Tampereen yliopisto

Ville Orkola

KÄSITELLYN JÄTTEENPOLTON KUONAN HYÖDYNTÄMINEN INFRARAKENTAMISESSA

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
2020

TIIVISTELMÄ

Ville Orkola: Käsitellyn jätteenpolton kuonan hyödyntäminen infrarakentamisessa
Use of treated municipal solid waste incineration bottom ash (MSWI BA) in infrastructures
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
marraskuu 2020

Jätehuolto on tärkeä osa nykyistä yhteiskuntaa. Perinteisesti yhteiskunnan tuottamat jätteet on sijoitettu kaatopaikoille ilman sen edistyneempää käsittelyä. Viime vuosina jätteiden sijoittaminen kaatopaikoille on kuitenkin vähentynyt merkittävästi ja yhä suurempi osuus jätteistä kierrätetään tai hyödynnetään energiantuotannossa jätteenpolttolaitoksilla. Jätteiden hyödyntäminen energiantuotannossa on kiertotalouden kannalta kaatopaikkasijoittamista suotavampi vaihtoehto, mutta täysin ongelmaton menetelmä se ei ole. Polttoprosessin seurauksena muodostuu päästöjä ilmakehään ja jätteitä, joista merkittävimpiä ovat kattilan pohjalle muodostuva kuona, kevyt lentotuhka ja savukaasujen puhdistuksessa syntyvät jätteet.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää yhdyskuntajätteen poltossa syntyvän pohjakuonan hyödyntämismahdollisuuksia infrarakentamisen uusiomateriaalina. Työssä tarkastellaan käsitellyn jätteenpolton kuonan teknisiä ja kemiallisia ominaisuuksia, käsittelymenetelmiä sekä kuonan hyödyntämisen ohjauskeinoja, mahdollisuuksia ja rajoituksia. Aihepiirin rajaamiseksi kuonan hyödyntämisen ohjauskeinoja tarkastellaan Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa sekä Euroopan unionin yhteisen lainsäädännön tasolla. Työ on toteutettu olemassa olevaan tutkimustietoon perustuvana selvityksenä.

Käsitelty jätteenpolton kuona on havaittu soveltuvaksi materiaaliksi monenlaisiin infrarakenteisiin. Aihetta on tutkittu paljon 1990-luvulta alkaen. Teknisiltä ominaisuuksiltaan jätteenpolton kuona on rakeista ja huokoista luonnonkiviainesta muistuttavaa materiaalia. Käsitellyn jätteenpolton kuonan fyysinen ja kemiallinen koostumus vaihtelee suuresti riippuen poltettavan jätteen laadusta sekä käytettävistä poltto- ja käsittelytekniikoista. Materiaalin ympäristökelpoisuuden kannalta etenkin raskasmetallien liukoisuudet saattavat rajoittaa sen hyötykäytön mahdollisuuksia.

Käsiteltyä jätteenpolton kuonaa on käytetty väylärakenteiden sitomattomissa rakennekerroksissa eli jakavassa kerroksessa ja suodatinkerroksessa. Materiaalin toimivuutta on tutkittu myös kenttärakenteissa ja meluvalleissa. Jätteenpolton kuonan hyödyntämistä rajoittavat tekijät liittyvät suurilta osin sen teknisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin sekä kuonan jäteluonteeseen. Raskasmetallien ja muiden kuonan sisältämien haitta-aineiden liukoisuudet rajoittavat kuonan hyödyntämistä vesistöjen läheisyydessä sekä muilla ympäristöllisesti herkässä tilassa olevilla alueilla. Teknisiltä ominaisuuksiltaan kuona ei ole yhtä kestävää materiaalia luonnonkiviainekseen verrattuna. Poliittisilla ja taloudellisilla tavoitteilla ja päämäärillä on kaikkein eniten vaikutusta kuonan hyödyntämiseen uusiomateriaalina. Tulevaisuudessa kuonan hyödyntäminen uusiomateriaalina lisääntynee merkittävästi luonnollisten kiviainesvarantojen vähentyessä sekä poliittisen ja taloudellisen ilmapiirin muuttuessa suotuisammaksi uusiomateriaaleja kohtaan.

Avainsanat: jätteenpolton kuona, uusiomateriaali, infrarakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. JÄTTEENPOLTON KUONA 3
2.1 Muodostuminen 3
2.2 Fyysinen koostumus 4
2.3 Käsittelyprosessit 5
2.4 Käsitellyn jätteenpolton kuonan ympäristökelpoisuus 7
2.5 Käsitellyn jätteenpolton kuonan tekniset ominaisuudet 9
3. KUONAN HYÖDYNTÄMISEN OHJAUSKEINOT 12
3.1 Euroopan unionin tason ohjauskeinot 12
3.2 Suomen ohjauskeinot 14
3.3 Ruotsin ohjauskeinot 15
3.4 Tanskan ohjauskeinot 17
4. JÄTTEENPOLTON KUONAN POTENTIAALISET KÄYTTÖKOHTEET JA KÄYTÖN RAJOITUKSET 19
4.1 Väylärakenteet 19
4.2 Kenttä- ja muut infrarakenteet 22
4.3 Kuonan käyttöä rajoittavat tekijät 24
5. YHTEENVETO 25
LÄHTEET 28

LYHENTEET JA MERKINNÄT

MARA-asetus 843/2017	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa
ELY-keskus	Alueellisista elinkeino-, liikenne- ja ympäristöasioista vastaava työ- ja elinkeinoministeriön alainen aluehallintoviranomainen
ρ_{dmax}	maksimikuivairtotiheys, $\frac{kg}{m^3}$, Proctor-kokeella määritettävä materiaalin maksimitiiviys
w_{opt}	optimivesipitoisuus, %, Proctor-kokeella määritettävä materiaalin vesipitoisuus, jossa materiaali tiivistyy parhaiten
λ	lämmönjohtavuus, $\frac{Wm}{K}$, kuvaa materiaalin kykyä toimia joko lämmönjohteena tai -eristeenä

1. JOHDANTO

Hyvin organisoidun jätehuollon voidaan ajatella olevan eräs nykyisen yhteiskunnan tärkeimmistä tukipilareista. Ilman toimivaa jätehuoltoa kaupunkien ja muiden asutuskeskusten kadut täyttyisivät ennen pitkää asukkaiden tuottamista jätteistä. Toimimaton jätehuolto haittaa niin ympäristön tilaa kuin myös ihmisten terveyttäkin. Sen vuoksi on tärkeää, että jätteiden keräys, käsittely ja loppusijoittaminen tai kierrätys hoidetaan ihmisiä ja ympäristöä vähiten kuormittavalla tavalla.

Suomessa jätteiden loppusijoitusratkaisuna on perinteisesti käytetty sijoittamista kaatopaikalle. Viime vuosina jätteiden sijoittamista kaatopaikoille on vähennetty huomattavasti, ja hyötykäyttöön kelpaamattomat jätteet päätyvät enenevissä määrissä poltettavaksi jätteenpolttolaitoksille. Polttolaitoksilla palamisreaktion seurauksena syntyvää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa muodostuneista yhdyskuntajätteistä peräti 57 % hyödynnettiin energiantuotannossa, 42 % materiaalina ja alle 1 % sijoitettiin kaatopaikalle vuonna 2018 (Tilastokeskus 2020). Jätteiden hyödyntäminen energiana ei kuitenkaan ole kovin suositeltavaa EU:n jätepuitedirektiivissä 2008/98/EY esitetyn jätehierarkian mukaan, sillä jätteet tulisi ensisijaisesti hyödyntää materiaalina. Jätehierarkian tavoitteena on ohjata EU:n jäsenvaltioiden jätepolitiikkaa ekologisesti kestävämpään suuntaan. (Jätepuitedirektiivi 2008/98/EY)

Monien muiden prosessien tapaan myös jätteiden polttamisella on ei-toivottuja sivuvaikutuksia, kuten päästöt ilmakehään sekä palamattoman pohjakuonan ja tuhkan muodostuminen. Pohjakuonan ja tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksia on tutkittu runsaasti viime vuosina. Kiertotalouden kannalta onkin tärkeää etsiä ekologisesti ja taloudellisesti kestäviä ratkaisuja kuonan ja muiden sivutuotteiden ja jätemateriaalien uusiokäytön edistämiseksi. Tässä kandidaatintyössä perehdytään asiaan infrarakentamisen näkökulmasta.

Työn aiheena on käsitellyn jätteenpolton kuonan hyödyntäminen infrarakentamisessa. Työn tavoitteena on selvittää, miten käsiteltyä jätteenpolton kuonaa voidaan hyödyntää infrarakentamisessa ja miten eri tekijät rajoittavat sen hyödyntämismahdollisuuksia. Kuonan käyttöä rajoittavat tekijät voivat liittyä esimerkiksi lainsäädäntöön, kuonan ympäristökelpoisuuteen tai teknisiin ominaisuuksiin, kuten routivuuteen ja tiivistyvyyteen. Sanoilla ”jätteenpolton kuona” tai ”kuona” tarkoitetaan käsiteltyä jätteenpolton pohjakuonaa, ellei erikseen toisin mainita.

Aihepiirin rajaamiseksi kuonan hyödyntämisen ohjauskeinoja tarkastellaan Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa sekä Euroopan unionin tasolla. Johdantoluvun jälkeen työn toisessa luvussa keskitytään jätteenpolton kuonan muodostumiseen, koostumukseen, käsittelyprosesseihin, ympäristökelpoisuuteen ja teknisiin ominaisuuksiin. Kolmannessa luvussa perehdytään kuonan uusiokäyttöä koskeviin ohjauskeinoihin EU:n ja kohdemaiden tasolla. Neljännessä luvussa kerrotaan kuonan hyödyntämisen mahdollisuuksista ja rajoituksista. Viimeisessä luvussa kootaan yhteen työn keskeiset havainnot ja johtopäätökset sekä pohditaan jätteenpolton kuonan hyödyntämisen tulevaisuuden näkymiä.

2. JÄTTEENPOLTON KUONA

Tässä luvussa perehdytään jätteenpoltossa syntyvän raakakuonan muodostumiseen, fyysiseen koostumukseen sekä käsittelytapoihin ja -periaatteisiin. Tämän jälkeen tutkitaan käsitellyn jätteenpolton kuonan ympäristökelpoisuutta ja teknisiä ominaisuuksia.

2.1 Muodostuminen

Jätteenpolton kuonalla tarkoitetaan polttokattilan pohjalta kerättyä palamatonta materiaalia. Vuosittain Euroopan unionin jäsenvaltioissa poltetaan 96 miljoonaa tonnia yhdyskuntajätettä, josta muodostuu noin 19 miljoonaa tonnia jätteenpolton kuonaa (CEWEP 2017). Suomen yhdeksässä jätteenpolttolaitoksessa jätteenpolton kuonaa muodostuu noin 300 000 tonnia vuodessa, mikä on noin 1,6 % koko EU:n kuonan tuotannosta (Sormunen 2017).

