

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2011

Hanna Saarelma

# LOPPUSIJOITETTAVAN LENTOTUHKAN OMINAISUUKSIA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu

Tekniikka, ympäristö ja talous

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

Hanna Saarelma

Opinnäytetyö

LOPPUSIJOITETTAVAN LENTOTUHKAN OMINAISUUKSIA

Hyväksytty

Turussa \_\_\_\_/\_\_\_\_ 2011

Valvoja

\_\_\_\_\_

DI Pirjo Oksanen

Koulutuspäällikkö

\_\_\_\_\_

Tekn. lis. Raimo Vierimaa

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikka | Infratekniikka

Syyskuu 2011 | 36 sivua

Pirjo Oksanen (Turku AMK), Ilkka Puro (Destia Oy)

Hanna Saarelma

## LOPPUSIJOITETTAVAN LENTOTUHKAN OMINAISUUKSIA

Opinnäytetyön tavoitteena on aluksi selvittää lentotuhkan käyttömahdollisuuksia. Lisäksi tavoitteena on tutkia kosteuspitoisuuden ja tiivistämisen vaikutusta loppusijoitettavaan lentotuhkaan ja sen käsiteltävyyteen. Kivihiiltä polttavien voimalaitosten sivutuotteina syntyy erilaisia tuhkia, kuten lentotuhkaa. Muita kivihiilen poltosta syntyviä tuhkia ovat muun muassa rikinpoiston lopputuote ja pohjatuhka.

Sivutuotteena syntyviä tuhkia pyritään hyötykäyttämään. Tuhkaa käytetään esimerkiksi tien rakennekerrokset, betonin ja asfaltin seosaineena ja kenttärakenteet. Hyötykäyttöön soveltumaton tuhka loppusijoitetaan niille tarkoitetuille kaatopaikoille.

Lentotuhkan hyötykäyttö ja loppusijoittaminen ovat toimintaa, jotka vaativat ympäristöluvan. Luvan tarpeesta ja lupaprosessista sekä lupahakemusten sisällöstä säädetään laeilla ja asetuksilla. Lupaprosessi käsitellään vaiheittain.

Työmaamittaukset ja työmaahavainnot suoritettiin Fortum Power and Heat Oy:n Härkäsuon läjitysalueella, jonka muotoilu ja peittäminen on Destia Oy:n urakka. Alueelle tehtiin koekenttiä, joille luotiin erilaisia kosteuspitoisuuksia ja joista kustakin mitattiin kantavuuksia. Lisäksi alueella tehtiin olosuhdehavainnoja yli vuoden ajan. Mittaustuloksissa havaittiin pienillä kosteuprosenttien eroilla vain pieniä kantavuseroja. Työmaalla on kuitenkin havaittu vedellä olevan vaikutusta tuhkan käyttäytymiseen sitä muotoiltaessa. Lopuksi arvioitiin käytettyjen menetelmien pääasiassa soveltuvan tarkoitukseensa, mutta kastelumenetelmä ei ollut riittävä, jotta oltaisiin saavutettu isoja kosteuprosenttien eroja.

ASIASANAT:

lentotuhka, ympäristölupa, kaatopaikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

September 2011 | 36 pages

Pirjo Oksanen (Turku AMK), Ilkka Puro (Destia Oy)

Hanna Saarelma

## QUALITIES OF FLY ASH IN LAND FILL SITES

The purpose of this thesis was at first explore how fly ash could be utilized. And then to examine how the percentage of moisture and compaction affect fly ash in land fill sites. Coal-fired power plants produce many different kinds of ashes as a by-product, like fly ash, which is examined in this thesis. Other by-produced ashes are for example the final product of desulphurization and sole ash.

The aim has been to utilize as much as possible of the side-product ashes. This has included utilization for example in structures on roads and streets, as an additive in concrete and asphalt, and also in field structures. Ashes that are not suitable for utilization are dumped in landfill sites intended for this purpose.

Utilization and landfill dumping of ashes usually require an environmental license. Laws and regulations control the need for the license, and also how licence applications are processed and how the environmental licence should be applied for.

The measurements and observations were made in site Härkäsuu, a landfill site owned by Fortum Power and Heat Oy. The contractor for covering is Destia Oy. Test areas were created for measurement of percentage of moisture and carrying capacity. In addition observations were made for over a year. The results shows that small differences in percentage of moisture result in only a small difference in carrying capacities. During the observations it has however been found that moisture affects fly ash when it is being excavated or driven over. As a conclusion it was estimated that the methods were mostly suitable for their purposes, except sprinkling was not sufficient to produce big differences between percentages of moisture.

### KEYWORDS:

fly ash, environmental licence, landfill site

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 SIVUTUOTTEENA SYNTYVÄ TUHKA</b>	<b>7</b>
2.1 Yleistä	7
2.2 Lentotuhka	8
2.3 Muita kivihiilen poltosta syntyviä tuhkia	9
<b>3 TUHKAN KÄYTTÖ</b>	<b>12</b>
3.1 Hyötykäyttö	12
3.2 Loppusijoittaminen	15
<b>4 YMPÄRISTÖLUPA</b>	<b>18</b>
4.1 Lupamenettely	18
4.2 Lupamenettelyn vaiheet lyhyesti	18
4.3 Hyötykäytön ympäristölupa	21
4.4 Loppusijoittamisen ympäristölupa	22
<b>5 FORTUM POWER AND HEAT OY:N NAANTALIN LÄJITYSALUE</b>	<b>24</b>
5.1 Fortum Power and Heat Oy:n Naantalin voimalaitos	24
5.2 Härkäsuu	25
<b>6 KOKEET TYÖMAALLA</b>	<b>26</b>
6.1 Tavoitteet	26
6.2 Koejärjestelyt	26
6.3 Tulokset	28
<b>7 HAVAINNOT TYÖMAALLA</b>	<b>30</b>
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>32</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>35</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Sijaintikartta
- Liite 2. Loadman-mittauspöytäkirjat
- Liite 3. Kosteusmittauspöytäkirja

## KUVAT

Kuva 1. Rikinpoiston lopputuotetta .....	10
Kuva 2. Kivihiilen polton pohjatuhkaa .....	11
Kuva 3. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsevat tuhkien ja kuonien loppusijoitukseen luvan saaneet kaatopaikat . .....	17
Kuva 4. Ympäristölupakäsittelyn vaiheet .....	21
Kuva 5. Loadman-pudotuspainolaite .....	27
Kuva 6. Dumpperin lavalta kipattava tuhka pölyää, Härkäsuon läjitysalueella syyskesällä 2010. ....	31

## TAULUKOT

Taulukko 1. Lentotuhkan ja pohjatuhkan hyötykäyttökohteita.....	14
Taulukko 2. Hyötykäytön etuja ja haittoja. ....	15
Taulukko 3. Kivihiiltä polttoaineena käyttävien voimalaitosten tuhkamäärät ja hyötykäyttö .....	16
Taulukko 4. Tiivistämiskerrat alueittain. ....	26
Taulukko 5. Loadman I-laitteen tekniset tiedot .....	27
Taulukko 6. Loadman-mittaustulokset (E2/E1).....	28
Taulukko 7. Näytteiden kosteusprosentit.....	29
Taulukko 8. Kunkin kentän kosteusprosentin keskiarvo ja kantavuuden keskiarvo. ....	29

# KÄYTETYT SANASTO

Sivutuote	Teollisuustoiminnan edelleen jalostettu tuote tai päätuotteesta eroteltu sinäänsä tarpeeton osa (Facta tietosanakirja 2011).
Low-NOx-poltin	Typenoksidien muodostumista vähentävä poltintyyppi (Fortum 2011).
Jalostamokaasu	Öljynjalostusprosessista talteen otettua energianlähteenä käytettävää kaasua (Tilastokeskus 2011).

# 1 JOHDANTO

Kivihiili on maailmanlaajuisesti eniten käytetty polttoaine sähköä tuottavissa voimalaitoksissa. Sen polton sivutuotteena syntyy muun muassa erilaisia tuhkia; lentotuhkaa, pohjatuhkaa ja rikinpoiston lopputuotetta. Osa syntyvistä tuhista pystytään hyötykäyttämään esimerkiksi tien rakenteessa tai betonin seosaineena. Hyötykäyttöön soveltumaton tuhka loppusijoitetaan erillisille kaatopaikoille.

Hyötykäyttö ja loppusijoittaminen vaativat lähes poikkeuksetta ympäristöluvan. Pieni määrä tuhkaa voidaan hyötykäyttää ilmoitusmenettelyllä. Laeissa ja asetuksissa säädellään tarkoin luvista. Laeilla ja asetuksilla pyritään myös vähentämään jätteiksi luokiteltavien sivutuotteiden syntymistä.

Työn tavoitteena on tutkia tuhkan käyttäytymistä erilaisissa kosteusolosuhteissa sekä tiivistämisen vaikutusta tuhkan kantavuuteen. Lisäksi tavoitteena on havainnoida tuhkan käsiteltävyyden ongelmia ja pohtia käsittelyyn parhaiten soveltuvaa kalustoa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Fortum Power and Heat Oy:n Naantalinvuonon voimalaitokselta syntyneen lentotuhkan loppusijoituskohteessa, Härkäsuon läjitysalueella, kuinka kosteus ja tiivistämisyliajokertojen määrä vaikuttaa lentotuhkan käyttäytymiseen. Lisäksi on havainnoidu yli vuoden ajan tuhkan käyttäytymistä, kun tuhkaa siirretään työkoneilla ja muotoillaan tiettyyn malliin. Mittaukset työmaalla on suoritettu vuoden 2011 elokuussa, ja seuranta alkaen vuoden 2010 heinäkuussa ja päättyen vuoden 2011 syyskuussa.

