

Heikki Takainen

Jätevoimalan tuhkien loppusijoitusvaihtoehdot

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

19.4.2013

Tekijä Otsikko	Heikki Takainen Jätevoimalan tuhkien loppusijoitusvaihtoehdot
Sivumäärä Aika	46 sivua + 2 liitettä 19.4.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Projektipäällikkö Risto Pammo Lehtori Tapani Järvenpää
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden -kuntayhtymän jätehuollon rakennuttamisyksikölle. Työssä tehtiin selvitetystä tavanomaisen jätteenpoltosta syntyvien tuhkien ominaisuuksista, esikäsittelystä sekä loppusijoituksesta Suomessa ja muualla Euroopassa. Insinööri työn perusteella HSY luvittaa ja rakennuttaa Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueelle uuden loppusijoitusvaihtoehdon.</p> <p>Työn pääasiallisena tavoitteena oli tehdä teknillinen ja taloudellinen vertailu neljälle erilaiselle uudelle tuhkien loppusijoitusvaihtoehdolle. Vertailun tuloksena tarjotaan HSY:lle kannattavin vaihtoehto. Tarve uudelle loppusijoitusvaihtoehdolle syntyi ympäristöluvan riittämättömyyden johdosta. Vanha ympäristöluvan mukainen loppusijoitustapa olisi rajoittanut liikaa Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueen hyötykäyttöä.</p> <p>Aineistona työssä käytettiin HSY:n konsultin Ramboll Finland Oy:n raportteja sekä viimeimpiä hintatietoja ongelmajätetuhkien loppusijoituksessa käytettävistä rakenteista sekä muista rakennusvaiheista, joita tämän tyyppisten rakenteiden rakennuttaminen voi vaatia.</p> <p>Vertailun tuloksien perusteella HSY:n kannattaa luvittaa ja rakennuttaa uudelle tuhkien loppusijoitusalueelle osiossa 5.4.1 esitelty ensimmäinen vaihtoehto. Se sisältää 9 - metrisen kallionvastaisen ja tukemattoman eristeseinärakenteen sekä pohjarakenteen. Vaihtoehdon kannattavuus on sen hinta verrattuna muihin vaihtoehtoihin sekä rakenteiden yksinkertaisuus. Yksinkertaisuus pienentää riskejä ja parantaa toteutuksen pitkäkestoisuutta. Pitkä käyttöikä on ongelmajätteiden loppusijoituksessa oleellinen tekijä, jos haluamme turvata ympäristömme puhtauden säilymisen ja kantaa vastuuta teollisuutemme tuottamista jätteistä.</p>	
Avainsanat	ongelmajäte, tuhkan loppusijoitus, jätevoimala, Ämmässuo

Author Title	Heikki Takainen The refuse power plant residue ash final disposal options
Number of Pages Date	46 pages + 2 appendices 19 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Infrastructural Engineering
Instructors	Risto Pammo, Project Manager Tapani Järvenpää, Senior Lecturer
<p>This thesis was carried out for the Helsinki Region Environmental Services Authority. Aim was to study the residue ash characteristics from conventional incineration, the pretreatment, and disposal in Finland and elsewhere in Europe. On the basis of this engineering thesis, HSY permits and builds the new disposal option in the waste treatment center expansion area of Ämmässuo.</p> <p>Main goal was to make a technical and economic comparison with four different options for the new ash disposal. Result of the comparison offered HSY the most profitable option. The need for a new disposal option was created because of lack of an environmental permit. The old environmental permit for residue ash disposal would have limited the expansion area utilization of the Ämmässuo waste treatment center.</p> <p>As sources of information, reports of HSY consultant, Ramboll Finland Ltd's were used, as well as the latest price data about structures used in the final disposal of residue ash and other structures that are needed for this kind of building.</p> <p>On the basis of the results of the comparison HSY should permit and build a new final disposal option for residue ash that is introduced in section 5.4.1. It includes a 9-meter insulation wall build against rock cliff and a 9-meter unsupported insulation wall structure and the bottom structure. Price compared this option is more feasible than other options. Also, the structures are simple. Simplicity reduces risks and improves the life span of the structure. Long service life is an essential factor if we are to safeguard the preservation of the cleanliness of the environment and to take responsibility for the production of our industry's waste.</p>	
Keywords	hazardous waste, disposal, refuse power plant, residue ash

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Långmossebergin voimalaitos ja sen tuottamat tuhkat	2
2.1	Voimalaitoksen toimintaperiaate	3
2.2	Voimalaitoksessa syntyvät tuhkat	5
3	Tuhkien viranomaisohjaus ja ominaisuudet	7
3.1	Ongelmajätteen määrittäminen	7
3.2	Asetus pysyvistä orgaanisista yhdisteistä	8
3.3	Tuhkien ominaisuudet	9
4	Euroopassa käytetyt tuhkien esikäsittely- ja loppusijoitusmenetelmät	11
4.1	Esikäsittely	14
4.1.1	Stabilointi/ kiinteytys	14
4.1.2	Kemiallinen stabilointi	16
4.1.3	Märkämenetelmiä	17
4.1.4	Lämpökäsittely menetelmiä	18
4.2	Vienti Norjaan	19
4.3	Vienti Saksan suolakaivoksiin	20
4.4	Vienti Ruotsiin	21
5	Tuhkien loppusijoitus Ämmässuon jätteenkäsittelykeskukseen	22
5.1	Valtioneuvoston aseutus ongelmajätteiden loppusijoituksesta	24
5.2	Ympäristöluvassa asetetut vaatimukset rakenteille	24
5.2.1	Pohjarakenne	25
5.2.2	Seinämärakenteet	26
5.3	Tuhkien loppusijoituksen nykyinen tilanne	28
5.4	Ämmässuon uudet loppusijoitusvaihtoehdot	34
5.4.1	9 m tukimuuri ilman lisälouhintaa	36
5.4.2	9 m tukimuuri ja lisälouhintaa	37
5.4.3	3 m tukimuuri ilman lisälouhintaa	38
5.4.4	3 m tukimuuri ja lisälouhintaa	39
5.5	Johtopäätökset	40
6	Yhteenveto	43

Lähteet	44
Kuvat	45
Liitteet	
Liite 1. Loppusijoitusrakenteiden hintaerittely	
Liite 2. Solun T1 ja uuden loppusijoitusvaihtoehdon hinta vertailu	

Lyhenteet

APC AirPollutionControl

TEF/kg Pysyville orgaanisille yhdisteille määritetty TEF- arvo yhdisteen voimakkuuden perusteella. Yksikkö ilmoittaa voimakkuuden kiloa kohti.

1 Johdanto

Tämä insinööriyö tehdään Helsingin seudun ympäristöpalveluiden -kuntayhtymän jätehuollon rakennuttamisyksikölle. HSY tarjoaa ympäristöpalvelujaan yrityksille ja yksityisille henkilöille jäte- ja vesihuollon sekä seututietopalveluiden toimialoilla. HSY on aloittanut toimintansa vuoden 2010 alussa, siihen yhdistyivät Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan vesilaitokset sekä YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan jätehuolto sekä seutu ja ympäristötieto.

HSY:n Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus ottaa vuosittain vastaan noin 300 000 tonnia sekajätettä, mikä vie valtavasti kaatopaikkatilaa. Ämmässuolle on rakennettu 2000-luvulla uusi kaatopaikka-alue, mutta nykyisillä jätemäärillä sekin täyttyy 25 vuodessa. Asiaan on kuitenkin tulossa muutos parin vuoden kuluttua, kun 2014 Vantaan Energian Oy:n rakennuttama jätteenpolttolaitos valmistuu. HSY on tehnyt sopimuksen Vantaan Energia Oy:n kanssa, jonka mukaan se voi toimittaa 260 000 t/v sekajätettä voimalan polttoaineeksi. Sopimuksen mukaan HSY myös vastaa jätevoimalan kuonien ja tiettyjen tuhkien vastaanotosta. Jätteiden polttaminen pienentää jätemäärää niin, että kaatopaikan käyttöikä voi kasvaa jopa 50 vuoteen. Voimalan käyttö tuottaa kuonaa 65 500 t/v, kattilatuuhkaa ja sähkösuotimelta kerättävää lentotuhkaa 5 600 t/v sekä savukaasujen puhdistusjätettä 13 100 t/v. Näistä kuonat ja lentotuhkat tulevat olemaan HSY:n vastuulla.

Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen uudelle kaatopaikka-alueelle ollaan rakentamassa paikkaa voimalan tuhkien loppusijoitusta varten. Loppusijoituskohde täyttyy viidessä vuodessa, jos vain lentotuhkaa otetaan vastaan. On myös mahdollista, että savukaasujen puhdistusjätteitäkin loppusijoitetaan Ämmässuolle, mikä lyhentäisi nykyisen tilan käyttöajan kahteen vuoteen.

Insinööriyön tarkoituksena on tehdä taloudellinen ja teknillinen selvitys voimalaitoksen jätteiden poltossa syntyvien tuhkien loppusijoitusvaihtoehdoista. Selvityksessä käytetään pääosin konsultin (Ramboll Finland Oy:n) laatimia asiakirjoja, jotka perustuvat koti- ja ulkomailta hankittuun viimeisimpään tietoon jätevoimalan lopputuotteiden hyötykäytöstä ja loppusijoituksesta. Selvityksen perusteella mahdollisesti valitaan käytettävä toimintavaihtoehto tuhkien loppusijoitukselle.

2 Långmossebergin voimalaitos ja sen tuottamat tuhkat

Vantaan Energia aloitti vuonna 2011 Långmossebergin jätevoimalan rakentamisen. Se on tiukat ympäristövaatimukset täyttävä sähköä ja lämpöenergiaa tuottava voimala. Ympäristöluvan hanke sai vuoden 2009 lopussa. Tämänhetkisen aikataulun mukaan voimala on tarkoitus ottaa käyttöön vuonna 2014. Uusi voimalaitos on tarpeellinen, sillä se korvaa yhden Martinlaakson voimalaitoksen loppuun käytetyn tuotantoyksikön, joka poistuu käytöstä 2015. [1.]



Kuva 1. Vantaan Energian Långmossebergin jätevoimala valmistuu 2014 [15].

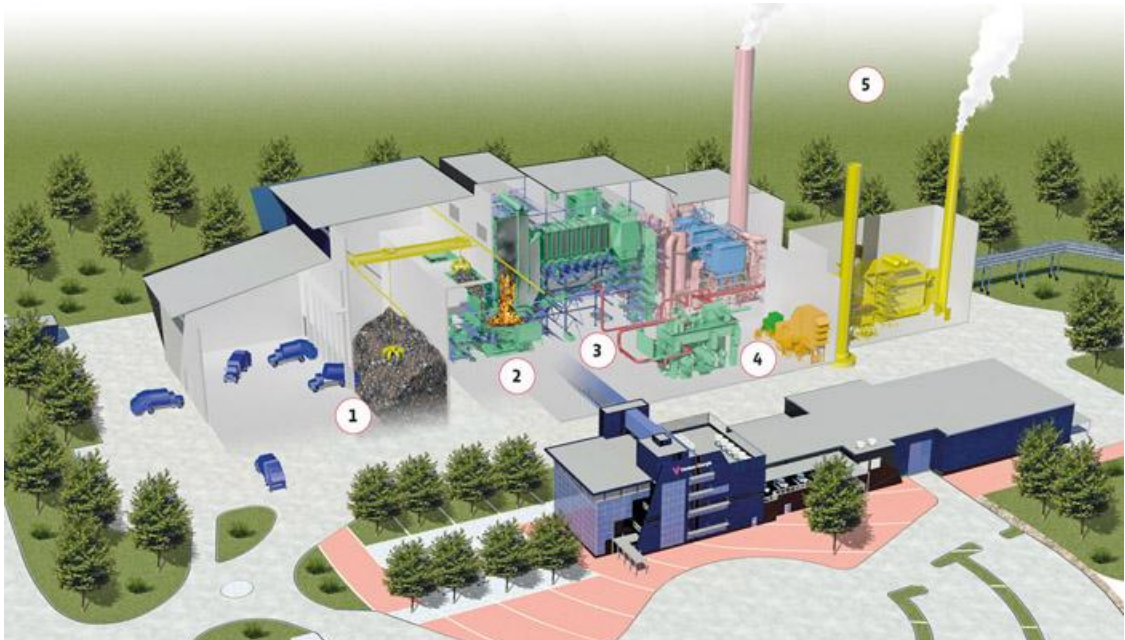
Kasvava Vantaan kaupunki tarvitsee myös uudenaikaisia sähkön ja lämmön tuotantotapoja. Uusi jätevoimala tuottaa vuodessa lämpöenergiaa noin 920 GWh ja sähköä noin 600 GWh. Polttoaineena voimalassa on tarkoitus hyödyntää HSY:n ja Rosk'n Roll Oy:n toimittamia sekajätteitä. Jätteet poltetaan kahdessa arinakattilassa, mitä pidetään tällä hetkellä maailmanlaajuisesti toimintavarmimpana jätteenpolttotapana. Jätepolttolaitetta käytettäessä jätteen oikeanlainen lajittelu on erittäin olennaista, sillä polttoaineen laatu paranee, jos poltettavan jätteen seassa on vähemmän esimerkiksi palamattomia metalleja ja lasia. Myös maakaasua käytetään jätteen ohella tehostamaan voima-

lan energiatuotantoa. Jätevoimala tulee vastaamaan Vantaan kaupungin energiatarpeeseen tuottamalla noin 50% vaadittavasta lämmöstä ja noin 30% sähköstä. [1, 2, 3 s.1-2.]

Energian tuotannon lisäksi jätevoimalla on myös ympäristön kannalta hyödyllisiä vaikutuksia. Ensinnäkin kaatopaikoille vietävän jätteen määrä vähenee, jolloin myös kaatopaikkatoiminnan aiheuttamat ympäristöhaitat pienentyvät. Myös kaatopaikan tilantarve pienee, eikä uusia kaatopaikka-alueita tarvita yhtä nopeasti. Lisäksi voimalan käyttöönotto tulee vähentämään hiilen käyttöä energian tuotannossa jopa 30% ja Vantaan energian päästöt vähenisivät 20%. Hiilidioksidipäästöt vähenisivät noin 130 000 t uuden jätevoimalan myötä. [2.]

Vuotuisella tasolla Långmossebergin jätevoimala tulee ottamaan vastaan 320 000 tonnia arinapolttoon soveltuvia jätejakeita. HSY on varannut itselleen 260 000 t ja Rosk'n Roll Oy on varannut 60 000 tonnia. [3 s.2.]

2.1 Voimalaitoksen toimintaperiaate



Kuva 2. Långmossebergin jätevoimalan prosessikuva [16].

Voimalan uudella ja nykypäiväisellä tekniikalla pyritään ympäristöystävällisempiin energian tuotantotapoihin. Voimalaitoksen toimintaperiaate on jaettu kuvassa viiteen pääprosessiin.

1. Jätteen vastaanotto

- Tuotavien jätteiden punnitus
- Jätteet vastaanotetaan varastobunkkeriin, jonka alipaineistus minimoi ympäristön hajuhaitat
- Bunkkerissa tuodut jätteet sekoitetaan mahdollisimman tasalaatuisiksi.

2. Jätteen poltto

- Jätteet syötetään kahdeeen eri arinakattilaan
- Arinalla jätteet poltetaan yli 1000 °C:ssa
- Polttoprosessiin lisätään maakaasua energiatehokkuuden parantamiseksi.