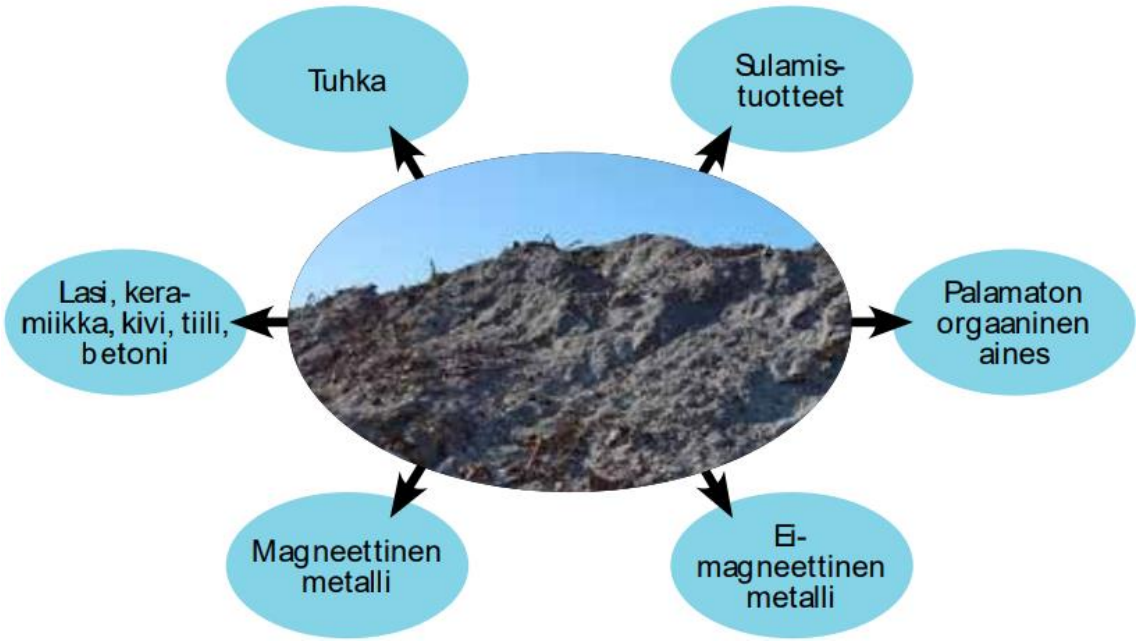
Palamisprosessin seurauksena jätteenpoltosta muodostuu useita erilaisia palamistuotteita, kuten kevyttä lentotuhkaa, raskasta pohjakuonaa sekä savukaasujen puhdistusjätettä. Käytettävän polttotekniikan ja -lämpötilan on havaittu vaikuttavan suuresti jätteenpolton sivutuotteiden määrään ja laatuun. Esimerkiksi arinapolttolaitoksissa muodostuu enemmän pohjatuhkaa kuin leijupetipolttolaitoksissa. Jälkimmäisissä puolestaan muodostuu enemmän lentotuhkaa, jonka joukkoon on sekoittunut polttoprosessissa käytettyä hiekkaa. Yleisesti ottaen jätteenpolton pohjakuona on polttoprosessin merkittävin jätejae, sillä pohjakuona muodostaa noin 80 % jätteenpoltossa syntyvien jätteiden kokonaismäärästä. Polttoprosessissa syntyvän pohjakuonan määrä vastaa noin 20–30 massa-% poltettavan jätteen kokonaismäärästä. (Wiles 1996; Sormunen 2017)

Polttokattilan pohjalle kertynyt kuona voidaan kerätä talteen kahdella erilaisella, joko kuiva- tai märkäpoistotekniikkaan perustuvalla tavalla. Märkäpoistotekniikkaan perustuvissa polttolaitoksissa kuona siirretään kattilan pohjalta joko mäntien tai kuljetinhihnan avulla vesihauteeseen, josta se kuljetetaan varastoitavaksi. Kuivapoistotekniikka perustuu muutoin samankaltaiseen toimintatapaan, mutta erona on, että prosessissa ei käytetä vettä. Tästä syystä kuivapoistotekniikalla talteen kerätty kuona vaatii vähemmän esikäsittelytoimenpiteitä kuin märkäpoistotekniikalla kerätty kuona. (Lamers 2015) Käytettävän poistotekniikan on havaittu vaikuttavan kuonan jatkokäyttömahdollisuuksiin sekä mineralogiseen koostumukseen (Šyc et al. 2020). Alaluvussa 2.3 kerrotaan tarkemmin poistotekniikan vaikutuksista kuonan ominaisuuksiin ja jatkokäyttömahdollisuuksiin.

2.2 Fyysinen koostumus

Jätteenpolton kuonan teknisiä ominaisuuksia ja kemiallista koostumusta on tutkittu paljon 1990-luvulta alkaen. Tässä alaluvussa käsitellään jätteenpolton kuonan fyysistä koostumusta. Kuonan kemialliseen koostumukseen perehdytään alaluvussa 2.4.

Käsittelemätön jätteenpolton kuona on harmaata, huokoista ja karkearakeista materiaalia, joka on rakeisuudeltaan verrattavissa hiekkaan ja soraan (Chandler et al. 1997; Sormunen 2017). Kuonan koostumus vaihtelee huomattavasti riippuen poltetun jätemateriaalin koostumuksesta, käytettävästä polttotekniikasta ja vallitsevista palamisolosuhteista. Useista tutkimuksista kerättyjen havaintojen mukaan käsittelemätön jätteenpolton kuona koostuu pääasiassa palamattomasta orgaanisesta materiaalista, lasista, mineraaleista, keinotekoisesta keraamista, tuhkasta, sulamistuotteista ja sekä magneettisesta että ei-magneettisesta metallista. (Chimenos et al. 1999; Holm & Simon 2017; Šyc et al. 2018a) Kuvassa 1 esitetään jätteenpolton kuonaa ja sen sisältämiä materiaaleja.



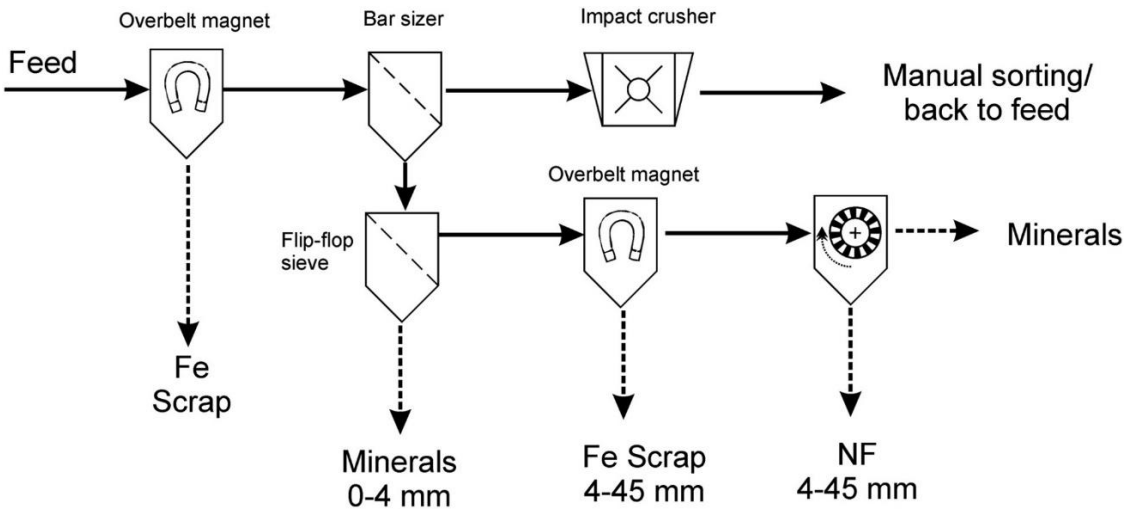
Kuva 1: *Havainnekuva jätteenpolton kuonasta ja sen sisältämistä materiaaleista (Sormunen 2017).*

Heterogeenisen koostumuksensa vuoksi jätteenpolton kuona sisältää tyypillisesti kaikenkokoisia rakeita, joiden läpimitat vaihtelevat muutamasta mikrometristä useisiin senttimetreihin (Huber et al. 2020). Chandler et al. (1997) sekä Huber et al. (2020) ovat omissa tutkimuksissaan analysoineet useita näytteitä käsittelemättömästä jätteenpolton kuonasta. Tutkimusten perusteella kuonan karkein fraktio koostuu enimmäkseen magneettisesta metalleista, hienoin fraktio mineraaleista ja keskikarkea fraktio ei-magneettisesta metallista sekä lasista ja keraamista.

2.3 Käsittelyprosessit

Tässä alaluvussa tarkastellaan yleisellä tasolla jätteenpolton kuonan käsittelyprosesseja ja yksittäisiä esikäsittelytoimenpiteitä sekä näiden vaikutuksia kuonan ominaisuuksiin. Tarkasteltavia esikäsittelytoimenpiteitä ovat kuonan ikäännyttäminen, seulonta ja murskaus. Käsittelyprosessien yksityiskohtainen tarkastelu on hankalaa, sillä lähes jokaisella jätteenpoltto- tai käsittelylaitoksella käytetään toisistaan enemmän tai vähemmän eroavia käsittelyprosesseja (Šyc et al. 2020). Prosessit ovat kuitenkin periaatteiltaan pitkälti samanlaisia.

Polttokattilan pohjalta kerätty raakakuona vaatii yleensä jonkinlaista käsittelyä ennen hyödyntämistä uusiomateriaalina tai loppusijoittamista kaatopaikalle. Raakakuonan käsittelyn tarkoituksena on arvokkaiden jakeiden talteenotto sekä ympäristölle haitallisten ainesten poistaminen. Tyypillisesti metallipitoinen aines kerätään talteen raakakuonasta tehokkaiden magneettien avulla. Tarpeen mukaan ei-magneettinen metalli, lasi ja muunlainen kierrätettävä materiaali voidaan erotella kuonamassasta esimerkiksi seulomalla, murskaamalla tai pyörrevirtaerottimilla. Tavallisimpien erottelumenetelmien lisäksi erotteluprosessissa voidaan hyödyntää ballistisia, elektromagneettisia tai optisia sensoreita. (Holm & Simon 2017) Kuvassa 2 on esimerkki yksinkertaisesta kuonan käsittelyketjusta, jossa massasta kerätään talteen magneettiset (*Fe scrap*) ja ei-magneettiset metallit (*NF*) sekä mineraalijae.



Kuva 2: *Esimerkki yksinkertaisesta jätteenpolton kuonan käsittelyketjusta (Holm & Simon 2017).*

Käsittelyprosessin voidaan katsoa alkavan kuonan keräämisellä kattilan pohjalta. Käsittelyprosessi voidaan kokonaisuudessaan suunnitella joko siten, että mahdollisimman suuri osuus metalleista saadaan kerättyä talteen, tai siten, että mahdollisimman suuri

osuus kuonan mineraalijakeesta hyödynnetään uusiomateriaalina. Kuonan käsittelyprosessi perustuu joko märkäpoistotekniikalla kerätyn kuonan käsittelyyn kuivana tai märkänä, tai kuivapoistotekniikalla kerätyn kuonan käsittelyyn kuivana. Märkäpoistotekniikalla kerätyn kuonan käsittely kuivana on optimaalinen vaihtoehto, mikäli mahdollisimman suuri osuus kuonan mineraalijakeesta hyödynnetään uusiomateriaalina. Kuivapoistotekniikalla kerätyn kuonan käsittely kuivana soveltuu parhaiten metallipitoisten jakeiden maksimaaliseen talteenottoon. (Šyc et al. 2018b)

Raakakuonan keräämisen jälkeen märkäpoistotekniikalla kerätyn kuonan vesipitoisuus vaihtelee tyypillisesti 18–25 %:n välillä, kun taas kuivapoistotekniikalla kerätyn kuonan vesipitoisuus on alle 1 %. Huomattavan vesipitoisuuden takia märkäpoistotekniikalla kerättyä kuonaa on varastoitava muutama kuukausi ennen jatkokäsittelyä, jotta suurempi osuus arvokkaista jakeista saadaan kerättyä talteen. Toisaalta märkäpoistotekniikassa kuonan ollessa vesihauteessa suolat ja muut helposti liukenevat yhdisteet liukenevat veteen, mikä parantaa kuonan ympäristökelpoisuutta. (Astrup et al. 2016) Kontakti veden kanssa johtaa suolojen ja muiden aineiden liukenemisen ohella kalsiumhydroksidin muodostumiseen ja kuonan pH-arvon kohoamiseen. Märkäpoistotekniikalla kerätyn kuonan pH-arvo vaihtelee yleensä 10 ja 12 välillä tehden siitä voimakkaan emäksistä materiaalia. (Holm & Simon 2017) Kuivapoistotekniikalla kerätty kuona on pienen vesipitoisuutensa ansiosta valmista käsiteltäväksi ilman varastointia. Toisena kuivapoistotekniikalla kerätyn kuonan pienen vesipitoisuuden etuna on, että hienojakoinen aines ei kiinnity yhtä helposti karkeajakoisemman aineksen pinnalle, mikä helpottaa etenkin metallipitoisten ainesten erottelua. (Šyc et al. 2020)

Kuonan ikäännyttämisen eli varastoinnin on muun muassa todettu laskevan kuonan vesipitoisuutta, parantavan sen ympäristökelpoisuutta ja lujuusominaisuuksia sekä stabiloivan sitä kemiallisesti (Sormunen & Kolisoja 2016; Šyc et al. 2020). Varastoinnin aikana kuonamassa on kosketuksissa ilman ja veden kanssa, minkä seurauksena materiaalissa tapahtuu erilaisia hydrataatio-, karbonoitumis- ja saostumisreaktioita sekä orgaanisen aineksen hapettumista. Edellä mainitut kemialliset reaktiot alentavat kuonan pH-arvoa, mikä osaltaan vaikuttaa tiettyjen ainesten liukoisuuteen. Varastoinnin vaikutuksia voidaan nopeuttaa kiihdytetyn karbonoitumisen avulla eli antamalla kuonan reagoida runsaasti hiilidioksidia sisältävän ilmamassan kanssa (Laine-Ylijoki et al. 2005).

