



**KUKKUROINMÄEN JÄTTEENKÄSITTELYLAITOKSEN
LOPPUSIJOITUSALUEEN OSITTAINEN SULKEMINEN**

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

M.Sc. Sustainability Science and Solutions

2022

Joonas Neuvonen

Tarkastajat: LUT Professori, Mika Horttanainen

LUT Professori, Timo Kärki

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Ympäristötekniikka

Joonas Neuvonen

Kukkuroinmäen jätteenkäsittelylaitoksen loppusijoitusalueen osittainen sulkeminen

Ympäristötekniikan diplomityö

88 sivua, 4 kuvaa, 28 taulukkoa ja 5 liitettä

Tarkastajat: Professori, Mika Horttanainen

Professori, Timo Kärki

Avainsanat: Jätteen käsittely, Loppusijoitusalue, Kiertotalous

Tiivistelmäteksti

Diplomityö käsittelee Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n jätteen loppusijoitusalueen sulkemista Kukkuroinmäellä Lappeenrannassa. Loppusijoitusalue tullaan sulkemaan vaiheittain, sitä mukaan, kun alue saavuttaa lohkoittain riittävän täyttö korkeuden. Työssä käydään läpi mahdollisia materiaalivaihtoehtoja sulkemisrakenteille, sekä niiden lähteitä. Kyseiset materiaalit ovat pääosin paikallisen teollisuuden jätteitä tai sivuvirtoja. Ajatuksena tämän kaltainen kiertotalous hyödyttäisi molempia osapuolia. Yritykset olisivat monessa tapauksessa valmiita luovuttamaan materiaalia ilmaiseksi, jos EKJH on valmis maksamaan kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset. Monen eri sulkemisessa vaaditun kerroksen kohdalla kuitenkin todettiin, että järkevin vaihtoehto on ottaa vastaan materiaalia, josta voidaan laskuttaa sen tuottajaa. Kerrokseen vaadittavan materiaalin määrästä johtuen, olisi kallista hankkia materiaalia sellaisesta lähteestä, joka edellyttää maksamaan kuljetuskustannukset. Työssä ei pystytty määrittämään tarkkaa hintaa näille mahdollisille kuljetuskustannuksille. Tiivistyskerroksen kriittisistä vaatimuksista johtuen, ehdotettu vaihtoehto on käyttää valmista bentoniitti mattoa. Näin voidaan varmistua sen toimivuudesta ja olettaa, että se kestää aikaa hyvin. Kaasunkeräys-, sekä kuivauskerroksen kohdalla järkevin ratkaisu on, joko vastaanottaa tiili tai betonimurskaa. Esipeitto ja muotoilukerros voidaan pitkälti toteuttaa alueella jo olevalla maa-aineksella. Lisäksi ehdotetaan, että sulkemisen jälkeen pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan tuuli-, sekä aurinkovoimaa asentamalla aurinkopaneeleita ja tuulimyllyjä. Myös kasvien viljely alueen biokaasulaitoksen tuotantoa varten hyödyttäisi yhtiötä taloudellisesti.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Sustainability Science and Solutions

Joonas Neuvonen

Kukkuroinmäki waste management handling centres disposal areas partly closing procedure

Master's thesis

2022

88 pages, 4 figures, 28 tables and 5 appendices

Examiners: Professor, Mika Horttanainen

Professor, Timo Kärki

Keywords: Waste management, Final disposal site, Circular economy

Abstract

This master thesis handles Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy wastes final disposal site's partly closure, site is located in Kukkuroinmäki Lappeenranta. Disposal sites closure is going to proceed in parts when waste fill is going to reach wanted high. Thesis goes thought possible materials which are needed in construction phase of closing structure and possible sources for materials. These materials are mainly waste or side streams from local industrial scale manufacturing processes. As an idea it would be beneficial for both parties to apply this kind of circular economy way of thinking. Many of these companies are willing to hand over the material for free, if Etelä-Karjalan Jätehuolto (EKJH) would pay transportation costs. In case of many mandatory layers for closing constructions, it would be more reasonable to receive material from origin which could be charged by the EKJH. Material demand for these layers effect for transportations cost and so it could be quite costly, if the company which produces material lay claim to pay transportation. Thesis couldn't define costs for this sort of transportation operations. Due to critical demands for sealing layer properties, it is suggested to use bentonite carpet, which is already existing commercial solution. By using this already existing solution, it can be ensured that it works and lasts time as it should be. In case of drying and gas collection layers it would be most reasonable to receive bricks or concrete crush. Pre cover for landfill and final cover layer could be easily implemented by using already existing soil mixture from area. It is also recommended that after landfill is closed, area could be utilized by harvesting wind and solar energy. Also, cultivation of plants would be beneficial to areas biogas production by economical way.

KIITOKSET

Erityiskiitos koko Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n väelle, teidän kanssanne oli helppo työskennellä ja tukenne tämän diplomityön kirjoittamiselle oli korvaamatonta. Kiitos Mika Hortanaiselle työn ohjaamisesta ja rakentavasta palautteesta hyvässä hengessä. Tahdon myös kiittää koko perhettäni. Välillä olosuhteet työn tekemiselle olivat haastavia ja sain tukea, sekä omaa rauhaa, kun sitä tarvitsin.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

EKJH – Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy

UUMA – Maarakentamisen uusiomateriaalit

MARA – Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa

LT – Lentotuhka

PT – Pohjatuhka

Jätteen loppusijoitusalue – Kaatopaikka

Pima – Pilaantunut maa-aines

TOC – Total organic carbon, orgaanisen hiilen kokonaismäärä

DOC – Dissolved organic carbon, Liuenneen orgaanisen hiilen kokonaismäärä

C – Hiili

P – Fosfori

1. Johdanto	9
1.1 Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy	9
1.2 Työn tavoitteet	10
1.3 Aineistot ja menetelmät.....	10
2. Ympäristönsuojelu-, sekä jätelain edellytykset sulkemiselle	11
2.1 Ympäristönsuojelulaki	11
2.1.1 Muutoksia valtioneuvoston asetuksiin	13
2.1.2 Asbesti	14
2.2 Jätelainsäädäntö.....	15
2.2.1 Jätteen hyödyntäminen maantäytössä.....	16
2.3 Tulevaisuus suljettujen loppusijoitusalueiden osalta	17
3. Sulkemiseen liittyvät rakenteet	18
3.1 Loppusijoitusalueen pohjarakenteille asetetut vaatimukset	19
3.2 Peiterakenteille asetetut vaatimukset	19
3.2.1 Pintakerros	20
3.2.2 Kuivauskerros	21
3.2.3 Tiivistyskerros	21
3.2.4 Kaasunkeräyskerros.....	22
3.2.5 Muotoilu-/ esipeittokerros	23
3.3 Materiaalin kerääminen peitettä varten	23
3.3.1 Materiaali vaihtoehtoja pintakerrokselle	24
3.3.2 Materiaali vaihtoehtoja kuivauskerrokselle.....	26
3.3.3 Materiaali vaihtoehtoja tiivistyskerrokselle	28
3.3.4 Materiaali vaihtoehtoja kaasunkeräyskerrokselle.....	30
3.3.5 Materiaali vaihtoehtoja muotoilu- ja esipeittokerrokselle	31
3.4 Teollisuuden jätteet ja sivuvirrat	32
3.4.1 Mahdollisia lähteitä peitemateriaaleille.....	33
4. Loppusijoitusalueen maa-alan hyödyntäminen tulevaisuudessa	35
4.1 Sovelluksia	35
4.1.1 Energiapaju	35
4.1.2 Hamppu	36
4.1.3 Aurinkopaneelit	37
4.1.4 Tuulivoimala.....	38

5. Kukkuroinmäen loppusijoitusalue	39
5.1 Jäte määrät alueelle	39
5.1.1 Sektorien täyttöaste	41
5.1.2 Loppusijoitusalueelle sijoitettu jäte	42
5.2 Aikataulu	43
5.3 Loppusijoitusalueen pinta-ala	44
5.3.1 Tilavuudet eri kerroksille	45
5.4 Alueella jo oleva materiaali	46
6. Kustannusarvio	47
6.1 Loppusijoitusalueen peittämisestä aiheutuvat kustannukset	47
6.1.1 Peitteen materiaali kustannukset	48
6.1.2 Urakoitsija kustannukset	53
6.2 Peitekerroksen päälle kasvatettavat kasvit	54
6.3 Loppusijoitusalueen tarkkailusta aiheutuvat kustannukset sulkemisen jälkeen	54
6.4 Aurinkopaneelit	55
6.5 Tuulivoimala.....	56
7. Pohdinta	58
7.1 Alueella muodostuvat kaasut	58
7.2 Vaihtoehtoisten materiaalien soveltuvuus.....	61
7.2.1 UPM Lappeenranta.....	61
7.2.2 Stora Enso Anjalankoski	63
7.2.3 Fortum Waste Solutions	63
7.2.4 Nordkalk	64
7.3 Aurinkopaneelit ja tuulivoima.....	65
7.4 Energiapajun hyödyntäminen.....	67
7.5 Hampun hyödyntäminen	67
8. Yhteenveto	68
8.1 Sulkeminen vaiheittain.....	68
8.2 Sulkemirakenteissa käytettävät materiaalit	69
8.3 Toiminta sulkemisen jälkeen.....	70
8.5 Tarjouspyynnöt	71
Lähteet.....	73
Liitteet	85
Liite 1. Kukkuroinmäen loppusijoitusalueelle suunniteltu peitto	85

Liite 2. Loppusijoitusalueen pohjarakenteet	85
Liite 3. Jätetäyttöjen määrät, huomioon otavat erityisjätteet ja asbestialueet	86
Liite 4. Loppusijoitus alueen pinta-alan määrittäminen piirroksista	87
Liite 5. Geocomin arvio sulkemiskustannuksista.....	88

1. Johdanto

Väestön kasvaessa globaalisti tuotamme joka vuosi yhä enemmän jätettä, loppusijoitusalueiden kyky vastaanottaa jätettä on koetuksella ja tähän ongelmaan kiinnitetään yhä enemmän huomiota. Etupäässä länsimaat ovat alkaneet pitää jätettä arvokkaana raaka-aineena, josta on mahdollista jalostaa muun muassa erilaisia kulutustuotteita, energiaa, sekä polttoaineita. Tämä trendi johtaa väistämättä tilanteeseen, jossa jätteen loppusijoitusalueita aletaan sulkea, koska sinne aikaisemmin päätyvä jäte halutaan pitää kierrossa, mutta myöskin ympäristöluvan mukaiset rajat määrittävät loppusijoitusalueiden käyttöä. Tätä ilmiötä, jossa jäte pyritään hyödyntämään käytöstä poistumisen jälkeen uudelleen, kutsutaan kiertotaloudeksi, joka osaltaan tukee kestävästä kehitystä. Kestävän kehityksen tavoitteena on luonnonvarojen, sekä luonnon monimuotoisuuden vaaliminen. Suomessa myös lakien säätämällä on pyritty lopettamaan esimerkiksi orgaanisen jätteen loppusijoittamista loppusijoitusalueille. Riippuen loppusijoitusalueen sisältämistä materiaaleista, on joissain tapauksissa aloitettu louhimaan jätettä, jotta loppusijoitusalueelle loppusijoitettu jäte voitaisiin hyödyntää uudelleen raaka-aineena. Louhinta on kannattavaa silloin, jos alue pitää sisältää arvokkaita materiaaleja, kuten esimerkiksi metalleja. On myös mahdollista, että maa-alue itsessään on niin arvokas, että on kannattavaa louhia ja lajitella jäte kiertoon, jotta aluetta olisi mahdollista hyödyntää muussa tarkoituksessa. Tähän voi vaikuttaa esimerkiksi alueen keskeinen sijainti.

1.1 Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy

Lappeenrannassa, Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n jätteen vastaanotto ja käsittelypisteessä, Kukkuoinmäellä sijaitsee vuonna 2002 perustettu jätteen loppusijoitusalue, johon on sijoitettu erilaista jätettä. EKJH on yhdeksän kunnan vuonna 1996 perustama kiertotalous yhtiö. Yhtiön toiminta-alue kattaa 127 000 asukkaan jätehuollon. Kukkuoinmäen vastaanotto ja käsittelypiste pitää sisällään jätteen loppusijoitusalueen lisäksi biokaasulaitoksen, kompostointilaitoksen, sekä komposiittilaitoksen, joissa jätteestä jalostetaan kaupallisia tuotteita.

Yhtiön suunnitelmissa on lähitulevaisuudessa lopettaa jätteen sijoittaminen osittain kyseiselle loppusijoitusalueelle ja tässä diplomityössä käsitellään sen sulkemiseen liittyviä toimenpiteitä. Johtuen jätteen loppusijoitusalueelle sijoitetusta jätteestä, on yhdessä yhtiön kanssa tultu siihen lopputulokseen, ettei tällä hetkellä ole järkevää tai taloudellisesti kannattavaa aloittaa louhintaa alueella. Koska alue on perustettu 2000- luvulla, ei sinne ole juurikaan päätyntä arvokkaana pidettyjä materiaaleja, johtuen jätteen lajittelusta. Yhtiö on aluetta perustettaessa rakentanut alueelle asianmukaiset suotoveden keräystä varten vaadittavat rakenteet, jotka ovat myös edellytys alueen sulkemiselle. Lisäksi sinne on asennettu putkistot alueelta vapautuvien kaasujen keräystä varten, joten lähtötilanne vanhoihin loppusijoitusalueisiin verrattuna on todella hyvä.

1.2 Työn tavoitteet

Tämän diplomityön ensisijainen tarkoitus on selvittää käsittelylaitokselle saapuvan ja jo olemassa olevan materiaalin mahdollista hyödyntämistä loppusijoitusalueen peittämisessä. Lisäksi kartoitetaan lähialueen teollisia toimijoita, sekä syntyviä jäte- ja sivuvirtoja, sekä niiden soveltuvuutta rakenteisiin. Tällä olisi myös mahdollisesti positiivinen vaikutus peittämisestä aiheutuviin kuluihin. Työssä selvitetään myös sulkemiseen liittyviä kustannuksia, sekä mahdollisia tulevaisuuden hyödyntämissovelluksia, alueen maa-alaan liittyen.

1.3 Aineistot ja menetelmät

Tässä työssä sovelletaan tietoa ja tuloksia, joita vastaavat loppusijoituspaikkojen sulkemisia koskevat raportoinnit käsittelevät. Lainsäädäntö kuitenkin toimii perusteena kaikille esitetyille toimenpiteille. Myöskin jätemateriaalin hyödyntämisen perusteena alueen peittämiselle tullaan käyttämään laissa esitettyjä vaatimuksia ja kriteereitä.

Työssä loppusijoitusaluetta koskevat tilavuuslaskelmat, pinta-alat ja täyttöasteet pohjautuvat insinööri-toimisto Geocom Oy:n tekemiin kuvauksiin, laskelmiin, sekä arviointeihin. Geocomin mittausten pohjalta lasketun pinta-alan perusteella on määritetty, myös määrät eri peitemateriaaleille. Loppusijoitusalueelle sijoitetun jätteen laadun ja massan osalta tieto on

peräisin EKJH Oy:n henkilöstöltä. Saimaan Vesi- ja Ympäristötutkimus Oy on suorittanut puolen vuodenvälein mittaukset loppusijoitusalueella muodostuvien kaasujen pitoisuuksista.

Materiaalien soveltuvuutta peitteeseen eri kerroksiin on puhtaasti verrattu eri kirjallisuuslähteissä esitettyihin teoreettisiin ominaisuuksiin, kuin myös pitkän ajan käyttökokemuksiin. Joskin kaikista materiaaleista ei löydy kokemusta pitkältä aikaväliltä. Työtä varten on lisäksi oltu yhteydessä lähialueen yrityksiin, jotka olisivat potentiaalisia lähteitä materiaalille. Näiltä yrityksiltä on pyydetty arviota esimerkiksi materiaalin hinnasta, saatavuudesta ja ominaisuuksista.

Sulkemisen jälkeiset, loppusijoitusalueen hyödyntämismahdollisuudet perustuvat suurimmaksi osaksi EKJH Oy:n näkemykseen alueen käytöstä. Taustalla on tavoite saada alueesta irti mahdollisimman suuri taloudellinen hyöty ja tätä varten on verrattu vaihtoehtoisia ratkaisuja. Tietoa tähän on kerätty laajalti, erilaisista lähteistä.

2. Ympäristönsuojelu-, sekä jätelain edellytykset sulkemiselle

Jätteiden varastoiminen ja loppusijoittaminen on aina luvanvaraista toimintaa ja sille tulee olla vastaavan viranomaisen hyväksyntä. Toiminnan hyväksyminen edellyttää kattavaa suunnitelmaa toiminnasta ja mahdollisten riskien kartoittamista, sekä ennalta ehkäisystä. Toki myöskin toiminnan aikana on mahdollista syntyä uusia tilanteita ja riskitekijöitä. Tässä tapauksessa riskit kohdistuvat erityisesti ympäristöön, sekä luontoon. Tämä kattaa niin ilman, veden, kuin myöskin maaperän loppusijoitusalueella ja sen ympärillä.

2.1 Ympäristönsuojelulaki

Yhtiön toiminnalle on asetettu yleisiä velvollisuuksia, periaatteita ja kieltoja. Näistä mainittakoon esimerkkinä ympäristönsuojelulaissa (527/2014) mainittuja muutamia pääkohtia:

- 6 §:n Selvilläolovelvollisuus, joka velvoittaa loppusijoitusalueen toiminnanharjoittajaa olemaan selvillä toimintansa vaikutuksista, sekä ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten minimoinnista.

Loppusijoitusalueen sulkeminen ei juurikaan muuta siitä ympäristölle aiheutuvia riskejä tai vaikutuksia. Ajan kuluessa muodostuvan kaasun, sekä suotoveden määrä vähenee, eikä alueelta muodostu myöskään enään hajuhaittoja. Oleellista on kuitenkin suorittaa sulkeminen huolella, jotta kaikilta ei toivotuilta vaikutuksilta voitaisiin välttyä.

- 7 §:n Velvollisuus ehkäistä ja rajoittaa ympäristön pilaantumista, joka velvoittaa toiminnanharjoittajaa ennalta ehkäisemään ympäristön pilaantumisen, järjestämällä toimintansa sen mukaiseksi. Minimoimaan ympäristön pilaantuminen tapauksissa, joissa siltä ei voida kokonaan välttyä. Toiminnanharjoittajan on minimoitava toiminnasta aiheutuvat päästöt ympäristöön, sekä viemäriverkkoon.

Alueelle on rakennettu asianmukaiset pohjarakenteet, ennen jätteen sijoittamisen alkamista, jotta sieltä ei esimerkiksi suotovesien mukana pääsisi ympäristöön sinne kuulumattomia yhdisteitä. Muodostuneet suotovedet, sekä kaasut kerätään hallitusti ja käsitellään asianmukaisten vaatimusten mukaan. Tämä edellyttää myös jatkuvaa näytteidenottoa ja tarkkailua eri faaseista.

- 16 §:n Maaperän pilaamiskielto, joka määrittää maahan pääsevän jätteen, aineen tai eliöiden vaikutusta maaperän laadun huonontumiseen, joka pahimmillaan voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa terveydelle, ympäristölle, sekä viihtyvyyden merkittävää alentumista. ”Yleisen tai yksityisen edun loukkaus”.
- 16 §:n Pohjaveden pilaamiskielto, joka määrittelee aineen, energian tai pieneliöiden vaikutusta pohjaveteen tapauksissa, joissa niitä johdetaan, päästetään, pannaan, lasketaan tai käsitellään johonkin/jossain. Toiminta ei saa vaikuttaa välittömällä tai välillisillä tavoilla pohjaveden laatuun. Näitä ovat:

1. Tärkeäksi määritellyllä vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella niin, että siitä on mahdollista aiheutua vaaraa tai edes haittaa terveydelle, ympäristölle tai pohjaveden laatu muuttuu olennaisesti huonommaksi.

2. Jonkun toisen kiinteistöllä sijaitsevan pohjavesialueen laatu muuttuu niin, että siitä mahdollisesti aiheutuu vaaraa tai haittaa terveydelle, ympäristölle, sekä pohjaveden kelpaamattomaksi muuttuminen tarkoitukseen, johon sitä muutoin voitaisiin käyttää.

16 §:n ja 17 §:n esitetyt skenaariot voidaan välttää kiinnittämällä huomiota sijoitetun jätteen laatuun, sekä loppusijoitusalueen oikeanlaisiin rakenteisiin (Ympäristöministeriö. 2014).

Jätteenloppusijoitusalueen harjoittaminen on aina luvanvaraista toimintaa ja ympäristöluvan myöntäminen toiminnalle edellyttää myös, että yhtiö tai kunta asettaa vakuuden sille, että toiminnan loppuessa alueen ylläpitäjällä on varat ja resurssit sulkea se asianmukaisesti, sekä huolehtia siitä myös sulkemisen jälkeen. Tämä velvollisuus on kirjattu ympäristönsuojelulakiin 42 §:n 3momenttiin, sekä valtioneuvoston päätökseen tällaisten loppusijoitusalueiden osalta (Ympäristöhallinto. 2008).

2.1.1 Muutoksia valtioneuvoston asetuksiin

Valtioneuvosto on päivittänyt ja muuttanut loppusijoitusalueita koskevaa asetusta ja uusi asetus (1030/2021) sisältää seuraavia poimintoja:

- 28 §:n Tavanomaisen jätteen loppusijoitusalueelle hyväksyttävän tavanomaisen jätteen yleiset kelpoisuusvaatimukset, jossa määritetään tavanomaisen jätteen loppusijoituspaikan pintarakenteen tiivistyskerroksen alle jäävän jätetäytön koostumusta. Jätteen tulisi olla biohajoavan, sekä muun orgaanisen aineksen pitoisuuksien osalta määritettynä orgaanisen hiilen kokonaismääränä tai vastaavasti hehkutushäviönä alle 10 %. Tämä ei kuitenkaan koske muutamaa poikkeusta, esimerkiksi pilaantunutta maa-ainesta, ruoppaus jätettä, eikä asbestia.
- 49 §:n Seurannasta ja tarkkailusta annettavat tiedot, joka velvoittaa loppusijoituspaikan ylläpitäjää ilmoittamaan jokaisen vuoden helmikuun loppuun mennessä tai vaihtoehtoisesti ympäristöluvassa määritettynä päivänä seurantaa ja tarkkailua koskevat edellisen vuoden tiedot:

- 1) loppusijoitusalueelle sijoitetun jätteen määrä jätelajeittain seuraavasti eriteltynä;
 - a) Orgaaninen yhdyskuntajäte
 - b) muu kuin a kohdassa määritetty yhdyskuntajäte
 - c) muu kuin a kohdassa tarkoitettu orgaaninen jäte
 - d) muu jäte kuin a-c kohdissa on määritetty
- 2) loppusijoitusalueelta muuta käsittelyä varten toimitetun jätteen määrä jätelajeittain
- 3) yhteenveto 4 luvun mukaisesti tehdyistä perusmäärittelyistä ja vastaavuustestauksista
- 4) tiedot jätetäytöstä ja loppusijoitusalueen jäljellä olevasta tilavuudesta
- 5) tiedot jätetäytön ja muodostuvan kaasun, sekä alueen, pinta- ja pohjavesien tarkkailun järjestämisestä ja yhteenveto tarkkailun tuloksista
- 6) selvitys loppusijoitusalueen ympäristökuormituksesta ja ympäristöhaittojen torjumiseksi toteutetuista toimista
- 7) selvitys mahdollisista poikkeuksellisista tilanteista

(Ympäristöministeriö. 2021)

2.1.2 Asbesti

Asbestille tai sitä sisältävälle jätteelle on luotu erikseen kriteerejä loppusijoituksen suhteen. Näitä asetuksia käydään seuraavassa läpi.