3. Vapautuvan energian talteenotto

- Palamisenergia tuottama lämpö höyrystää ja tulistaa kattilan veden.
- Höyryn lämpötila nostetaan 400 °C:een ja sen paine kasvatetaan 90 bar:in suuruiseksi.

4. Energian tuotanto

- Vesihöyry pyörittää höyryturbiinia, jolla tuotetaan sähköä
- Kaasuturbiini tuottaa palokaasujen avulla sähköä
- Lisäksi lämmön talteenottokattila kerää vapautuvaa lämpöenergiaa kaukolämmön tarpeisiin.

5. Palokaasujen puhdistus

- Aluksi kaasut kulkevat sähkösuodattimen kautta, joka puhdistaa 90% kaasun hiukkasista
- Kalkin avulla voidaan erottaa happamia kaasuyhdisteitä, kuten rikkioksidia
- Aktiivihiilisuodatin poistaa kaasuista esimerkiksi raskasmetallit
- Savukaasuja lauhdutetaan 50 °C:een erillisessä savukaasulauhduttimessa, jonka tarkoitus on kerätä lämpöenergiaa sekä puhdistaa happamia kaasuja ja hiukkasia [1].

2.2 Voimalaitoksessa syntyvät tuhkat

Voimalaitos tuottaa sivutuotteenaan pohjatuhkaa tai ns. kuonaa 65 500 t/v, kattilatuhkaa ja sähkösuotimelta kerättävää lentotuhkaa 5 600 t/v sekä letkusuotimelta erikseen kerättävää savukaasujenpuhdistusjätettä 13 100 t/v. Kuonat jäähdytetään vesialtaassa, jonka jälkeen ne varastoidaan kuonabunkkeriin tai -lavoille. Tuhkat kerätään kuljettimien avulla prosessilaitteiden pohjilta suoraan siiloihin. Kattilatuhkat ja lentotuhkat kerätään omaan siiloonsa ja savukaasujen puhdistusjätteet omaan siiloonsa. [3 s.2.]

Jätteiden poltosta syntyvien jätteiden lisäksi voimala tuottaa muitakin jätteitä. Seuraavassa taulukossa on jaoteltu mahdollisesti syntyviä jätteitä, niiden määriä vuositasolla ja niiden jatkokäsittelytapoja. [3 s.3.]

Taulukko 1. Långmossenbergin jätevoimalan tuottamat prosessijätteet [3 s.3].

Jätejäte jättekoodi	Tonnina vuodessa	Käsittely/ loppusijoitus
Pohjatuuhka esim. 29 01 11*, 19 01 12	65 500** HSY 53 200 RR 12 300	HSY/hyötykäyttö tai lop- pusijoitus
Kattilatuuhka ja lentotuuhka (suodintuuhka sähkösuodattimelta) esim. 19 01 13* - 19 91 16	5 600** HSY 4 550 RR 1 050	HSY/hyötykäyttö tai lop- pusijoitus
Savukaasujen puhdistuksen jäte let- kusuodattimelta, esim. 19 01 07*	13 100**	Ekokemin käsittelylaitos
Polttoon kelpaamaton jäte (kuten sähkölait- teet), esim. 20 01 36	>10 000 ***	HSY
Ongelmajäte esim. 13 02 05*, 13 05 01*, 20 01 13*, 20 01 21*, 20 01 33*	2 - 5 ***	Ongelmajätelaitos
Yhdyskuntajäte ja kunnossapitojäte esim. 20 03 01, 20 01 38	7 ***	Poltto jätevoimalassa
Lämpöpintojen puhdistuksen lietteet esim. 10 01 22*, 10 01 23	muutamia tonneja ***	Kaatopaikka, tarvittaessa ongelmajätelaitos

3 Tuhkien viranomaisohjaus ja ominaisuudet

Jätteen polton sivutuotteena palamisesta ja kaasun puhdistuksesta syntyy erilaisia kuonia ja tuhkia. Laboratoriossa tutkitaan polttoprosessin tuotteet, jotta voidaan selvittää niiden ominaisuudet ja sisältämät aineet sekä pitoisuudet. Sivutuotteet ovat usein tai pääosin ongelmajätettä ja niiden hyötykäyttömahdollisuudet esimerkiksi maarakentamisessa ovat rajalliset muun muassa niiden sisältämien raskasmetallien vuoksi. Ongelma tai vaarallinen jäte on jätettä, jonka ominaisuudet voivat aiheuttaa terveydelle tai ympäristölle haittaa, mistä syystä se vaatii oikeanlaista käsittelyä. Tästä syystä mm. tuhkat on loppusijoitettava varastotilaan, jotta ne voidaan eristää luonnon kiertokulusta. [3 s.3.]

3.1 Ongelmajätteen määrittäminen

Tuhkien ominaisuudet ja niiden sisältämät aineet sekä yhdisteet määrittävät, kuinka niitä tulee käsitellä tai varastoida. Suomessa jätteenpoltossa syntyviä tuhkia luokitellaan vaarattomaksi tai ongelmajätteeksi jäteasetuksen (1128/01) liitteen 4 ja luettelon yleisimmistä jätteistä ja ongelmajätteistä (jäteasetus 1129/01) perusteella. [3 s.3-4.]

Asetuksessa 1129/01 on listattuna jätetyypit. Osa ongelmajätteistä on merkitty listassa tähdellä, osa on ongelmajätteitä kategoriansa perusteella ja osa on ongelmajätettä, jos niissä on vaarallisia aineita. Viimeisessä tapauksessa jäte määritellään ongelmajätteeksi, jos sen sisältämät vaaralliset aineet ylittävät jäteasetuksen 1128/01 liitteessä 4 määritetyt raja-arvot esimerkiksi aineen pitoisuuden osalta, on aine määriteltävä ongelmajätteeksi [3 s.3-4].

Jätteenpoltosta syntyvät jätteet kuuluvat jätenimikeryhmään 1901. Taulukko 1 Långmossebergin voimalan jätejakeista sisältää myös näitä nimikkeitä:

- 19 01 jätteiden poltossa tai pyrolyysissä syntyvät jätteet
- 19 01 05* kaasujen käsittelyssä syntyvät suodatuskakut
- 19 01 07* kaasujen käsittelystä syntyvät kiinteät jätteet

- 19 01 10* savukaasujen käsittelyssä käytetty aktiivihiili
- 19 01 13* lentotuhka, joka sisältää vaarallisia aineita
- 19 01 14 muu kuin nimikkeessä 19 01 13 mainittu lentotuhka
- 19 01 15* kattilatuhka, joka sisältää vaarallisia aineita
- 19 01 16 muu kuin nimikkeessä 19 01 15 mainittu kattilatuhka [3 s.3-4].

Luettelon perusteella lentotuhka ja kattilatuhka ovat ongelmajätteitä riippuen jätekohtaisesti sen vaaraominaisuuksista.

3.2 Asetus pysyvistä orgaanisista yhdisteistä

Pysyvät orgaaniset yhdisteet (ns. POP-yhdisteet) ovat luonnollisissa olosuhteissa erittäin hitaasti hajoavia, ne kerääntyvät eliöihin ja voivat kulkea ravintoketjussa eliöiltä toisille. Vaikka yhdisteet eivät olisi pienillä pitoisuuksilla myrkyllisiä, muodostuu ongelmaksi niiden hidas kerääntyminen elimistöön. [3 s.4.]

Pitkäikäisyyden ja kaukokulkeutumisen takia pysyvistä orgaanisia yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyssä on huomioitava Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (805/2004/EY) pysyvistä orgaanisista yhdisteistä sekä direktiivin (79/117/ETY) muuttamisesta. [3 s.4.]

Asetuksen liitteessä 4 on säädetty raja-arvopitoisuudet, joiden ylittyessä jätteet on pääsääntöisesti käsiteltävä siten, että POP-yhdisteet tuhotaan tai muunnetaan palautumattomasti. Raja-arvo esimerkiksi PCB-yhdisteille on 50 mg/kg sekä dioksiineille ja furaaneille 0,015 mg TEF/kg. [3 s.4.]

Poikkeustapauksissa, viranomaisen erityisellä hyväksynnällä, jäte voidaan varastoida pysyvästi syvälle turvalliseen kallioperään, suolakaivoksiin tai stabiloituna ongelmajätteen kaatopaikalle, mikäli tietyt pitoisuusraja-arvot alittuvat. Tämä raja-arvo asetuksen liitteen 5 mukaan PCB-yhdisteille on 50 mg/kg sekä dioksiineille ja furaaneille 5 mg TEF/kg. [3 s.4.]

3.3 Tuhkien ominaisuudet

Lentotuhka on hienojakoista hiukkasmaista ainesta. Se syntyy arinapoltossa ja kerätään voimalaprosessissa samalla savukaasujen puhdistuksen kanssa. Jos savukaasut puhdistetaan märkämenetelmällä, lentotuhka erotellaan normaalisti ennen kuin savukaasut pestään. Toinen vaihtoehto on käyttää kuiva- tai puolikuivamenetelmää, jossa lentotuhka yleensä kulkeutuu savukaasujen mukana reaktoriin, missä se erotetaan yhdessä muiden haitta-aineiden kanssa. Tällöin ei muodostu erillistä lentotuhkajäätettä ja lentotuhka on yhdessä savukaasujen puhdistusjätteiden kanssa. Savukaasujen puhdistusjätteistä voidaan käyttää nimitystä APC-jätteet, millä tarkoitetaan lentotuhkaa ja savukaasunpuhdistuksen kiinteitä jätteitä. [3 s.11.]

Lentotuhkissa on suuria määriä suoloja ja raskasmetalleja. Näitä aineita on lueteltuna taulukossa 2, jossa näkyy ongelmajätteen kaatopaikkasijoituksen raja-arvoja. Taulukon perusteella tuhkat ovat pääasiassa ongelmajätteitä. Etenkin lyijyn ja sinkin arvot ovat erittäin korkeita. [3 s.11.]

Taulukko 2. Lentotuhkan ja savukaasujen puhdistusjätteiden sisältämiä haitallisia aineita [3 s.11].

Aineen pitoisuus (mg/kg)	Lentotuhka	APC-jäte (kuiva/ puolikuivamenetelmä)	Maanrakennusasetus*	Ongelmajätteraja**
arseeni (As)	37 - 320	18 - 530	50	1000
barium (Ba)	330 - 3 100	51 - 14 000	3 000	
kadmium (Cd)	50 - 450	140 - 300	15	1000
kloori (Cl)	29 000 - 210 000	62 000 - 380 000		
kromi (Cr)	140 - 1 100	73 - 570	400	1000
kupari (Cu)	600 - 3 200	16 - 1 700	400	2500
elohopea (Hg)	0,7 - 30	0,1 - 51		
molybdeeni (Mo)	15 - 150	9,3 - 29		
nikkeli (Ni)	60 - 260	19 - 710		1000
lyijy (Pb)	5 300 - 26 000	2 500 - 10 000	300	2500
antimoni (Sb)	260 - 1 100	300 - 1 100		
seleeni (Se)	0,4 - 31	0,7 - 29		
sinkki (Zn)	9 000 - 70 000	7 000 - 20 000	2 000	2500

Lentotuhkan ja savukaasujen puhdistusjätteiden sisältämistä aineista suolat ja niistä eritoten kloridit ovat liukoisuuden kannalta tarkimmin huomioitavia. Tavallisesti kloridi

ylittää moneen kertaan ongelmajätekaatopaikoillekin asetetun liukoisuusarvon. Taulukossa 3 on esitetty tuhkien liukoisuusominaisuuksia. [3 s.11-12.]

Taulukko 3. Tuhkien liukoisuusominaisuuksia [3 s.12].

	Yksikkö	Lentotuhka 3	APC-jäte 4	Lentotuhka + APC-jäte 4	Tav. jätteen kaatopaikka (luokkaB1b) **	Ongelmajät- teen kaato- paikka (luok- ka C) **
Ba	mg/kg	4,6	9,6	32	100	300
Cd	mg/kg	0,17	0,06	1,8	1	5
Cr	mg/kg	3,5	9,6	0,45	10	70
Pb	mg/kg	370	300	26	10	50
Cl-	mg/kg	100 000	150 000	170 000	15 000	25 000
SO4 2-	mg/kg	2 500	12 000	11 000	20 000	50 000

Lentotuhkassa on veteen liukenevia suoloja noin neljännes kaikista sen sisältämistä suoloista. Savukaasujen puhdistusjätteissä osuus veteen liukenevista suoloista on 30-40%. Veteen liukenevia suoloja voidaan sitoa tuhkaan esimerkiksi sementin avulla, jolloin tuhkan varastointi on huomattavasti riskittömämpää. [3 s.12.]

Jätteenpolton sivutuotteet sisältävät metalleja, kuten alumiinia, kuparia ja rautaa. Kun nämä metallit reagoivat veden kanssa, muodostuu vetyä. Vety on erittäin syttymisherkkää ja saattaa aiheuttaa vaarallisiakin räjähdyksiä. [3 s.12.]

Tuhkien haitta-ainepitoisuuksista voidaan todeta ne ongelmajätteiksi. Se tekee niiden hyötykäytöstä lähes mahdotonta ilman, että haitta-aineet poistettaisiin tai niiden pitoisuuksia laskettaisiin. Lisäksi tuhista liukenee suoloja niin suuria määriä, että ilman esikäsitteilyä tuhkia ei voida loppusijoittaa edes ongelmajätteille tarkoitettulle kaatopaikalle.

4 Euroopassa käytetyt tuhkien esikäsittely- ja loppusijoitusmenetelmät

Luvussa 4 esitellään Euroopan nykytilannetta tuhkien käsittelyssä. Savukaasujen puhdistuksessa syntyy lento- ja kattilatuhkaa sekä muita APC-jätteitä. Yleensä APC-jätteillä tarkoitetaan niitä kiinteässä olomuodossa olevia jätteitä, jotka muodostuvat lämpöenergian talteenotossa tai sen jälkeen. Tällaisia APC-jätteitä ovat lentotuhka, kattilatuhka, kalkkiylimäärä, kaasunpuhdistuksen reaktiotuotteet, pesuliuosten käsittelylietteet ja kipsi [3 s.18].

Savukaasujen puhdistukseen voidaan käyttää kahta eri menetelmää - kuiva ja puolikuivamenetelmä tai märkämenetelmä [3 s.18]:

- Kuivassa ja puolikuivassa menetelmässä savukaasun happamia komponentteja neutraloidaan lisäämällä joko kuivaa taikka märkää kalkkia yleensä ennen lentotuhkan poistamista savukaasuista. Kuivassa ja puolikuivassa menetelmässä syntyy yksi tai kaksi jätejakeita, jos sähkösuodatin on kattilan jälkeen ennen reaktoria
- Märkämenetelmässä lentotuhka tavallisesti poistetaan savukaasuista ennen kuin happamat komponentit poistetaan. Tässä menetelmässä syntyy normaalisti useampia jätejakeita.

Savukaasujen puhdistuksesta syntyvät tuhkat luokitellaan muualla Euroopassa yleensä ongelmajätteiksi ja niitä hyötykäytetään joko harvoin tai ei ollenkaan. Ongelmallisimpia liukenevia aineita tuhkissa ovat arseeni, elohopea, lyijy, kadmium ja kromi sekä tuhkista liukenevat suolat. Dioksiinit ja furaanit eivät ole niin liukoisia kuin edellä luetellut, mutta ne ovat myrkyllisyytensä puolesta erittäin vaarallisia. [3 s.18.]

