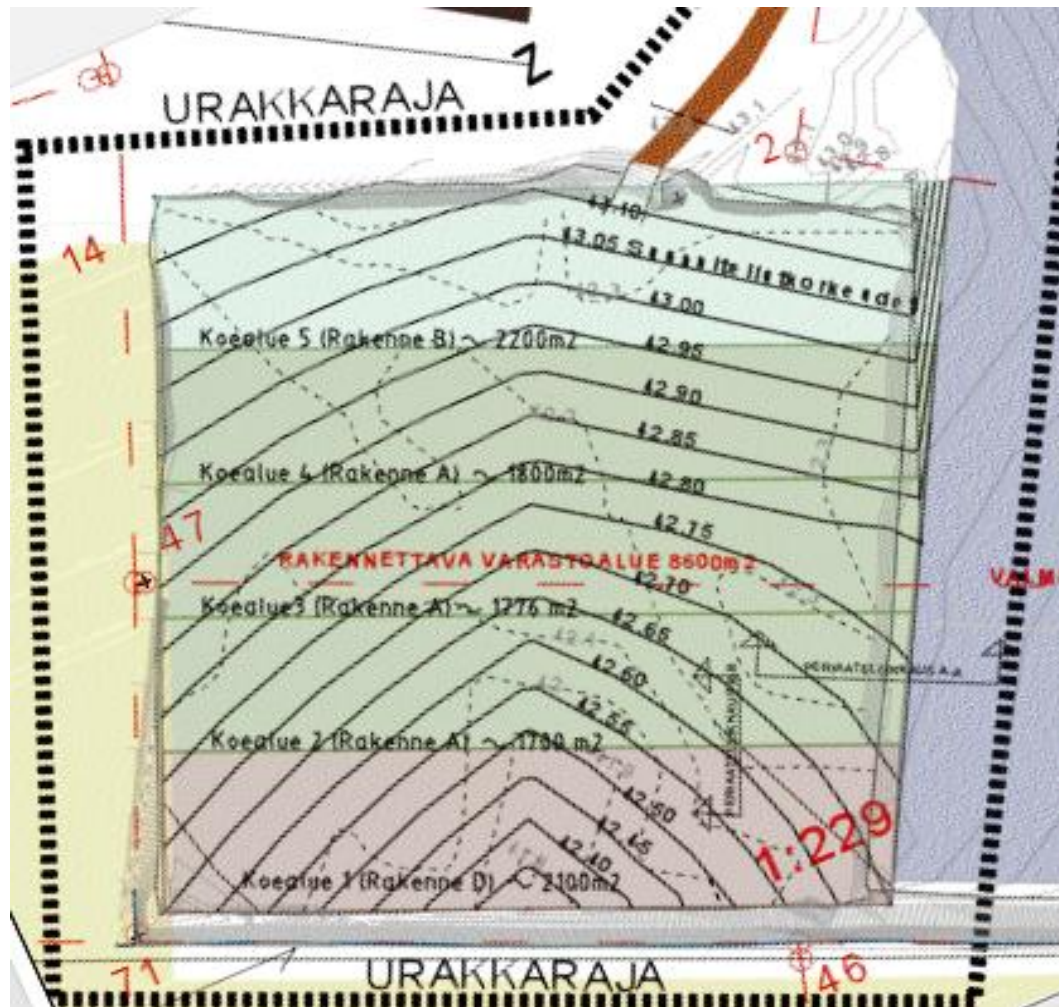
## **2 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TARKOITUS**

Vaskiluodon Voima Oy rakensi Laihian kunnassa Jukajan Ristikot Oy:n teollisuusalueelle varastokentän, jonka maanrakennuksessa käytettiin Vaskiluodon Voiman kivhiilen poltosta syntyvää sivutuotetta lentotuhkaa. Alueelle toteutettiin tutkimus kolmesta erilaisesta koerakenteesta; A, B ja D (taulukko 3 sivulla 14). Alkuperäiseen suunnitelmaan tehtyjen muutosten vuoksi koerakenteet C ja E jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Vaskiluodon voiman kivihiilituhkan hyötykäytön koekenttä sijaitsee Laihian Jukajalla osoitteessa Tampereentie 1857, 66400 Laihia. Alueen sijainti on esitetty kartassa kuvassa 2 sivulla 12. Vaskiluodon voiman ja Jukajan Ristikot Oy:n välinen etäisyys teitä pitkin on 57 km. /2/



Kuva 2. Jukajan Ristikko Oy:n koekenttä. /9/





**Kuva 3.** Koealueet A, B ja D. Rakenne A tavanomainen rakenne, B massiivituhrakakenne ja D kerrostabilointirakenne. /9/

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata kivihiihtuhrakentamisen laadunvalvonnan kulkua ja käytettävää kalustoa, menetelmiä, tekniikkaa sekä niissä määritettäviä asetuksia. Koska käytettävää kalustoa ja laadunvalvontalaitteita sekä asetuksia on useita, tässä työssä keskityttiin eteen tuleviin olennaisimpiin ongelmiin kaluston, laadunvalvonnan mittauksen sekä menetelmien kohdalla.

Tutkimuksessa selvitettiin lisäksi erilaisten tuhkaseoksien (B, D) tiiveysastetta, kantavuutta ja seoksien vesipitoisuuksia. Tuhkarakentamisen ominaisuuksien lisäksi tässä tutkimuksessa seurattiin käytössä olevaa tekniikka työtapoja ja työsaavutusta. /9/

### 3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin rakentamalla koekentälle kolme erilaista rakenneratkaisua. Taulukossa 3 kerrotaan näiden koalueiden rakenteet. Seuraavassa käydään läpi tarkemmin koerakenteiden toteutus.

**Taulukko 3.** Koalueiden rakenneratkaisut /10/

<i>Rakenne</i>	<i>Nimi</i>	<i>Koalue</i>	<i>Kerrospaksuus</i>	<i>Runkoaine</i>	<i>Sideaine</i>
A	Tavanomainenrakenne	2-4	350mm	Murske 0-64mm	-
B	Massiivituuhkarakenne	5	2x200mm	Lentotuhka	Yse 4%
D	Kerrostabilointirakenne	1	200mm	Murske 0-32mm	Yse 2%+LT10%

#### 3.1 Valmistelevat työt

Alueelle oli jo ajettu ja tiivistetty kivihiilen lentotuhkaa syksyllä 2011. Lentotuhkan kunto tarkistettiin lapiokaivuuna aloituskatselmuksessa, jossa todettiin, että selvästi liettynyt massa on kuorittava pois sekä korvaava lentotuhka tiivistettävä rakenteeseen. Tämän korvaavan täytön päälle levitettiin suodatinkangas. Liettyneiden massojen poiston jälkeen stabiloimaton lentotuhkatäyttö rakennettiin rakennekuvissa esitetylle tasolle ja muotoiltiin piirustuksissa esitetyn geometrian mukaisesti (kuva 3 sivulla 13). /9; 10/



### 3.2 Kantavan kerroksen rakentaminen koalueet B ja D

Tuoretta lentotuhkaa kostutettiin voimalaitoksella kuljetuksen aikaisen pölyämisen estämiseksi. Tämän jälkeen tuhka kuljetettiin suoraan työmaalle ja kipattiin kasalle asemasekoittimen siilon lähelle. Tämän jälkeen kasalta otettiin näyte vesipitoisuuden laskemista varten. Vesipitoisuus laskettiin geoteknisesti uunikuivausmentelmällä ja laskemalla, minkä perusteella massaa kostutettiin. Kasalta pyöräkuormaaja syötti tuhkan siiloon (kuva 4). /10/