Destia Oy on Suomen valtion omistama infrapalveluyritys. Destia Oy urakoi Härkäsuon läjitysalueen tuhkan muotoilun ja alueen peittämisen sekä Tuhkamäen läjitysalueen tuhkan muotoilun. Opinnäytetyö toteutetaan Fortum Power and Heat Oy:n edustajan suostumuksella.



## 2 SIVUTUOTTEENA SYNTYVÄ TUHKA

### 2.1 Yleistä

Maailmanlaajuisesti kivihiili on sähköntuotannossa eniten käytetty polttoaine. Suomessa kivihiilivoimalaitokset ovat viime vuosina tuottaneet 11- 21 % sähköstä. Kaukolämmöstä sekä siihen liittyvästä sähköstä on tuotettu 26-27 % polttamalla kivihiiltä. Kivihiiltä on runsaasti saatavilla maailmalla. Kuitenkin kun päästökaupa on alkanut kivihiilen käyttökustannukset ovat kohonneet. Kivihiilen poltosta ja puhdistuksesta syntyy sivutuotteita, kuten tuhkaa ja kipsiä. Syntyvät sivutuotteet luokitellaan jätteeksi. Laitosten tekniikkaa kehittämällä voidaan vähentää päästöjä. (Energiateollisuus 2011.)

Syntyvän lentotuhkan alkuaine- ja yhdistepitoisuudet voivat vaihdella paljonkin. Pitoisuuksiin vaikuttavat mm. poltettavan hiilen alkuperä ja koostumus, savukaasujen puhdistukseen käytettävä tekniikka sekä hiilen polttotekniikka. (Järvinen 1995, 7- 10.) Syntyvät tuhkat sisältävät hiileen sitoutuneita, palamattomia alkuaineita. Voimalaitoksilta syntyvät tuhkat koostuvat pääasiassa piidioksidista, alumiinioksidista, rautaoksidista sekä kalsiumin ja mangaanin oksideista. Tuhkat sisältävät myös alkuaineita pieniä määriä, ongelmallisimpia niistä ovat raskasmetallit. (Keppo ym. 1999, 12.) Lisäksi tuhkassa on hieman palamatta jäänyttä kivihiiltä (Järvinen 1995, 7). Myös polttoparametreilla, kuten lämpötilalla, palamisnopeudella ja ilman syötöllä on vaikutusta syntyvän tuhkan koostumukseen (Järvelä ym. 2009, 16). Polttoaineena käytettävän kivihiilen laatu on viime vuosina heikentynyt, mikä aiheuttaa ongelmia, esimerkiksi haitallisten aineiden, lähinnä raskasmetallien, kasvaneina pitoisuuksina tuhkassa (Järvelä ym. 2009, 71).

Samallakin voimalaitoksella syntyvän tuhkan pitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti. Myös syntyvien tuhkien määrä ja hyötykäytön osuus vaihtelevat. Yleisesti ottaen talvella syntyy tuhkaa enemmän kuin kesällä, koska energiaa kulutetaan talvella enemmän muun muassa lämmitykseen.

## 2.2 Lentotuhka

Suurin osa Suomessa tapahtuvasta kivihiilen poltosta on pölypolttoa, josta syntyvästä tuhkasta suurin osa, 80- 100 %, on lentotuhkaa (Lounais- Suomen ympäristökeskus 2009, 11). Lentotuhkaa syntyy kahta erilaista, Ia- ja Ib-tyyppiä. Ia-tyypin lentotuhkaa syntyy poltettaessa jauhettua hiiltä ja Ib-tyypin lentotuhkaa syntyy kun poltetaan murskattua hiiltä. Ia-tyypin lentotuhka on hienorakeisempaa ja väriltään vaaleampaa kuin Ib-tyypin lentotuhka. Ia-tyypin lentotuhkaa vastaa rakeisuudeltaan silttiä ja Ib-tyypin hienoa hiekkaa. Ulkonäöltään lentotuhka muistuttaa portlandsementtiä. Rakeet ovat lasimaisia, pääasiassa onttoja palloja. Osa rakeista on kuitenkin kiinteitä palloja ja osa särmikkäitä. (Järvinen 1995, 5- 7.)



Kuva 1. Kivihiilen polton lentotuhkaa (kuva: Lillman 2009, liite 1).

Lentotuhka on kevyt materiaali. Se kulkeutuu ilmaan savukaasujen mukana, joista se erotetaan käyttämällä kuitu- tai sähkösuodattimia. Syntyvän tuhkan määrä vaihtelee vuosittain, mutta määrä on keskimäärin yli 500 000 tonnia/v. Määrän vaihteluun vaikuttaa mm. sääolosuhteet. (Kaskinen 2011, 9.)

Lentotuhkalle on ominaista reagoiminen kemiallisesti kalkin kanssa tietyissä olosuhteissa. Reaktiosta johtuen lentotuhkalle on tyypillistä lujittuminen. Muita tyypillisiä ominaisuuksia ovat routivuus (paitsi tiivistyneenä ja lujittuneena), kapillaarisuus, huono vedenläpäisevyys ja kokoonpuristuvuus. (Järvinen 1995, 8- 18.)

Siilokuiva lentotuhka lujittuu hyvin (Lillman 2009, liite 1). Lujittuminen on ominaista lentotuhkalle, kun siihen lisätään vettä ja se tiivistetään. Tällöin tuhkassa oleva kalkki pääsee reagoimaan veden kanssa. Lujittumisoimaisuutta heikentää muun muassa tuhkan sisältämät epäpuhtaudet, välivarastointi ulkona ja matala lujittumislämpötila. Myös matala lämpötila useasti heikentää saavutettavaa purituslujuutta. (Tiehallinto 2007, 45- 46.)

Lentotuhka on periaatteessa routivaa. Lentotuhkassa kapillaarinen vedennousukorkeus on noin 2 m (> 1000 mm), ja raekooltaan lentotuhka on hienorakeista. Kuitenkin hyvin tiivistettynä ja lujittuneena lentotuhkan vedenläpäisevyyskyky on olemattoman pieni, eikä routimiseen tarvittavan lisäveden kulkeutuminen enää ole mahdollista, kun kapillaarinen vedennousu katkaistaa esim. muovikalvolla. ( Järvinen 1995, 13- 14.)

### 2.3 Muita kivihiilen poltosta syntyviä tuhkia

#### **Rikinpoiston lopputuote**

Kivihiltä poltettaessa hiilen sisältämä rikki kulkeutuu syntyvien savukaasujen mukana. Rikki on poistettava savukaasuista. Tähän on olemassa kolme menetelmää; kuiva, puolikuiva ja märkä menetelmä. Suomessa yleisimmin käytetään puolikuivaa menetelmää, harvemmin märkä tai kuiva menetelmää. Poistokäsittelyssä syntyy rikinpoiston lopputuotetta, syntyvä määrä on Suomessa vuosittain noin 200 000 tonnia. Rikinpoiston lopputuote koostuu lähinnä kalsiumsulfaattista ja -sulfidista. Lopputuote saattaa sisältää myös pieniä määriä kalsiumhydroksidia ja -karbonaattia. Tuotteen sisältämät kloridit ja sulfaatit rajoittavat rikinpoiston lopputuotteen hyötykäyttöä. (Kaskinen 2011, 10.)

Rikinpoiston lopputuotteen sisältämät sulfaatit ja kloridit ovat liukoisessa muodossa. Rikinpoiston lopputuotteen käyttörajoitukset johtuvatkin sulfaattien ja kloridien haitallisesta vaikutuksesta veteen ja taipumuksesta aiheuttaa korroosiota. Teknisiltä ominaisuuksiltaan jauhemainen rikinpoiston lopputuote vastaa lentotuhkaa. (Tiehallinto 2007, 46.) Lentotuhkaan sekoitettuna rikinpoiston lopputuote kuitenkin lujittuu, tällöin materiaalin lujuudenkehitys on

usein myös nopeampaa kuin pelkällä lentotuhkalla (Suomen kuntatekninen yhdistys 2003, 104).



Kuva 1. Rikinpoiston lopputuotetta (Kuva:Lillman 2009, liite 1).

### **Pohjatuhka**

Kivihiilen poltosta syntyy myös polttokattilan tai palotilan pohjalta kerättävää pohjatuhkaa. Se on karkearakeisempaa kuin lentotuhka ja väriltään tummempaa. Pohjatuhkan huono ominaisuus on heikko lujittuvuus. (Järvinen 1995, 6; Kaskinen 2011, 10.) Pohjatuhkan rakeet ovat pinnaltaan huokoisia ja särmikkäitä, ja joukossa saattaa olla myös pinnaltaan lasimaisia rakeita. Raekooltaan pohjatuhka vastaa luonnonkiviaineksista hiekkaa tai soraa. (Järvinen 1995, 6; Kaskinen 2011, 10.)

Laitokselta tullessaan pohjatuhkan vesipitoisuus on suuri. Märkää pohjatuhkaa on vaikea työstää, joten työstettävyyden parantamiseksi pohjatuhka välivarastoidaan ennen käyttöä (Lillman 2009, liite 1).