Kuonan jakaminen erikokoisiin fraktioihin seulomalla sekä suurimpien rakeiden murskaaminen helpottavat metallipitoisten ainesten talteenottoa. Murskaamisen on todettu helpottavan kasaantuneiden hienoainesten irrottamista toisistaan sekä parantavan käsitellyn kuonan raekokojakaumaa käsittelyprosessin ja uusiomateriaalina hyödyntämisen

kannalta. Käsiteltävän kuonan jakaminen erikokoisiin fraktioihin parantaa etenkin ei-magneettisten metallien talteenoton tehokkuutta. (Šyc et al. 2018b)

2.4 Käsitellyn jätteenpolton kuonan ympäristökelpoisuus

Jätteenpolton kuonan ympäristökelpoisuutta on tutkittu paljon sen teknisten ominaisuuksien lisäksi. Useissa kuonan ympäristökelpoisuuteen liittyvissä tutkimuksissa on kiinnitetty erityistä huomiota haitallisten aineiden kokonaispitoisuuksiin ja liukoisuusominaisuuksiin, jotka saattavat rajoittaa kuonan hyötykäyttöä uusiomateriaalina.

Kuten alaluvussa 2.2 todettiin, jätteenpolton kuona on fyysiseltä koostumukseltaan erittäin heterogeenista materiaalia, mikä ilmenee myös kuonan kemiallisessa koostumuksessa. Jätteenpolton kuonan kahdeksan yleisintä alkuaineitta ovat happi, pii, rauta, kalsium, alumiini, natrium, kalium ja hiili. Palamisreaktion seurauksena happi muodostaa huomattavan määrän oksideja yleisimpien alkuaineiden, kuten piin, raudan ja alumiinin kanssa. Ympäristön kannalta ongelmallisimpia kuonassa esiintyviä alkuaineita ja yhdisteitä ovat muun muassa raskasmetallit, suolat ja sulfaatit. (Chandler et al. 1997; Holm & Simon 2017).

Sormunen & Rantsi (2015) tutkivat erikokoisiin fraktioihin jaetun käsitellyn jätteenpolton kuonan sisältämien haitallisten aineiden liukoisuusominaisuuksia laboratorio-olosuhteissa. Liukoisuusominaisuuksia tutkittiin standardin EN 14405 (aiemmin tekninen sertifikaatti CEN/TS/14405) mukaisella suotautumiskokeella vuosina 2013 ja 2014 otetuista näytteistä. Kokeessa käytettiin kiintoaineen ja nesteen suhdetta kuvaavaa L/S–arvoa 10. Taulukossa 1 esitetään vuonna 2013 otettujen näytteiden liukoisuustestien tulokset fraktioittain. Saatuja tuloksia verrataan Valtioneuvoston antaman kaatopaikka-asetuksen 331/2013 mukaisiin kaatopaikalle sijoitettavan pysyvän jätteen sisältämien haitta-aineiden liukoisuuksille asetettuihin raja-arvoihin.

Taulukko 1: *Käsitellyn jätteenpolton kuonan sisältämien haitta-aineiden liukoisuus-ominaisuudet ja näiden vertaaminen pysyvän jätteen raja-arvoihin standardin EN 14405 mukaisella suotautumiskokeella L/S–arvolla 10 (Sormunen & Rantsi 2015; Vna 331/2013).*

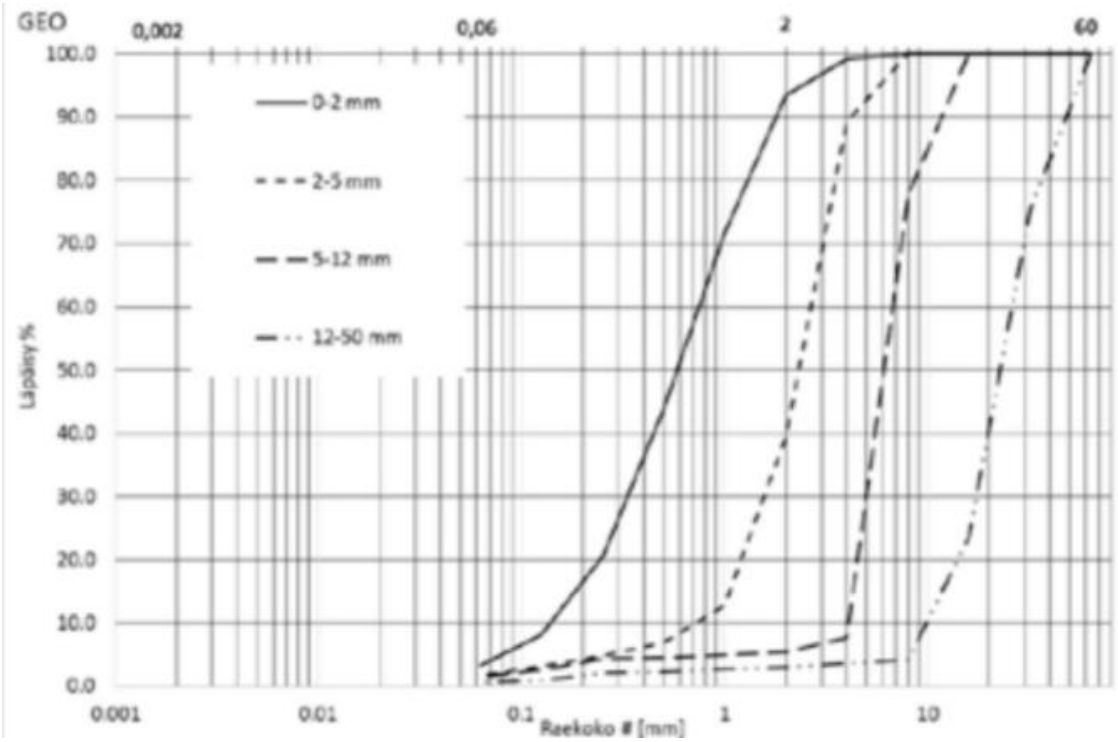
Alku-aine	**Fraktio**				**Pysyvä jäte**
	0–2 mm	**0–5 mm**	**5–12 mm**	**12–50 mm**	**Raja-arvo**
	Liukoisuus ($^{L}/_{S} = 10\,\frac{l}{kg}$)				($^{L}/_{S} = 10\,\frac{l}{kg}$)
As	0,02	0,02	0,02	0,01	0,5
Ba	1,1	0,9	1,4	1,1	20
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
Co	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Cr	6,5	1	0,27	0,05	0,5
Cu	2,9	1,5	0,69	0,43	2
Mo	1,7	1,1	0,93	0,58	0,5
Ni	0,04	0,04	0,02	0,03	0,4
Pb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,5
Sb	0,14	0,11	0,09	0,04	0,06
Se	0,03	0,02	0,02	0,02	0,1
V	0,25	0,14	0,1	0,11	-
Zn	0,19	0,15	0,22	0,24	4
F^-	8,4	7,8	<10	<10	-
Cl^-	4 800	2 900	1 900	1 900	800
SO_4^{2-}	3 300	3 000	2 100	1 100	1 000
Hg	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,01

Taulukossa 1 esitettyjen tulosten perusteella havaitaan, että kromin, kuparin, molybdeenin ja vanadiinin liukoisuudet olivat varsin suuria 0–2 mm fraktiosta. Kloridin liukeneminen oli myös huomattavasti suurempaa 0–2 ja 2–5 mm fraktioista muihin fraktioihin verrattuna. Liukoisuustulosten perusteella tutkittua kuonaa ei voida luokitella kaatopaikalle sijoitettavaksi pysyväksi jätteeksi. Kromin, kuparin, molybdeenin, antimonin, kloridin ja sulfaatin liukoisuudet ylittivät pysyvälle jätteelle asetetut liukoisuuksien raja-arvot yhden tai useamman fraktion osalta. Kuonan pienimmät partikkelit ovat rakenteeltaan hyvin huokoisia, minkä vuoksi niillä on suurempi ominaispinta-ala suurempiin partikkeleihin verrattuna. Suuri ominaispinta-ala edistää raskasmetallien liukoisuutta hienojakoisesta aineksesta (Astrup 2007).

Kuonan ympäristökelpoisuutta voidaan parantaa useilla eri tavoilla. Astrup (2007) on tehnyt kattavan yhteenvedon tanskalaisista tutkimuksista, joissa tutkittiin kuonan varastoinnin, pesemisen, metallien talteenoton ja orgaanisen aineksen sekä hienoaineksen poistamisen vaikutuksia kuonan ympäristökelpoisuuteen. Tutkimusten mukaan etenkin kuonan varastoinnilla ja hienoaineksen poistamisella voi olla suuria vaikutuksia kuonan ympäristökelpoisuuteen. Pitkäaikaisen varastoinnin havaittiin vähentävän raskasmetallien, kuten kuparin, kromin, lyijyn ja sinkin liukoisuutta. Raekooltaan alle 100–125 µm kokoisten fraktioiden poistamisen huomattiin vähentävän natriumin, arseenin, kadmiumin, kromin, lyijyn, sinkin, molybdeenin sekä orgaanisen aineksen liukoisuutta. Kuonan peseminen voi myös parantaa sen ympäristökelpoisuutta, sillä pesemisen todettiin vähentävän sulfaattien, kloridin, natriumin, kuparin, kromin ja lyijyn liukoisuutta.

2.5 Käsitellyn jätteenpolton kuonan tekniset ominaisuudet

Kuten alaluvussa 2.2 todettiin, käsittelemätön jätteenpolton kuona sisältää paljon erikokoisia rakeita, joiden läpimitat vaihtelevat muutamasta mikrometristä useisiin senttimetreihin. Käsitelty jätteenpolton kuona on puolestaan rakeisuudeltaan käsittelemätöntä kuonaa homogeenisempaa. Käytettävä raakakuonan käsittelyprosessi vaikuttaa merkittävästi käsitellyn kuonamassan raekokojakaumaan. Kuvassa 3 havainnollistetaan neljään erikokoiseen fraktioon jaetun käsitellyn jätteenpolton kuonan raekokojakaumia.



Kuva 3: *Erikokoisiin fraktioihin jaetun käsitellyn jätteenpolton kuonan raekokojakaumat (Sormunen 2017).*

Laboratorio- ja kenttätutkimusten perusteella käsitellyn jätteenpolton kuonan voidaan todeta soveltuvan varsin hyvin infrarakentamisessa käytettäväksi uusiomateriaaliksi. Esimerkiksi Chandler et al. (1997), Sormunen et al. (2016) sekä Sormunen & Kolisoja (2017) ovat tutkineet rakentamisen kannalta tärkeitä kuonan ominaisuuksia, kuten optimivesipitoisuutta, maksimikuivairtotiheyttä ja lämmönjohtavuutta.

