

# **JÄTTEENPOLTON POHJAKUONAN TEKNINEN SOVELTUVUUS TIERAKENTEESSA**

Kuonan hyötykäyttö valtakunnallisissa tierakennushankkeissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Syksy 2021

Tuomas Piepponen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

**Tekijä** Tuomas Piepponen

**Työn nimi** Jätteenpolton pohjakuonan tekninen soveltuvuus tierakenteessa

**Ohjaajat** Jari Mustonen (HAMK), Annika Sormunen (Fortum)

Tiivistelmä

**Vuosi 2021**

---

Opinnäytetyön toimeksiantaja Fortum Waste Solutions Oy (Fortum) valmistaa Riihimäen jätevoimaloiden ja asiakasyritystensä jätteenpolton pohjakuonasta kuonatoratuotteita maaja tierakenteisiin. Pohjakuonan kaatopaikkasijoittamisesta ollaan siirretty hyötykäyttämiseen ensin kaatopaikkarakentamisen osalta ja viime vuosina tierakentamisen kohteissa. Uusiomateriaalin tulee ominaisuuksiensa puolesta vastata tierakenteiden teknisiin ja ympäristövaatimuksiin.

Opinnäytetyö tehtiin edistämään Fortumin kierrätys- ja jäteliiketoimintaan liittyvää jätteenpolton pohjakuonan hyötykäyttöä tierakentamisessa. Työssä on keskeistä pohjakuonasta jalostettujen suodatin- ja jakavan kerroksen kuonatoratuotteiden yleisen tekninen soveltuvuuden osoittaminen valtakunnallisiin tihankkeisiin ja siihen liittyvän arviointipyyntöön laatiminen Väylävirastolle.

Fortumin uusiomateriaalien kehitys on jatkuvaa, joten tässä opinnäytetyössä esitettyyn arviointipyyntöön liittyvät kokemukset antavat hyvät lähtökohdat myös tulevien arviointimenettelyjen osalta.

**Avainsanat** Kiertotalous, tierakentaminen, jätteenpolto pohjakuona, hyötykäyttö, tekninen soveltuvuus

**Sivut** 50 sivua

Construction and Civil Engineering, Bachelor of Engineering

Abstract

**Author** Tuomas Piepponen

**Year** 2021

**Subject** Technical Applicability of Municipal Waste Incineration Bottom Ash in Road Structures

**Supervisors** Jari Mustonen (HAMK), Annika Sormunen (Fortum)

---

Fortum Waste Solutions Oy (Fortum), the commissioner of this thesis, manufactures aggregate-like products for earth and road construction from the recovered bottom ash of Fortum's and its customers waste-to-energy plants. Fortum has progressed from landfilling to the utilization of recovered municipal solid waste incineration bottom ash (MSWI BA) in landfill area construction and lately on road construction sites. Applicability is evaluated by the recovered material's technical and environmental properties and the corresponding requirements of the road construction layers.

This thesis was conducted to further Fortum's recycling and waste business and the utilization of recovered MSWI BA in road construction. An essential part of the study is the technical applicability of the aggregate-like recovered MSWI BA products for the state-owned roads filtration and sub-base layers and the Finnish Transport Infrastructure Agency's evaluation process that is associated with it.

Fortum is constantly developing recovered materials and therefore this thesis provides a good basis for future evaluation processes.

**Keywords** Circular economy, road construction, MSWI BA, municipal solid waste incineration bottom ash, utilization, technical applicability

**Pages** 50 pages

## Sisälllys

1	Johdanto .....	1
2	Jätteenpolton pohjakuonan markkinan kehittyminen.....	3
2.1	Kohti globaalia kiertotalousmarkkinaa .....	3
2.2	Yhdyskuntajätteen arinapolton kehittyminen.....	4
2.3	Pohjakuonan määrän kehittyminen .....	5
3	Pohjakuonan hyötykäyttö .....	8
3.1	Pohjakuonan käsittely hyötykäyttöön soveltuvaksi .....	8
3.1.1	Pohjakuonan soveltuvuus hyötykäyttöön.....	8
3.1.2	Pohjakuonan jalostus maa- ja tierakentamiseen.....	9
3.2	Pohjakuonan hyötykäyttö tiehankkeissa .....	10
3.2.1	Hyötykäyttö Suomessa ja Euroopassa .....	11
3.2.2	Hyötykäyttö väylähankkeissa .....	12
3.2.3	Hyötykäyttökohteena tien rakennekerrokset.....	13
3.2.4	Fortumin koerakentaminen jätteenpolton pohjakuonalla .....	14
3.3	Pohjakuonan hyötykäyttöön liittyvät vaatimukset.....	16
3.3.1	Lainsäädännöllä tavoitellaan toimivia ja haitattomia tierakenteita ..	16
3.3.2	Hyötykäytön lupa- ja ilmoitusmenettelyt .....	18
3.3.3	Lupa- ja ilmoitusmenettelyiden raja-arvot .....	19
3.3.4	Kuormituskestävyyteen liittyvät vaatimukset .....	21
4	Kuonatoratuotteiden yleisen teknisen soveltuvuuden arviointi .....	26
4.1	Väyläviraston arviointimenettely.....	26
4.2	Arviointipyynnön tavoitesisältö .....	28
4.2.1	Uusiomateriaalin laadun ja laadunhallinnan esittäminen .....	29
4.2.2	Uusiomateriaalin teknisen soveltuvuuden esittäminen .....	30
4.3	Arviointipyynnön laatiminen ja sisältö .....	32
4.3.1	Kuonatoratuotteiden tuotannon laadunvarmistus .....	33
4.3.2	Kuonatoratuotteiden jalostus ja koostumus .....	33
4.3.3	Kuonatoratuotteiden käyttökokemukset .....	34
4.3.4	Kuonatoratuotteiden kelpoisuus .....	35
4.3.5	Kuonatorarakenteiden suunnittelu .....	36

4.3.6	Kuonatoratuotteilla rakentaminen .....	38
4.3.7	Kuonatoratuotteiden kunnossapito ja käytöstä poisto .....	39
5	Yhteenveto .....	40
	Lähteet.....	42

## 1 Johdanto

Luonnonmateriaalien käyttö ja kaatopaikkasijoittaminen vähentyvät kiertotalouteen liittyvien käytäntöjen kehittyessä (Torniainen, 2017, s. 18). Tierakentamisessa hyödynnettyjen uusiomateriaalien määrä on ollut kasvussa viime vuosina (Torniainen, 2017, s. 15). Uusiomateriaaleilla tarkoitetaan luonnonmateriaalien korvamiseen tarkoitettuja jätteitä, jäteperäisiä tuotteita ja teollisuusprosessien sivuvirtoja (Torniainen, 2017, s. 8; Väylävirasto, 2020a, s. 7).

Tierakentamisen suunnittelun ohjeistuksesta vastaa Väylävirasto (Koivisto ym., 2016, s. 26). Ohjeistuksen perusteella uusiomateriaaleja voidaan käyttää tierakentamisessa, jos kyseisten uusiomateriaalien tekninen laatu ja haitattomuus ympäristölle osoitetaan luotettavasti (Väylävirasto, 2020a, s. 24).

Tierakentamisessa uusiokäytön kannalta keskeistä on tunteea hyötykäyttökohteiden eli rakenneosien tai -kerrosten vaatimukset, jotta niissä voidaan käyttää ominaisuuksiensa puolesta soveltuvia uusiomateriaaleja (Väylävirasto, 2020a, s. 16). Perinteisesti tien rakennekerroksissa käytetään luonnonkiviaineksia ja rakentaminen tehdään Rakennustiedon (2021) infrarakentamisen yleisten laatuvaatimuksisten (InfraRYL) mukaisesti (Kuula, 2015, s. 11; Koivisto ym., 2016, s. 26). Kiviainesten ominaisuudet määritetään eurooppalaisten standardien mukaisesti ja CE-merkinnällä sekä rakenteiden toimivuus laadunvarmistusmittauksilla (Isotalo, 2003, s. 1; Kiiskinen, 2013, s. 19). Kuonan ominaisuudet poikkeavat kuitenkin luonnonkiviaineksista, joten materiaalin laatu ja soveltuvat laadunvarmistusmenetelmät on osoitettava koerakenteilla ja pitkäaikaisseurannalla (Söderholm, 2020, s. 65; Väylävirasto, 2020a, s. 47).