27 §:n mukaan asbestia sisältävä rakennusjäte voidaan sijoittaa ilman testauksia tavanomaisen jätteen loppusijoitusalueelle, mikäli sijoittamisessa noudatetaan asbestijätteestä säädettyjä vaatimuksia, jotka määritetään 31 §:ssä myöhemmin.

Myös kipsipohjaisen jätteen sijoittamiselle tavanomaisen jätteen sijoituspaikalle on asetettu vaatimuksia 29 §:ssa, jonka mukaan se tulisi sijoittaa erikseen sellaiseen osaan sijoitusalueetta, mihin ei loppusijoiteta biohajoavaa jätettä.

Asbestijätteen sijoittaminen tavanomaisen jätteen loppusijoitusalueelle edellyttää 31 §:n mukaista kelpoisuutta. Tässä määritetään ”vakaaksi reagoimattomaksi vaaralliseksi jätteeksi

luokiteltavan asbestia sisältävän rakennus- ja purkujätteen tai muun soveltuvan asbestijätteen sijoittamiseen tavanomaisen jätteen loppusijoitusalueelle tai sen erilliseen eristettyyn osaan, jos noudatetaan seuraavia menettelyjä ja vaatimuksia”:

- 1) Jäte ei saa sisältää muita vaaralliseksi luokiteltuja aineita kuin sidottu asbesti, sekä kuidut, joiden tulee olla sidottu sidemateriaaliin tai pakattuna muoviin
- 2) Loppusijoitusalueen osaan, johon asbestia tai asbestia sisältävää jätettä sijoitetaan ei saa sijoittaa muuta jätettä
- 3) Loppusijoitusalueen asbestille varattuun osaa sijoitettava jäte tulee peittää päivittäin siihen sopivalla peittoaineksella
- 4) Jos asbestipitoista jätettä ei ole erikseen pakattu, tulee jätettä säännöllisesti kastella sijoittamisen aikana
- 5) Jotta vältetään asbestikuitujen leviäminen, tulee asbestipitoisen jätteen päälle asettaa pysyvä pintakerros peite
- 6) Peittämisen jälkeen alueella ei saa porata reikiä, eikä muutoinkaan suorittaa töitä, jotka voisivat mahdollistaa kuitujen vapautumisen

Loppusijoitusalueen osa, johon asbestijätettä on sijoitettu, tulee olla muistiin merkittynä 39 §:n 1 momentin kohdan 6 mukaisesti

Kun loppusijoitusalue suljetaan, tämän jälkeen on toteutettava rajoittaminen maa-alueen käytöstä siten, että voidaan estää ihmisten altistuminen jäte kosketukselle.

(Ympäristöministeriö. 2021)

2.2 Jätelainsäädäntö

Jätelainsäädännön piiriin kuuluu kaikki jäte, pois lukien ydinjäte ja muutama muu poikkeus. Suomessa jätelainsäädäntö seuraa pääasiassa EU:ssa asetettuja säädöksiä, koskien jätettä ja sen käsittelyä. Tosin joiltain osin on säädetty laajempia ja tiukempia normeja kuin EU:ssa. Suomessa jätelainsäädännölle on asetettu tavoitteeksi parhaalla mahdollisella tavalla:

- Minimoida jätteestä, sekä jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa tai haittaa ympäristölle ja terveydelle
- Vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta
- Tukea luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja kulutusta
- Ylläpitää ja varmistaa toimiva jätehuolto, sekä ehkäistä ympäristön roskaantumista

(Ympäristöministeriö. 2021)

2.2.1 Jätteen hyödyntäminen maantäytössä

Jätteen hyödyntämiselle maantäytössä on asetettu vaatimuksia jätelaissa (978/2021). 28 §:n mukaan ”jätteen on teknisesti ja ympäristövaikutuksiltaan sovelluttava kyseiseen käyttötarkoitukseen ja jätettä voidaan käyttää vain se määrä, joka on ehdottoman tarpeellista maanrakenteen tasauksen, kantavuuden ja kestävyuden kannalta”. Lisäksi on ilmoitettu, että ”yhdyskunta-, rakennus- ja purkujätettä sekä niiden käsittelystä mahdollisesti syntyvää jätettä saa hyödyntää penkereissä, kaivantojen täyttämässä ja muussa vastaavassa maantäytön tapauksissa, mikäli jätteessä olevan biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen pitoisuus hiilen kokonaismääränä tai heikutushäviönä on enintään 10 %”. Pois luettuna kuitenkin jätteenpolton seurauksena syntyvä lento- tai pohjatuhka, edellyttäen sen liuennun orgaanisen hiilen pitoisuuden ollessa alle 800 mg/ kg, kun määritetään nesteen ja kiinteän aineen suhteen ollessa 10 l/ 1 kg kuiva-ainetta kohden. Tällöin määrittäminen voidaan tehdä joko jätteelle ominaiselle pH:lle tai se voidaan säätää asteikolle 7,5-8. Maa- ja kiviainesjätteelle ei myöskään ole määritetty vastaavia kriteereitä.

(Ympäristöministeriö. 2021)

Materiaalin kerääminen, sekä varastoiminen edellyttää alueelta vaadittuja pohjarakenteita tai vastaavasti suojarakenteita, joiden tarkoitus on estää materiaalin leviäminen tai valuminen ympäristöön. Tätä sovelletaan jätteelle, jonka välivarastointi kestää vähemmän kuin 3 vuotta. Jos varastointi kestää yli 3 vuotta muuttuu verovapaa materiaali jälleen jätteeksi, jonka jälkeen siitä tulee maksaa jätevero (Ympäristöministeriö. 2011).

Normaalisti kaikista jätteistä, joka sijoitetaan pysyvästi loppusijoitusalueelle, on maksettava veroa, verotus ei kuitenkaan koske sellaista jätettä, joka varmuudella käytetään loppusijoitusalueen:

- Perustamisessa
- Käytön välttämättömissä rakenteissa
- Käytöstä poistamisen välttämättömissä rakenteissa
- Rakennuksissa

Jäteverovapaus ei kuitenkaan koske:

- Ylijäämämaita
- Lasia
- Raekooltaan ylitse 150 mm kokoista betonijätettä

(Saranen. 2019)

2.3 Tulevaisuus suljettujen loppusijoitusalueiden osalta

Vuodesta 2016 orgaanisen jätteen sijoittaminen loppusijoitusalueille on ollut kiellettyä valtakunnallisesti. Orgaaniseksi jätteeksi voidaan määritellä kaikki biohajoava, palava, maatuva tai lahoava aines. Näitä voivat esimerkiksi olla:

- Biojäte
- Tekstiilit
- Puuperäiset jätteet
- Paperit ja pahvit
- Muovi

(Ympäristöministeriö. 2018).

Tämä väistämättä johtaa tilanteeseen, jossa tarve jätteen loppusijoitusalueille vähenee koko ajan. Toinen merkittävä tavoite niin valtakunnallisella, kuin myös EU:n tasolla on pitää yhä enemmän materiaalia suljetussa kierrossa ja näin välttää varsinaisen jätteen muodostumista. EU tasolla tämä tavoite esimerkiksi yhdyskuntajätteen kierrättämiselle on 55 % vuoteen 2025 mennessä (Euroopan parlamentti 2018) ja valtakunnallisella tasolla 55 % vuoteen 2023 (Ympäristöministeriö 2018). Tämän lainen materiaalin kierrätys on osa kiertotaloutta, termi on lanseerattu 2010 luvun alussa Ellen Mac Arthur säätiön toimesta, tarkoituksena on varjella luonnonvaroja, sekä luonnonmonimuotoisuutta. Toki kiertotalous käsittää myös paljon muita osa-alueita, mutta ne eivät ole oleellisesti liitty tämän diplomityön aihepiiriin (Ellen Mac Arthur Foundation. 2022).

3. Sulkemiseen liittyvät rakenteet

Jotta loppusijoitusalue voitaisiin sulkea turvallisesti, ilman että siitä aiheutuu ympäristölle vaaraa tai haittaa, on alueen rakenteisiin syytä kiinnittää huomiota. Loppusijoitusalueen perustamisvaiheessa kriittinen osa on riittävät pohjarakenteet, niin ettei suotovesien mukana ympäristöön pääse valumaan haitta-aineita. Asianmukaiset pohjarakenteet ovat perusta sille, että suotovedet saadaan kerättyä hallitusti ja ne voidaan tarvittaessa käsitellä. Alueelle rakennetuista pohjarakenteista tarkempi kuvaus on esitetty liitteessä 2. Sulkemisessa huomio taas tulee kiinnittää loppusijoitusalueen päälle rakennettaviin pintarakenteisiin. Pintarakenteet estävät esimerkiksi kaasujen vapautumisen ilmaan hallitsemattomasti ja eristävät jätteet jätetäytön sisään niin, etteivät ne pääse kosketuksiin ympäristön kanssa. Lisäksi pintarakenteet estävät sade- ja sulamisvesien likaantumisen.

Jokaisella osalla on oma tärkeä tehtävänsä ja paras lopputulos voidaan saavuttaa ainoastaan silloin, kun kaikki rakennusvaiheet on toteutettu huolella ja materiaalien valinnassa on keskitytty niiden toimivuuteen. Materiaalien valintaan vaikuttaa oleellisesti ominaisuuksien lisäksi niiden muodostamat kustannukset. Tätä suhdetta on syytä puntaroida ennen varsinaisen valinnan tekemistä.

3.1 Loppusijoitusalueen pohjarakenteille asetetut vaatimukset

Samoin kuin peitekerrokselle, myös pohjarakenteille on ympäristöministeriön toimesta laadittu kriteerit, joiden tulee täytyä loppusijoitusalueella jo ennen, kuin sinne aletaan sijoittamaan jätettä (331/2013). Näin ollen on tärkeä varmistua, että vaatimukset täyttyvät ennen, kuin sulkemista voidaan alkaa suunnittelemaan. Asianmukaiset pohjarakenteet luovat pohjan koko toiminnalle ja näin ollen ne osaltaan ovat osa sulkemiseen liittyviä rakenteita. Nämä vaatimukset on esitetty taulukossa 1, jossa K ilmaisee vedenläpäisevyyttä. Vedenläpäisy arvo K voidaan määrittää yhtälöllä 1.

$$K = \frac{(Q \cdot h)}{(A \cdot t \cdot H)} \quad (1)$$

Q =virtaavan veden määrä [m^3/s]

h =kerroksen korkeus [m]

A =poikkipinta-ala [m^2]

t =aika jona vesi virtaa [s]

H =veden aiheuttama paine pintaan nähden [Pa]

Taulukko 1. Vaatimukset pohjarakenteille

Vaaralliselle jätteelle	Tavanomaiselle jätteelle	Pysyväille jätteen sijoittamiselle
$K \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s ja paksuus ≥ 5 m	$K \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s ja paksuus ≥ 1 m	$K \leq 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s ja paksuus ≥ 1 m

3.2 Peiterakenteille asetetut vaatimukset

Ensin tulisi arvioida onko loppusijoitusalueella sellaisia sektoreita, joihin sijoitettu jäte aiheuttaisi mahdollisia erityistoimenpiteitä. Esimerkiksi asbestin kohdalla peittämisen tulee olla erityisen huolellista, ettei se pääse missään tapauksessa kosketuksiin ihmisten tai ympäristön kanssa. Tämän jälkeen on mahdollista alkaa määrittämään jätetäytön ikää ja

arvioida kaunako jäte vielä asettuu. Asettuminen tarkoittaa sitä, että ikääntyessään loppusijoitusalueelle sijoitettu jäte alkaa painumaan kohti maanpintaa ja tällöin se mahdollisesti aiheuttaa muutoksia peitteessä. Näitä muutoksia tapahtuu eritoten kahden ensimmäisen vuoden jälkeen, kun jätteen sijoittaminen loppuu kyseiselle sektorille (A-T. 2021).

Ympäristöministeriö on asettanut vaatimuksia tavanomaisen ja vaarallisen jätteen loppusijoituspaikkojen peitteiden vahvuuksille (331/2013), jotka on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Eri kerroksille asetetut vahvuus vaatimukset (Ympäristöministeriö. 331/2013)

Kerros	Tavanomaiselle jätteelle	Vaaralliselle jätteelle
Pintakerros $\geq 1\text{m}$	Tarvitaan aina	Tarvitaan aina
Kuivatuskerros $\geq 0,5\text{ m}$	Tarvitaan aina	Tarvitaan aina
Tiivistyskerros $\geq 0,5\text{m}$	Tarvitaan aina	Tarvitaan aina
Keinotekoinen eriste	Ei tarvita	Tarvitaan aina
Kaasunkeräyskerros	Tarvitaan aina	Tarvitaan tarpeen mukaan

3.2.1 Pintakerros

Pintakerros vaaditaan aina ja sen vähimmäis- paksuudeksi on valtioneuvosto määrittänyt 1 m (331/2013). Pinta kerros voidaan karkeasti jakaa kahteen erilliseen jakeeseen, kasvu-, sekä pintakerrokseen, joista kasvukerros on ulompana. Kasvukerroksen vahvuus on tavallisesti 200 – 300 mm ja pintakerroksen 800 – 700 mm. Vaatimuksena koko kerrokselle on suojata sisempiä kerroksia roudalta, kuivumiselta, sekä kestää siihen kohdistuvaa eroosiota. Veden läpäisemiskertoimen K tulisi olla $\leq 10^{-6}$ m/s, eikä hienoainepitoisuuden tulisi ylittää 10 %, tässä tapauksessa hienoaineena pidetään raekooltaan $< 0,063$ mm partikkeleita (Saranen. 2019).

Pintakerroksen tulee eroosio-ominaisuuksien lisäksi täyttää vaatimukset kasvualustaksi. Yleisesti käytössä on melko karuja kasvualustoja ja tarvittaessa materiaalille voidaan suorittaa viljavuusanalyysi. Pintakerroksen päälle istutettavan kasvuston tarkoitus on sitoa sadevettä, parantaa eroosiokestävyyttä ja maisemoida aluetta. Kasvustoa valittaessa huomioitavaa on, etteivät juuret kasva liian syvälle ja näin aiheuta vahinkoa sisemmille

kerroksille. Tavanomaista kasvustoa suljetuilla loppusijoitusalueilla ovat esimerkiksi energiapaju, sekä erilaiset heinät. Mikäli halutaan lisätä eroosiokestävyyttä, on mahdollista asentaa eroosiomattoja tai kennoja parantamaan näitä ominaisuuksia (Saranen. 2019).

3.2.2 Kuivauskerros

Kuivauskerrokselle asetettu minimivahvuus on 500 mm (331/2013), kuitenkin jos vesitaselaskelmilla voidaan osoittaa ohuemman kerroksen riittävä tehokkuus, voidaan sitä käyttää rakenteissa. Määrittäviä tekijöitä kuivatuskerroksen ominaisuuksiin ovat sen kaltevuus, kuivausmateriaalin vedenjohtokyky, sekä pintakerrosten vedenläpäisykyky. Yleisenä ohjeena kuivauskerroksen vedenläpäisykyvylle K voidaan pitää $\geq 10^{-3}$ m/s ja raekokona 8 – 64 mm. (SYKE. 2002).

Pinta- ja kuivauskerroksen väliin voidaan asentaa myös suodatinkangas, jolla voidaan ehkäistä maa-aineksen painumista kuivatuskerrokseen, sekä sen myötä tapahtuvaa tukkeutumista. Kuivauskerroksessa käytettävä materiaali ei saa myöskään olla liian hienojakoista, mikä voisi myös puolestaan estää suotoveden valumista pois (Saranen. 2019).

3.2.3 Tiivistyskerros

Tiivistyskerroksen minimivahvuudeksi on asetettu 500 mm (331/2013), jollei luotettavasti voida osoittaa ohuemman kerroksen riittävyyttä. Ohuempi kerros on yleensä riittävä, kun käytetään tiivisteinä esimerkiksi bentoniittimattoa. Tiivistyskerroksen vedenläpäisyarvon K tulisi olla $\leq 10^{-9}$ m/s. Tärkeimpiä ominaisuuksia tiivistyskerroksessa käytettävälle materiaalille on mukautuminen, sillä jäte alkaa ajan saatossa painumaan kokoon. Kerroksen tehtävänä on myös ohjata muodostuvia kaasuja keräystä varten, eikä se saa päästää niitä lävitse (Saranen. 2019).

Mitä enemmän rakennusvaiheessa kiinnitetään huomiota tiivistyskerroksen onnistumiseen, sitä pidempään se luultavasti kestää ilman huoltoa ja korjausta. Ennen kuin sitä lähdetään rakentamaan, tulee pohjatöiden olla huolellisesti toteutetut. Tässä vaiheessa on myös tärkeää suorittaa mittaukset, jotta voidaan myöhemmin todentaa kerrosten oikeat vahvuudet.

Tiivistyskerrokseen kohdistuu myös eroosiota, joka voi mahdollisesti heikentää sen kestoaa. Mahdollisia vaikutuksia aiheuttaa sisäinen eroosio, ulkoinen eroosio, sekä kontakti eroosio. Näiden aiheuttajia on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tiivistyskerrokseen kohdistuva eroosio uhka (SYKE. 2002)

Sisäinen eroosio	Ulkoinen eroosio	Kontakti eroosio
Vesi kuljettaa partikkeleita maan sisäisten huokosten kautta	Vesi kuljettaa partikkeleita maan pintaa pitkin	Vesi kuljettaa partikkeleita kahden eri jakeen rajapinnassa

Ennen varsinaisen tiivistyskerroksen rakentamista on suoritettava kokeita, jotta voidaan varmistua kerroksen toimivuudesta. Näillä toimenpiteillä varmistetaan tiivistyksessä käytettävän materiaalin homogeenisyys, konsistenssirajat, vedenläpäisevyys, sekä vesipitoisen massan tilavuuspaino. Parametrejä voidaan mahdollisesti tarkastella myös materiaalin valmistajan toimesta, esimerkiksi bentoniittimatolle. Tällöin valmistajan suorittamat mittaukset toimivat pohjana rakentamisen aikaiselle laadunvalvonnalle (SYKE. 2002).

3.2.4 Kaasunkeräyskerros

Kaasunkeräyskerroksen tarkoitus on kerätä ja johtaa kaasuja, jotta niitä voitaisiin hyödyntää edelleen. Kaasunkeräyskerrokselle asetettu vähimmäisvahvuus on 100 mm, kuitenkin kaasun keräysputken välittömässä läheisyydessä 300 mm (331/2013). Kaasunkeräyskerroksessa käytettävän materiaalin tärkeimpiä ominaisuuksia on hyvä kaasun johtavuus, sekä vedenläpäisyomaisuus $K \geq 10^{-4}$ m/s. Materiaalin tulee kestää myös kemiallista räsitusta, sekä päälle tulevan peitteen fyysinen räsitus. Karkea rakeinen materiaali on todettu hyväksi tähän tarkoitukseen, eikä hienoaine pitoisuus saa ylittää 10 % ($< 0,063$ mm). Eri kerrosten materiaalien tulee myös sopia yhteen, esimerkiksi jos tiivistys kerros on bentoniittia, tulee kiinnittää huomiota asennusalustan raekokoon.

(Saranen. 2019)

3.2.5 Muotoilu-/ esipeittokerros

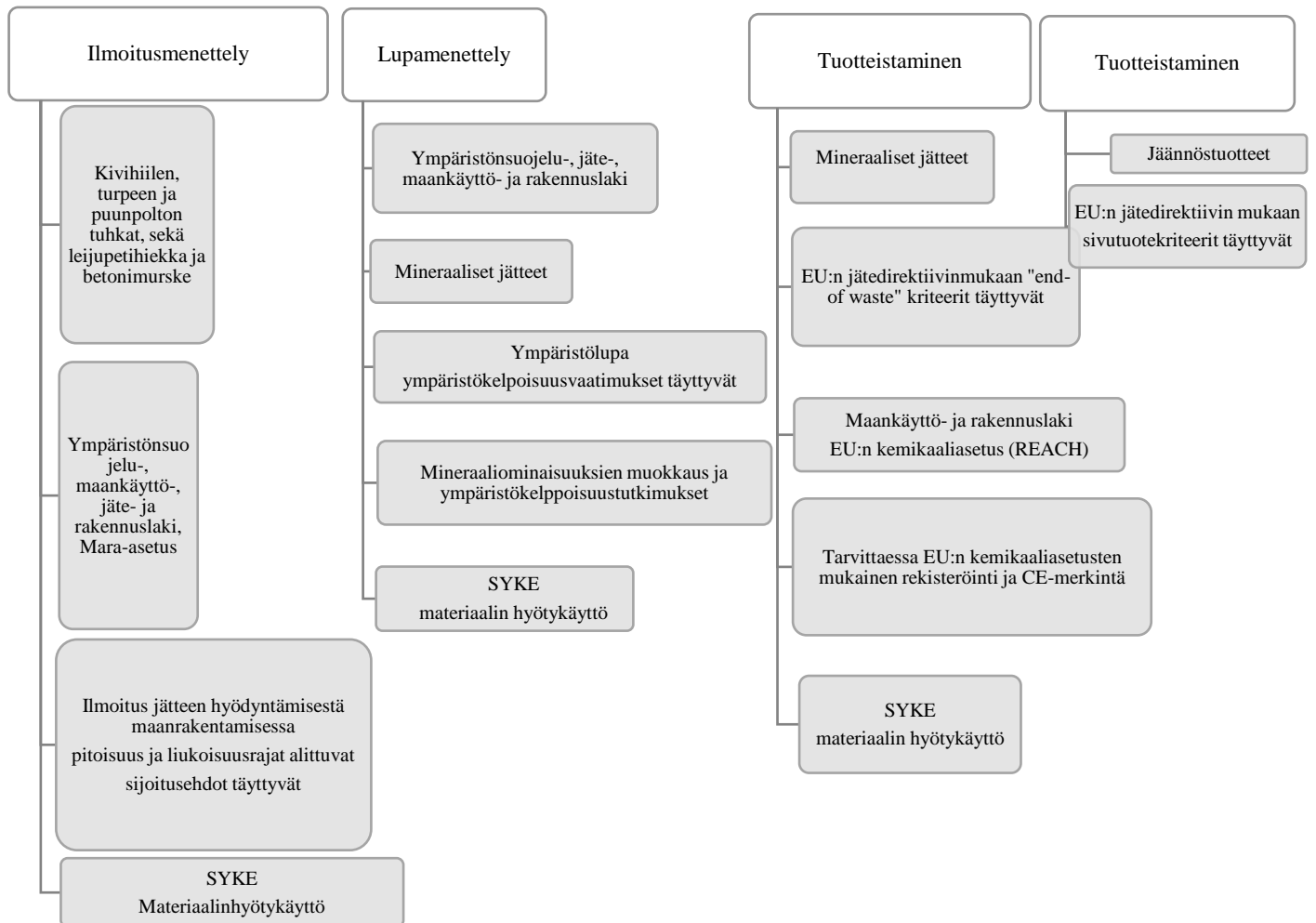
Kun loppusijoitusalueelle kerättävä jäte kasaantuu ja lopulta saavuttaa tavoitellun korkeuden, peitetään se mahdollisimman nopeasti maa-aineksella tai muulla vastaavalla helposti saatavilla olevalla materiaalilla, tälle ei ole määritetty tarkkoja kriteerejä ja myös erilaisia jätejakeita voidaan tässä hyödyntää. Peittämisellä pyritään myös sitomaan jäte paikalleen, niin ettei se leviäisi ympäristöön, sekä vähentämään mahdollisia hajuhaittoja. Samalla myös muotoillaan syntynyt jätetäyttö siten, että vesi pääsee valumaan pois, eikä lammikoita pääse syntymään. Kaltevuudelle asetetut kriteerit täyttävä kaikki kaltevuudet 1:20 ja 1:3 väliltä. Kaltevuudella on myös vaikutus eroosioon. Esipeitekerroksen vahvuus on tavallisesti vähintään 300 mm.

