

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2019

Anni Honkonen

LENTOTUHKAN JA APC- JÄTTEEN KÄSITTELY

– Katsaus nykytilanteeseen ja EPSE Menetelmän
tuomia mahdollisuuksia tulevaan

Anni Honkonen

LENTOTUHKAN JA APC-JÄTTEEN KÄSITTELY

- Katsaus nykytilanteeseen ja EPSE Menetelmän tuomia mahdollisuuksia tulevaan

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella raskasmetallipitoisten savukaasujen puhdistusjätteen (lentotuhka sekä APC-jäte) nykyisiä käsittelymenetelmiä ja mahdollisia kestävämpiä ratkaisuja sekä niiden käyttöönoton mahdollisuuksia lainsäädännön puitteissa. APC-jäte tarkoittaa Air Pollution Control -jätettä, joka syntyy polttolaitoksen savukaasujen puhdistusprosessissa, ja lentotuhka on savukaasuista erotettavaa hienojakoista, yleensä hyvin raskasmetallipitoista tuhkaa. Jätteenpolton oletetaan lisääntyvän koko maailmassa monien eri tekijöiden seurauksena, joten vaihtoehtoisia tapoja nykyisin usein vaarallisena jätteenä pitkäaikaisvarastoidun lentotuhkan sekä APC-jätteen käsittelylle kaivataan.

Uutena ratkaisuna opinnäytetyössä tarkastellaan työn toimeksiantajan, Global EcoProcess Services Oy:n (EPSE) patentoimaa menetelmää, epselointiä. Epselointi tarkoittaa kemiallista menetelmää, jossa pH:ta säätämällä prosessin eri vaiheissa saadaan aikaan pysyvästi liukenematon sakka sekä metalleista puhdasta ylitettä. Työssä on avattu käsittelymenetelmien taustalla vaikuttavaa jätteenkäsittelyä ja maanrakentamista koskevaa nykyistä lainsäädäntöä sekä vuoden 2018 alusta voimaan astuneen uudistetun valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017) (MaRa-asetus) asettamaa trendiä jätteiden uusiokäytön lisäämiselle. Lainsäädäntö painottaa jätteiden ja niiden käsittelyn aiheuttamien haittojen minimoimista ja pyrkii asettamaan rajoituksia jätejakeiden luokittelun avulla. Jätteenpolton lentotuhka ja APC-jäte on Suomessa luokiteltu vaaralliseksi jätteeksi niiden sisältämien haittaominaisuuksien takia.

Jotta epselöityä lentotuhkaa voitaisiin hyödyntää maanrakentamisessa MaRa-asetuksen asettamissa rajoissa, tulee sekä sen tekniset että kemialliset ominaisuudet tuntea riittävän pitkältä ajalta. Viranomaisnäkökulman saamiseksi työssä on haastateltu Pirkanmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen ylitarkastajaa Emmi Pajusta. Epselöimällä käsiteltyä tuhkaa ja sen ominaisuuksia tutkittaessa voitaisiin soveltaa koeluonteista toimintaa, jolloin käsiteltävän määrän tulee olla alle 20 000 tonnia. Mikäli tällaisessa riittävän laajassa ja pitkäkestoisessa tutkimuksessa todetaan epselöity lentotuhka ja APC-jäte myös pitkäaikaisvaikutuksiltaan vaarattomaksi, voitaisiin näin käsitellyn lentotuhkan lisäämistä MaRa-asetuksen piiriin pitää mahdollisena.

ASIASANAT:

Jätteenpolto, lentotuhka, APC-jäte, kiertotalous, maanrakennus

Anni Honkonen

FLY ASH AND APC WASTE MANAGEMENT

- An overview of the current situation and the future opportunities of the EPSE Method

The objective of this bachelor's thesis is to observe the current methods of treating waste with a high concentration of heavy metals generated by the purification of flue gasses (fly ash and APC waste) and potential, more sustainable solutions and the possibilities of implementing them within the framework of current legislation. APC waste stands for Air Pollution Control waste that is generated in the process of purifying flue gasses. Fly ash is a very fine type of ash, with a high concentration of heavy metals that are separated from the flue gasses. Waste incineration is expected to increase globally as a result of many factors, which is why alternative methods for the treatment of fly ash and APC waste are needed. Currently classified as hazardous waste, these types of waste are usually long-term stored.

Epselizing, a new and more sustainable method patented by the commissioner Global EcoProcess Services Oy (EPSE) is reviewed in this bachelor's thesis. Epselizing is a chemical process in which a permanently insoluble deposit and metal free overflow is obtained by adjusting pH levels in different parts of the process. The bachelor's thesis reviews the current legislation governing waste treatment and earth construction influencing the development of waste treatment methods, as well as the trend set by the Government Decree on the Recovery of Certain Wastes in Earth Construction (843/2017) that came into force in the beginning of 2018, which encourages increasing the reuse of waste. Legislation stresses the importance of minimizing the negative effects of waste and waste treatment and sets limits for waste treatment by employing certain classifications. Fly ash and APC waste generated from waste incineration have been classified as hazardous waste because of their detrimental properties.

In order for epselized fly ash to be used in earth construction within the confines of the Government Decree on the Recovery of Certain Wastes in Earth Construction, the technical and chemical properties of the substance need to be known from a sufficiently long period of time. To obtain the point of view of the authorities, Senior Officer Emmi Pajunen of the Pirkanmaa Centre for Economic Development, Transport and the Environment was interviewed. In the first stages, while epselized ash and its properties are being studied, it could be tested in earth construction. For this, the amount of material treated must be under 20,000 tons. If a long-running and sufficiently broad study shows that epselized fly ash and APC waste are harmless also regarding long term effects, it is conceivable that treated fly ash could be included in the scope of application if the Government Decree on the Recovery of Certain Wastes in Earth Construction.

KEYWORDS:

Waste handling, fly ash, APC waste, circular economy, earth construction

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset	8
2 TUTKIMUSMENETELMÄT	9
2.1 Kirjallisuuskatsaus	9
2.2 Haastattelut	9
3 APC-JÄTTEEN JA LENTOTUHKAN NYKYTILA	10
3.1 Lentotuhkan ja APC-jätteen syntymekanismit	10
3.2 Tämänhetkinen tuhkien käsittely ja vaarallista jätettä koskeva lainsäädäntö	11
3.2.1 Vaarallisen jätteen määrittely lentotuhkan ja APC-jätteen osalta	12
3.2.2 Nykyisiä tuhkien käsittelymenetelmiä	13
3.3 Tavoitteita sekä mahdollisuuksia tuhkien käsittelyyn	16
3.4 Maanrakennuslainsäädännön nykyiset puitteet	17
4 EPSELÖINTI KÄSITTELYMENETELMÄNÄ	20
4.1 EPSE Menetelmän pilotointi	23
4.2 APC-jätteen ja lentotuhkan (tuhkan) ominaisuudet	24
4.3 EPSEn tekemiä tutkimuksia lentotuhkasta	26
4.3.1 Tuhkan pesu	27
4.3.2 Tuhkaan epselöinti	28
5 TUHKAN HYÖTYKÄYTÖN UUDET MAHDOLLISUUDET VIRANOMAISNÄKÖKULMASTA	30
5.1 Ympäristöviranomaiset ja nykytilanne	30
5.2 Koeluonteisen toiminnan soveltaminen	31
6 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

KUVAT

Kuva 1. Epselöinnin periaate. (EPSE 2019).	20
Kuva 2. Metallit, jotka saadaan käsiteltyä epselöimällä. (EPSE 2019).	22
Kuva 3. Havainnekuva Mobile EPSE -pilottilaitteistosta. (EPSE 2018).	24
Kuva 4. EPSE Menetelmällä käsitelty tuhkanäyte, jonka koostumus on muuttunut pölyävästä tiiviiksi samalla kun tilavuus on pienentynyt.	28
Kuva 5. Epselöinnin seurauksena tuhkan tilavuus on pienentynyt huomattavasti alkuperäisestä.	29

KUVIOT

Kuvio 1. Teollisuusjätevesinäytteen sisältämät metallit ja niiden pitoisuudet ennen EPSE-käsittelyä. (EPSE 2019).	21
Kuvio 2. Teollisuusjätevesinäyte, joka on käsitelty EPSE Menetelmällä. (EPSE 2019).	21

TAULUKOT

Taulukko 1. Valtionneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017) liitteen 2 mukaiset raja-arvot, tiivistelmä.	18
Taulukko 2. Satunnaisesti valittujen lentotuhkanäytteiden 0-analyysien tuloksien keskiarvot sekä testausmenetelmien standardit. (EPSE 2019).	25
Taulukko 3. Lentotuhkan 0-analyysin tulokset sekä testausmenetelmien standardit. (EPSE 2019).	25

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

APC-jäte	Air Pollution Control residue, savukaasujen puhdistusjäte (Laine-Ylijoki ym. 2005, 23.)
Lentotuhka	Lentotuhka on savukaasuista syklonien, sähkö- tai kuitusuotimien avulla erotettavaa hienojakoista, yleensä hyvin raskasmetallipitoista tuhkaa. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 32.)
EPSE Epselöinti	Global EcoProcess Services Oy. Global EcoProcess Services Oy:n kehittämä, patentoitu metallipitoisen jätteen puhdistusmenetelmä. EPSE Menetelmä perustuu EPSE kemikaalin annosteluun sekä pH:n säätämiseen prosessin eri vaiheissa.
Jäteluettelo	Jäteasetuksen (179/2012, muutettu 86/2015) liite 4, jossa luetellaan yleisimmät jätteet sekä vaaralliset jätteet; EU:n jäteluettelon (komission päätös 2014/955/EU) täytäntöönpano Suomessa.
Raja-arvo	Vaarallisen tai haitallisen aineen pitoisuus, jota pienempiä pitoisuuksia ei lasketa yhteen, kun arvioidaan useiden vaaralliseksi luokiteltujen aineiden yhteisvaikutuksia. EU:n kemikaalilainsäädännön mukainen termi. Voidaan käyttää myös termiä ”pitoisuusraja”. (Häkkinen 2018, 3.)
MaRa-asetus	1.1.2018 voimaan astunut uudistettu valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017).
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Suomessa toimii tällä hetkellä 15 ELY-keskusta, jotka ovat alueellisesti keskittyneet hoitamaan oman alueensa tehtäviä kuten ympäristöluvien valvontaa sekä tiettyjä erikoistehtäviä, kuten asiakaspalvelua ja ympäristöneuvontaa. (ELY-keskus 2019.)
AVI	Aluehallintovirasto. AVI hoitaa kahdeksan eri ministeriön alaisuuteen kuuluvia tehtäviä pääosin alueellisesti. AVIn tehtäviin kuuluu muun muassa ympäristönsuojelu- ja vesilain mukaiset lupa- ja korvausasiat, peruspalvelujen alueellisen saatavuuden arviointi, sosiaali- ja terveydenhuollon ohjaus ja valvonta sekä kunnalliskantelujen sekä viraston toimialaan liittyvien valitusten ja kantelujen käsittely. (AVI 2019.)
EPSE Kemikaali	EPSE Menetelmässä käytettävä kemikaali.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Jätteenpolttoa ja siitä syntyvien jätteiden käsittelyä ja käyttöä ohjaavat suoraan tai epäsuorasti monet lait, direktiivit ja säädökset. Jätelaki (646/2011) määrittelee, mitä on jäte ja erilaiset jätteenkäsittelymenetelmät (5§, 6§), Valtionneuvoston asetus jätteistä (179/2012) tarkentaa jätelakia ja Valtionneuvoston asetus jätteen polttamisesta (151/2013) määrittelee polttamisen lailliset puitteet. Suomen jätelainsäädäntö seuraa Euroopan unionin jätelainsäädännön kehitystä, mutta on joiltain osin EU-säädöksiä laaja-alaisempi ja tiukempi. (Ympäristöministeriö 2019.) Euroopan ympäristökeskuksen teettämän tutkimuksen (Wilts ym. 2017, 15–18) mukaan vuosien 2010 ja 2014 välillä jätteenpolttokapasiteetti 28 EU-maassa (lisäksi Sveitsissä ja Norjassa) kasvoi 6 % 81 megatonniin. Vuonna 2013 lähes 2,5 megatonnia jätettä kuljetettiin laivaten jätteenpoltoon. Tutkimuksessa todettiin lisäksi, että etenkin pohjoisissa jäsenvaltioissa jätteenpolttokapasiteetti oli korkea yksittäistä henkilöä kohti. (Euroopan komissio 2017, 6.) Polttaminen on jätteenkäsittelymenetelmänä siis lisääntymässä, mistä automaattisesti aiheutuu myös lisääntyvä määrä erilaisia sivutuotteita, kuten erilaisia tuhka- ja kuonajakeita. Myös Suomen jätelainsäädäntöä on uusittu ja päivitetty vuosina 2011 – 2016 (Ympäristöministeriö 2019) ja tavoitteena on kaatopaikkasijoituksen asteittainen vähentäminen. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 9.) Tuhkia syntyy jo nykyisellään pelkästään Suomen energiategollisuudessa n. 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa, ja näistä biotuhkia on yli 500 000 tonnia. (Joensuu 2018). Valtionneuvoston asetus jätteen polttamisesta (151/2013) määrittelee yksiselitteisesti, että jätteenpolttolaitos sekä rinnakkaispolttolaitos on suunniteltava, rakennettava ja varustettava ja sitä on käytettävä siten, että savukaasujen epäpuhtauksien pitoisuudet eivät ylitä asetuksen liitteessä 2 ilmaistuja päästöjen raja-arvoja. Tästä seuraa, että polttolaitosten savukaasut on puhdistettava, sillä ne sisältävät tyypillisesti mm. raskasmetalleja joko kaasumaisessa tai partikkelimuodossa (As, Cd, Cr, Pb, Zn), pölyä, happamia kaasuja, rikkidioksidia, typpioksideja ja erilaisia orgaanisia yhdisteitä. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 22.)