Pohjatuhka koostuu pääasiassa aluminisilikaatista ja pienistä määristä metalleja. Myös pohjatuhkan ominaisuuksiin vaikuttaa energiantuotantoprosessi ja käytetty polttoaine. Vuosittain Suomessa syntyy pohjatuhkaa noin 90 000 tonnia. (Järvinen 1995, 6; Kaskinen 2011, 10.)



Kuva 2. Kivihiilen polton pohjatuhkaa (Lillman 2009, liite 1).

### **Pohjakuona**

Pohjakuonaa syntyy arinapolttolaitoksissa, jossa poltetaan hiiltä murskattuna. Pohjakuonaa kertyy palotilan pohjalle. Pohjakuona on raekooltaan suurempaa kuin pohjatuhka. Pohjakuona vastaa luonnonkiviaineksista hienoa tai keskikarkeaa soraa. Myös pohjakuonan käsiteltävyys ominaisuudet ovat suunnilleen samalaiset kuin vastaavalla luonnonkiviaineksella. (Järvinen 1995, 6.)

## 3 TUHKAN KÄYTTÖ

### 3.1 Hyötykäyttö

Hyötykäytössä on huomioitava lainsäädäntö, joista tärkeimpiä ovat Ympäristönsuojelulaki 86/2000, Ympäristönsuojeluasetus 169/2000, Jätelaki 1072/1993 ja Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.

Hyötykäyttö ei saa aiheuttaa maaperän tai pohjaveden pilaantumisen vaaraa, eikä muutenkaan vaarantaa terveyttä tai ympäristöä. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.) Ympäristölainsäädäntö ei kuitenkaan aseta velvoitteita materiaalin teknisille ominaisuuksille.

Tuhkan hyötykäyttö on ympäristöluvan varaista toimintaa. Valtioneuvoston asetuksessa eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 määritellään, että mikäli lento- tai pohjatuhkan hyötykäyttö tapahtuu tie- tai katusuunnitelman tai maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellyn luvan perusteella, ei kuitenkaan tärkeällä tai vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueella, voidaan tuhkaa käyttää ilman ympäristölupaa seuraavissa kohteissa:

- yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät sekä niihin välittömästi liittyvät tienpitoa tai liikennettä varten tarpeelliset alueet, ei kuitenkaan melusteet
- pysäköintialueet
- urheilukentät sekä urheilu- ja virkistysalueiden reitit
- ratapihat sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.)

Jätettä sisältävä rakenne on peitettävä tai päällystettävä. Käytöstä on ilmoitettava ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.) Peittämisellä

tarkoitetaan vähintään 100 mm kerrosta soraa, hiekka tai vastaavaa materiaalia. Päälylystämällä tarkoitetaan joko asfaltilla päälylystämistä tai muulla vastaavalla, huonosti vettä läpäisevällä materiaalilla päälylystämistä. Jätettä sisältävän rakenteen paksuus saa olla maksimissaan 1 500 mm. Tarvittaessa paksummalle rakenteelle voi hakea ympäristölupaa. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.)

Ilmoitusmenettelyllä hyötykäytettävältä tuhkalta edellytetään asetuksessa, että tuhkan tuottaja tai jalostaja valvoo tuhkan laatua ja asetuksessa määritellyt perustutkimusten ja laadunvalvonnan raja-arvot alittuvat. Lisäksi rakenteen tulee täyttää muut asetuksessa annetut ehdot. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.)

Raskasmetallipitoisuudet rajoittavat lentotuhkan hyötykäyttöä. Tuhka sisältää pääasiassa raskasmetalleista molybdeenia, arseenia, seleenia ja kromia (Kaskinen 2011, 9). Rikinpoiston lopputuotteen sisältämät liukoiset suolat, kuten sulfaatti, rajoittavat tuotteen käyttöä, koska niillä voi olla vaikutuksia veden laatuun ja ne voivat aiheuttaa korroosiota. (Tiehallinto 2007, 46.) Pohjatuhkaa käytettäessä on erityisesti huomioitava korroosioriski (Lillman 2009, liite 1).

Hyötykäytössä on huomioitava haitallisten aineiden liukoisuus. Tämä vaatii asiantuntemusta eri aineiden liukenemisominaisuuksista. Lentotuhkasta on tehty paljon liukoisuustutkimuksia, joissa on keskitytty arseenin, kromin, molybdeenin, seleenin ja vanadiinin liukoisuuksien tutkimiseen. Muiden metallien liukoisuudet on todettu merkityksettömiksi. Liukoisuusominaisuuksiin vaikuttaa mm. pH:n muutokset paitsi tuhkassa, myös käyttö- ja sijoitusolosuhteissa. Tuhkaa on mahdollista myös jalostaa paremmin hyötykäyttöön soveltuviksi, mutta ainakin vielä toistaiseksi jalostaminen on vähäistä ja kallista. (Järvelä ym. 2009, 18- 21.)

Lentotuhkaa on hyödynnetty esimerkiksi betonin valmistuksessa side- ja täyteaineena, tierakenteissa jakavassa tai alemmissa kerroksissa, asfaltin sideaineena, pengertäytöissä sekä teiden parannuskohteissa jakavassa ja kantavassa kerroksessa. (Järvelä ym. 2009, 22- 23.) Lisäksi lentotuhkaa on

käytetty ruopattujen pohjasedimenttien stabilointiin (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2009, 28).

Pohjatuhkaa on hyödynnetty katujen ja kevyen liikenteen väylien suodatinkerroksissa, kenttärakenteissa ja pengertäytöissä. Lisäksi pohjatuhkaa on mahdollista käyttää kevyen liikenteen väylän jakavassa kerroksessa ja putkikaivantojen arinoissa sekä täytöissä. Pohjatuhkaa käytettäessä on huomioitava kuitenkin korroosioriski. (Lillman 2009, liite 1).

Rikinpoiston lopputuotetta voidaan käyttää vain päällystetyissä rakenteissa ja lentotuhkan seosaineena kuitenkin niin, että rikinpoiston lopputuotetta on alle 10 % (Tiehallinto 2007, 47). Taulukkoon 1 on kerätty kohteita ja käyttötapoja, joilla erilaisia tuhkia voidaan hyötykäyttää.

Taulukko 1. Lentotuhkan ja pohjatuhkan hyötykäyttökohteita.

<b>KÄYTTÖKOHDE</b>	<b>LENTOTUHKA</b>	<b>POHJATUHKA</b>
Betonin sideaineena	X	
Asfaltin sideaineena	X	
Stabiloinnissa sideaineena	X	
<b>KATU</b>		
Kantava kerros		
Jakava kerros	X	
Suodatinkerros	X	X
Alusrakenne	X	X
<b>KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLÄ</b>		
Jakava kerros		X
Suodatinkerros		X
<b>KORJAUSKOHTEET</b>		
Kantava kerros	X	
Jakava kerros	X	
<b>MUUT</b>		
Kenttärakenteet		X
Pengertäyttö		X
Putkikaivantojen arinat		X
Putkikaivantojen täytöt		X



Päällysrakenteen yläosassa käytettävän tuhkarakenteen routivuusominaisuudet on tarkistettava. Tällaiseen hyötykäyttökohteeseen soveltuu vain sellainen tuhka, joka on routimatonta. Kosteilla ja heikoilla pohjamailla tuhkarakenteen alle tulee rakentaa veden kapillaarisen nousun katkaiseva kerros. Pengerrakenteen jakava kerros ja penger voidaan toteuttaa yhtenä kerroksena, kun rakenne toteutetaan tuhalla. (Suomen kuntatekninen yhdistys 2003, 104-105.) Taulukkoon 2 on koottu tuhkan hyötykäyttöön liittyviä etuja ja haittoja lyhyesti.

Taulukko 2. Hyötykäytön etuja ja haittoja.

<b>KIVIHIILEN TUHKAT</b>	
<b>HYVÄÄ</b>	<b>HUONOA</b>
Voi korvata luonnonkiviainesta	Varastointi heikentää lujittumista
Hyvät lujittumisominaisuudet	Ympäristölupakäsittely hidasta
Mahdollisesti ohuempi rakenne	Rajoituksia käyttökohteille
Ilmoitusmenettelyllä yksinkertaista	Vaatii erityisosaaamista
	Liettymisongelmat sateella
	Mahdolliset lisäkustannukset