Euroopassa tuhkien käsittelyssä on pyritty vähentämään vaikutuksia ympäristöön. Tätä toteutetaan sitomalla esimerkiksi sementillä haitalliset aineet lopputuotteeksi tai poistamalla haitalliset aineet muun muassa polttamalla. Seuraavaksi esitellään Tanskan, Ranskan, Saksan, Italian, Hollannin, Norjan, Ruotsin ja Sveitsin tuhkienkäsittelykäytäntöjä Suomen mallin lisäksi. [3 s.18.]

Suomessa jätteenpolttolaitoksien prosesseista jääneet tuhkat toimitetaan tällä hetkellä Ekokem-Palvelu Oy:n käsittelykeskuksiin Poriin taikka Anjalankoskelle. Tavallisesti

tuhkat käsitellään stabiloimalla sementillä ja sen jälkeen loppusijoittamalla ongelmajät-
teiden kaatopaikalle. Tarvittaessa tuhkia voidaan myös pestä, jotta voidaan saavuttaa
vaadittavat kaatopaikkakelpoisuuden kriteerit. [3 s.18.]

Tanskassa savukaasujen puhdistuksessa syntyvät tuhkat kuljetetaan pääosin ulkomail-
le loppusijoitettavaksi. Yleisimmät kohteet ovat Norja, jossa tuhkat neutraloidaan ja
Saksa, jossa tuhkillä täytetään vanhoja suolakaivoksia. Tanskan säännöstö kieltää
tuhkien loppusijoittamisen kaatopaikalle ja niiden tilapäisen varastoinnin. Tämä johtuu
siitä, että Tanskassa ei ole löydetty sopivaa tapaa tuhkien käsittelyyn. Myös haitta-
ainesten kulkeutumisesta ympäristöön yritetään välttää, mistä on seurannut viranomais-
ten kielteiseen suhtautumiseen tuhkien hyötykäyttöä kohtaan. Tanskassa viranomaiset
eivät ole määrittäneet selkeästi, mikä on hyötykäytön ja loppusijoituksen ero. Todennä-
köisemmin investointeja uudensuolakaivoksiin käsittely- tai hyötykäyttöteknologioihin ei tehdä
ennen kuin viranomaisten linjaus muuttuu. [3 s.18.]

Ranskan linjauksen mukaan jätteenpoltosta tulevat tuhkat ovat ongelmajätettä. Tavalli-
sesti tuhkia käsitellään kiinteyttämällä tai stabiloimalla sementtiä ja kemikaaleja käyttä-
en. Käsitellyt tuhkat viedään ongelmajätteen kaatopaikalle. [3 s.19.]

Saksassa yleisin tapa sijoittaa jätevoimalasta syntyviä tuhkia on varastoida ne käyttä-
mättömiin suolakaivoksiin. Osa savukaasun puhdistuksessa syntyvistä jätteistä stabi-
loidaan ja sijoitetaan kaatopaikoille, mutta myös hyötykäyttönä asfaltin raaka-aineeksi
kuluu pieniä määriä. Tilastojen mukaan vuonna 2005 Saksassa muodostui tavanomai-
sen jätteen poltosta yli 350 000 tonnia tuhkaa, mistä 200 000 tonnia käytettiin suola-
kaivosten täyttöön. Näitä tuhkia ei käsitelty lainkaan ennen kaivoksiin viemistä. Lopuis-
ta tuhista noin 30 000 tonnia loppusijoitettiin maanalaisiin kohteisiin ja viimeiset
120 000 tonnia stabilointiin ja varastoitiin kaivoskuiluihin. [3 s.19.]

Italiassa tuhkat stabiloidaan samaan tapaan kuin Ranskassa kemikaaleja ja sementtiä
käyttäen, minkä jälkeen ne loppusijoitetaan kaatopaikalle. Mutta Italiassa syntyneitä
tuhkia vietiin myös Saksaan hyötykäyttöön käyttämättömien suolakaivosten täytteeksi.
[3 s.19.]

Hollannissa jätteenpolttolaitosten tuhkien loppusijoitusta kaatopaikoille pyritään vähen-
tämään. Tässä voi olla taustalla Hollannin pieni maantieteellinen pinta-ala sekä kaato-
paikkojen kasvun pienentäminen. Hollannissa pyritäänkin kasvattamaan hyötykäyttöä

ja tuhkien osalta se on jopa noin 50 %. Noin puolet savukaasun puhdistusjätteistä sidotaan sementillä ja loppusijoitetaan kaatopaikalle tai toinen vaihtoehto on pakata tuhkat suursäkkeihin jolloin stabilointia ei tarvita. Hyötykäytössä noin kolmannes lehtotuhkasta menee asfaltin valmistukseen, missä sitä hyödynnetään kalkkikiven korvaavana täyttöaineena teiden rakentamisessa. Niin kuin muuallakin Euroopassa myös Hollannista viedään merkittäviä määriä lentotuhkaa ja savukaasujen puhdistusjätteitä Saksan tarpeettomien hiili- ja suolakaivosten täytemateriaaliksi. [3 s.19.]

Norja on omavarainen tuhkiensa käsittelyssä. Se toimittaa kaikki jätteen poltossa syntyvät tuhkat niille varatuille kaatopaikoille. Saksan tapaan Norja ottaa vastaan myös naapurimaidensa jätteenpolttotuhkia. [3 s.19.]

Länsinaapurissamme Ruotsissa tuhkien käsittelyyn on käytännössä kaksi eri vaihtoehtoa: Ne ovat tuhkien stabilointi ja kaatopaikalle toimittaminen taikka vienti Norjan tuhkien säilytykseen varatuille kaatopaikoille. Ruotsissa on myös muitakin vaihtoehtoja, joita muutama jätteenpolttolaitos käyttää. Eräs laitos on saanut luokiteltua tuhkinsa tavanomaiseksi jätteeksi, milloin ne on mahdollista sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Toinen yritys täyttää jätteen polttotuhkilla vanhoja öljyvarastotiloja ja kolmas puhdistaa tuhkistaan klorideja pesemällä, milloin niistä tulee tavanomaista jätettä. Ruotsissa on myös etsitty nykyisten vaihtoehtojen lisäksi ulkomaalaisia toimintamalleja, kuten Norjan neutralisointimenetelmä tai Saksan tapa täyttää käyttämättömiä kaivoksia. [3 s.19.]

Sveitsissä käytetään savukaasujen puhdistukseen pääosin märkämenetelmää ja vain pienellä osalla jätteenpolttolaitoksista on puolikuiva menetelmä. Tilastojen mukaan Sveitsissä syntyi vuonna 2004 tavanomaisen jätteen poltossa noin 61 000 tonnia lentotuhkaa. Näistä tuhkista 18 % happopestiin ja sekoitettiin kuonaan, minkä jälkeen seos loppusijoitettiin kaatopaikalle, 36 % vietiin Saksaan hyötykäyttöön suolakaivosten täytöihin sekä 46 % pestiin ja kiinteytettiin, minkä jälkeen ne toimitettiin kaatopaikalle loppusijoitukseen. Myös pieni osa tuhkista vietiin Ranskaan metallien talteenottoon ja sulatoille. [3 s.19.]

Tuhkien kuljettaminen Saksan suolakaivoksiin on Euroopassa yleistä ja tulee todennäköisesti jatkumaan myös tulevaisuudessa. Myös toimitukset Norjaan jatkuvat myös tulevaisuudessa. Tuhkan kuljetus rajojen yli voi tulla kalliiksi nykyisillä logistiikkakustannuksilla ja se on mahdollista maille, joille maantieteellinen sijainti tuo viennin kannatta-

vaksi. Olisi kumminkin olennaista, että nykyisten käytäntöjen rinnalle kehitettäisiin uusia ja parempia esikäsitelymenetelmiä, kuten pesu- tai stabilointivaihtoehtoja. Pesumenetelmien avulla voitaisiin saavuttaa enemmän hyötykäyttömahdollisuuksia, jos haitallisten aineiden pitoisuudet saataisiin pienennettyä. [3 s.19.]

4.1 Esikäsitely

On olennaista ympäristön turvallisuuden ja kaatopaikkakelpoisuuden saavuttamisen kannalta, että tuhkat käsitellään ennen loppusijoitusta. Esikäsitelymenetelmät voidaan suurpiirteisesti jakaa kiinteytys- ja stabilointimenetelmiin, märkä/kuivapesumenetelmiin sekä termisiin menetelmiin. Suurimmat Euroopassa käytetyt kaupalliset menetelmät ovat oikeastaan kiinteytys- ja stabilointimenetelmät. [3 s.34.]

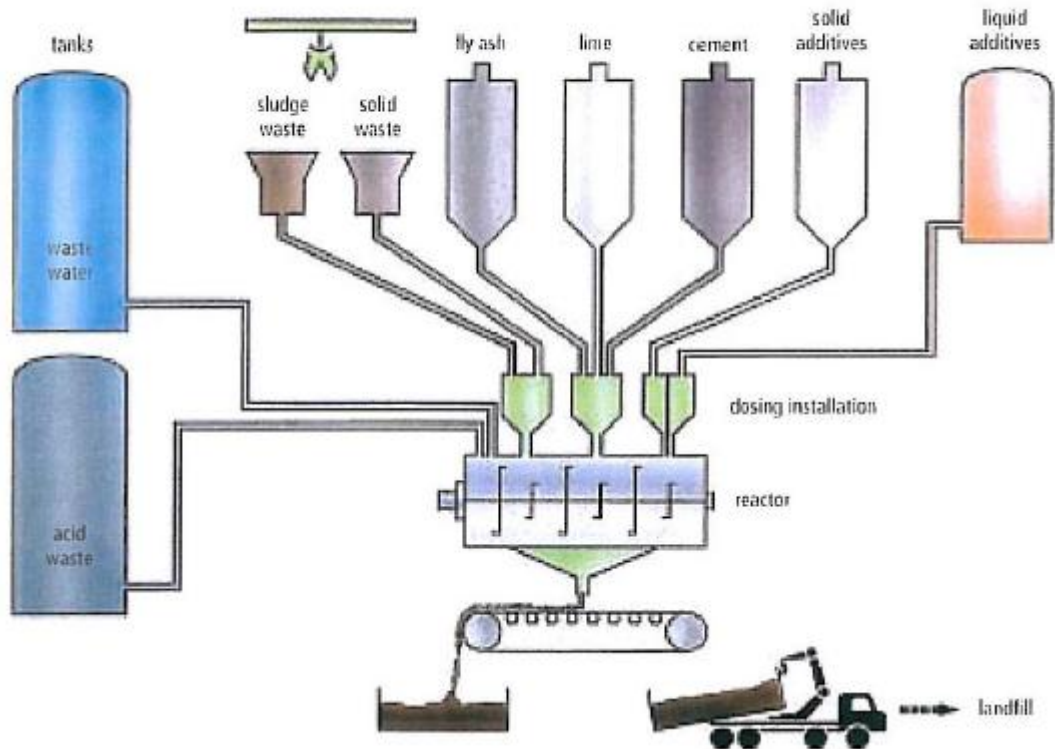
4.1.1 Stabilointi/ kiinteytys

Tuhkan kiinteytyksellä tarkoitetaan toimintatapoja, joilla jäteaines on tarkoitus kapseloida sideaineen avulla fysikaalisesti ja hydraulisesti. Kiinteytyksen tavoitteena on pienentää haitallisten aineiden kuten raskasmetallien liukoisuutta, kun tuhka on loppusijoitettu.

Kiinteytyksestä voidaan käyttää myös termiä stabilointi, koska kiinteytys usein stabiloi metallit myös kemiallisten prosessien avulla. [3 s.34.]

Suurin saavutettavien hyöty kiinteytyksessä on liukoisuuden huomattava pienentyminen ja mekaanisten ominaisuuksien kasvu. Kiinteytystekniikat eivät ole monimutkaisia prosesseja. Haittapuolena tekniikassa on, että loppusijoitetun aineksen fysikaaliset ominaisuudet voivat heikentyä ajan myötä sekä kiinteytys kasvattaa jätteen massaa ja tilavuutta. [3 s.34.]

Maailmalla tunnetuin tuhkien kiinteytystapa on sementtikiinteytys. Prosessia sekoitetaan yhteen tuhka, sementti, vesi ja tarvittavat lisäaineet. Lisäaineiden pääasiallinen tarkoitus on lisätä lopputuotteen lujuutta, tähän tarkoitukseen voidaan käyttää mm. muita jätteaineita. Sementtikiinteytystä voidaan käyttää erilaisissa sovelluksissa, joko omalla menetelmänään tai yhdessä muiden esikäsitelymenetelmien kanssa esimerkiksi happo uuton yhteydessä. Kiinteytyksen tavallisimpia käyttökohteita ovat tuhkien ongelmajätteenkaatopaikka sijoitukset tai tyhjien kalliotilojen täyttö. [3 s.34.]



Kuva 3. Erään eurooppalaisen toimijan käyttämä tuhkienstabilointiprosessi [3 s.35].

Suomalainen Ekokem-Palvelu käyttää tuhkiensa kiinteytykseen sementtiä. Tuhkat esikäsitellään Porissa, jonne tuhkat tuodaan säiliöautoissa noin 25 - 36 tonnin kuormissa vesipitoisuudesta riippuen. Tuhkat kiinteytetään käyttämällä betoniasemaa, jossa on normaali sekoittava annostelulaitteisto ja se pystyy käsittelemään noin yhden kuorman tunnissa. [3 s.35.]

Prosessissa tuhkaan annostellaan 30 - 60 % vettä ja 10 - 20 % sideainetta tuhkan massasta. Tuhkalaadusta riippuen sideainetta voi kulua jopa 30 - 40 %. Tuhkien massa ennen esikäsitelyä on 0,4 - 0,7 t/m³ ja kiinteytettynä massa kaksinkertaistuu ja sen ominaispaino on noin 1,5 t/m³. Näin ollen kiinteytyksen jälkeen yhdestä tonnista kiinteyttävää tuhkaa saadaan noin yhden kuution verran loppusijoitukseen kelpaavaa ainesta. Kiinteytyksen jälkeen tuhka muistuttaa maabetonia. [3 s.35, 10.]

Sementin sijasta kiinteyttävänä aineena voi toimia myös asfaltti, koska tuhkaa voidaan käyttää asfaltissa täytemateriaalina. Hollannissa tekniikka on otettu kaupalliseen käyttöön ja tuhkapitoisia asfaltteja voidaan hyödyntää tienrakentamisessa. Myös Japanissa

käytetään asfalttia tuhkan kiinteytykseen, mutta näitä asfalttirakenteita käytetään vain kaatopaikkarakenteissa. [3 s.35.]

Seuraavassa luettelossa on suunnittelijakonsultin tekemä arvio kiinteytys kustannuksista. Kustannusten perustana on Ekokem-Palvelun tasoinen esikäsittelyprosessi vuotuiselle 5000 tonnin tuhkaerälle. [3 s.39.]

- Tuhkien kuljetus Ämmässuon jätteenkäsittelykeskukseen 10 €/t
- Tuhkien esikäsittelyprosessi 10 €/t
- Kiinteytyksen sideainekulut 30 €/t
- Muut lisäkustannukset kuten laadunvalvonta 10 €/t [3 s.39].