Vuonna 2017 uudistettu ja 1.1.2018 voimaan astunut valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017) (MaRa-asetus) antaa viitteitä siitä, että trendi jätteiden hyötykäytön lisäämiseksi on olemassa myös Suomessa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on uudella patentoimallaan menetelmällä metallipitoista jätettä puhdistava Global EcoProcess Services Oy (myöhemmin EPSE), jonka palveluksessa tämän työn tekijä on työskennellyt vuoden 2019 tammikuusta alkaen projektikoordinaattorin tehtävissä. EPSE on kiertotalousyritys, jonka tavoitteena on mullistaa vaarallisen jätteen käsittelyn käytännöt niin Suomessa kuin globaalistikin. Työssä käytetyt valokuvat ovat opinnäytetyön tekijän, ellei toisin mainita. EPSE on tehnyt yhteistyössä eri toimijoiden kanssa tutkimusprojekteja varmentaaakseen menetelmänsä toimivuutta eri jättejakeille. Yhtenä tutkimuskohteena on ollut raskasmetallipitoinen lentotuhka sekä APC-jäte, jolle on testattu pääosin kahta erilaista käsittelymenetelmää, tuhkan pesua sekä tuhkaan epselöintiä, jossa metallit epselöidään liukenemattomaan muotoon tuhkan joukkoon. Tarkemmin EPSEstä ja sen käyttämästä menetelmästä sekä tutkimustyön tuloksista (EPSE Menetelmä) kerrotaan luvussa 4. Koska APC-jäte ja lentotuhka määritellään vaaralliseksi jätteeksi (Valtionneuvoston asetus jätteistä 179/2012, liite 4) sen vaaraominaisuuksien takia, vaatii sen mahdollinen hyötykäyttö MaRa-asetuksen puitteissa lisäselvityksiä ja haitattomaksi toteamisen.

1.2 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tarkastella raskasmetallipitoisen savukaasujen puhdistusjätteen nykyisiä käsittelymenetelmiä ja mahdollisia kestävämpiä ratkaisuja sekä mahdollisuuksia niiden käyttöönotolle lainsäädännön puitteissa. Työn tutkimuskysymyksiä ovat:

- Miten APC-jäte ja lentotuhka määritellään nykyisin (Suomessa) ja miten se vaikuttaa käsittelyyn?
- Millaisia mahdollisuuksia käsittelyn ja uudelleenikäytön muutokseen on (uudet menetelmät)?
- Millaisia vaatimuksia potentiaaliset muutokset käsittelyssä ja uudelleenikäytössä asettavat ja mitä muutosten toimeenpano edellyttää?

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimusmenetelminä työssä käytetään kirjallisuuskatsausta, jolla saadaan muodostettua kokonaiskuva nykyhetken tilanteesta (State of Art) APC-jätteen ja lentotuhkan käsittelyssä. Kirjallisuuskatsauksen lisäksi työssä referoidaan asiantuntijatahojen näkemyksiä, jotka on saatu asiantuntijahaastatteluilla.

2.1 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsaus olemassa olevaan aineistoon tehdään käyttämällä Finlex-palvelua, josta on löydettävissä Suomen sähköinen säädöskokoelma sekä ajantasaiset säädösten ja alkuperäisten säädösten kokoelmat, Google Scholar -palvelua, Turun ammattikorkeakoulun, Turun alueen Vaski-kirjastojen sekä Pirkanmaan kirjastojen Finna-hakupalveluja, joista etsitään kattavaa tutkimustietoa aiheesta.

2.2 Haastattelut

Koska jätteenkäsittely on tiukasti viranomaisten valvonnassa, halutaan työhön myös viranomaisen näkökulma liittyen lupa-asioihin. Haastateltavaksi valikoitui Pirkanmaan Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksen (myöhemmin ELY-keskus) ympäristönsuojeluyksikön ylitarkastaja Emmi Pajunen, joka työskentelee pääosin MaRa-asetuksen parissa pääosaamisalueenaan pilaantuneet maat sekä betonimurskeet. Pirkanmaan ELY-keskuksen valtakunnallisesti keskitettyihin tehtäviin kuuluu mm. jätehuollon tuottajavastuuvalvonta, ympäristöhallinnon asiakaspalvelukeskus sekä pilaantuneiden maiden kunnostus (ELY-keskus 2018). Pajunen haastatellaan kasvotusten ilman struktuuria vapaamuotoisesti aiheesta keskustellen. Työssä kuvailtu epselöintimenetelmä edustaa uutta teknologiaa, jollaista ei ole aiemmin ollut markkinoilla. Menetelmän tarkkojen kemiallisten yksityiskohtien kuvaaminen ei ole työn kannalta oleellista, mutta joidenkin vaikutusten, tulosten tai seurausten taustojen selventämiseksi työssä haastatellaan lisäksi EPSE Menetelmän keksijää, Global EcoProcess Services Oy:n teknistä johtajaa Vesa Risasta. Hänen haastattelunsa toteutetaan vapaamuotoisina keskusteluina työn ohessa ilman muodollista struktuuria.

3 APC-JÄTTEEN JA LENTOTUHKAN NYKYTILA

Kirjallisuudesta, lainsäädännöstä ja olemassa olevasta tutkimustiedosta tarkasteltiin APC-jätteen syntyä, sen tyypillistä koostumusta sekä nykyisellään sovellettavia käsittelymenetelmiä. Lisäksi referoitiin lyhyesti EPSEn omia tutkimusaineistoja sekä ulkopuoliossa laboratoriossa teetätettyjä analyysejä APC-jätteen koostumuksesta ja sen sisältämistä haitallisista metalleista ja muista partikkeleista. Opinnäytetyössä käytetty termi on pääosin tuhka, kun viitataan jätteenpolttoprosessissa syntyvään lentotuhkaan. Usein laitoksissa syntyvä APC-jäte sekoitetaan lentotuhkajakeen joukkoon, jolloin voidaan viitata yhteen jättejakeeseen, jätetuhkaan.

3.1 Lentotuhkan ja APC-jätteen syntymekanismit

Huokoisista tuhkapartikkeleista muodostuva lentotuhka erottuu savukaasuista suoraan polttoprosessista, ja se erotetaan syklonien ja/tai sähkö- ja kuitusuotimen avulla. Lentotuhkaa syntyy noin 2 % laitokseen syötettävän polttoaineen massasta ja sen metalli- ja epäpuhtauspitoisuus on korkea. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 23.) APC-jätettä (Air pollution control residue) syntyy puolestaan savukaasujen puhdistuslaitteistossa, savukaasupesurissa. Tyypillisesti uusissa laitoksissa lentotuhka- ja APC-jättejakeet yhdistetään keskenään, jolloin niiden ominaisuudet sekoittuvat. APC-jätettä syntyy, kun savukaasujen puhdistusjärjestelmissä kaasuihin syötetään emäksistä jauhetta tai lietettä, jolloin APC-jäte sisältää happamien kaasujen, partikkeleiden ja savukaasujen tiivistymisestä tai reagoinnista aiheutuvia lopputuotteita, sekä kiinteää lentotuhkasta, hiilestä, dioksiineista, furaaneista ja lipeästä muodostuvaa jätettä, jota syntyy savukaasupesurissa. Käytetystä prosessista riippuen APC-jäte sisältää poistettujen epäpuhtauksien ja reaktiotuotteiden lisäksi ns. ylimääräisen reagenssin, kuten kalkkia, natriumhydroksidia tai aktiivihiltä ja useissa yhteyksissä APC-jätteellä tarkoitetaan kaikkia niitä kiinteitä jätteitä, joita muodostuu lämmön talteenottosysteemissä tai sen jälkeen. Tähän määrittelyyn kuuluvat siis myös lentotuhka, kattilatuhka, kalkkiylimäärä, kaasunpuhdistuksen reaktiotuotteet, pesuriliuosten käsittelylietteet sekä kipsi. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 23, 32; Amutha Rani ym. 2008, 2280–2281.) APC-jäte sisältää tyypillisesti suuren määrän erilaisia metalleja, kuten arseenia, kadmiumia, lyijyä, titaania ja sinkkiä. Muita tyypillisiä aineita APC-jätteessä ovat korkeat natrium-, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet, korkea orgaanisen hiilen pitoisuus sekä korkea fosforipitoisuus. Lisäksi jätteen pH on usein korkea. (Amutha Rani ym. 2008,

2282.) APC-jätteen fysikaaliset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus vaihtelevat riipuen poltetun jätteen koostumuksesta, polttokattilan tyypistä sekä savukaasujen puhdistusjärjestelmän tyypistä. Korkeat kalsiumoksidipitoisuudet johtuvat lipeän käytöstä pesurissa, kun korkeat kloridipitoisuudet usein polyvinyylikloridin (PVC) suuresta määrästä jätteen joukossa. (Amutha Rani ym. 2008, 2281.) APC-jätettä (vain reaktiotuotteet, kuivamäärä) muodostuu märkäprosessissa 8–15, puolikuivaprosessissa 15–35 ja kuivaprosessissa 25–45 kiloa jätetonnina kohden. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 24). Lentotuhka sisältää APC-jätettä enemmän raskasmetalleja, ja usein APC-jäte sisältää itsessään merkittävästi raskasmetalleista ainoastaan elohopeaa. Sisältämiensä raskasmetallien takia lentotuhka luokitellaan useissa maissa, kuten Suomessa, vaaralliseksi jätteeksi. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 35.) EPSE on erikoistunut metallien sakkauttamiseen jätemateriaalista ja pystyy patentoimallaan menetelmällä tekemään liukoista metallista pysyvästi liukenevattomia, jolloin niiden vaaraominaisuus liukoisten metallien osalta poistuu. Tästä syystä yhtiö on kiinnostunut lentotuhkasta ja APC-jätteestä ja haluaa tarkemmin tutkia, voisiko EPSE Menetelmää soveltaa näiden jätejakeiden käsittelyyn. [Global EcoProcess Services Oy (EPSE) 2019].