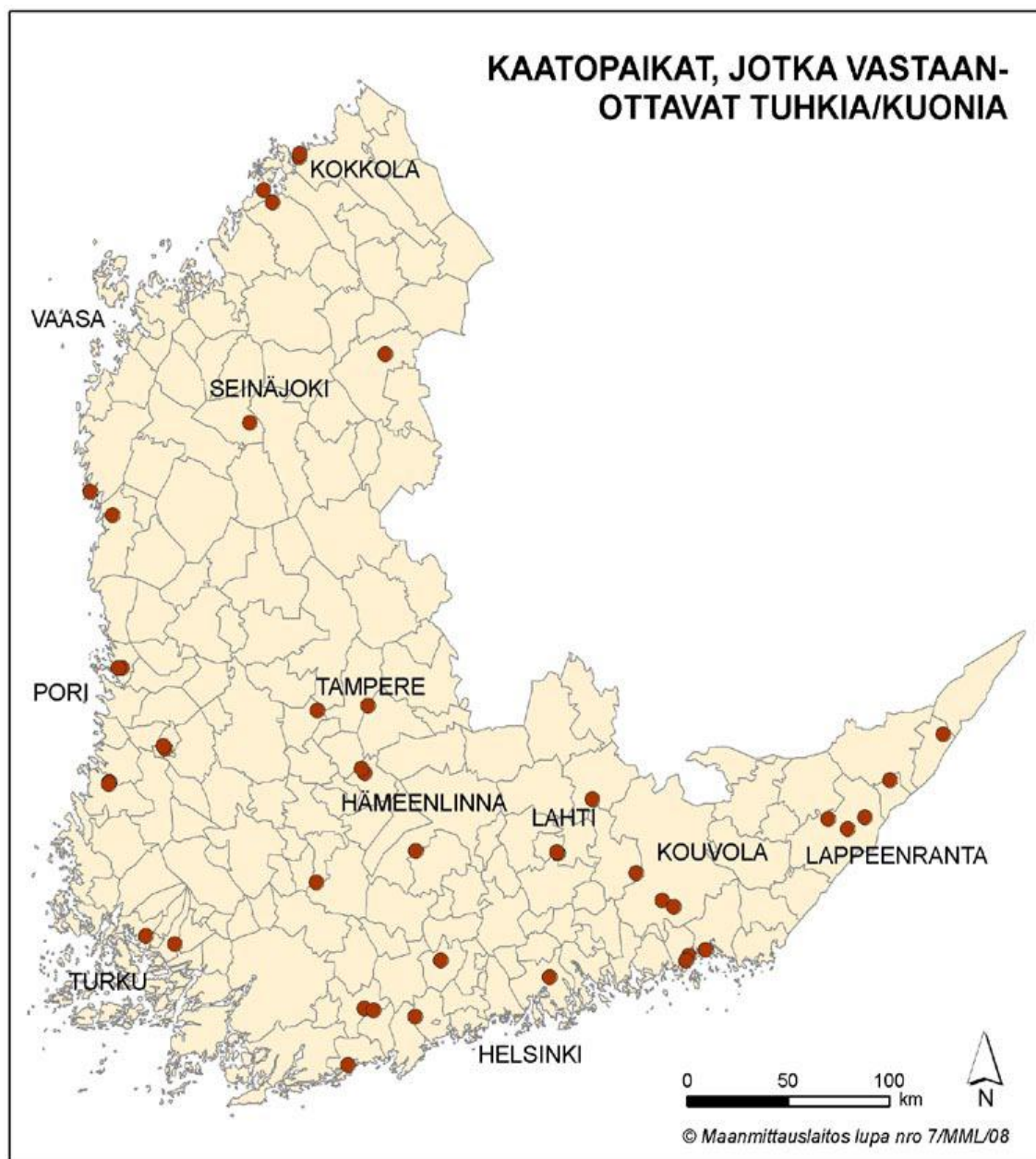
### 3.2 Loppusijoittaminen

Tuhka pyritään ensisijaisesti hyötykäyttämään. Loppusijoittaminen eli läjittäminen on vasta toissijainen vaihtoehto. Läjittämiseen päädytään jos sopivaa hyötykäyttökohdetta ei ole tai tuhka on laadultaan hyötykäyttöön sopimatonta. (Pöyry 2010, 31.) Taulukkoon 3 on koottu Suomessa kivihiiltä polttavat voimalaitokset, niillä syntyvät tuhkien määrät ja mitä tuhkeille tehdään.

Taulukko 3. Kivihiiltä polttoaineena käyttävien voimalaitosten tuhkamäärät ja hyötykäyttö (Destia Oy:n työmaapäällikkö A.Lammisen henkilökohtainen tiedonanto 5.6.2011).

Voimalaitos	Lisätieto	Polttoaine	Lentotuhka (t)	Pohjatuuhka (t)	Rikinpoistotuote (t)	Hyötykäyttö
PVO-Lämpövoima	Tahkoluoto	kivihiili	39 000	13 000	12 000	90 %
Fortum P&H	Naantali	kivihiili	67 000	7 000	10 000	noin 50 %
Fortum P&H	Meri-Pori	kivihiili	112 000	15 000	18 000	100 %
Porin Prosessivoima	Pori	kivihiili	19 000	3 000		neutraloinnissa
Fortum P&H	Kauttua	rinnakkaispoltto	6 000	2 000		ei ole hyödynnetty
Porin energia Oy	Aittaluoto	rinnakkaispoltto	8 000	5 000		ei ole hyödynnetty
Vantaan Energia Oy	Martinlaakso	kivihiili	15 000	2 000	1 500	tuhkat 100 %
Fortum P&H	Inkoo	kivihiili	67 000	7 000	10 000	suurin osa läjitetään
Fortum P&H	Lohja	kivihiili, puu	5 000			100 %
Fortum P&H	Suomenoja	kivihiili	15 000	11 000	6 000	pohjatuuhka
Helsingin Energia Oy	Hanasaari	kivihiili	56 000	7 500	10 000	30 - 40 %
Helsingin Energia Oy	Salmisaari	kivihiili	49 000	7 000	11 000	30 - 40 %
Voimavasu Oy	Porkkala	puu, kivihiili	4 000			välivarastoitu
Lahti Energia Oy	Kymijärvi	kivihiili, REF, puu	29 000	7 000		on käytetty
Pohjolan Voima Oy	Mussalo	kivihiili	12 500	1 300		on käytetty
Vaskiluodon Voima Oy	Vaasa	kivihiili	92 000	19 000	8 500	lähes 100 %
PVO-Lämpövoima	Kristiina	kivihiili	116 000	5 500	6 600	lähes 100 %
Alholmens Kraft	Pietarsaari	kivihiili, turve, puu, REF	85 000	12 000		100 %

Hyötykäyttämätön tuhka läjitetään kaatopaikoille. Yleensä tuhille ja kuonille on oma läjitysalueensa. Läjittäminen on hyötykäytön tapaan ympäristöluvan varaista toimintaa. Läjitettäviä massoja on paljon ja ne kuormittavat loppusijoituspaikkoja (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2009, 30). Kuvassa 4 on Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella tuhkan loppusijoitukseen luvan saaneet kaatopaikat.



Kuva 3. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsevat tuhkien ja kuonien loppusijoitukseen luvan saaneet kaatopaikat (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2009,3).

## 4 YMPÄRISTÖLUPA

### 4.1 Lupamenettely

Ympäristönsuojelulaissa (86/2000) säädetään ympäristöluvan tarpeesta eri toiminnoille, lupaviranomaisten toimivallasta ja lupamenettelyn kulusta. Lakia sovelletaan toimintaan joka aiheuttaa tai saattaa aiheuttaa ympäristön pilaantumista, toimintaan josta syntyy jätettä sekä jätteen käsittelyyn. Ympäristönsuojeluasetuksessa (169/2000) tarkennetaan luvanvaraisia toimintoja sekä säädetään lupahakemuksen sisällöstä, hakemukseen liitettävistä tiedoista ja mahdollisesta lisätietojen tarpeesta.

Ympäristönsuojelulain tavoitteena on muun muassa:

- ehkäistä ympäristön pilaantumista ja vähentää ympäristövahinkoja
- ehkäistä jätteiden syntyä ja niistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia ympäristöön
- tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja
- parantaa kansalaisten vaikutusmahdollisuuksia ympäristöä koskevaan päätöksen tekoon.
- edistää kestävästä kehityksestä. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

### 4.2 Lupamenettelyn vaiheet lyhyesti

#### **Lupahakemus**

Lupahakemus tulee toimittaa toimivaltaiselle viranomaiselle, eli aluehallintovirastoon tai kunnan ympäristöviranomaiselle. Ympäristönsuojelulaissa ja -asetuksessa määritetään milloin hakemus toimitetaan aluehallintovirastoon ja milloin kunnan ympäristöviranomaiselle. Lupahakemuksesta tulee käydä ilmi ainakin toiminnan kuvaus ja toiminnan vaikutukset, asianomaiset ja muut lupaan liittyvät merkitykselliset seikat. Hakemuksen tarkasta sisällöstä säädetään ympäristönsuojeluasetuksessa. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000; Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.)

## **Kuuluttaminen**

Lupahakemuksesta on tiedotettava kuuluttamalla vähintään 30 päivän ajan asianosaisen kunnan ilmoitustaululla. Kuuluttamisesta vastaa lupaviranomainen. Lisäksi kuuluttamisesta on annettava erikseen tieto niille asianosaisille, joita asia erityisesti koskee. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

## **Lausunnot**

Aluehallintoviraston on pyydettävä lausunnot vähintään asianosaiselta kunnalta, siltä ELY-keskukselta jonka alueeseen toiminnan vaikutusalue kuuluu, sekä muilta toiminnan vaikutusalueella olevilta kunnilta. Muita lausuntoja pyydetään tarvittaessa valvovilta viranomaisilta ja kunnan ympäristöviranomaiselta sekä mahdollisesti muilta tahoilta joita asia koskee. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

## **Muistutukset ja mielipiteet**

Ennen päätöksentekoa lupaviranomaisen on varattava asianosaisille tilaisuus tehdä muistuksia lupa-asian johdosta. Lisäksi muille kuin asianosaisille on varattava tilaisuus ilmaista mielipiteensä. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

## **Lupaharkinta**

Ympäristölupa myönnetään, jos toiminta täyttää lakien ja asetusten vaatimukset. Luvan myöntäjän velvollisuus on tutkia asiasta annetut lausunnot ja tehdyt muistutukset sekä luvan myöntämisen edellytykset.