Valtakunnallisesti uusiomateriaalien käyttöä helpotetaan kehittämällä lainsäädäntöä, viranomaispalveluja ja lupamenettelyjä (Uuma-käsikirjasto, 2017a). Uusiomateriaalien ympäristökelpoisuus on perinteisesti osoitettu ympäristöluvalla, mutta uudistuva lainsäädäntö ja hallinnolliset päätökset nopeuttavat uusiomateriaalien käyttöön liittyviä menettelyjä (Torniainen, 2017, s. 9; Väylävirasto, 2020a, s. 7).

Yhdyskuntajätteen polttoprosessissa arinatekniikalla syntyy pohjakuonaa, jota Fortum Waste Solutions Oy:n (Fortumin) Recycling & Waste (kierrätys- ja jäteliiketoiminta) pyrkii hyödyntämään mahdollisimman korkean vaatimustason kohteissa (Sormunen, 2021). Pohjakuonan loppusijoitus vaatisi uusien kaatopaikan suojarakenteiden rakentamista ja toisaalta hyötykäyttö vähentää tarvetta luonnonkiviainesten käytölle. Kiertotaloudella tavoitellaan materiaalien kierrätystä ja mahdollisimman tehokasta käyttöä sekä jätteen määrän vähentämistä (Torniainen, 2017, s. 18). Fortumin tavoite pohjakuonan hyötykäytölle on siten kiertotalousperiaatteiden mukaista.

Pohjakuonasta on jalostettu kuonatoratuotteita ensin kaatopaikkarakentamiseen ja viime aikoina kaatopaikka-alueiden ulkopuoleiseen tierakentamiseen (Taulukko 1). Pohjakuonan hyötykäyttökohteet väylähankkeissa on esitetty luvussa 3.2.2 ja Fortumin rakennuttamissa kohteissa luvussa 3.2.4. Tällä hetkellä teiden suodatin- ja jakaviin kerroksiin soveltuvia kuonatoratuotteita pyritään toimittamaan valtakunnallisesti merkittäviin Väyläviraston ja ELY-keskusten tiehankkeisiin. (Sormunen, 2021)

Uusiomateriaalia voidaan hyödyntää tiehankkeiden rakenteissa, jos Väylävirasto on arvioinut kyseisen uusiomateriaalin soveltuvuuden hankekohtaisesti tai yleisesti (Väylävirasto, 2020a, s. 8). Fortumin pyrkimyksenä on helpottaa kuonatoratuotteiden hyötykäyttöä yleisen teknisen soveltuvuuden arvioinnin myötä (Sormunen, 2021).

Väyläviraston arviointia varten kuonatoratuotteita on käytetty Fortumin rakennuttamien koerakenteiden päällystetyssä suodatin- ja jakavassa kerroksessa Hausjärven Kuulojantiellä ja Riihimäki–Hikiä kevyen liikenteen väylällä (Sormunen, 2021). Kuonatoratuotteisiin liittyvä Fortumin (2021a) ohje Jätteenpolton pohjakuonasta jalostetun kuonatoran hyödyntäminen maarakentamisessa (kuonaohje) viimeistellään ja julkaistaan Fortumin verkkosivuilla arviointimenettelyn jälkeen.

Opinnäytetyöhön on liittynyt edellä mainittujen kuonatoratuotteiden yleisen teknisen soveltuvuuden arviointipyyntö. Arviointipyyntöön laatiminen on aloitettu koerakenteista saatujen hyvien kokemusten ja tulosten myötä. Lopullinen arviointipyyntö lähetetään Väylävirastolle, kun riittävä määrä kokeita ja tulosten tarkastelua on tehty.

## 2 Jätteenpolton pohjakuonan markkinan kehittyminen

Jätteenpolton pohjakuona on yhdyskuntajätteen energiahyödynnyksen sivuvirtaa (Kaartinen ym., 2011, s. 19). Jätteenpolton pohjakuonan käyttöä uusiomateriaalina ohjaavat muun muassa globaalit trendit kiertotalouden edistämiseksi. Kansallisesti merkittävintä on ollut yhdyskuntajätteen loppusijoituksen korvaaminen energiahyödynnyksellä, mahdollisuus hyödyntää pohjakuonaa ilmoitusmenettelyllä sekä pohjakuonan käsittelyn kehittyminen.

### 2.1 Kohti globaalia kiertotalousmarkkinaa

Linearisessa taloudessa materiaali otetaan luonnosta käytettäväksi suoraan tai jalostuksen jälkeen kohteessa ja toimitetaan suunnitellun käyttöiän jälkeen jätteenä kaatopaikalle (Euroopan parlamentti, 2020). Suomen harju- ja reunamuodostumat ovat tarjonneet tierakentamiseen kiviaineksia, kuten harjusoraa läheltä saataville (Kuula, 2015, s. 11). Tästä mallista ollaan siirtymässä kiertotalousmalliin, missä käytöstä poistetut materiaalit pyritään käyttämään suoraan tai jalostuksen jälkeen uudestaan (Euroopan parlamentti, 2020). Teollisuuden sivuvirtojen ja jätteiden hyötykäyttö tierakentamisessa onkin ollut yleistymässä Suomessa (RT, n.d.).

Markkinasäätely on kehittynyt vuosikymmenten aikana lineaarisen mallin tukemiseksi, ja nyt säätelyä halutaan sovittaa kiertotaloudelle (Katainen, 2021). Taloudelliset kannusteet kiertotaloudelle lisääntyvät markkinoiden ja lupamenettelyiden kehittymisen sekä jäteveron korotusten myötä. Kierrätysastetta on pyritty nostamaan korottamalla kaatopaikalle toimitettavan jätteen kustannustasoa jäteverolain 1126/2010 säännöllisillä päivityksillä, sekä helpottamalla kaupankäyntiä jätteiden tuotteistamisella ja verkkopohjaisella markkinapaikalla (Uuma-käsikirjasto, 2017a).

Kiertotalouden trendiä ohjaavat etenkin Euroopassa komission tavoitteet ja Suomessa valtakunnalliset jättesuunnitelmat. Komissio asetti vuonna 2015 kiertotaloudelle merkittäviä tavoitteita, joista kaikkia valmistellaan lainsäädäntöön tai on jo säädettyinä. Komission vuoden 2020 tavoitteina on hiilineutraaliuden lisäksi mm. kehittää kansainvälistä kiertotalousmarkkinaa. (Euroopan komissio, 2020).



Kierrätysasteen nostamiseksi Euroopan Unionin jätedirektiiviä 2008/98/EY uudistettiin muutoksella 2018/851. Sen myötä myös jäsenvaltiot ovat uudistaneet kansallista jätelainsäädäntöään (Oikeusministeriö, 2019). Suomessa jätelaki 646/2011 päivitettiin 1.1.2020 voimaan tulleella muutoksella 438/2019 (Laki jätelain muuttamisesta 438/2019 § 143 b). Päivityksen myötä valtioneuvosto on muun muassa tuottanut kansallista jätteiden sähköiseen vaihdantaan tarkoitettua Materiaalitori-verkkopalvelua (HE 195/2017 vp; ks. myös Materiaalitori, 2019). Jätelain viimeisin uudistus astui voimaan 19.7.2021, jolla erilliskeräystä pyritään lisäämään etenkin tuottajavastuuseen liittyvillä velvoitteilla (Finlex, 2021). Useita jätelain uudistukseen liittyviä asetuksia on lisäksi valmistelussa (Oikeusministeriö, 2021).

## **2.2 Yhdyskuntajätteen arinapolton kehittyminen**

Jätettä polttavat laitokset jaotellaan Ympäristönsuojelulain 527/2014 § 108 mukaisesti niiden pääasiallisen tarkoituksen mukaan. Pääasiallisessa jätteenkäsittelyssä niitä kutsutaan jätteenpolttolaitoksiksi ja energiatuotannossa rinnakkaispolttolaitoksiksi (Ympäristönsuojelulaki 527/2014 § 108). Yhdyskuntajätettä on kotitalouksissa syntyvät jätejakeet ja vastaavat jätejakeet joita syntyy etenkin kaupan ja teollisuuden alalla (Ympäristöhallinto, 2019a).