3.2 Tämänhetkinen tuhkien käsittely ja vaarallista jätettä koskeva lainsäädäntö

Valtionneuvoston asetuksen (151/2013) mukaan polttojätteen määrää on vähennettävä ja sen haitallisuutta ehkäistävä mahdollisimman paljon. Se on mahdollisuuksien mukaan kierrätettävä välittömästi laitoksessa tai muulla tavalla siten kuin siitä ympäristöluvassa määrätään. Kuiva pölymäinen polttojäte, kuten kattilatuhka sekä savukaasujen käsittelystä syntyvä kuiva polttojäte, on kuljetettava ja välivarastoitava tarvittaessa säiliöissä siten, että jätteen joutuminen ympäristöön estetään. Ennen polttojätteen käsittelytavan määrittämistä on selvitettävä eri polttojätteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ja haitallisuus ympäristölle. Selvityksen tulee koskea polttojätteen liukoisen jakeen ja raskasmetallien liukoisen jakeen kokonaismäärää. Jäte voidaan myös sijoittaa kaatopaikalle, jos se täyttää valtionneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (331/2013) säädetyt kaatopaikkakelpoisuuden arviointiperusteet. Kaatopaikoille voidaan sijoittaa vain sellaista jätettä, jonka koostumus ja ympäristövaikutukset tunnetaan. Kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset ovat erilaiset vaaralliselle ja vaarattomalle jätteelle. Kaatopaikat on asetuksen mukaan luokiteltava vaarallisen jätteen, vaarattoman jätteen (ennen: tavanomaisen jätteen) tai pysyvän jätteen kaatopaikoiksi. Vaarallisen jätteen kaatopaikan

pohja- ja pintarakenteille asetettavat vaatimukset sekä haitallisten aineiden liukoisuusraja-arvot poikkeavat vaarattoman ja pysyvän jätteen kaatopaikkojen rakennevaatimuksesta. Vaarallisen jätteen kaatopaikkojen liukoisuusraja-arvot ovat korkeammat kuin muiden kaatopaikkojen liukoisuusrajat. (Häkkinen 2018, 9.) Vaaralliset jätteet käsitellään Suomessa termisesti tai fysikaaliskemiallisesti vaarattomaan muotoon. Loppusijoituspaikalle päätyvät vain ne jätteet, joita ei voida hyödyntää. (Suomen Kiertovoima ry 2019.) Jätteiden kansainvälisistä siirroista säädetään EU:n jätteen siirtoasetuksella (EY) N:o 1013/2006. Siirrot edellyttävät aina lupaa kaikkien siirtoon osallistuvien maiden toimivaltaisilta viranomaisilta jätteen luokitukselta riippumatta. Kaikkien jätteiden siirrot loppukäsiteltäviksi muihin kuin EU:n ja EFTAn jäsenmaihiin on jätteen siirtoasetuksen mukaan kielletty. Lisäksi vaarallisten jätteiden vienti hyödynnettäväksi OECD:n ulkopuolisiin maihin on kielletty. Suomessa kansainvälisten siirtojen toimivaltainen viranomainen on Suomen ympäristökeskus. (Häkkinen 2018, 12–13.)

3.2.1 Vaarallisen jätteen määrittely lentotuhkan ja APC-jätteen osalta

Jätelaissa (646/2011) tarkoitetaan vaarallisella jätteellä jätettä, joka on palo- tai räjähdysvaarallinen, tartuntavaarallinen, muu terveydelle vaarallinen, ympäristölle vaarallinen tai muu vastaava ominaisuus (vaaraominaisuus). Jätteiden vaaraominaisuuksista säädetään jätedirektiivin liitteessä III, joka on annettu Euroopan komission asetuksella (EU) N:o 1357/2014 ja neuvoston asetuksella (EU) 2017/997 (liitteet 1 ja 2). Vaarallisen jätteen määritelmää on täydennetty EU:n jäteluettelolla (komission päätös 2014/955/EU). Suomessa jäteluettelo on pantu täytäntöön jäteasetuksen liitteessä 4 (179/2012, muutettu 86/2015). (Häkkinen 2018, 6.) Valtionneuvoston asetuksen jätteistä (179/2012; 86/2015) liitteessä 4 päivitettyyn jäteluetteloon on listattu yleisimmät jätteet sekä vaaralliset jätteet nimikkeittäin. Nimikkeellä 19 nimetään jätehuoltolaitoksissa, erillisissä jätevedenpuhdistamoissa sekä ihmisten käyttöön tai teollisuuskäyttöön tarkoitetun veden valmistuksessa syntyviä jätteitä. Nimikkeellä 19 01 nimetään jätteiden poltossa tai pyrolyysissä syntyviä jätteitä, joista vaarallisiksi on määriteltä mm. seuraavat:

19 01 05* Kaasujen käsittelyssä syntyvät suodatuskakut

19 01 07* Kaasujen käsittelyssä syntyvät kiinteät jätteet

19 01 13* Lentotuhka, joka sisältää vaarallisia aineita

Näistä lentotuhkalle löytyy myös vaaraton rinnakkaisnimike

19 01 14 Muu kuin nimikkeessä 19 01 13 mainittu lentotuhka.

Jätedirektiivin mukaan EU:n jäteluettelo on vaarallisten jätteiden osalta sitova. Jäsenmaat voivat kuitenkin kansallisella päätöksellä poiketa luettelon mukaisesta luokituksesta, jos se on vaaraominaisuuksien kriteerien mukaan perusteltua. Yksittäistapauksessa poikkeaminen on mahdollista, mikäli jätteelle ei löydy ns. rinnakkaisnimikettä, eli jätteelle löytyy vain vaarallisen jätteen nimike eikä sekä vaarallisen että vaarattoman jätteen nimikettä. Jos jätteellä on jätedirektiivin liitteen III mukainen vaaraominaisuus, jäte luokitellaan rinnakkaisnimikeparin vaarallisen jätteen nimikkeeseen. Jos vaaraominaisuuksia ei ole, voidaan jäte luokitella nimikeparin vaarattoman jätteen nimikkeeseen. Jätteen ominaisuuksien tarkempi tunteminen on yleensä tarpeen myös jätteen asianmukaisen käsittelytavan määrittämiseksi tai jätteen pakkaamiseksi ja merkitsemiseksi oikein kuljetusta varten. (Häkkinen 2018, 6–7, 14.)

Jätedirektiivin liitteessä III on lueteltu ominaisuudet, jotka tekevät jätteistä vaarallisia, sekä kyseisten ominaisuuksien arvioinnissa käytettävät kriteerit. Jäte on vaarallista, jos sillä on yksikin komission asetuksessa määritelty vaaraominaisuus (Häkkinen 2018, 16), jollaisia ovat lentotuhkan ja APC-jätteen raskasmetallipitoisuuksien tapauksessa esimerkiksi HP 5 (elinkohtainen myrkyllisyys) tai HP 14 (ympäristölle vaarallinen).

Jätedirektiivin liitteessä III säädetään kemikaalilainsäädännössä vaarallisiksi luokiteltujen aineiden pitoisuuksille pitoisuusrajat. Pitoisuusrajoja käytetään vaaraominaisuuksien HP 4 (ärsyttävä – ihoärsytys ja silmävauriot) HP 8 (syövyttävä), HP 11 (perimää vaurioitava), HP 13 (herkistävä) ja HP 14 (ympäristölle vaarallinen) arviointiin. Jätteen vaarallisuuden arvioinnissa käytettävät vaarallisten aineiden pitoisuusrajat ovat suhteessa jätteen tuorepainoon. (Häkkinen 2018, 17; Euroopan komissio, 2018.)

3.2.2 Nykyisiä tuhkien käsittelymenetelmiä

Lentotuhkassa olevien raskasmetallien sekä APC-jätteessä olevien elohopeapitoisuuksien takia APC-jäte luokitellaan yleensä siis Suomessa vaaralliseksi jätteeksi. (Jätelaitosyhdistys ry 2019). Pelkkä lentotuhka voidaan yleensä esikäsittelyn jälkeen sijoittaa vaarallisen jätteen kaatopaikalle tai vaarallista jätettä vastaanottavalle tavallisen jätteen kaatopaikalle. Metallien lisäksi APC-jätteen liukenevien suolojen pitoisuudet voivat olla jopa niin korkeat, että ne ylittävät vaarallisen jätteen kaatopaikkasijoitukselle asetetut kriteerit. (Jätelaitosyhdistys ry 2019.) Savukaasujen puhdistuksessa syntyvien jätteiden käsittelyssä tavoitteena on ensisijaisesti minimoida raskasmetallien pitkäaikaisliukoisuus

loppusijoituksessa. Tekniikoita on erilaisia ja ne perustuvat kiinteytykseen, termiseen käsittelyyn, uutto- ja stabilointitekniikkoihin sekä näiden yhdistelmiin. Käsiteltävä tuhkatyyppi vaikuttaa merkittävästi käsittelyn lopputuotteiden ominaisuuksiin ja käsittelyn tehokkuuteen. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 60.) Erityisesti raskasmetallien sitomiseen kehitetyt kiinteytys- ja stabilointitekniikat voivat tarkoittaa eri materiaalien sekoittamista, hydraulisten sideaineiden käyttöä, pesun ja sideaineiden käytön yhdistelmiä sekä orgaanisten sideaineiden käyttöä. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 61.) Pirkanmaan ELY-keskuksen ylitarkastaja Emmi Pajunen toi esille haastattelussa, että käsittelyn lopputuotteen pitkäaikaiskestävyydestä tai haitta-aineiden pitkäaikaisliukoisuudesta on edelleen suhteellisen vähän kokemusta ja tietoja. Voidaan kuitenkin todeta, että esimerkiksi pesu ja stabilointi sementillä sekä kemiallinen stabilointi kalkilla, sementillä sekä sementtiuunipölyllä ovat pienentäneet raskasmetallien liukoisuutta 50–90 %. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 61.) Sideainepohjaiset kiinteytysmenetelmät perustuvat usein Portland-sementin käyttöön, mikä liittyy laitteiden hyvään saatavuuteen, kehittyneisiin sekoitus- ja käsittelytekniikkoihin sekä siihen, että menetelmä sietää suuriakin käsiteltävän materiaalin laadun vaihteluita. Muita tyypillisiä sideaineita ovat kaupallisten sementtien sekä kalkkien lisäksi potsolaaniset jätteet kuten masuunipöly, bitumit sekä erilaiset polymeerit kuten epoksi ja polyesteri. Käytetyn materiaalin valintaan vaikuttaa pääasiassa hinta, sillä käytetyt määrät ovat suuria. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 61-62.) Tekniikalla ei kuitenkaan voida parantaa lentotuhkan sekä APC-jätteen liukoisuusominaisuuksia joidenkin metallien, kuten esimerkiksi lyijyn ja sinkin, osalta. Myös tietyt suolat, kuten esimerkiksi mangaani-, kupari-, lyijy-, tina- sekä sinkkisuolat vaikuttavat sementin reaktiokykyyn ja kovettumiseen. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 62.) Kemiallisessa stabiloinnissa APC-jätteen ja lentotuhkan joukkoon lisätään kemiallisia lisäaineita termodynaamisesti pysyvimmän kiinteän faasin tuottamiseksi. Tällaisia lisäaineita ovat esimerkiksi sulfidit, aktiivihiili sekä fosfaatit. Metalleja voidaan myös pidättää ja sitä kautta vähentää niiden liukoisuutta erilaisilla kemiallisen stabiloinnin prosesseilla. Nykykäytössä olevien menetelmien ongelmina ovat kuitenkin liukoisuusominaisuuksien todentamisen ja pitkäaikaisseurannan tutkimustulosten vähyys sekä haitta-aineita sisältävien jätevesien muodostuminen. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 63.) Orgaanisten lisäaineiden avulla tehtävä stabilointi soveltuvat vain lentotuhkille, joissa ei ole korkeita nitraatti- ja kloridipitoisuuksia. Lisäksi termoplastiset tekniikat, kuten bitumitekniikka, vaativat erikoislaitteistot, asettavat rajoituksia käsittelyerien koolle sekä ovat kustannuksiltaan suuria. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 63.) Sulatus- ja vitrifikaatiotekniikoiden etuina ovat lopputuotteen hyvät liukoisuusominaisuudet, tilavuuden pienentyminen 30–50 %:iin alkuperäisestä sekä furaanien ja dioksiinien lähes täydellinen hajoaminen. Haittapuolina