(SYKE. 2008)

3.3 Materiaalin kerääminen peitettä varten

Loppusijoitusalueen sulkemisen rakenteissa on myös mahdollista käyttää neitseellisen materiaalin korvaavia materiaaleja, joita voivat olla esimerkiksi teollisuuden jäte- ja sivuvirrat. Ensin on kuitenkin varmistuttava korvaavien materiaalien ominaisuuksien soveltumista loppusijoitusalueen rakenteisiin. Näistä materiaaleista löytyy tutkittua tietoa, jota on kerätty samankaltaisista sulkemistapauksista. Löytämällä sopiva korvaava materiaali, esimerkiksi korvamaan tiivistyskerroksessa yleisesti käytetyn bentoniitin, voidaan sulkemis- kustannuksissa säästää huomattavan paljon. Tällaista jäte- ja sivuvirtojen tuotteistamista, sekä hyödyntämistä maanrakennuksessa on tutkittu aina 90 -luvulta lähtien. Tästä johtuen on helppo verrata eri materiaalien ominaisuuksia toisiinsa ja käydä läpi käyttökokemuksia ja tuloksia (Spagnoli, et al. 2018). Tarpeellista on myös selvittää eri materiaalien saatavuus ensin paikallisilta teollisuuden toimijoilta ja myöhemmin kartoittaa muita mahdollisuuksia. Mitä kauempaa materiaalia joudutaan kuljettamaan, sitä kalliimmaksi se tulee. Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty muutamia tällaisia materiaaleja, sekä vaadittavia toimenpiteitä niille, ennen materiaalin varsinaista hyödyntämistä. Tarkoituksena on arvioida ympäristökelpoisuutta, sekä materiaalin teknistä kelpoisuutta.

Tästä on säädetty EU-lainsäädännössä ja siihen myös pohjautuu UUMA- kehitysohjelma (Ympäristöministeriö. 2011).



Kuva 1. Vaadittavien toimenpiteiden eri vaiheet esimerkki materiaaleille (Ympäristöministeriö. 2011)

3.3.1 Materiaali vaihtoehtoja pintakerrokselle

Pintakerroksessa käytettäväksi sopivat hyvin erilaiset ruoppausjätteet, ylijäämämaat ja turpeet. Tapauskohtaista on, voidaanko pintakerroksessa käyttää pilaantunutta maajätettä ja sitä varten on aina haettava lupaa erikseen (Saranen. 2019). Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty vaihtoehtoisia materiaaleja, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Materiaali vaihtoehtoja pintakerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Spagnoli, et al. 2018; Elo, et al. 2020; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018; Saranen. 2019)

Materiaali	Vahvuudet	Heikkoudet	Muita ominaisuuksia	[K]
Ruoppausjäte	Kuivatulla jätteellä hyvät veden eristysominaisuudet	Käsittelemättömänä arvaamaton, ei kestä räsitusta, mahdolliset haitalliset valumat ympäristöön	Mahdollista parantaa ominaisuuksia erilaisilla käsittelyillä	Kuivalla jätteellä erittäin hyvä
Turve	Kasvualusta, pakkasensietokyky, kyky sitoa epäpuhtauksia	Saatavuus johtuen tämän hetken energiapulasta (2022)	Mahdollisuus alentaa pH pitoisuutta, Ominaisuudet lähellä kompostia	Riippuu turpeen laadusta, mutta oikealla laadulla saavutetaan vaadittava arvo
Pilaantunut maa-aines	Voidaan laskuttaa jätteen vastaanotosta	Haitta-aine pitoisuudet ja mahdolliset haitalliset valumat ympäristöön	Luvanvaraista, tarkkailu aiheutuvista valumista ympäristöön	Riippuu maa-aineksen laadusta
Komposti	Tuotanto aivan loppusijoitusalueen vieressä, hyvä kasvualusta	Mahdolliset haitalliset valumat ympäristöön, mahdolliset hajuhaitat	Biohiilellä voidaan parantaa kompostin ominaisuuksia esimerkiksi veden ja ravinteiden sitomiskykyä	Riippuu kompostin laadusta
LT (hiilenpoltto)	Rasituksen kesto	Valumat ympäristöön, kysyntä muihin sovelluksiin ja sitä kautta mahdolliset hankintakustannukset	Kysyntä suurempi kuin tarjonta, vaikeuttaa saatavuutta	Täyttää annetut ehdot
LT (jätteenpoltto)	Hyvä veden eristys kyky	Mahdolliset haitalliset valumat ympäristöön, yleensä pitää sisällään runsaasti haitallisia yhdisteitä	Stabiili asentamisen jälkeen laatu tulee testata ennen käyttöä	Täyttää annetut ehdot

Taulukko 5. Lisää materiaali vaihtoehtoja pintakerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Spagnoli, et al. 2018; Elo, et al. 2020; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018; Saranen. 2019)

Materiaali	Vahvuudet	Heikkoudet	Muita ominaisuuksia	[K]
Liete (jätevedenpuhdistamo)	Saatavuus, vedenläpäisy ominaisuudet, hyvä kasvualusta	Kestävyys, haju haitat ja mahdolliset haitta-aine pitoisuudet	Tarvitsee kuivatuksen ja jatkokäsittelyn ennen käyttöä	Täyttää annetut ehdot
Liete (EKJH:n biokaasulaitokselta)	Saatavuus, vedenläpäisy ominaisuudet, hyvä kasvualusta, hinta	Kestävyys, haju haitat ja mahdolliset haitta-aine pitoisuudet	Tarvitsee kuivatuksen ja jatkokäsittelyn ennen käyttöä	Täyttää annetut ehdot
Liete (paperiteollisuus)	Vedenläpäisy	Herkkä pakkaselle	Korkea orgaanisen aineksen pitoisuus	Täyttää annetut ehdot
Betoniteollisuus (sementtiuunin pöly)	Kestävä, ei juuri kutistu	Valumat ympäristöön	Pitkän aikavälin muutokset	Täyttää annetut ehdot

3.3.2 Materiaali vaihtoehtoja kuivauskerrokselle

Kuivauskerroksessa käytettävien materiaalien suhteen on paljon vaihtoehtoja, esimerkiksi betonimurska, tiilet, autonrenkaat, kivimurska ja salo-ojamatot (Saranen. 2019). Tarkemmin vaihtoehtomateriaaleja on esitetty taulukossa 6. Tärkeintä on kiinnittää huomio materiaalin raekokoon hankintavaiheessa ja miettiä tarvitaanko esimerkiksi murskausta, jotta päästään oikeaan kokoon. Toinen mahdollinen tapa päästä oikeaan raekokoon on seuloa hienoaines pois. K arvon tulisi olla lähellä vaadittua, jotta kerros toimisi oikein.

Taulukko 6. Materiaali vaihtoehtoja kuivauskerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Saranen. 2019; VTT. 2004)

Materiaali	Vahvuudet	Heikkoudet	Muita ominaisuuksia	[K]
Betonimurska	Saatavuus, voidaan laskuttaa vastaanotosta, kestävyys	Mahdollinen kalsiumin liukeneminen ja valumat	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen, kovettuu ajan myötä	Täyttää annetut ehdot
Tiilet	Voidaan laskuttaa vastaanotosta	Mahdollinen mureneminen paineen alla	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen	Täyttää annetut ehdot
Rengasleike	Mukautuva/elastinen	Painuu kokoon 5 – 50 % riippuen kuormasta, huomioitava suunnittelussa	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen	Täyttää annetut ehdot
Kivimurska	Saatavuus, kestävä, ei liukene	Hankinta kustannukset	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen	Täyttää annetut ehdot
Vaahtolasi	Routimaton, kevyt	Suuren paineen alla kitkaominaisuudet kärsivät, saatavuus, hinta	Hyvät kaasun ja veden johtamis- ominaisuudet	Täyttää annetut ehdot
Salaojamatto	Helppo asentaa/vähäinen työn määrä, ei tarvitse laadun valvontaa, lisää täytön kapasiteettia, hinta	Vaarana aiheuttaa liukumista kahden kerroksen välillä, hinta	Täytyy sopia muiden käytettyjen materiaalien kanssa yhteen	Täyttää annetut ehdot

3.3.3 Materiaali vaihtoehtoja tiivistyskerrokselle

Yleisimpiä käytettyjä materiaaleja tiivistyskerroksessa ovat bentoniittimatto, moreenibentoniitti, savi, sekä kuitusavi. Kuitusaven käyttö on kuitenkin vähentynyt merkittävästi sen jälkeen, kun vuonna 2016 astui voimaan orgaanisen jätteen loppusijoittamisen kieltö (Saranen. 2019). Materiaalivaihtoehtoja, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia on esitetty taulukoissa 7, 8 ja 9. Tiivistyskerroksen materiaalivalinnassa tulee erityisesti huomioida sen yhteensopivuus muiden kerrosten materiaalien kanssa. Osa esitetyistä materiaaleista myös tarvitsee enemmän testausta ja laadunvalvontaa, kuin esimerkiksi valmis bentoniittimatto. Tästä johtuen asennuskustannukset voivat nousta huomattavasti, vaikka itse materiaali voitaisiinkin hankkia tuottoa vastaan eli laskuttaa materiaalin vastaanottamisesta.

Taulukko 7. Materiaali vaihtoehtoja tiivistyskerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Spagnoli, et al. 2018; Elo, et al. 2020; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018; Saranen. 2019)

Materiaali	Vahvuus	Heikkous	Muita ominaisuuksia	[K]
LT (hiilenpoltto)	Rasituksen kesto	Valumat ympäristöön	Yleensä tarvitaan seosaine: bentoniitti, sementti, kipsi, kalkki	Täyttää annetut ehdot
LT (jätteenpoltto)	Hyvä veden eristys kyky	Valumat ympäristöön, yleensä pitää sisällään runsaasti haitallisia yhdisteitä	Stabiili asentamisen jälkeen laatu tulee testata ennen käyttöä	Täyttää annetut ehdot
Komposti	Vakaa, pakkasenkesto	Valumat ympäristöön, biohajoaminen, tarvittavat käsittelyt, homogenointi	Kuitumainen rakenne	Täyttää annetut ehdot
PT (jätteenpoltto)	Mekaaninen kestävyys	Ongelmallista ympäristön kannalta	Sillä voidaan parantaa saven mekaanisia ominaisuuksia	Läpäisee liikaa nestettä

Taulukko 8. Lisää materiaali vaihtoehtoja tiivistyskerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Spagnoli, et al. 2018; Elo, et al. 2020; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018; Saranen. 2019)

Materiaali	Vahvuus	Heikkous	Muita ominaisuuksia	[K]
Liete (jätevedenpuhdistamo)	Saatavuus, vedenläpäisy ominaisuudet	Kestävyys, haju ja mahdolliset haitta-aine pitoisuudet. Vaatii paljon mittauksia, joilla varmistetaan homogeenisyys	Tarvitsee aina kuivatuksen, seosaineen	Täyttää annetut ehdot
Liete (EKJHn biokaasulaitokselta)	Saatavuus, vedenläpäisy ominaisuudet, hinta	Kestävyys, haju ja mahdolliset haitta-aine pitoisuudet. Vaatii paljon mittauksia, joilla varmistetaan homogeenisyys	Tarvitsee aina kuivatuksen, seosaineen.	Täyttää annetut ehdot
Liete (paperiteollisuus)	Mekaaniset ominaisuudet, vedenläpäisy	Herkkä pakkaselle	Korkea orgaanisen aineksen pitoisuus	Täyttää annetut ehdot
Betoniiteollisuus (sementtiuunin pöly)	Kestävä, ei juuri kutistu	Valumat ympäristöön	Miten käyttäytyy pitkän ajan kuluessa	Täyttää annetut ehdot
Kuitusavi (paperiteollisuus)	Kestävä, vakaa	Orgaanisen aineen pitoisuus	Voidaan stabiloida sekoittamalla tuhkaan, tarvitaan laadunvalvontaa	Täyttää annetut ehdot

Taulukko 9. Lisää materiaali vaihtoehtoja tiivistyskerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Spagnoli, et al. 2018; Elo, et al. 2020; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018; Saranen. 2019)

Materiaali	Vahvuus	Heikkous	Muita ominaisuuksia	[K]
Turve	Hyvä tiiveys, kestää pakkasta	Saatavuus, turpeen tuottamisesta on tullut kyseenalaista aiheutuvien ympäristövaikutusten vuoksi, hinta	Korkea orgaanisen aineksen pitoisuus, valumat ympäristöön	Riippuu turpeen laadusta, mutta oikealla laadulla saavutetaan vaadittava arvo
Bentoniittimatto	Nopea asentaa, vedenläpäisy ominaisuudet, kestää jäätyminen ja sulamisen, korjautuva itse	Kemiallisen rasituksen kesto, hinta	Voidaan valmistaa juuri kohteeseen sopivaksi, ei tarvitse erillistä laadunvalvontaa	Täyttää annetut ehdot

3.3.4 Materiaali vaihtoehtoja kaasunkeräyskerrokselle

Tiili tai betonimurska olisi erinomainen materiaali vaihtoehto tähän tarkoitukseen. Molemmilla materiaalien kaasunjohtokyky on riittävä. Mahdollista on kuitenkin käyttää myös pilaantunutta maa-ainesta, kunhan se on loppusijoituskelpoista, sekä raekooltaan soveltuvaa (Saranen. 2019). Vaihtoehtoja kaasunkeräyskerrokselle on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Materiaali vaihtoehtoja kaasunkeräyskerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Saranen. 2019; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018)

Materiaali	Vahvuus	Heikkous	Muita ominaisuuksia	[K]
Betonimurska	Saatavuus, kestävyys, voidaan laskuttaa vastaanotosta	Mahdollinen kalsiumin liukeneminen ja valumat	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen, kovettuu ajan myötä	Täyttää annetut ehdot
Tiilimurska	Voidaan laskuttaa vastaanotosta	Mahdollinen mureneminen paineen alla	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen	Täyttää annetut ehdot
Salaojamatto	Helppo asentaa/vähäinen työn määrä, ei tarvitse laadun valvontaa, lisää täytön kapasiteettia, hinta	Vaarana aiheuttaa liukumista kahden kerroksen välillä, hinta	Täytyy sopia muiden käytettyjen materiaalien kanssa yhteen	Täyttää annetut ehdot
Kivimurska	Saatavuus, kestävyys, ei liukene	Hankinta kustannukset	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen	Täyttää annetut ehdot
Pilaantunut maa-aines	Hankinnasta voidaan laskuttaa	Valumat ja haitta-aine pitoisuudet, mahdollinen esikäsitely ja kosteus	Tulee olla sopivan rakeista, jotta saavuttaa vaadittavat ominaisuudet	Riippuu laadusta
Rengasleike	Mukautuva/elastinen	Painuu kokoon 5 – 50 % riippuen kuormasta, huomioitava suunnittelussa	Voidaan käyttää suodatinta kerrosten välissä ja estää tukkeutuminen	Täyttää annetut ehdot

3.3.5 Materiaali vaihtoehtoja muotoilu- ja esipeittokerrokselle

Muotoilu- tai esipeittokerroksessa käytettäväksi sopii lähes mikä tahansa helposti saatavilla oleva materiaali, joka on mahdollista hankkia halvalla. Parhaassa skenaariossa yritys voi laskuttaa esimerkiksi pilaantuneiden maa-ainesten vastaanotosta ja käyttää sitä muotoilussa tai esipeittokerroksessa. Huomioitavaa on kuitenkin, että siitä mahdollisesti aiheutuvat valumat eivät pääse leviämään ympäristöön, vaan ne voidaan hallitusti kerätä ja käsitellä,

ennen niiden johtamista jätevedenkäsittelylaitokselle (MARA. 2018). Vaihtoehtoja muotoilu- ja esipeittokerrokselle on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Materiaali vaihtoehtoja muotoilu- ja esipeittokerrokselle, sekä niiden tärkeimpiä ominaisuuksia (Saranen. 2019; Reiman. 2019; Paalosmaa. 2018)

Materiaali	Vahvuus	Heikkous	Muita ominaisuuksia	[K]
Komposti	Vakaa, pakkasenkesto	Valumat ympäristöön, biohajoaminen, tarvittavat käsittelyt, homogenointi	Kuitumainen rakenne	Täyttää annetut ehdot
Pilaantunut maa-aines	Hankinnasta voidaan laskuttaa	Valumat ja haitta-aine pitoisuudet, mahdollinen esikäsittely ja kosteus	Mahdollinen seulonta jotta saavutetaan oikea raekoko	Riippuu laadusta
Joutomaa	Saatavuus, hyvä kasvualusta	Ei välttämättä ole homogeenistä, mikäli sitä hankitaan monesta eri lähteestä	Ominaisuudet riippuvat pitkältä maa-aineksen laadusta ja lähteestä esimerkiksi ruoppaus tai maanrakennus	Riippuu laadusta
Teollisuuden jätteet/sivuvirrat	Voidaan laskuttaa vastaanotosta	Joudutaan mahdollisesti käyttämään seos aineita, laaduntarkkailu, mahdolliset valumat	Täytyy varmistua siitä, ettei materiaali liety liikaa sateiden ja sulamisvesien vaikutuksesta	Riippuu laadusta

3.4 Teollisuuden jätteet ja sivuvirrat

Niin kuin aiemmin todettiin, teollisuuden jäte- ja sivuvirtoja kannattaa tarkastella ja etsiä niitä mahdollisimman läheltä itse rakennuskohdetta. Tämän myötä on mahdollista välttää turhia, kuljetuksista aiheutuvia kustannuksia. Kukkuroinmäen loppusijoitusalueen ympärillä on lukuisia teollisen mittakaavan yrityksiä, joiden prosesseissa muodostuu erilaisia jäte- ja

sivuvirtoja. Lopullinen materiaalin tuotteistus näiltä toimijoilta vaatii kuitenkin testausta, sen soveltuvuuden varmistamiseksi.

3.4.1 Mahdollisia lähteitä peitemateriaaleille

Selvitystä varten seuraaviin yrityksiin on otettu yhteyttä eri teollisuuden aloilta. Perusteena yhteydenottoon on ollut prosesseissa muodostuva, peittämiseen mahdollisesti soveltuva jäte. Tarkoitus oli selvittää mahdollisesti hyödynnettävän materiaalin ominaisuuksia, pitoisuuksia ja paljonko materiaalia kertyy vuositasolla, tai onko sitä mahdollisesti varastoitu johonkin. Myös materiaalille muodostuva, joko negatiivinen tai positiivinen hinta kiinnostaa erityisesti. Tämän jälkeen on arvioitu kannattaako selvitystä materiaalin osalta jatkaa. Alapuolelle on listattu yrityksiä ja mahdollisia rakennusmateriaaleja.

- UPM (Lappeenranta)

UPM:n biojalostamolla syntyvä jäte ei ole soveltuvaa käytettäväksi peitemateriaalina, kun taas UPM Kaukaan tehtaalla syntyy jätevesilietettä, kuitulietettä, sekä polton seurauksena lento- ja pohjatuhkaa (UPM Kymmene. 2020 ja Itä-Suomen ympäristölupavirasto. 2005).

- Finnsementti (Lappeenranta)

Mahdollisia hyödynnettäviä jätevirtoja ovat: Sementtiuuninpöly, myös jätteenpoltosta (uunin lämmityksestä) muodostuva tuhka (Leveelahti. 2022).

- Fortum Waste Solutions (Riihimäki)

Polttaa yhteiskuntajätettä, myöskin EKJH Oy:n keräämät jätteet, joista muodostuu tuhkaa (EKJH Oy. 2022).

- Stora Enso (Anjalankoski)

Polttoaineet: kuori ja metsähake, liete, kierrätyspuu (luokka A/B), sekä SRF (solid recovered fuel), joista muodostuu tuhkaa (Stora Enso 2020).

- EKJH (biokaasulaitos)

Biokaasulaitoksen sivuvirrat voidaan jakaa kahteen erilliseen jakeeseen. Biolinjalta lannoite käyttöön soveltuvaan mädätteeseen, joka osaltaan on jo tuotteistettu. Siitä saatava taloudellinen hyöty on siinä määrin huomattava, ettei sitä kannata käyttää peitemateriaalina. Prosessissa lietelinjalta syntyvä mädäte sen sijaan olisi mahdollista hyödyntää peitteessä.

- Ovako (Imatra)

Ovako on maailman laajuinen teräksen valmistaja, jolla on toimipiste Imatralla. Valmistusprosessissa syntyy muun muassa teräskuonaa jätteenä (Imatran kaupungin Ympäristölupahakemus. 2019).

- Nordkalk

Nordkalk valmistaa kalkkikivipohjaisia tuotteita ja heillä on muun muassa kaivostoimintaa Lappeenrannan alueella. Mahdollisia hyödynnettäviä jätevirtoja syntyy esimerkiksi rikastushiekan muodossa (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2005).

Tarkempi analyysi materiaaleista hinnan osalta kappaleessa 6 ja materiaalin soveltuvuudesta rakenteisiin kappaleessa 7.