**Kuva 4.** Pyöräkuormaaja syöttää tuhkaa asemasekoittimeen.

### 3.3 Stabilointi ja kerrosstabilointi

Stabilointi tarkoittaa rakennekerroksen vahvistusmenetelmää. Se lisää vanhojen alueiden käyttöikää ja varmistaa uusien alueiden kantavuuden. Sideaineena käytetään normaalisti yleissementtiä 3-5% stabiloivan kerroksen kuivatiheyspainosta. Asemasekoitusmenetelmässä valmistettava stabilointimassa valmistetaan siihen sopivalla sekoitusasemalla ja massa levitetään kohteeseen esimerkiksi asfaltin levittimellä. Stabilointityötä ei saa tehdä, jos kiviaineksen

lämpötila alittaa +5C asteen. Työ on keskeytettävä sateella jos stabiloidun kerroksen vesipitoisuus ylittää tavoitevesipitoisuuden. /11; 19/

Siilosta tuhka siirrettiin kuljetinta pitkin sekoittimeen, jossa lentotuhka-sementtimassa (koealue B) ja murske-lentotuhka-sementtimassa (koealue D) valmistettiin. Sekoituksen jälkeen valmis massa siirrettiin kuljetinta pitkin maahan (kuva 5).



**Kuva 5.** Tuhka kuljettimelta sekoittimelle ja valmis tuhkaseos oikealla.

Valmistettu massa siirrettiin pyöräkuormaajalla välittömästi halutulle koekenttäalueelle ja kipattiin suoraan koekentän päälle. Siitä tiehöyölä levitti massan suunnitellulle geometrialle. Asfalttihöylä oli varustettu lasermittauslaitteella. Tämän jälkeen massa tiivistettiin 12 tonnin yksivalssisella täryjyrällä (kuva 6 sivulla 17).



**Kuva 6.** Koekenttäalueen B tiivistäminen.

### **3.4 Tuhkan tiivistäminen**

Ensimmäisellä tiivistyskerralla lentotuhkakerros voi tiivistyä epätasaisesti, joten tarvittaessa on varauduttava pinnan tasoitukseen tiehöylällä ja tuhkaa lisäämällä. Lentotuhkaa suositellaan tiivistettävän ohuina kerroksina (0,2-0,25m). Jos tuhka on löyhää, tällöin voidaan käyttää 0,3-0,4m:n kerroksia. Paksummat kerrokset aiheuttavat mahdollisesti ongelmia tasaustyössä, muotoilussa ja tiivistystyössä. Ohuemmat kerrokset hidastavat työtä. Lentotuhkarakenne tiivistetään esimerkiksi valssijyrällä. Tiivistyskertoja suositellaan noin 6-8, mutta määrä täytyy arvioida tapauskohtaisesti. Rakenteen tiiveys tarkistetaan laadunvalvonnalla. Lentotuhkan tiivistäminen reuna-alueilla vaatii sivuttaistuet reunapenkereille riittävän tiiveyden saavuttamiseksi. Reunatuet tulee tiivistää ennen lentotuhkan levittämistä. Tuhkarakenteisen reuna-alueiden tiiveyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Stabiloidun kerroksen tiivistystä jatketaan niin kauan kuin tiiveys ei seurannan mukaan enää tiivisty tai tavoitetiiveys on saavutettu. Tiiveyttä voidaan seurata jyrään kytketyllä kalibroidulla tallentavalla tiiveysmittarilla tai Troxler-

säteilymittarilla. Valmiin pinnan tulee olla halutun muotoinen, tasainen, kiinteä ja tiivis. Kuvissa 7, 8 ja 9 sivuilla 20, 21 ja 22 on kuvattu eri koalueiden A, B ja D rakenteet. /12; 19/

### **3.5 Suojaaminen**

Tiivistämisen jälkeen ja työvuoron päätyttyä lentotuhkarakenne tulisi suojata pressulla tai ohuella murskekerroksella pölyämisen, kastumisen ja mekaanisen rasituksen estämiseksi. Suojaustoimenpiteet tulee suorittaa jos rakentaminen keskeytyy sateen vuoksi. Lentotuhkan tiivistäminen ohuen murskekerroksen päältä parantaa tiivistystulosta. Murske toimii myös päällysteen tartuntapintana. /12/

### **3.6 Laadunvalvonta**

Lentotuhkarakenteen laadunvalvonnassa käytetään osittain samoja laatuvaatimuksia ja menetelmiä kuin käytettäessä luonnon maa- ja kiviaineksia. Rakenteen tiiveysaste todetaan tiiveysmittauksilla ja antavuusmittauksilla todettavan tiiveyssuhteen perusteella. Tuhkarakenteiden reuna-alueiden tiiveyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. /12/

### **3.7 Erot luonnon maa- ja kiviaineksiin**

Rakentaminen lentotuhkalla poikkeaa joiltakin osin perinteisten luonnon maa- ja kivilajien käytöstä rakentamisessa. Jäljessä on lueteltu tuhkan ominaisuuksien eroavaisuuksia luonnon maa- ja kiviaineksista rakentamisessa.

Valtioneuvoston vaatimukset

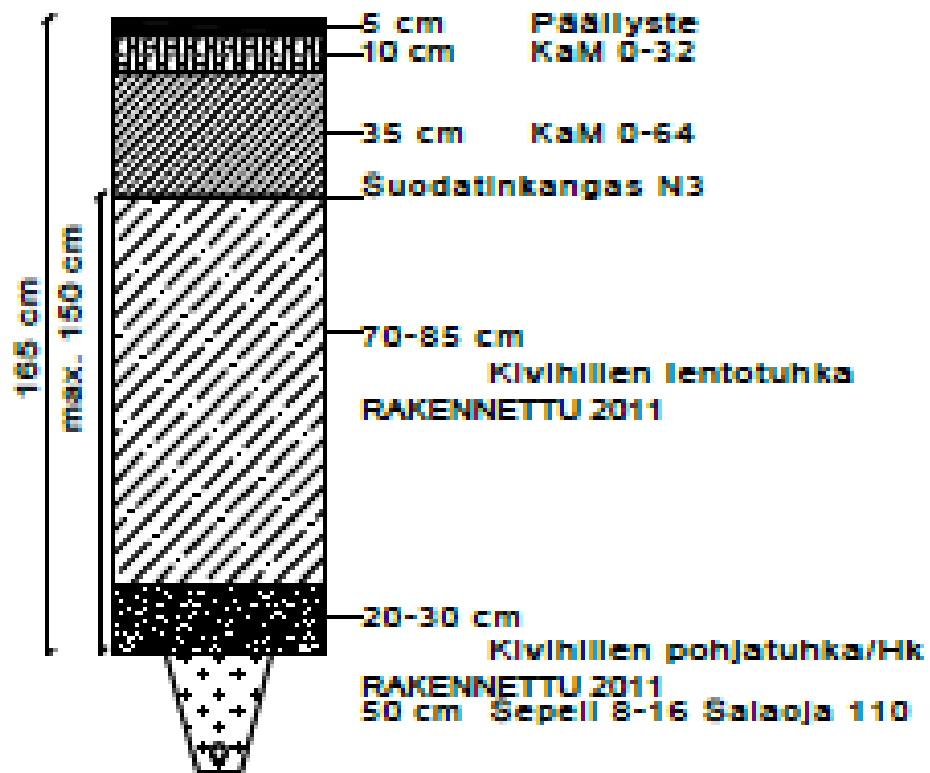
- Lentotuhkaa ei saa käyttää 1 ja 2 luokan pohjavesialueilla
- Lentotuhka tulee päällystää asfaltilla
- Lentotuhkarakenteen kerrospaksuus on rajattu enintään 1,50m
- Hyödyntämispaikan haltijan on hyväksyttävä lentotuhkan käyttö
- Lentotuhkan käyttö edellyttää ilmoituksen tekemistä paikalliselle ympäristökeskukselle