ovat kuitenkin termisen käsittelyn aiheuttamat kalliit kustannukset sekä tiettyjen haitta-aineiden, kuten halogeenien tai rikin pidättymisongelmat. Käytössä sekä kehitteillä on myös joitakin uuttoprosesseja, jotka perustuvat raskasmetallien ja suolojen uuttamiseen hapoilla. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 64.) Norjalainen NOAH on erikoistunut vaarallisen jätteen käsittelyyn ja sen yli 25 vuotta käytössä olleet käsittely- ja loppusijoitusratkaisut esimerkiksi Langøyen saarella NOAH AS:n jätteenkäsittelykeskuksessa ovatkin tietyiltä osin vaikuttaneet alan kehitystarpeisiin. Saarelta on aiemmin louhittu kalkkikiveä, josta syntyneitä louhoksia on täytetty neutralointikäsitellyillä vaarallisilla jätteillä. NOAH käsittelee tuotteensa kipsimatriisissa, joka yrityksen mukaan sitoo ja stabiloi epäpuhtauksia. Kipsimateriaalissa oleva rauta takaa stabiilit pH-olosuhteet sekä kemiallisen puskurin, joiden vaikutuksesta metallit absorboituvat materiaaliin ja tekevät tuotteesta vähemmän reaktiivisen. (NOAH 2019a.) Tulevaisuudessa myös Pohjois-Euroopassa tullaan todennäköisesti panostamaan enemmän APC-jätteen ja lentotuhkan käsittelymenetelmien kehittämiseen, sillä jätteenpolton määrät ovat kasvussa ja NOAH AS:n jätteenkäsittelykeskus Langøyen saarella Norjassa on arvioitu täytyväksi vuonna 2030. (NOAH 2019b.) Heikki Takaisen insinööriyössä tarkastellaan erilaisia tuhkien esikäsitely- ja loppusijoitusvaihtoehtoja Långmossenbergin voimalaitoksen tuhille. Takaisen mukaan voimala tuottaa lentotuhkaa 5600 t/v sekä savukaasujen puhdistusjätettä 13 000 t/v, kun se ottaa vastaan 320 000 tonnia arinapoltoon soveltuvia jätejakeita. (2013, 1, 3.) Savukaasujen puhdistusjäte toimitetaan Fortum Waste Solutions Oy:n (entisen Ekokemin) käsittelylaitokselle ja kattila- ja lentotuhka joko pyritään uudelleenkäyttämään tai loppusijoittamaan. (Takainen 2013, 6). Fortum Waste Solutions Oy:n käsittelylaitoksella tuhkat käsitellään stabiloimalla sementillä ja sen jälkeen loppusijoittamalla vaarallisen jätteen kaatopaikalle. Tarvittaessa tuhkaa voidaan myös pestä, jotta saavutetaan vaadittavat kaatopaikkakelpoisuuden kriteerit. (Takainen 2013, 11–12.) Kaatopaikoille toimitetuista jätteistä on lisäksi jäteverolain (1126/2010) nojalla suoritettava jätevero. Jäteverolakia ei sovelleta jätelainsäädännössä tarkoitettuihin vaarallisiin jätteisiin, eli näin ollen verotus ei koske ongelmajätelaitokselle toimitettavaa jätettä, mutta loppusijoittaminen kaatopaikalle käsittelyn jälkeen kuuluu verotuksen piiriin, mikäli jäte on käsitelty vaarattomaksi. Vuonna 2017 veroa on suoritettava 70 euroa tonnilta jätettä. (Verohallinto 2019.) Vaarallisen jätteen käsittelystä aiheutuu näin ollen yritykselle suoria sekä epäsuoria kustannuksia tuhkamäärien ollessa suuret. Lentotuhka sekä kaasunpuhdistusjäte (jätetuhka) ovat siis haasteellisia ja kalliita käsiteltäviä korkeiden raskasmetalli- sekä suolapitoisuuksien takia. Käytössä olevia käsittelymenetelmiä ovat mm. stabilointi, pesu, terminen käsittely ja vitrifikaatio, mutta käsittelyn jälkeenkin loppusijoittaminen tapahtuu usein vaarallisen

jätteen kaatopaikalle. Vuosittaiset syntymäärät ovat suuria ja ongelmana monessa käsittelymenetelmässä ovat myös käsittelyssä syntyvät jätevedet, jotka vaativat myös oman käsittelynsä ennen viemäriin laskemista.

3.3 Tavoitteita sekä mahdollisuuksia tuhkien käsittelyyn

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra (myöhemmin pelkkä Sitra) on yhdessä ministeriöiden ja muiden toimijoiden kanssa laatinut Suomelle Kiertotalouden tiekartan vuosille 2016–2025. Tiekartta on suunnitelma, jolla kiertotalouden mahdollisuuksia pyritään toteuttamaan. (Ympäristöministeriö 2019.) Tiekartassa on määritelty viisi eri painopistealuetta, joilla kiertotaloutta edistetään aluksi, ja yksi näistä painopistealueista on tekniset kierrot. Tiekartassa määritellään seuraavasti: ”Neitseellisten raaka-aineiden vähäinen käyttö rakentaa kilpailuetua. Samoin maksimoidaan materiaalien ja tuotteiden elinkaarien pituus sekä uudelleenkäytön mahdollisuudet”. (Sitra 2016a.) Sitra on tiekartassaan määritellyt myös ensimmäiset avainhankkeet, joista yksi tähtää yritysten laajaan yhteistyöhön tuotannon sivuvirtojen hyödyntämiseen erilaisten työkalujen ja teollisten symbioosien kautta. (Sitra 2016b). Kiertotalouden periaatteiden mukainen tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen, jätteen määrän vähentäminen hyötykäyttöä lisäämällä sekä teknisten kiertojen aikaansaaminen ovat siis sekä kansallisesti että kansainvälisesti tavoiteltavia lopputuloksia. Pääosa APC-jätteen ja lentotuhkan uudelleenkäyttöä rajoittavista tekijöistä sekä niiden aiheuttamista kustannuksista aiheutuu niiden vaaraominaisuuksista ja siitä seuraavasta luokittelusta vaaralliseksi jätteeksi. Vaarallisen jätteen luokittelusta on kuitenkin jätelain (646/2011) perusteella mahdollista poiketa, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus) voi jätteen haltijan hakemuksesta tai omasta aloitteestaan yksittäistapauksessa päättää, että:

- 1) 6 §:n 3 momentin nojalla annetussa valtioneuvoston asetuksessa vaaralliseksi jätteeksi luokiteltu jäte ei ole vaarallista jätettä, jos jätteen haltija osoittaa luotettavasti, ettei kyseisellä jätteellä ole yhtään vaaraominaisuutta ja ettei tämä ole seurausta jätteen laimentamisesta;
- 2) myös muu kuin mainitussa asetuksessa vaaralliseksi jätteeksi luokiteltu jäte on vaarallista jätettä, jos jätteellä on jokin vaaraominaisuus.

Edellä tarkoitetun päätöksen jätteen luokittelusta vaarattomaksi jätteeksi tekee aluehallintovirasto, jos kysymys on sen toimivaltaan kuuluvasta ympäristöluvanvaraisesta toiminnasta. Asia voidaan tällöin käsitellä osana vireillä olevaa ympäristölupa-asiaa.

Päätöksen jäljennös on lähetettävä tiedoksi muille asianomaisille lupa- ja valvontaviranomaisille. Jäljennös on toimitettava seurantaan varten myös Suomen ympäristökeskukseen, jonka on puolivuositain lähetettävä tiivistelmä päätöksistä ympäristöministeriölle. (Jätelaki 646/2011, 7§.)

3.4 Maanrakennuslainsäädännön nykyiset puitteet

Valtionneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017) (MaRa-asetus) tähtää jätteiden hyödyntämisen edistämiseen ja määrittelee edellytykset, joiden täytyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteiden käytölle maanrakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa. MaRa-asetuksen liite 1 määrittelee jätteet, joita se koskee. Liitteessä 1 mainitaan käsitellyt jätteenpolton kuonat (jätenimikkeet 19 01 12, 19 12 09 tai 19 12 12), joiden käyttö on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Liitteessä 1 mainitaan myös kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat (jätenimikkeet 10 01 02, 10 01 03, 10 01 17) joiden käyttö on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa, tuhkamursketeissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa ja stabilointiaineena edellä mainituissa maanrakentamiskohteissa. Liitteessä 1 ei siis mainita tämän työn kannalta oleellisia, kaasujen käsittelyssä syntyviä kiinteitä jätteitä (nimike 19 01 07) eikä kumpaakaan lentotuhkan nimikkeistä (19 01 13, 19 01 14). MaRa-asetuksen liitteessä 2 määritetään haitallisten aineiden raja-arvot ja muut laatuvaatimukset sekä jätteen enimmäiskerros-paksuus maanrakentamiskoh-teessa. Haitallisen aineen liukoisuus on ilmoitettu yksikössä mg/kg LS (= 10l/kg) ja pitoisuus yksikössä mg/kg kuiva-ainetta. Maanrakentamiskohteet on eritelty väylä-, kenttä-, valli-, teollisuus- ja varastorakennuksen pohjarakenne- sekä tuhkamursketie -alakohtiin, joista jokaisella on oma jätteen kerros-paksuutensa sekä raja-arvonsa koskien haitallisen aineen liukoisuutta tai pitoisuutta.

Taulukko 1. Valtionneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (843/2017) liitteen 2 mukaiset raja-arvot, tiivistelmä.

Haitallinen aine	Maanrakentamiskohte						
	Väylä 1) jätteen kerrospaksuus enintään 1,5 m		Kenttä 1) jätteen kerrospaksuus enintään 1,5 m		Valli jätteen kerrospaksuus enintään 0,5 m	Teollisuus- ja varastorakennuksen pohjarakenne jätteen kerrospaksuus enintään 1,5 m	Tuhkumursketie 2) jätteen kerrospaksuus enintään 0,2 m
	Peitetty	Päällystetty	Peitetty	Päällystetty	Peitetty		
Liukoisuus mg/kg LS =10 l/kg							
Antimoni (Sb)	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7
Arseeni (As)	1	2	0,5	1,5	0,5	2	2
Barium (Ba)	40	100	20	60	20	100	80
Kadmium (Cd)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06
Kromi (Cr)	2	10	0,5	5	1	10	5
Kupari (Cu)	10	10	2	10	10	10	10
Lyijy (Pb)	0,5	2	0,5	2	0,5	2	1
Molybdeeni (Mo)	1,5	6	0,5	6	1	6	2
Nikkeli (Ni)	2	2	0,4	1,2	1,2	2	2
Seleen (Se)	1	1	0,4	1	1	1	1
Sinkki (Zn)	15	15	4	12	15	15	15
Vanadiini (V)	2	3	2	3	2	3	3
Elohopea (Hg)	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
Kloridi (Cl-) 3)	3 200	11 000	800	2 400	1 800	11 000	4 700
Sulfaatti (SO ₄₂₋) 3)	5 900	18 000	1 200	10 000	3 400	18 000	6 500
Fluoridi (F-) 3)	50	150	10	50	30	150	100
Liuennot orgaaninen hiili (DOC)	500	500	500	500	500	500	500
Pitoisuus mg/kg kuiva-ainetta							
Bentseeni	0,2	0,2	0,02	0,2	0,06	0,02	0,2
TEX (summa)	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	5	5	5	5	5
PAH-yhdisteet (summa)	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet (summa)	10	10	5	10	10	10	10
PCB-yhdisteet	1	1	1	1	1	1	1
Öljyhiilivedyt	500	500	500	500	500	300	500

Näiden taulukossa 1 esitettyjen raja-arvojen lisäksi hyödynnettävää jätettä koskee muitakin laatuvaatimuksia. Hyödynnettävän jätteen on täytettävä säädöksissä ja niitä täydentävissä määräyksissä ja ohjeissa sekä hankkeen rakennuttajan edellyttämässä kohdekohtaisissa suunnitelmissa määritellyt maanrakentamiskohteen rakennusosien tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. Lisäksi asetuksessa on listattu erilaisia vaatimuksia eri jätetyyppien osalle, kuten Säteilyturvakeskuksen ohjeistamat radioaktiivisuuteen liittyvät rajoitukset sekä rae- ja palakoon sallitut vaihteluvälit. (Mara-asetus, liite 2.) Jätteen hyödyntäminen MaRa-asetuksen nojalla edellyttää myös asetuksessa määriteltyjen vaatimusten ja periaatteiden täyttämistä laadunhallinnan osalta. Laadunhallinnalla viitataan toimenpiteisiin, joita hyödyntämisspaikan haltijan on edellytettävä jätteenluovuttajalta sen varmistamiseksi, että jäte soveltuu asetuksen mukaiseen käyttöön. Laatuvaatimuksissa nimetään mm. laadunvarmistusjärjestelmä, jolla tuotetaan yksilöitävät ja varmennettavat