Jotta teollisuuden jätteitä tai sivuvirtoja voidaan verrata hinnalta ja ominaisuuksilta niin sanottuihin valmiisiin ratkaisuihin, sekä tuotteisiin, selvitetään myöskin niiden toimittajilta kustannus arvio ja teknisiä ominaisuuksia. Soveltuvia tuotteita ovat esimerkiksi:

- Bentoniittimatto, jota myy ja toimittaa ainakin Geosynt ja Viacon
- Salaojamatot, joita myy ja toimittaa myöskin Geosynt ja Viacon

4. Loppusijoitusalueen maa-alan hyödyntäminen tulevaisuudessa

Yhtiön tavoitteena on, että tästä alueesta saataisiin tulevaisuudessa kaiken potentiaalinen irti ja siitä hyödyttäisiin myös taloudellisesti. Suomessa suljettuja loppusijoitusalueita on aiemmin lähinnä muokattu virkistysalueiksi. Tämä osaltaan johtuu siitä, että vanhat loppusijoitusalueet on aikoinaan usein perustettu lähelle kaupunkeja ja näin palvelevat nyt ulkoilumaastoina keskeisillä paikoilla (Lippo. 2019). Kukkuroinmäen loppusijoitusalueen tapauksessa tämänkaltaisen toiminta ei kuitenkaan sovellu tulevaisuuden hyödyntämissovellukseksi, koska alue sijaitsee kaukana asutuksesta, sekä aktiivinen jätteenkäsittely ja sijoittaminen tulee myöskin jatkumaan tulevaisuudessa. Tällainen toiminta ei myöskään ole taloudellisesti kannattavaa.

4.1 Sovelluksia

Mietittäessä mahdollisia suljetun loppusijoitusalueen erilaisia hyödyntämissovelluksia, on hyvä huomioida sille asetettuja rajoitteita. Alueen kattavalle peitteelle ei saa aiheuttaa kohtuutonta rasitusta, esimerkiksi raskaiden rakenteiden johdosta. Mahdolliset rakenteet eivät myöskään saa ulottua niin syväälle, että niistä voisi aiheutua vauriota peitteen eri kerroksille. Samat kriteerit koskevat myös alueelle istutettavaa kasvustoa (SYKE. 2008).

4.1.1 Energiapaju

Energiapajun kasvattaminen on viime vuosina lisääntynyt Suomessa ja sitä on mahdollista käyttää niin hakkeena energiantuotannossa, biohiilentuotannossa, kuin myös raaka-aineena biokaasulaitoksella. Eri pajulajien väliltä valitaan sopiva lajike riippuen millä leveyksillä pajua halutaan viljellä, osa kestää esimerkiksi hallaa paremmin (Ahonen 2014). Pajun viljelyn ehdottomia etuja on, että kerta istutuksella voidaan korjata sato 2-3 vuoden välein, ainakin 20 vuoden ajan. Kasvualustaksi pajulle soveltuu erinomaisesti sellaiset alustat, joilla ei voida tuottaa esimerkiksi viljaa tai muita ravinnoksi sopivia kasveja (Carbons Finland Oy. 2020).

Paju on myös erinomainen kasvi sitomaan nestettä ja näin esimerkiksi loppusijoitusalueella pienentämään muodostuneiden valumavesien aiheuttamaa eroosiota (Ahonen. 2014).

Pajun kasvatuksessa ja sen kastelussa on myös mahdollista hyödyntää loppusijoitusalueen suotovesiä. Etenkin Ruotsissa useissa tapauksissa, loppusijoitusalueiden yhteyteen istutettuja pajuviljelmiä on kasteltu suotovesiä käyttäen, näin on myös välttytty jätevesien käsittelykustannuksilta. Pajulla on erittäin hyvä kyky sitoa ravinteita itseensä, näin ollen myös ravinteet saadaan pidettyä kierrossa. Esimerkiksi jos pajua hyödynnetään energian tai biokaasun tuotannossa, voidaan ravinnepitoista tuhkaa, sekä muita sivuvirtoja käyttää, vaikka lannoitteena.

(Niemi 2014)

4.1.2 Hamppu

Hamppu on ruohokasvi ja sen viljely voidaan jakaa kuituhampun ja öljyhampun kasvattamiseen. Hamppu on nopea kasvamaan ja siitä saadaan sato joka vuosi. Hampun kasvatus onnistuu hyvin ilman tuholaismyrkkijä, lisäravinteita tai kastelua. Sen juuret kasvavat pääasiassa 0,5 metriin maan pinnasta, mutta on mahdollista, että juuret kasvavat jopa 1 metrin syvyyteen. Etelä-Suomessa siitä on mahdollista saada, jopa kaksi satoa kesässä. Vuodesta ja lajikkeesta riippuen satoa on mahdollista saada 5 – 7 t/ha (Forsman. 2022).

Suomen kasvuolosuhteissa hamppu kasvaa tavallisesti 3 – 4 metrin korkuiseksi, toki on myös lajikohtaisia eroja. Käyttökohteita korjatulle hampulle on useita, mutta tässä tapauksessa huomio kiinnittyy sen potentiaaliin biokaasun valmistuksessa. Hamppu on myös tehokas sitomaan hiilidioksidia ilmasta ja sen todettu parantavan maaperää (Juvonen. 2014).

Biokaasun valmistuksessa hamppu tarvitsee toimiakseen N-pitoista nestettä, esimerkiksi liete lantaa. N-pitoinen neste korjaa hampulle ominaista C/P-suhdetta, joka sellaisenaan ei ole optimaalinen kaasuntuotantoon. Eri hampulajikkeista tähän tarkoitukseen soveltuvimmaksi on osoittautunut Chamaelon (Tahvola. 2016).

4.1.3 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit ovat tällä hetkellä globaalisti nopeimmin kasvava energiantuotannon muoto. Aurinkoenergia on uusiutuvaa, eikä sen tuottamisesta synny itsessään päästöjä. Ainostaan paneelien materiaali, valmistus ja kuljetus kuormittaa ympäristöä. Aurinkopaneelien hinnat ovat tulleet alas, samaan aikaan kun niiden tehokkuus on kasvanut. Ratkaisuja löytyy runsaasti erilaisiin kohteisiin ja ne voidaan asentaa, joko kiinteiksi tai valoa seuraaviksi. Aurinkopaneelien hyöty suhteessa hintaan kasvaa, kun paneelien lukumäärää kasvatetaan. Tällä hetkellä yleisesti käytetyin ratkaisu on c-Si paneeli, joka on valmistettu kristallisesta piistä. Pii paneelilla on markkinoiden paras hintalaatu suhde ja se on syrjäyttänyt markkinoilta monta kilpailevaa materiaalia.

(Niku. 2019).

Lappeenrannan sijainnilla keskimääräinen auringon säteilyteho vuodessa on noin 1100 kWh/m². Tästä säteilytehosta on mahdollista hyödyntää tehokkaimmilla aurinkopaneeleilla noin 30%. Toki paneelien keräämän energian määrään vaikuttaa myös niiden sijoitus. Sijoituksella tarkoitetaan ilmansuuntaa, josta energiaa kerätään. Vaakatasossa oleva paneeli kerää energiaa koko päivän, muttei pysty hyödyntämään aamun ensimmäisiä, eikä illan viimeisiä säteitä. Viistoon asennetulla paneelilla taas voidaan saada säteilyä vain tietyn osan päivästä, kun se tavoittaa säteet tietystä suunnasta. Tämä kannattaa huomioida paneeleita asennettaessa.

(Breyer. 2022).

Aurinkopaneelien asennuksessa huomio tulisi kiinnittää optimaaliseen asennuskulmaan, jotta paneeleista saadaan maksimi hyöty. Useimmissa kaupallisissa malleissa aurinkopaneeli tarvitsee myös asennustelineen, johon se saadaan kiinnitettyä. Markkinoilla on erilaisia ratkaisuja asennustelineille, ja loppusijoitus alueen tapauksessa huomio kiinnitty telineen keveyteen, sekä sen ankkurointiin. Ankkuroinnin tulisi olla kestävä, eikä se saa ulottua liian syvälle pintakerrokseen. Olosuhteet myös osaltaan lisäävät ankkuriin kohdistuvaa räsitusta. Kova tuuli ja lumikuorma aiheuttavat tämänkaltaista ylimääräistä räsitusta ankkurointiin (Sampson. 2009).

Vaihtoehtona raskaammalle aurinkopaneelille on käyttää ohutta aurinkopaneeli filmiä, tällä hetkellä markkinoilla hallitseva teknologia on CdTe eli kadmiumtelluridi. CdTe

paneelilla on hyvä hyötysuhde hintaan nähden, ainoana miinus puolena on käytön jälkeen syntyvän jätteen myrkylliset yhdisteet (Ramos-Ruiz et al. 2017). Tällaiset ratkaisut toki tuovat mukanaan muita haasteita, jos filmi asennetaan suoraan maata vasten, tulee se luultavasti talvella hautautumaan lumen alle. Tämä aiheuttaa ylläpitokustannuksia. Toisaalta pintaa mukaileva filmi ei ole niin altis muuttuville olosuhteille, kun aikanaan loppusijoitusalueen painuminen aiheuttaa muutoksia sen pinnanmuodossa. Filmä on myös alttiimpi kaikelle kasvustolla ja sen toimivuuden varmistamiseksi olisikin hyvä asentaa filmin alle alusta, joka estäisi kasvien kasvun. Tämä tietenkin lisää osaltaan filmin hintaa.

(Sampson. 2009).

Molemmilla ratkaisuilla on omat hyvät puolensa, mutta tämän hetken teknologialla raskaammalla paneelimalilla saavutetaan suurempi teho. Yhdysvalloissa on suunniteltu ja toteutettu useita aurinkoenergian keruu projekteja, jo suljetuilla jätteen loppusijoitusalueilla eri puolilla maata. Tällaiset projektit auttavat hyödyntämään suuriakin alueita, joilla aikaisemmin ei ole juurikaan nähty hyödynnys potentiaalia (Ramos-Ruiz et al. 2017).

4.1.4 Tuulivoimala

Kuten aurinkovoimakin, myös tuulivoima on uusiutuvan energian lähde. Tuulivoimaloiden kohdalla suurin osa päästöistä syntyy niiden materiaaleista, valmistuksesta, kuljetuksesta ja ylläpidosta. Tuulivoiman kannattavuuteen vaikuttaa useat eri tekijät, näistä mainittakoon alueelle tyypilliset tuuliolosuhteet, ympäristöolosuhteet ja tuulivoimalan koko. Tuuliolosuhteet vaihtelevat maantieteellisen sijainnin mukaan ja ovat keskimäärin saman kaltaiset tietyssä paikassa, ne kuitenkin vaihtelevat myös vuodenajan mukaan. Ympäristö vaikuttaa myös oleellisesti, esimerkiksi korkeat rakennukset ja metsäalueet hidastavat tuulennopeutta. Tuulivoimalan koko vaikuttaa myös osaltaan, esimerkiksi turbiinin halkaisijan kasvaessa hyötysuhde paranee. Paitsi turbiinin koko, myös korkeus, jossa se pyörii vaikuttaa potentiaaliin, mitä korkeammalla se on sitä kovempi ja tasaisempi tuuli on (Hietala. 2020).

Joutsenon TV-mastolla, lähellä Lappeenrantaa on LUTin toimesta suoritettu aiemmin mittauksia ja arvioitu alueen potentiaalista tuulienergiaa, sen hyödyntämistä varten. Näissä mittauksissa vuotuinen keskinopeus tuulelle 49 metrin korkeudessa on 4,7 m/s, 88 metrin

korkeudessa 5,8 m/s ja 131 metrin korkeudessa 6,7 m/s (Hynynen et al. 2012). Näitä mittauksia voidaan hyödyntää arvioitaessa Kukkuroinmäen potentiaalia tuulivoiman tuottamisessa.

On myös yksittäis- tapauksia, joissa suuria tuulimyllyjä on asennettu loppusijoitusalueiden huipuille. Näille tapauksille on tyypillistä, että alueet on suljettu ilman nykyaikaisia sulkemirakenteita. Tuulimyllyjen pohjarakenteet on näin ollen voitu porata jätetäytön läpi peruskallioon. Näin ollen ei ole vahingoitettu kriittisiä rakenteita. Nykyaikaisilla vaatimuksilla, uudempien loppusijoitusalueiden tapauksissa suuren mittakaavan voimalat ovat melko hankalia toteuttaa ilman, että loppusijoitusalueen sisäisten rakenteiden ominaisuudet kärsisivät merkittävästi. Suuren tuulivoimalan järeät ankkurointi rakenteet aiheuttavat suuren riskin, esimerkiksi kaasujen purkautumiselle ei toivotulla tavalla ja lisäävät riskiä myös suotovesien valumiselle rakenteisiin ja maaperään (Manwell et al. 2006).

5. Kukkuroinmäen loppusijoitusalue

Kukkuroinmäen loppusijoitusalue jaetaan kuuteen erilliseen sektoriin, joiden täyttöasteet vaihtelevat sektoreittain. Loppusijoitusalue luokitellaan sinne sijoitetun jätteen perusteella tavanomaisen jätteen loppusijoitusalueeksi. EKJH:n alueella toimii myös vaarallisen jätteen loppusijoitusalue, mutta sillä ei ole osuutta tähän diplomityöhön.

Loppusijoitusalueelle rakennettavasta peitteestä on tehty aiemmin suunnitelma vuonna 2013 FCG suunnittelu ja tekniikka Oy:n toimesta. Kuva suunnittelusta peitteestä on lisätty liitteeseen 1.

5.1 Jäte määrät alueelle

Kuten taulukosta 12 käy ilmi, vaihtelut jäte määrissä eri vuosina ovat suuria. Määriä kuitenkin tasoittaa alueella rakenteissa käytettävät jakeet ja vastaanotetut pimat. Näiden vaikutus lopulliseen massaan on oleellinen pelkän jätteen aiheuttamaan täyttöön verrattuna.

Taulukko 12. Vuotuinen loppusijoitetun jätteen, muun hyödynnettävän jätteen, sekä pimojen määrät

Vuosi	Sijoitettavan jätteen kokonaismäärä [t/v]	Hyödynnettävät jätteet/ kiviainekset [t/v]	Pimat loppusijoitusalueelle [t/v]	Kaikki yhteensä [t/v]
2016	2 825	4 344	9 802	16 972
2017	2 900	5 988	30 803	39 692
2018	3 379	8 079	9 480	20 938
2019	15 575	7 787	566	23 929
2020	5 218	16 971	1 657	23 845
2021	5 897	12 771	4 544	23 212
Keskiarvo	5 966	9 323	9 475	24 765

Vuosittaiselle alueelle päätyvälle massalle voidaan taulukosta laskea keskiarvoksi 24 765 t/v. Jätteen keskiarvo on 5 966 t/v, hyödynnettävien jätteiden/kiviaineksen 9 323 t/v ja pimojen osalta 9 475 t/v. Näitä arvoja käytettiin, kun arvioitiin montako vuotta alueelle, on vielä mahdollista sijoittaa jätettä. Arvio on suoritettu kappaleessa 4.2. Alla olevassa kuvaajassa 1 on vielä esitetty vuotuinen loppusijoitusalueelle päätyvä kokonaismassa.

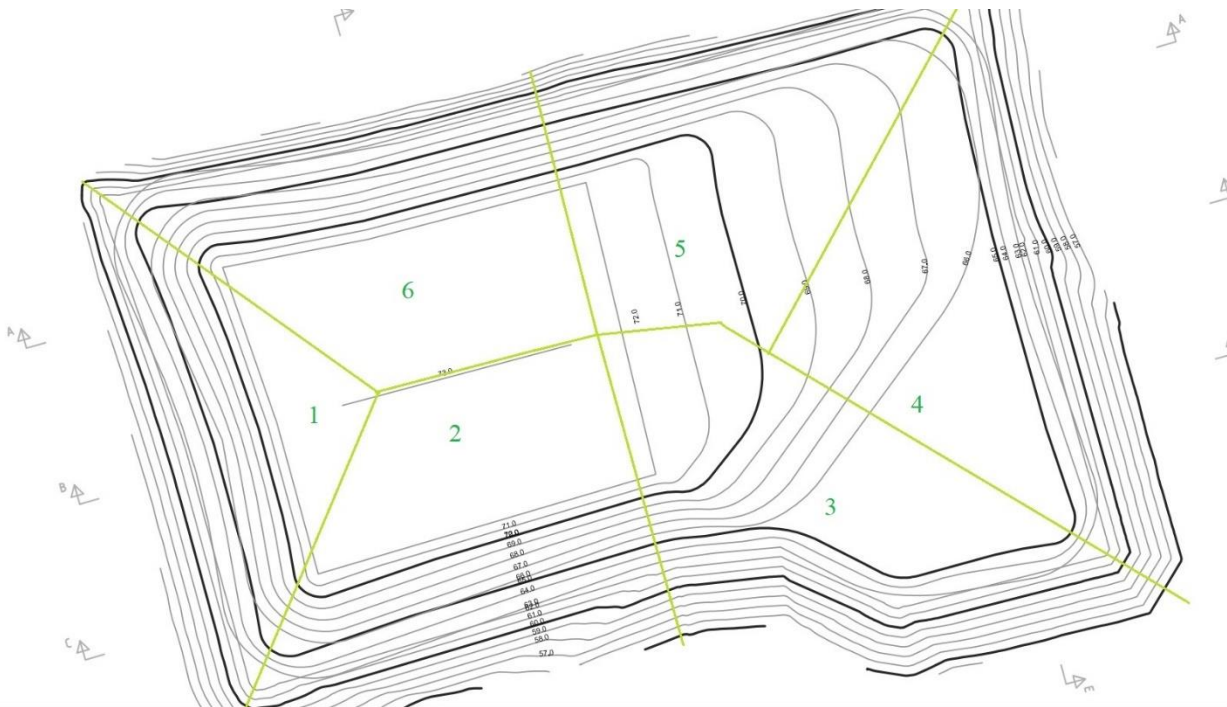


Kuvaaja 1. Loppusijoitusalueelle vuosittain sijoitettu kokonaismassa

5.1.1 Sektorien täyttöaste

FCG:n tekemissä mittauksissa vuonna 2018 loppusijoitusalueen tilavuuden laskemiseen eri jätejakeille on käytetty seuraavia mittoja: tiivistetyn jätteen tilavuuspaino 700 kg/m^3 , hyödynnettävän kiviaineksen/jätteen $1\,400 \text{ kg/m}^3$, sekä pilaantuneiden maiden $1\,300 \text{ kg/m}^3$. Tuolloin arvioitiin jäljellä olevaksi täyttötilavuudeksi $232\,900 \text{ m}^3$. Tuosta summasta voidaan vähentää kolmen viimeisen vuoden aikana alueelle sijoitettujen jakeiden tilavuus. Tänä aika sinne on sijoitettu jätettä $53\,612 \text{ m}^3$, hyödynnettävää kiviainesta/jätettä $18\,597 \text{ m}^3$ ja pimoja $5\,206 \text{ m}^3$. Näin ollen vuoden 2022 alussa jäljellä oleva täyttötilavuus on $155\,486 \text{ m}^3$.

Insinööritoimisto Geocom Oy on suorittanut viimeksi syksyllä 2021 alueella mittauksia, joissa on todettu alueen täytön yltävän parhaimmillaan 73 metriin merenpinnasta. Kuvassa 2 on esitetty alueen täyttöaste metreinä ja siihen on hahmoteltu lohkot vihreällä värillä. Kuvasta voi todeta etelä-, länsi- ja pohjoissivujen (sektorit 1, 2 ja 6) olevan lähellä tavoiteltua täyttöastetta. Täytön itäpuolelle jäävät sektorit (3, 4 ja 5) pystyvät vastaanottamaan jätettä vielä pitkään. Geocomin muistiossa 8.10.2021 todetaan, että täytön ylin korkeus voi olla ympäristöluvan mukaan + 90 metriä, ilman pintarakenteiden viimeistelyjä. Tähän luvan mukaiseen maksimi korkeuteen ei kuitenkaan tulla tämänhetkisen suunnitelman mukaan pääsemään, sillä muuten täytöstä tulisi teräväkärkinen, joka muodoltaan muistuttaisi pyramidia.



Kuva 2. Kukkuroinmäen loppusijoitusalueen täyttö metreinä, sekä alue jaettuna sektoreihin. Alin paksu viiva kuvastaa 50 metriä ja ylin 70 metriä merenpinnasta mitattuna.

5.1.2 Loppusijoitusalueelle sijoitettu jäte

Loppusijoitusalueelle on sen perustamisen jälkeen sijoitettu muun muassa teollisuuden erityisjätettä, eläinperäistä jätettä, rasvaa, tuhkaa, rakennusjätettä, kaivohiekkaa, välppäysjätettä, asbestia, tulipalojätettä, kiviainesta, katujen siivousjätettä, soodasakkaa, villaa, lasia, lujitemuovia, lasikuitua, sekä maajätettä.

Määrät vaihtelevat varsin paljon vuosittain ja kaikkia jätejakeita ei suinkaan ole otettu vastaan joka vuosi. Liitteessä 3 on Geocomin vuonna 2022 laatima kuva sijoitetun jätteen määristä Kukkuroinmäen alueella, mukaan lukien tavanomaisen jätteen loppusijoitusalue, samasta kuvasta käy ilmi asbestijätteen sijoituspaikat, sekä muun huomioitavan erityisjätteen sijainti alueella.

Erityisjätettä ei enää juurikaan alueelle sijoiteta, johtuen orgaanisen jätteen loppusijoituskiellosta. Aiemmin sinne on kuitenkin sijoitettu muun muassa:

- Terveysthuollon erilaiset jätteet mukaan lukien pistävät ja viiltävät jätteet, tartuntavaaratonta biologista jätettä esimerkiksi kudokset, leikkausjäte ja veriset rätit
- Tullin hävitettävät ja tuhottavaksi määrätty kuormat
- Teollisuudenjätteet esimerkiksi pölyävät jätteet, maalijätteet ja maalisakat

Jätejakeista voi tehdä päätelmän, ettei toistaiseksi ole järkevää alkaa louhimaan alueelta jätettä. Arvokkaita metalleja tuskin löytyy niin merkittävää määrää, että siitä olisi taloudellista hyötyä. Muista jätejakeista saatava hyöty liittyisi lähinnä energian tuotantoon, joskin jätteen lajitteleminen tulisi maksamaan huomattavasti, verrattuna mahdolliseen hyötyyn. Osaltaan myöskin esimerkiksi asbesti estää tietyillä alueilla tehtävät kaivaukset ja poraukset.