Chandler et al. (1997) kokosivat tutkimuksessaan yhteen laboratorioissa tehtyjen Proctor-kokeiden tuloksia. Kokeissa tutkittiin käsitellystä jätteenpolton kuonasta otettujen näytteiden maksimikuivairtotiheys sekä optimivesipitoisuus. Koetulosten perusteella kuonan maksimikuivairtotiheyden keskimääräisten arvojen havaittiin vaihtelevan välillä $1530 - 1739\ \frac{kg}{m^3}$. Optimivesipitoisuuden osalta tulosten keskiarvot vaihtelevat 13–21 %:n välillä. Kokeiden tulokset esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2: *Käsitellyn jätteenpolton kuonan maksimikuivairtotiheys ja optimivesipitoisuus (Chandler et al. 1997).*

Bottom Ash Proctor Moisture and Proctor Density Compaction

Country	Facility	Proctor Density (kg/m³)					Proctor Moisture (% WC)					Reference
		Min	Max	Mean	Median	n	Min	Max	Mean	Median	n	
Netherlands	AVI 1[a]	1,513	1,665	1,602	-	29	11.9	16.5	13.3	-	29	TAUW, 1988
	AVI 2[a]	1,543	1,630	1,573	-	26	10.9	16.0	13.0	-	16	
	AVI 3[a]	1,445	1,620	1,530	-	26	10.6	18.7	14.2	-	26	
	AVI 4[a]	1,475	1,630	1,530		20	9.6	16.5	12.9		20	
Sweden	Malmö[b]	-	-	-	1,825	1	-	-	15.5	-	1	Hartlén & Rogbeck, 1989
United States	Concord, NH[c]	1,619	1,838	1,739	1,748	18	12.0	16.0	15.4	16.0	18	Eighmy et al., 1992
	Dry Scrubber 1[d]	-	-	-	1,345	1	-	-	-	12.8	1	LIRPB, 1992a
	Dry Scrubber 2[d]	1,242	1,298	1,271	-	2	15.0	17.0	16.0	-	2	
	Dry Scrubber 3[d]	1,500	1,588	1,545	-	5	14.3	14.8	14.6	-	5	
	Dry Scrubber 3[d]	1,550	1,580	1,566	-	5	20.8	21.7	21.3	-	5	
	Mass burn[d]	-	-	-	2,463	1	-	-	-	16.6	1	Kosson et al., 1992

[a] Standard Proctor. [c] ASTM D1557 (Modified Proctor).
[b] Standard Proctor. [d] ASTM D1557 (Modified Proctor).

Sormunen & Rantsi (2015) ja Sormunen et al. (2016) tutkivat ADR-menetelmällä käsiteltyä jätteenpolton kuonaa laboratorio-olosuhteissa. Sormunen & Kolisoja (2017) tutkivat samalla menetelmällä käsitellyn kuonan toimivuutta päällystetyssä kenttärakenteessa. Taulukossa 3 esitetään tutkimuksissa saadut keskimääräiset maksimikuivairtotiheyden, optimivesipitoisuuden ja lämmönjohtavuuden tulokset. Maksimikuivairtotiheyden ja optimivesipitoisuuden tuloksia verrataan hiekan ja soran vastaaviin ominaisuuksiin. Kokeissa tutkitut jätteenpolton kuonan ominaisuudet selvitettiin standardin EN 13286-2 mukaisella parannetulla Proctor-kokeella.

Taulukko 3: *Jätteenpolton kuonan sekä hiekan ja soran maksimikuivairtotiheys, optimivesipitoisuus ja lämmönjohtavuus (RTS 2010; Sormunen & Rantsi 2015; Sormunen et al. 2016; Sormunen & Kolisoja 2017).*

Materiaali	ρ_{dmax} $(\frac{kg}{m^3})$	w_{opt} (%)	Λ $(\frac{Wm}{K})$ $T = 10°C$	Λ $(\frac{Wm}{K})$ $T = -10°C$	Lähde
Jätteenpolton kuona	1537	16,8	0,68	0,94	Sormunen & Rantsi 2015
	1510	15,6	0,53	0,8	Sormunen et al. 2016
	1663	20,3	-	-	Sormunen & Kolisoja 2016b
Hiekka	2000	10	-	-	RTS 2010
Sora	2100	7	-	-	RTS 2010

Taulukon 3 tulosten perusteella jätteenpolton kuonan maksimikuivairtotiheys vaihtelee keskimäärin välillä $1510 - 1663\ \frac{kg}{m^3}$ ja optimivesipitoisuus 15,6–20,3 %. Näin ollen taulukoissa 2 ja 3 esitetyt maksimikuivairtotiheyden ja optimivesipitoisuuden arvot ovat suuruusluokaltaan samankaltaisia.

Taulukon 3 tulosten perusteella jätteenpolton kuonan maksimikuivairtotiheyden arvot ovat pienempiä hiekkaan ja soraan verrattuna. Kuonan optimivesipitoisuus on noin 2–2,5 kertainen hiekan ja soran vastaaviin arvoihin verrattuna. Luonnonmateriaaleja matalamman lämmönjohtavuutensa puolesta jätteenpolton kuonalla on edullisia ominaisuuksia infrarakenteiden routamitoituksen kannalta.

Sormunen & Rantsi (2015) sekä Sormunen & Kolisoja (2017) havaitsivat, että etenkin kuonamassan suurimmat rakeet osittain murskaantuivat Proctor-kokeiden aikana. Kuonapartikkelien murskaantumisen perusteella voidaan päätellä jotain kuonan kulumiskestävyydestä. Laine-Ylijoki et al. (2005) kokosivat yhteen tuloksia muutamista tutkimuksista, joissa kuonan kulumiskestävyyttä tutkittiin Los Angeles -testillä. Testissä tutkitaan rakeisen materiaalin hienontumista kuluttavissa olosuhteissa. Testissä käytetystä näytteestä määritetään pienemmäksi kuin 1,6 mm hienontuneen aineksen prosentuaalinen osuus näytteen alkuperäiseen massaan verrattuna, mikä määrittää materiaalin Los Angeles (LA) -luvun (SFS 2020). Tutkittujen pohjatuhkien LA-luvut vaihtelivat välillä LA_{40}–LA_{55}. Suomessa tierakenteen sitomattomassa kantavassa kerroksessa käytettävältä kiviainekselta vaadittu LA-luku on 30, eli kokeiden tulosten perusteella jätteenpolton kuona ei sovellu käytettäväksi tien kantavassa kerroksessa (Kuula 2015).

3. KUONAN HYÖDYNTÄMISEN OHJAUSKEINOT

Tässä luvussa käsitellään jätteenpolton kuonan hyödyntämisen ohjauskeinoja ensin Euroopan unionin ja sen jälkeen kohdemaiden tasolla. EU:n tasolla ei ole olemassa yhtenäistä lainsäädäntöä tai ohjeistusta uusiomateriaalien hyödyntämisestä rakentamisessa. Asiaa koskeva päätöksenteko ja päätösten täytäntöönpano on jätetty jokaisen jäsenvaltion omalle vastuulle. (Blasenbauer et al. 2020)

3.1 Euroopan unionin tason ohjauskeinot

Euroopan unioni pyrkii ohjaamaan jäsenvaltioiden jätteiden käsittelyn ja polttamisen menetelmiä yhteisillä asetuksilla ja lainsäädännöillä (Blasenbauer et al. 2020). Nämä asetukset ja lait, kuten marraskuussa 2008 hyväksytty Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta (jäljempänä jätepuitedirektiivi), velvoittavat jokaista jäsenvaltiota vähentämään jätteen kokonaismäärää ja sen haitallisuutta ympäristölle ja ihmisten terveydelle sekä edistämään jätteiden hyödyntämistä uusiomateriaaleina (Jätepuitedirektiivi 2008/98/EY).

Jätepuitedirektiivin 2008/98/EY 4 artiklassa esitetty jätehierarkia toimii jokaisen EU:n jäsenvaltion jätehuollon suunnittelun perustana. Jätehierarkian ensisijaisuusjärjestyksen mukaan jätehuoltoa koskevan lainsäädännön ensisijaisina tavoitteina tulisi olla jätteen syntymisen ehkäiseminen, sen valmistelu uudelleenkäyttöön ja lopulta kierrätys. Toissijaisia tavoitteita ovat jätteen muunlainen hyödyntäminen, esimerkiksi energiana, ja vasta viimeisenä jätteen sijoittaminen kaatopaikalle. (Jätepuitedirektiivi 2008/98/EY) Jätehierarkia on siis kuvaus jätehuollon tavoitteista, jotka velvoittavat jokaista EU:n jäsenvaltiota etsimään keinoja hyödynnettävissä olevien jätteiden, kuten jätteenpolton kuonan, muodostumisen ehkäisyä ja uusiokäyttöä varten. Kuvassa 4 havainnollistetaan EU:n jätehierarkian ensisijaisuusjärjestyksen mukaisia toimenpiteitä energiantuotannon näkökulmasta.

Kuva 4: *EU:n jätehierarkian ensisijaisuusjärjestys energiantuotannon näkökulmasta (EK 2017).*

Euroopan unioni säätelee jäsenvaltioissa harjoitettavaa jätteenpolttoa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivillä 2010/75/EU teollisuuden päästöistä. Direktiivin mukaan jätteenpolttolaitosta on operoitava siten, että polttoprosessissa muodostuva kuona ei saa sisältää yli 3 massa-% orgaanista hiiltä eikä sen hehkutushäviö saa ylittää 5 massa-% kuonan kokonaismäärästä. Lisäksi polttolaitoksen toiminnanharjoittaja on velvollinen optimoimaan polttoprosessin siten, että siinä muodostuu mahdollisimman vähän jätettä. Muodostuvan jätteen haitallisuus on myös pyrittävä minimoimaan. Toiminnanharjoittajan on myös tehtävä arvio jätteiden sisältämien haitta-aineiden liukoisuuksista. (Blasenbauer et al. 2020)

Euroopan komission päätöksessä 2014/955/EU esitetyssä jäteluettelossa jätteenpolton kuonat luokitellaan jätteeksi eikä sivutuotteeksi. Jäteluettelon tarkoituksena on eri jätetyyppien yksilöiminen niiden syntytavan mukaan siten, että kullekin luettelossa mainittavalle jätetyypille on annettu kuusinumeroinen jätekoodi, joka määräytyy jätteen nimikeryhmän mukaan. Jätteenpolton kuonat sisältyvät alanimikeryhmiin 19 01 XX. (EK 2014)

Blasenbauerin et al. (2020) mukaan yhtenäisen ohjeistuksen puuttuminen jätteenpolton kuonan hyödyntämisen suhteen on johtanut siihen, että kukin EU:n jäsenvaltio ohjaa sen hyödyntämistä omilla tavoillaan. Aihetta koskevat asetukset, lainsäädännöt ja ohjeistukset vaihtelevat suuresti eri maiden välillä, mikä heijastuu myös kuonan hyödyntämiseen uusiomateriaalina. Toisaalta Blasenbauer et al. (2020) havaitsivat, että poliittisilla ja taloudellisilla päämäärillä on enemmän vaikutusta kuonan hyödyntämiseen kuin tarkoilla ja yksityiskohtaisilla ohjauskeinoilla, mikä osittain selittää jäsenvaltioiden välisiä eroja

kuonan hyödyntämisasteessa. Artikkelissa esitettyjen tietojen perusteella joissain jäsenvaltioissa suurin osa käsitellystä jätteenpolton kuonasta sijoitetaan kaatopaikoille, kun taas toisissa valtioissa siitä hyödynnetään yli 80 % uusiomateriaalina.

3.2 Suomen ohjauskeinot

Suomessa jätteenpolton kuonien ja tuhkien hyödyntämisen ohjauskeinoina käytetään jäteveroa, valtakunnallista jätesuunnitelmaa ja MARA-asetusta 843/2017. Asetuksen virallinen nimi on Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Edellä mainittuja ohjauskeinoja sovelletaan jätteenpolton kuonan lisäksi muun muassa maatalouden, teollisuuden ja rakentamisen sivutuote- ja jätevirtojen hallintaan.