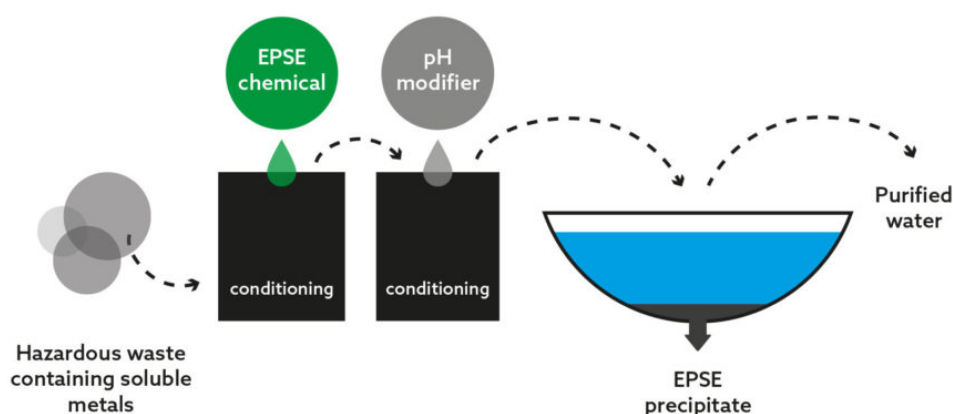
tiedot siitä, että jäte soveltuu asetuksen soveltamisalaan ja täyttää sille asetetut vaatimukset (ympäristökelpoisuus). Laadunvarmistusjärjestelmässä on oltava ainakin jätteet ja nimikkeet, arvio vuosittaisesta syntymäärästä, laadunvalvontatutkimukset sekä nimeytyt näytteenottoaikat ja -ajankohdat, -menetelmät, kokooma- ja osanäytteiden määrät ja koot sekä näytteenoton laadunvarmennus, ohjeet jätteen varastointiin, käsittelyyn ja vastaanottoon, vastuuhenkilöt ja heiltä vaadittu pätevyys, arviointi- ja auditointisuunnitelma sekä seuranta ja raportointi. Liitteessä 3 spesifoidaan myös laadunvalvontatutkimukset sekä kokoomanäytteiden muodostaminen osanäytteistä jätenimikkeittäin. Näytteenoton suunnittelussa ja toteutuksessa sovelletaan jätteiden karakterisointia koskevan standardin SFS-EN 14899 ja Euroopan standardoimisjärjestön (CEN) teknisten raporttien periaatteita sekä maanrakentamistoimialan omia standardeja. (MaRa-asetus, liite 3.) Jotta jätettä voidaan luovuttaa hyödynnettäväksi MaRa-asetuksen perusteella, tulee sen koostumus ja ominaisuudet tuntea. Jätteistä tehtävät haitta-ainemääritykset on teettävä akkreditoitussa laboratoriossa, jonka akkreditoitu pätevyysalue kattaa käytettävät analyysimenetelmät. Laboratorion tulee olla sellaisen akkreditointielimen akkreditoima, jonka pätevyys on todettu kansainvälisten tunnustamissopimusten mukaisissa vertaisarvioinneissa yhdenmukaisten kansainvälisten arviointiperusteiden mukaisesti.

Jätteen sisältämien ja siitä liukenevien haitta-aineiden määrityksissä on käytettävä ensisijaisesti standardoituja ja toissijaisesti muita määritysherkkyydeltään, tarkkuudeltaan ja toistettavuudeltaan riittäviksi todettuja muita menetelmiä. Haitallisten aineiden liukoisuuksien määrityksessä on käytettävä joko standardin CEN/TS 14405 mukaista läpivirtaustestiä tai standardin SFS-EN 12457-3 mukaista kaksivaiheista ravistelutestiä tai vastaavaa menetelmää. Liukoisuustestien uuttoliukset on määritettävä standardien SFS-EN 12506, SFS-EN 13370 ja SFS-EN 16192 mukaisin menetelmin. Liukoinen orgaaninen hiili (DOC) on määritettävä teknisen spesifikaation CEN/TS 14429 tai CEN/TS 14997 mukaisesti. (MaRa-asetus, liite 3.)

Kuten aiemmasta käy ilmi, on jätteen hyödyntämiskelpoisuus MaRa-asetuksen nojalla todistettava tarkoin määritellyin ja toistettavin menetelmin ja tutkimuksin. MaRa-asetuksessa ei nykyisellään mainita jätteenpoltossa syntyvää APC-jätettä eikä lentotuhkaa, mutta epselöimällä voidaan senkin osalta päästä MaRa-asetuksessa määritettyihin raja-arvoihin, jotka kyetään todistamaan asetuksen liitteessä 3 mainituilla tavoilla. Onkin viisasta pohtia, tulisiko silloin jätteenpoltossa syntyvien lentotuhkien ja APC-jätteiden hyödyntäminen MaRa-asetuksen nojalla mahdollistaa.

4 EPSELÖINTI KÄSITTELYMENETELMÄNÄ

Epselöinti on alun perin kehitetty tekemään peittausyrityksen liukoisia metalleja sisältävistä happojätteistä vaarattomia. Menetelmän kehittäjä, kemiaa ja hydrometallurgiaa opiskellut Vesa Rissanen suoritti tehtaallaan erilaisia kokeita ja onnistui lopulta sakkauttamaan happopitoisesta jätteestään kiinteää, pysyvästi liukenematonta sakkaa sekä metalleista puhdasta ylitettä. Epselöinti perustuu EPSE-kemikaalin syöttöön ja pH:n säätämiseen prosessin eri vaiheissa. (EPSE 2019.)



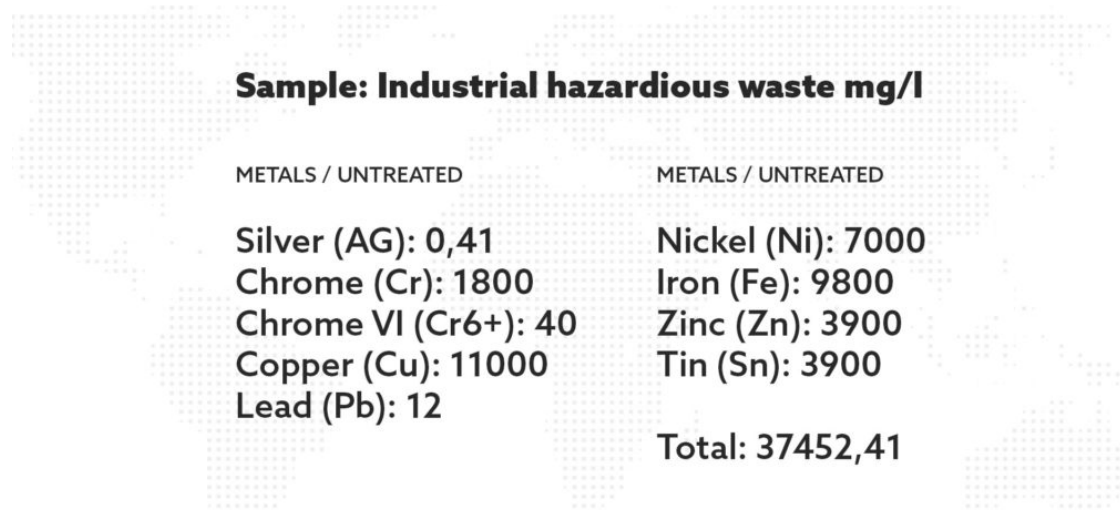
Kuva 1. Epselöinnin periaate. (EPSE 2019).

EPSEllä on menetelmälleen neljä patenttia, joista osa on voimassa hyvinkin laajasti Suomen ulkopuolella. Niistä ensimmäinen, Menetelmä metallien talteenottamiseksi (patenttinumero FI124262), ja toinen, Menetelmä metallien talteenottamiseksi oksidisista malmeista (patenttinumero FI124419) on saatu jo vuonna 2014. Toiset kaksi, Menetelmä metallien käsittelemiseksi (patenttinumero FI126049) on saatu vuonna 2016 ja neljäs, Menetelmä metallien erottelemiseksi (patenttinumero FI127281) vuonna 2018. (Patentti- ja rekisterihallitus 2019.)

Epselöinnissä syntyvä sakka on pysyvästi liukenematonta. Tämä on havaittu yrityksen tekemissä laboratoriokokeissa, joiden tulokset on analysoitu ulkopuolisessa, akkreditoitussa laboratoriossa. EPSE käyttää näytteidensä ulkopuoliseen analysointiin SYNLAB Analytics & Services Finland Oy:tä, joka on FINAS-akkreditoitu testauslaboratorio T071 (EN ISO/IEC 17025). (Synlab Analytics & Services Finland Oy 2019.)

Alla on kuvattu teollisuusjätevesinäytteen sisältämät metallit ja niiden pitoisuudet ennen ja jälkeen epselöintikäsitteilyn. Kyseiselle vesinäytteelle on alkuanalyysin perusteella las-

kettu EPSE Resepti, joka on tapauskohtainen käsittelyohje sisältäen EPSE-kemikaalimäärät ja pH:n säätöön tarvittavat ohjeet. Tämän jälkeen näyte on käsitelty EPSE:n omassa laboratoriossa ja lähetetty saadusta ylitteestä näyte Synlabille. Kuvassa 3 näkyy myös käsittelyn jälkeisen pitoisuuden lisäksi puhdistusprosentti, joka on laskettu alkuperäisen vesinäytteen määrästä. (EPSE 2019.)



Kuvio 1. Teollisuusjätevesinäytteen sisältämät metallit ja niiden pitoisuudet ennen EPSE-käsittelyä. (EPSE 2019).



Kuvio 2. Teollisuusjätevesinäyte, joka on käsitelty EPSE Menetelmällä. (EPSE 2019).

EPSE Menetelmä tehoaa metalleihin yhdellä käsittelykerralla (EPSE 2019), kun monet tähän asti käytetyt menetelmät, kuten metallipitoisten hapokkaiden jätevesien puhdistus-

seen käytetty hydroksidisaostus, altistavat metallit takaisinliukenemiselle pH:n muuttuessa. (Tolppi 2015, 48). Jaksollisessa järjestelmässä (kuva 2) näkyy punaisella metallit, joihin EPSE Menetelmä tehoaa. EPSE Menetelmä saostaa alla olevassa kuvassa esitetyt metallit yhdellä käsittelyllä liukenemattomaksi monimetallisakaksi.

These metals epselizing has succesfully treated

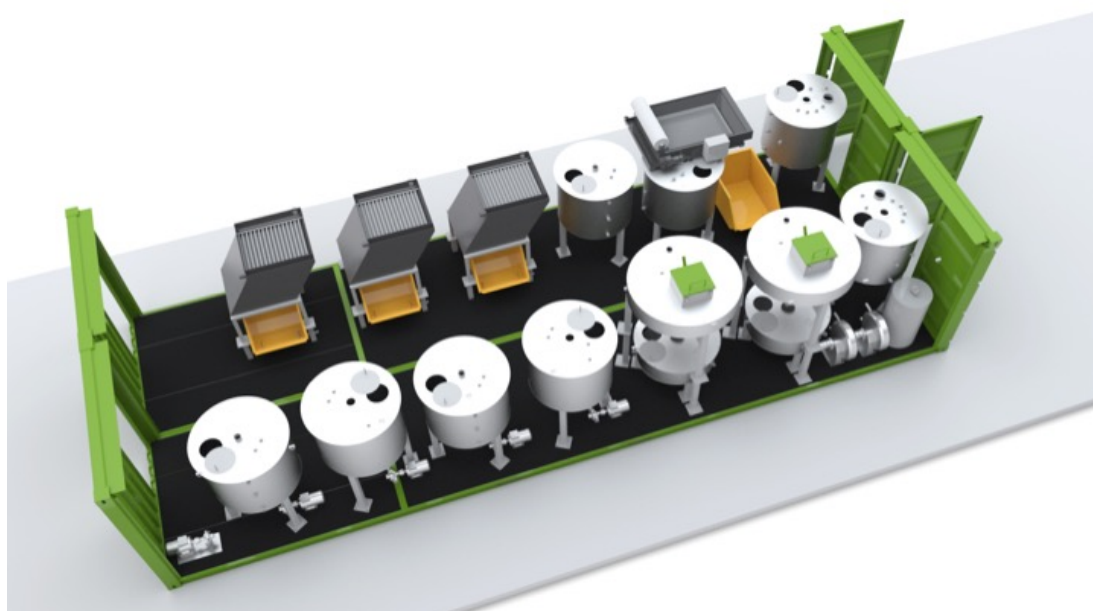
The image shows a periodic table of elements. The transition metals, including groups 3 through 10, are highlighted in red. A callout box for Hydrogen (H) provides the following information: Atomic Number: 1, Symbol: H, Name: Hydrogen, Atomic Weight: 1.008.