### 3.9 Tekniset vaatimukset

- Lentotuhka ei sovellu käytettäväksi sille korroosioherkkien materiaalien kanssa ilman suojausta suoralta kosketukselta suotautuvan veden vaikutukselta
- Lentotuhkarakennetta ei tule rakentaa avoveteen tai liettyneen pohjamaalle
- Lentotuhka soveltuu huonosti kohteeseen, joka kaivetaan auki toistuvasti
- Jäätynyttä tuhkaa ei tule käyttää rakentamisessa
- Rakenteen huolellinen tiivistäminen on edellytys tiiviys- ja kantavuusvaatimusten täyttymiseen
- Yli tai ali 5% optimivesipitoisuudesta poikkeavien lentotuhkamassojen käyttämisestä rakenteessa päättää työmaavastaava tapauskohtaisesti, ottaen huomioon mahdolliset ongelmat materiaalin tiivistämisessä
- Tiivistetyn lentotuhkapinnan kaltevuuden tulee olla vähintään 3%
- Lentotuhkarakenteen minimipaksuudeksi suositellaan vähintään 0,2 m

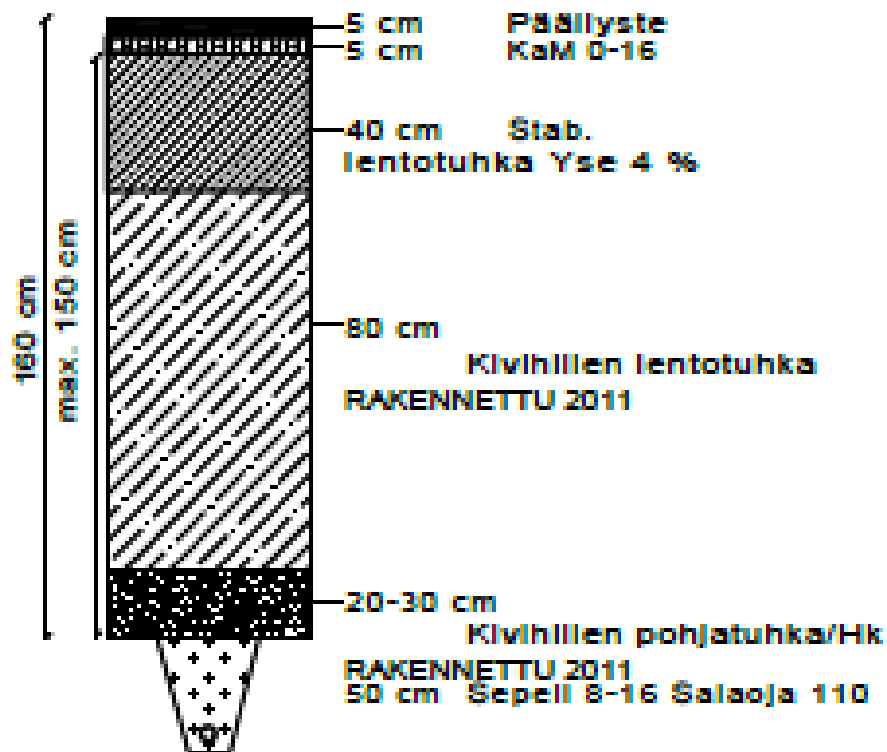
/12/

## Koealue A



**Kuva 7.** Kantavan kerroksen rakentaminen: Koealue A; Tavanomainen rakenne. Kantava kerros rakennettiin kuvan mukaisesti 350mm KaM 0-64 ja 100mm KaM 0-32 kerroksilla (KaM=kalliomurske). /9; 10/

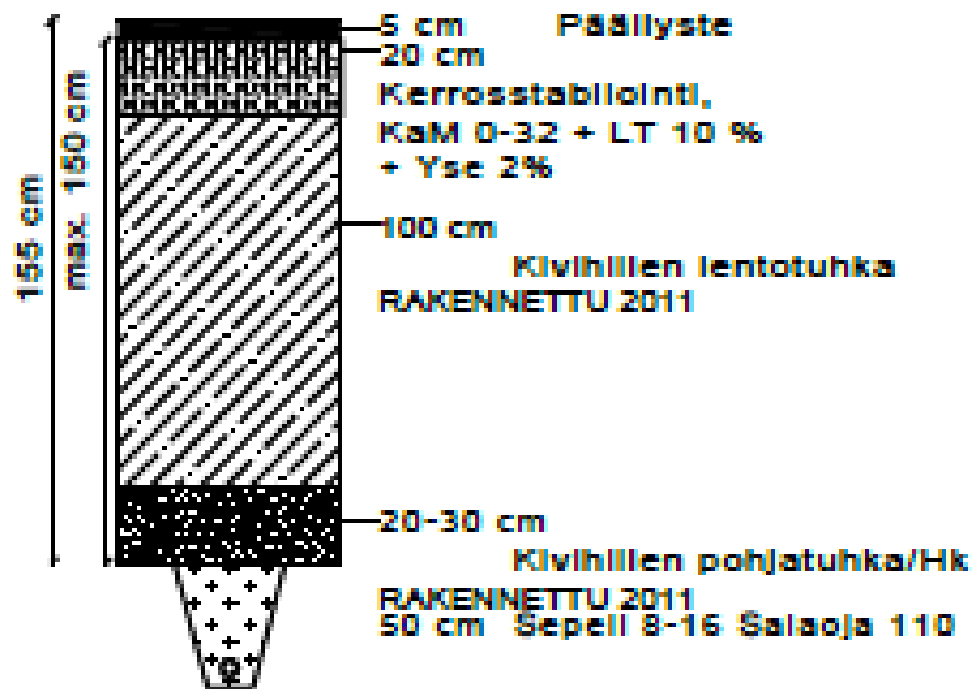
## Koealue B



**Kuva 8.** Kantavan kerroksen rakentaminen: Koealue B; Massiivituuhkarakenne. Kantava kerros rakennettiin kuvan mukaisesti 50mm Kam 0-16 ja stabiloitu 2x20 cm lentotuhka (LT) + Yse 4 % (Yse=Yleissementti).