Suomessa alettiin rakentamaan yhdyskuntajätteen polttolaitoksia Fortumin vuonna 2007 käyttöön otetusta jätevoimalasta 1 lähtien (Bröckl ym., 2021, ss. 22–23). Laitosten rakentamiseen on vaikuttanut etenkin orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto (Bröckl ym., 2021, s. 17). Jätteenpolton nykyinen kapasiteetti Suomessa onkin pääosin otettu käyttöön vuosina 2012–2016 (Bröckl ym., 2021, ss. 22–24). Polttoprosesseissa voidaan tuottaa kaukolämpöä, prosessihöyryä ja sähköä (Bröckl ym., 2021, s. 20).

Vuonna 2019 julkaistiin laaja selvitys pohjakuonan hyötykäytöstä Euroopassa (Blasenbauer ym., 2020, s. 868). Selvityksen ajankohtana jätteenpolttokapasiteetti miljoonina tonneina vuodessa oli 1,6 Suomessa, 13 Pohjoismaissa ja 54 Euroopassa pois lukien Itä- ja Kaakkois-Euroopan maat (Blasenbauer ym., 2020, s. 873).

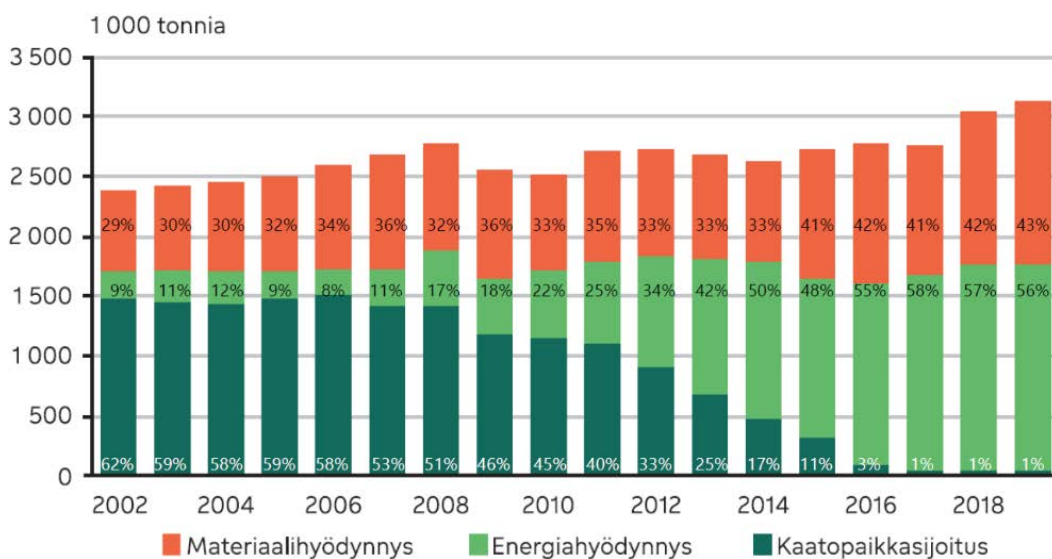
Suomessa yhdyskuntajätettä polttavat laitokset sijaitsevat suurimpien asutuskeskusten läheisyydessä ja ne ovat suomalaisten energiayhtiöiden omistamia. Laitoksista kahdeksassa käytetään arinatekniikkaa, yhdessä kaasutuspolttotekniikkaa ja yhdessä kiertopetitekniikkaa. Fortumilla on kaksi arinatekniikalla toimivaa yhdyskuntajätteen polttolaitosta Riihimäellä. (Bröckl ym., 2021, ss. 22–24; ks. myös Lounavoima, 2020).

Yhdyskuntajätettä syntyi vuonna 2019 noin 3,1 miljoonaa tonnia ja sitä hyödynnettiin energiana 1,7 miljoonaa tonnia (Tilastokeskus, 2020b). Suomen nykyinen jätteenpolttokapasiteetti 1,8 miljoonaa tonnia 90 % käyttöasteella vastaa tarpeeseen merkittävässä määrin. Yhdyskuntajätettä on myös toimitettu vähäisiä määriä ainakin Ruotsiin (Bröckl ym., 2021, ss. 10–16; ks. myös Ympäristöhallinto, 2021b).

### 2.3 Pohjakuonan määrän kehittyminen

Pohjakuonan määrään vaikuttaa merkittävimmin yhdyskuntajätteen kokonaismäärän ja sen energiahyödyntämisen osuuden muutokset sekä arinatekniikan polttoparametrit. Bruttokansantuotteen kehityksellä on historiallisesti ollut yhteys yhdyskuntajätteen kokonaismääriin (Salmenperä ym., 2015, s. 20). Yhdyskuntajätteen kokonaismäärän sekä materiaali- ja energiahyödynnyksen kehitys on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Yhdyskuntajätteen vuotuiset kokonaismäärät ja niiden materiaali- ja energiahyödynnyksen kehitys (Tilastokeskus, 2020a; Tilastokeskus, 2020b)



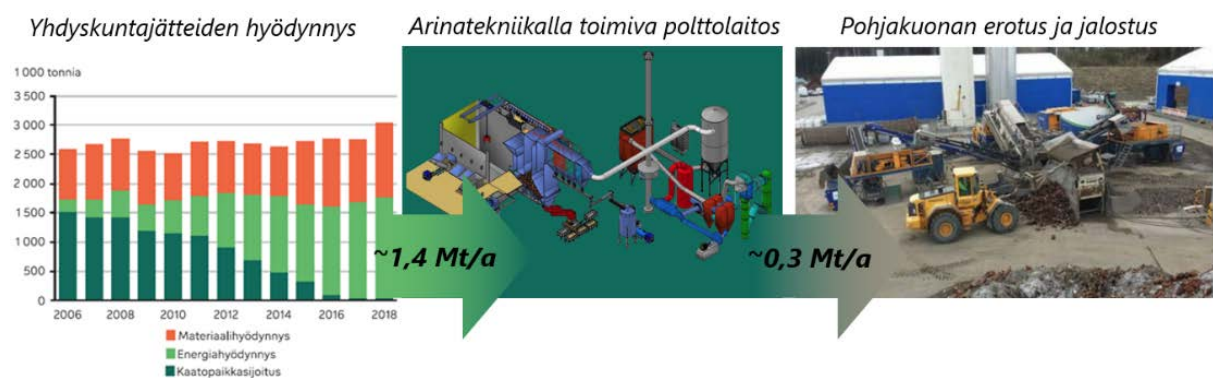
Vuonna 2016 voimaan tulleen kaatopaikka-asetuksen 331/2013 mukaisen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon myötä energiahyödynnys on lähes kokonaan korvannut kaatopaikkasijoituksen (Tilastokeskus, 2020b; ks. myös Bröckl ym., 2021, s. 17).

Kaatopaikkakieltoa edeltäneen vuosikymmenen aikana rakennettu jätteenpolttokapasiteetti nosti energiahyödynnyksen osuutta 8–12 %:sta viime vuosien 55–58 %:iin (kuva 1).

Yhdyskuntajätteen materiaalihyödyntäminen on syntymättömän jätteen jälkeen paras vaihtoehto kestävän kehityksen kannalta (KOM 666/2005, s. 4). Sen nykyistä 43 % osuutta Suomessa pyritään nostamaan Euroopan Unionin kierrätystavoitteiden mukaisesti (Jätedirektiivi 851/2018 § 11; ks. myös kuva 1). Materiaalihyödyntämisen ja jätteen erilliskeräyksen kehittyessä energiahyödynnyksen ennakoitaan laskevan 22 %:iin vuoteen 2030 mennessä (Salmenperä ym., 2015, s. 52).

Vuonna 2018 pohjakuonan määrä oli noin 0,3 miljoonaa tonnia Suomessa (Blasenbauer ym., 2020, s. 873). Viime vuosina yhdyskuntajätteen määrä on kasvanut ja siten mahdollisesti myös pohjakuonan määrä. Pohjakuonan vuosimäärän muodostuminen on esitetty kuvassa 2.

Kuva 2. Suomen arinapolttolaitosten sivuvirtana syntyy vuosittain noin 300 000 tonnia pohjakuonaa käsiteltäväksi hyötykäyttökelpoiseksi (Fortum 2021a; ks. myös Blasenbauer ym., 2020, s. 873).