Kuva 2. Metallit, jotka saadaan käsiteltyä epselöimällä. (EPSE 2019).

EPSE Menetelmällä puhdistetun jäteveden vaikutuksia biologiselle vedenpuhdistusprosessille sekä vesistöön johdettaessa selvitettiin Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistyksellä teetetystä tutkimuksesta. Tutkittavaksi lähetettiin kaivosjätevesinäyte, joka oli tarkoituksella epselöity ylimäärällä EPSE Kemikaalia. Ylijäämä haluttiin tarkoituksella suureksi, vaikka vastaavan ylijäämän todennäköisyys on käytännössä hyvin pieni, jotta voitiin varmistua myös mahdollisten pienempien ylijäämäpitoisuuksien vaikutuksista. Normaaliolosuhteissa EPSE Menetelmässä ei ylijäämää synny. Tehty tutkimus oli akuutin myrkyllisyyden määrittäminen vesikirppu *Daphnia Magna* käyttäen (SFS-EN ISO 6341:2012; OECD 202:1984). Tulos oli "ei myrkyllinen" sekä EC 24h sekä EC 48h -testiajalla. Samalle vesinäytteelle tehtiin myös aktiivilietteen nitrifikaation inhibiitiotesti [SFS-EN ISO 13395, 1997 (modif.) -spektrometrinen, Cd-pylväspelkistys, SFS-EN ISO 11732:2005 (Aquakem)] ja sen tulosten mukaan tutkitulla jätevedellä on vähäinen nitrifikaatiota estävä/hidastava vaikutus, eli tutkittu jätevesi esti lietteen nitrifikaation n. 10-prosenttisesti näytepitoisuudessa 80% nitraatin tuoton perusteella. (EPSE 2019, KVVY Tutkimus Oy.) Testin perusteella epselöity jätevesi ei aiheuta haitallisia vaikutuksia biologisille jätevedenpuhdistamoille eikä vesistöille.

4.1 EPSE Menetelmän pilotointi

Haastattelussa epselöinnin hyvistä puolista Menetelmän kehittäjä Vesa Rissanen (2019) mainitsee edellä mainittujen lisäksi sen, ettei EPSE Menetelmä ole riippuvainen jätemateriaalin sisältämisestä metallipitoisuuksista. EPSE Menetelmä toimii siis yhtä lailla matalilla ja korkeilla metallipitoisuuksilla. Menetelmä ei näin ollen ole herkkä tulevan jakeen pitoisuusvaihteluille. Vesijakeiden käsittelyyn ei myöskään usein tarvita uusia laitteistoja, vaan käsittely voidaan tehdä olemassa olevissa laitteistoissa tai kevyin modifioinnein. Pääsääntöisesti Menetelmä on myös hyvin kustannustehokas. Rissanen mukaan tuhkan käsittelyssä oleellista on, että se tulee pystyä liettämään nestefaasiin, jotta käsittelyssä vaadittavat aineet pääsevät sekoittumaan koko käsiteltävään materiaaliin. EPSE on suunnitellut ja toteuttanut ensimmäisen version pilottilaitteistosta, jolla jätevirtojen koeajot onnistuvat esimerkiksi tuotannon sivuvirroista. Näiden jatkuvatoimisten koeajojen perusteella pystytään optimoimaan kemikaalien annostelumäärät sekä muut prosessiolosuhteet täysimittaisen laitteiston suunnittelua varten. Tällaiseen merikonttiin rakennettavaan käsittelylaitteistoon pystytään lisäämään tuhkan käsittelylle sopiva tuhkan liettämisallas, jollainen on tarkoitus toteuttaa vuoden 2020 aikana valmistuviin uusiin pilottilaitteistoihin. Mobile EPSE -pilot-laitteistoon syötetään toisesta päästä tulovirta, joka on nykyisessä laitteistossa maksimissaan 1 m³/h. Laitteistossa on valmiina kemikaalisiliöt, kemikaalien liettämissäiliöt sekä varsinaiset reaktiotankit, joissa epselöinti tapahtuu. Tämän jälkeen käsitelty jae kulkee selkeyttimelle, josta tarvittaessa nauhasuodatukseen. Puhdas ylite kerätään laitteiston toisesta päästä. Alite eli käsittelyssä muodostuva monimetallisakka, voidaan kerätä talteen esimerkiksi nauhasuodattimen hihnalta tai ohjata erilliseen säiliöön. Prosessi on skaalattava, joten pilotilla saadaan hyödyllistä tietoa kemikaalien kulutuksesta ja sakan muodostumisnopeudesta. Pilot-laitteisto on täysin automatisoitu, ja säiliöt on varustettu sekä pinta- että virtausmittareilla sekä pH-antureilla. Automaatiojärjestelmä huolehtii, että säiliöiden täyttöaste ja pH pysyy säädetyillä tasoilla pumppujen ja venttiilien toimintaa säätämällä. Prosessin joka vaiheesta pystytään keräämään näytteet erillisistä näytteenottoventtiileistä. Laitteistoa on mahdollista valvoa myös etänä erilliseltä mobiiliohjauspäätteeltä, josta laitteiston toimintaa voidaan myös ohjata ajoparametrien muuttuessa. Automaatio-ohjelmisto myös tallentaa haluttaessa ajon aikaiset lokitiedot jatkohyödyntämistä varten. (EPSE 2019.)



Kuva 3. Havainnekuva Mobile EPSE -pilottilaitteistosta. (EPSE 2018).

Kuvassa 3 esitetään Mobile EPSE -laitteisto yksinkertaistettuna. Valkoiset reaktiotankit ovat kuvassa eri kontissa kuin selkeyttimet, mutta nykylaitteisto on rakennettu kokonaisuudessaan yhden merikontin sisään. Vuoden 2020 aikana valmistuvat Mobile EPSE -yksiköt tulevat olemaan entistä enemmän modulaarisia, jolloin niiden räätälöinti asiakastarpeen mukaan helpottuu.

4.2 APC-jätteen ja lentotuhkan (tuhkan) ominaisuudet

Tuhka, jota EPSE vastaanotti eri tahoilta käytettäväksi tekemissään koesarjoissa, oli kuivaa, hyvin hienojakoista ja herkästi pölyävää. Kyseessä oli jätteenpolttolaitoksen lentotuhkan ja APC-jätteen sekoitusta suomalaisilta laitoksilta. Alla taulukossa 2 on esiteltyinä satunnaisesti valittujen tuhkanäytteiden sisältämien liukoisessa muodossa olevien metallien lähtöarvojen keskiarvot, kuiva-ainepitoisuus sekä tutkimusmenetelmät.

Taulukko 2. Satunnaisesti valittujen lentotuhkanäytteiden 0-analyysien tuloksien keskiarvot sekä testausmenetelmien standardit. (EPSE 2019).

Aine	Tutkimusmenetelmä	Yksikkö	Arvo
Arseeni, liukoinen (As)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Barium, liukoinen (Ba)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	66
Kadmium, liukoinen (Cd)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Kromi, liukoinen (Cr)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	0,67
Kupari, liukoinen (Cu)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	67
Elohopea, liukoinen (Hg)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Molybdeeni, liukoinen (Mo)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	2,1
Nikkeli, liukoinen (Ni)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Lyijy, liukoinen (Pb)	SFS-EN 12475-3	mg/kg	250
Antimoni, liukoinen (Sb)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Seleeni, liukoinen (Se)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Vanadiini, liukoinen (V)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Sinkki, liukoinen (Zn)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	130
Koboltti, liukoinen (Co)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Alumiini, liukoinen (Al)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Rauta, liukoinen (Fe)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Mangaani, liukoinen (Mn)	SFS-EN 12457-3, ICP-MS	mg/kg	u LOQ*
Kalsium, liukoinen (Ca)	SFS-EN 12457-3, ICP-OES	mg/kg	93000
Kalium, liukoinen (K)	SFS-EN 12457-3, ICP-OES	mg/kg	32000
Magnesium, liukoinen (Mg)	SFS-EN 12457-3, ICP-OES	mg/kg	u LOQ*
Natrium, liukoinen (Na)	SFS-EN 12457-3, ICP-OES	mg/kg	33000
Kuiva-aine	SFS-EN 14346	%	100

* u LOQ = under limit of quantification, tulos alle mittausraja-arvon.

Tuhkassa merkittävimmät haasteet liittyvät siinä esiintyviin raskasmetallipitoisuuksiin sekä suureen suolojen määrään. Suulojen määrä riippuu mm. savukaasupesurin toimintaperiaatteesta ja käytetystä polttoainejakeesta, ja on näin ollen tuhkakohtainen. Taulukossa 3 on esiteltyä satunnaisesti valittujen tuhkanäytteiden sisältämien suolojen lähtöarvojen keskiarvot sekä tutkimusmenetelmät.

Taulukko 3. Lentotuhkan 0-analyysin tulokset sekä testausmenetelmien standardit. (EPSE 2019).

Aine	Tutkimusmenetelmä	Yksikkö	Arvo
Kloridi (Cl ⁻)	SFS-EN 12457-3, SFS-EN 16192, IC	mg/kg	240000
Sulfaatti (SO ₄)	SFS-EN 12457-3, SFS-EN 16192, IC	mg/kg	14000

Jotta tuhkaa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi maanrakennuksessa, tuleekin sekä liukoisten metallien että suolojen pitoisuudet saada MaRa-asetuksen vaatimusten mukaiseksi. Lisäksi lopputuotetuhkan on täytettävä muut rakenteelliset ja tekniset ominaisuudet, joita ympäristökelpoisuuden sekä maanrakennuskäyttöön soveltuvuuden saavuttamiseksi

vaaditaan. Esimerkiksi tuhkan laatu sekä toimivuus massiivirakennesovelluksissa, tarpeet mahdolliselle sideaineelle sekä tekniset ominaisuudet tulee selvittää ennen uusiokäyttöä. Lisäksi selvitettäviä teknisiä ominaisuuksia ovat tuhkan luokitusominaisuudet, eli esimerkiksi vesipitoisuus, kiintotiheys, rakeisuus, pH, reaktiivisuus sekä tiivistettyysominaisuudet. Massiivirakennekäyttöön soveltuvuus voidaan arvioida joko sellaisenaan (pelkkä tuhka ilman sideaineita) tai stabiloituna jollakin sideaineella. Testattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi puristuslujuus, vedenläpäisevyys, kapillaarinen nousukorkeus, lämmönjohtavuus, jäätymis-sulamiskestävyys sekä routimisen kestävyys. (InfraRYL 2019.) Ennen uusiomateriaalin viemistä InfraRYL:in (infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset) yleiseen työselostukseen, on materiaalille oltava yleiset suunnittelu- ja käyttöohjeet, esimerkiksi Infra-ohjekortti. (Koivulahti 2017). Lentotuhkan pääasiallinen käyttökohde uusiomaarakentamisessa on sideaineena. Tyypillisesti lentotuhka tarvitsee luokitella sekä aktivoida kemiallisesti ja mekaanisesti ennen kuin käyttö on mahdollista uusiomaanrakentamisessa. (UUMA3 2019.)

4.3 EPSEn tekemiä tutkimuksia lentotuhkasta

EPSE on aiemmin saanut onnistuneesti käsiteltyä raskasmetallipitoisia jätevesiä sekä pilaantuneita maita. Näistä jätemateriaaleista saadut kokemukset ovat herättäneet kiinnostuksen myös lentotuhkaa ja APC-jätettä kohtaan, koska niissä esiintyvät haitta-aineet ovat pääosin samoja, joita jätevesissä on onnistuttu käsittelemään. Yritys onkin tehnyt eräiden suomalaisten jätteenpolttolaitosten kanssa yhteistyötä jätteenpolttolaitoksilta saadun APC-jätteen ja lentotuhkan (myöhemmin pelkkä tuhka) parissa pyrkimyksenä selvittää mahdollisuuksia käsitellä sitä haitattomaksi EPSE Menetelmällä. Projektissa tavoiteltiin mahdollisia laajentuneita tuhkan uudelleenikäytön mahdollisuuksia, sillä tuhkaa tuottavat tahot olivat kiinnostuneita etenkin kiertotalouden mahdollisuuksista. Saadulle jätteelle tehtiin erilaisia testisarjoja, joiden pyrkimyksenä oli selvittää tuhkan käsittelymenetelmien toimivuutta ja lopputuloksina saadun tuhkan ympäristökelpoisuutta. Lähtökohdina tutkimukseen oli kaksi käsittelyvaihtoehtoa: tuhkan pesu, jossa tuhka pestiin joko vedellä ja/tai hapolla, sekä tuhkaan epselöinti, jossa tuhkan sisältämät raskasmetallit epselöitiin pysyvästi liukenemattomaan muotoon tuhkaan. Epselöintiin prosessina tarvitaan tuhkakakeen lisäksi vesijae. Voimalaitosprosessissa syntyy sekä savukaasupesuriettä kaukolämpölauhdutinlauhteita, joita voidaan tapauskohtaisesti käyttää EPSE Menetelmän prosessivesinä. Samalla mahdollisesti suljetaan vesikiertoja ja pienennetään

syntyvän jäteveden määrää. (EPSE 2019.) Seuraavissa alakappaleissa kuvataan lyhyesti tehtyjä kokeita ja niiden tuloksia. Tarkoituksena ei ole antaa opinnäytetyön kannalta epäoleellista, kattavaa kuvaa kokeiden työnsuorituksesta ja tarkemmin menetelmistä, sillä kahdenväliset (EPSE/asiakas) salassapitosopimukset estävät tiedon jaon kolmansille osapuolille.