Massiivituuhkarakentamisen työn edetessä lentotuhkatäytön päälle levitettiin suodatinkangas. Sen lisäksi siihen levitettiin noin 50mm kerros 0-32 mursketta kantavammaksi tiivistysalustaksi. Tällä pyrittiin parantamaan rakenteen tiivistymistä. Rakenteen tiivistystyömäärä todettiin maksimitiivistystyömääräksi tiivistyskokeilujen perusteella. Jos rakennetta tiivistettiin isommilla työmäärillä, rakenne häiriintyi ja heikkeni. /9; 10/

## Koealue D



**Kuva 9.** Kantavan kerroksen rakentaminen: Koealue D; kerrosstabilointirakenne. Kantava kerros rakennettiin kuvan mukaisesti KaM 0-32 + LT 10% + Yse 2%./9; 10/



## **4 TULOKSIA**

### **4.1 Yleistä mittausmenetelmistä**

Ennen maarakennuksen aloittamista täytyy selvittää maaperän olosuhteet. Maaperää tutkittaessa näytteenotto on maaperän tutkimuksen tärkeimpiä vaiheita. Näytteenottaja tutkii ennen tiivistystyön aloittamista laboratorioissa kaikille tiivistettäville lajitteille ohjeavot. Tavanomaisessa lajitteen määrityksessä tutkitaan maalajitteen rakeisuus, optimivesipitoisuus ja kuivairtoteheyden maksimiarvo. Ennen töiden aloittamista tarvittavat mittalaitteet, kuten Troxler-säteilymittari ja jyrän mahdollinen jatkuvatoiminen tiiveyden tarkkailulaite, täytyy kalibroida asianmukaisin menetelmin. /13; 19/

### **4.2 Levykuormituskoe**

Levykuormituskokeella voidaan arvostella tiivistystyön laatua. Levykuormituskokeessa puristetaan portaittain nostettavalla voimalla ympyrän muotoista levyä. Mitä pienempi muodonmuutos rakenteessa syntyy kuormituksen seurauksena sitä suurempi ja parempi kantavuus saavutetaan. /14; 15/

Tässä tutkimuksessa levykuormituskoe kokeiltiin ottaa suoraan tuhkan pinnalta, mutta tulosta ei saatu, koska levy painui liikaa. Tuhkan pintaan laitettiin 0-16 kalliomursketta noin 10 cm ja tehtiin lisätiivistys. Lisäksi yritettiin ottaa näyte niin, että murskeen alla oli suodatinkangas. Tämän jälkeen valmiille koekenttärakenteelle tehtyjen levykuormituskokeiden tulokset täyttivät asetetut vaatimukset. /10/ (Tulokset liitteessä 1.)

### **4.3 Troxler-mittalaite**

Troxler-mittalaite on radioaktiiviseen säteilylähteeseen perustuva laite, jolla voidaan mitata asfaltin, lajitteen tai betonin tiiveyttä (kuva 10 sivulla 24). Lisäksi laitteella voidaan mitata maaperän ja lajitteen kosteutta. Maaperää tai lajitetta mitattaessa 50-300mm:n syvyyden mittaukset ovat ihanteellisia. Troxler-mittalaite näyttää vesipitoisuuden tulokset prosentteina [%] sekä massatilavuutena

[kg/m<sup>3</sup>]. Tiheyden laite antaa massatilavuuksina [kg/m<sup>3</sup>]. /16/ (Troxler-mittaustulokset koalueilta B ja D liitteessä 2.)



**Kuva 10.** Troxler-mittalaite oikealla.

#### 4.4 Optimivesipitoisuus

Materiaalin optimivesipitoisuudella tarkoitetaan vesipitoisuutta, jossa materiaali saavuttaa ominaisuuksiltaan parhaan kuivatilavuuspainon. Lentotuhkien optimivesipitoisuus on 20-50% ja pohjatuhkilla 14-24%. Tuhkan ikä ja polttoprosessi polttoaineen mukaan vaikuttavat merkittävästi lentotuhkien optimivesipitoisuuksiin. Erityisesti lentotuhkien optimivesipitoisuuksien selvittäminen on tärkeää, koska oikealla vesipitoisuudella saadaan materiaalille parhaat lujittumisominaisuudet.

Lujittumisominaisuus tarkoittaa materiaalin kykyä lujittua, kun sitä kostutetaan ja tiivistetään. Pohjatuhkien lujittumisominaisuudet ovat vähäisiä, mutta

lentotuhkien lujittumisominaisuuksilla on merkittävä vaikutus materiaalin lopputuotteen ominaisuuksiin. Lujittumisominaisuuksien selvittämiseksi tuhkamateriaalista valmistetaan koekappaleet. Koekappaleista määritetään puristuslujuus sekä muodonmuutosmoduuli halutun lujittumisajan jälkeen. Puristuslujuuden perusteella voidaan arvioida rakenteen kantavuusominaisuuksia. Kun tavoitellaan parasta tiivistystulosta, ne saavutetaan, kun tuhka tiivistetään optimikosteudessa. Liian korkeassa vesipitoisuudessa tuhka ei tiivisty kunnolla useista yrityksistä huolimatta, vaan sen ominaisuudet saattaa jopa heikentyä. /1; 10; 14; 17/

#### 4.5 Vesipitoisuusseuranta

Vesipitoisuus määritetään punnitsemalla näyte ennen ja jälkeen kuivauksen. Tässä tutkimuksessa tuhkan vesipitoisuutta tarkkailtiin ennen sekoitusasemalle syöttöä ja sekoituksen jälkeen. Vesipitoisuudella  $w$  tarkoitetaan maa-aineksessa olevan veden massan ja kuivan maa-aineksen massan suhdetta prosentteina. Tämä voidaan laskea kaavalla

$w(\%) = (m_w/m_d) \times 100$ , jossa

$w$  = vesipitoisuus (%),

$m_w$  = maanäytteen sisältämän veden massa,

$m_d$  = kuivan maanäytteen massa /18/

Yleisesti tuoreiden lentotuhkien optimivesipitoisuus on pienempi kuin vanhojen kasavarastoitujen tuhkien. /1/

Tuoreen tuhkan vesipitoisuuden heittänyt vaikeuttivat sekoitusasemalla suoritettavaa kostutusta. Ensimmäisessä näytteessä tuhkakuorman etu- ja takaosan tuhkanäytteiden vesipitoisuuksien selvän eron vuoksi toisesta kuormasta otin kolme eri näytettä; etu-, keski- ja takaosasta, tulokset taulukossa 4 sivulla 26.

Kuorman etuosasta saatiinkin huomattavasti alhaisemmat vesipitoisuudet kuin kuorman takaosasta. Ilmeisesti kuljetuksen aikana kuorman etuosa pääsee kuivumaan, jolloin tuhkan vesipitoisuus pääsee haihtumisen seurauksena

laskemaan merkittävästi. Tätä tukee myös laadunvalvontaraportin massiivituhkarakenteen koekappaleista tehty taulukko, jossa vesipitoisuudet sahaavat. (Liite 3.) /10; 12; 15/

**Taulukko 4.** Tuhkan vesipitoisuus kuljetuksen jälkeen kuorman eri osissa.

Tuhkan vesipitoisuus kuorman eri osista	Etuosa	Keskiosa	Takaosa
<b>Näyte 1</b>	<b>29,1%</b>	<b>-</b>	<b>34,5%</b>
<b>Näyte 2</b>	<b>25,0%</b>	<b>31,2%</b>	<b>34,5%</b>