Pohjakuonan osuus poltettavasta yhdyskuntajätteen massasta on keskimäärin 20–30 % (Laine-Ylijoki ym., 2005, s. 14). Arinatekniikan polttoparametrejä muuttamalla sekä mahdollisella esikäsittelyllä kuten metallien poistolla vaikutetaan polttoprosessissa syntyvän pohjakuonan osuuteen poltetusta jätemassasta (Kaartinen ym., 2011, s. 22).

Poltettavan jätteen koostumus vaikuttaa pohjakuonan määrään ja laatuun (Laine-Ylijoki ym., 2005, s. 14). Arinapoltossa saatetaan käyttää kotitalousjätteen lisäksi elinkeinoelämän ja teollisuuden jätteitä (Energiateollisuus, 2015, ss. 4–6). Esimerkiksi Uudellamaalla vuosina 2012–2016 kaikista yhdyskuntajätteistä oli energiajätettä 46 %, paperia ja pahvia 28 %, biojätettä 13 % ja loput 13 % etenkin lasia, metallia, vaarallista jätettä ja sekajätettä (Ympäristöhallinto, 2019a). Näistä etenkin sekajäte poltetaan lähtökohtaisesti jätteenpolttolaitoksissa (Bröckl ym., 2021, s. 74).

### **3 Pohjakuonan hyötykäyttö**

#### **3.1 Pohjakuonan käsittely hyötykäyttöön soveltuvaksi**

Fortum jalostaa jätteenpolton pohjakuonasta kuonatoratuotteita maa- ja tierakentamiseen (Fortum, 2021a, s. 5). Jalostuksessa materiaalin koostumus ja ominaisuudet muutetaan hyötykäyttökohteeseen paremmin soveltuvaksi (Kaartinen ym., 2011, s. 26).

##### **3.1.1 Pohjakuonan soveltuvuus hyötykäyttöön**

Kestävän kehityksen kannalta pohjakuonan hyötykäyttöä kannattaa edistää. Pohjakuonan kaatopaikkasijoittamisella luonnonvarat kuluisivat entiseen tapaan loppusijoituksen vaatiman rakentamisen myötä sekä luonnonkiviainesten käytön osalta. Uusiomateriaalien (UUMA) käyttöön liittyvän UUMA-esiselvityksen perusteella hyötykäyttöä ovat hankaloittaneet muun muassa ympäristölupaprosessit sekä puutteelliset kokemukset uusiomateriaaleista. (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, ss. 40–45)

Jätteenpolton pohjakuonan kaatopaikkasijoittamisen vaihtoehtoina on hyödyntäminen kaatopaikka- ja maarakentamisessa (Ympäristö, 2009, s. 50). Hyötykäyttö vaatii materiaalin ominaisuuksien ja laatuvarianterien tuntemista sekä yleensä pohjakuonan käsittelyä (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, s. 42). Pohjakuonan hyötykäyttökelpoisuutta voidaan parantaa ainakin fysikaalisella käsittelyllä ja välivarastoinnilla eli ikäännyttämisellä (Kaartinen ym., 2011, s. 9). Käsittelyn avulla pohjakuonasta voidaan tehdä teknisiltä ja ympäristöominaisuuksiltaan hyötykäyttökelpoisia uusiomateriaaleja korvaamaan hiekkaa, soraa ja mursketta sitomattomissa- ja sidotuissa maarakenteissa (Kaartinen ym., 2011, s. 9).

UUMA2-hankkeen selvityksissä vuosina 2014–2016 arvioitiin uusiomateriaalien teknistä soveltuvuutta infrarakentamisen eri rakenneosiin (Sjöberg ym., 2016, s. 1). Selvityksen perusteella pohjakuona voidaan käsitellä soveltuvaksi kaatopaikan pohja- ja pintarakennekerrokseen, teiden rakennekerrokseen, tieliikenteen kuormittamiin ja muihin maapenkereisiin kuten meluvälisiin sekä vastapenkereisiin (Sjöberg ym., 2016, s. 18).

Maarakentamisessa käyttökohteina voivat olla myös kenttä- ja liikuntapaikkarakenteet (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, s. 28).

Kaatopaikat ovat suljettuja alueita, joilta yleensä edellytetään ympäristöseurantaa (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, s. 42). Pohjakuonan hyötykäyttö kaatopaikkarakentamisessa on ympäristövaikutusten kannalta loppusijoitusta selvästi parempi vaihtoehto (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, s. 41). Hyötykäytössä pohjakuona korvaa luonnonmateriaaleja eikä tarvitse loppusijoittamisessa vaadittavia suoja- ja tukirakenteita.

Tierakentamisessa hyödyt ovat vastaavia, mutta poikkeavat ympäristö- ja liikenneolosuhteet tulee huomioida. Luonnonkiviainesten käyttöön verrattuna haasteina on ollut etenkin ympäristölupaprosessi, mahdollisia ympäristöriskejä aiheuttavat ainesosien liukeneminen veteen sekä pidemmät kuljetusetäisyydet (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, ss. 43–44). Ympäristöprosessi on helpottunut merkittävästi luvussa 3.3.2 esitetyn ilmoitusmenettelyn myötä. Vaihtoehtoisia käsitellyn pohjakuonan hyödyntämistapoja ovat käyttö sellaisenaan sekä käyttö side- tai seosaineena (Lounais-Suomen ympäristökeskus, 2009, s. 32). Käsitellyllä pohjakuonalla on korvattu luonnonkiviainesten käyttöä esimerkiksi betonikivien runkoaineena (Räsänen, 2018, ss. 23–24).

### **3.1.2 Pohjakuonan jalostus maa- ja tierakentamiseen**

Pohjakuonasta jalostettavia tien sitomattomiin rakennekerrokseen soveltuvia Fortumin kuonatoratuotteita ovat 0–2 mm ja 0–16 mm materiaalit suodatinkerrokseen sekä 0–32 mm materiaali jakavaan kerrokseen (Söderholm, 2020, s. 19).

Fortumin arinatekniikalla toimivat yhdyskuntajätteen polttolaitokset sijaitsevat Riihimäen laitosalueella ja ne on otettu käyttöön vuosina 2007 ja 2012 (Fortum, n.d.; Söderholm, 2020, s. 11). Laitoksissa yhdyskuntajäte tasalaatuistetaan ja kuivataan ennen polttoa.

Polttoprosessista palamaton aines eli pohjakuona johdetaan sammutusaltaaseen.

Jätteenpolton tulee olla jätteenpolttoasetuksen 151/2013 § 9 mukaisesti mahdollisimman täydellistä, jolloin pohjakuonan hehkutusjäännöksen (LOI) tulee alittaa 5 % tai orgaanisen

hiilen (TOC) määrä alittaa 3 %. Savukaasujen puhdistusprosessin lentotuhka ja muut sivuvirrat käsitellään hyötykäytön tai loppusijoituksen vaatimusten perusteella. Pohjakuonan painosta noin 80–85 % on mineraaleja kuten kiviä, keramiikkaa, tuhkaa, tiiltä ja lasia. Loppuosa on metalleja ja palamatonta orgaanista ainesta. Koostumukseen vaikuttaa poltettava jäte ja polttoparametrit. (Söderholm, 2020, ss. 11–12)

Pohjakuonaa käsitellään hyötykäyttökohteen teknisten ja ympäristövaatimusten perusteella. Metallien talteenoton (erottelun) avulla vähennetään pohjakuonan metallipitoisuuksia ja parannetaan siten ympäristökelpoisuutta. Arinapolton pohjakuonissa rautametallien osuus on tyypillisesti noin 10–12 % kokonaispainosta ja ne poistetaan mahdollisimman hyvin magneettierotuksella (Söderholm, 2020, ss. 12–15). Muita metalleja on 2–5 % ja niiden poistomenetelmänä on pyörrevirtaerotin. (Söderholm, 2020, ss. 12–15)

Jäljellä jäävä mineraaliaines jaetaan seulomalla ja näitä jakeita suhteuttamalla lopputuotteen rakeisuus saadaan soveltuvaksi. Valmiin jakeen ikäännyttäminen välivarastoinnilla alentaa pH:ta ja liukoisten metallien pitoisuuksia (Kaartinen ym., 2011, s. 27). Lopulta hankkeeseen toimitettavan tuotteen vesipitoisuus optimoidaan tavoitteiden mukaisen tiivistystyön aikaansaamiseksi. (Söderholm, 2020, ss. 13–15)