## **Lupapäätös, tiedottaminen ja julkipano**

Asiasta riippuen ympäristölupa myönnetään joko toistaiseksi voimassaolevaksi tai määräajaksi. Lupapäätöksessä on käytävä ilmi perustelut päätökselle sekä siinä on vastattava kaikkiin lausunnoissa ja muistuksissa yksilöityihin asioihin. Ympäristönsuojeluasetuksessa säädetään yksityiskohtaisesti päätöksen sisällöstä. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000; Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.)

Päätöksestä on ilmoitettava ennen sen antamispäivää päätöksen tehneen viranomaisen ilmoitustaululla. Tässä julkipanoilmoituksessa on oltava vähintään

viranomainen, asia, päätöksen antamispäivämäärä ja valitusaike. Ilmoitus on oltava esillä vähintään valitusajan. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

Päätös on välittömästi annettava tiedoksi ainakin hakijalle, päätöstä erikseen pyytäneelle taholle, valvontaviranomaisella ja asiassa yleisiä etuja valvovalle viranomaiselle. Tieto päätöksestä on myös välittömästi julkaistava toiminnan sijaintikunnassa ja lisäksi päätöksestä on ilmoitettava siitä muistutuksen tehneille. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

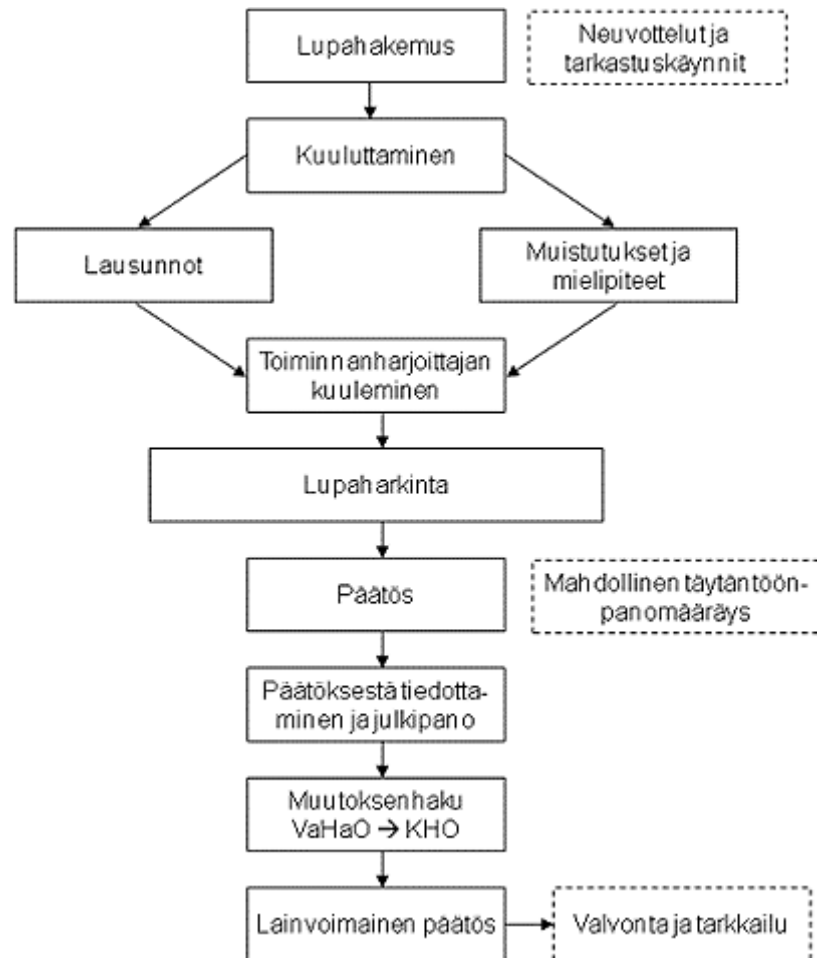
### **Valitusoikeus**

Valitusajan puitteissa, joka yleensä on 30 päivää, toimitetaan kirjallinen valitus luvan myöntäneelle ja päätöksen tehneelle viranomaiselle. Tämä toimittaa valituksen eteenpäin. Ympäristönsuojelulakiin perustuvat, aluehallintoviraston ja kunnan ympäristöviranomaisen päätöksestä valitetaan Vaasan hallinto-oikeuteen. Vaasan hallinto-oikeuden päätökseen tyytymätön voi valittaa vielä korkeimpaan hallinto-oikeuteen. ( Ympäristöministeriö 2011a.)

### **Lainvoimainen päätös**

Päätös on lainvoimainen, jollei siitä valitusajana valiteta. Mikäli päätöksestä valitetaan, päätös tulee lainvoimaseksi Vaasan hallinto-oikeuden tai korkeimman hallinto-oikeuden käsittelyn ja päätöksenteon jälkeen.

Kuvassa 4 on esitetty edellä kerrottu lupamenettely kaaviona.



Kuva 4. Ympäristölupakäsittelyn vaiheet (Ympäristöministeriö 2011b).

### 4.3 Hyötykäytön ympäristölupa

Sellainen jätteen hyötykäyttö, joka ei täytä niitä ehtoja jotka on annettu valtioneuvoston asetuksessa eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisesta (591/2006), vaatii ympäristöluvan. Ympäristölupaa haetaan aluehallintovirastolta, kun hyödynnettävän jätteen määrä vuodessa on 5000 tonnia ja kunnan ympäristöviranomaiselta kun hyötykäytettävä määrä on alle 5000 tonnia vuodessa. Koeluontoinen hyödyntäminen ei vaadi ympäristölupaa. Siitä on kuitenkin tehtävä ilmoitus ympäristölupaviranomaiselle. (Kaskinen 2011, 20; Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.)

Ympäristönsuojeluasetuksessa määritetään hyötykäytön ympäristölupahakemuksen sisällöstä. Hakemuksesta on käytävä ilmi vähintään seuraavat asiat (Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.):

- hyödynnettäväksi aiotun jätteen määrä ja laatu
- alue, josta jätettä aiotaan ottaa
- hakijan organisoima jätteen keräys ja kuljetus
- selvitys jätteen hyödyntämisestä ja käsittelystä, sekä kaaviopiirros
- hyödyntämisen tai käsittelyn tuloksena syntyvän jätteen laji, laatu ja määrä, sekä hyödyntämisessä tai käsittelyssä syntyvän jätteen käsittely
- selvitys vakavaraisuudesta tai vakuudesta, vaihtoehtoisesti selvitys muusta vastaavanlaisesta järjestelystä
- käytettävissä oleva asiantuntemus

Jätteen hyödyntämiseen maarakentamisessa vaadittavan ympäristöluvan saamisen edellytyksenä on myös sekä jätteen teknisten ominaisuuksien osoittaminen että sen ympäristökelpoisuuden todentaminen. Ehtona luvan saamiseen on myös riittävän laadunvalvonnan järjestäminen. Alueellisesti ympäristökelpoisuuden hyväksymiskäytännöt eroavat toisistaan. (Kaskinen 2011, 21- 22.)

#### 4.4 Loppusijoittamisen ympäristölupa

Ympäristönsuojelulaissa määritetään, että ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttava toiminta on sijoitettava niin, että toiminta ei pilaa ympäristöä ja että pilaantuminen voidaan ehkäistä. Toiminnan sijoituspaikan soveltuvuutta arvioitaessa on otettava huomioon ainakin toiminnan luonne ja pilaantumisen todennäköisyys ja onnettomuusriski, alueen ja ympäristön nykyinen ja tuleva kaavoitustilanne ja mahdolliset muut sijoituspaikat. Lisäksi on otettava huomioon maaperän ja pohjaveden pilaamiskielto. (Ympäristönsuojelulaki 86/2000.)

Kaatopaikan perustamisen vaatimaa ympäristölupaa haetaan aluehallintovirastolta. Hakemuksen tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

- selvitys kaatopaikan rakenteesta ja rakentamisesta
- tiedot kaatopaikan käytöstä ja hoidosta
- kaatopaikan tarkkailu ja valvonta



- teidot kaatopaikan käytöstäpoistamisesta ja jälkihoidosta
- varautuminen vahinkotilanteisiin ja niihin reagoiminen

Lupapäätöksessä määrätään kuinka paljon kaatopaikalle voidaan ottaa jätettä, jätemäärän suurin sallittu tilavuus alueella sekä alueen maksimi lakikorkeus. Kaatopaikan täytyttyä sen peittäminen vaatii erillisen ympäristöluvan. Tässä luvassa määritetään rakenne, jolla alue tulee peittää. (Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.)

## 5 FORTUM POWER AND HEAT OY:N NAANTALIN LÄJITYSALUE

### 5.1 Fortum Power and Heat Oy:n Naantalin voimalaitos

Fortum Power and Heat Oy:n Naantalin voimalaitos sijaitsee noin 1,5 km päässä Naantalin keskustasta, sen kaakkoispuolella. Voimalaitosalue rajoittuu etelässä Naantalin satamaan ja Naantalin salmeen, länsipuolella sijaitsevat Suomen Viljava Oy:n viljasiilot. Pohjoisessa voimalaitosalue rajoittuu Luolalanjärveen ja itäpuolella sijaitsee Neste Oil Oyj:n Naantalin erikoistuotejalostamo. (Pöyry 2010, 4- 5.) Liitteenä 1 kartta, jossa on esitetty voimalaitosalueen sijainti.