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Ennakkotutkimuksissa laadunvalvontaraportin mukaan suositeltavimmiksi rakenteeksi arvioitiin rakenne, jossa lentotuhkaan lisättiin 9% sementtiä. Ennakkotutkimuksissa käytettiin myös reseptiä, jossa oli 3,5% sementtiä tuhkassa. Sementtimäärällä 3,5 % saavutettiin 1,1 Mpa:n lujuus kuukauden ikäisellä koekappaleella. Pienen sementtimäärän jäätymis-sulamiskestävyys saattaa aiheuttaa ongelmia. Koekentällä päädyttiin tekemään rakenne, jossa oli sideaineena sementtiä 4 %. Massiivituhkan koekappaleiden tiiveys- ja lujuustulokset vaihtelivat paljon johtuen vesipitoisuuden vaihtelusta. Optimivesipitoisuuden ylitys aiheutti enemmän lujuusominaisuuksien heikkenemistä kuin sen alitus. Keskiarvolujuus oli hieman alle 1 Mpa, joka on tyydyttävällä tasolla. Myös massiivituhkarakenteen Troxler-mittauksissa oli vesipitoisuuden vaihtelua. Keskiarvo oli 33%, jota tässä tutkimuksessa tavoiteltiin. Mittaustulosten tiheys- ja tiiveysasteet jäivät kuitenkin tavoitearvoista. Tiiveyden keskiarvo oli D82% tavoitteen ollessa D90%. /10/

Rakentamisen aikana tiiveystuloksiin yritettiin vaikuttaa monella tapaa, kuten jyrän avulla sekä vesipitoisuuden ja tiivistystyömäärän muutoksilla. Millään toimenpiteellä ei ollut kuitenkaan merkittävää parantavaa vaikutusta rakenteeseen. Tähän saattoi vaikuttaa koekenttäalueen mahdollinen alapuolella oleva pehmeä savikerros (kuva 12). Näytteenottajilla ei ollut riittävästi tietoa maaperäolosuhteista, koska maaperätutkimuksia ei ollut suoritettu. /10/



**Kuva 11.** Näytteenottajilla oli vahva näkemys siitä, että koekentän alla oli pehmeä savikerros. Tähän viittasi myös koekentän reunassa sijaitsevan ojan penkereen pehmeys.

Laadunvalvontaraportin mukaan kerrosstabilointirakenteen ennakkotutkimuksissa tutkittiin reseptiä sementti+LT+kipsi 2+5+5%. Tälle sideainereseptille saatiin hyvä jäätymis-sulamiskestävyys. Lisäksi sille saavutettiin merkittävä lisälujuus verrattuna reseptiin sementti+ LT 2+ 10%. Koekentällä toteutettiin jälkimmäinen vaihtoehto. Kerrosstabiloinnin osalta koekappaleissa toteutuneiden tiiveysasteiden keskiarvo oli D 91%. Puristuslujuus 1 kk:n iässä koekappaleilla oli vähintään 4 Mpa, lujuustason keskiarvon ollessa 5,4MPa:n. Myös kerrosstabiloinnin vesipitoisuuksissa oli vaihtelua keskiarvon ollessa 5,7%. Kerrossabilointirakenteen murska oli karkeaa ja sen pinta oli lajittunutta. Lajittuneisuus voi johtua myös siitä, että eri työvaiheessa karkeimmat lajitteet valuvat pohjalle. Kun lajitteet kipataan kasalle asemasekoittimen kuljettimen jälkeen, karkeimmat lajitteet valuvat helposti pohjalle. Mitä enemmän näitä työvaiheita on, sitä lajittuneempaa seos on. Lajittuneisuus voi vaikuttaa myös vesipitoisuuden heittelyyn. /10/

## 5.1 Maaperäolosuhteet ja pohjatutkimukset

Pohjatutkimuksien tarkoitus on selvittää rakennuspaikan maaperäolosuhteet niin, että aiotun rakenteen perustaminen ja tarvittavat pohjarakennustyöt voidaan luotettavasti suunnitella ja turvallisesti toteuttaa. Selvitys sisältää maakerrosten ja niiden laadun tutkimukset. Lisäksi se kartoittaa tiiviin pohjakerroksen tai kallionpinnan selvityksen ja pohjaveden pinnan. Edellä mainituilla tiedoilla voidaan laskea kantavuus- ja painolaskelmia kuin myös maanpainelaskuja.

Pohjatutkimukset hahmottaa kartan ja esitettyjen kannanottojen avulla millainen rakentaminen suunnitellulle alueelle onnistuu. Urakoitsija tutkii huolellisesti pohjatutkimustiedot työsuunnitelmaa ja kustannuksia laskettaessa.

Jukajan koekenttäalueet sijaitsee pohjavesikarttojen mukaan kahden 1-luokan pohjavesialueen välissä (kuva 13 sivulla 29). Pohjavesialueilla ja niiden raja-alueilla tulisi asianomaisten pohtia tarkemmin, kannattaako alueella tuhkarakentamista harjoittaa ja millä rajaehdoin. Lentotuhkat sisältää pieniä määriä raskasmetalleja ja pitoisuudet voivat vaihdella kivihiilen laadusta riippuen. Myös tulvavaara-alueet täytyy olla asianomaisten tiedossa ja selvitetty ennen suunnittelua ja töiden aloittamista. /14/





**Kuva 12.** Pohjavesialuekartta Jukaja. Koekenttäalue sijaitsee nuolen osoittamassa kohdassa.

## 5.2 Asemasekoitin

Asemasekoittimen tekniikka oli toimintavarmaa ja odottamattomia pysäytyksiä ei tapahtunut (kuva 11 sivulla 30). Asemasekoittimen kapasiteetti oli tehokas tähän projektiin, sillä se pystyi sekoittamaan noin kahdessa tunnissa saatavilla olevan työvuoron lentotuhkan määrään. Asemasekoittimen ulosotossa, jossa valmis lajite siirtyy kuljettimelle oli kosteutta mittaava anturi, joka ei toiminut toivotulla tavalla. Ilmeisesti tuhka tarttui anturiin niin, ettei lukemaa saatu. Laadukkaan tuhkarakentamisen näkökulmasta olisi tärkeämpää, että kosteutta mittaavia antureita olisi myös asemasekoittimen syöttöpuolella. Tällöin pystyttäisiin edes manuaalisesti reagoimaan liian kosteaan tai kuivaan tuhkaan. Hyvällä anturi- ja automaatiotekniikalla jatkuvatoiminen tuhkan kostutus takaisi tasalaatuisemman vesipitoisuuden tuhkalajitteille. Asemasekoitin oli myös koko koekenttäurakan ajan miehitettynä 2-3 henkilöllä. Tuhkarakentamisen taloudellisuuden ja ympäristölle koituvien hyötyjen näkökulmasta asemasekoittimen tekniikan ja sen järjestelyissä on näkemykseni mukaan kehittämisen varaa.





**Kuva 13.** Sekoitusasema oli massiivinen laitos, joka vei puolet koekentän pinta-alasta.

### 5.3 Kuljetuskalusto

Kuljetuskaluston osalta mahdollinen ongelma voi olla tuhkan kuivuminen kuorman etuosasta. Tuhkan kuivumista voisi tulevissa hankkeissa seurata tarkemmin ja kokeilla haihtumista estäviä toimenpiteitä, kuten tuhkan peittämistä pressulla. Myös asemasekoittimen ja kuljetuskaluston integroiminen siten, että tuhka pystyttäisiin kippaamaan suoraan asemasekoittimen siiloon tai jonkin tyyppiseen varastoratkaisuun. Tämä voisi olla jokin konttityyppinen ratkaisu, josta saisi katon auki kippaamisen helpottamiseksi. Näin säästyttäisiin muun muassa pyöräkuormaan syöttötyöltä. Toinen vaihtoehto voisi olla vaihtokonttityyppinen ratkaisu, jossa täysinäinen kontti jätetään asemasekoittimelle ja tyhjä otettaisiin mukaan.