### **3.2 Pohjakuonan hyötykäyttö tiehankkeissa**

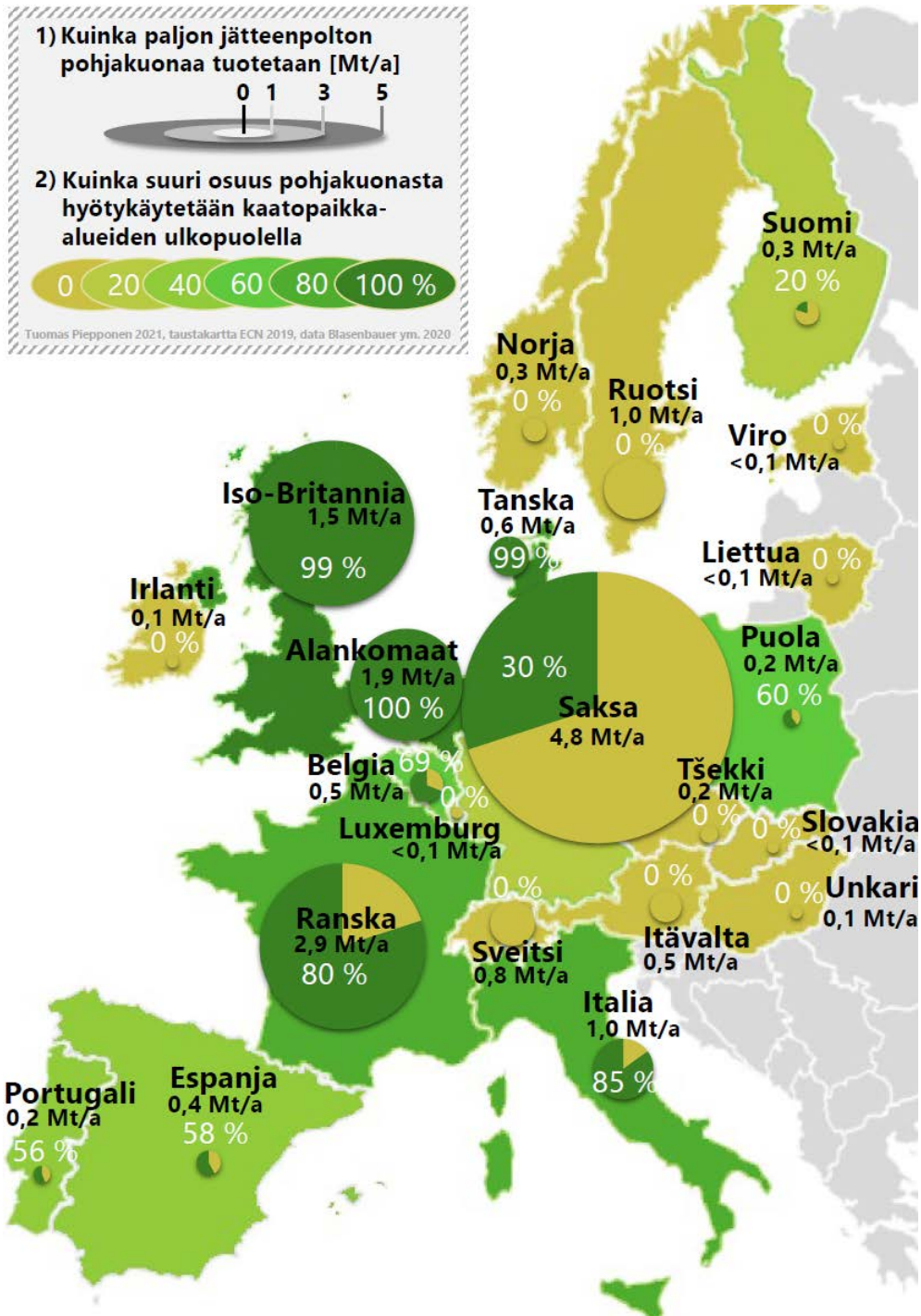
Pohjakuonaa hyötykäytetään kaatopaikka-alueiden ulkopuolella 0–100 % vaihteluvälillä Euroopan eri valtioissa ja Suomessa osuus on noin 20 % syntyvästä pohjakuonasta (Blasenbauer ym., 2020, s. 873).

Tiehankkeissa potentiaalisina hyötykäyttökohteina ovat etenkin teiden päällis- ja alus- ja vallirakenteet (Väylävirasto, 2020a, ss. 53–65). Tierakentamisen osalta hyötykäyttöä on tehty muutamissa kohteissa Väyläviraston hankkeissa viimeisen kymmenen vuoden aikana ja Fortumin koerakenteissa viimeisen kahden vuoden sisällä. Väyläviraston hankkeiden hyötykäyttökohteet on esitetty luvussa 3.2.2 ja Fortumin rakennuttamat koerakenteet luvussa 3.2.4.

### 3.2.1 Hyötykäyttö Suomessa ja Euroopassa

Pohjakuonan hyötykäytön siirtyminen kaatopaikan loppusijoituksesta ja kaatopaikkarakentamisesta muuhun hyötykäyttöön on kehittynyt vaihtelevasti Euroopassa (kuva 3).

Kuva 3. Jätteenpolton pohjakuonan vuotuiset tuotantomäärät Euroopassa sekä osuudet joita hyötykäytetään kaatopaikka-alueiden ulkopuolella (Blasenbauer ym., 2020, s. 873)





Kuvassa 3 on yhteenveto jätteenpolton pohjakuonan vuotuisista tuotantomääristä Euroopassa sekä hyötykäytöstä kaatopaikka-alueiden ulkopuolella esimerkiksi väylärakentamisessa. Suomessa jätteenpolton pohjakuonaa on hyödynnetty etenkin jäteasemien suoja- ja tukirakenteissa (Korhonen ym., 2018, s. 63). Maakohtaiseen vaihteluun vaikuttavat etenkin poikkeavat lainsäädännöt, ohjauskeinot sekä tuotteistusmenettelyt. Jäteasemien ulkopuolella pohjakuonan hyödyntäminen on Suomessa vähäistä osuuden ollessa 20 % vuosittaisesta pohjakuonan massamäärästä. Euroopan Unionin väkirikkaimmissa jäsenvaltioissa osuus on välillä 30–85 % sekä Tanskassa ja Alankomaissa noin 100 %. (Blasenbauer ym., 2020, s. 873).

### **3.2.2 Hyötykäyttö väylähankkeissa**

Väylärakentamisessa uusiomateriaalien hyödyntämiskohteita voivat olla esimerkiksi tie- ja kenttärakenteet, satamat ja meriväylät, syvästabilointi, meluvallit ja kaatopaikkarakenteet (Uuma-käsikirjasto, 2017a).

Väyläviraston strategiaan kuuluu kestävän kehityksen ja kiertotalouden edistäminen Liikenneviraston (nyk. Väyläviraston) vuoden 2014 ympäristötavoitteiden mukaisesti (Harju ym., 2019, s. 3). Väyläviraston Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa -ohjeen materiaalikorteissa esitetään tierakentamisessa käytettyjä uusiomateriaaleja ja niihin liittyvää tutkittua tietoa (Väylävirasto, 2020a, s. 16).

Käsiteltyä pohjakuonaa on käytetty Väyläviraston hankkeissa meluvallissa sekä kevyen liikenteen väylän suodatin- ja jakavassa kerroksessa (Harju ym., 2019, s. 13; ks. myös Väyläviraston arviointikirje, VÄYLÄ/3102/06.04.02/2021, s. 1). Väylävirasto arvioi vuonna 2021 hankekohtaisesti jätteenpolton kuonan soveltuvan kevyen liikenteen väylän suodatinkerrokseen Kouvolassa maantien 354 välillä Haminanväylä-Spännärintie (Väyläviraston arviointikirje, VÄYLÄ/3102/06.04.02/2021, s. 1).