5.2 Aikataulu

Sulkemistyöt tullaan aloittamaan siinä vaiheessa, kun ensimmäisen lohkon täyttö tulee saavuttamaan halutun korkeuden. Täytön loputtua tulisi jätteen kuitenkin antaa painua noin kaksi vuotta ennen, kuin varsinainen peittäminen alkaa (A-T. 2021). Toisaalta jo muotoillussa luiskassa oleva peitetty jäte on varmasti jo painunut ja asettunut. Haasteena onkin, ettei alueen täyttö ole vielä saavuttanut maksimi korkeuttaan niin, että joku lohkoista olisi jo mahdollista peittää täysin. Peittämisen aloitus ajankohta myös pitkälti riippuu siitä, mihin jätettä sijoitetaan. Kolme sektoria olisi teoriassa mahdollista saada täyteen hyvinkin pian, mikäli alueen muotoilun kannalta se on mahdollista.

Peittämisen tekeminen vain pienelle alueelle on hankalaa ja yhtenäisen peitteen muodostaminen hankaloituu. Pohjatyöt alueen pohjoispuolella loppusijoitusalueen laajentamista varten tulisi aloittaa kuitenkin jo lähitulevaisuudessa, jotta se olisi valmis käyttöä varten, kun alkuperäistä aluetta aletaan peittää. Tällainen laajennus on kuitenkin luvanvarainen ja vaatii ympäristöluvan. Peittäminen olisi järkevää aloittaa etelä- ja länsipuolelta, jotta mahdollinen uusi alue, olisi mahdollista vähitellen liittää osaksi vanhaa loppusijoitusaluetta. Esimerkiksi tiivistyskerroksen koekäytöt tulisi toteuttaa jo hyvissä ajoin ennen varsinaisen peittämisen aloittamista.

Jäljellä olevasta tilavuudesta $155\,486\text{ m}^3$ pystytään laskemaan käyttöikä alueelle siten, että kuuden viimeisen vuoden jätejakeille lasketuille massoille lasketaan keskiarvo. Vuodessa sijoitettavan jätteen tilavuuden keskiarvo on $8\,522\text{ m}^3$, hyödynnettävän kiviaineksen/jätteen $6\,660\text{ m}^3$ ja pimojen osalta $7\,289\text{ m}^3$. Yhteen laskettuna näistä saadaan 22471 m^3 , jolla voidaan jakaa jäljellä oleva täyttötilavuus. Jäljellä oleva käyttö aika on siten 6,9 vuotta, joka on linjassa melko tarkkaa FCG:n tekemän laskelman mukaan, jossa 2018 arvioitiin jäljellä olevaksi käyttöajaksi 11 vuotta.

5.3 Loppusijoitusalueen pinta-ala

Loppusijoitusalueen pinta-ala kattaa koko sijoitetun tavanomaisen jätteen alueen. Pinta-alan määrittäminen on oleellinen tieto, jotta voidaan laskea tarvittaville peitemateriaaleille määrät. Tilavuuksista taas voidaan edelleen laskea arvio, paljonko eri kerroksiin tarvittava materiaali tulisi maksamaan ja näin voidaan verrata materiaalikohtaisia hintoja keskenään. Alueen pinta-alasta myös riippuu paljonko esimerkiksi aurinkoenergian keräämistä varten olisi mahdollista asentaa paneeleja ja kuinka paljon energiaa täten on mahdollista kerätä.

Pinta-alaa määritettäessä tulee huomioida, että se lasketaan alueelle, joka on saavuttanut lopullisen täyttöasteen. Tässä tapauksessa lopullinen korkeus täytölle ei tule olemaan ympäristöluvan mukainen 90 metriä, vaan lopullinen korkeus ennen peitekerroksia tulee olemaan 82 metriä. Luiska kaltevuus on suunnitellusti edellä jo mainittu 1:3. Pinta-ala lasketaan erikseen kaikille 6 sektorille, jotta on mahdollista arvioida sulkemisesta aiheutuvia kustannuksia sektoreittain, sillä sulkeminen tullaan toteuttamaan vaiheittain, sektori kerrallaan.

Pinta-alan määrittämisessä käytettiin Geocom Oy:n kuvia alueesta ja loppusijoitusalue on jaettu karkeasti kuuteen sektoriin. Laskuja varten sektoreiden pinta-ala mitattiin CADreader sovelluksen avulla. Sektorien rajat tosin eivät ole metrillään tarkkoja. Alla olevassa taulukossa 13 on esitetty mittaustulokset ja liitteestä 5 näkyy mistä mitat on otettu.

Taulukko 13. Loppusijoitusalueen pinta-ala sektoreittain.

Sektori	Pinta-ala [m ²]
1	9 356
2	10 850
3	11 176
4	10 804
5	10 721
6	10 040
Laskettujen sektoreiden yhteenlaskettu ala	62 947

5.3.1 Tilavuudet eri kerroksille

Taulukossa 14 on laskettuna tilavuudet eri kerroksille, laskuissa on huomioitu alueen korkeuden kasvaminen jokaisen kerroksen jälkeen. Lähtötilanteessa on oletettu, että muotoilun ja esipeittokerroksen jälkeen alueen korkeus olisi 82 metriä ja sen jälkeen päälle aletaan rakentaa varsinaisia kerroksia.

Taulukko 14. Tilavuudet eri kerroksille

Kerros	Tilavuus [m ³]
Kaasunkeräys	18 884
Tiivistys	31 588
Kuivas	31 779
Pinta	63 939

Tilavuudet eri kerroksille on määritetty laskemalla pinta-ala (A) jokaiselle kerrokselle siten, että edellisen kerroksen lisäämä korkeus on lisätty alkuperäiseen korkeuteen 82m. Korkeuksina on käytetty laissa vaadittuja minimi vahvuuksia. Tämä saatu uusi pinta-ala on kerrottu kullekin kerrokselle vaadittavalla vahvuudella (h). Alapuolella tilavuuksia laskettaessa käytetty yhtälöä 2.

$$V = A \cdot h \quad (2)$$

Kerroksen tilavuus määrittää materiaali tarpeen, joskin erimateriaaleilla on erilaiset taipumukset painua kokoon.

Taulukossa 15 on esitetty materiaali tarve sektoreittain, näin on mahdollista laskea myös kustannukset yksittäisen sektorin materiaali tarpeille. Tarve on laskettu sektoreiden prosentuaalisesta osuudesta koko alueelle. Tällä prosenttiluvulla on kerrottu koko alueen materiaali tarve.

Taulukko 15. Materiaali tarve sektoreittain

Kerros	Kaasunkeräys [m ³]	Tiivistys [m ³]	Kuivaus [m ³]	Pinta [m ³]
Sektori 1	2 807	4 695	4 723	9 503
Sektori 2	3 255	5 445	5 478	11 021
Sektori 3	3 353	5 608	5 642	11 352
Sektori 4	3 241	5 422	5 454	10 974
Sektori 5	3 216	5 380	5 412	10 890
Sektori 6	3 012	5 038	5 069	10 198
Yhteensä	18 884	31 588	31 778	63 938

5.4 Alueella jo oleva materiaali

Kukkuroinmäellä on valmiina, erillään jätteenloppusijoitusalueesta kerättyä materiaalia. Tavoitteena on hyödyntää tätä jo olemassa olevaa maa-ainesta. Tämä jo olemassa oleva aines voitaisiin sekoittaa esimerkiksi tontilla sijaitsevan biokaasulaitoksen mädätysjätteeseen. Se olisi mahdollista käyttää peitteen muotoilu- ja pintakerrokseen. Geocom Oy suoritti alkukesästä 2022 dronella mittauksia. Mittausten tuloksena oli, että kasassa 1 oli maata 70 000 m³ ja kasassa 2 sitä oli 14 500 m³. Yhteenlaskettu tilavuus on näin ollen yhteensä

84 500 m³. Kasat koostuvat lähinnä turpeesta ja sekalaisesta maa-aineksesta. Tämä määrä on riittävä kattamaan jo itsessään pintakerrokseen tarvittava tilavuus materiaalia.

Alueella on myös kapasiteettia kerätä ja säilöä materiaalia. Tämä mahdollistaa esimerkiksi betoni- tai tiilijätteen keräämisen kuivauskerrosta varten pikkuhiljaa. Betonijätteelle kriteerinä on 150 mm pienempi raekoko, tällöin sen voidaan katsoa olevan loppusijoitusalueen rakennustarkoituksiin sopivaa eikä siitä tarvitse maksaa veroa (UUMA. 2011).

6. Kustannusarvio

Loppusijoitusalueen sulkemisesta aiheutuvat kustannukset koostuvat monesta eri asiasta. Sulkemisarakeissa käytettävät materiaalit, sekä niiden kuljettamisesta ja urakoitsijoiden käyttämisestä aiheutuvat kustannukset, muodostavat näistä merkittävän osan. Joissain tapauksissa, on kuitenkin mahdollista myös laskuttaa vastaanotettavan materiaalin haltijaa. Myös muodostuvien kaasujen, sekä suotovesien tarkkailu ja käsittely aiheuttaa kustannuksia osaltaan. Näitä kuluja voidaan kompensoida hyödyntämällä aluetta, sen sulkemisen jälkeen. Esimerkiksi aurinko- ja tuulienergiaa keräämällä voidaan saada alue tuottamaan ja sulkemisesta aiheutuneita kustannuksia voidaan saada takaisin. Insinööritoimisto Geocom on vuonna 2021 tehnyt alustavan hinta-arvion loppusijoitusalueen peitteestä, hinta-arvio löytyy liitteestä 5.

6.1 Loppusijoitusalueen peittämisestä aiheutuvat kustannukset

Loppusijoitusalueen peittämisen kokonaiskustannukset koostuvat useasta eri osatekijästä, peitemateriaalista, peitemateriaalin laadunvalvonnasta, sekä materiaali valinnalle ominaisista kokeista tai koerakenteista, ja urakoitsijoiden käyttämisestä aiheutuvista kustannuksista. Urakoitsijakustannukset sisältävät maanrakennus ja materiaalin kuljetukset, projektin dokumentoinnin ja sulkemisen jälkeisistä tarkkailuista aiheutuvat kustannukset. Variaatiot eri skenaarioiden välillä voivat olla suuria, mistä johtuen onkin tärkeä arvioida

esimerkiksi kustannustehokkain ja teknisiltä ominaisuuksiltaan tehokkaimmat materiaalit ja menetelmä.

6.1.1 Peitteen materiaali kustannukset

Kaikille käytettäville materiaaleille on vaikea määrittää tarkkaa hintaa. Osa materiaalista pystytään hankkimaan myös siten, että jätteen tuottaja on valmis maksamaan sen vastaanottamisesta. Myös esimerkiksi betonijätteen kohdalla on mahdollista, että sen vastaanotolle laitetaan alhainen hinta, jolloin sitä on helpompi saada ja on mahdollista kerätä sitä valmiiksi varastoon, rakentamista varten. Tässä on listattu hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan potentiaalisimpia materiaaleja vaihtoehtoiksi eri kerroksille. Näin ollen niitä on helppo verrata keskenään. Lähtökohtaisesti kaikkia alla listattuja materiaaleja on saatavilla. Alla taulukot 16-20 ovat materiaali vaihtoehtoista eri kerroksille.

Taulukko 16. Materiaali lähteet esipeittokerrokselle, sekä niiden arvioitu hinta

Lähde	Materiaali	Hinta €/t	Huomiot
Nordkalk	Rikastushiekka	Hintaan vaikuttaa tuotantokustannukset, luultavasti materiaalista joutuu maksamaan, sekä levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Materiaalista joudutaan maksamaan
Stora Enso (Anjalankoski)	Pohjatuikka	Kuljetuksesta, sekä levityksestä aiheutuvat kustannukset	Saatavilla mahdollisesti vasta 2026 jälkeen
Fortum Waste Solutions	Pohjatuikka	Kuljetuksen hinnalla 20 €/t, sekä levityksestä aiheutuvat kustannukset	Sijainti melko kaukana (Riihimäki)
UPM (Lappeenranta)	Liete (jätevesi)	Kuljetuksesta, kuivauksesta, sekä levityksestä aiheutuvat kustannukset	Tuskin kannattavaa hankkia lietettä ulkopuoliselta toimijalta
UPM (Lappeenranta)	Pasta liete	Kuljetuksesta, kuivatuksesta sekä levityksestä aiheutuvat kustannukset	Tuskin kannattavaa hankkia lietettä ulkopuoliselta toimijalta
Muu lähde	Pimat	Voidaan laskuttaa vastaanottamisesta, levityksestä aiheutuvat kustannukset	Taloudellisesti järkevin vaihtoehto
EKJH	Biokaasulaitoksen lietelinjalla syntyvä mädäte	Ainoat kustannukset lietteen kuivauksesta, käsittelystä ja levityksestä	Hyvä käyttökohde lähellä materiaalin lähdeä

Taulukko 17. Materiaali lähteet kaasunkeräyskerrokselle, sekä niiden arvioitu hinta

Lähde	Materiaali	Hinta [€/t]	Huomiot
UPM Lappeenranta	Meesauunin tiilet	Kuljetus, sekä materiaalin levitys kustannukset	Korvataan uusilla vuosittain, mahdollista saada kerran vuodessa
Nordkalk	Rikastushiekka	Hintaan vaikuttaa tuotantokustannukset, luultavasti materiaalista itsestään joutuu maksamaan, tähän lisätään kuljetus ja levitys kustannukset	Materiaalista joudutaan maksamaan
Fortum Waste Solutions Riihimäki	Jätepolton kuona	Materiaali itsessään ilmainen, kuljetus noin 20 €/t, sekä materiaalin levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Kuonaa saatavilla eri reakoossa
Muu lähde	Tiilet	Voidaan laskuttaa vastaanottamisesta, tällöin hinta itse materiaalille on positiivinen. Kulut muodostuvat materiaalin levittämisestä	Luultavasti tarvitsee kerätä materiaalia, koska ei saada kerralla niin suurta määrää
Muu lähde	Betonimurska	Voidaan laskuttaa vastaanottamisesta, tällöin hinta itse materiaalille on positiivinen. Kulut muodostuvat materiaalin levittämisestä	Luultavasti tarvitsee kerätä materiaalia, koska ei saada kerralla niin suurta määrää
Geosynt	Salaojamatto ST-E B120 4,1*70 m	Tässä tapauksessa hinta määritetään €/m ² . Yhtiön esittämä tarjous koko alueelle on 3,9 €/ m ² , eli yhteensä 245 493€	Voidaan käyttää, jos viranomainen hyväksyy riittäväksi

Taulukko 18. Materiaali lähteet tiivistyskerrokselle, sekä niiden arvioitu hinta

Lähde	Materiaali	Hinta [€/t]	Huomiot
Nordkalk	Rikastushiekka	Hintaan vaikuttaa tuotantokustannukset, luultavasti materiaalista joutuu maksamaan, bentoniitistä kannattaa kysyä tarjousta, sekä levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Vaatii vähintään 4 % bentoniittia rikastushiekan lisäksi, jotta saavutetaan vedenläpäisy ominaisuudet
Geosynt	Bentoniittimatto NS75-N Self 5*40 m	Tässä tapauksessa hinta määritetään €/m ² . Yhtiön esittämä tarjous koko alueelle on 4,3 €/ m ² , eli yhteensä 270 672 € Asennus sisältyy hintaan	Tarjous sisältää myös bentoniitin poikittaissaumojen liittämiseen. Läpiviennit tai muut ylimääräiset toimet eivät sisälly

Taulukko 19. Materiaali lähteet kuivauskerrokselle, sekä niiden arvioitu hinta

Lähde	Materiaali	Hinta [€/t]	Huomiot
UPM Lappeenranta	Meesauunin tiilet	Kuljetus ja levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Korvataan uusilla vuosittain, mahdollista saada kerran vuodessa
Nordkalk	Rikastushiekka	Hintaan vaikuttaa tuotantokustannukset, luultavasti materiaalista joutuu maksamaan, sekä levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Materiaalista joudutaan maksamaan
Fortum Waste Solutions Riihimäki	Jätepolton kuona	Materiaali itsessään ilmainen, kuljetus noin 20 €/t, sekä levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Kuonaa saatavilla eri reakoossa
Muu lähde	Tiilet	Voidaan laskuttaa vastaanottamisesta, tällöin hinta itse materiaalille on positiivinen. Kulut muodostuvat materiaalin levittämisestä	Luultavasti tarvitsee kerätä materiaalia, koska ei saada kerralla niin suurta määrää
Muu lähde	Betonimurska	Voidaan laskuttaa vastaanottamisesta, tällöin hinta itse materiaalille on positiivinen. Kulut muodostuvat materiaalin levittämisestä	Luultavasti tarvitsee kerätä materiaalia, koska ei saada kerralla niin suurta määrää

Taulukko 20. Materiaali lähteet pintakerrokselle, sekä niiden arvioitu hinta

Lähde	Materiaali	Hinta [€/t]	Huomiot
EKJH	Joutomaa	Ainoastaan levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Mahdollisuus lisätä biojalostamon lietettä joukkoon
UPM (Lappeenranta)	Liete (jätevesi)	Kuljetuksesta, kuivauksesta ja levittämisestä aiheutuvat kustannukset	Tuskin kannattavaa ostaa lietettä ulkopuoliselta toimijalta

6.1.2 Urakoitsija kustannukset

Osa urakointi kustannuksista pystytään karsimaan, sillä yhtiöllä on omaa kalustoa, sekä miehitys, jolla on kyky rakentaa peitettä. Urakoitsijakustannuksista huomattava osa koostuukin rakennusmateriaalin kuljetuksesta loppusijoitusalueelle ja riippuu pitkälti siitä, maksaako kuljetuksen EKJH Oy vai yhtiö, joka on jätteen tuottanut.

Tarjousta rakennusmateriaalin kuljetukselle on tiedusteltu seuraavista paikallisista kuljetusyrityksistä.

- Kuljetus Kilpiä Oy
- Kuljetusliike Ilkka Huttunen Oy
- Lappeenrannan Kuljetusosakeyhtiö
- VP-Kuljetus Oy

Kuitenkaan yhdeltäkään yritykseltä ei saatu vastausta tarjouspyyntöön. Tähän luultavasti on vaikuttanut tarjouspyyntöjen toteutus ajankohta. Kesällä moni yritys tuntuu pysähtyvän lähes kokonaan, kun siellä pidetään kesälomia. Fortumin ilmoittamaan 20 €/t voidaan pitää

tässä tapauksessa lähtökohtana kaikelle kuljetukselle, joka tapahtuu kohtuullisen eteisyyden päässä Kukkuroinmäestä.

6.2 Peitekerroksen päälle kasvatettavat kasvit

Energiapajun tapauksessa arvioitu kustannus istutukselle on noin 160 €/ha (Niemi.2014). Tämä on kuitenkin vain arvio, sillä hinta perustuu tasaiselle pinnalle tehtävään istutukseen. Energiapajun korjuu kustannukset vaihtelevat suuresti eri vaihtoehtojen välillä. Esimerkiksi miestyönä tehdyn korjuun kustannus on laskettu olevan 15,95 €/MWh, kun taas koneellisen korjuun hintahaarukka on 7,3 – 18,75 €/MWh välillä (Niemi.2014). Lannoitteille ei tässä tapauksessa lasketa hintaa, jos se koetaan tarpeelliseksi, voidaan siinä tapauksessa hyödyntää biokaasulaitoksen lietteitä tai loppusijoitusalueen suotovesiä. Lannoittamattoman pajuviljelmän perustamis- ja ylläpitokustannukset ovat 2,7 €/MWh, jos tähän lisätään miestyönä tehtävä korjuu, voidaan todeta kokonaiskustannusten olevan 18,65 €/MWh (Niemi. 2014).

Hampun kasvatuksessa siemeniä tarvitaan noin 25 kg/ha ja siementen hinta on karkeasti 5 – 6 €/kg. Tästä saatava kuiva-ainesato voi olla 4 – 8 t/ha, sato on kuitenkin riippuvainen maaperästä ja auringon valon määrästä. Istutustöiden ja sadonkorjuun hinta on riippuvainen käytetystä kalustosta ja miestyö tunneista. Hampu on myös mahdollista myydä esimerkiksi hevosten kuivikkeeksi, ennen kuin se syötetään biokaasulaitoksen prosessiin, näin hampusta voidaan saada 143 €/t ja myöhemmin mahdollisesti myös laskuttaa käytetyn ulostepitoisen hampun vastaanottamisesta.

(Mattila. 2017)

6.3 Loppusijoitusalueen tarkkailusta aiheutuvat kustannukset sulkemisen jälkeen

Loppusijoitusalueen sulkemisen jälkeiset kustannukset koostavat, suotovesien, sekä muodostuvien kaasujen käsittelystä ja tarkkailusta, kuin myös kasvillisuuden hoidosta. Jälkitarkkailu edellyttää, myös rakenteiden ja ympäristönsuojelujärjestelmien toimivuuden,

joita ovat luiskien stabiliteetti, epätasaiset painumat, kaasunkeräyksen ja käsittelyn oikeanlaisen toimivuuden (Ympäristöhallinto. 2008).

Arvio kustannuksista

- Suotovesien analysointi

Pintavesien tutkimus on vuonna 2014 maksanut noin 3 600 €/tutkimuskerta ja yhdistetty pinta- ja pohjavesitutkimus noin 5500 €/tutkimuskerta.

- Jätevesien käsittely jätevedenpuhdistamolla

1,44 €/m³ kun ALV on 0%

- Kaasunmittaukset

Ei saatu muodostettua tarkkaa arviota, EKJH:lla kuitenkin on varmasti tiedossa paljonko he maksavat tutkimuksesta.

- Muusta tarkkailusta aiheutuvat kustannukset

Muista tarkkailuista aiheutuvia kustannuksia on vaikea arvioida, koska niiden kustannukset riippuvat tutkittavasta kohteesta ja tutkimuksen laajuudesta. Näin ollen niitä on mahdollisuus toteuttaa eri menetelmillä.

6.4 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien hintaa vaikuttaa suuresti myös asennuskustannukset. Loppusijoitusalue osaltaan aiheuttaa haasteita paneelien jalustoille, ankkuroinneille, sekä asennuksessa käytettävälle kalustolle, joka vaikuttaa hintaan. Taulukossa 21 ilmoitettavat tuotantohinta ja rakennuskustannus osoittavat keskimääräiset hinnat aurinkopaneeleille. Sähkön tuotantohintaan on sisällytetty paneelin koko elinkaari

Taulukko 21. Aurinkopaneelien tuotantohinta ja rakennuskustannus (Kalema. 2018; Auvinen, et al. 2016).

Ominaisuus	Aurinkopaneeli
Tuotantohinta [snt/kWh]	3,3 – 5,3
Rakennuskustannus [€/W]	1 – 1,6

Tämän lisäksi kysyttiin tarjousta muutamalta eri yritykseltä, jotta saadaan tämänhetkinen tarkka hinta aurinkovoimalalle.