## 5.4 Tiivistäminen

Jatkuvatoimisella tiivistystarkkailulaitteilla ja gps-paikannuksella on saatu liikenneviraston tutkimuksissa ja selvityksissä seuraavia johtopäätöksiä:

- Tiivistämistä tulee jatkaa, kunnes jyrän tiivistysmittauksen tulokset eivät enää parane
- Tiivistystyön toteutus ja mittaustulokset tulee dokumentoida huolellisesti
- Tiiviysaste ja tiiviyssuhdemittaukset tulee tehdä kantavuudeltaan heikommilta alueilta
- Jatkuvatoimista dokumentoivaa tiiveydentarkkailua käytettäessä voidaan vähentää pistekohtaisten laatumittausten määrää
- Projektissa laadittiin ohje jyrän jatkuvatoimisen tiiveystarkkailulaitteen käytöstä
- Levykuormituskoe ja raskas pudotuspainolaite soveltuvat jatkuvatoimisen tiiviestarkkailun kalibroinnin vertailulaitteiksi
- Jyrän mittaustulos korreloi näiden vertailulaitteiden kantavuusarvojen kanssa
- Kalibroitimittaukset tulisi tehdä mahdollisimman pian kalibroitalueen tiivistystyön jälkeen
- Jatkuvatoimisen tiivistystarkkailun laajamittainen käyttöönotto edellyttää uutta tietoa ja osaamista urakoitsijoille ja rakennuttajille

/17/

## 5.5 Loppulausuma

Tuhkan hyötykäyttöön kannattaa tulevaisuudessa panostaa, kun pyritään hyödyntämään teollisuuden sivutuotteita ja säästämään luonnon maa- ja kivilajikkeita. Tuhkarakentaminen vaatii asiantuntevaa tietämystä ja sen perusteella kehitettyä parasta mahdollista tekniikkaa ja työtapoja laadun varmistamiseksi.

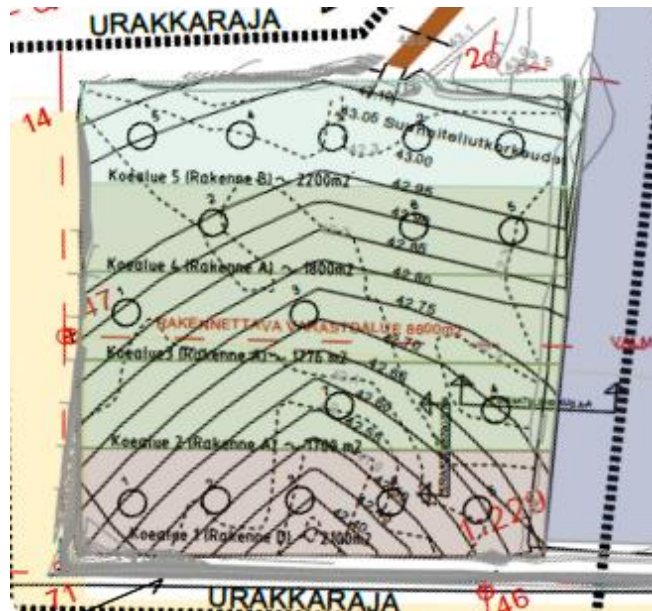
## LÄHTEET

- /1/ Ramboll OY. Tuhkarakentamisen käsikirja, verkkojulkaisu, PDF. Viitattu 13.1.2013.
- /2/ Tuhkarakentamisen ekotehokkaita materiaaleja. Viitattu 28.2.2013. [http://risk.eracnet.fi/edu/extensions/mfiles/mf\\_getfile.php?anon=true&docid=509&docver=1&fileid=496&filever=1&filename=Kiviniemi%20Olli\\_Joensuun%20esitys.pdf](http://risk.eracnet.fi/edu/extensions/mfiles/mf_getfile.php?anon=true&docid=509&docver=1&fileid=496&filever=1&filename=Kiviniemi%20Olli_Joensuun%20esitys.pdf).
- /3/ Energiateollisuus. Energia ja ympäristö. Ympäristö ja kestävä kehitys. Viitattu 28.2.2013. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/kiinteat-jatteet>.
- /4/ VTT:n tiedotteita. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteet ja tuhka maarakentamisessa. Viitattu 28.2.2013. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1952.pdf>.
- /5/ Höynälä H & Mäkelä H. By-Products and Recycled Materials in Earth Structures, Materials and Applications, TEKES Technology review 92/2000.
- /6/ Rudus OY. Tuhkarakentamisen käsikirja. Viitattu 6..3.2013. <http://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/lentotuhka>
- /7/ Tekes 2000. Hanasaaren voimalaitoksen pohjatuhka.
- /8/ <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/kiinteat-jatteet>
- /9/ Vaskiluodon voima OY. Jukajan koekenttien urakkaohjelma
- /10/ Ramboll. Jukajan koekenttien laadunvalvontaraportti 9/2012.
- /11/ Lemminkäinen Infra. Stabilointi. Viitattu 6.3.2013. <http://www.lemminkaineninfra.fi/Link.aspx?id=10003856>
- /12/ Rudus Oy. Viitattu 4.3.2013 <http://www.rudus.fi/Download/24255/Lentotuhka-ohje.pdf>
- /13/ SFS- Käsikirja, Maaperätutkimusmenetelmät Osa 2: Näytteenotto, 2012.
- /14/ Jääskeläinen R. Geotekniikan perusteet. 2012.

- /15/ Hartikainen O-P. Maarekennustekniikka. 2000.
- /16/ Troxler Electronics Laboratories 2011. Model 3440 surface moisture-density gauge. Viitattu 1.3.2013.  
<http://www.troxlerlabs.com/products/3440.php>.
- /17/ Laukkanen K, Halonen P & Pyy E. Sitomattomien materiaalien jatkuvatoiminen tiivistystarkkailu. Tiivi-projekti, loppuraportti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2012. Viitattu 1.3.2013. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2012-25\\_sitomattomien\\_materiaalien\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-25_sitomattomien_materiaalien_web.pdf)
- /18/ Rantamäki M, Jääskeläinen R & Tammirinne M. Geotekniikka. 2004.
- /19/ Tiehallinto, Kantavan kerroksen stabilointi  
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200006-02.pdf> , Viitattu 2.3.2013

## LIITTEET

### LIITE 1.



Levykuormituskokeen mittauspisteet

	<i>Tavanomainen rakenne</i>	<i>Massiivituhkarakenne</i>	<i>Kerrosstab.rak.</i>
Näyte 1	1,9	1,7	1,6
Näyte 2	2,0	1,8	1,5
Näyte 3	1,8	1,7	1,6
Näyte 4	1,8	1,4	2,0
Näyte 5	2,6 <b>Ei täyty</b>	1,71	1,8
Näyte 6	2,4 <b>Ei täyty</b>		
Näyte 7	2,1		

Levykuormituskokeen mittauspisteet.