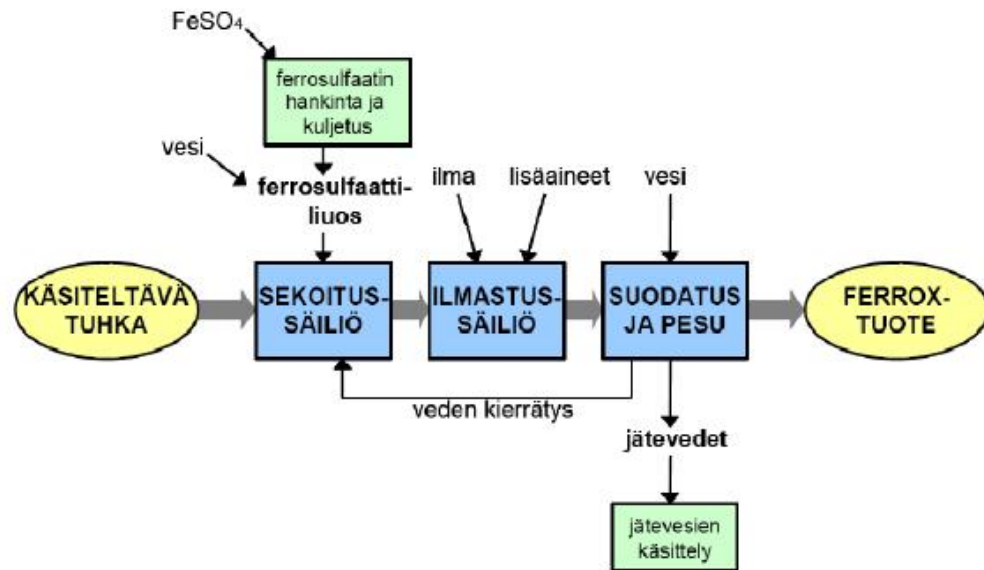
Arvion perustuen kiinteytysprosessin hinta on 60 €/t tasolla [3 s.39].

4.1.2 Kemiallinen stabilointi

Kuten kiinteytyksessäkin kemiallisessa stabiloinnissa päätarkoitus on sitoa tuhkien haitalliset aineet kiinteämpään muotoon. Kemiallinen stabilointi koostuu eri käsittelytavoista. Käsittelyn etuina voidaan pitää yksinkertaista prosessia ja liukoisuusominaisuuksien parantumista. Ehdottomana haittana on prosessin sivutuotteena tuleva metalleja ja suoloja sisältävä vesi. [3 s.35.]

Kemiallisen stabiloinnin käytettävissä olevia vaihtoehtoja on useita. Kaupallisesti tarjolla oleva Ferrox®-menetelmä, missä stabiloitavat jätteet sekoitetaan rautasulfaattiliuokseen, jossa seos hapettuu. Menetelmää myy Babcock&Wilcox Volund. Lentotuhkan kemiallisen stabiloinnin ainesuhteet ovat 10 tonnia tuhkaa, 30 m³ vettä ja 700 kg ferrosulfaattia. [3 s.35-36.]

Tästä saadun tuotteen vesipitoisuus on noin puolet. Rautaoksidien lisääminen voi vähentää metallien liukoisuutta ja liukoisuusominaisuudet ovat paremmat kuin sementtistabiloiduilla tuhkillä. [3 s.36.]

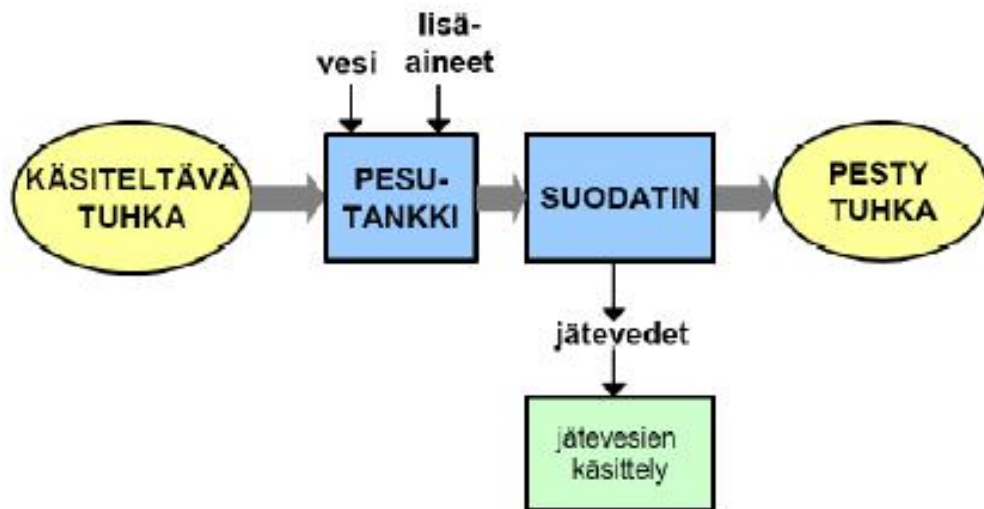


Kuva 4. Ferrox-menetelmän prosessikaavio [3 s.36].

4.1.3 Märkämenetelmiä

Märkämenetelmissä tarkoituksena on poistaa tuhista raskasmetalleja ja suoloja veden tai happojen avulla. Käsittelytavat eivät ole monimutkaisia ja niitä käytetään muiden menetelmien rinnalla tehostamaan esikäsittelyä esimerkiksi kemiallisen tai sementtistabiloinnin yhteydessä. Märkämenetelmän paras puoli on prosessin yksinkertaisuus, mutta sen sivutuotteena syntyy metalli- ja suolapitoista vettä. [3 s.36.]

Tuhkan peseminen vedellä poistaa jäteaineksesta lähes kaiken suolan, mutta raskasmetalleja erottuu vain noin prosentti. Tämän vuoksi vesiuttoa tai pesua hyödynnetään muiden menetelmien yhteydessä, koska pelkkä pesu ei ole tarpeeksi puhdistava prosessi. Vesipesussa käyttämällä noin tunnin viipymäaika ja 2 - 5 l/kg neste - kiinteäainessuhdetta pystytään kokonaisuudesta erottamaan noin 10 - 30 %. [3 s.36.]



Kuva 5. Märkämenetelmän prosessikaavio [3 s.37].

Happopesu tai -uutto ovat vastaavia vesimenetelmien kanssa, mutta happokäsittely poistaa huomattavasti tehokkaammin metalleja, tämä johtuu useimpien metallien ominaisuudesta liueta alhaisessa pH:ssa. Tavallisesti 30 - 60 % kationisista metalleista voidaan poistaa hapon avulla. Käsittely ei välttämättä paranna liukoisuusominaisuuksia, johon vaikuttaa enemmän suolojen kuin metallien osuus. [3 s.37.]

4.1.4 Lämpökäsittelymenetelmiä

Lämpökäsittelymenetelmissä käsiteltäviä tuhkia kuumennetaan. Lämpötilan nostamisella pyritään vaikuttamaan jäteaineen fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin ja jotkin aineet jopa kapseloituvat käsittelyn aikana. Käsittelytavan etuna on tiivis ja stabiili, sekä hyvät liukoisuusominaisuudet sisältävän lopputuotteen synty. Toinen hyöty on orgaanisten yhdisteiden kuten furaanien tai dioksiinien palaminen. Lämpökäsittelyn suurimpana haittana on suuri energian tarve ja savukaasujen muodostuminen. Lämpökäsittely tai termiset menetelmät voidaan jakaa vitrifikaatioon, sulatukseen ja sintraukseen. [3 s.37.]

Vitrifioinnissa sulatetaan tuhkan sekä sinkki- tai magnesiumoksidin seos 1300 - 2000 °C: lämpötilassa, jolloin prosessista muodostuu kiinteää ainetta. Tekniikkaa käytetään kaupallisesti Japanissa, jossa on noin 40 laitosta, sekä muualla Aasiassa. Euroopassa ja Yhdysvalloissa on joitakin vitrifikaatiota tekeviä laitoksia. [3 s.37.]

Sulatusmenetelmä muistuttaa paljolti yllä olevaa menetelmää, mutta tuhkaan ei lisätä mitään aineita. Lopputuotteeksi syntyy useita eri metalliyhdisteitä ja -seoksia. Metallit voidaan erottaa toisistaan prosessin aikana niiden ominaissulamislämpötilojen avulla. Prosessilämpötilat ovat samaa luokkaa vitrifikaation kanssa. Menetelmä on kaupallisesti tarjolla ja sen käyttö on yhtä laajaa kuin vitrifikaatiolla. [3 s.37.]

Sintrauksen tarkoitus on nostaa tuhkien lämpötilaa niin, että yksittäiset hiukkaset sitoutuvat yhteen. Prosessilämpötilana käytetään 900 - 1300 °C. Menetelmä on aiemmin kehitetty kuonien käsittelyyn. Jotkin eurooppalaiset toimijat käyttävät teknologiaa, jossa tuhkat sintrattaisiin kuonien kanssa. Tekniikka ei ole läheskään yhtä laajamittaisessa käytössä kuin sulatus tai vitrifikaatio. [3 s.37.]

4.2 Vienti Norjaan

Norjassa tuhkia käsittelee NOAH AS:n jätteenkäsittelykeskus. Se sijaitsee Holmestrandin kaupungin edustalla sijaitsevalla Langoyan saarella. Saari on kooltaan 3 km pitkä ja 500 m leveä. Saarella on louhittu kalkkikiveä sementtiteollisuuden tarpeisiin yli sadan vuoden ajan. Nykyään saarella toimivalla NOAH AS:lla on noin 70 työntekijää. Yritys ottaa vastaan, käsittelee ja loppusijoittaa muun muassa tavanomaisen jätteenpoltossa syntyviä tuhkia, jätehappoja ja pilaantuneita maita Skandinavian alueelta. [3 s.38.]

Suurin työllistäjä saarella on rautapitoisen jäterikkihapon neutralointiprosessi kalkkikivellä, jota kuluu 200 000 tonnia vuodessa. Kalkkikiven rinnalle neutralointiprosessiin on otettu käyttöön jätteen poltossa syntyvien alkalisten tuhkien hyödyntäminen. Tuhkien käyttö neutraloinnissa on muutaman viime vuoden aikana kasvanut 150 000 tonniin vuodessa. Neutraloinnissa syntyy rautapitoista kipsiä, jolla täytetään vuosien saatossa kalkkikiven louhinnasta syntyneitä louhoksia. Näillä näkymin louhosten täyttö jatkuu vuodelle 2030, jolloin yli 7 Mm³ loppusijoituslupa täyttyy. [3 s.38.]



Kuva 6. Vasemmallalla on tuhkan käsittelyasema ja vasemmallalla on louhosallas lietettä varten [3 s.38].

NOAH AS:n tuhkien vastaanotto Langoyan saarelle maksaa 50 - 70 € tonnilta. Jäte voidaan kuljettaa paikanpäälle säiliöautoissa irtotavarana tai suursäkeissä. Tuhkien toimittaminen säiliöautolla 30 tonnin kuormissa maksaisi noin 120 €/t HSY:n konsultin saaman budjettitarjouksen mukaan. Mutta NOAH AS:n lähettämän alustavan tarjouksen mukaan kokonaiskustannukset loppusijoitukselle olisivat 130 €/t, vaikka yritys itse noutaisi tuhkat Vantaan jätteenpolttolaitokselta. [3 s.38, 40.]

4.3 Vienti Saksan suolakaivoksiin

Saksan suolakaivokset ovat olleet käytössä jo 1800-luvulta lähtien. Ne sijaitsevat noin 500 - 800 metrin syvyydellä maanpinnan alapuolella, louhittujen käytävien korkeus vaihtelee viidestä kymmeneen metriin. Suolakaivosten täyttäminen ehkäisee kaivosten sortumariskiä, minkä takia toimintaa harrastetaan. Tuhkat soveltuvat ominaisuuksiltaan hyvin kaivosten täyttöön. [3 s.38.]

Eräs saksalaisista toimijoista alalla on K+S Entsorgung GmbH. Yritys harjoittaa toimintaansa kahdessa eri kaivoskohteessa. Toinen on maailman suurin tuhkien loppusijoituskohde Herfa-Neurode ja toinen on Zielitz lähellä Magdeburgia. [3 s.38.]

Tuhkat sijoitetaan kaivoksiin suursäkeissä tai irtonaisena tavarana. Irtonaisesta tuhkas- ta tehdään sideaineilla lietemäinen seos ja se pumpataan kaivoskäytäviin. Käsiteltyä tuhkaa voidaan käyttää myös suursäkeillä täytettyjen käytävien lopputäyttöön. [3 s.38.]



Kuva 7. Suursäkkien lopputäyttöä käsitellyllä tuhalla [3 s.39].

K+S Entsorgung GmbH veloittaa tuhkien loppusijoituksesta esikäsittelyineen 70 - 100 €/t. Kuljetus Suomesta säiliöautoilla 25 tonnin kuormissa tulisi maksamaan 135 €/t HSY:n konsultin saaman budjettitarjouksen mukaan. Tällöin kokonaissumma olisi 205 - 235 €/t. [3 s.39-40.]

4.4 Vienti Ruotsiin

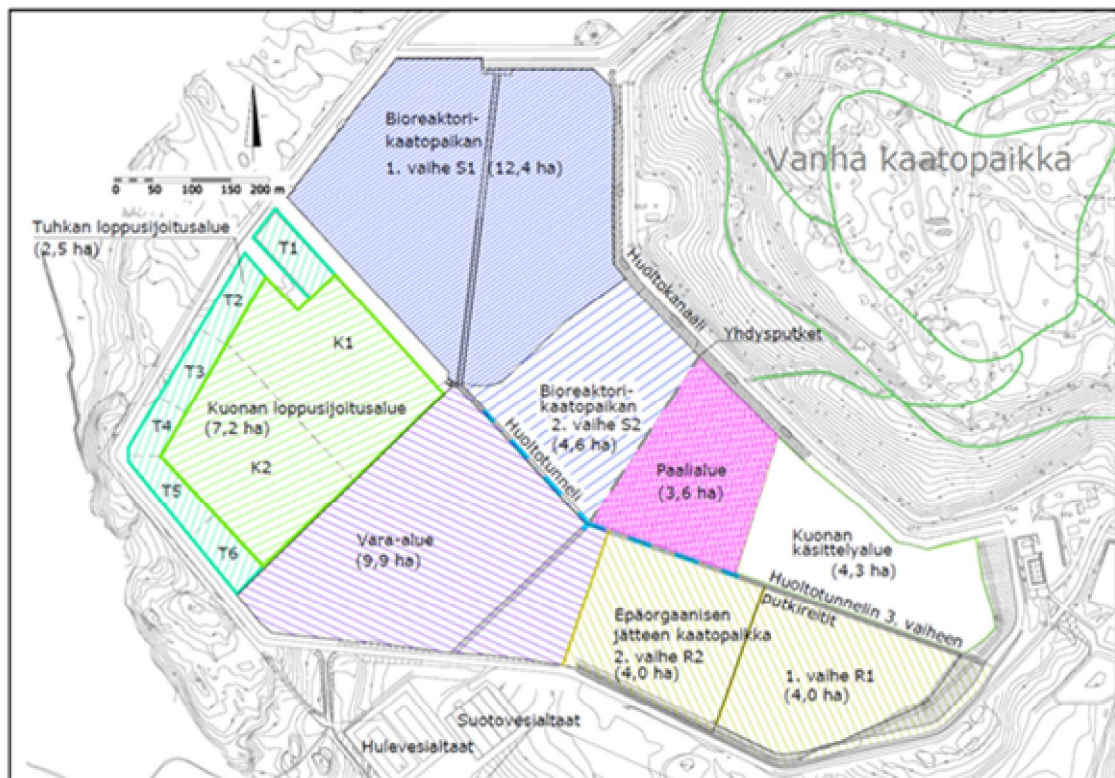
Ruotsissa loppusijoitettavat jätteet pyritään toimittamaan omiin sijoituskohteisiin. Tällaisia sijoituskohteita on ollut mm. 30 - 50 metrin syvyydelle kallioon louhittuja käytöstä poistettuja öljytuotteiden varastoluolia. [3 s.39.]