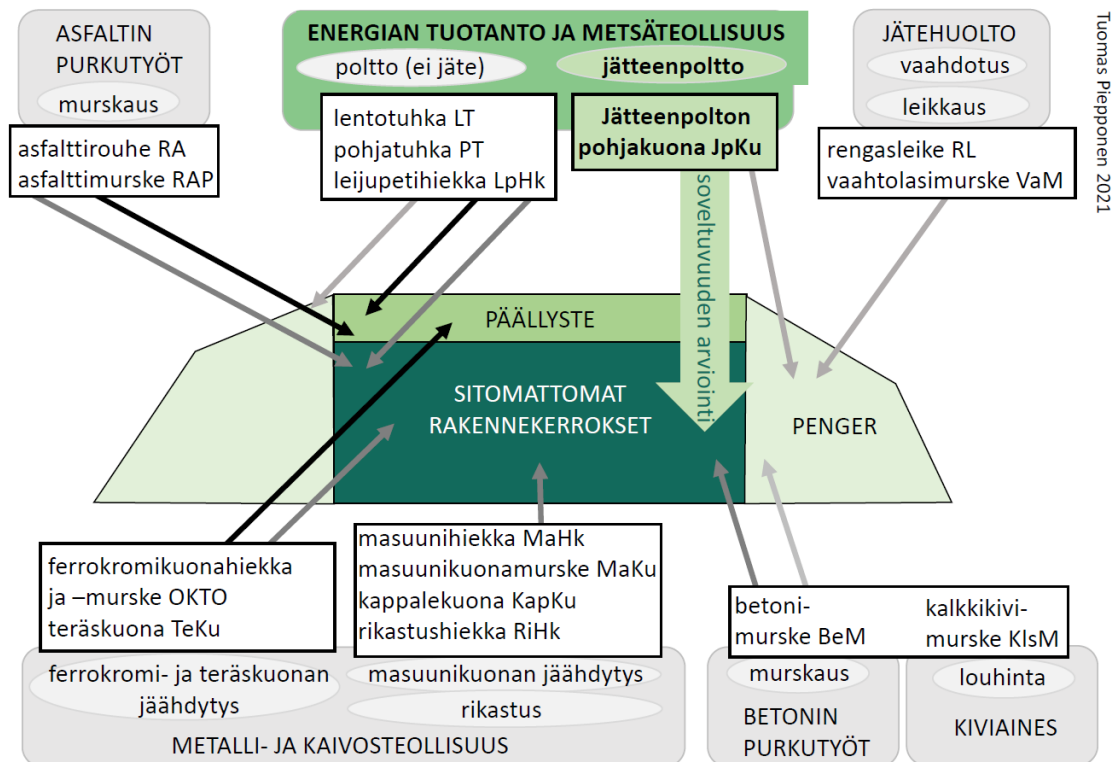
Aiemmissa Väyläviraston hankkeissa hyötykäyttöä on edeltänyt ympäristölupa, jossa on veloitettu seuraamaan ympäristövaikutuksia. Vuonna 2011 rakennetussa 150 metriä pitkässä meluvallissa E18 Hamina-Vaalimaan välillä Karhula-Rantahaka pohjakuonaa

hyödynnettiin suojamaa- ja kasvukerrosten alla (Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätös, 203/2014/1, s. 1). Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätöksessä (203/2014/1, ss. 8–9) edellytettiin mm. ympäristövaikutusten seurantaa, kasvillisuuden poistoa ja ympäristönsuojelulain 527/2014 § 58 mukaista muutoshakemusta, jos meluvallia joudutaan tulevaisuudessa kaivamaan. Valtatie 19:n Seinäjoen itäinen ohikulkutie rakennettiin välillä 2013–2016, viimeistely- ja päällystystöitä lukuun ottamatta (Väylävirasto, 2018b). Pohjakuonaa hyödynnettiin hankkeessa erään kevyen liikenteen väylän jakavassa kerroksessa vuonna 2015 (Harju ym., 2019, s. 60). Kohteessa tehtiin routimiseen ja kantavuuteen liittyviä mittauksia ja seurantaa (Harju ym., 2019, s. 60).

### 3.2.3 Hyötykäyttökohteena tien rakennekerrokset

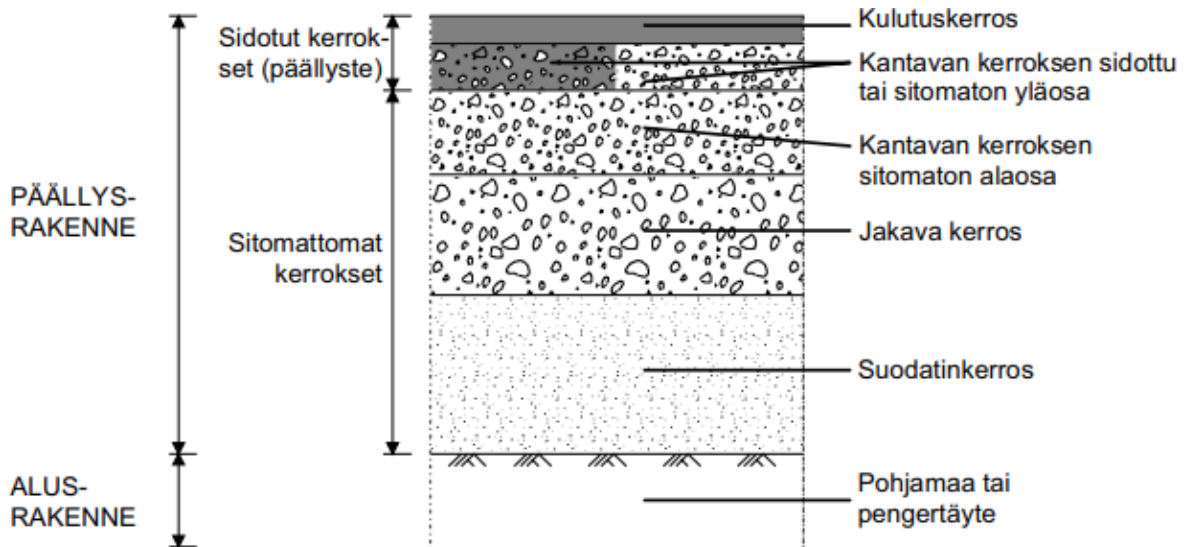
Tierakentamiseen käytetään uusiomateriaaleja, joiden pääraaka-aineita syntyy sivuvirtana eri teollisuusalojen prosesseista. Uusiomateriaalien soveltuvuus vaihtelee tien rakenneosittain (kuva 4).

Kuva 4. Tierakenteissa käytettäviä uusiomateriaaleja sekä niiden pääraaka-aineiden muodostumiseen liittyvät teollisuusalat ja -prosessit (Väylävirasto, 2020a, ss. 53–65)



Tierakentamisessa käytetään tavanomaisimmin kuvan 5 mukaista joustavaa päällysrakennetta. Mahdollisina hyötykäyttökohteina voivat olla tien päällysrakenteen osat eli päällyste-, kulutus-, kantava, jakava ja suodatinkerros, sekä alusrakenteen pengertäyte (Kuva 5). Käyttökohteena voi myös olla kokonaisena rakenteena tai rakenteen osana mm. penger-, valli- ja tukirakenteet sekä kaivantojen täytöt (Väylävirasto, 2020a, ss. 53–65).

Kuva 5. Tavanomainen joustava päällysrakenne (Belt ym., 2002, s. 11)



Päällysrakenteen alimmat kerrokset ovat sitomattomia, jolloin rakeiden väliin jätetään tyhjättilaa (Belt ym., 2002, s. 11; ks. myös Belt ym., 2002, s. 29). Rakennetyypin päällimmäisten kerrosten runkoaineuksen välinen tila täytetään sideaineella liimaten rakeet kiinni toisiinsa (Belt ym., 2002, s. 29). Päällysteessä käytetään tyypillisesti bitumia, jolloin se on materiaalina asfalttibetonia (Belt ym., 2002, s. 12).

### 3.2.4 Fortumin koerakentaminen jätteenpolton pohjakuonalla

Fortumin kuonatoruotteita on käytetty kaatopaikkojen kenttärakenteissa ja loppusijoitusalueiden rakennekerroksissa tierakentamista selvästi pidempään. Fortumin tavoitteena on kuitenkin lisätä pohjakuonan hyötykäyttöä korkeamman vaatimustason rakenteissa kuten tierakenteissa.