Naantalin voimalaitos koostuu kolmesta voimalaitosyksiköstä; NA 1, NA 2 ja NA3. NA 1 on otettu käyttöön vuonna 1960, NA 2 vuonna 1964 ja NA 3 vuonna 1972. Yksiköiden kattilat ovat hiilipölykattiloita, ja kunkin yksikön polttoaineteho on 315 MW. Voimalaitos on toiminnassa vuorokauden ympäri läpi vuoden, lukuunottamatta noin 1 viikon mittaista seisokkia joka vuosi. Pääasiassa yksiköt NA 2 ja NA 3 ovat käytössä, NA1 on varayksikkönä. (Pöyry 2010, 28.)

Pääpolttoaine voimalaitoksella on kivihiihi. Lisäksi biopolttoaineena käytetään sahanpurua. Voimalaitoksella on myös mahdollisuus polttaa Neste Oil Oyj:n Naantalin erikoistuotejalostamon toimittamaa jalostamokaasua. Käynnistys ja varapolttoaineena käytetään polttoöljyä. (Pöyry 2010, 29.)

Kaikkien laitosyksiköiden savukaasut puhdistetaan lupamääräysten ja lainsäädännön vaatimalla tavalla. Hiukkaspäästöjä pienennetään sähkösuodattimilla ja typenoksidipäästöjä low-NOX-polttimilla sekä palamisilman vaiheistuksella. Yksiköiden NA 2 ja NA 3 savukaasut puhdistetaan näiden yksiköiden yhteisellä rikinpoistolaitoksella. Rikinpoisto perustuu märkämenetelmään. (Pöyry 2010, 29.)

Naantalın voimalaitos tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon sekä pääosan Turun seudun kaukolämmöstä ja lähialueiden teollisuuslaitosten käyttämästä höyrystä. Vuonna 2009 voimalaitos tuotti sähköä 1 125 GWh, kaukolämpöä 1 516 GWh ja höyryä 270 GWh. (Pöyry 2010, 30.)

## 5.2 Härkäsuu

Fortum Power and Heat Oy:n Naantalın voimalaitoksen Härkäsuon läjitysalue sijaitsee Naantalın kaupungin pohjoisreunalla Maskun rajan tuntumassa Isosuon tien varrella (Nissinen, M. 2009, 1). Härkäsuon läjitysalueelta on matkaa noin 1 km Isosuon jäteasemalle.

Härkäsuon läjitysalue luokitellaan tavanomaisen jätteen kaatopaikaksi (Nissinen, M. 2009, 1). Härkäsuon läjitysalue on jaettu neljään alueeseen; A-, B-, C-, ja D-alueeseen. D-alue on edelleen käytössä ja sinne läjitetään tuhkaa. Härkäsuon läjitysalue on rakennuttu osissa, ensimmäinen osa on valmistunut ja läjittäminen on aloitettu vuonna 1994 (Fortum Power and Heat Oy:n rakentamisen valvoja O.Harjulan henkilökohtainen tiedonanto 7.9.2011).

A-, B- ja C-alueille läjittäminen on lopetettu, ja alueet tullaan peittämään vuonna 2012. Alueiden pohjamateriaalit eivät täytä enää nykyisiä määräyksiä, jonka vuoksi ne peitetään. Viimeisenä rakennettu D-alue jää edelleen käyttöön. Peitettävälle alueelle on läjitetty noin 550 000 m<sup>3</sup> tuhkaa. (Fortum Power and Heat Oy:n rakentamisen valvoja O.Harjulan henkilökohtainen tiedonanto 7.9.2011.)

A-, B- ja C- alueiden peittäminen kuuluu Destia Oy:n urakkaan. Näiden peitettävien alueiden yhteispinta-ala on noin 5,3 ha. Käyttöön jäävän D-alueen pinta-ala 0,9 ha (Nissinen, M. 2009, 4). Tässä työssä tehtävät mittaukset suoritetaan Härkäsuon läjitysalueella.

Liitteessä 1 Härkäsuon läjitysalueen sijainti kartalla.

## 6 KOKEET TYÖMAALLA

### 6.1 Tavoitteet

Härkäsuon läjitysalueella suoritettiin elokuussa 2011, viikolla 33 mittauksia työmaan ollessa käynnissä. Tarkoituksena oli tiivistää eri määrillä yliajokertoja eri kosteuspitoista lentotuhkaa. Puolet näytteistä ja kokeista tehtiin luonnonkostealla tuhalla ja puolet kasteltiin kosteammaksi. Työselostuksessa vaaditaan rakenteelle vähintään 4 yliajokertaa raskaalla työkoneella. Käytännössä yliajokerrat suoritetaan puskukoneella. Tavoitteena oli selvittää, kuinka tiivistettävän materiaalin kosteuspitoisuus ja yliajokertojen määrä vaikuttavat toisiinsa. Lisäksi haluttiin selvittää tässä kohteessa, tälle tuhalle hyvä kosteuspitoisuus ja yliajokertojen määrä, jotta saavutetaan mahdollisimman suuri kantavuus. Suoritetut mittaukset ovat koeluontoisia. Tällaiset mittaukset eivät kuulu urakan laadunvarmistukseen.

### 6.2 Koejärjestelyt

Härkäsuon läjitysalueella merkittiin kahdeksan koealuetta. Jokainen koealue oli kooltaan 4,5 m x 4,5 m. Näistä kahdeksasta alueesta neljä tiivistettiin luonnonkosteana ja neljä kasteltiin ennen tiivistämistä. Märkinä tiivistetyt alueet numeroitiin 1-4 ja kuivana tiivistetyt 5-8. Taulukkoon 4 on koottu tiivistämiskerrat alueittain. Tiivistäminen toteutettiin eri määrillä yliajokertoja raskaalla työkoneella. Tässä tapauksessa puskukoneella Caterpillar D6R, jonka paino on 25 tonnia.

Taulukko 4. Tiivistämiskerrat alueittain.

YLIAJOKERRAT	ALUE (NRO)
2 KERTAA	1, 5
4 KERTAA	2, 6
6 KERTAA	3, 7
8 KERTAA	4, 8

Tiivistyksen jälkeen mitattiin Loadman I-pudotuspainolaitteella (laite kuvassa 6) kultakin alueelta kantavuus vähintään kolmesta eri pisteestä. Jokaisesta pisteestä otettiin 4 mittausta luotettavan tuloksen saamiseksi. Kokeessa käytettiin 300 mm pohjalevyä. Taulukossa 5 on käytetyn Loadman- laitteen tekniset tiedot. Moni pieni asia, kuten laitteen pystysuoruus mittausten aikana ja että pohjalevy on kokonaan tukevasti kerroksen pinnalla, vaikuttavat mittausten luotettavuuteen. Luotettavien tulosten saamiseksi mittaajana toimi alan ammattilainen, Ramboll Finland Oy:n työpäällikkö Alpo Lietzen.



Kuva 5. Loadman-pudotuspainolaite (AL-Engineering Oy 2011).

Taulukko 5. Loadman I-laitteen tekniset tiedot (AL-Engineering 2011).

<b>TEKNISET TIEDOT LOADMAN I</b>	
Kokonaispaino	16 kg
Korkeus	117 cm
Halkaisija	13 cm
Pohjalevyt (d)	132, 200 ja 300 mm
Pudotuspainon paino	10 kg
Pudotuskorkeus	80 cm
Mittausalue	n. 0,1- 5 mm
Kuormitusimpulssin kesto	n. 25-30 ms
Toimintajännite	27 V (3 x 9 V paristo)

Lisäksi jokaisesta alueesta otettiin kolme kappaletta noin 500 g:n näytettä. Kukin näyte punnittiin, jonka jälkeen näytteitä kuivatettiin uunissa 10 minuuttia. Ennakkotestauksella oli todettu sopivaksi kuivatusajaksi 10 minuuttia. Näytteet punnittiin uudelleen, jonka jälkeen saatiin laskettua näytteen vesipitoisuus grammoina ja prosentteina.

### 6.3 Tulokset

Taulukkoon 6 on koottu Loadman mittaustulokset (E2/E1) kunkin koekentän kolmesta mittauspisteestä ja kentän keskiarvo. Taulukkoon 7 puolestaan on koottu kunkin kentän kolmen näytteen laskettu kosteusprosentti ja kunkin kentän kosteusprosenttien keskiarvo. Taulukossa 8 on esitetty kantavuuksien ja kosteusprosenttien keskiarvot kussakin koekentässä.

Liitteessä 2 on Loadman-mittauksien pöytäkirjat kootusti ja liitteessä 3 kosteusmittaus pöytäkirjat.

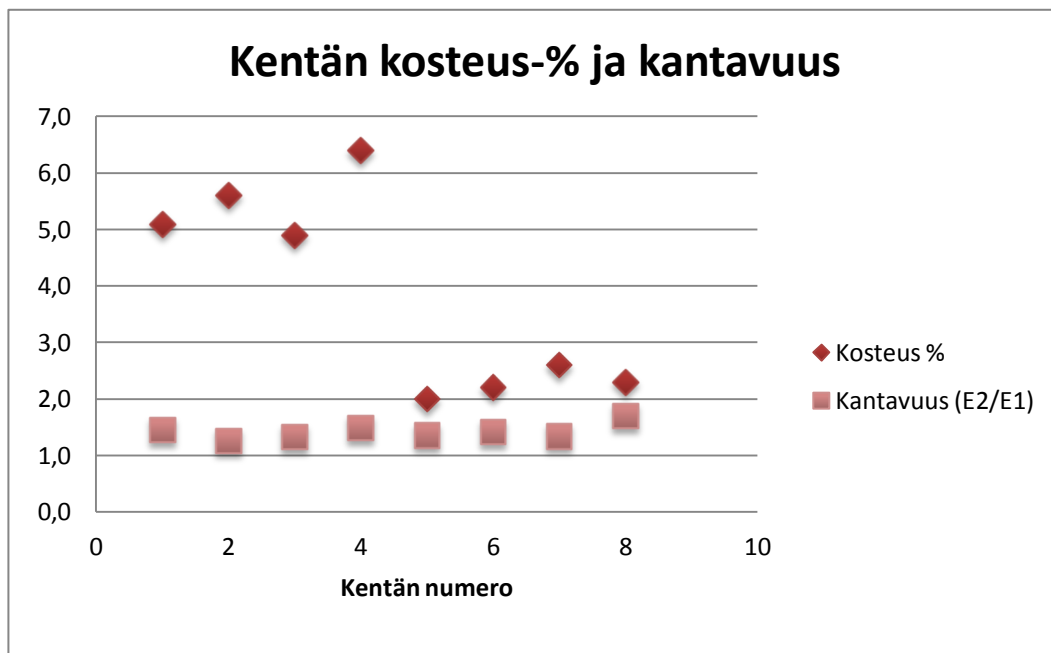
Taulukko 6. Loadman-mittaustulokset (E2/E1).