Ruotsalainen toimija E.ON Värme Sverige loppusijoittaa energian tuotannosta syntyviä tuhkia Norrköpingin läheisyydessä sijaitsevan voimalaitosalueen vanhoihin öljytuotteiden varastoluoliin. Osa tuhista on syntynyt jätteiden poltossa. Kalliotiloja on alueella paljon ja niiden tilavuudet ovat 100 000 m³ ja 160 000 m³. E.ON pyrkii laajentamaan toimintaansa alueella ja on hakenut lupaakin siihen, sillä tilaa on runsaasti. [3 s.39.]

Ruotsissa toimiva jätealan yritys Ragn-Sells Avfallsbehandling Ab on anonut lupaa loppusijoittaa tuhkia Gävlen omistuksessa olevia kalliotiloja. Kyseessä on luolasto, jonka yhteistilavuus on 750 000 m³. Luolastoja käytetään osittain öljytuotteiden varastointiin. Tuhkien viennistä Ruotsiin ei ole tehty taloudellista selvitystä. [3 s.39.]

5 Tuhkien loppusijoitus Ämmässuon jätteenkäsittelykeskukseen

Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus on kasvanut vuonna 1987 perustetun kaatopaikan ympärille Pohjoismaiden suurimmaksi toimivaksi jätteen käsittelykeskukseksi. Ämmässuo on laajuudeltaan 190 ha, mistä noin 100 ha toimii kaatopaikka-alueena ja 25 ha on hyötykäyttöalueeksi varattua tilaa. Alueen toimintaa kehittää ja pitää yllä HSY Jätehuolto. Keskukseen tuodaan yhdyskuntajätteet Helsingin, Espoon, Kauniaisten, Vantaan ja Kirkkonummen kunnista. Vuonna 2014 valmistuvan Långmossebergin jätevoimalan valmistuttua, joka esitelly luvussa 2, yhdyskuntajätteistä muodostuneet tuhkat tuodaan loppusijoitukseen jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueelle rakennettuihin ongelmajättesoluihin. [4 s.38, 5 s.62.]



Kuva 8. Karttakuva Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueen jaottelusta [16].

Tuhkien uusi loppusijoituspaikka tullaan rakentamaan Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen uudenkaatopaikka-alueen lounaisosaan. Loppusijoituspaikka toteutetaan louhitun kallioalueen reunaan, jossa on noin 10 m korkeinen kallio seinämä. Rakenteet tehdään tämän kallioseinän suuntaisena ja sitä vasten tuetaan toinen pituussuuntaisista seinistä. Rakennuspohjana on louhittu kiinteä graniittinen kallioperä, jossa esiintyy

kivilajille tyypillistä vaakarakoilua ja kallion melkoisen runsaasti rakoillut pintaosa on vettä johtavaa. Alueen pohjan on louhittu tasoon +51 - +53 metriä merenpinnasta. Lisäksi kalliassa on havaittu pystyrakoilua, jonka rakoilusuunnan voidaan todeta kulkevan pohjois-eteläsuuntaiseksi. Pystyrakoilun kaateet ovat enimmäkseen itään ja niistä voi havaita merkkejä veden virtauksesta. Loppusijoitusalueen kallioperässä ei ole rakentamisen kannalta merkittäviä laajoja rikkonaisia vyöhykkeitä. Kalliolle rakentaminen tarjoaa varman ja kestäväen rakennuspohjan tuhkien loppusijoitukseen, koska sen vaatimat rakenteet ovat raskaita ja tarvitsevat tukevan perustan. Myös pitkäikäisyys on erittäin merkittävää, sillä tuhkat ovat pääosin hyötykäyttöön kelpaamatonta ongelmajätettä ja rakenteiden on estettävä haitta-aineiden kulkeutumisen pois loppusijoituskohteesta. [4 s.5.]

Pohjavesien huomioon ottaminen on tässä työssä olennaista, jottei niitä saastuteta ja rakennuksen aikanakin pohjavesi ei aiheuttaisi ongelmia työn suhteen. Alueella eikä sen lähiympäristössä ole pohjavesiesiintymiä, jotka olisivat vedenhankinnan kannalta merkittäviä ja lähimmätkin sijaitsevat yli kahden kilometrin etäisyydellä. Pohjaveden korkeus loppusijoitusalueella on 2000-luvulla ollut +44 - +48, mikä on 2 - 9 metriä louhitun pinnan alapuolella. Pinnan korkeudella on vaikutusta mahdollisiin louhintatöihin, joita loppusijoitussolujen rakennuttaminen voi vaatia. On tärkeää, että loppusijoitusalue rakennetaan pohjaveden pinnan yläpuolelle. Sen tarkoituksena on ennen kaikkea estää pohjaveden saastuttaminen ja lisäksi työn aikana säästyttäisiin pohjaveden pinnan alennustoimien tuomilta lisätöiltä ja -kustannuksilta. [4 s.6.]

Loppusijoitusalue sijaitsee lähellä luonnon alueita, joiden ympäristö on suojeltu niiden arvokkaiden luonnollisten elinympäristöjen säilyttämiseksi. Alle 5 km etäisyydellä Ämmäsuosta sijaitsee mm. Kakarlammen luonnonsuojelualue, jossa on arvokas suo- ja vesiluonto, Nuuksion kansallispuisto, joka on Natura 2000 -kohde sekä Suonsilmän alue, joka on asemakaavassa merkitty luonnon monimuotoisuuden kannalta merkittäväksi alueeksi. Onkin olennaista, että loppusijoitusalueen toteutuksessa käytetään parasta mahdollista rakennustapaa myös luonnon turvaamiseksi. [4 s.8.]

Luvussa 5 tullaan vielä käsittelemään tuhkan loppusijoituksen asetuksia ja säädöksiä, ympäristöluvan vaatimuksia rakenteille, loppusijoituksen nykyistä tilannetta Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksessa sekä neljä uutta loppusijoitusvaihtoehtoa ja niiden vertailua. Uusista vaihtoehdoista esitetään kannattavin rakennevaihtoehto.

5.1 Valtioneuvoston asetus ongelmajätteiden loppusijoituksesta

Koska tuhkat luokitellaan ongelmajätteeksi, niin on ne sijoitettava myös ongelmajätteen kaatopaikalle. Ongelmajätteen kaatopaikan vähimmäiskriteerit on määritelty Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista 4.9.1997/861 liitteessä 1. Liite määrittää kaatopaikojen osalta mm. sijainnin, vesien hallinnan, rakenteiden vaatimukset tavanomaisen ja ongelmajätteen kaatopaikoilla. [6.]

Kaatopaikan sijainnin kannalta on olennaista, että se rakennetaan kantavalle maaperälle kuten kalliolle. Kantavuus on olennainen tekijä, koska jätemäärien massat ovat valtavat ja vaativat tukevaa perustaa. Jos kaatopaikalla syntyisi painumia maan kantavuuden pettäessä, voisivat kaatopaikan eristerakenteet pettaa ja ympäristöön pääsisi vuotamaan haitallisia aineita. Myös luonnonsuojelualueet, vesistöt ja vedenottamot, kuten pohjavesialueiden läheisyys on otettava huomioon kaatopaikan sijoituksessa. [6.]

Kaatopaikan vesien hallinta on olennainen osa jätteenkäsittelyn toimintaa. Kaatopaikoilla syntyvät valuma- ja sulamisvedet on pidettävä erillään kaatopaikan jätteistä sekä jätevesistä. Myös paikallisen pohjaveden suojeleminen on varmistettava. [6.]

Kaatopaikan rakenteilla on tarkoitus eristää jätteet muusta ympäristöstä ja estää niiden vuorovaikutus. Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikkarakenteista vaatimuksia on määritelty kaatopaikan pohjarakenteiden ja pintarakenteiden osalta. [6.]

Rakennettaessa ongelmajätteen kaatopaikkaa vaaditaan pohjarakenteen vedenläpäisevyydeltä vähintään $1,0 \times 10^{-9}$ m/s ja kerroksen paksuuden tulisi olla vähintään 5 metriä. Jos kaatopaikan pohjamaa ei täytä näitä arvoja ja pohjarakenne tehdään esimerkiksi suoraan kallion päälle, on maaperän tiiveyttä parannettava rakentamalla tiivistyskerros. Ongelmajätteen kaatopaikalla tämän tiivistyskerroksen paksuus on oltava vähintään metri. Lisäksi tiivistyskerroksen päälle on rakennettava keinotekoinen eriste ja salaojakerros, joiden yhteispaksuus on oltava vähintään 0,5 metriä. [6.]

5.2 Ympäristöluvassa asetetut vaatimukset rakenteille

Tuhkien loppusijoitusalue muodostuu kolmesta rakenteesta, jotka ovat pohja-, seinämä- ja pintarakenne. Niiden tarkoituksena on muodostaa yhtenäinen ja vaatimukset

täyttävä kokonaisuus tuhkien sijoitusta varten. Sen täytyy olla niin tiivis, että rakenteeseen ei pääse sisään esim. vettä eikä sieltä ei poistu mitään aineita. Tämä saadaan tekemällä rakenteisiin riittävät varmistukset tiiveyden varmistamiseksi ja materiaaleiksi on valittava parhaita markkinoilla olevia tuotteita, jotka on todettu toimiviksi kaatopaikkakäytössä. Muun muassa loppusijoitettavat tuhkat lisäävät betonirakenteiden kemiallisen kestävyuden vaatimuksia. Myös alueen vesien hallinta on otettava huomioon, jotta tuhkien loppusijoitusalueen puhtaat valumavedet sekä likaiset valumavedet ja suotovedet eivät pääse sekoittumaan keskenään.

Tehtävät rakenteet ja käytettävät materiaalit hyväksytetään teknillistaloudellisten vertailujen perusteella ennen, kuin rakentaminen aloitetaan. Työtä varten on laadittava uusi ympäristölupa, jonka toteutuksessa sovelletaan tässä insinööriyössä selvitettyjä tuloksia ja suosituksia. [4 s.8.]

5.2.1 Pohjarakenne

Pohjarakenteeksi on esitetty kahta eri rakennevaihtoehtoa; VE1 ja VE2. Pohjarakennevaihtoehto määräytyy seinämärakenteen keinotekoisien eristemateriaalin mukaan, koska niiden on oltava kaikissa rakenteissa samaa materiaalia. Mikäli seinämärakenteen eristeeksi valitaan bitumigeomembraani, käytetään pohjarakenteena vaihtoehtoa VE1, jossa keinotekoisena eristeenä toimivat asfalttiset tiivisrakenteet. Mikäli taas seinämärakenteen keinotekoisesti eristeeksi valitaan HDPE-kalvo, niin pohjarakennevaihtoehdoksi valikoituu VE2. [4 s.8-9.]

Kalliopinta muotoillaan pohjarakennetapaa katsomatta betonimurskeella, joka on raekooltaan 0 - 8 mm, tai kivituhkalla, joka on raekooltaan 0 - 6 mm. [4 s.9.]

VE1:n rakenteet järjestyksessä alimmasta aloittaen ovat seuraavat:

- Mineraalinen tiivistyskerros 950 mm:n murske- tai maabentoniittikerros, jonka vedenläpäisevyyskerroin k on $6,0 \times 10^{-10}$ m/s
- 55 mm:n asfalttibetonikerros (ABT 16), jonka tyhjätila on enintään 3,0 %
- 2 x 30 mm valuasfalttikerrosta (KBVA), joiden massamäärä on 70 kg/m^2 ja tyhjätila on enintään 2,0 %

- 500 mm:n salaojakerros kalliomurskeesta, jonka raekoko on 16 – 32 mm, tai muusta kiviaineksesta, joka vastaa edellä mainittua
- Suodatinkangas N3 [4 s.9].

VE2:n rakenteet järjestyksessä alimmasta aloittaen ovat seuraavat:

- Mineraalinen tiivistyskerros 1100 mm:n murske- tai maabentoniittikerros, jonka vedenläpäisevyyskerroin k on $6,0 \times 10^{-10}$ m/s
- 2,5mm:n HDPE-kalvo
- Suojageotekstiili neulasidotusta polypropeenista tai polyeteenistä, jonka paino on 1200 g/m^2
- 500 mm:n salaojakerros kalliomurskeesta, jonka raekoko on 16 – 32 mm, tai muusta kiviaineksesta, joka vastaa edellä mainittua
- Suodatinkangas N3 [4 s.9].

Mineraalisen tiivistyskerroksen tehdään joko murskebentoniitistä, jonka runkoaineena on kalliomurske tai maabentoniitistä, jossa käytetään murskaamalla homogenisoitua luonnonmoreenia. Se voidaan toteuttaa siltti- tai hiekkamoreenilla. Runkoaineeseen sekoitettava bentoniitti voi puolestaan olla natrium- tai kalsiumbentoniittia, jonka pitoisuus määritetään rakentamista edeltävillä kokeilla, joilla tehdään selvitystä tuhkien suovesien vaikutuksista mineraaliseen tiivistyskerroksen läpäisevyyteen. Murskebentoniittirakenteessa on bentoniittia oltava vähintään 6 % massasta ja maabentoniittirakenteessa vähintään 4 % massasta. Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamisen aikana on hyvä suorittaa säännöllistä tutkimusta rakenteen tiiveydestä, jotta tiedetään massan olevan laatuvaatimukset täyttävää. Tiiveyskokeet voidaan suorittaa mm. Troxler-mittaimella. [4 s.9.]

5.2.2 Seinämärakenteet

VE1:n rakenteet järjestyksessä ulkopinnalta jätetäytön suuntaan:

- Vähintään 500 mm:n paksuinen vedenpitävä ja sulfaatin kestävä teräsbetoni, jolla on vähintään $4,0 \times 10^{-10}$ m/s suuruinen vedenläpäisevyys
- Bitumigeomembraani, joka on lasikuituvahvistettu hitsattava polymeerimodifioitu bitumikalvo, jonka paksuus on vähintään 4,0 mm ja paino on vähintään 4,5 kg/m²
- Salaojamatto, jonka paksuus on vähintään 4,0 mm ja paino on vähintään 4,5 kg/m²
- Tarvittaessa salaojamatto suojataan neulasidotulla polypropeeni tai polyeteenimatolla, jonka paino on 1200 g/m² [4 s.10].