Riihimäen jätevoimaloiden pohjakuonan hyötykäyttö on edennyt vaiheittain kaatopaikkarakentamisesta tierakentamiseen. Hyötykäytöstä on laadittu useita opinnäytetöitä (Taulukko 1). Jätevoimala 1 otettiin käyttöön vuonna 2007 ja jätevoimala 2 vuonna 2012 (Bröckl ym., 2021, s. 22). Kuonatoratuotteita hyödynnettiin ensin materiaalikeskusten käsittelykenttien ja loppusijoitusalueiden rakenteissa. Jätevoimalan 1 pohjakuonan käyttökohteina kaatopaikkarakentamisessa on ollut esimerkiksi Hausjärven kenttärakenteiden kantava kerros, johon liittyvistä käyttökokemuksista ja tutkimustuloksista kirjoitti Lehtonen (2009) diplomityössään. Sahlman (2013) tutki Riihimäen jätevoimaloiden 1 ja 2 arinakuonan vertailukelpoisuutta. Tutkimus varmisti, että myös jätevoimalan 2 pohjakuona vastaa ominaisuuksiltaan ja laadultaan edeltäjäänsä. (Sahlman, 2013, ss. 37–38)

Taulukko 1. Fortumin Riihimäen yhdyskuntajätteen polttolaitosten pohjakuonan hyötykäyttöön liittyvät julkaisut sekä niissä käsitellyt hyötykäyttökohteet

Pohjakuona	Hanke	Rakenneosat	Opinnäytetyö
Voimala I	Hausjärvi MRC	Kentän kantava kerros	Lehtonen (2009)
Voimala II	Hausjärvi MRC	Kentän kantava kerros	Sahlman (2013)
Voimala I & II	Hausjärvi Kuulojantie	Tien suodatin- ja jakava kerros	Söderholm (2020)
Voimala I & II	Väyläviraston yleinen tekninen soveltuvuus	Tien suodatin- ja jakava kerros	Piepponen (2021)
Voimala I & II	Hausjärvi Kuulojantie	Tien suodatin- ja jakava kerros	Lahtinen (2021)
Voimala I & II	Riihimäki–Hikiä KLV	Tien suodatin- ja jakava kerros	Opinnäytetyö suunniteltu 2021–2022

Kuonatoratuotteita on käytetty suodatin- ja jakavissa kerroksissa vuosina 2020 ja 2021 rakennetuissa koerakenteissa. Koerakenteita tehtiin ensin Hausjärven Kuulojantielle ja sitten Riihimäki–Hikiä-välin kevyen liikenteen väylälle. Söderholm (2020, s. 2) laati opinnäytetyön Kuulojantien koerakenteesta. Lahtinen (2021) tutkii kandidaatintyössään etenkin koerakenteen kantavuus- ja routivuusominaisuuksia. Myös kevyen liikenteen väylään liittyvien tulosten tarkastelusta ollaan laatimassa opinnäytetyötä. (Sormunen, 2021)

Fortumin koerakenteista tehdään edelleen pitkäaikaisseurantaa hankkeiden seurantasuunnitelmien mukaisesti. Seurantaan liittyviä tutkimuksia tehdään vähintään kolmen vuoden ajan ja suunnitelmia täydennetään tarvittaessa lisätutkimuksilla. Tuloksia hyödynnetään etenkin kuonatoratuotteiden teknisen soveltuvuuden osoittamisessa. (Sormunen, 2021)

### **3.3 Pohjakuonan hyötykäyttöön liittyvät vaatimukset**

Pohjakuonan hyödyntäminen on mahdollista kunhan se tehdään lainsäädännön sekä hankkeen vaatimusten mukaisesti. Valmiin rakenteen tulee täyttää tekniset vaatimukset ja rakenteen elinkaaren toimivuusvaatimukset. Vaatimuksia asettavat etenkin infra-alan toimijat yhteisesti sovitusti, rakennuttaja hankekohtaisesti ja materiaalitoimittaja uusiomateriaalin käyttöön liittyen (Rakennustieto, 2021).

#### **3.3.1 Lainsäädännöllä tavoitellaan toimivia ja haitattomia tierakenteita**

Tierakenteiden tulee olla teknisesti toimivia eivätkä ne saa aiheuttaa ympäristö- tai terveyshaittoja. Tuotestandardit sekä ympäristölainsäädäntö määrittävät uusiomateriaalien ominaisuuksien ja laadunhallinnan vaatimukset (Ympäristöministeriö, n.d.). Rakenteiden toimivuuteen liittyy vakaus ja kestävyys koko suunnitellun käyttöiän ajaksi (Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 958/2012 § 117 a). Ympäristönsuojelulaki ohjaa rakentamisessa huomioitavan ihmisten terveyden, ympäristön ja sosiaalisen hyvinvoinnin (Ympäristönsuojelulaki 527/2014 § 1).

Maanteiden tiesuunnitelma laaditaan sitä ohjaavan lainsäädännön mukaisesti (Väylävirasto, 2020b, s. 2). Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 503/2005 tavoittelee etenkin valtakunnallisesti yhtenäistä ja alueellisten tavoitteiden mukaista liikennejärjestelmää (Laki liikennejärjestelmästä ja maantiestä 503/2005 § 1). Tiesuunnitelmasta vastaa lähtökohtaisesti Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus), mutta tienpitäjänä siitä voi vastata myös Väylävirasto (Laki liikennejärjestelmästä ja maantiestä 503/2005 § 15 f). Tiesuunnitelmassa suunnitellaan mm. tien linjaukset ja osat (Väylävirasto, 2020b, s. 2).

Tiesuunnitelman perusteella laadittavasta rakennussuunnitelmasta vastaa yleensä urakoitsija (Väylävirasto, 2010, s. 11).

Tierakentamisen kiertotaloussiirtymässä helpotetaan muiden kuin luonnonmateriaalien käyttöä rakenteissa. Useat tierakenteisiin soveltuvat uusiomateriaalit kuten jätteenpolton pohjakuona luokitellaan jätteeksi (Väylävirasto, 2020a, ss. 53–65). Lainsäädännössä jätteellä tarkoitetaan käytöstä poistettua tai poistettavaa materiaalia (Jätelaki 646/2011 § 5). Uusiokäytettävä jäte voi olla teknisen laadun ja haitattomuuden kannalta yhtä hyvä kuin luonnonmateriaali, mutta käyttöä hankaloittaa runsaampi sääntely ja yleiset ennakoasenteet jätteeksi luokiteltavaa materiaalia kohtaan (Kauppila ym., 2018, s. 24).

Jätteen uudelleenkäyttöä on helpotettu jätedirektiivissä annetuilla vaatimuksilla, joita noudattamalla materiaalin luokittelu muuttuu jätteestä tuotteeksi ja jätelain säännöksiä ei enää sovelleta (Väylävirasto, 2020a, s. 11). Materiaali tulee jalostaa hyödyntämiskelpoiseksi teknisiltä ominaisuuksiltaan ja ympäristön suojelun kannalta, sekä sillä pitää olla käyttökohde ja markkina (Jätedirektiivi 851/2018 § 6). Jätteeksi luokittelun päättyminen vaatii hallinnollisen tai oikeudellisen päätöksen, joita on jo tehty joidenkin aiemmin jätteinä pidettyjen teollisuuden materiaalien osalta. Infrarakentamisessa käytettävien materiaalien osalta näitä ovat esimerkiksi Raahen terästehtaan masuunikuonasta tehty murske ja Lappeenrannan kaivoksen rikastushiekasta valmistettu suodatinhiekkä (Väylävirasto, 2020a, s. 12).

Jätettä voidaan käyttää myös suoraan uudessa rakenteessa ilman tuotteeksi luokittelua välissä. Jätteiden hyödyntäminen rakenteissa on ympäristönsuojelulain 527/2014 mukaisesti luvanvaraista, jos toiminnan nähdään aiheuttavan ympäristön pilaantumisen vaaraa (Ympäristöhallinto, 2021a). Luvanvaraisuutta on kevennetty ns. MARA-asetuksen ilmoitusmenettelyn myötä (Uuma-käsikirjasto, 2017b). Myös maa-ainesjätteen hyötykäyttöön liittyvää lainsäädäntöä on ollut valmisteilla (Ympäristöministeriö, 2019).

### 3.3.2 Hyötykäytön lupa- ja ilmoitusmenettelyt

Uusiomateriaalin hyötykäytössä sovellettavaan lainsäädäntöön sekä lupa- tai ilmoitusmenettelyyn vaikuttavat rakentamisessa käytettävän uusiomateriaalin luokittelu (Väylävirasto, 2018a, s. 14). Ympäristösuojelulain mukainen ympäristölupa tarvitaan niiden uusiokäytettävien jätteiden osalta, jotka eivät ole MARA-asetuksen vaatimusten mukaisia tai joilla ei ole tuotestatusta (Väylävirasto, 2020a, ss. 32–33).