- Voimatel Oy

Oli ainoa yritys, johon saatiin yhteys. Hintaa ei voitu kuitenkaan määrittää, koska projekti on haastava

Muilta yrityksiltä ei saatu minkäänlaista vastausta, useista yhteydenotoista huolimatta. Tähän vaikuttaa varmasti kesälomat samalla tavalla, kuin kuljetusyhtiöihin.

6.5 Tuulivoimala

Tuulivoiman tapauksessa voidaan puhua samankaltaisista haasteista, kuin aurinkopaneelienkin kohdalla, joita loppusijoitusalue rajoituksineen asettaa. Taulukossa 22 ilmoitettavat tuotantohinta ja rakennuskustannus osoittavat keskimääräiset hinnat tuulivoimalle.

Taulukko 22. tuulivoiman tuotantohinta ja rakennuskustannus (Suuronen. 2021; Suomen tuulivoimayhdistys. 2019; Eklund. 2011; LUT. 2022).

Ominaisuus	Tuulivoimala (pieni) potkurin halkaisija 6 – 10m
Tuotantohinta [snt/kWh]	5,1 – 8,9 (arvio)
Rakennuskustannus [€/W]	3,5 Suuria vaihteluita koon mukaan, mahdollista etsiä myös käytettyä kalustoa

Tämän lisäksi kysyttiin tarjousta muutamalta eri yritykseltä, jotta saadaan tämänhetkinen tarkka hinta tuulivoimalalle. Tuulivoiman tarjouspyyntöjen kanssa kävi samalla tavalla, kuin aurinkopaneeleita ja kuljetuspalveluita tarjoavien yritysten kanssa. Näin ollen yhtään tarjousta ei saatu.

7. Pohdinta

Pohdintaa aiheuttaa loppusijoitusalueella tapahtuva kaasun määrä, laatu, sekä sen jatkokäsittely. Tässä on mahdollista toteuttaa erilaisia ratkaisuja, jotka vaikuttavat kustannuksiin oleellisesti. Myöskin peitteessä käytettävillä materiaaleilla on suuri vaikutus kustannuksiin, sekä peitteen toimivuuteen. Tulevaisuuden osalta huomio kiinnittyy erityisesti sulkemisen jälkeisiin sovelluksiin, niiden toimivuuteen ja potentiaaliseen tuottoon. Eri ratkaisuiden väliltä voidaan valita sopivimmiksi koetut menetelmät, materiaalit ja sovellukset. Näin voidaan varmistua, että saavutetaan haluttu lopputulos, joka tyydyttää EKJH Oy:n asettamat taloudelliset ja tekniset vaatimukset sulkemiselle. Edellä jo mainittujen kriteereiden lisäksi, myös laissa edellytettyjen kriteereiden on täytyttävä.

7.1 Alueella muodostuvat kaasut

Metaani päästöt osaltaan ovat ympäristölle erittäin haitallisia, niillä on suuri potentiaali lämmittää ilmastoa. Esimerkiksi hiilidioksidiin verrattuna tuo potentiaali on moninkertainen. Metaani päästöistä on myös mahdollista hyötyä, jos sitä muodostuu tarpeeksi suuri määrä, jotta sen hyödyntäminen olisi taloudellisesti järkevää. Pienempien pitoisuuksien kohdalla hyöty jää vähäiseksi, tai jopa tappiolliseksi. Tämä on suurelta osin kiinni sijoitetusta jätteestä.

Muodostuvien kaasujen määrät ja pitoisuudet täytyy kuitenkin mittauksilla osoittaa, ennen kuin ympäristölupaa sulkemiselle voidaan hakea. Tämä tulee ajankohtaiseksi, kun loppusijoitusalueesta tehdään perustilaselvitys, jossa pinta- ja pohjavesistä, sekä muodostuvista kaasuista ja jätetäytön hajoamistilasta teetetään mittauksia. Muodostuvan kaasun määrän lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat kaasun pitoisuus (metaani, hiilidioksidi ja happi), sekä kaasun paine. Luultavasti kaasunkeräyskerros on silti rakennettava, jotta mittauksia pystytään suorittamaan jatkossakin, mikäli yhtiötä siihen velvoitetaan (Valtioneuvos. 331/2013). Tässä tapauksessa esimerkiksi salaojamatto voisi toimittaa kaasunkeräyskerroksen virkaa. On myös mahdollista, että esipeittokerros rakennetaan

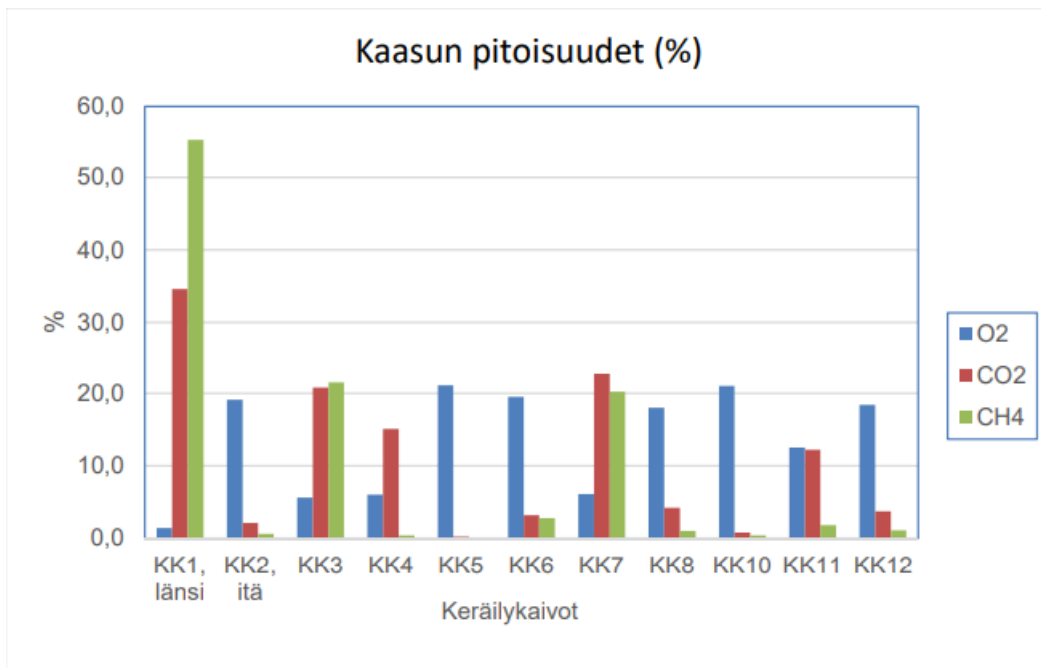
materiaalista, joka soveltuu kaasun keräykseen, ja täten toimii kaasunkeräys kerroksena. Siinä tapauksessa erillistä kerrosta ei tarvita (Reiman. 2019).

EKJH:n teettämät puolivuositteiset mittaukset osoittavat, että alueella ei juurikaan muodostu metaania (CH₄). Saimaan Vesi- ja Ympäristötutkimus Oy:n tekemissä mittauksissa, ainoastaan yhdessä mittauskaivossa KK1, metaanin osuus ylittää 50% ja näin ollen muodostuvan kaasun hyödynnys potentiaali jää pieneksi. Toki muodostuvan kaasu määrästä riippuu, miten sen kanssa jatkossa tullaan toimimaan. Laki edellyttää yhtiötä keräämään muodostuvan kaasun, jos siitä koetaan olevan tarpeeksi haittaa ympäristölle. Tällöin sen polttaminen lienee kustannustehokkain ratkaisu. Raja-arvoina kaasun muodostumiselle on annettu määrällisesti yli 50 m³ /ha*h tai vaihtoehtoisesti polttoaineteho ylittää 0,5 MW. Kriittisin vaihe kaasunmuodostumiselle on stabiili meetanikäymisvaihe, jolloin kaasun metaani pitoisuus on korkeimmillaan.

(Lounais-Suomen Ympäristökeskus. 2005)

Ennen kuin peittämiselle haetaan ympäristölupaa, tulee yhtiön määrittää muodostuvalle kaasulle tarkempi arvio sen määrästä. Tähän on olemassa erilaisia laskentakaavioita. Ongelmana näissä on kuitenkin yleisesti, etteivät ne huomioi loppusijoitusalueella jo muodostuneita ja jätetäyttöön varastoituneita kaasuja. Näin ollen voidaan laskea vuotuisesta sijoitetusta jätteestä potentiaalisesti muodostuvaa kaasun määrää. (Tulppo. 2011).

Yleisesti kaasun polttamiselle asetettu raja on siinä, kun kaasun määrä oleellisesti laskee tai vaihtoehtoisesti sitä ei kyetä polttamaan ilman tukipolttoainetta. Siinä tapauksessa voidaan katsoa, ettei kaasun polttaminen ole järkevää (SYKE. 2008). Lopullisen päätöksen kaasun käsittelystä tullaan tekemään, kun yhtiö hakee lupaa sulkemiselle. Kaasun pitoisuudet eri mittauskaivoista on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Saimaan Vesi- ja Ympäristötutkimus Oy:n tekemä mittaus loppusijoitusalueen kaasun koostumuksesta (20.8.2021)

Vuonna 2003 EKJH Oy on rakentanut louhe salaojalinja, sekä lisäksi vuonna 2010 lisännyt kaasunkeräys verkoston laajuutta. Samalla on myös upotettu kaasunkeräyskaivoja noin metrin syvyyteen. Kaasunkeräys kaivoina toimivat betonirenkaat ja näitä on korotettu sitä mukaan, kun täyttö on kasvanut. Myös laajennus alue on huomioitu suunniteltaessa jo olemassa olevaa kaasunkeräys verkostoa. Ympäristöluvassa on esitetty kerätyn kaasun polttamista, mutta tarpeen mukaan on mahdollista arvioida sen järkevyyttä, mikäli voidaan todeta, ettei se ole järkevää tulevaisuudessa. Vuonna 2014 on jo todettu, ettei ole kannattavaa erikseen kerätä kaasua, sen mahdollista hyödyntämistä varten. Mahdolliset kaasusta syntyvät hajuhaitat voidaan tehokkaasti ehkäistä käyttämällä biosuodattimia, jotka sijoitetaan kaasunkeräyskaivojen ympärille.

(Etelä-Suomen aluehallintovirasto .2014)

7.2 Vaihtoehtoisten materiaalien soveltuvuus

Eri yhtiöiden haastatteluiden perusteella, saatiin runsaasti tietoa eri jäte jakeista ja sivuvirroista. Näin ollen on arvioitu niiden soveltuvuutta loppusijoitusalueen rakenteisiin, joko sellaisenaan tai seoksena jonkin muun aineen ohella. Usean materiaalin kohdalla tarvitaan tarkempi analyysi, jos sen käyttöä harkitaan loppusijoitusalueen sulkemISRakenteissa. Eri yhtiöillä on runsaasti erilaisia jäte- ja sivuvirtoja, joille ei välttämättä ole keksitty järkevää käyttöä. Yritysten valinta perusteena oli järkevä välimatka loppusijoitusalueelle, sekä mahdollisen hyödynnettävän materiaalin volyyymi. Rakenteisiin kuluu paljon materiaalia ja siksi on tärkeää, että sitä on tarjolla riittävästi.

7.2.1 UPM Lappeenranta

Yritykselle tehdyssä haastattelussa kävi ilmi, että UPM olisi kiinnostunut tarjoamaan useita erilaisia materiaaleja loppusijoitusalueen sulkemisessa tarvittaviin peiterakenteisiin. Sieltä olisi mahdollista saada vuosittain meesauunin tiiliä, lievästi pilaantuneita maita, pastalietettä, vedenkäsittelyn seurauksena syntyvää lietettä, sekä myös soodasakkaa ja lentotuhkaa. Näiden jakeiden hyödynnys mahdollisuudet riippuvat pitkälti niiden ominaisuuksista, joita varmasti joudutaan testaamaan ennen varsinaisten rakennustöiden aloittamista. Ainoa yhtiön esittämä vaatimus on, että EKJH Oy olisi valmis maksamaan materiaalin siirtämisestä aiheutuvat kustannukset.

(Maunus-Tiihonen. 2022)

Jätevesistä saatava liete on lähtökohtaisesti erittäin kosteaa noin 70 % lietteen kokonaispainosta. Orgaanisen hiilen pitoisuus TOC 35%, joka osaltaan ylittää sallitun pitoisuuden. Ravistelutestissä liunneen orgaanisen hiilen määrä DOC oli 8 800 mg/kg, ja näin sekin ylittää sallitun rajan reilusti. Materiaali ei sellaisenaan sovellu loppusijoitusalueen rakenteisiin, eikä edes sijoitettavaksi alueelle. Materiaali tulisi jatko käsitellä, joko polttamalla tai kompostoimalla. Metallien suhteen pitoisuudet ovat melko pieniä.

(Maunus-Tiihonen. 2022)

Soodasakan osalta TOC-pitoisuus 0,70 % ja DOC-pitoisuus 46 mg/kg arvot täyttävät pitoisuuksille määrätyt ehdot. Soodasakan kosteuspitoisuus on noin 48 %, joka puolestaan vaatisi kuivausta, jolloin massasta saadaan halutunlaista. Soodasakka on emäksistä ja näin ollen sillä on mahdollista tasoittaa pH:ta, esimerkiksi jos seosaine itsessään on hapan.

(Maunus-Tiihonen. 2022)

Meesahiekan TOC-pitoisuus on 0,1 % ja DOC-pitoisuus < 10 mg/kg. Kosteus materiaalille on noin 13 % kokonaisuudesta. Meesahiekan käytölle loppusijoitusalueen rakenteissa ei ole laissa esitettyjä esteitä, eikä se sisällä rajoittavia pitoisuuksia haitta-aineita.

(Maunus-Tiihonen. 2022)

Pastalietteen kosteus on noin 38 % ja se tarvitsee kuivatusta ennen käyttöä. TOC-pitoisuus on vaihdellut eri näytteissä molemmiin puolin raja-arvoa 50 g/kg, näin ollen tarvitaan lupaviranomaisen hyväksyntä materiaalin käyttämiseksi tai sijoittamiselle loppusijoitusalueelle. DOC-pitoisuus puolestaan on 55 mg/kg, joka täyttää sille asetetut ehdot, eikä osaltaan aiheuta toimenpiteitä. Vuotuinen tuotanto määrä lietteille yleisesti in yhteensä noin 40 – 60 t/v. Materiaalivaihtoehdot on esitetty taulukossa 23.

(Maunus-Tiihonen. 2022)

Taulukko 23. UPM lähteenä rakennusmateriaalille.

Materiaali ja sen mahdollinen lähde	Materiaali	Huomioita
UPM Kaukas	Jätevesistä saatava liete	Ei sovellu käytettäväksi loppusijoitusalueen rakenteissa, korkean TOC-, ja DOC-pitoisuuden vuoksi
UPM Kaukas	Pastaliete	Vaatii ympäristöviranomaisen hyväksynnän, ennen käyttöä, korkean TOC-pitoisuuden vuoksi
UPM Kaukas	Lievästi pilaantuneet maat (PIMA)	Tarkempia tietoja ei ole saatavilla
UPM Kaukas	Meesauunin tiilet (meesahiekka)	Soveltuu käytettäväksi sellaisenaan, kunhan raekoko on halutunlainen
UPM Kaukas	LT	Voidaan käyttää loppusijoitusalueen rakenteissa esimerkiksi soodasakan seosaineena.
UPM Kaukas	Soodasakka	Voidaan käyttää loppusijoitusalueen rakenteissa esimerkiksi LT seosaineena.

7.2.2 Stora Enso Anjalankoski

Stora Ensolle tehdyn haastattelun perusteella, he käyttävät itse muodostuvat tuhkat maanrakentamiseen ainakin vuoteen 2026 asti. Heidän projekteissaan käytetyissä tiiveysrakenteissa yleisesti käytössä on viherlipeäsakan ja tuhkan seos. Tuolla seoksella päästään tiiveyteen $K = 10^{-8}$ m/s, näin ollen se ei sovellu loppusijoitusalueen tiivistyskerroksessa käytettäväksi. Fortum Waste Solutions on ollut vastuussa materiaalin laadusta ja itse rakentamisesta. Rakentaminen on tapahtunut suurimmaksi osaksi Stora Enson omilla jätteenloppusijoitusalueilla ja välivarastointiin tarkoitetuilla alueilla (Klementti. 2022).

Materiaalia tuskin on mahdollista saada käyttöön siinä vaiheessa, kun EKJH:n loppusijoitusalueen sulkemistyöt alkavat. Materiaalille on kysyntää Stora Enson omissa rakennusprojekteissa, niin kuin aikaisemmin mainitaan. Kannattaa kuitenkin olla Stora Ensoon yhteydessä, kun uuden loppusijoitusalueen valmisteluja aletaan tekemään. Viherlipeäsakan ja pohjatuhkan seos sopisi esimerkiksi sen pohjarakenteisiin. Ratkaisevana tekijänä tässä lienee paljonko materiaalin kuljetus maksaa silloin, tai onko materiaalin kysyntä edelleen korkealla asteella. Materiaalivaihtoehdot on esitetty taulukossa 24.

Taulukko 24. Stora Enso lähteenä rakennusmateriaalille.

Materiaali ja sen mahdollinen lähde	Materiaali	Huomioita
Stora Enso Anjalankoski	Viherlipeäsakka	Voidaan käyttää yhdessä pohjatuhkan kanssa, esimerkiksi uuden loppusijoitusalueen pohjarakenteissa
Stora Enso Anjalankoski	PT	Voidaan käyttää yhdessä viherlipeäsakan kanssa, esimerkiksi uuden loppusijoitusalueen pohjarakenteissa

7.2.3 Fortum Waste Solutions

Fortum waste solutionssin kanssa käydyssä haastattelussa käytiin lävitse jätteenpoltossa syntyvän tuhkan ominaisuuksia ja käyttökohteita. Etenkin PT on monen sitä tuottavan

yrittäjien omien jätteiden välivarastoiden, sekä loppusijoitusalueiden rakenteisiin varattua materiaalia. LT taas monesti pitää sisällään ongelmallisia haitta-aineita, mistä johtuen se ei usein sovellu käytettäväksi. Poikkeuksena LT käytölle on vaarallisen jätteen loppusijoitusalueet. Fortum waste solutions poltto prosessissa syntyy myös APC tuhkaa (air pollution control), joka vaatii vielä enemmän käsittelyä kuin LT. Fortumilla on lisäksi olemassa oma erillinen yritys ”Fortum environmental construction unit” joka vastaa poltossa syntyneen materiaalin tuotteistuksesta ja maanrakentamisesta.

(Vaajamo. 2022)

Fortum environmental unit käyttää maanrakennus projekteissaan ensisijaisesti Fortumin Riihimäen yksiköiden kuonaa, jota syntyy jätteen polton seurauksena. Kounaa voidaan myös kutsua pohjatuhkaksi. Materiaalia käytetään yleisesti esimerkiksi tie pohjissa, loppusijoitusalueiden eri rakenteissa, sekä muiden rakennettavien alueiden pohjissa. Ennen materiaalin käyttöä, siitä erotellaan metallit ja tämän jälkeen se seulotaan raekoon mukaan erillisiin jakeisiin. Tarkka vuotuinen tuotanto määrä ei ole tiedossa, mutta oletuksena on, että materiaalia on saatavilla reilusti tähän tarpeeseen. Rakennusmateriaalina sillä saavutetaan vastaavat ominaisuudet kuin kiviaineksella. Materiaalin hinta vaihtelee markkinoiden mukaan, mutta yleisesti voidaan sanoa, että kuljetus sille olisi noin 20€/t ja varastointi Fortumin puolesta 2€/t. Materiaalivaihtoehdot on esitetty taulukossa 25.

(Piepponen. 2022)

Taulukko 25. Fortum Waste Solutions lähteenä rakennusmateriaalille.

Materiaali ja sen mahdollinen lähde	Materiaali	Huomioita
Fortum Waste Solutions Riihimäki	Kuona	Saatavana eri kokoisina jakeina, ominaisuudet vastaavat kiviainesta

7.2.4 Nordkalk

Tällä hetkellä ainoa Nordkalkin sivuvirta, jota myydään yrityksen ulkopuolelle, on rikastushiekka. Rikastushiekka on hienojakoista materiaalia, jota käytetään tienpohjissa ja seosaineena esimerkiksi maatalouden maanparannuksessa. Vuotuinen tuotantomäärä

rikastushiekalle vaihtelee noin 150 000 ja 200 000 t välillä (Nevalainen. 2022). Rikastushiekka on pitkälle jalostettu ja tuotteistettu, jotta sitä voidaan käyttää erilaisissa kohteissa ja tarkoituksissa. Yhtiön vuonna 2002 tekemässä raportissa ”rikastushiekan käyttö kaatopaikkarakenteissa”, todetaan tuotteen sopivan käytettäväksi kaikissa loppusijoitusalueen pintarakenteiden kerroksissa. Ainoa kerros, jossa se tarvitsee seosaineen, on tiivistyskerros. Tiivistyskerroksessa käytettäessä rikastushiekan tukiaineena suositellaan käytettäväksi bentoniittia. Bentoniitin osuus käytetystä materiaalista tulisi olla noin 4%. Rikastushiekka-bentoniitti seoksella päästään vaadittavaan tiiveyteen ja vedenläpäisykertoimeen. Toki tiiveyrakenteiden tapauksessa vaaditaan aina koerakenteiden/seosten valmistamista. Vuotuinen tuotanto määrä rikastushiekalle vaihtelee 150 000 ja 200 000 t/v välillä. Rikastushiekan parhaita ominaisuuksia on sen routimattomuus (Nordkalk. 2002). Materiaalivaihtoehdot on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Nordkalk lähteenä rakennusmateriaalille

Materiaali ja sen mahdollinen lähde	Materiaali	Raekoko keskimäärin	Hinta €/m ³	Huomioita
Nordkalk	Rikastushiekka	0,12 mm	Tuotteesta joudutaan luultavasti maksamaan, sen kysynnästä johtuen	Mekaaniset ominaisuudet vastaavat pitkälti vastaavan raekoon hiekkaa

7.3 Aurinkopaneelit ja tuulivoima

Molemmilla teknologioilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Voidaan helposti sanoa, että aurinkoenergian keräämiseen tarvittavan kaluston alkuinvestointi on huomattavasti alhaisempi, verrattuna tuulienergian vastaavaan. Molemmilla menetelmillä on omat vahvuutensa, joista tärkeimpiä on listattu taulukossa 27. Näiden kahden eri energiankeruun muodon olisi myös mahdollista toimia yhtä aikaa loppusijoitusalueella.

Muutamalta eri yritykseltä pyydettiin tarjousta kummastakin energiatuotanto tavasta, mutta ilmeisistä kesälomista johtuen tarjouksia ei saatu diplomityön aikarajan tullessa vastaan. Edelleen kuitenkin taulukko 27 antaa suurpiirteisen kuvan energian tuotanto potentiaalille,

sekä sen kustannuksille, joskin asennusalustan haasteet tulevat nostamaan hintaa. Voidaan silti todeta, että asennettavan kapasiteetin kasvaessa myös tuotetun energian hinta laskee.