4.3.1 Tuhkan pesu

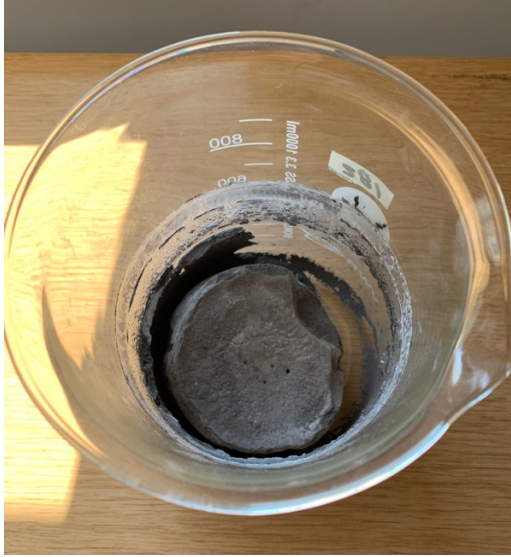
Kun tuhkaa pestään, siirretään tuhkan sisältämät metallit yliteveeseen. Nämä metallit voidaan epselöidä ylitevedestä monimetallisakaksi, ja syntyvä monimetallisakka on uudelleenkäytettävissä. Tällöin kyseessä on niin sanottu urban mining -toiminta. EPSEn neljäs patentti koskee nimenomaan monimetallisakan sisältämien metallien erottamista toisistaan ja tutkimushankkeita asian tiimoilta on käynnissä. Tuhkan pesussa kuiva tuhka pestiin kokeesta riippuen vedellä, hapolla tai happo-vesiseoksella, jolloin siinä olevien suo- lojen ja liukoisten metallien oletettiin siirtyvän pesuvesiin, jotka voidaan käsitellä erikseen epselöimällä tai muulla menetelmällä viemärointiin tai uudelleenkäyttöön soveltuviksi monimetallisakan erottuessa vesijakeesta. Tuhkaa voidaan pestä joko pelkällä vedellä (vesipesu) tai joko vedellä ja hapolla (vesi/happopesu) tai pelkästään hapolla (happo- pesu). Happona EPSEn tekemissä kokeissa käytettiin laimeata rikkihappoliuosta (H_2SO_4). Tuhkan pesun eräs tutkimustavoite oli saada vesi:tuhka -suhdeluku mahdollisimman pieneksi, jotta prosessi olisi mahdollisimman kustannustehokas sovellettuna te- ollisuusmittakaavaan. Pesun aikana ja päätyttyä otettiin sekä ylite- että tuhkanäytteitä, jotka analysoitiin myöhemmin laboratoriossa. Prosessissa tuhka lietettiin pesutavasta riippuen joko veteen, vesi-happoseokseen tai happoon, jonka jälkeen nestefaasi poistet- tiin sekoitusastian pohjaventtiilistä. Tämän jälkeen alkoi varsinainen epselöintivaihe, jossa tuhka lietettiin jälleen veteen, hapotettiin oikealle pH-tasolle, lisättiin EPSE Kemi- kaali ja optimoitiin jälleen pH. Epselöinnin jälkeen poistettiin ylitevesi ja ripustettiin käsi- tely tuhka kuivumaan suodatinsäkissä kuivatustelineeseen. Tuhkan pesun tavoitteena oli siirtää osa suoloista yliteveeseen ja saavuttaa näin MaRa-asetuksessa asetetut rajat suo- lojen määrille. Raja-arvot vaihtelevat välillä 3200–8 000 (kloridit ja sulfaatit) kuten taulukossa 1 kuvataan. Tehdyissä laboratorio- ja eräkoesarjoissa on saavutettu tyypilli- sesti lähes täydellinen pesutulos. Syntyvät pesujakeet on saatu puhdistettua metalleista tehokkaasti. Laboratoriomittakaavasta eräkoemittakaavaan siirryttäessä tulosten on ha- vaittu lisäksi lähtökohtaisesti parantuneen. (EPSE 2019.)

4.3.2 Tuhkaan epselöinti

Tuhkaan epselöinnissä liukoiset metallit epselöidään suoraan tuhkaan liukenemattomaan muotoon. Tällä tavoin käsiteltäessä tuhkasta saadaan metallien osalta pysyvästi liukenematonta. Kun metallit epselöidään tuhkaan, niitä ei saada uudelleen kiertoon. Tuhkaan epselöinti on kustannustehokkaampi vaihtoehto matalia metallipitoisuuksia sisältäville tuhille, mutta korkeiden metallipitoisuuksien yhteydessä metallien uudelleenkäyttö on lähtökohtaisesti kannattavaa. Tehdyissä tuhkaan epselöinnin laboratorio- ja eräkokeissa on saavutettu suurilta osin MaRa-asetuksen raja-arvojen mukaiset pitoisuudet. Kun on siirrytty laboratoriomittakaavasta eräkoemittakaavaan, myös tuhkaan epselöinnin tulokset ovat lähtökohtaisesti parantuneet. EPSEn tuhalle tekemissä epselöintikokeissa on havaittu metallien liukoisuuden muutosten lisäksi myös olomuodon ja tilavuuden muutoksia. EPSEn tekemissä kokeissa saatujen epselöityjen tuhkien tilavuus pieneni 30–50 % alkuperäisestä. Tilavuuden pienentyessä saavutetaan myös logistiikan sekä varastoinnin kustannussäästöjä. Myös tuhkan koostumus muuttui hienojakoisesta ja helposti pölyvästä enemmän rakeiseksi ja pölyämättömäksi. Käsiteltyä tuhkaa voidaan siis hyödyntää paremmin maanrakentamisessa. EPSEllä on tällä hetkellä aiheeseen liittyvä tutkimushanke käynnissä. Kuvien 5 ja 6 lasipurkissa näkyvät rajat indikoivat, mikä on ollut astian täyttöaste ennen epselointiä ja tuhkan kuivumista. (EPSE 2019.)



Kuva 4. EPSE Menetelmällä käsitelty tuhkanäyte, jonka koostumus on muuttunut pölyvästä tiiviiksi samalla kun tilavuus on pienentynyt.



Kuva 5. Epselöinnin seurauksena tuhkan tilavuus on pienentynyt huomattavasti alkuperäisestä.

5 TUHKAN HYÖTYKÄYTÖN UUDET MAHDOLLISUUDET VIRANOMAINNÄKÖKULMASTA

5.1 Ympäristöviranomaiset ja nykytilanne

Pääosa tuhkan nykyhyötykäytöstä toteutuu julkisessa maanrakennuksessa ympäristöluvan kautta, mutta merkittävä osa tuhkista päätyy edelleen kaatopaikalle. Uudistetun MaRa-asetuksen tarkoituksena on edistää jätteiden hyödyntämistä ilman ympäristölupa-vaatimusta. (Joensuu 2018). Jätteen luokittelu vaaralliseksi tai vaarattomaksi voi vaikuttaa myös siihen, mikä viranomainen on toimivaltainen jätteen käsittelytoiminnan luvittamisessa. Ympäristönsuojeluasetuksen (713/2014) mukaan jätettä käsittelevän laitoksen ympäristölupaviranomaisena toimii laitoksen koosta, toiminnan luonteesta sekä käsiteltävän jätteen luokituksesta riippuen joko aluehallintavirasto (AVI) tai kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Aluehallintoviraston myöntämien ympäristölupien valvontaviranomaisena toimii ELY-keskus, kunnan myöntämien lupien valvonta kuuluu kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. (Häkkinen 2018, 8.) Pirkanmaan ELY-keskuksen ympäristönsuojeluyksikön ylitarkastaja Emmi Pajusen (2019) mukaan tulevaisuudessa opinnäytetyössä käsiteltävän APC-jätteen ja lentotuhkan hyödyntäminen maanrakentamisessa jopa MaRa-asetusta päivittämällä nähdään mahdollisena, mikäli sekä tekniset että ympäristövaatimukset täyttyvät ja niiden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä eri ympäristöolosuhteissa saadaan tietoa riittävän pitkältä aikaväliltä. (Pajunen 2019.) Tällä hetkellä jakeet eivät kuulu MaRa-asetuksen piiriin. Tärkeimpinä tekijöinä APC-jätteen ja lentotuhkan maanrakennuskäytön sallimisen rajoituksille ovat Pajusen näkemyksen mukaan etenkin pitkäaikaisvaikutusten epävarmuus sekä riittävän tutkimustiedon puute. Viranomainen noudattaa päätöksissään varovaisuusperiaatetta, jonka mukaan ympäristön pilaantumisen riskejä on ryhdyttävä ehkäisemään, vaikkei haitallisten ympäristövaikutusten luonteesta ja laajuudesta ole täyttä varmuutta. (Sanastokeskus TSK 2019). Kuten kappaleessa 3.2.2 mainittiin, lentotuhka on luokiteltu vaaralliseksi jätteeksi mm. sen sisältämien korkeiden raskasmetallipitoisuuksien vuoksi. Lentotuhkan sisältämät metallit voivat myös ympäristöolosuhteiden muuttuessa muuttua jälleen liukenevaan muotoon. Tämän takia tuleekin ympäristökelpoisuus todistaa riittävän pitkältä ajalta. (Pajunen 2019.) Epselointi muuttaa metallit pysyvästi liukenemattomaan muotoon, mutta pitkäaikaisseuranta vaaditaan silti, jotta tämä voidaan todentaa. (EPSE 2019). Pajusen mukaan

myös tuhkan teknisten ominaisuuksien soveltavuuden maanrakentamiseen ja tasalaa-tuisuuden varmentaminen on olennaista hyötykäytön mahdollistamiseksi.

5.2 Koeluonteisen toiminnan soveltaminen

Pajusen mukaan uusiomaaraaka-aineiden käytöllä ei kaikkien materiaalien osalta ole tarpeeksi pitkiä perinteitä, jotta niiden ominaisuuksista ja luotettavuudesta olisi tarvittava määrä kokemusta. Tämä voi aiheuttaa ennakkoluuloja rakentajille, joka omalta osaltaan jarruttaa uusioraaka-aineiden käyttöä maanrakennuksessa. Pajusen mukaan tämän ky-seessä olevan kaltaisessa tapauksessa voitaisiin mahdollisesti soveltaa koeluonteisen toiminnan käytäntöä. Ympäristönsuojelulain (527/2014) liitteessä 1 on lista luvanvarai-sista toiminnoista, ja liitteen 1 taulukon 2 kohdan 13 f mukaan jätteen ammattimainen tai laitostmainen käsittely vaatii ympäristöluvan. Ympäristönsuojeluasetuksen (713/2014) 1§:n mukaan aluehallintovirasto käsittelee ammattimaista tai laitostmaista jätteenkäsitte-lyä koskevan ympäristölupahakemuksen silloin, kun jätettä käsitellään vähintään 20 000 tonnia vuodessa. Mikäli käsiteltävän jätteen määrä on em. pienempi, käsittelee ympäris-töluvan kunnan viranomainen. Ympäristönsuojelulain 31 §:n mukaan ympäristölupaa ei tarvita koeluonteiseen lyhytaikaiseen toimintaan, jonka tarkoituksena on kokeilla uutta tekniikkaa, raaka- tai polttoainetta, valmistus- tai polttomenetelmää tai puhdistuslaitetta taikka käsitellä jätettä laitost- tai ammattimaisesti tällaisen toiminnan vaikutusten, käyttö- kelpoisuuden tai muun näihin rinnastettavan seikan selvittämiseksi. Ympäristönsuojelu-lain 119 §:n mukaisesti koeluonteisesta toiminnasta on tehtävä ilmoitus lupaviranomai-selle viimeistään 30 vuorokautta ennen toiminnan aloittamista. Ympäristönsuojelulain 122 §:n mukaan ilmoituksen johdosta annetaan päätös, jossa on esitettävä tarpeelliset määräykset toiminnasta aiheutuvan ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi ja toimin-nan järjestämiseen liittyvien jätelain mukaisten velvollisuuksien täyttämiseksi. Päätök-sessä voidaan lisäksi antaa määräyksiä toiminnan tarkkailusta ja tiedottamisesta asuk-kaille. Viranomainen voi kieltää tai keskeyttää toiminnan, jos yleiselle tai yksityiselle edulle aiheutuvia huomattavia haittoja ei voida määräyksillä riittävästi vähentää. Päätös on annettava tiedoksi ja siitä on tiedotettava noudattaen, mitä 85 §:ssä sanotaan. Mää-räykset voidaan antaa tai toiminta kieltää, vaikka ilmoitusvelvollisuus olisi lyöty laimin. (Pajunen 2019.)