VE2:n rakenteet järjestyksessä ulkopinnalta jätetäytön suuntaan:

- Vähintään 500 mm:n paksuinen vedenpitävä ja sulfaatin kestävä teräsbetoni, jolla on vähintään $4,0 \times 10^{-10}$ m/s suuruinen vedenläpäisevyys
- Kiinnikkeellinen 4,0 mm paksuinen HDPE-kalvo
- Salaojamatto, jonka paksuus on vähintään 4,0 mm ja paino on vähintään 4,5 kg/m²
- Tarvittaessa salaojamatto suojataan neulasidotulla polypropeeni tai polyeteenimatolla, jonka paino on 1200 g/m² [4 s.10].

Kun eristysseinä rakennetaan kalliota vasten, tulee molempiin vaihtoehtoihin seuraavanlainen salaojitusrakenne. Rakenteet on lueteltu kallion pinnasta lukien:

- Vähintään 100 mm kalliomurske 6 – 16 mm
- 1 mm paksuinen profiilipelti, joka ankkuroidaan kallioseinämaan [4 s.10].

Loppusijoitettu ja kiinteytetty tuhka on suojattava vesisateelta, jotta voidaan minimoida jätteiden läpi suotautuvien vesien synty. Ennen kuin pintarakenne tehdään jätetäytön päälle, käytetään väliaikaista sääsuojaa, jota voidaan liikuttaa eteenpäin loppusijoitusti-

lan täytyessä. Sääsuojaksi on ehdotettu ristikkopalkkijärjestelmää, joka muodostettaisiin kahdesta erillisestä katteesta. Ne peittäisivät loppusijoitusalueetta 50 m pituudelta, mikä jaksoittaisi kiintetyn tuhkan täytön saman pituisina osina. Ristikkopalkkijärjestelmät pultattaisiin kiinni reunoilla kulkeviin seinärakenteisiin ja niitä siirreltäisiin esimerkiksi nosturilla. [4 s.11.]

5.3 Tuhkien loppusijoituksen nykyinen tilanne

Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueelle alettiin rakentaa vuoden 2012 ensimmäisen tuhkien loppusijoitussolun eristysseinärakenteita. Työmaan pääurakoitsijana toimi Fin-Seula Oy työmaajohtaja Tommi Lehtolan ja betonityöjohtajan Janne Ikonen johdolla. Solu sijaitsee jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueella, minne on louhittu kalliosola loppusijoitusrakenteita varten. Eristysseinät on rakennettu tukeutumaan kalliota vasten. Ensimmäinen loppusijoitussolu on merkitty kuvan 8 (s. 22) vasempaan laitaan nimellä T1. [5 s.62.]

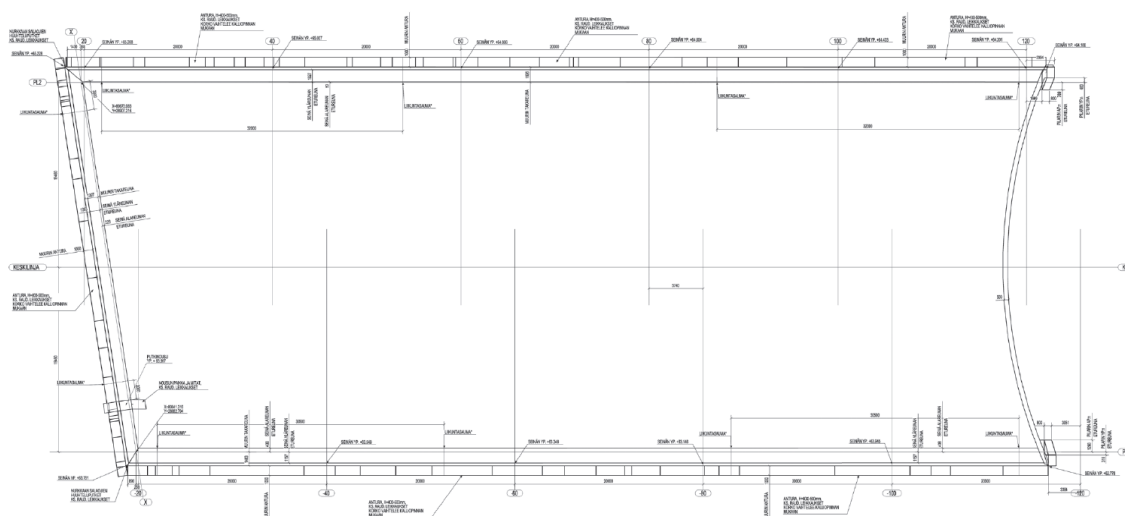


Kuva 9. Loppusijoitussolu T1 rakennustyömaa toukokuussa 2012 [11].

Kalliosola oli aluksi pidempi ja se yltyi kuonan loppusijoitusalueen ja vara-alueen rajaan asti (kuva 8), mutta toista kalliokannasta (kuva 9, oikean puoleinen kannas) lyhennettiin

niin, että solaan mahtuu vain yksi loppusijoitussolu. Loppusijoituspaikan vaihtaminen laajennusalueen reunaan johtui ympäristöluvan riittämättömyydestä. [10.]

Alkuperäisen ympäristöluvan mukaan solun täytyttyä sen pintarakenteen oli tarkoitus toimia tavanomaisen kaatopaikan pohjana, jolloin jätetäyttöä voitaisiin kasvattaa loppusijoitetun tuhkan päälle. Kuitenkin myöhemmin viranomaiset päättivät, että loppusijoitussolujen päälle ei saa sijoittaa mitään jätteitä. Vanhan loppusijoitussuunnitelman mukaan ongelmajättesolut olisivat jääneet laajennusalueen suunnitellun jätekasan huipun alle. Solujen paikka oli siis siirrettävä laajennusalueen laitaan, koska muuten ne olisivat rajoittaneet koko alueen käyttömahdollisuuksia huomattavasti. Jätekasan huippu on suunniteltu noin 70 m korkeuteen ja tähän ei olisi millään päästy vanhalla loppusijoitussuunnitelmalla, joka olisi pienentänyt koko laajennusalueen käyttökatavoitetta. Lisäksi viranomaisohjauksen vuoksi loppusijoitusalueen pintarakenne voidaan vaihtaa kaatopaikan pintarakenteeseen, joka on rakenteeltaan kevyempi kuin tavanomaisen jätteen pohjarakenne. [10.]



Kuva 10. T1 –solun tasopiirustus [13].

Ensimmäisellä tuhkasolulla T1 on pituutta 100 metriä, leveyttä 40 metriä ja korkeus on 12 metriä. Kallionvastaisia eristysseiniä on noin 250 metriä. Seinämärakenne on osiossa 5.2.2 kallionvastaisen eristysseinän kaltainen. T1-solun käyttöiän tavoite on suunniteltu 200 vuoden pituiseksi. [5 s.62.]

Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksessa on kokeiltu muutamia erilaisia kallion vastaisia seinämärakennevaihtoehtoja jo ennen tätä ratkaisua ja niitä on alueella jo noin kahden

kilometrin verran. Kehitystyön avulla tuotettu T1-solussa käytetty seinärakennevaihtoehto on uusin ja sen on todettu soveltuvan hyvin tuhkien loppusijoitukseen ja on näin ollen lopullinen ratkaisu, jota tullaan myöhemminkin käyttämään. [5 s.62, 10.]



Kuva 11. Poraustyöt profiilipeltin tartuntoja varten T1-solun työmaalla 2012 [12].



Kuva 13. T1-solun taustatäytön tekoa profiilipeltin taakse [12].

Kallion vastaiset eristeseinät rakennettiin T1-soluun valamalla paikanpäällä. Betonivalut on tehty muoteilla profiilipeltiä vasten, pelti toimii siis myös valumuottina ja pysyvänä rakenteena. Profiilipellit on tuettu kallioon kiinnitetyillä tartunnoilla. Tartuntojen väliset etäisyydet ovat noin 1200 mm.

Profiilipeltin ja kallion välissä on taustatäyttö, joka on raekooltaan 6/16 kalliomursketta. Taustatäytön tarkoituksena on tukea profiilipeltiä valun aika syntyviltä kuormituksilta sekä toimia kuivattavana rakenteena kallion ja eristeseinän välissä. Kalliosta kulkeutuva vesi johdattuu taustatäyttöä pitkin eristeseinän perustuksien päällä olevaan salaoja-putkistoon, jotka purkautuvat molempien pituussuuntaisten seinien kaakkoispäistä. [10, 11.]



Kuva 14. Tuhkien loppusijoitussolun T1 rakennustyömaa vuodelta 2012 [12].

Loppusijoitussolun T1 eristeseinien rakennustyöt päättyivät syksyllä 2012. Ennen loppusijoituksen aloitusta soluun on tehtävä vielä joitakin työvaiheita. Solujen seinien HDPE-kalvot on hitsattava yhteen. Se voidaan tehdä esimerkiksi laittamalla saumojen päälle 4 mm HDPE-suikaleen, joka hitsataan kaikilta sivuiltaan tiiviiksi seinän kalvoihin. Kalvon eheyden varmistaminen jo rakennusvaiheessa on loppusijoituksen toimivuuden kannalta erittäin olennaista. [5 s.64, 11.]

Kalvon saumojen tiiveys voidaan varmistaa mm. kipinäkokeella, jossa hitsattuun saumaan on asennettu kuparilankaa. Sauman koeistuksessa saumat käydään läpi laitteella, joka muodostaa valokaaren kuparilangan ja koestuslaitteen välille, jos saumassa on reikä. HDPE-kalvon eheyden säilyvyyttä tehostetaan asentamalla kalvon päälle suoja-geotekstiili. Se suojaa kalvoa mekaaniselta rasitukselta ja pienentää pistemäisten kuormitustan vaikutusta kalvoon.

Lisäksi soluun on tarkoitus vielä rakentaa ongelmajätökaatopaikan vaatima pohjarakenne ennen tuhkien loppusijoituksen aloittamista. Pohjarakenteeksi voidaan käyttää

esimerkiksi tämän insinööriyön kohdassa 5.2.1 esiteltyä VE2-vaihtoehtoa. Pohjarakenteen kalvo on myös tarkoitus yhdistää hitsaamalla seinien kalvorakenteeseen, jolloin loppusijoitusolun HDPE-kalvot muodostaisivat yhteinäisen eristeen.

Solun avonaiseen pätyyn rakennetaan sisäänpäin kaareva seinä, jonka perusrakenteet näkyvät solun tasopiirustuksessa kuvassa 10. Kaareva seinä muodostaa holvimaisen rakenteen, joka on omiaan kantamaan loppusijoitetun tuhkan seinälle tuoman paineen, jota kertyy noin 12 m matkalta. Lisäksi solu tullaan kattamaan ristikkorakenteisella vesikateratkaisulla, joka suojaa loppusijoitettavia tuhkia vesisateelta niin pitkään, kun loppusijoitusolun pintarakenne on valmis. Tällöin sadevedellä ei ole enää mahdollisuutta päästä läpi solun eristerakenteista. [11.]

5.4 Ämmäsuon uudet loppusijotusvaihtoehdot

Tässä osiossa insinööriyötä on selvitys jätevoimalan tuhkien uusista loppusijoitusvaihtoehdoista Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueella. Selvityksen suosituksia ja johtopäätöksiä on tarkoitus soveltaa uudessa ympäristölupahakemuksessa, jolla luvitetaan Långmossebergin jätevoimalasta tuotavien tuhkien loppusijoitus Ämmäsuon laajennusalueen länsilaidalle. Lisäksi HSY on kiinnostunut taloudellisemmasta vaihtoehdosta solun T1 rinnalle, koska sen kolme seinää on toteutettu kallion vastaisina. Yhteensä kallionvastaista seinää solussa T1 on noin 240 m (kuva 10, s. 29). Loppusijoitusalue näkyy kuvassa 8 merkittynä T2 – T6. [10.]

Selvitys sisältää esittelyn rakennepoikkileikkausvaihtoehdoista, joita tuhkien eri loppusijoitusolosuhteissa voidaan käyttää sekä jokaisen vaihtoehdon hintaerittelyn ja vaihtoehtojen keskinäistä vertailua toisiinsa nähden. Ongelmajättesolun loppusijoitusvaihtoehtojen taloudellinen selvitys on laskettu 50 x 50 m² kokoiselle alueelle, koska toteutuskin tehtänee sen kokoisina osina. Hinnat sisältävät vain töiden ja materiaalien kustannukset eli niistä puuttuu arvonlisävero sekä työmaan yleiset käyttökustannukset, jolloin vaihtoehtojen hinnat ovat kuitenkin keskenään vertailukelpoisia. Näin ollen niin sanotusta todellisesta hinnasta puuttuu noin 30 %. Rakenteiden hinnat on eritelty liitteessä 1. [10.]

Loppusijoitusvaihtoehdoissa ei ole huomioitu T2-soluun tulevaa päätyseinää, joka toteutettaisiin kallion vastaisena eristeseinäarakenteena (kuva 12, s. 31). Päätyseinän

korkeus olisi 9 m tai 14 m riippuen onko vaihtoehdossa käytetty 5 metrin lisälouhintaa. Tästä syntyisi lisähintaa T2-solulle vähintään 220 000 – 330 000 euroa.

Uudet loppusijoitussolut tulevat poikkeamaan T1-solun poikkileikkausrakenteesta muutamilta osin. Rakennuspaikkana ei ole kalliosola vaan vain solun toinen pituussuuntainen eristeseinä ja solun ensimmäinen päätyseinä tullaan toteuttamaan kallion vastaisena rakenteena niin kuin on esitetty kuvassa 12. Toinen seinä taas toteutettaisiin tukemattomana rakenteena. Uusissa vaihtoehdoissa seinärakenteita on kahta eri tyyppiä. Toinen olisi 9 metrin korkuinen ja ylittäisi samaan korkoon solun vastapuolella olevan kallion vastaisen seinän kanssa. Toinen vaihtoehto tukemattomalle seinälle olisi vain 3-metrinen tukimuuri. Lisäksi tarkasteltaviin vaihtoehtoihin on tuotu lisälouhinnan mahdollisuus, jonka tarkoitus on kasvattaa loppusijoitussolujen tilavuutta alaspäin 5 metriä. Tuhkan loppusijoitukselle esitetään neljää eri vaihtoehtoa: 9 m tukimuuri ilman lisälouhintaa, 9 m tukimuuri lisälouhinnan kanssa, 3 m tukimuuri ilman lisälouhintaa ja 3 m tukimuuri lisälouhinnan kanssa. Vaihtoehtoja ja niiden teknillisiä sekä taloudellisia puolia on eriteltyinä luvuissa 5.4.1 – 4. [10.]