## LIITE 2.



HKM Infra Oy  
Nikulehtitie 0A  
62200 KAUHAVA  
www.hkminfra.fi

LIITE 74/563

29.6.2012

Tilaaaja	<b>Vaskiluodon Voima Oy</b>
Työmaa	<b>Jukajan saha</b>
Piste	<b>1-7</b>
Kerros	<b>A-rakenne, murskeen päältä</b>

## LEVYKUORMITUSKOE

Vaativuus	E2 > 100 E2/E1 > 2,2						
Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuuden täytyminen	
1	600 600	8930 8930	S1= 351 S2= 188	E1= 81 E2= 151	E2/E1= 1,9	TÄYTTYY	
2	600 600	8930 8930	S1= 296 S2= 148	E1= 96 E2= 192	E2/E1= 2,0	TÄYTTYY	
3	600 600	8930 8930	S1= 438 S2= 242	E1= 65 E2= 118	E2/E1= 1,8	TÄYTTYY	
4	600 600	8930 8930	S1= 435 S2= 241	E1= 65 E2= 118	E2/E1= 1,8	TÄYTTYY	
5	600 600	8930 8930	S1= 544 S2= 212	E1= 52 E2= 134	E2/E1= 2,6	EI TÄYTY	
6	600 600	8930 8930	S1= 490 S2= 201	E1= 58 E2= 141	E2/E1= 2,4	EI TÄYTY	
7	600 600	8930 8930	S1= 476 S2= 226	E1= 60 E2= 126	E2/E1= 2,1	TÄYTTYY	



HKM Infra Oy  
Nikolaintie 6A  
62200 KAUHAVA  
www.hkminfra.fi

LIITE 72/563

29.6.2012

Tilaja Vaskiluodon Voima Oy  
Työmaa Jukajan saha  
Piste 1-5  
Kerros D-rakenne murskeen päältä

## LEVYKUORMITUSKOE

Vaativuustaso 

E2 > 100	E2/E1 > 2,2
----------	-------------

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
1	600	8930	S1= 256	E1= 111	E2/E1= 1,6	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 161	E2= 177		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
2	600	8930	S1= 168	E1= 169	E2/E1= 1,5	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 113	E2= 252		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
3	600	8930	S1= 252	E1= 113	E2/E1= 1,6	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 161	E2= 177		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
4	600	8930	S1= 212	E1= 134	E2/E1= 2,0	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 106	E2= 268		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
5	600	8930	S1= 431	E1= 66	E2/E1= 1,8	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 240	E2= 119		

E1=28440/S1 E2=28440/S2

### Huomautuksia

Ø 0-16 murskasta tehty noin 5 cm paksut koekohdat.

Päivämäärä: 28.6.2012  
Kokeen suorittaja: Tia Lummi



HKM Infra Oy  
Nikolaintie 6A  
62200 KAUHAVA  
www.hkminfra.fi

LIITE 73/563

29.6.2012

Tilaaaja	<b>Vaskiluodon Voima Oy</b>
Työmaa	<b>Jukajan saha</b>
Piste	<b>1-5</b>
Kerros	<b>B-rakenne murskeen päältä</b>

## LEVYKUORMITUSKOE

Vaativuustaso 

<b>E2 &gt; 100 E2/E1 &gt; 2,2</b>
-----------------------------------

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
1	600	8930	S1= 274	E1= 104	E2/E1= 1,7	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 159	E2= 179		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
2	600	8930	S1= 266	E1= 107	E2/E1= 1,8	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 147	E2= 193		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
3	600	8930	S1= 312	E1= 91	E2/E1= 1,7	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 189	E2= 150		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
4	600	8930	S1= 369	E1= 77	E2/E1= 1,4	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 258	E2= 110		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
5	600	8930	S1= 340	E1= 84	E2/E1= 1,7	TÄYTTYY
	600	8930	S2= 202	E2= 141		

E1=28440/S1 E2=28440/S2

Huomautuksia
<p>☞ 0-16 murskasta tehty noin 5 cm paksut koekohdat.</p>

Päivämäärä: **28.6.2012**

Kokeen suorittaja: **Tia Lummi**





HKM Infra Oy  
Nikolaintie 6A  
62200 KAUHAVA  
www.hkminfra.fi

LIITE 64/563

6.6.2011

Tilaja Vaskiluodon Voima Oy  
Työmaa Jukajan saha  
Piste 1-2  
Kerros Kivihillen lentotuhka (Rakenne B)

## LEVYKUORMITUSKOE

Vaativuustaso 

E2>50
-------

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
1	600	8930	S1= 913	E1= 31	E2/E1= 1,6	EITÄYTY
	600	8930	S2= 577	E2= 49		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
2	600	8930	S1= 985	E1= 29	E2/E1= 1,5	EITÄYTY
	600	8930	S2= 642	E2= 44		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
	600	8930	S1=	E1=	E2/E1=	
	600	8930	S2=	E2=		

Piste:	Paine	Voima	Levyn painuma 1/100 mm	E-moduuli Mpa	Suhdeluku	Vaativuustason täyttyminen
	600	8930	S1=	E1=	E2/E1=	
	600	8930	S2=	E2=		

E1=28440/S1 E2=28440/S2

### Huomautuksia

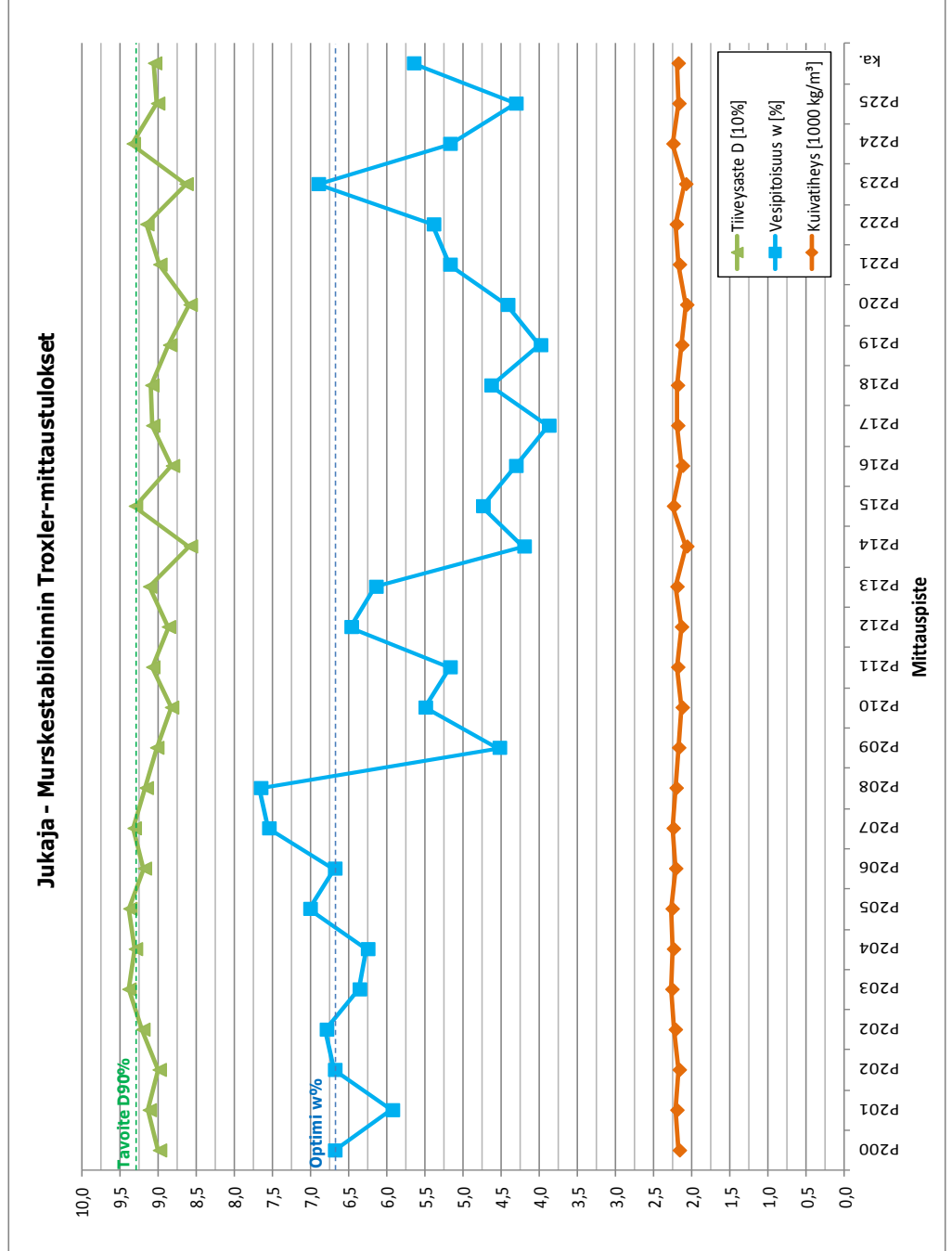
Aleksi kokeiltiin ottaa koe suoraan tuhkan pinnalta --> tulosta ei saatu, koska levy painui liikaa. Tuhkan pintaan laitettiin 0-16 mursketta noin 10 cm ja tehtiin lisätivistys.  
Piste 2: Murskeen alla suodatinkangas.