6 YHTEENVETO

APC-jäte ja lentotuhka syntyessään jätteenpoltosta määritellään nykyisin Suomessa vaaralliseksi jätteeksi, ja jätteitä koskeva lainsäädäntö määrittelee tarkasti hyötykäytön ja käsittelyn rajoitukset. Nykyisessä tilanteessa jätteenpoltosta syntyvää lentotuhkaa ja APC-jätettä ei voida hyödyntää maanrakennuslainsäädännön (MaRa-asetuksen) puitteissa maanrakennuksessa, vaan ne käsitellään useimmiten erilaisilla stabilointimenetelmillä mahdollisimman vaarattomaan muotoon ja säilötään vaarallisen jätteen kaatopaikalle. Epselöinti uutena menetelmänä tarjoaa mahdollisuuksia myös mahdollisesti tulevaisuudessa lisääntyvän jätteenpoltton tuhkien ja APC-jätteen hyötykäytölle kaatopaikaloppusijoituksen sijaan. EPSEn tekemien laboratorio- ja eräkoekiden perusteella näyttää siltä, että molemmat käsittelytavat ovat mahdollisia ja toteutuskelpoisia. Laboratoriokokeissa tuhkaa on pesty joko vedellä, vesi-happoseoksella tai pelkällä hapolla pienissä, n. 10 litran erissä. Eräkokeissa samat kokeet on tehty kuution erissä. Näissä kokeissa saavutetut tulokset ovat joko MaRa-asetuksen asettamien raja-arvojen alapuolella tai hyvin lähellä niitä, kun varsinainen Menetelmän optimointi on vielä kesken. EPSEn kunnianhimoinen tavoite on tuhkien käsittelyn suhteen kiertotalouden lisääminen teollisuusprosesseihin sekä suljettuja vesikiertoja aikaansaamalla, että metalleja kierrättämällä. Metallien saatavuuteen liittyy tulevaisuudessa entistä enemmän riskejä, sillä etenkin kriittisiä metalleja runsaasti kuluttavat teknologiat, kuten sähköinen liikenne, uudet energiamuodot ja LED-valaistus, leviävät ja varannot sekä valmistus keskittyvät voimakkaasti tiettyihin maihin. (Vesa 2017, 7). Tämän vuoksi on entistä tärkeämpää kehittää tehokkaita menetelmiä metallien uudelleenkäytön lisäämiseksi ja kaatopaikoille hävittämisen minimoimiseksi. Myös suljettujen vesikiertojen aikaansaaminen voi tuoda suuria ympäristöetuja esimerkiksi vedenkulutuksen pienentyessä. Jotta EPSE pystyy varmentumaan uuden menetelmänsä teknistaloudellisista yksityiskohdista, on sivuvirtamittakaavan kokeisiin pääseminen oleellinen seuraava vaihe ja hyvin tärkeää. Mikäli näistäkin kokeista saadaan positiivisia tuloksia, on laajemman käytön mahdollistamiseksi tärkeää saada EPSE Menetelmälle viranomaishyväksyntä sekä laaja tietoisuus viranomaisten keskuudessa. Sikäli, kun tutkimustuloksia sekä näyttöä saadaan riittävän laajasti ja pitkältä ajalta, lienee EPSE Menetelmällä käsitellyn tuhkan lisääminen Mara-asetuksen piiriin mahdollista. EPSE Menetelmä on lähtökohtaisesti kehitetty ainoastaan metallien käsittelyyn. Jotta lopputuote saadaan kustannustehokkaasti ja teollisuusmittakaavaan sovellettavasti käsiteltyä MaRa-asetuksen asettamien raja-arvojen mukaiseksi, kaivataan EPSE Menetelmän rinnalle kustannustehokasta suolojen käsittelymenetelmää.

Pitkällä tähtäimellä voidaan myös pohtia järeämpiä keinoja EPSE Menetelmän käyttöönoton vauhdittamiseksi. Savukaasupesurien toimintaperiaatetta modifioimalla voidaan saada paremmin epselöintiin soveltuvaa jaetta aikaiseksi, jolloin epselöinnin käyttökustannukset pienenevät entisestään samalla, kun EPSE Menetelmän soveltaminen helpottuu.

LÄHTEET

Aluehallintovirasto 2019. Toiminta ja tehtävät. Viitattu 16.7.2019 <https://www.avi.fi/web/avi/avien-toiminta-ja-tehtavat>

Amutha Rani, D.; Boccaccini, A.R.; Deegan, D & Cheeseman, C.R. 2008. Air pollution control residues from waste incineration: Current UK situation and assessment of alternative technologies. Review. Viitattu 21.6.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.researchgate.net/publication/5754872_Air_pollution_control_residues_from_waste_incineration_Current_UK_situation_and_assessment_of_alternative_technologies

Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus 2018. ELY-keskusten valtakunnallisesti keskitetyt tehtävät. Viitattu 10.7.2019 www.ely-keskus.fi > Tehtävät ja toiminta > ELY-keskusten valtakunnallisesti keskitetyt tehtävät.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2019. Viitattu 16.7.2019 <https://www.ely-keskus.fi>

Euroopan komissio 2017. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and committee of the regions. Annettu Brysselissä 26.1.2017. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf>

Global EcoProcess Services Oy 2019. Viitattu 21.6.2019. www.epse.fi > EPSE Menetelmä.

Global EcoProcess Services Oy 2019. Viitattu 23.6.2019 www.epse.fi Kaikki opinnäytetyössä esiintyvät Global EcoProcess Oy:hyn viittaavat tiedot ovat joko menetelmän kehittäjän haastattelusta saatuja, yrityksen nettisivuilta tai tekijän omia tietoja, jotka on hankittu yrityksessä työskentelyn aikana.

Häkkinen, E. 2018. Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi – päivitetty opas. Suomen ympäristökeskus SYKE. Viitattu 21.6.2019.

Joensuu, S. 2018. Tuhkan käyttö tienrakennuksessa ja metsänlannoituksessa. Tapio Oy. Materiaali saatu yrityksen järjestämästä tilaisuudesta.

Jätelaitosyhdistys ry 2019. Tuhkien käsittely. Viitattu 21.6.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://vanha.jly.fi/energia41.php?treeviewid=tree3&nodeid=41>

Jätelaki 646/2011. Annettu Helsingissä 01.05.2011. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Koivulahti, M. 2017. Miten on edistytty tuhkan hyötykäytössä? UUMA2-projektin saavutukset. Ramboll Finland Oy. Viitattu 12.7.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://energia.fi/files/2313/Koivulahti_Marjo_Tuhkien_hyotykaytto_UUMA2.pdf

Laine-Ylijoki, J.; Mroueh, U.; Vahanne, P.; Wahlström, M.; Vestola, E.; Salonen, S. & Havukainen, J. 2005. Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn kuonista ja tuhista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita. VTT Tiedotteita 2291. Viitattu 21.6.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2291.pdf>

NOAH 2019a. What is received. Viitattu 11.7.2019 <https://en.noah.no/for-clients/what-is-received/>

NOAH 2019b. The future Langøya. Viitattu 11.7.2019 <https://en.noah.no/for-clients/treatment-area/langoya/future/>

Pajunen, E. 2019. Pirkanmaan ELY-keskuksen ylitarkastaja Emmi Pajunen. Haastattelu 9.7.2019, Anni Honkonen.

Patentti- ja rekistelihallitus 2019. Viitattu 23.6.2019. Saatavilla sähköisellä hakutyökalulla osoitteessa <https://patent.prh.fi/patinfo/default2.asp?Lng=>

Rakennustietosäätiö RTS sr 2019. InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Maa-, pohja- ja kalliorakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.7.2019.

Rissanen, V. 2019. Global EcoProcess Services Oy:n tekninen johtaja Vesa Rissanen. Haastattelu 12.7.2019, Anni Honkonen.

Sanastokeskus TSK 2019. TEPA-termipankki: varovaisuusperiaate. Viitattu 10.7.2019 www.tsk.fi > Varovaisuusperiaate.

Sitra 2016a. Näin syntyy Suomessa kiertotalous. Infografiikka. Viitattu 22.6.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.sitra.fi/hankkeet/kierrolla-karkean-suomen-tiekartta-kiertotalou-teen-2016-2025/>

Sitra 2016b. Kiertotalouden tiekartan ensimmäiset avainhankkeet. Infografiikka. Viitattu 22.6.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.sitra.fi/hankkeet/kierrolla-karkean-suomen-tiekartta-kiertotalou-teen-2016-2025/>

Suomen Kiertovoima ry 2019. Vaarallinen jäte. Viitattu 12.7.2019. <https://www.kierratys.info> > Vaarallinen jäte > Käsittely.

Synlab Analytics & Services Finland Oy 2019. Akkreditointi ja luvat. Viitattu 23.6.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://fi.alcontrol.com/fi/akkreditointi-ja-luvat-finland>

Takainen, H. 2013. Jätevoimalan tuhkien loppusijoitusvaihtoehdot. Insinöörityo. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Tolppi, R. 2015. Rikastusprosessit ja prosessivesien käsittely metallimalmikaivoksissa. Opinnäytetyö. Rovaniemi: Lapin ammattikorkeakoulu.

UUMA 3 2019. Materiaalit ja niiden jalostaminen. UUMA-käsikirjasto. Viitattu 12.7.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/materiaalit-ja-niiden-jalostaminen#Vaatimukset%20väylärakentamisen%20materiaaleille>

Valtionneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 843/2017. Annettu Helsingissä 01.01.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Valtionneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013. Annettu Helsingissä 20.3.2013. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130151#P28>

Valtionneuvoston asetus jätteistä 179/2012. Annettu Helsingissä 01.05.2012. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120179>

Valtionneuvoston asetus jätteistä 179/2012. Annettu Helsingissä 01.05.2012. Jäteasetuksen liite 4 (179/2012, muutettu 86/2015). Viitattu 21.6.2019.

Valtionneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013. Annettu Helsingissä 01.06.2013. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130331>

Verohallinto 2019. Jäteverotus. Viitattu 22.6.2019 www.vero.fi > Syventävät vero-ohjeet > Ohjeet > Jäteverotus.

Vesa, J. 2017. Kriittiset metallit ja huoltovarmuus. Huoltovarmuusorganisaatio. Helsinki: Multiprint. Viitattu 24.7.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/www_kriittiset_metallithvk_2017.pdf

Väntsi, S. KVVY Tutkimus Oy 2019.

Wilts, H.; Galinski, L.; Marin, G.; Paleari, S.; Zoboli, R. & Bogdanovic, J. 2017. Assessment of waste incineration capacity and waste shipments in Europe. European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy.

Ympäristöministeriö 2019. Jätelainsäädäntö. Viitattu 21.6.2019 www.ymparisto.fi > Ympäristö > Lainsäädäntö ja ohjeet > Jätelainsäädäntö.

Ympäristöministeriö 2019. Kiertotalous. Viitattu 22.6.2019 www.ymparisto.fi > Ympäristö > Kiertotalous.