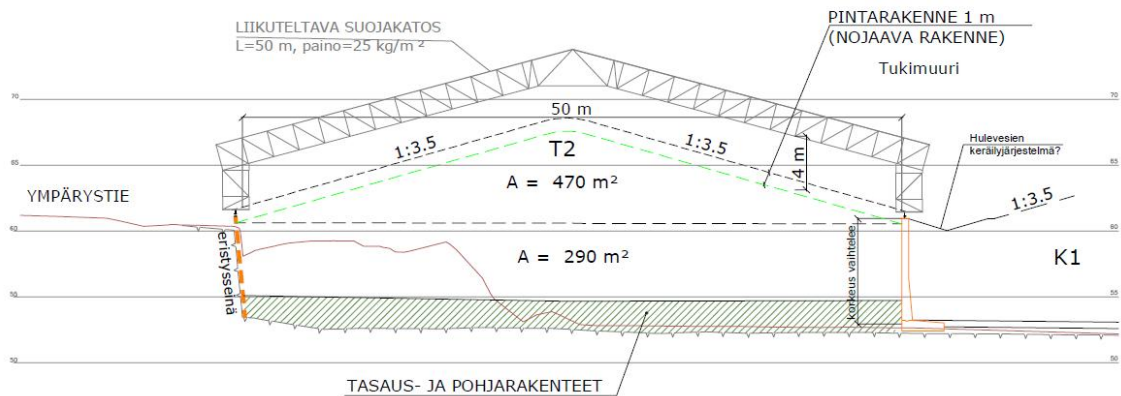
Hintatietoina selvitystä varten on hyödynnetty urakkatarjoushintoja vuodelta 2012 Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksen alueella tehdyistä erilaisista rakennusurakoista. Louhinnan kustannuksina on käytetty Ämmäsuolle 2012 tehdyn kannaksen louhintaurakan tarjouksien keskiarvoa. Hinnat sisältävät louhinnan sekä kivituoitteiden jalostamisen.

Pohjarakenteen hinnat on otettu kesällä 2012 Graniittirakennuskallion tekemän urakan tarjouslaskelmasta. Murskebetoniitti sisältää natriumbentoniittiä, jonka vedenläpäisykerroin k on $6,0 \times 10^{-10}$ m/s, ja sen osuus on vähintään 6 % massasta. Runkoaineena mineraalisessa tiivistyskerroksessa 60 % KaM 0/16 ja 40 % 0/6 kivituhkaa. Runkoaines saadaan tilaajan omasta varastosta, mikä laskee sen kustannuksia. HDPE-kalvo on sileäpintaista ja se hitsataan robotilla, joka tekee kaksinkertaisen sauman. Suojageotekstiili on painoltaan 1200 g/m². Salaojakerros on KaM 16/32, jonka tilaaja voi tuottaa myös omasta varastostaan. [8.]

Eristeseinien kustannukset on laadittu hyödyntämällä TOCOMAN-kustannuslaskelmaa, joka tehtiin kesän 2012 ongelmajätesolun runkotöiden urakkaa varten. Eristeseinien betonivalut tehdään vedenpitävästä ja sulfaatinkestävästä betonista, jonka vedenläpäisevyys on vähintään $4,0 \times 10^{-10}$ m/s. HDPE-kalvo on kiinnikkeellinen, jotta se voidaan

asentaa jo valun yhteydessä betoniin. Raudoitukseen käytetään A500 HW teräksiä ja teräksen massan suhde betonikuutiota kohden on 185 kg/m^3 . Kalliota vasten tulevassa seinässä käytetään taustatäyttönä toimivaa salaojitusrakennetta. Salaojitukseen käytetään KaM 6/16. Antura on kaikissa rakenteissa poikkileikkaukseltaan $1,1 \times 1,0 \text{ m}^2$, siinä on käytetty samaa betonia, mutta raudoitussuhteena on 110 kg/m^3 . [7.]

5.4.1 9 m tukimuuri ilman lisälouhintaa



Kuva 15. Poikkileikkauskuva ensimmäisestä loppusijoitusvaihtoehdosta [14].

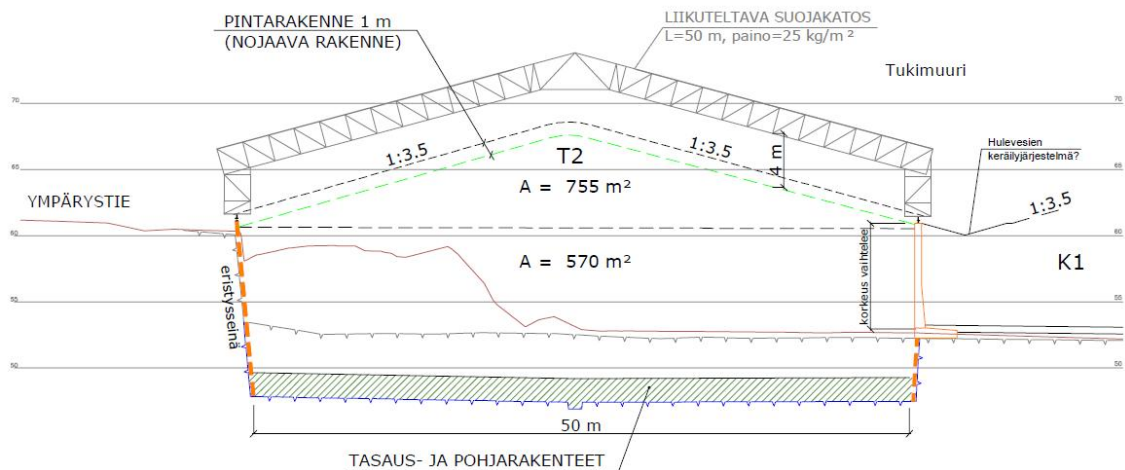
Ensimmäisen vaihtoehdon poikkileikkaus sisältää 9-metrin tukimuurin ja 9 m kallon vastaisen seinärakenteen sekä pohjarakenteen. Sen loppusijoitustilavuus on 23500 m^3 , joka täytyisi vähän yli neljässä vuodessa, jos tuhkaa tuotaisiin loppusijoitukseen 5600 tonnia vuodessa, olettaen, että tonnista tuhkaa saadaan kiinteytyksen avulla yksi kuutio loppusijoitettavaa ongelmajätettä. Tämä vaihtoehto kilpailee taloudellisimmasta loppusijoitusvaihtoehdosta VE2:n kanssa noin 25 € loppusijoituskuutiota kohden.

Lisäksi tässä vaihtoehdossa voitaisiin hyödyntää solussa T1-käytettyä sadesuojaa, koska sen tukipisteet ovat samalla korkeudella. Sadesuojan uusiokäytössä tulisi kuitenkin ottaa huomioon, että uusi loppusijoitussolutyyppi on noin 10 metriä leveämpi, jolloin T1-solussa käytetty sadesuojan lappeita tulisi pidentää.

Taulukko 4. Hintaerottelu VE2 [7,8,9,10].

VE1;	23500	m3
Eristeseinä 9m	Hinta	
Pohjarakenne	191913	€
Eristeseinä 9m	173332	€
Eristeseinä 9m (kallio)	215922	€
	581167	€
Tuhkan tilavuuskustannus	24,7	€/m3

5.4.2 9 m tukimuurin ja lisälouhinta



Kuva 16. Poikkileikkauskuvasta toisesta loppusijoitusvaihtoehdosta [14].

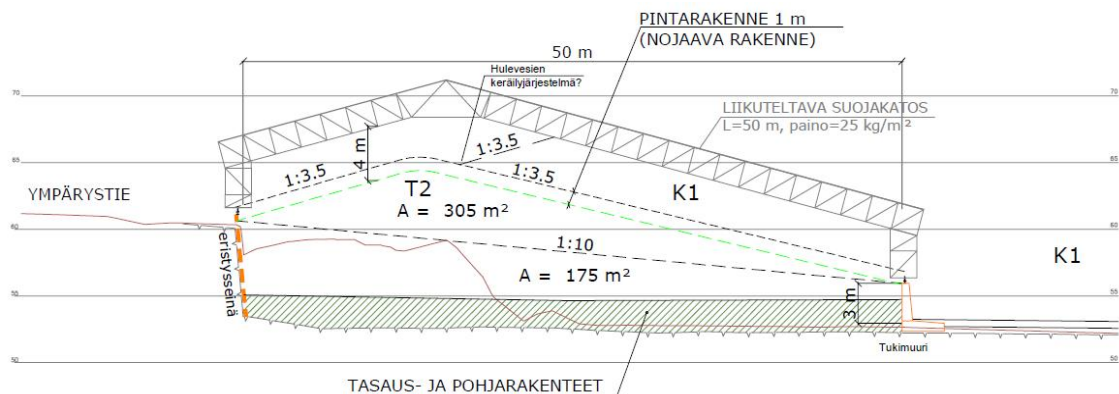
Vaihtoehto 2 muistuttaa ensimmäistä, mutta sen tilavuutta on kasvatettu viiden metrin lisälouhinnalla. Lisälouhinnan vuoksi kallion vastaisia seinämärakenteita tarvitaan 19 m. Tällä vaihtoehdolla on suurin tilavuus jopa 37770 m³ ja sen kustannus suhteessa sijoitustilavuuteen on pienin - 24,4 € loppusijoituskuutiota kohden. Tämän tyyppisen soluvaihtoehdon täyttämisen 5600 kuution vuosivaudilla kestäisi kuudesta seitsemään vuotta. Rakenne on kuitenkin haastavampi louhinnan takia, sillä tukimuurin ja kallion-vastaisen seinän liitoskohta lisälouhinnan yläpinnassa on riskitekijä. Liitoskohdassa on mahdollinen vuotoriski, jos eristeiden jatkuvuus kallion vastaisesta seinästä tukimuriin katkeaa. Lisäksi lisälouhinnan toteutus voi estyä, jos pohjavesi on kallioperässä liian korkealla ja se voisi tuottaa rakentamiseen lisähaasteita ja kustannuksia.

Lisäksi myös tässä vaihtoehdossa voitisiin hyödyntää solussa T1-käytettyä sadesuojaa, koska sen tukipisteet ovat samalla korkeudella. Sadesuojan uusiokäytössä tulisi kuitenkin ottaa huomioon, että uusi loppusijoitussolutyyppi on noin 10 metriä leveämpi, jolloin T1-solussa käytettyä sadesuojan lappeita tulisi pidentää.

Taulukko 5. Hintaerottelu VE2 [7,8,9,10].

VE2;	37750	m3
Eristeseinä 9m + louhinta	Hinta	
Pohjarakenne	191913	€
Eristeseinä 9m	147120	€
Eristeseinä 19m(kallio)	452923	€
Louhinta 5m	130250	€
	922205	€
Tuhkan tilavuuskustannus	24,4	€/m3

5.4.3 3 m tukimuuri ilman lisälouhintaa



Kuva 17. Poikkileikkäuskuva kolmannelta loppusijoitusvaihtoehdosta [14].

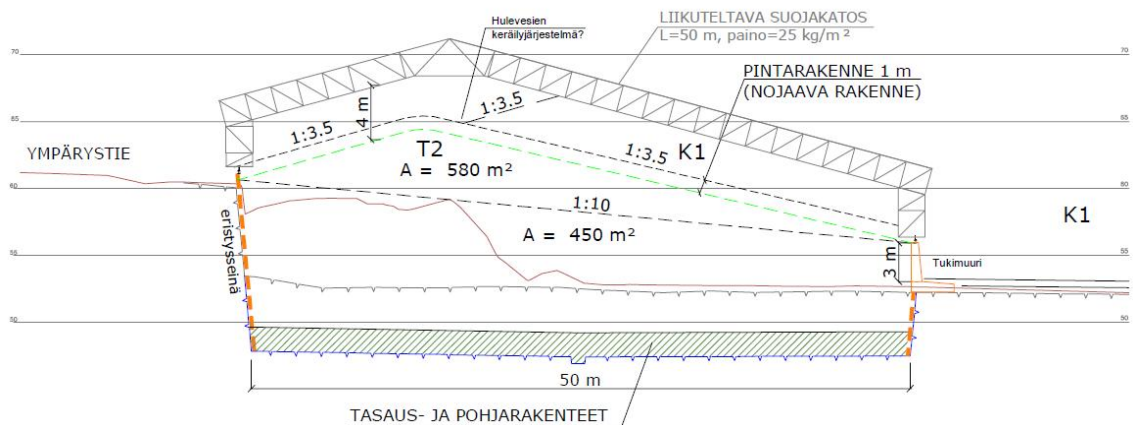
Kolmas vaihtoehto eroaa ensimmäisestä siinä, että 9 m tukimuurin tilalla on 3 m tukimuuri. Matalemmän tukimuurivaihtoehdon poikkileikkäuksen tarjoama tilavuus rakenteelle olisi kuitenkin vain 15250 m³, joka täyttyisi 5600 kuution vuosinopeudella jo alle kolmessa vuodessa. Vaihtoehdon hinta suhteessa loppusijoitustilavuuteen on kaikkein epätaloudellisin, melkein 32 €/m³. Viereisen kuonan loppusijoitusalueen tilan käytön hyödyntäminen pienenesi myös verrattuna 9 metrisen tukimuurin tuomaan täyttökorkeuteen.

Lisäksi T1 –solussa käytetyn sadekatteen hyödyntäminen on haasteellisempaa, koska tässä vaihtoehdossa sen tukipisteet ovat eri korkeuksilla, jolloin vanhaan katteeseen täytyisi tehdä huomattavia muutoksia ennen sen soveltumista tähän vaihtoehtoon.

Taulukko 6. Hintaerottelu VE3 [7,8,9,10].

VE3;	15250	m ³
Tukimuuri 3m	Hinta	
Pohjarakenne	191913	€
Eristeseinä 9m(kallio)	215922	€
Matalaseinä 3m	75294	€
	483128	€
Tuhkan tilavuuskustannus	31,7	€/m ³

5.4.4 3 m tukimuuri ja lisälouhinta



Kuva 18. Poikkileikkauskuva neljänestä loppusijoitusvaihtoehdosta [14].

Neljäs rakennevaihtoehto on tilavuudeltaan toiseksi suurin jopa 29000 m³, jonka täytyminen 5600 kuution vuosivauhdilla kestäisi noin viisi vuotta, mutta hintaa verrattaessa tuhkan loppusijoitustilavuuteen on se toiseksi kallein, noin 29 €/m³. Lisälouhinnan vuoksi kallion vastaisia seinämärakenteita tarvitaan 19 m. Vaihtoehto on samanlainen kuin kolmaskin, mutta siinä on viiden metrin lisälouhinta niin kuin vaihtoehdossa kaksi. Lisäksi viiden metrin lisälouhinta voi tuottaa samoja riskejä, kuin toisen vaihtoehdon kohdalla.

Lisäksi T1-solussa käytetyn sadekatteen hyödyntäminen on haasteellisempaa, koska tässä vaihtoehdossa sen tukipisteet ovat eri korkeuksilla, jolloin vanhaan katteeseen täytyisi tehdä huomattavia muutoksia ennen sen soveltumista tähän vaihtoehtoon.

Taulukko 7. Hintaerottelu VE4 [7,8,9,10].

VE4;		29000	m3
Tukimuuri 3m + louhinta		Hinta	
	Pohjarakenne	191913	€
	Matalaseinä 3m	75294	€
	Eristeseinä 19m(kallio)	452923	€
	Louhinta 5m	130250	€
		850379	€
	Tuhkan tilavuuskustannus	29,3	€/m3

5.5 Johtopäätökset

Uuden tuhkien loppusijoitusvaihtoehdoksi tulisi selvityksen mukaan valita riskittömin ja taloudellisin toteutus. Riskittömyys on olennaista, kun loppusijoitetaan ongelmajätteitä ja halutaan turvata niiden pysyvyys eristyksissä muusta ympäristöstä. Tämän vuoksi olisi syytä valita vaihtoehto, jonka rakenteet ovat riittävän yksinkertaiset, mikä edesauttaa toteutuksen pitkäikäisyyttä. Tähän tarkoitukseen soveltuvin ratkaisu on VE1, jossa on käytetty 9 m tukimuuria.