Voimatel Oy:lle tehdyssä puhelinhaastattelussa vahvistui oletus aurinkopaneelien asennukseen kohdistuvista haasteista. Siinä todettiin, ettei heillä ole valmiita ratkaisuja esimerkiksi asennustelineille tai ankkuroinneille, tämän kaltaiseen projektiin. Esille nousi myös filmipaneelin energian keruu potentiaalinen raju lasku, sillä se voi olla pitkäänkin lumen peitossa, eikä heidän mukaansa ole kannattavaa luoda lumia paneelien päältä. Lumen luonti osaltaan aiheuttaa kustannuksia ja kohtuuttoman riskin vaurioittaa paneeleita.

(Voimatel Oy. 2022)

Taulukko 27. Tuulienergian ja aurinkoenergian keskeisimpien ominaisuuksien vertailu (Kalema. 2018; Auvinen, et al. 2016; Suuronen. 2021; Suomen tuulivoimayhdistys. 2019; Eklund. 2011; LUT. 2022)

Ominaisuus	Aurinkopaneeli	Tuulivoimala (pieni) potkurin halkaisija 6 – 10m
Tuotantohinta [snt/kWh]	3,3 – 5,3	5,1 – 8,9 (arvio)
Rakennuskustannus [€/W]	1 – 1,6	3,5 Suuria vaihteluita koon mukaan, mahdollista etsiä myös käytettyä kalustoa
Tuotannon potentiaali vuodessa	850 [kWh/m ²] (suunnattu etelään)	7 000 – 25 000 [kWh]
Hyötysuhde [%]	15	30 – 40 (riippuu kuitenkin tuuliolosuhteista)
Lupaprosessi ennen perustamista	Ei vaadita	Riippuen voimaloiden määrästä ja korkeudesta mahdollisesti tarvitaan, pientuulivoimalaitokset eivät yleisesti kuitenkaan tarvitse
Käyttöikä [vuotta]	20 – 30	20 – 30

Mahdollisesti tuotetulla potentiaalisella energialla olisi helppo tukea EKJH Oy:n alueella toimivia prosesseja esimerkiksi biokaasulaitosta. Näin ollen energiaa ei luultavasti tulisi myymään valtakunnalliseen jakeluun, vaan sillä voitaisiin pienentää omia tuotantokustannuksia tai vaihtoehtoisesti ylläpitää alueen muuta toimintaa vaikkapa hallinnollisia toimitiloja.

7.4 Energiapajun hyödyntäminen

Pajun versojen istuttamisessa ja sadon korjaamisessa loppusijoitusalueen tapauksessa, tulee eteen haaste, ettei siellä voi ajaa raskailla koneilla. Näin voidaan varmistaa, ettei peiterakenteisiin kohdistuva rasitus aiheuta vaurioita. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että nämä toimenpiteet tulisi suorittaa käsin tai mahdollisesti jonkin kevyen koneen avulla, mikä osaltaan syö pajusta saatavaa taloudellista hyötyä. On myös hieman kyseenalaista, kannattaako tämänkaltaista kasvualustaa lannoittaa, sillä kaltevalta luiskalta ravinteet huuhtoutuvat eteenpäin ja lisäävät ravinnepitoisuutta loppusijoitusalueelta kerättävissä suotovesistä. Tällöin myös potentiaalinen maksimi kasvu jää saavuttamatta, joka vaikuttaa saatavaan satoon.

7.5 Hampun hyödyntäminen

Hampun istutus kustannukset verrattuna pajuun ovat kohtalaisen pienet. Se ei myöskään tarvitse yhtä paljon huolenpitoa, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon. Siitä saadaan myös satoa joka vuosi. Miinuspuolena hampulle voidaankin pitää sen syvälle kasvavien juurien mahdollisesti aiheuttamaa vahinkoa loppusijoitusalueen peiterakenteille. Tässä kuitenkin on eroja myös eri lajikkeiden välillä. Toistaiseksi ei ole vielä selvää, soveltuuko hamppu sellaisenaan EKJH Oy:n biokaasun valmistusprosessiin. Se on kuitenkin vartenotettava vaihtoehto, kun lopullista ratkaisua tehdään.

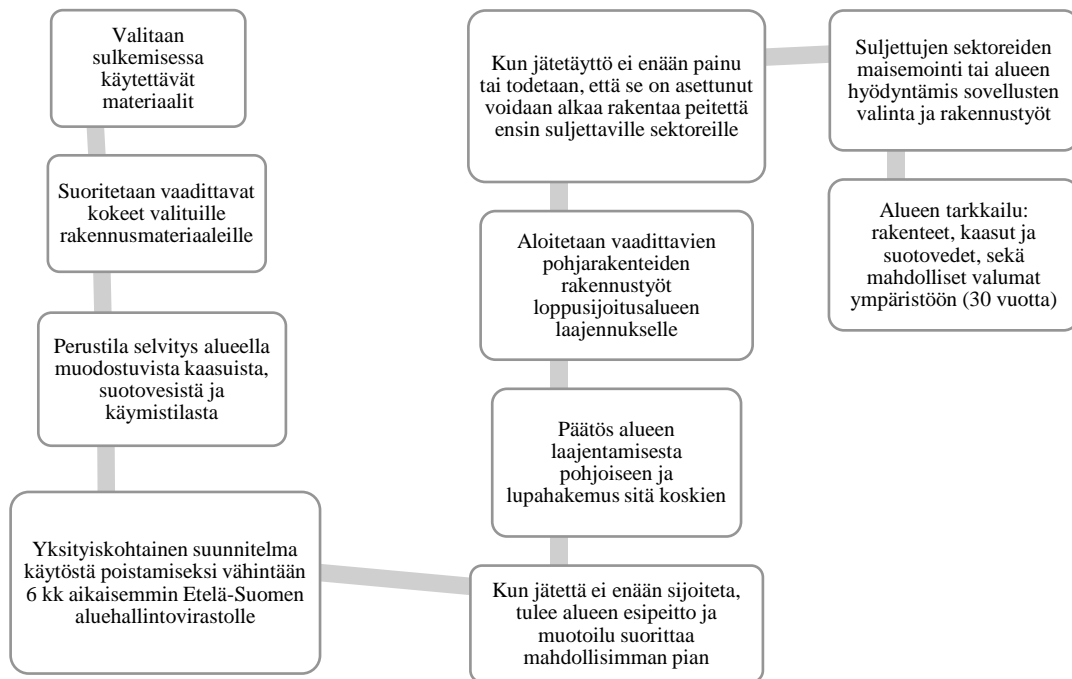
8. Yhteenveto

Kukkuroinmäen loppusijoitusalueen sulkemista varten tehdyssä tutkimuksessa ja vaihtoehtojen vertailussa huomattiin, että monessa vastaavassa tapauksessa Suomessa, oltiin tyydytty perinteisiin ratkaisuihin. Tämä osaltaan aiheuttaa myös haasteita alkaa pilotoimaan jotain ratkaisua, josta ei löydy juurikaan käyttökokemuksia. Esimerkiksi potentiaalisen tuuli- ja aurinkoenergian keruuta ei olla toteutettu vielä missään. Joissain yksittäisissä tapauksissa näitä ratkaisuja oltiin harkittu, mutta lopulta haastava asennusalue oli todettu ylivoimaiseksi, tai kiinnostus oli muuten loppunut siihen.

Peiterakenteissa toki on käytetty ennenkin teollisuuden jäte- ja sivuvirtoja, mutta ne tuntuvat olevan yksittäistapauksia, eikä siellä varsinaisesti ole mitään trendiä siitä, että jokin tietty ratkaisu olisi ylivertainen. Tähän tietenkin vaikuttaa osaltaan kuljetuksista syntyvät kustannukset ja siksi tapauskohtaisesti on haettu eriäviä ratkaisuita.

8.1 Sulkeminen vaiheittain

Sulkeminen edellyttää aina viranomaisen lupaa, tässä tapauksessa sulkeminen tulee olla suunniteltu tarkkaan. Lupaa hakiessa tulee esittää käytettävät materiaalit ja perustella mahdolliset poikkeukset lain edellyttämistä kriteereistä. Esimerkiksi kaasunkeräyskerroksen kohdalla voidaan lupaa hakea salaojamatonkäytölle, joka osaltaan korvaisi 500 mm paksuisen kerroksen. Mahdollinen rakennus materiaalin varastointi tulisi aloittaa hyvissä ajoin, jotta sitä olisi riittävästi, kun peittäminen alkaa. Jos peitteessä päädytään jonkin kerroksen kohdalla ratkaisuun, jossa käytetään edellä mainittuja teollisuuden jäte-, tai sivuvirtoja, tulisi nämä materiaalit testata hyvissä ajoin vedenläpäisyn, DOC:n, TOC:n ja muiden ominaisuuksien osalta. Kuvassa 4 on esitetty menettelykaavio, jonka mukaan sulkemisprosessi etenee.



Kuva 4. Sulkeminen vaiheittain

8.2 Sulkemirakenteissa käytettävät materiaalit

Tämän työn yksi isoin kysymys oli sulkemirakenteissa käytettävät materiaalit. Loppusijoitusalueelle oli jo aiemmin laadittu suunnitelma peitteestä FCG suunnittelu ja tekniikka Oy:n toimesta. Tarkoituksena oli kuitenkin selvittää vaihtoehtoja neutraalisille raaka-aineille. Eri yrityksille tehtyjen haastatteluiden, sekä aiempien tutkimusten perusteella päädyttiin seuraavaan ehdotelmaan.

1. Jätteen esipeitto ja jätetäytönmuotoilu

- Käytetään alueella jo olemassa olevia maamassoja, saatavia pimoja ja mahdollisesti myös lietettä.

Perustelut: ei tarvetta ostaa materiaalia, eikä aiheuta kuljetuskustannuksia. Parhaassa tapauksessa voidaan laskuttaa pimojen vastaanottamisesta. Näistä materiaaleista ei pitäisi olla puutetta.

2. Kaasunkeräyskerros

- Erilliskeräyksenä otetaan vastaan tiili- tai betonimurskaa

Perustelut: voidaan laskuttaa materiaalin vastaanottamisesta ja saavutetaan hyvät kaasunjohtavuusominaisuudet. Keräys tulee aloittaa hyvissä ajoin.

3. Tiivistyskerros

- Valmis bentoniittimatto Geosynt Oy:ltä

Perustelut: voidaan taata jätetäytön tiiveys pitkään, eikä tarvitse pelätä sen pettämistä. Asennustyö sisältyy materiaalin hintaan.

4. Kuivauskerros

- Erilliskeräyksenä otetaan vastaan tiili- tai betonimurskaa

Perustelu: voidaan laskuttaa materiaalin vastaanottamisesta, sekä saavutetaan hyvät kaasunläpäisyominaisuudet

5. Pintakerros

- Käytetään alueella jo olemassa olevia maamassoja ja mahdollisesti myös lietettä.

Perustelut: alueelta löytyy riittävä määrä maamassoja pintakerrokseen, haluttaessa siihen on mahdollista sekoittaa lietettä. Tällä voidaan lisätä ravinnepitoisuutta, jotta se on parempi kasvualusta. Riippuu tietenkin myös siitä mikä on alueen käyttötarkoitus jatkossa.

8.3 Toiminta sulkemisen jälkeen

Kun sulkemirakenteet on saatu valmiiksi ja alue on oletetusti asettunut, voidaan tässä vaiheessa alkaa toteuttaa sinne suunniteltuja rakenteita. Työn perusteella ehdottomasti järkevin ratkaisu on rakentaa aurinkovoimala alueelle. Tämä kuitenkin edellyttää mittauksia, joilla voidaan vielä varmistaa potentiaalinen energian tuotanto eri puolille aluetta. Alue on kuitenkin kohtalaisen avara, eikä esimerkiksi metsä pääse varjostamaan paneeleita.

Kannattaa myös harkita vakavasti tuulivoimaa, mikäli siitä saadaan järkevä tarjous ja todetaan, että vaikkapa alueen laelle voitaisiin pystyttää kevytrakenteisia voimaloita. Tuulivoiman parhaita puolia on ehdottomasti se, että siitä saatava hyöty ei ole vuodenajasta riippuvainen. Yhdistetyllä tuuli- ja aurinkovoiman hyödyntämisellä voitaisiin säästää

esimerkiksi biokaasujalostamon energiakuluissa. Oletettavaa on kuitenkin, että kummankin potentiaalisen energiankeruu järjestelmän kohdalla hinta on korkeampi, kuin tavanomaisen asennuksen tapauksessa. Potentiaalista pinta-alaa aurinkopaneeleille on myös Kukkuroinmäen jätteenkäsittelyalueella sijaitsevat rakennukset. Se lisäisi osaltaan potentiaalista energiantuottoa alueella.

On myös mahdollista hakea rahoitusta tämän kaltaiseen pilotti projektiin, jolloin kustannuksissa voidaan säästää. Tämän kaltaisille projekteille löytyy varmasti tilausta muuallakin.

Mahdollinen kasvien hyödyntäminen olisi mahdollista toteuttaa niin, että siihen käytettäisiin alueen sektorit, joihin ei ole kannattavaa sijoittaa aurinkopaneeleita. Kasvustoa voisi myös istuttaa rinteiden alle, näin alueelta valuvat ravinteet voitaisiin hyödyntää kasvien kasvatuksessa. Tasaiselle maalle istutettuja kasveja olisi myös helpompaa käsitellä, kuin kaltevalle pinnalle istutettuja. Tämä osaltaan mahdollistaisi myös raskaammalla kalustolla tapahtuvan istutuksen, sekä sadonkorjuun. Myös talteen otetuilla suotovesillä voisi kastella valittua kasvustoa. Läpikäydyistä kasveista etenkin hamppu on helppohoitoinen, sekä halpa tuottaa. Sen viljely ei erikseen vaadi rikkakasvien torjuntaa ja siitä on mahdollista saada jopa kaksi satoa vuodessa. Sen soveltuvuutta EKJH:n biokaasuprossiin ei ole tässä työssä käyty läpi. Pajun viljely osaltaan on työläämpää, eikä siitä saada satoa joka vuosi. Se vaatii myös enemmän hoitoa kasvuvaiheessa, myös sen istutus on työläämpää.

8.5 Tarjouspyynnöt

Valitettavasti työtä tehdessä aliarvioitiin kesälomakauden vaikutus pienten ja keskisuurten yritysten toimintakykyyn. Moneen yritykseen ei saatu ollenkaan yhteyttä, useasta yrityksestä huolimatta. EKJH Oy:n kannattaa olla itse näihin yrityksiin yhteydessä syksyn 2022 aikana, jotta saadaan tarkempi arvio kuljetusten, aurinkovoiman, sekä tuulivoiman kustannuksista. Kustannuksia ei haluttu myöskään spekuloida, ettei siitä tule virheellistä kuvaa EKJH:n henkilöstölle. Näin voidaan välttää myös päätöksenteko virheellisten tietojen pohjalta. Mahdollisen rakennusmateriaalin kuljetusten osalta voidaan kuitenkin käyttää Fortumin ilmoittamaa arviota 20 €/t, mikäli välimatka materiaalin lähteestä loppusijoitusalueelle on kohtuullinen. Eri materiaalien välillä on myös eroja kuljetus

kustannuksissa, sillä materiaaleilla on ominainen tiheys, joka vaikuttaa niille ominaiseen painoon. Kakkien materiaalien kohdalla ei saatu jätteen tuottajalta tietoa sen tiheydestä, mutta taulukossa 28 esitetty rikastushiekka materiaalivaihtoehtona eri kerroksiin antaa kuvan kuljetuskustannuksista. Rikastushiekan tapauksessa kuljetuskustannuksiin tulisi lisäksi vielä materiaali kustannus, jota Nordkalkin puolesta ei voitu tarkkaa määrittää.

Taulukko 28. Rikastushiekan kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset

Materiaali	Tiheys [ρ] t/m ³	Kuljetuskustannus Kaasunkeräyskerros €	Kuljetuskustannus Tiivistyskerros €	Kuljetuskustannus Kuivauskerros €	Kuljetuskustannus Pintakerros €
Nordkalk rikastushiekka	1,3	490 984	821 288	826 228	1 662 388

Lähteet

Etelä-karjalan jätehuolto. 2022. Kukkuroinmäen jätteenkäsittelylaitos. 12/2021. Saatavilla: https://ekjh.fi/kukkuroinmaen_kasittelykeskus_esittely/

Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2008. Ympäristöhallinnon ohjeita 1. Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. 12/2021 Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE_OH_1_2008.pdf?sequence=2

Kainuun ympäristökeskus. 2005. Päätös ympäristölupahakemukselle koskien kaatopaikan sulkemista Vuolijoen kunnassa. 12/2021 Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/haku?n=25246&d=1&s=vuolijoki+>

Valtioneuvosto. 2013. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013). 01/2022 Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>

Yli-Tolppa, J. 2017. Lounais-Suomen Jätehuolto Oy. Kaatopaikan sulkemisaranteet Topinojan jätekeskuksessa. Turun ammattikorkeakoulu. 01/2022 Saatavilla: https://www.lsjh.fi/wp-content/uploads/opinnaytetyo_kaatopaikan-pintarakenteen-topinojan-jatekeskuksessa.pdf

Korhonen, MR. Pitkänen, K. Niemistö, J. 2018. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 3. Selvitys orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vaikutuksista. 01/2022 Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160946/SY_03_3018_Organise_n_jatteen_kaatopaikkakiello.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Ympäristöministeriö. 2022. Jätelainsäädäntö. 01/2022 Saatavilla:
<https://ym.fi/jatelainsaadanto>

Ympäristöministeriö. 2014. Ympäristönsuojelulaki (527/2014). 01/2022 Saatavilla:
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527#L2P10>

Ympäristöministeriö. 2021. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamiseksi (1030/2021). 01/2022 Saatavilla:
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20211030>

Ympäristöministeriö. 2021. Valtioneuvoston asetus jätteistä (978/2021). 01/2022 Saatavilla:
<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210978>

Porthen, S. 2018. Suljetut kaatopaikat ja niiden käyttömahdollisuudet. Esimerkkinä Naantalın kaupungin lilijärven kaatopaikka. Turun ammattikorkeakoulu. 01/2022 Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151807/Porthen_Saila.pdf?sequence=1

Hänninen, P. Pullinen, A. Äikää, O. Majaniemi, J. 2006. Veden liikenopeuden in-situ mittaustestit Hausjärven – Nurmijärven alueella. Geologian tutkimuskeskus. 01/2022 Saatavilla: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/y50_2007_4.pdf

Junnila, E. 2010. Hevossuon kaatopaikan ensimmäisen laajennusosan sulkeminen. Vaasan ammattikorkeakoulu. 01/2022 Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15899/Junnila_Eveliina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Räsänen, J. 2013. Yhdyskuntajätteen kaatopaikan sulkeminen ja kaatopaikkoja koskeva lainsäädäntö. Case Kitee Sopensuo. Karelia ammattikorkeakoulu. 01/2022 Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67991/Rasanen_Jari.pdf?sequence=1

Saharla, S. 2019. Haapajärven varaston jätehuoltoselvitys ja kaatopaikan lopettamissuunnitelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. 01/2022 Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167527/Saharla_Sanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Lippo, F. 2019. Suljetun kaatopaikan tulevaisuuden käyttö. Case Vaasan Suvilahti. Vaasan ammattikorkeakoulu. 01/2022 Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/264543/Oppari_Lippo.pdf?sequence=2

Juho A-T. 2021. Kaatopaikan pintarakenteiden liukoisuusprosessit ja vesitase. Tampereen yliopisto. 01/2022 Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/136205/AlitTolppaJuho.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Ympäristöministeriö. 2018. Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon soveltaminen. Ympäristönsuojeluosasto. 01/2022 Saatavilla: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf/1f31fd19-504d-1f23-d46a-aa34b1fe7e08/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf?t=1603260910164

Ellen MacArthur foundation. 2022. Circular economy introduction. 01/2022 Saatavilla: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Saranen, J. 2019. Kaatopaikan pintarakenteiden materiaalivaihtoehdot. Tampereen yliopisto. 02/2022 Saatavilla:

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27406/Saranen.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2002. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Ympäristö opas 36. 02/2022 Saatavilla:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41085/Ymp%C3%A4rist%C3%B6opas_36.pdf?sequence=1

Ympäristöministeriö. 2018. Kierrätyksestä kiertotalouteen. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. 02/2022 Saatavilla:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160441/SY_01_18_FI_Kierratyksesta_kiertotalouteen.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Euroopan parlamentti. 2018. Kiertotalouspaketti: EU:n uudet tavoitteet kierrätykselle. 02/2022 Saatavilla:

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20170120STO59356/kiertotalouspaketti-eu-n-uedet-tavoitteet-kierratykselle>

Ympäristöministeriö. 2021. Valtakunnallinen jätesuunnitelma. 03/2022 Saatavilla:

<https://ym.fi/valtakunnallinen-jatesuunnitelma>

Kautto, T. 2014. Energiapuun kastelu jätetäytön suotovedellä tuhkasta ja kompostista valmistetussa kasvualustassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 03/2022 Saatavilla:

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/102198/0340442_Kautto_Tuomo_Diplomity%C3%B6_2.12.2014.pdf?sequence=2

Ahonen, L. 2014. Energiapajun viljeleminen. Energiapajun kestävä tuotanto ja käyttö. 03/2022 Saatavilla:

https://peda.net/poke/projektit/luva_hankkeet/energiapaju/evjptk/evjptk2:file/download/ff67056fa6663ff8761f0de938e25d669cf28c16/Energiapajun%20viljeleminen%20ja%20Tarvalan%20koeviljelm%C3%A4t%202014%20LA.pdf

Carbons Finland Oy. 2020. Pajujen kasvatusohjeet 2020. 03/2022 Saatavilla:

<https://carbons.fi/wp-content/uploads/2020/11/Tuotekortti-Pajun-kasvatus-0720.pdf>

Spagnoli, G. Rubinos, D, A. 2018. Utilization of waste products as alternative landfill liner and cover materials – A critical review. 03/2022 Saatavilla:

<https://www.researchgate.net/requests/r98799511>

Ympäristöministeriö. 2011. Maanrakentamisen uusiomateriaalit (UUMA). Ympäristökelpoisuuden osoittaminen ja tuotteistaminen. 03/2022 Saatavilla:

<https://www.ym.fi/download/noname/%7B13DE6161-BF77-4AC5-98E3-7C73F9380A2C%7D/32052>

Leveelahti, U. 2022. Lappeenrannan sementtitehtaan vuosiyhteenveto jätteenpoltosta. FinnSementti. 03/2022 Saatavilla:

<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B27930BB7-059A-4C53-A5A1-8BD22DD031D6%7D/173831>