LOADMAN					
KENTTÄ NRO	KOSTEUS/AJOKERTA	PISTE 1	PISTE 2	PISTE 3	KA:
1	märkä/2	1,30	1,55	1,53	1,46
2	märkä/4	1,22	1,33	1,27	1,27
3	märkä/6	1,36	1,43	1,22	1,33
4	märkä/8	1,50	1,39	1,57	1,49
5	kuiva/2	1,28	1,34	1,46	1,36
6	kuiva/4	1,31	1,35	1,59	1,42
7	kuiva/6	1,34	1,27	1,41	1,34
8	kuiva/8	1,76	1,98	1,40	1,71

Taulukko 7. Näytteiden kosteusprosentit.

KOSTEUS (%)					
KENTTÄ NRO	KOSTEUS/AJOKERTA	NÄYTE 1	NÄYTE 2	NÄYTE 3	KA
1	märkä/2	5,0	4,9	5,3	5,1
2	märkä/4	5,1	4,7	7,0	5,6
3	märkä/6	5,6	4,9	4,1	4,9
4	märkä/8	7,4	5,4	6,3	6,4
5	kuiva/2	2,6	1,7	1,8	2,0
6	kuiva/4	2,2	1,6	2,7	2,2
7	kuiva/6	2,1	2,7	3,0	2,6
8	kuiva/8	2,1	2,2	2,7	2,3
<b>MÄRKÄ KA:</b>				<b>5,50 %</b>	
<b>KUIVA KA:</b>				<b>2,20 %</b>	

Taulukko 8. Kunkin kentän kosteusprosentin keskiarvo ja kantavuuden keskiarvo.



## 7 HAVAINNOT TYÖMAALLA

Mittaukset suoritettiin Härkäsuon läjitysalueen lakialueella, jossa tuhkaa on paikoin jopa kymmeniä metrejä. Työmaalla on huomioitiin, että kastuessaan niin sanotusti liikaa ohuehko irtonainen lentotuhkakerros menettää aivan täysin kantavuutensa. Esimerkkinä alueella olevan työmaatien päällä on muutaman senttimetrin kerros tuhkaa, joka sateella vettyy ja muuttuu löysäksi ja vaikeuttaa huomattavasti tiellä ajamista.

Syksyllä 2010, työmaan ollessa käynnissä lokakuun loppupuolella saakka, todettiin rankoilla syysateilla, että jopa dumperilla on vaikea liikkua märässä ja vettyneessä tuhassa. Kantavuus on huono ja tuhka velliintyy melko paksultakin kerrokselta. Suurella määrällä vettä paksukin kerros vettyy, mutta lyhyehkö kuurosade kastelee vain ohuen pintakerroksen.

Toisaalta läjitysalueen lakialueella, jossa on ajettu lukemattomia kertoja raskailla työkoneilla, on havaittu tuhkan tiivistyneen todella kovaksi. Kuivalla säällä koneilla ajettaessa ei pintaan jää minkäänlaisia renkaan jälkiä. Mutta rankkasateella pinta kuitenkin vettyy ja löyhtyy. Kuivuminen ja kastuminen yhdessä suurella yliajokertojen määrällä näyttääkin tiivistävän tuhkapintaa.

Kesällä, kuivana ja lämpimänä aikana on työmaalla todettu, että lentotuhka pölyää valtavasti kuivana. Lentotuhka on hienojakoinen materiaali, raekoko vaihtelee yleensä välillä 2 -100 µm. Tuhkaa kaivettaessa ja tuhkan päällä ajettaessa kalustoa on vaikea havaita pölypilvestä. Ongelmaan yritettiin löytää ratkaisu kastelemalla aluetta. Tuhka läpäisee huonosti vettä, ja vain pintakerros kastuu. Eli työnaikainen kastelun pitäisi olla jatkuvaa, jotta pölyämistä voitaisiin järkevästi hillitä. Hienojakoinen tuhkapöly vaikeuttaa hengittämistä ja tunkeutuu silmiin. Myös työkoneiden moottoreihin ja suodattimiin ym. laitteisiin pöly tunkeutuu helposti. Kuvassa 6 dumperi kippaa tuhkaa Härkäsuon läjitysalueella. Kuvasta näkee selvästi kuinka tuhka pölyää ja ja dumperia on vaikea havaita pölyn joukosta.

Kuivana ja lämpimänä aikana on tärkeää kiinnittää huomiota koneiden huoltoon, jotta laitteet eivät vahingoittuisi. Fortum Power and Heat Oy:n inkoon



Grundvikenin läjitysalueella kokeiltiin myös suolausta pölyämisen hillitsemiseksi, mutta sillä ei saavutettu pitkäaikaista, kustannustehokasta vaikutusta.

Pienet sateet eivät vaikuta lentotuhkan ominaisuuksiin merkittävästi eivätkä pitkäaikaisesti. Pienen sateen jälkeen muutaman tunnin sisään tuhkan pinta kuivuu ja pölyäminen jatkuu.

Talven jälkeen lumen sulaessa tai rankkasateella paljaalla tuhkapinnalla juokseva vesi nopeastikin urauttaa tuhkan pinnan. Toisaalta myös kuivuessaan tuhkapinta halkeaa helposti.



Kuva 6. Dumpperin lavalta kipattava tuhka pölyää, Härkäsuon läjitysalueella syyskesällä 2010.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaukset suoritettiin vuoden 2011 elokuussa, sateisena päivänä. Koko päivän aikana satoi 38 mm, ja ennen mittauksia tuosta määrästä oli satanut arviolta noin puolet. Kosteammaksi haluttuja näytealueita kasteltiin lisäksi 40 litralla vettä/ kohta. Näytteitä otettaessa havainnoitiin, että vesi hyvin hitaasti kastelee tuhkaa. Monen tunnin sateen ja kastelunkin jälkeen vain pintakerros (noin 100-200 mm) oli kastunut ja syvemmälle kaivettaessa tuhka muuttui selvästi kuivemmaksi. Kastuessaan lentotuhka tummuu, mutta kuivana väri on paljon vaaleampi.

Työmaalla suoritettujen mittausten tuloksista voidaan havaita, ettei näin pieni kosteusprosenttien ero vaikuta merkittävästi tiivistetyn lentotuhkan kantavuuteen. Hajonta Loadman-mittaustuloksissa on pieni näillä yliajokerroilla ja kosteusprosentteilla. Huomioitavaa on kuitenkin työmaamittausten tuloksista ja työmaahavainnoista, että pieni kosteusprosenttien ero ei merkittävästi lisää kantavuutta, mutta vähentää kuitenkin pölyämistä huomattavasti.

Työssä käytetyt menetelmät soveltuvat pääasiassa tarkoitukseensa. Kantavuuden mittaaminen Loadmanilla on kustannustehokkaampaa kuin muilla kalliimmilla menetelmillä tällaisessa tapauksessa.. Laite on todistetusti luotettava ja pienikokoista laitetta on helppo kuljettaa alueella, jossa ei ole tietä joka paikkaan. Raskas työkone, jota käytetään tuhkan muotoiluun, tiivistää riittävästi tuhkaa. Taloudellisesti ei ole kannattavaa tällaisissa työkohteissa käyttää erillistä konetta tiivistämiseen, koska ei halutakaan saavuttaa suuria kantavuuksia.

Kastelumenetelmä ei kuitenkaan ollut paras mahdollinen tähän tarkoitukseen. Tavoitteena oli saavuttaa suurempia kosteusprosenttien eroja, joten kasteluauton käyttö olisi kuitenkin ollut parempi ratkaisu. Kasteluun käytettyä vesimäärää olisi voitu kasvattaa paljon ja mahdollisesti olisi pystytty kastelemaan muutakin kuin pintaa. Lisäksi olisi voitu saada aikaan todella vettynyt tuhka-alue ja olisi voitu kokeelisesti todentaa, kuinka paljon vettynyt

tuhkakerros menettää kantavuuttaan. Kustannussyistä näissä mittauksissa kasteluautoa ei käytetty.

Läjäytysalueiden peittotöissä kantavuus ei kuitenkaan ole merkittävin ominaisuus. Tuhkan päälle rakennetaan ympäristöluvan mukainen peittorakenne, eikä peitetyn kaatopaikan päälle toistaiseksi rakenneta mitään isoja, kantavuutta vaativia rakenteita. Tärkeää on kuitenkin, ettei alueelle synny niin paljon painumia, että ne vaarantaisivat peittorakenteen toimivuutta. Tällä hetkellä kantavuus, tai sen heikkous, on siis ongelmallista vain tuhka-aluetta muotoiltaessa.