VE1:n hinta suhteessa loppusijoitustilavuuteen on toiseksi edullisin, noin 24,7 €/m³, mikä on vain 0,3 €/m³ kalliimpi kuin VE2:n. Vaikka VE2:een voitaisiin loppusijoittaa tuhkia melkein kaksi vuotta pidempään kuin VE1:een, on ensimmäinen vaihtoehto riskittömämpi. Toisessa vaihtoehdossa käytetty viiden metrin lisälouhinta voisi viedä pohjarakenteen pohjaveden pinnan alle. Pohjaveden alennustoimenpiteet voivat lisätä huomattavasti rakennusaikaisia kustannuksia sekä hidastaa aikataulua. Tällöin VE2:n todellinen hinta ei olisikaan välttämättä kilpailukykyinen VE1:n kanssa.

Kokonaishinta loppusijoitukselle käytettävässä VE1:stä:

- Kiinteytys n. 60 €/m³
- Loppusijoitus n. 25 €/m³

Tällöin hinnaksi tulisi 85 €/m³, mutta lisättäessä hintaan rakentamisen yleiskustannukset ja arvonlisäveron sekä solun pintarakenteen on hinta todennäköisesti 100 – 120 €/m³.

Lisäksi 9-metrinen tukimuurin hyöty verrattuna matalampaan 3-metriseen on tärkeä viereisen kuonan loppusijoitusalueen hyötykäyttötilavuuden kannalta. 9-metrillä seinällä päästään paljon suurempaan täyttökorkeuteen, kun alkutäyttökorkeus on melkein kolminkertainen.

Vaikka syvennyslouhintaa ei tehtäisi uusien tuhkan loppusijoitusalueiden T2-T6 - alueella, on loppusijoitusalueen kalliopohja tasauslouhia niin, että se viettäisi etelään päin T2 – alueelta lähtien. Tämä toimenpide helpottaa vesien kulkeutumista hule- ja suotovesien tasausalueille, jotka näkyvät kuvan 8 (s. 22) etelälaidassa. Lisäksi loppusijoitusalueen pohjaan on louhittava ura pohjavesien salaojaa varten. Vaikka rakennusvaiheessa pohjaveden pinta olisi selvästi tasatun kalliopohjan alapuolella, saattaa se kuitenkin nousta tulevaisuudessa. Niin on olennaista turvata pohjaveden salaojitus myös pitkälle tulevaisuuteen ja etenkin kun kyseessä on ongelmajätteen loppusijoitus. [10.]

Tuhkien loppusijoitusalueen siirryttyä kaatopaikan laajennusalueen länsilaitaan kannattaa sen pintarakenne luvittaa uudestaan, koska loppusijoitetun tuhkan päälle ei saa tehdä mitään muita jätetäyttöjä. Tällöin pintarakenteeksi kävisi tavanomaisen kaatopaikan pintarakenne, josta puuttuisi mm. kaasunkeräyskerros. Seuraavassa luettelossa on esitetty mahdollinen pintarakenne vaihtoehto pinnalta jätetäyttöön lueteltuna: [10.]

- Vähintään metrin paksuinen pintakerros, joka on puhdasta maa-ainesta
- Suodatinkangas N3
- Kuivatuskerros vähintään 0,5m, KaM 16/32
- Suojageotekstiili
- 2,5 mm HDPE –kalvo
- Neulasidottu bentoniittimatto

- Esipeittokerros jätteen pinnan tasausta varten KaM 0/32
- Stabiloitu ja loppusijoitettutuhka [3 s.6].

Tässä insinööriyössä tehdyn selvityksen perusteella HSY:n kannattaa valita Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksen uudelle tuhkan loppusijoitusalueelle (kuva 8) loppusijoitusvaihtoehto 1, joka on esiteltynä osiossa 5.4.1. Sen kustannukset suhteessa loppusijoitustilavuuteen ovat taloudellisimmat muihin kolmeen vaihtoehtoon verrattuna. Rakennettuna 50 x 50 m² alueena, vaihtoehto 1 tarjoaa loppusijoituskohteen 23 500:lle tuhkakuuuolle. Sen kokoinen tilavuus riittää noin neljäksi vuodeksi eteenpäin, jos tuhkaa vastaanotetaan 5600 tonnia vuodessa. Lisäksi vaihtoehdon 1 ehdoton etu on sen riskittömyys verrattuna vaihtoehtoihin, joissa oli tarjottuna viiden metrin lisälouhinta. Lisälouhinnan sulkeminen pois pienentää loppusijoitustilavuutta, mutta vähentää riskiä joutua työskentelemään pohjaveden pinnan alla.

Solussa T1 on kallion vastaista seinää n. 240 m, kun taas noin yhtä suuri alue uudella tuhkan loppusijoitusalueella T2 – T6 vaatisi 100 m vastaavaa seinätyyppiä. Toisella pituussuuntaisella sivulla kulkeva uuden tyyppinen tukematon seinä ja solun toteuttaminen jatkuvana rakenteena koko alueen läpi antaa huomattavan taloudellisen edun verrattuna soluun T1. Solun T1 hinta laskettuna insinööriyössä käytetyillä hinnoilla on n. 1 538 000 € (liite 2) ja noin yhtä suuri alue uudella loppusijoitusvaihtoehdolla maksaisi n. 1 162 000 € (liite 2). Uudella loppusijoitusvaihtoehto tarjoaa siis noin 24 % edullisemmän tavan rakentaa solut T2 – T6.

Näiden tulosten lisäksi HSY:n kannattaa myös tutkia tuhkan loppusijoitukselle toista eristevaihtoehtoa HDPE-kalvon rinnalle. HDPE-kalvo rikkoutuu mekaanisesta rasituksesta ja pistemäisten kuormien painosta, minkä vuoksi sen laatuun on kiinnitettävä huomiota jo heti sen saapuessa työmaalle. Myös kalvon hitsaaminen yhtenäiseksi eristeeksi kaikkien rakenteiden välille on työläs ja hidaskin tapa, sillä esimerkiksi jo seinämärakenteihin tulee valtavasti saumoja erillisten kalvojen välille (kuva 14, s. 33). Toinen mahdollinen eristystapa pohja- ja seinämärakenteille on esiteltynä osiossa 5.2.1 – 2 nimellä VE1. Siinä eristeenä käytetään asfalttibetonia ja valuasfalttia pohjarakenteissa sekä seinien betonirakenteisiin on kiinnitetty bitumigeomembraani eristeeksi.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön teon yhteydessä tutustuttiin jätteenpolttolaitoksesta syntyvien tuhkien esikäsittely- ja loppusijoitusvaihtoehtoihin sekä loppusijoituksessa käytettävien solujen hintatietoihin. Lisäksi tutustuttiin tuhkan loppusijoitussolun T1 eristysseinien rakentamiseen Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksessa kesällä ja syksyllä vuonna 2012, jolloin tämän työn tekijä toimi HSY:n työmaavalvojana. Työmaalta dokumentoidu- ti valokuvat ovat olleet olennainen havainnollistava tekijä työn kannalta. Lisäksi tämän tyyppinen tuhkan loppusijoitus on Suomessa ainoalaatuinen, joten pelkkä sanallinen kerronta ei olisi havainnollistanut työtä riittävästi.

Insinööriyö aloitettiin tutustumalla työn tilaajan tarjoamiin aineistoihin ongelmajätetuhkien loppusijoituksesta, jotka sisälsivät mm. raportteja Euroopan käytännöistä ongelmajätetuhkien loppusijoituksessa sekä viimeisimpiä hintatietoja Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen alueella tehdyistä rakennusurakoista. Raporttien ja hintatietojen avulla luotiin uusille esitetyille loppusijoitusvaihtoehdoille rakennekohtaiset hintaerottelut, joiden avulla pystyttiin tekemään vaihtoehdoille keskinäistä teknisten ja taloudellisten ominaisuuksien vertailua.

Ongelmajätetuhkien esikäsittelyyn valittu stabilointimentelmä voidaan suorittaa Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksessa lähellä tuhkien loppusijoitusalueella. Stabilointi sementillä soveltuu hyvin tämän tyyppiseen loppusijoitustapaan, joka eristää ongelmajätteen muusta elollisesta ympäristöstä, jolloin tuhkaa ei tarvitse erikseen puhdistaa. Prosessi on myös suhteellisen nopea ja yksinkertainen eikä se vaadi suurta käyttöaluetta. Lisäksi prosessista ei synny ylimääräisiä prosessituotteita kuten pesuvesiä, joiden puhdistaminen voi lisätä kustannuksia ja ympäristön kuormitusta.

Vertailun tuloksien perusteella HSY:n kannattaa luvittaa ja rakennuttaa uudelle tuhkien loppusijoitusalueelle ensimmäinen osiossa 5.4.1 esitelty vaihtoehto. Se sisältää 9-metrinen kallionvastaisen ja tukemattoman eristeseinärakenteen sekä pohjarakenteen. Vaihtoehdon kannattavuus on sen hinta verrattuna muihin vaihtoehtoihin sekä rakenteiden yksinkertaisuus. Yksinkertaisuus pienentää riskejä ja parantaa toteutuksen pitkäkestoisuutta. Pitkä käyttöikä on ongelmajätteiden loppusijoituksessa oleellinen tekijä, jos halutaan turvata ympäristömme puhtauden säilyminen ja kantaa vastuu teollisuu- temme tuottamista jätteistä. Ja niin kehittyneessä länsimaassa kuuluukin toimia.

Lähteet

- 1 Vantaan Energia, viitattu 14.3.2013.
<http://www.vantaanenergia.fi/FI/TIETOAKONSERNISTA/JATEVOIMALAHANKKE/Sivut/default.aspx>
- 2 Vantalvi, viitattu 14.3.2013
www.vantalvi.fi/uploads/files/Vantaan_energia_3.6.09_1.doc
- 3 Rinkinen Jukka, Salonen Sakari, Nikula Samuli. Raportti: Jätevoimalan kuonan ja tuhkien käsittely vaihtoehtojen kartoitus. 2011.
- 4 Ympäristölupapäätös. Dnro UUS-2008-Y-691-111. No YS 1627. Helsinki. 2009.
- 5 Saarinen Sirkka. Mittavat betonialtaat tuhkan loppusijoitusta varten. Betoni-lehti 3/2012.
- 6 Finlex. Valtioneuvoston päätös ongelmajätteiden loppusijoituksesta. Viitattu 22.3.2013
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1997/19970861?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=kaatopaikoista#e-11>
- 7 HSY. Fin Seula Oy:n urakkatarjouslaskelma. Rakennusurakka 06271. Ongelmajättesolun runkotyöt Ämmässuon jätteen käsittelykeskuksen alueella. 2012.
- 8 HSY. Graniittirakennuskallio Oy:n urakkatarjouslaskelma. Rakennusurakka 06230. S2-alueen pohjarakenne urakalle Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen alueella. 2012.
- 9 HSY. Urakkatarjouskilpailun tulosten taulukko Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalueen kannaksenlouhinta. 2012.
- 10 Pammo Risto. HSY. Lehtola Helmer. HSY. Rinkinen Jukka. Ramboll Finland Oy. Opinnäytetyö kokoukset.
- 11 Rinkinen Jukka. Ramboll Finland Oy. Rakenteiden työselostus. Rakennusurakka 06271. Ongelmajättesolun runkotyöt. 2012.

Kuvat

- 12 Takainen Heikki. Kuva-arkisto. 2012.
- 13 Rinkinen Jukka. Ramboll Finland Oy. Rakennepiirustukset. Rakennusurakka 06271. Ongelmajättesolun runkotyöt. 2012.
- 14 Rinkinen Jukka. Ramboll Finland Oy. Poikkileikkauskuvat tuhkien loppusijoitusvaihtoehdoista. 2012.
- 15 Vantaan Energia. Viitattu 14.3.2013.
<http://www.vantaanenergia.fi/SiteCollectionImages/jatevoimala3.jpg>
- 16 Vantaan Energia. Viitattu 14.3.2013.
<http://www.vantaanenergia.fi/SiteCollectionImages/jatevoimalantoimintaperiaate.jpg>

Loppusijoitusrakenteiden hintaerottelu

Louhinta 5m	Määrä	Yks.	Määrä hinta	Yks.	Hinta	
Avolouhinta+jalosteet	12500	m3	9,3	€/m3	116250,0	€
Tarkkuuslouhinta	500	m2	28	€/m2	14000,0	€
					130250,0	€
					52,1	€/m2

Pohjarakenne	Määrä	Yks.	Määrä hinta	Yks.	Hinta	
Murskebentoniitti 1,1m	2750	m3	55,25	€/m3	151937,5	€
HDPE-kalvo 2,5mm	2500	m2	9,21	€/m2	23025,0	€
Suojageotext. 1200 g/m2	2500	g/m2	4,9	€/m2	12250,0	€
Salaojakerros 0,5m	1250	m3	2,16	€/m3	2700,0	€
N3 Suodatinkangas	2500	m2	0,8	€/m2	2000,0	€
					191912,5	€
					76,77	€/m2

Eristeseinä 9m	Määrä	Yks.	Määrä hinta	Yks.	Hinta	
Betonointi	157,5	m3	291,79	€/m3	45956,9	€
Raudoitus	29074,5	kg	1,68	€/kg	48845,2	€
Muottityöt	906,3	m2	45,81	€/m2	41517,6	€
HDPE-kalvo 4mm	450	m2	24	€/m2	10800,0	€
Antura	50	jm	524,25	€/m	26212,5	€
					173332,1	€
					385,2	€/m2

Matalaseinä 3m	Määrä	Yks.	Määrä hinta	Yks.	Hinta	
Betonointi	52,5	m3	291,79	€/m3	15319,0	€
Raudoitus	9691,5	kg	1,68	€/kg	16281,7	€
Muottityöt	303	m2	45,81	€/m2	13880,4	€
HDPE-kalvo 4mm	150	m2	24	€/m2	3600,0	€
Antura	50	jm	524,25	€/m	26212,5	€
					75293,6	€
					502,0	€/m2

Eristeseinä (kallio)	Määrä	Yks.	Määrä hinta	Yks.	Hinta	
Taustatäyttö Kam 6/16	180	m3	2,16	€/m3	388,8	€
Profiilipelti 1mm	450	m2	25,58	€/m2	11511,0	€
Kallioankkurit	198	kpl	53,29	€/kpl	10551,4	€
Betonointi	225	m3	291,79	€/m3	65652,8	€
Rauditus	41535	kg	1,68	€/kg	69778,8	€
Muottityöt	459	m2	45,81	€/m2	21026,8	€
HDPE-kalvo 4,0mm	450	m2	24	€/m2	10800,0	€
Antura	50	jm	524,25	€/m	26212,5	€
					215922,0	€
					479,8	€/m2

[7,8,9,10

Solun T1 ja uuden loppusijoitusvaihtoehdon hinta vertailu

Solu T1;	48000	m3
	Hinta	
Pohjarakenne	345443	€
Eristeseinä, kaareva	155999	€
Eristeseinä, kallion vastainen	1036426	€
	1537867	€
Tuhkan tilavuuskustannus	32,0	€/m3

VE1;	47000	m3
Eristeseinä 9m	Hinta	
Pohjarakenne	383825	€
Eristeseinä 9m	346664	€
Eristeseinä 9m (kallio)	431844	€
	1162333	€
Tuhkan tilavuuskustannus	24,7	€/m3

[7,8,9,10]