Itä-Suomen ympäristövirasto. 2005. Yhtiöiden Kaukaan tehtaiden ympäristölupa. Päätös nro: 125/05/2, dnro: ISY-2004-Y-71. 03/2022 Saatavilla: <https://ymparisto.fi>

Stora Enso. 2020. Stora Enso Anjalankosken tehtaiden rinnakkaispolttokattilan K2 vuosiraportti 2020. 03/2022 Saatavilla: <https://storaenso.com>

UPM Kymmene. 2020. UPM Lappeenrannan biojalostamo – hakemus toistaiseksi voimassa olevan ympäristöluvan muuttamiseksi. Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 03/2022 Saatavilla: <https://ylipa.avi.fi>

Devarangadi, M. Shankar, U. 2020. Correlation studies on geotechnical properties of various industrial byproducts generated from thermal power plants, iron and steel industries as liner in a landfill- a detailed review. Department of environmental and water resources engineering, Vellore institute of technology, Vellore, India. 03/2020 Saatavilla: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652620312543?token=58FA39FA0FC5D2F28B3925DE986838069E6955F05761C09EEEF0634BC25382A664BE163CA1F39495603D265FD9C3D59B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220311061054&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220311061054>

Travar, I. 2015. The use of air pollution control residues in landfill covers and for soil stabilization. 03/2022 Saatavilla: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:999475/FULLTEXT01.pdf>

Raivio, A-J. 2013. Kuitusaven jatkokäsittelyvaihtoehdot. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. 03/2022 Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/68522/Ari-Jukka_Raivio.pdf?sequence=1

Elo, A. Lahti, I. Kylmänen, M. 2020. Biohiili kompostointiprosessin tukiaineena. Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu. 04/2022 Saatavilla: <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2020/09/TP4-osaraportti-komposti.pdf>

Reiman, A. 2019. Kaatopaikan pintarakenteen toiminta. Tampereen yliopisto. 04/2022
Saatavilla: <https://core.ac.uk/download/pdf/280343649.pdf>

Paalosmaa, T. 2018. Ruoppaus sedimenttien käyttö maa- ja infrarakentamisessa. Vaasan ammattikorkeakoulu. 04/2022 Saatavilla:
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/156882/Ruoppaus sedimenttien käyttö maa- ja infrarakentamisessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/156882/Ruoppaus%20sedimenttien%20kaytto%20maa-%20ja%20infrarakentamisessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Valtion teknologian tutkimuskeskus (VTT). 2008. Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. 04/2022 Saatavilla:
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2246.pdf>

Kalema, T. 2018. Aurinkosähkön potentiaali Suomessa. Nettoenergia ry. 05/2022 Saatavilla:
<https://nettoenergia.fi/aurinkosahkon-potentiaali-suomessa/>

Auvinen, K. Lovio, R. Jalas, M. Juntunen, J. Liuksiala, L. Nissilä, H. Müller, J. 2016. FinSolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. Aalto-yliopiston julkaisusarja. 05/2022 Saatavilla:
<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf>

Suuronen, A. 2021. Tuulivoiman yleisopas. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 05/2022 Saatavilla:
<https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/57296/Tuulivoiman+yleisopas.pdf/9f0ed0a3-7df6-ee6c-81ed-e90279b264fe?t=1636093932871>

Suomen tuulivoimayhdistys. 2019. Investoinnit. 05/2022 Saatavilla:
<https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/taloudellisuus/investoinnit>

Eklund, E. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoimalan käyttöön. Kodin vihreä energia Oy.
05/2022 Saatavilla:
https://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf

LUT university. 2022. Tuulivoimala. 05/2022 Saatavilla: <https://www.lut.fi/green-campus/vihrea-energia-ja-teknologia/tuulivoimala>

Tulppo, P, K. 2011. Kaatopaikkakaasun muodostuminen ja hyödyntäminen pienellä ja etäisellä kaatopaikalla. Esimerkkitapaus Kuusiselän kaatopaikka. Jyväskylän yliopisto.
06/2022 Saatavilla:
<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/36984/URN%3ANBN%3Afi%3Ajyu-2011112311717.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lounais-Suomen ympäristökeskus. 2005. Ympäristölupapäätös. Päätös Ekokem-Palvelu Oy:n lupahakemukselle Peräkorven teollisuusjätteen käsittelykeskuksen kaatopaikasta.
06/2022 Saatavilla: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LounaisSuomen_ymparistokeskuksen\(26477\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LounaisSuomen_ymparistokeskuksen(26477))

Klementti, T. 2022. Stora Enson Anjalankosken tehtaan polttotuhkien, sekä muiden jäte- ja sivuvirtojen hyödynnys maanrakentamisessa. Microsoft Teams haastattelu toteutettu 13.6.2022.

Zhytov, D. 2022. Työkalu pinta-alojen ja tilavuuksien määrittämiseksi. 06/2022 Saatavilla: http://www.zhitov.ru/en/volume_gravel/

Imatran Kaupunki. 2019. Ympäristölupahakemus, teräskuonamurskeen ja betonimurskeen käyttö Ivontien katurakenteissa. 06/2022 Saatavilla: <https://docplayer.fi/163445103-Ymparistolupahakemus-teraskuonamurskeen-ja-betonimurskeen-kaytto-ivontien-katurakenteissa-imatran-kaupunki-imatra.html>

Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus. 2005. Ympäristölupapäätös rikastushiekan hyödyntämisestä kenttärakenteen suodatinkerroksen materiaalina. Dnro KAS-2005-Y-243-111.

06/2022 Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE5455AED-013A-4753-AAF3-4EB922BEAC28%7D/81334>

Maunus-Tiihonen, M. 2022. UPM Kaukaan tehtaiden polttotuhkien, sekä muiden jäte- ja sivuvirtojen hyödynnyksen maanrakentamisessa. Microsoft Teams haastattelu toteutettu 17.6.2022.

Vaajamo, M. 2022. Fortum waste solutions yhtiön jätteenpoltossa syntyvät tuhkat, sekä niiden käsittely ja tuotteistaminen. Microsoft teams haastattelu toteutettu. 26.6.2022.

Piepponen, T. 2022. Fortum environmental construction unit yhtiön maanrakennus projektit, sekä niissä käytettävät kuonat. Microsoft teams haastattelu toteutettu. 26.6.2022.

Niku, F. 2019. Aurinkosähköinvestointien kannattavuus globaalisti ja valikoiduilla markkinoilla. LUT School of Energy Systems. 06/2022 Saatavilla: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159576/Kandidaatin%20tyo%cc%88%20Filippa%20Niku.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Breyer, C. 2022. Renewable energy technology kurssi. LUT kurssimateriaali.

Sampson, G. 2009. Solar power installations on closed landfills: technical regulatory considerations. University of Carolina, Santa Barbara. 06/2022 Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/237407185_Solar_Power_Installations_on_Closed_Landfills_Technical_and_Regulatory_Considerations

Ramos-Ruiz, A. Wilkening, Jean V. Field, James A. Sierra-Alvarez, Reyes. 2017. Leaching of cadmium and tellurium from cadmium telluride (CdTe) thin-film solar panels under simulated landfill conditions. The university of Arizona, Department of chemical and environmental engineering. 06/2022 Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/316445132_Leaching_of_cadmium_and_tellurium_from_cadmium_telluride_CdTe_thin-film_solar_panels_under_simulated_landfill_conditions

Manwell, James F. MacLeod, J. Wright, S. DiTullio, L. McGowan, J G. 2006. Hull wind II: a case study of the development of a second large wind turbine installation in the town of Hull, MA. University of Massachusett. Department of mechanical and industrial engineering. 06/2022 Saatavilla: https://www.researchgate.net/profile/Jon-Mcgowan/publication/251986656_Hull_Wind_II_A_Case_Study_of_the_Development_of_a_Second_Large_Wind_Turbine_Installation_in_the_Town_of_Hull_MA/links/0046353cd1aac811b1000000/Hull-Wind-II-A-Case-Study-of-the-Development-of-a-Second-Large-Wind-Turbine-Installation-in-the-Town-of-Hull-MA.pdf

Hynynen, K. Koivuniemi, A. Baygildina, E. Laaksonen, P. Pyrhönen, O. 2012. Tuulivoiman mahdollisuudet Etelä-Karjalassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 06/2022 Saatavilla: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/88740/isbn9789522652829.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hietala, P. 2020. Tuulivoimatekniikka. Perustietoa tuulivoimasta. Centria-ammattikorkeakoulu. 06/2022 Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/335088/Hietala_Petri.pdf?sequence=2

Nevalainen, M. 2022. Nordkalk yhtiön prosesseissa syntyvät sivuvirrat ja niiden käyttömahdollisuudet maanrakennuksessa. Microsoft teams haastattelu toteutettu 5.7.2022.

Nordkalk Oyj. 2002. Rikastushiekan käyttö kaatopaikkarakenteissa. Suunnittelu- ja mitoitusohje. Raportti saatavilla yhtiöltä erikseen pyytämällä.

Niemi, A. 2014. Energiapajun viljely ja käyttö vesien puhdistuksessa – teknis-taloudellinen tarkastelu. Jyväskylän yliopisto. 07/2022 Saatavilla:
<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/44188/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201409042718.pdf>

Forsman, O. 2022. Kuituhampun satoon vaikuttavat tekijät. Oulun ammattikorkeakoulu. 07/2022 Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751996/Forsman_Oskari.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Juvonen, N. 2014. Kevätkorjattukuituhamppu hevostuotteen raaka-aineena. Karelia ammattikorkeakoulu. 07/2022 Saatavilla:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/81666/Juvonen_Nina.pdf

Tahvola, E. 2016. Hamppu ja maissi peltoenergiakasveina Suomessa: sato ja laatu. Helsingin yliopisto. 07/2022 Saatavilla:
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/161655/essi_tahvola_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y

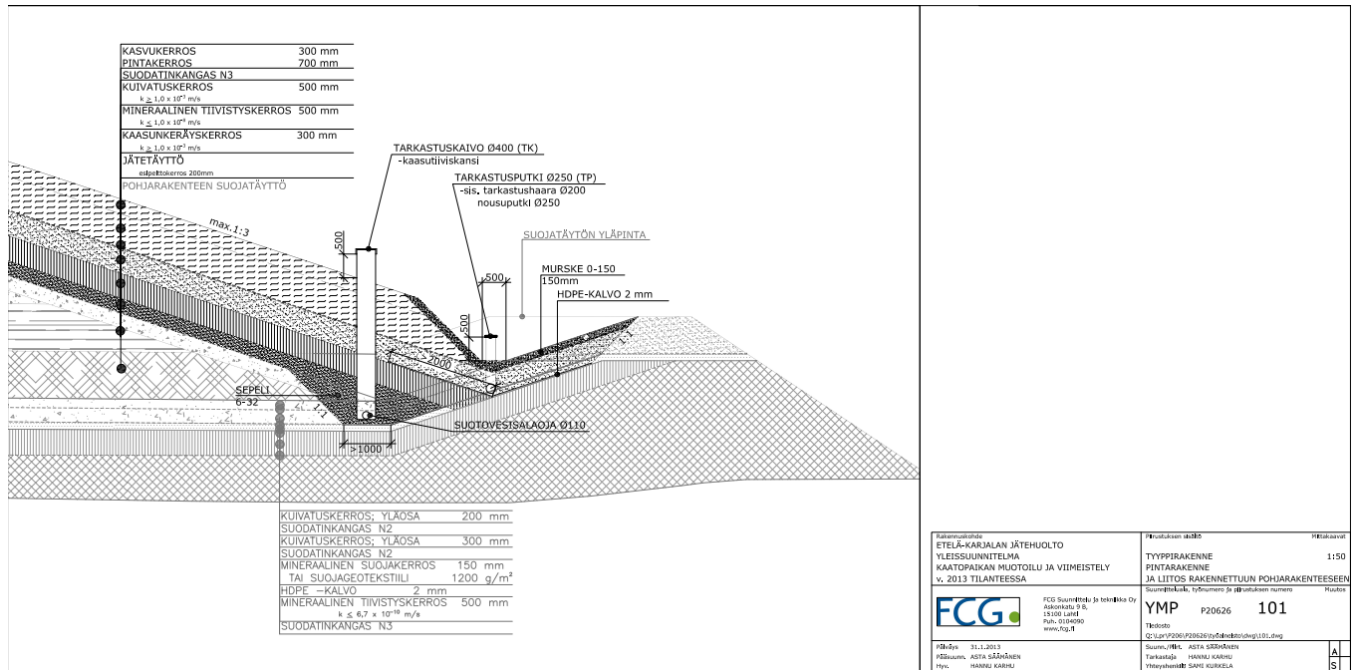
Mattila, H. 2017. Kuituhampulla vaihtelua viljelykiertoon. Satafood. 07/2022 Saatavilla: https://www.satafood.net/site/assets/files/1361/hemprefine_esitys_viljelijöille_satafood.pdf

Voimatel Oy. 2022. Aurinkopaneelien asennus loppusijoitusalueelle. Puhelinhaastattelu toteutettu 29.7.2022

Etelä-Suomen Aluehallintovirasto. 2014. Etelä-Karjalan jätehuolto Oy:n ympäristönsuojelulain mukainen hakemus, ympäristöluvan tarkistamiseksi. Päätös Nro 164/2014/1. 08/2022 Saatavilla: <https://ekjh.fi/wp-content/uploads/2020/11/YMPARISTOLUPA-2014.pdf>

Liitteet

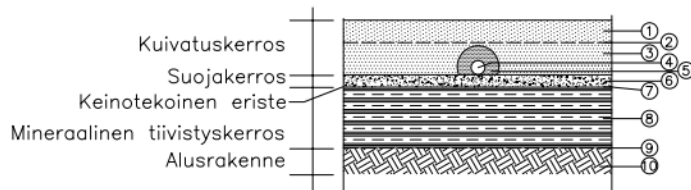
Liite 1. Kukkuroinmäen loppusijoitusalueelle suunniteltu peitto



Liite 2. Loppusijoitusalueen pohjarakenne

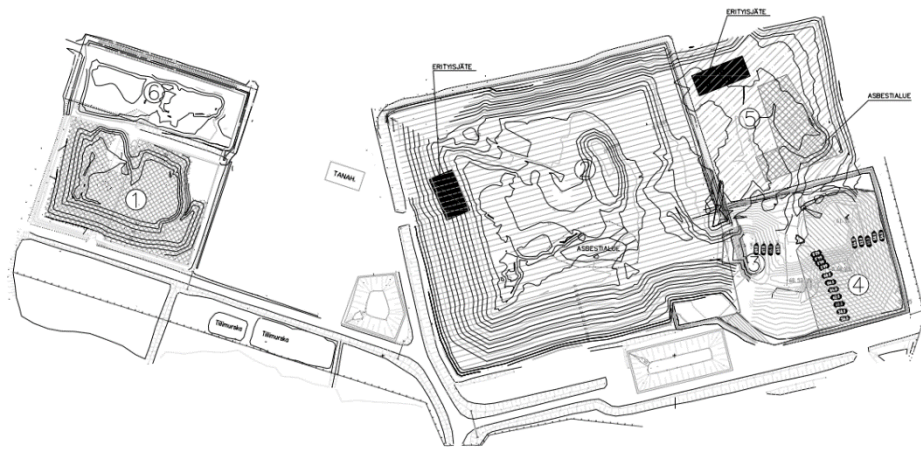
TAVANOMAISEN JÄTTEEN KAATOPAIKAN POHJARAKENNE

MINERAALIERISTE + HDPE-MUOVIKALVO



- 1 Salaojasora tai -murske 200 mm, $k > 1,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
 $\varnothing 0-55 \text{ mm}$
- 2 Suodatinkangas, luokka N2
- 3 Salaojasora tai -murske 300 mm, $k > 1,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
 $\varnothing 4-55 \text{ mm}$
- 4 Salaoja $\varnothing 160/140 \text{ mm}$
- 5 Salaojasora
- 6 Mineraalinen suojakerros 150 mm
tai suojageotekstiili 1200 g/m^2
- 7 HDPE-muovikalvo 2,0 mm
- 8 Mineraalinen tiivistyskerros 500 mm, $k < 6,7 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
tiivistyskerroksen tiivistysmäärät 2...3
- 9 Suodatinkangas, luokka N3
- 10 Tasattu pohjamaa / tasattu ja kiilattu kallio

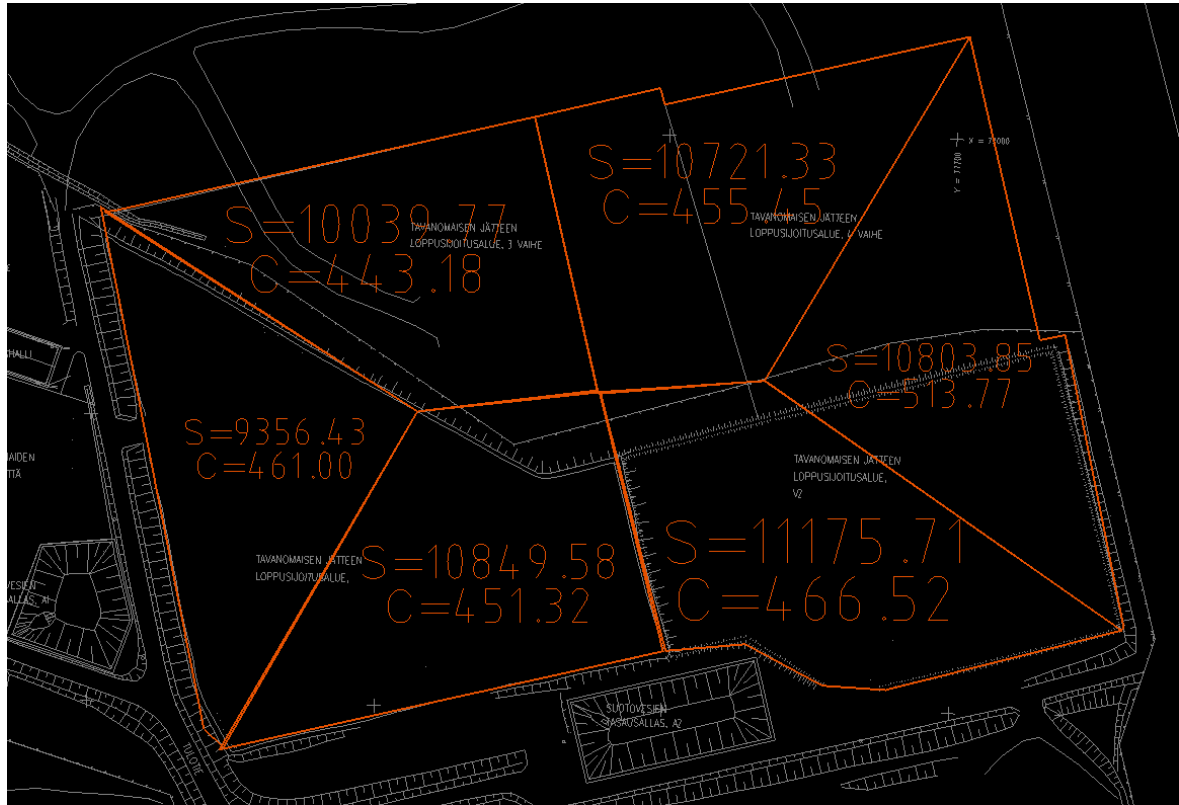
Liite 3. Jätetäyttöjen määrät, huomioitavat erityisjätteet ja asbestialueet



- ① Oupomajalle alue 1 Hytyn määre 25 892 m³ r/v (07.07.08 mennessä 25 178 m³ r/v)
- ② Kulkijalle alue 2 Hytyn määre 17.1.2022 455 137 m³ r/v (6.7.2021 mennessä 42473 m³ r/v)
- ③ Pikkasemolle loppu maast. 27 780 m³ r/v
- ④ Rautaväliä ym. loppu maast. 34 053 m³ r/v 21.07.08 (03.06.08 mennessä 28 598 m³ r/v)
- ⑤ Kulkijalle alue 3 (rak. vaihe 4) Hytyn määre 17.1.2022 10230 m³ r/v (6.7.2021 mennessä 102250 m³ r/v)
- ⑥ Oupomajalle alue 2 Hytyn määre 1.1.2021 7000 m³ r/v (21.6.2020 mennessä 7000 m³ r/v) (0.66/10201A 07/01-12/01)

Tilaa ja sitä suoritettavaksiin oia ja osia		Piirustuksen siis110	Mittakaava
ETELÄ-KARJAN JÄTEHUOLTO OY KUKKUROINMÄEN LOPPUSJOUTUSALUE JOUTSENO		JÄTETÄYTYJEN MÄÄRÄT 17.1.2022 MENNESSÄ	1:2000/A3
Insinööritoimisto Geocom Oy Puh: 040 820 1000 Faksi: 040 820 1001 www.geocom.com		Työn ja piirustuksen no	Merkki
PNUVIS LAPPEENRANTA 17.01.2022		2183.4	
		MITT.	MAJ
		LASK.	MAJ
		MVY.	
		Tark.	

Liite 4. Loppusijoitus alueen pinta-alan määrittäminen piirroksesta



Liite 5. Geocomin arvio sulkemiskustannuksista

ETELÄ-KARJALAN JÄTEHUOLTO OY**Kuivajätealue sulkeminen**

2983

Ins.tsto Geocom oy

KUSTANNUSARVIO

10.10.2021

Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy**Kaatopaikan viimeistely 2021 tilanteessa**

Littera	Nimike	Määrä	Yksikkö	Yks. hinta	Yhteensä €
10000	Yleiset työt, 10% 12000-16000				184277
21000	Maaleikkaus/jäteleikkaus				
21200	Pinnan muotoilu, masojen siirto Jätteen leikkaus Jätetäyttö	41900	m3ktr	8	335200
23000	Kuivatus ja rumputyöt				
23100	Avo-ojan tekeminen	5148	m²tr	4	20592
23800	Rumpuputki 250 PEH	5	mtr	50	250
24000	Pohjanvahvistus				
24520	Suodatinkangas N3	40000	m²tr	1,5	60000
25600	Rakennekerrokset				
	Kaasunkeräyskerros 300 mm	12000	m3ktr	20	240000
	Tiivistyskerros 500 mm (savi)	20000	m3ktr	17	340000
	Keinotekoinen eriste (HDPE-kalvo)	5148	m²tr	12	61776
	Kuivatuskerros 500 mm	20000	m³ktr	20	400000
	Pintakerros 700 mm	28000	m³ktr	9	252000
	Kasvukerros 300 mm	12000	m³ktr	9	108000
41000	Suotovesiviemäri				
41100	Viettoviemäri 250 PEH-6	20	mtr	45	900
	Salaoja 110 PEH-6	990	mtr	15	14850
43000	Kaivot ja tarkistusputket				
43110	Kaivo 560 PEH	2	kpl	1000	2000
43120	Tarkastuskaivo 400 PEH	9	kpl	700	6300
43130	Tarkastusputki 250 PEH	5	kpl	180	900

Yhteensä **2027045** €, alv 0%