Uusiomateriaalien käytön edistämisen kannalta tärkein ohjauskeino on MARA-asetus 843/2017. Asetuksen ensimmäinen versio Vna 591/2006 astui voimaan 15.7.2006, ja uusittu asetus Vna 843/2017 korvasi sen 1.1.2018. MARA-asetukseen 843/2017 on kirjattu vaatimuksia, joiden täyttyessä tiettyä jätemateriaalia voidaan hyödyntää maarakentamisessa ilman ympäristönsuojelulain 527/2014 mukaista ympäristölupaa. Vaatimusten täyttyessä riittää, että maarakennuskohteen haltija tekee jätteen hyödyntämistä koskevan rekisteröinti-ilmoituksen valvovalle viranomaiselle eli alueelliselle ELY-keskukselle. Ilmoitusmenettelyn ehtojen lisäksi asetuksessa määritellään sallitut käyttökohteet, laatuvaatimukset sekä laadunvarmistusmenetelmät kullekin jätelajitteelle. Jätteenpolton kuonan osalta asetusta sovelletaan jätenimikkeisiin 19 01 12, 19 12 09 sekä 19 12 12 sisältyviin jätteisiin. (Vna 843/2017)

Uudella asetuksella korvatun MARA-asetuksen 591/2006 soveltamisalaan kuuluneiden jätteiden luettelo oli varsin suppea. Asetuksen mukaan ilman erillistä ympäristölupaa maarakentamiseen kelpuutettiin ainoastaan betonimurskeet sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkat. Toisin sanottuna jätteenpolttolaitoksissa muodostuvan kuonan ja tuhkan hyödyntäminen maarakentamisessa pelkällä ilmoitusmenettelyllä tuli mahdolliseksi asetuksen uudistamisen jälkeen. (Vna 591/2006)

MARA-asetuksen 843/2017 mukaan hyödynnettävän jätteenpolton kuonan suurin sallittu raekoko on 50 mm, ja sen hyödyntäminen on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Jätemateriaalista rakennettavan kerroksen enimmäispaksuus on asetuksen mukaan 1,5 m. Lisäksi kuonaa sisältävä rakenne on joko peitettävä vähintään 10 cm paksuisella pilaantumatonta maa-ainesta sisältävällä rakennekerroksella tai päällystettävä asfaltilla siten, että kuonarakenteeseen suotautuvan sadeveden määrä on enintään 5 % vuotuisesta sademäärästä. Jätteen hai-

tattomuuden osoittamiseksi hyödynnettävä jäte ei saa ylittää asetuksen liitteessä 2 esitettyjä haitallisten aineiden liukoisuuksien ja pitoisuuksien raja-arvoja. Haitta-aineiden liukoisuuksien raja-arvot on testattava joko standardin EN 12457-3 mukaisella kaksiosaisella ravistelutestillä tai standardin EN 14405 mukaisella läpivirtaustestillä. (Vna 843/2017)

Toinen merkittävä ohjauskeino, eli Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023, on Ympäristöministeriön ja Suomen ympäristökeskuksen laatima kirjallinen raportti, joka pohjautuu EU:n jäsenvaltioita velvoittavaan jätepuitedirektiiviin 2008/98/EY. Suunnitelman tarkoituksena on ohjata valtakunnallista jätehuollon suunnittelua jätepuitedirektiivissä 2008/98/EY esitetyn jätehierarkian ensisijaisuusjärjestyksen mukaan siten, että jätteiden kokonaismäärää ja sen haitallisuutta vähennetään. Eräs keino jätteiden kokonaismäärän vähentämiseksi on uusiomateriaalien käytön lisääminen. Tätä varten suunnitelmassa esitetään erilaisia toimenpiteitä, jotka painottuvat yksityisille ja julkisille hankkijoille, rakennuttajille ja suunnittelijoille suunnattuun informaatio-ohjaukseen sekä kiertotaloutta käsittelevien opintojen määrän lisäämiseen rakennusalan koulutuksessa kaikilla koulutusasteilla. Valtakunnallisen jätesuunnitelman pohjalta laaditaan alueelliset jätesuunnitelmat, joissa esitetään aluekohtaisesti keinoja ja toimenpiteitä valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi. (Laaksonen et al. 2018)

Kolmantena jätteenpolton kuonan hyödyntämisen ohjauskeinona käytetään jäteveroa. Veron tarkoituksena on vähentää kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää ja täten edistää jätteiden hyödyntämistä toisaalla. Jäteverolain 1126/2010 mukaan kaatopaikan pitäjä on velvollinen maksamaan jäteveroa 70 euroa jokaiselta tonnilta jätettä, joka kaatopaikalle toimitetaan. Veroa ei tarvitse maksaa jätteistä, jotka hyödynnetään kaatopaikan rakenteissa eikä jätelaissa 646/2011 mainituista vaarallisista jätteistä. (Jäteverolaki 1126/2010)

3.3 Ruotsin ohjauskeinot

Ruotsissa jätteenpolton kuonan hyödyntäminen rakentamisen uusiomateriaalina on sallittua, mutta sitä ei ohjata erillisellä lainsäädännöllä (Blasenbauer et al. 2020). Lainsäädännön sijaan pääasiallisena jäte- ja uusiomateriaalien hyödyntämisen ohjauskeinona käytetään Ruotsin valtion luonnonsuojeluviranomaisen, eli Naturvårdsverket, vuonna 2010 julkaisemaa ohjetta *Återvinning av avfall i anläggningsarbeten*. Nimensä mukaisesti ohjeessa käsitellään jätteiden hyödyntämistä rakentamisen uusiomateriaalina. Ohjeen mukaan jätemateriaalien hyödyntäminen on sallittua meluvalleissa, kaatopaikkojen peiterakenteissa sekä tie-, rautatie- ja kenttärakenteissa. Jätemateriaalien hyödyntäminen edellä mainituissa rakenteissa ei vaadi erillistä lupaa, mikäli rakenne on kooltaan

pienehkö eikä se sijaitse ympäristöllisesti herkällä alueella, kuten pohjavesi- tai luonnonsuojelualueella. Suuremmissa hankkeissa jätemateriaalien hyödyntäminen on sallittua joko kunnalliselle viranomaiselle tehtävällä ilmoitusmenettelyllä tai tapauskohtaisen lupaharkinnan kautta. (Naturvårdsverket 2010)

Återvinning av avfall i anläggningsarbeten -ohjeessa ei erikseen määritellä minkälaisten jätemateriaalien hyödyntäminen rakentamisessa on sallittua. Ohjeessa kuitenkin neuvotaan jätemateriaalien hyödyntämistä koskevista ympäristö- ja terveysriskeistä sekä annetaan esimerkkejä niiden arviointia varten. Riskien arviointi perustuu haitallisten ainesten liukoisuuksiin ja pitoisuuksiin sekä näiden mahdollisiin ympäristö- ja terveysvaikutuksiin. Ohjeen mukaan haitta-aineiden liukoisuudet on selvitettävä standardin EN 14405 mukaisella läpivirtaustestillä. Haitallisten ainesten sallitut liukoisuudet ja pitoisuudet ovat yhteiset kaikille jätemateriaaleille, mikä osaltaan on hankaloittanut tiettyjen jätemateriaalien hyödyntämistä.

Van Praagh et al. (2018) tutkivat jätteenpolton kuonan hyödyntämisen ympäristövaikutuksia asfaltoiduissa rakenteissa Ruotsissa. He totesivat, että etenkin liukenevan lyijyn määrälle asetetut tiukat raja-arvot hankaloittavat jätteenpolton kuonan hyödyntämistä uusiomateriaalina. Matinlauri (2016) on samoilla linjoilla Van Praaghin et al. kanssa todeten omassa työssään seuraavasti: ”Ruotsissa jätteenpolton kuonaa on kokeiltu melko vähän [tierakenteissa] johtuen lainsäädännön asettamista rajoitteista”.

Muiden EU:n jäsenvaltioiden tapaan myös Ruotsi on EU:n jätepuitedirektiivin 2008/98/EY velvoittamana julkaissut oman kansallisen jätesuunnitelman vuosille 2018–2023. Suunnitelmassa esitetään taloudellisia, hallinnollisia ja juridisia säätelykeinoja, kuin myös tutkimukseen, informaatio-ohjaukseen sekä yhteiskuntasuunnitteluun liittyviä toimenpiteitä, joiden avulla pyritään vähentämään muodostuvan jätteen kokonaismäärää sekä edistämään materiaalitehokasta ja vaaratonta jätteidenkäsittelyä EU:n jätehierarkian mukaisesti. Suunnitelman pääasiallinen tavoite on jätteiden kokonaismäärän vähentämisessä, ja suunnitelman virallinen nimi on *Att göra mer med mindre: Nationell avfallsplan och avfallsförebyggande program 2018–2023*. (Naturvårdsverket 2017)

Materiaalien uusiokäyttöä on edistetty Ruotsissa myös verotuksen keinoin. Hyvinä esimerkkeinä tästä ovat muun muassa vuonna 1996 voimaan astunut luonnonsoran käyttöä koskeva verotus sekä vuonna 2017 voimaan astunut jätevero. Luonnonsoran käyttöä verotetaan 5 SEK per tonni ja jätteiden sijoittamisesta kaatopaikalle peritään veroa 500 SEK per tonni. Verotuksen vaikutus kiertotalouden näkökulmasta on kuitenkin ollut verrattain vähäistä, sillä esimerkiksi kaivostoiminnan jätteistä valtaosa sijoitetaan edelleen läjitysalueille Ruotsissa ilman sen edistyneempää käsittelyä. (Naturvårdsverket 2017)

3.4 Tanskan ohjauskeinot

Tanskassa jätemateriaalien hyödyntämistä rakentamisen uusiomateriaalina ohjataan ensisijaisesti Ympäristö- ja ruoka-aineministeriön (*Miljø- og Fødevareministeriet*) asetuksella *1672/2016 Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald*, joka astui voimaan 21.12.2016. Asetuksen mukaan jätemateriaalien hyödyntäminen on sallittua tietyillä ehdoilla kenttä-, tie-, rautatie-, pato- ja pengerrakenteissa sekä kaapelikaivannoissa, meluvalleissa, tasoitustöissä ja perustusten ja lattioiden taustatäytöissä. Asetuksen soveltamisalaan sisältyviä materiaaleja ovat muun muassa rakennus- ja purkujätteet, ylijäämämaat sekä teollisuuden ja energiantuotannon jätteet. Hyödynnettäväksi suunnitellut jätemateriaalit jaetaan kolmeen eri kategoriaan asetuksessa ilmoitettujen haitallisten aineiden liukoisuuksien ja kokonaispitoisuuksien perusteella. Kategorioihin 1–3 sisältyvien jätteiden hyödyntäminen on sallittua kunnalliselle viranomaiselle tehtävän ilmoitusmenettelyn kautta. Jos hyödynnettäväksi suunniteltu jätemateriaali ei täytä minkään kategorian ehtoja, sen hyödyntäminen on mahdollista erillisen lupaharkinnan kautta. (BEK nr. 1672/2016)

Käsitelty jätteenpolton kuona luokitellaan käytännössä aina kategoriaan 2 tai 3, mikä osaltaan rajoittaa kuonan mahdollisia käyttökohteita (Blasenbauer et al. 2020). Käsitellyn jätteenpolton kuonan hyödyntäminen infrarakentamisessa on ollut sallittua jo vuodesta 1974 alkaen (Wiles 1996). Asetuksen 1672/2016 liitteen 4 mukaan kategoriaan 2 kuuluvia jätemateriaaleja voidaan käyttää asfaltilla tai muulla päällysteellä peitetyissä rakenteissa siten, että jätekerroksen paksuus on enimmillään 4 metriä, ja etäisyys lähimpään vesistöön on vähintään 300 metriä. Liitteen 5 mukaan kategoriaan 3 sisältyviä jätemateriaaleja voidaan niin ikään käyttää peitetyissä rakenteissa siten, että jätekerroksen enimmäispaksuus on 1 metri. Kategorioihin 2 ja 3 kuuluvien jätemateriaalien hyödyntäminen ei ole sallittua pohjavedenpinnan alapuolella. Jätteenpolton kuonan osalta asetus velvoittaa jätteen tuottajan, eli polttolaitoksen toiminnanharjoittajan erottelemaan ainakin metallipitoisen aineksen raakakuonasta. Tämän jälkeen jätteen tuottaja on vielä velvollinen määrittämään tiettyjen haitta-aineiden kokonaismäärän sekä testaamaan näiden liukoisuudet standardin EN 12457-1 mukaisella ravistelutestillä. Koe kestää 24 tuntia ja se tehdään alle 4 mm kokoiselle fraktiolle käyttäen LS-arvoa 2. (BEK nr. 1672/2016)

Tanska on myös julkaissut oman jätesuunnitelmansa *Danmark uden affald II – udkast til strategi for affaldsforebyggelse*, joka niin ikään keskittyy jätteiden kokonaismäärän vähentämiseen sekä kiertotalouden edistämiseen (EEA 2016). Suunnitelma on julkaistu vuonna 2015 ja se on suunnattu vuosille 2015–2027. Kiertotalouden edistämisen kannalta Tanskassa pyritään suunnitelman mukaan poistamaan uusiomateriaalien käyttöön