Peitetyn kaatopaikan päälle olisi mahdollista rakentaa suurempaa kantavuutta vaativia rakenteita, mikäli asia huomioitaisiin jo läjityksen aikana. Mittauksissa havaittiin kastelun ja tiivistyksen vaikutus vain pintakerrokseen. Jo läjitysvaiheessa voitaisiin tehdä tiiviitä, kantavia kerroksia alueelle esimerkiksi stabiloimalla.

Tuhkakaatopaikan päälle rakennettaessa olisi kuitenkin otettava huomioon metrien paksuisen tuhkatatjan painuminen ja läjitysalueen pohjaolosuhteet. Kiinnostava tutkimuskohde olisi, kuinka paljon alemmat kerrokset tiivistyvät päälle läjitettävien massojen alla. Lisäksi alempien kerrosten lujittuminen tai lujittumattomuus olisi mielenkiintoista selvittää. Läjityksen aikaisen lujittamisen tarpeellisuus ja kustannustehokkuuteen pyrkiminen vaatisi kuitenkin pitkäjänteistä suunnittelua. Huomioitavaa on myös lainsäädännön vaikutus tällaiselle alueelle rakentamiseen.

Tuhkaläjäytysalueella tai muuten tuhkan kanssa työskenneltäessä on järkevää huomioida ja suunnitella käytettävä kalusto etukäteen. Mahdollinen heikko kantavuus ja pölyämishaitat kannattaa huomioida ennen tuhkan käsittelyn aloittamista.

Kuorma-auton käyttö tuhkasiirrosta läjitysalueella on hankalaa, koska kuorma-auton liikkuminen vettyneessä tuhkassa on lähes mahdotonta. Työmaalla onkin havaittu dumpperi paremmaksi vaihtoehdoksi kuljetuskalustoksi. Myöskään pyöräalustainen kaivinkone ei pysty liikkumaan vettyneessä, kantavuutensa

menettäessä tuhkassa. Tela-alustainen kaivinkone on sopivampi työkone tuhkaläjitysalueelle.

Terveyshaittoja pitäisi tutkia ennen kuin peitetyn kaatopaikan päälle voidaan suunnitella ja toteuttaa jotakin pysyvään oleskeluun tarkoitettua. Läjitetävä lentotuhka sisältää esimerkiksi raskasmetalleja. Vaikka alue peitetään lupamääräysten mukaisesti on ennen rakentamista tutkittava haitallisten aineiden vaikutus, mikäli päälle rakennetaan pysyvään oleskeluun tarkoitettuja rakennuksia tai muita vastaavia rakennelmia.

## LÄHTEET

AL-Engineering 2011. Loadman. Viitattu 7.8.2011 <http://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html>.

Facta tietosanakirja 2011. Sivutuote. Viitattu 27.9.2011 <http://www.facta.fi/tietosanakirja/86602>.

Fortum 2011. Sanasto. Viitattu 23.7.2011 <http://www.fortum.com/fi/media/sanasto/pages/default.aspx>.

Energiateollisuus 2011. Kivihiili. Viitattu 2.6.2011 <http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkontuotanto/kivihiili>.

Järvelä, E.;Kivikoski, H.;Korpijärvi, K.;Laine-Ylijoki, J.;Merta, E.;Mroueh, U.;Mäkelä, E. & Wahlström, M. 2009. Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön. VTT. Saatavissa myös <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2499.pdf>.

Järvinen, R. 1995.Lentotuhkan käyttö maarakenteissa. Insinööriyö. Turun ammattikorkeakoulu.

Kaskinen, J. 2011. Teollisuuden sivutuotteiden tuotteistaminen maarakennuskäyttöön. Insinööriyö. Turun ammattikorkeakoulu.

Keppo, M.;Mroueh, U.;Mäkelä, E.;Pihlajaniemi, M.;Rämö, P. & Wahlström, M. 1999. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteet ja lentotuhka maarakentamisessa. Jatkotutkimus. Espoo: VTT. Saatavissa myös <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1952.pdf>.

Lillman, E. 2009. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 24/2009. Turun tiepiirin sivutuotteiden käyttösuunnitelma. Tiehallinto. Saatavissa myös [http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000699-v-sivutuotteiden\\_kayttosuunnitelma\\_turku.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000699-v-sivutuotteiden_kayttosuunnitelma_turku.pdf).

Lounais- Suomen ympäristökeskus 2009.Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2009: Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnittelu. Taustaraportti.

Tuhkat ja kuonat. Saatavissa myös  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108225&lan=fi>.

Pöyry 2010. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Fortum Power and Heat Oy. Naantalin voimalaitos. Saatavissa myös [http://www.elykeskus.fi/fi/ELYkeskukset/varsinaisuomenely/Ymparistonsuojelu/YVA/Vireilla/energia/Documents/Fortum%20Power%20and%20Heat%20Oy/NaantalinVL\\_Arviointiohjelma.pdf](http://www.elykeskus.fi/fi/ELYkeskukset/varsinaisuomenely/Ymparistonsuojelu/YVA/Vireilla/energia/Documents/Fortum%20Power%20and%20Heat%20Oy/NaantalinVL_Arviointiohjelma.pdf).

Nissinen, M. 2009. Fortum Power and Heat Oy. Naantalin voimalaitos. Härkäsuon läjitysalueen A, B ja C-alueiden peittäminen. Rakennusselostus.

Nissinen, M. 2010. Fortum Power and Heat Oy. Naantalin voimalaitos. Tuhkamäen peittäminen. Rakennusselostus.

Suomen kuntatekninen yhdistys 2003. Katu 2002: Katusuunnittelun ja –rakentamisen ohjeet. Jyväskylä.

Tiehallinto 2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki. Saatavissa myös <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>.

Tilastokeskus 2011. Polttoaineluokitus 2011. Viitattu 23.7.2011  
[http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus\\_maaritelmat\\_2011.pdf](http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_maaritelmat_2011.pdf).

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.

Ympäristöministeriö 2011a. Valitus ympäristöluvasta. Viitattu 6.8.2011  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1318&lan=fi>.

Ympärintöministeriö 2011b. Ympäristölupa. Viitattu 23.7.2011  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=300&lan=fi>.

Ympäristönsuojeluasetus 169/2000

Ympäristönsuojelulaki 86/2000



## LIITE 1 SIJAINTIKARTTA



Voimalaitoksen ja läjitysalueiden sijainti kartalla (Pöyry 2010, 5).

## LIITE 2 LOADMAN- MITTAUS PÖYTÄKIRJAT

LOADMAN (MÄRKÄ)							
KENTTÄ/PISTE	E1	E2	E2	E2	E2	E2 KA	E2/E1
1.1	27	34	35	35	36	35	1,30
1.2	22	32	34	35	35	34	1,55
1.3	20	28	29	32	33	30,5	1,53
2.1	28	33	34	35	35	34,25	1,22
2.2	26	33	34	35	36	34,5	1,33
2.3	27	32	33	36	36	34,25	1,27
3.1	28	34	36	40	42	38	1,36
3.2	32	44	44	45	50	45,75	1,43
3.3	32	38	38	39	41	39	1,22
4.1	32	43	47	50	50	47,5	1,50
4.2	28	34	38	40	44	39	1,39
4.3	27	38	42	44	46	42,5	1,57

LOADMAN (KUIVA)							
KENTTÄ/PISTE	E1	E2	E2	E2	E2	E2 KA	E2/E1
5.1	27	32	34	35	37	34,5	1,28
5.2	27	33	36	37	39	36,25	1,34
5.3	19	24	27	29	31	27,75	1,46
6.1	30	37	38	40	42	39,25	1,31
6.2	26	31	35	36	38	35	1,35
6.3	20	27	31	34	35	31,75	1,59
7.1	29	36	39	39	41	38,75	1,34
7.2	28	34	35	36	37	35,5	1,27
7.3	25	31	36	37	37	35,25	1,41
8.1	21	33	36	39	40	37	1,76
8.2	20	36	39	41	42	39,5	1,98
8.3	26	33	36	38	39	36,5	1,40



### LIITE 3 KOSTEUSMITTAUS PÖYTÄKIRJA

KUIVATUS										
KENTTÄ NRO	KOSTEUS/AJOKERTA	ENNEN (g)			JÄLKEEN (g)			KOSTEUS %		
		NÄYTE 1	NÄYTE 2	NÄYTE 3	NÄYTE 1	NÄYTE 2	NÄYTE 3	NÄYTE 1	NÄYTE 2	NÄYTE 3
1	märkä/2	379	387	360	360	368	341	5,0	4,9	5,3
2	märkä/4	394	404	387	374	385	360	5,1	4,7	7,0
3	märkä/6	394	409	422	372	389	405	5,6	4,9	4,1
4	märkä/8	408	371	352	378	351	330	7,4	5,4	6,3
5	kuiva/2	498	535	499	485	526	490	2,6	1,7	1,8
6	kuiva/4	506	514	550	495	506	535	2,2	1,6	2,7
7	kuiva/6	476	481	428	466	467	415	2,1	2,7	3,0
8	kuiva/8	429	449	438	420	439	425	2,1	2,2	2,7
								<b>KUIVA KA:</b>		<b>2,20 %</b>
								<b>MÄRKÄ KA:</b>		<b>5,50 %</b>