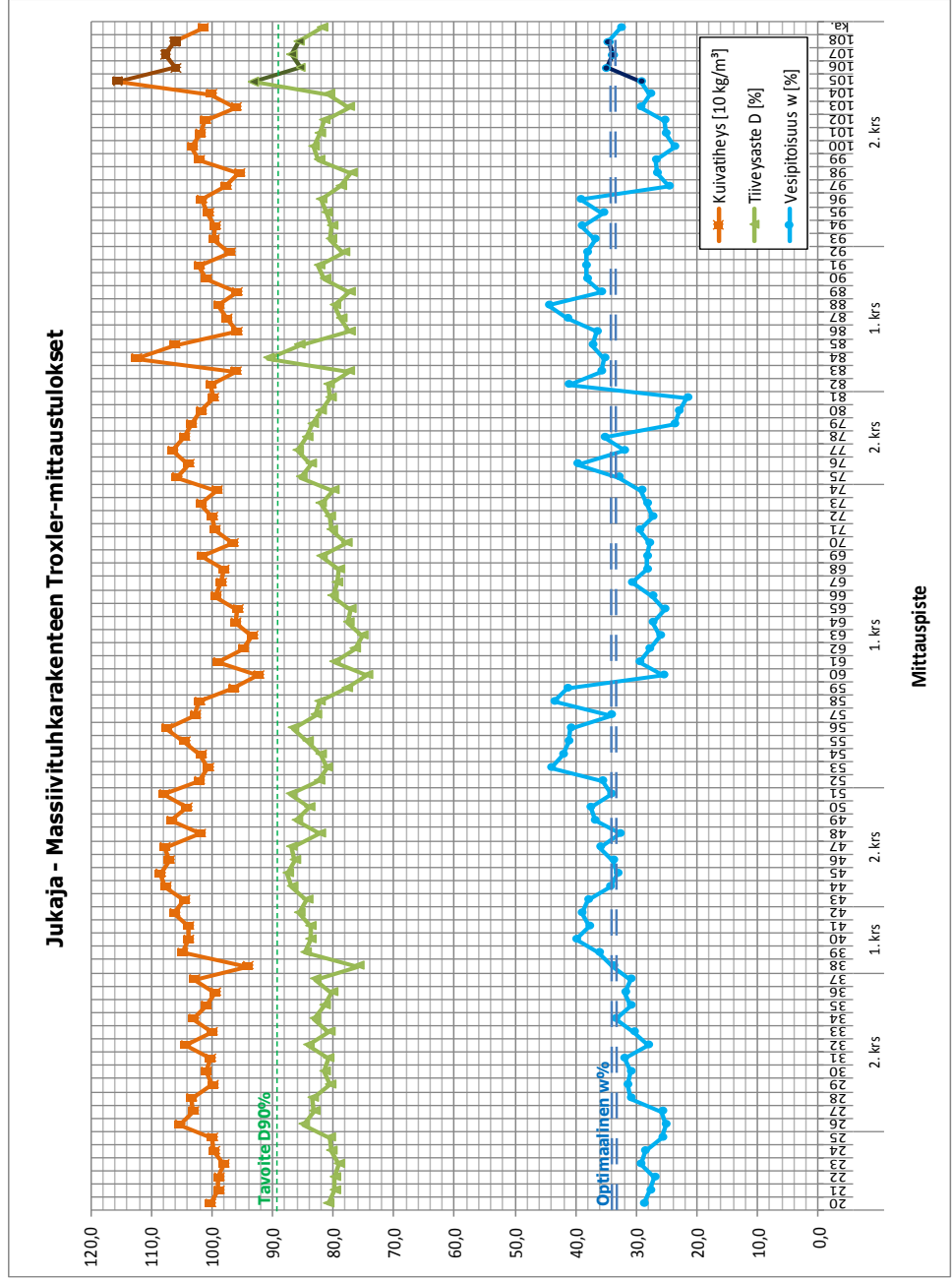
Näyte 1: noin 6 m tuhkan ja asfalttikentän reunasta B rakenteen keskikohtaa päin, keskellä kenttää.  
Näyte 2: noin 12 m tuhkan ja asfalttikentän reunasta B rakenteen keskikohtaa päin, keskellä kenttää.

Päivämäärä: 6.6.2012

Kokeen suorittaja: Tia Lummi

LIITE 3.





## LIITE 4.

Jukaja - Massiivituhkaseoksesta ( LT + Yse 4%) valmistetut koekappaleet						
	Koekpl	w%	D%	Iskut	kuivatiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Puristuslujuus 28vrk [Mpa]
"Tuore", tehtaalla kostutettu kasatuhka	JU-1	29,8	92	5x10	1138	1,45
	JU-2	32,7	93	5x10	1153	1,2
	JU-3	33,7	94	5x10	1168	1,05
	JU-4	37,1	90	5x10	1113	0,3
	JU-5	31,7	97	5x10	1200	1,25
	JU-6	31,7	96	5x7	1191	0,96
	JU-7	31,7	94	4x7	1164	1,25
	JU-8	35,6	92	5x10	1140	0,48
	JU-9	34,1	92	4x7	1136	1,01
	JU-10	29,5	89	4x7	1102	0,75
	JU-11	25,2	94	5x10	1159	1,1
	JU-12	38,2	88	4x7	1091	0,51
	JU-13	38,2	88	5x10	1087	0,31
	JU-14	36,0	87	4x7	1075	0,86
	JU-15	26,6	86	4x7	1068	0,82
	JU-16	25,7	88	4x7	1087	0,89
	JU-17	25,7	92	5x10	1132	1,26
	ka.	32,0	91		1130	0,91
Vanha kasatuhka	JU-18	40,4	89	4x7	1102	0,08
	JU-19	32,3	93	4x7	1158	1,27