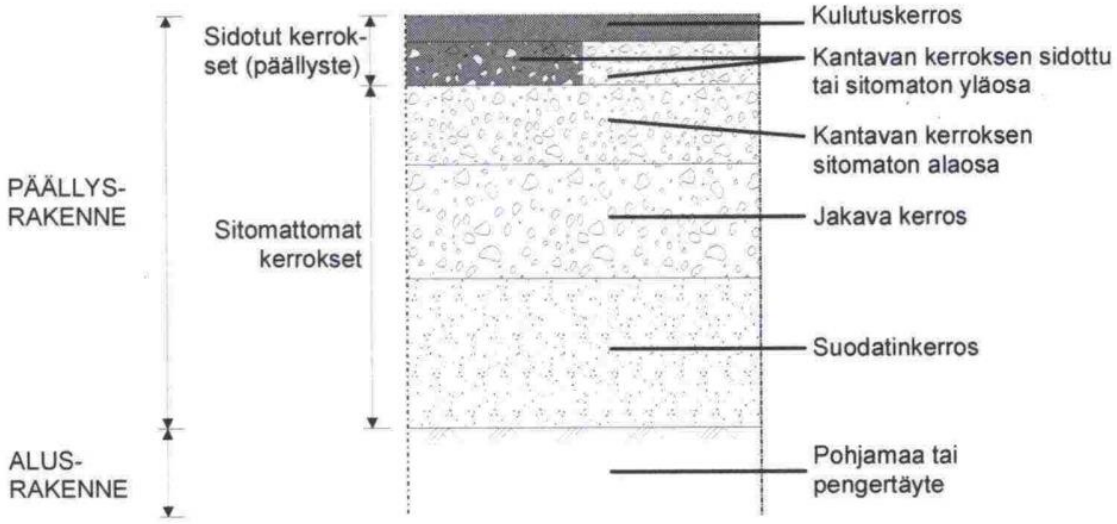
liittyviä juridisia esteitä sekä panostamaan rakennusalaa koskevaan kiertotaloutta käsittelevään informaatio-ohjaukseen.

4. JÄTTEENPOLTON KUONAN POTENTIAALISET KÄYTTÖKOHTEET JA KÄYTÖN RAJOITUKSET

Tässä luvussa keskitytään jätteenpolton kuonan hyödyntämisen mahdollisuuksiin ja rajoituksiin erilaisissa infrarakennetyypeissä. Väylärakenteet ovat jätteenpolton kuonan yleisin käyttökohde, vaikkakin esimerkiksi Tanskassa jätteenpolton kuonan hyödyntäminen on sallittua monissa muissakin rakenteissa. Rakeisen koostumuksen sekä hyvien tiivistymis- ja lämmönjohtavuusominaisuuksien vuoksi jätteenpolton kuona soveltuu käytettäväksi erilaisissa infrarakenteissa.

4.1 Väylärakenteet

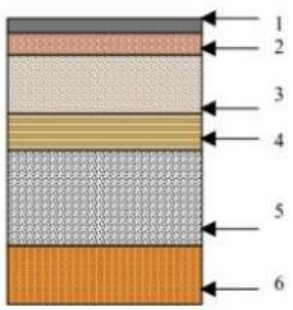
Käsiteltyä jätteenpolton kuonaa on tyypillisesti hyödynnetty väylärakenteiden sitomattomissa kerroksissa, mutta kuonan hyödyntämistä on tutkittu myös väylärakenteiden sidotuissa kerroksissa. Tässä alaluvussa esitellään muutamia kohteita, joissa jätteenpolton kuonaa on hyödynnetty yhdessä tai useammassa väylärakenteen sitomattomassa rakennekerroksessa. Esiteltävät kohteet sijaitsevat Ruotsissa ja Suomessa. Kuvassa 5 esitetään tavanomaisen joustavan tierakenteen rakennekerrokset.



Kuva 5: *Tierakenteen eri kerrokset (Belt et al. 2002).*

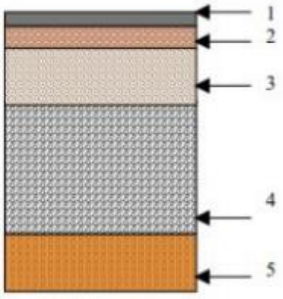
Ruotsissa jätteenpolton kuonaa on kokeiltu vuonna 1987 valmistuneessa Vändöran koetiessä Linköpingin kaupungissa. Koetien kokonaispituus on noin 160 m ja leveys 7,5 m. Koetieosuus koostuu yhteensä viidestä osasta, joista kunkin pituus on noin 30 m. Koetien ensimmäiset neljä osaa on osittain rakennettu uusiomateriaaleista. Koetien viides

osuus on rakennettu luonnonmateriaaleista. Viimeinen tieosuus toimi uusiomateriaaleista rakennettujen tieosuuksien vertailurakenteena. Jätteenpolton kuonaa (*Slaggrus*) on käytetty tien kolmannen ja neljännen osan jakavissa kerroksissa (*Förstärkningslager*), kuten kuvasta 6 nähdään. Koetien kantava kerros on rakennettu sorasta ja lopuksi rakenne on päällystetty asfaltilla. (Bendz et al. 2006)



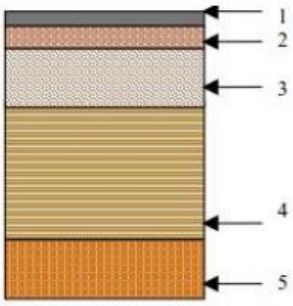
Sträcka 3

Nr	Benämning	Material	cm
1	Slitlager	80 MAB12T	3
2	Bärlager	110 AG 25	5
3	Bärlager	Bärlagergrus	15
4	Först.lager	Först.lager A-mtrl	10
5	Först.lager	Slaggrus	32
6		Sand	15



Sträcka 4

Nr	Benämning	Material	cm
1	Slitlager	80 MAB12T	3
2	Bärlager	110 AG 25	5
3	Bärlager	Bärlagergrus	15
4	Först.lager	Slaggrus	42
5		Sand	15



Sträcka 5

Nr	Material	Benämning	cm
1	Slitlager	80 MAB12T	3
2	Bärlager	110 AG 25	5
3	Bärlager	Bärlagergrus	15
4	Först.lager	Först.lager, A-mtrl	42
5		Sand	15

Kuva 6: *Vändöran koetien osuudet 3, 4 ja 5 (Matinlauri 2016, katso Bendz et al. 2006).*

Koetien ominaisuuksia, kuten kantavuutta ja kulumista on tutkittu eri vuosina sen valmistumisen jälkeen. Vuonna 2003 Bendz et al. (2006) jatkoivat koetien ominaisuuksien tutkimista ja kokosivat samalla yhteen aiempina vuosina tehtyjen kokeiden havaintoja. Kyseisen tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuonan ikääntymisen vaikutuksia haittaaineiden liukoisuuteen ja kuonarakenteen geoteknisiin ominaisuuksiin.

Kuonarakenteen kantavuuden kehitystä tutkittiin pudotuspainolaitteella vuosina 1987, 1988, 1999 ja 2003. Kantavuuden havaittiin kasvaneen ensimmäisen 10 vuoden aikana rakentamisen jälkeen. Tämän on arveltu johtuneen siitä, että rakenteissa käytettyä kuonaa oli varastoitu vain pari kuukautta ennen tien rakennustöiden aloittamista. Lisäksi havaittiin, että jätteenpolton kuonasta rakennettujen jakavien kerrosten kantavuus jäi pienemmäksi kuin luonnonmateriaaleista rakennetussa vertailurakenteessa. (Bendz et al. 2006)

Suomessa jätteenpolton kuonaa on tähän mennessä käytetty melko vähän väylärakenteissa. Seinäjoelle ja Hausjärvelle on kuitenkin rakennettu koeteitä, joissa seurataan jätteenpolton kuonan pitkäaikaistoimivuutta. Kuvassa 7 esitellään Hausjärven koetierakennetta.

Seinäjoella jätteenpolton kuonaa käytettiin valtatietä 19 sivuavan kevyen liikenteen väylän jakavassa kerroksessa. Kuonarakenteen kerrospaksuus oli 0,7 m, ja kokonaisuudessaan kohteessa käytettiin 1900 tonnia kuonaa. Kohde rakennettiin vuoden 2015 aikana ja päällystettiin vuonna 2016. Tämän jälkeen kohteessa on tehty kantavuusmittauksia sekä roudan seurantamittauksia. Koska hanke toteutettiin ennen MARA-asetuksen 843/2017 voimaanastumista, jätteenpolton kuonan hyödyntäminen hankkeessa vaati ympäristölupaa ja ympäristöntarkkailusuunnitelmaa. (Harju et al. 2019) Koetien routimista tutkittiin lokakuun 2016 ja toukokuun 2017 välisenä aikana. Mittaukset tehtiin 14 kuonarakenteeseen merkityssä mittauspisteessä sekä 10 mittauspisteessä, jotka sijaitsivat luonnonkiviaineksesta rakennetussa referenssirakenteessa. Kuonarakenteessa havaittu routanousu oli noin 40 mm luokkaa. (Sormunen 2017)

Kuva 7: *Hausjärven koetierakenne elokuussa 2020. (Kuva: Ville Orkola)*

Hausjärven koetiessä jätteenpolton kuonaa käytettiin sekä tien suodatinkerroksessa että jakavassa kerroksessa yhteensä noin 900 tonnia. Kuonarakenteen kokonaiskerrospaksuus oli 0,7 m, josta suodatinkerroksen osuus oli 0,3 m ja jakavan kerroksen 0,4 m. Jakavan kerroksen päälle rakennettiin 0,25 m paksuinen kantava kerros, jossa käytettiin 0/32 mm kokoista kalliomursketta. Lopuksi rakenne päällystettiin 50 mm paksuisella AB 16 asfalttibetonilla. Koetie rakennettiin pohjamaan päälle ilman alustavaa pengertäyttöä. Koetien rakentaminen aloitettiin elokuussa 2020 ja sen on tarkoitus valmistua lokakuun

2020 aikana. Kohteen valmistumisen jälkeen rakenteen kantavuutta mitataan vuosittain raskaalla pudotuspainolaitteella. Rakenteen routanousua vaaitaan talvisin tienpinnan korkeusaseman muuttumisen seuraamiseksi ja samalla seurataan rakenteen lämpötilan muutoksia. Tarkoituksena on myös tutkia jätemateriaalin hienontumista rakenteeseen asennettujen hienonemissäkkien avulla. (Sormunen 2020)

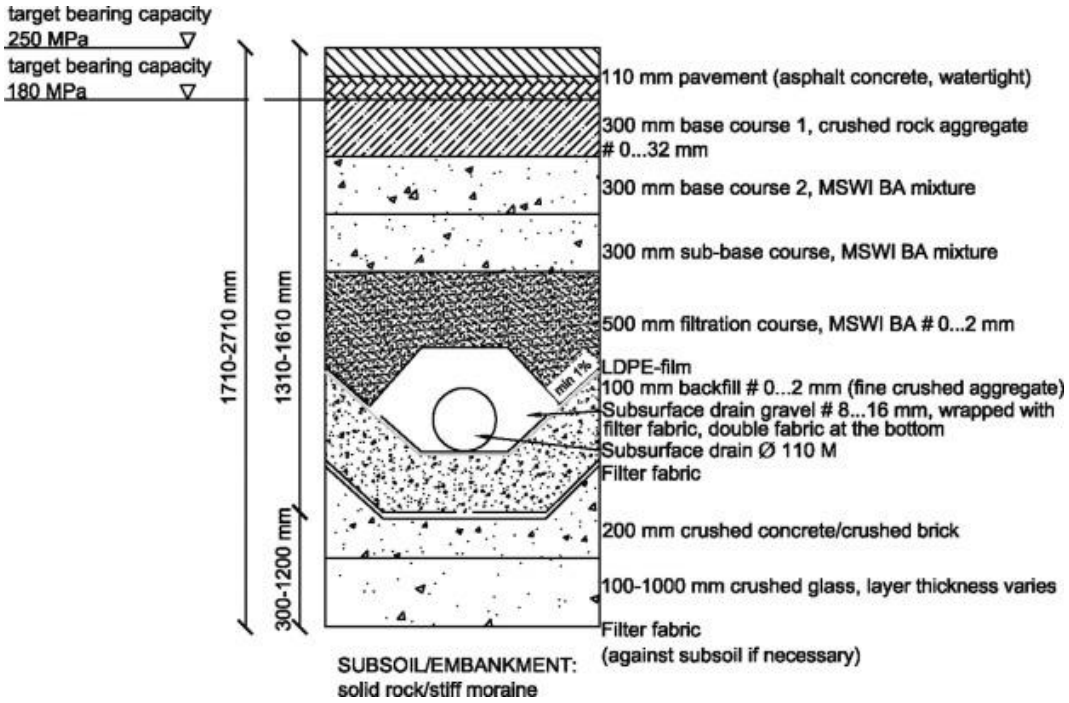
4.2 Kenttä- ja muut infrarakenteet

Tanskassa aloitettiin vuonna 2002 laaja koe, jossa testattiin jätteenpolton kuonan ympäristökelpoisuutta tie- ja kenttärakenteiden jakavassa kerroksessa. Hanketta varten rakennettiin kuusi erillistä koerakennetta, joista tutkittiin rakenteen läpi suotautuvan sadeveden virtausta, laatua ja määrää. Kuonarakenteiden paksuudet vaihtelivat 0,5–0,7 m välillä ja pinta-alat 100–200m^2 välillä. Yksi rakenne päällystettiin asfaltilla, toinen kivilaatoilla ja loput soralla. Yhtä sorapintaista rakennetta lukuun ottamatta kaikkien kuonarakenteiden alle rakennettiin erillinen kuivatuskerros hiekasta. Kuivatuskerrosten alle asennettiin LDPE-muovikalvot rakenteiden läpi kulkeutuvan suotoveden keräämisen helpottamiseksi. (Hjelmar et al. 2007)

Kokeen yhtenä päämääränä oli tutkia päällysteen läpäisevyyden vaikutusta veden suotautumiseen rakenteen läpi. Suotovesinäytteistä tehtyjen kemiallisten analyysien perusteella rakenteissa käytetyt kuonamassat luokiteltiin tanskalaisen kategorian 3 mukaisiksi jätemateriaaleiksi. Kupari ja kromi osoittautuivat tutkimuksissa ongelmallisiksi aineiksi, sillä näiden alkuaineiden kokonaisliukoisuudet estivät kuonien luokittelun kategorian 2 mukaisiksi jätteiksi. Tutkimuksessa havaittiin myös, että haitta-aineiden liukoisuus oli huomattavasti vähäisempää asfaltoidussa rakenteessa soralla päällystettyihin rakenteisiin verrattuna. (Hjelmar et al. 2007)

Suomessa käsiteltyä jätteenpolton kuonaa on hyödynnetty Ilmajoella sijaitsevan jätteenkäsittelylaitoksen varastokentän päällysrakenteissa. Kuten kuvasta 8 nähdään, jätteenpolton kuonaa käytettiin sitomattomana materiaalina kohteen jakavassa kerroksessa, suodatinkerroksessa sekä kantavan kerroksen alaosassa. Raakakuona jaettiin erikokoisiin fraktioihin, jotka vastaavat kyseisissä rakennekerroksissa käytettävälle luonnonkiviainekselle asetettuja ohjeellisia rakeisuusvaatimuksia. Käytetyt kerrospaksuudet olivat 0,5 m suodatinkerroksessa ja 0,3 m sekä jakavassa kerroksessa että kantavan kerroksen alaosassa, eli kuonarakenteen paksuus oli yhteensä 1,1 m. Rakenteesta tutkittiin alaluvussa 2.5 käsiteltyjen ominaisuuksien lisäksi rakenteen tiiviysastetta ja kokonaisjäykkyyden eli rakenteen kantavuuden kehitystä kentän rakentamisen aikana ja puoli vuotta rakentamisen jälkeen. (Sormunen & Kolisoja 2017)

Kuonarakennekerrosten saavutetut keskimääräiset tiiviysasteet olivat pari prosenttiyksikköä tavoiteltua pienempiä. Jakavan kerroksen kuonarakenteen kantavuuden havaittiin kasvaneen rakentamisen jälkeen. Suodatinkerroksen kantavuudessa havaittiin pientä heikkenemistä. Rakenteen jakavalle kerrokselle sekä kantavan kerroksen alaosalle asetetut laboratoriotesteihin perustuneet kantavuustavoitteet eivät täyttyneet. Tämän arvellaan johtuneen siitä, että kerroksille asetetut kantavuustavoitteet olivat ylimitoitettuja. Siitä huolimatta jakavan kerroksen ja kantavan kerroksen alaosan yläpinnoilta mitatut kantavuuden arvot täyttivät suomalaisen ohjeistuksen mukaiset, valtateiden sitomattomille rakennekerroksille asetut minimikantavuustavoitteet. Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella ADR-menetelmällä käsitelty jätteenpolton kuona soveltuu käytettäväksi väylä- ja kenttärakenteiden suodatinkerroksessa ja jakavassa kerroksessa, mutta ei kantavassa kerroksessa. (Sormunen & Kolisoja 2017)



Kuva 8: *Varastokentän rakennekerrokset (Sormunen & Kolisoja 2017).*

Jätteenpolton kuonaa ja eräitä muita uusiomateriaaleja on hyödynnetty Haminan ja Vaalimaan välisen E18 -tien meluvalleissa (Harju et al. 2019). Työn kirjoitushetkellä tästä ei ollut saatavilla tarkempaa tietoa. On kuitenkin huomioitava, että jätteenpolton kuonan hyödyntäminen meluvalleissa ei kuulu MARA-asetuksen 843/2017 soveltamisalaan, joten kuonan käyttö meluvalleissa edellyttää ympäristölupaa (Vna 843/2017).

4.3 Kuonan käyttöä rajoittavat tekijät

Jätteenpolton kuonan hyödyntämiseen liittyvät rajoitukset ovat suurilta osin juridisia tai kuonan ominaisuuksiin liittyviä. Juridisia rajoitteita tarkasteltiin luvussa 3 kohdemaiden ja EU:n tasolla, joten niihin ei perehdytä tässä alaluvussa.

Räsänen (2018) haastatteli opinnäytetyössään useita yksityisellä ja julkisella sektorilla toimivia rakennuttajia. Rakennuttajien suhtautuminen uusiomateriaaleja kohtaan on yleensä varsin vastaanottavaista ja avomielistä. Esimerkiksi Seinäjoen koetien rakentamisesta vastanneen urakoitsijan kokemusten perusteella kuona oli rakennettavuutensa kannalta samankaltaista kuin tavallinen kiviainesmurske (Harju et al. 2019). Räsäsen (2018) mukaan jätteenpolton kuona vaikuttaa kuitenkin olevan vielä vähän tunnettu uusiomateriaali. Kuonarakenteiden mahdolliset korjaustyöt sekä valmiiden hankkeiden pitkät takuuajat vähentävät rakennuttajien kiinnostusta kuonaa kohtaan. Tämän vuoksi kuonan pitkäaikaisesta toimivuudesta infrarakenteissa tarvitaan lisää kokemusperäistä tietoa ja tutkimusta.

Saatavuus on myös eräs kuonan hyödyntämistä rajoittava tekijä. Luonnon maa-aineksiin verrattuna jätteenpolton kuonaa on saatavilla huomattavasti vähemmän kuonan rajallisen muodostumisen vuoksi. Lisäksi kuonan saatavuus painottuu vahvasti alueille, joissa jätteenpolttolaitokset sijaitsevat. Huono alueellinen saatavuus kasvattaa kuonan kuljetuskustannuksia ja näin ollen heikentää merkittävästi sen kilpailukykyä luonnonkiviaineksiin verrattuna.

Jätteenpolton kuona ei ole teknisiltä ominaisuuksiltaan täysin verrattavissa luonnonkiviainekseen. Esimerkiksi kohtalaisen heikko kulumiskestävyys rajoittaa materiaalin hyödyntämistä tietyissä rakenteissa. Kuten alaluvussa 2.4 todettiin, haitallisten aineiden liukoisuusominaisuudet voivat myös olla esteenä kuonan hyödyntämiselle.

5. YHTEENVETO

Jätteenpolton kuona on yhdyskuntajätteen polton seurauksena polttokattilan pohjalle muodostuvaa palamatonta materiaalia, jonka kemialliset ja tekniset ominaisuudet ovat riippuvaisia useista eri tekijöistä, kuten luvussa 2 mainittiin. Yleisesti ottaen jätteenpolton kuona on harmaata ja huokoista materiaalia, joka on rakeisuudeltaan verrattavissa hiekkaan ja soraan. Kuonan lopullisiin ominaisuuksiin vaikuttavat niin poltettavan jätteen koostumus, käytettävä polttotekniikka kuin myös käytettävät käsittelymenetelmätkin. Kuonan käsittelyn tarkoituksena on metallipitoisten jakeiden talteenotto sekä kuonan ympäristökelpoisuuden että teknisten ominaisuuksien parantaminen. Kehittyvien käsittelytekniikoiden myötä kuonan ympäristökelpoisuutta ja rakennusteknisiä ominaisuuksia voidaan parantaa entisestään. Parhaassa tapauksessa myös arvokkaiden jakeiden talteenoton tehokkuus kasvaa samalla.

Heterogeenisen koostumuksensa vuoksi jätteenpolton kuona sisältää useita erilaisia alkuaineita ja yhdisteitä. Suolat, sulfaatit ja raskasmetallit ovat liukoisuusominaisuuksiensa takia ongelmallisia alkuaineita ja yhdisteitä, jotka saattavat rajoittaa kuonan hyödyntämistä uusiomateriaalina. Pitkäaikaisella kuonan varastoinnilla, pesemisellä ja hienoaineksen poistamisella voidaan parantaa kuonan ympäristökelpoisuutta, sillä näiden toimenpiteiden on todettu vähentävän haitta-aineiden liukoisuutta.

Teknisiltä ominaisuuksiltaan käsitelty jätteenpolton kuona on luonnonkiviainesta muistuttavaa materiaalia. Lukuisten tutkimusten perusteella kuonan on todettu soveltuvan käytettäväksi muun muassa kenttä- ja väylärakenteiden alemmissa rakennekerroksissa. Kuona ei kuitenkaan vastaa luonnonkiviainesta kaikilta ominaisuuksiltaan, minkä vuoksi luonnonkiviaineksen täysimääräinen korvaaminen jätteenpolton kuonalla infrarakenteissa ei ole mahdollista. Kulumiskestävyys- ja kuormituskokeissa sekä haitta-aineiden liukoisuustesteissä saadut tulokset selittävät edellä mainitun väitteen.

Käsitellyn jätteenpolton kuonan hyödyntämisen ohjauskeinoissa on suurta vaihtelua eri maiden välillä. EU:n tasolla ei ole olemassa yhtenäisiä ohjauskeinoja uusiomateriaalien hyödyntämisen suhteen, joiden avulla eri jäsenvaltioiden välisiä toimintamalleja pyrittäisiin yhdenmukaistamaan. EU kuitenkin säätelee jäsenvaltioissa harjoitettavaa jätteenpolttoa ja ohjaa jäsenvaltioiden jätehuollon suunnittelua yhteisillä direktiiveillä. Jätepuitedirektiivillä 2008/98/EY EU velvoittaa jokaista jäsenvaltiota vähentämään muodostuvan jätteen kokonaismäärää ja haitallisuutta ihmisille ja ympäristölle sekä edistämään

kiertotalouden harjoittamista. Jokainen jäsenvaltio on itse vastuussa jätepuitedirektiivissä 2008/98/EY esitettyjen kiertotalous- ja ympäristötavoitteiden saavuttamisesta.

Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa sovellettavissa uusiomateriaalien hyödyntämisen ohjauskeinoissa on yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia. Kaikki maat ovat laatineet omat kansalliset jätesuunnitelmansa, jotka tähtäävät jätteiden kokonaismäärän ja haitallisuuden vähentämiseen sekä kiertotalouden edistämiseen. Tavoitteiden saavuttamiseksi suunnitellut toimenpiteet eroavat jonkin verran toisistaan. Suomessa ja Tanskassa uusiomateriaalien hyödyntäminen infrarakentamisessa on lainsäädännön mukaan tietyin ehdoin mahdollista valvovalle viranomaiselle tehtävällä ilmoitusmenettelyllä. Ruotsissa jätemateriaalien hyödyntäminen on myös mahdollista ilmoitusmenettelyllä, mutta asiasta ei ole olemassa erillistä lainsäädäntöä.

Käsitellyn jätteenpolton kuonan käytön rajoitukset liittyvät pitkälti lainsäädäntöön tai kuonan ominaisuuksiin. Yleinen poliittinen ja taloudellinen tahtotila sekä suhtautuminen uusiomateriaaleihin neitseellisten raaka-aineiden korvaajina vaikuttavat kuonan hyödyntämiseen enemmän kuin sen käyttöä edistävä selkeä ja kattava ohjeistus. Tämä ilmiö on havaittavissa joka puolella Eurooppaa. Pinta-alaltaan pienet valtiot, kuten Alankomaat ja Tanska, ovat jo pidemmän aikaa hyödyntäneet jätteenpolton kuonaa rakentamisen uusiomateriaalina, mikä osittain selittyy luonnonvarojen vähäisillä määrillä. Tällaisissa tapauksissa luonnollisten rajoitteiden voidaan todeta toimineen vahvana ajurina uusiomateriaalien hyödyntämisen kannalta. Samaan aikaan useissa toisissa maissa, kuten Ruotsissa ja Suomessa, jätteenpolton kuonan kokonaisvaltaisempi hyödyntäminen uusiomateriaalina on vielä lapsenkengissään. Suomessa jätteenpolton kuonan hyödyntäminen on vielä melko uusi ja sen vuoksi tuntematon asia, johon liittyen kaivataan lisää tutkimuksia niin laboratorio- kuin myös kenttäolosuhteista. Toisaalta kuonan tuottajat vaikuttavat olevan kiinnostuneita kuonan uusiokäytön mahdollisuuksista. Ruotsissa taas materiaalin soveltuvuutta infrarakenteisiin on tutkittu jo 1980-luvun lopulta alkaen, mutta siitä huolimatta lainsäädäntö on edelleen ongelmallinen kuonan hyödyntämistä ajatellen. Eri maiden väliset erot jätteenpolton kuonan hyödyntämisessä selittyvät myös yhtenäisten ohjauskeinojen puuttumisella EU:n tasolla.

Tulevaisuudessa uusiomateriaalien hyödyntäminen infrarakentamisessa lisääntynee reippaasti. Kasvava huoli käyttökelpoisten pohjavesialueiden tilasta ja määrästä sekä tarve kehittää ekologisesti ja taloudellisesti kestäviä ratkaisuja erilaisten sivutuotteiden ja jätteiden hyödyntämiseksi ovat eräitä tekijöitä, jotka tulevat edistämään uusiomateriaalien käyttöä rakentamisessa. Kuten aiemmin jo todettiin, jätteenpolton kuona soveltuu käytettäväksi monenlaisissa infrarakenteissa. Toisaalta EU:n jäsenvaltioita velvoitta-

vassa jätepuitedirektiivissä 2008/98/EY esitetyn jätehuollon suunnittelun ensisijaisuusjärjestyksen mukaan jätteiden hyödyntäminen energiana on jätteenkäsittelyn menetelmä, jota nimenomaan pitäisi vähentää. Sen sijaan jätehuollon painopiste tulisi siirtää jätteiden muodostumisen ehkäisemiseen ja kierrätykseen, mikä lopulta heijastuu jätteenpolton kuonan tuotantoon.

LÄHTEET

Astrup, T. (2007), Pretreatment and utilization of waste incineration bottom ashes: Danish experiences, Waste Management, Volume 27, Issue 10, pp. 1452–1457.

Astrup, T., Muntoni, A., Polettini, A., van Gerven, T. & van Zomeren, A. (2016), Treatment and reuse of incineration bottom ash, Environmental Materials and Waste – Resource Recovery and Pollution Prevention, pp. 608–645.

Belt, J., Lämsä, V.P., Savolainen, S. & Ehrola, E. (2002), Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto, Tiehallinnon selvityksiä 15/2002, Tiehallinto, saatavissa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139074/4276tie.pdf?sequence=1

Blasenhauer, D., Huber, F., Lederer, J., Quina, M.J., Blanc-Biscarat, D., Bogush, A., Bontempi, E., Blondeau, J., Chimenos, J.M., Dahlbo, H., Fagerqvist, J., Giro-Paloma, J., Hjelmar, O., Hyks, J., Keaney, J., Lupsea-Toader, M., O'Caollai, C.J., Orupõld, K., Pająk, T., Simon, F-G., Svekova, L., Šyc, M., Ulvang, R., Vaajasaari, K., Van Caneghem, J., van Zomeren, A., Vasarevičius, S., Wégner, K. & Fellner, J. (2020), Legal situation and current practice of waste incineration bottom ash utilisation in Europe, Waste Management, Volume 102, pp. 868–883.

BEK nr 1672 af 15/12/2016. Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- oganlægsaffald, Tanska, saatavissa https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2016/1672

Bendz, D., Arm, M., Flyhammar, P., Westberg, G., Sjöstrand, K., Lyth, M. & Wik, O. (2006), Projekt Vändöra: En studie av långtidsegenskaper hos en väg anlagd med bottenaska från avfallsförbränning, Miljöriktig användning av askor 964, Värmeforsk.

Bottom ash factsheet (2017), Confederation of European waste-to-energy plants, saatavissa https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/FINAL-Bottom-Ash-factsheet.pdf

Chandler, A., Eighmy, T., Hjelmar, O., Kosson, D., Sawell, S., Vehlow, J., van der Sloot, H. & Hartlén, J. (1997), Municipal solid waste incinerator residues, Studies in Environmental Science 67, Elsevier Science B.V., Amsterdam.

Chimenos, J.M., Segarra, M., Fernández, M.A. & Espiell, F. (1999), Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator, Journal of Hazardous Materials, Volume 64, Issue 3, pp. 211–222.

EK (2014), Euroopan komission päätös (EU) N:o 955/2014 jäteluettelosta annetun päätöksen 2000/532/EY muuttamisesta Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY mukaisesti, Euroopan unionin virallinen lehti L 370/44, saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014D0955

Euroopan komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle COM (2017) 34 final: Energian hyödyntäminen kiertotaloudessa (2017), saatavissa https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/FI/COM-2017-34-F1-FI-MAIN-PART-1.PDF

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY, annettu 19 päivänä marraskuuta 2008, jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti), Euroopan unionin virallinen lehti L 312/3, saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32008L0098

Harju, I., Dettenborn, T., Forsman, J., Jyrävä, H. & Lahtinen, P. (2019), Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa, Väyläviraston tutkimuksia 7/2019, Väylävirasto.

Hjelmar, O., Holm, J. & Crillesen, K. (2007), Utilisation of MSWI bottom ash as sub-base in road construction: First results from a large-scale test site, Journal of Hazardous Materials, Volume 139, Issue 3, pp. 471–480

Holm, O. & Simon, F-G. (2017), Innovative treatment trains of bottom ash (BA) from municipal solid waste incineration (MSWI) in Germany, Waste Management, Volume 59, pp. 229–236.

Huber, F., Blasenbauer, D., Aschenbrenner, P. & Fellner, J. (2020), Complete determination of the material composition of municipal solid waste incineration bottom ash, Waste Management, Volume 102, pp. 677–685.

Jäteverolaki 17.12.2010/1126, saatavissa https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126

Kuula, P. (2015), Tien ja radan sitomattomissa rakennekerroksissa käytettävien kiviainesten lujuuden ja hienontumisen tutkiminen, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 68/2015, Liikennevirasto.

Laaksonen, J., Salmenperä, H., Stén, S., Dahlbo, H., Merilehto, K. & Sahimaa, O. (2018), Kierrätyksestä kiertotalouteen - Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023, Suomen ympäristö 1/2018, Ympäristöministeriö, saatavissa http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160441/SY_01_18_FI_Kierratyksesta_kiertotalouteen.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Laine-Ylijoki, J., Mroueh, U.M., Vahanne, P., Wahlström, M., Vestola, E., Salonen, S. & Havukainen, J. (2005), Yhdyskuntajätteiden termisen käsittelyn kuonista ja tuhkista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita, Kansainvälinen esiselvitys, VTT Tiedotteita – Research Notes 2291, VTT.

Lamers, F. (2015), Treatment of Bottom Ashes of Waste-to-Energy Installations – State of the Art, Waste Management, Volume 5, pp. 271–290.

Matinlauri, S. (2016), Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen, Tampereen teknillinen yliopisto.

Naturvårdsverket (2010), Återvinning av avfall i anläggningsarbeten – Handbok, saatavissa http://www.naturvardsverket.se/978-91-620-0164-3

Naturvårdsverket (2017), Att göra mer med mindre: Nationell avfallsplan och avfallsförebyggande program 2018–2023.

Overview of national waste prevention programmes in Europe: Denmark (2016), Waste prevention programme, European Environment Agency, saatavissa https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-prevention/countries/denmark-fact-sheet-waste-prevention-oct2016

RTS Rakennustietosäätiö (2010), Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 Väylät ja alueet, Rakennustieto Oy.

Räsänen, I. (2018), Jätteenpolton pohjakuonat ja niiden hyödyntäminen infrarakentamisessa, Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.

SFS (2020), SFS-EN 1097-2 Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määritysmenetelmät.

Sormunen, L.A. & Rantsi, R. (2015), To fractionate municipal solid waste incineration bottom ash: Key for utilisation?, Waste Management & Research, Volume 33, pp. 995–1004.

Sormunen, L.A. & Kolisoja, P. (2016), Mechanical properties of recovered municipal solid waste incineration bottom ash: the influence of ageing and changes in moisture content, Road Materials and Pavement Design, Volume 19, Issue 2, pp. 252–270.

Sormunen, L.A., Kalliainen, A., Kolisoja, P. & Rantsi, R. (2016), Combining Mineral Fractions os Recovered MSWI Bottom Ash: Improvement for Utilization in Civil Engineering Structures, Waste and Biomass Valorization 8, pp. 1467–1478.

Sormunen, L.A. & Kolisoja, P. (2017), Construction of an interim storage field using recovered municipal solid waste incineration bottom ash: Field performance study, Waste Management, Volume 64, pp. 107–116.

Sormunen, A. (2017), Jätteenpolton pohjakuona: Ohje materiaalin hyödyntämiseen maarakentamisessa, Suomen Erityisjäte Oy.

Sormunen, A. (2020), sähköpostikeskustelu.

Šyc, M., Krausová, A., Kameníková, P., Šomplák, R., Pavlas, M., Zach, B., Pohřelý, M., Svoboda, K. & Punčochár, M. (2018a), Material analysis of Bottom ash from waste-to-energy plants, Waste Management, Volume 73, pp. 360–366.

Šyc, M., Simon, F.G, Biganzoli, L., Grosso, M. & Hyks, J. (2018b), Resource recovery from incineration Bottom ash: basics, concepts principles O. Holm, E. Thomé-Kozmiensky (Eds.), Removal, Treatment and Utilisation of Waste Incineration Bottom Ash, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH (2018), pp. 1–10.

Šyc, M., Simon, F.G., Hykš, J., Braga, R., Biganzoli, L., Costa, G., Funari, V. & Grosso, M. (2020), Metal recovery from incineration bottom ash: State-of-the-art and recent developments, Journal of Hazardous Materials, Volume 393, pp. 1–17.

Tilastokeskus (2020), Yhdyskuntajätteet Suomessa käsittelytavoittain 1997–2018, saatavissa (9.6.2020) http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ymp__jate/statfin_jate_pxt_001.px/table/tableViewLayout1/

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, Vna 28.6.2006/591, saatavissa https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, Vna 7.12.2017/843, saatavissa https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843#Pidp446239072

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista, Vna 331/2013, saatavissa https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331

Van Praagh, M., Johansson, M., Fagerqvist, J., Grönholm, R., Hansson, N., Svensson, H. (2018), Recycling on MSWI-bottom ash in paved constructions in Sweden – A risk assessment, Waste Management, Volume 79, pp. 428–434.

Wiles, C. (1996), Municipal solid waste combustion ash: State-of-the-knowledge, Journal of Hazardous Materials, Volume 47, Issue 1–3, pp. 325–344.