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006 eli MARA-asetus mahdollisti betonimurskeen ja joidenkin tukkien hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006, liite 1). Ilmoitusmenettelyn vaatimusten täytyessä uusiomateriaalin käytön arvioidaan olevan haitatonta, eikä ympäristölupaa vaadita. MARA-ilmoituksen liitteenä tulee toimittaa materiaalin ympäristökelpoisuuteen ja laadunhallintaan liittyviä asiakirjoja (Ympäristöhallinto, 2019b, s. 51). Kun rakenteessa käytetään MARA-asetuksen soveltamisalaan kuuluvia uusiomateriaaleja, kutsutaan sitä MARA-rakenteeksi (Ympäristöhallinto, 2019b, s. 5).

MARA-asetus päivitettiin vuoden 2018 alussa voimaan tulleella asetuksella 843/2017 (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017 § 7). Päivityksen myötä ilmoitusmenettelyllä hyötykäytettävien jätenimikkeiden määrä kasvoi merkittävästi. Näitä ovat esimerkiksi tiili- ja asfalttimurskeet, rakenteesta poistettu jäte sekä jätteenpolton pohjakuona (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017, liite 1). Käsitelty pohjakuona lisättiin MARA-asetukseen Sormusen (2017, s. 5) väitöskirjatutkimusten tulosten myötävaikutuksesta.

Ilmoitusmenettelyä keventää mahdollisuus käyttää samoja liiteasiakirjoja eri hankkeissa, kun taas ympäristölupahakemus laaditaan hankekohtaisesti. Ympäristölupaprosessi on myös kestoaltaan kuukausia tai yli vuoden, kun MARA-ilmoitus käsitellään viikoissa (Väylävirasto, 2020a, ss. 44–46; Äystö, 2018, s. 3). Ympäristöluvan hyötynä on dokumentoitu uusiomateriaalin riskitarkastelu sekä hallinnollinen arviointi ja päätös hyötykäytölle (Väylävirasto, 2018a, ss. 53–55).

### 3.3.3 Lupa- ja ilmoitusmenettelyiden raja-arvot

Jätteen aineosien kokonaispitoisuuksien ja niiden liukoisuuksien raja-arvoilla ehkäistään ympäristöhaittoja ja yksinkertaistetaan menettelyjä. Kaatopaikkarakentamisessa on huomioitava kaatopaikka-asetuksen 331/2013 liitteessä 3 esitetyt kaatopaikkakelpoisuuden mukaiset raja-arvot, jotka määräytyvät kaatopaikkaluokkien perusteella. Kaatopaikat luokitellaan pysyvän jätteen, tavanomaisen jätteen ja vaarallisen jätteen kaatopaikkoihin (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013 § 13).

Jätekeskuksissa tapahtuva jätteiden käsittely vaatii ympäristöluvan etenkin ympäristönsuojelulain 527/2014 § 27 perusteella ja ympäristöseurannan jätelain 646/2011 § 120 perusteella. Lupaprosessin yhteydessä tehtävän ympäristövaikutusten arvioinnin perusteella voidaan esittää pohjakuonan hyötykäyttöön liittyviä raja-arvoja, jotka ovat esimerkiksi korkeampia kuin MARA-asetuksen raja-arvot. Esimerkkinä menettelystä on pohjakuonan hyötykäyttö Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän eli HSY:n Ämmässuon jätekeskuksen kaatopaikkarakentamisessa (Huuhko ym., 2020, s. 6).

Kaatopaikkojen ulkopuolella käytetään lainvoimaisen ympäristöluvan hankekohtaisia riskinarvioperusteisia raja-arvoja tai MARA-asetuksen liitteen 2 mukaisia raja-arvoja. MARA-asetuksen raja-arvoina on materiaalin liukoisten aineiden pitoisuuksien lisäksi mm. etäisyys talous- ja pohjavedestä, jätteen kokonaiskerrospaksuus ja maksimiraekoko (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017, liite 2).

MARA-asetuksen raja-arvot perustuvat riskitarkasteluun, joissa on käytetty tiettyjä veden kulkeutumiseen vaikuttavia oletusarvoja (Ympäristöhallinto, 2019b, ss. 5–6).

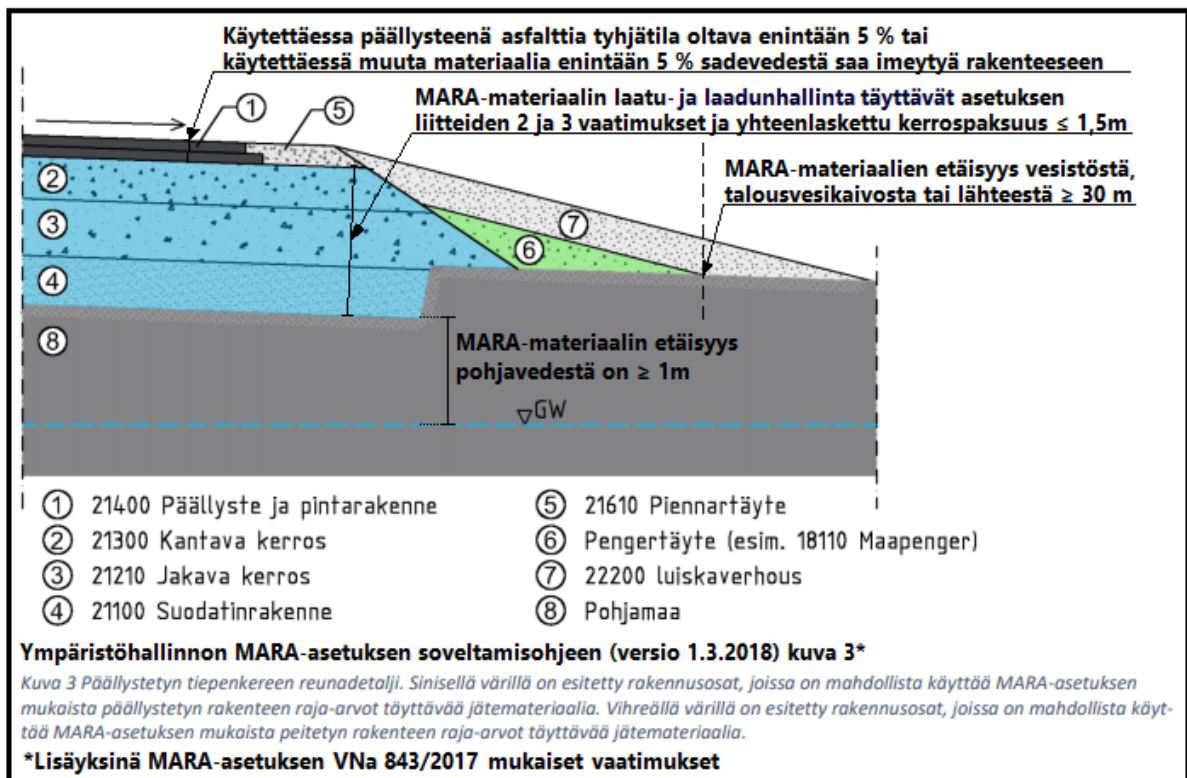
Uusiomateriaalia ei voida käyttää tierakenteessa, jos siitä suotautuu maastoon haitallisia määriä aineita. Kulkeutuvuuteen veden avulla vaikuttavat uusiomateriaalin vesiliukoisten aineiden määrät sekä rakenteen ja ympäröivien rakenteiden tiiviys tai vedenläpäisevyys. Esimerkiksi asfaltilla päällystettyyn MARA-rakenteeseen pääsee vähemmän vettä verrattuna murskeella peitettävään rakenteeseen. MARA-asetuksen 843/2017 liitteessä 1 esitetyt raja-arvot pitoisuuksien osalta ovat päällystetyille MARA-rakenteelle siten kevyemmät.



Päällyste saa läpäistä sadannasta enintään 5 %, kun peittävä rakenne läpäisee vähintään 5 % (Ympäristöhallinto, 2019b, s. 7). Peittävän rakenteen, esimerkiksi murskeesta tehdyn tulee olla vähintään 100 mm paksu (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017 § 3).

Rakenteen etäisyys pohjaveden pinnasta tulee olla riittävä, jotta rakenteeseen ei pääse nousemaan kapillaarisesti haitallista määrää vettä, eivätkä mahdolliset ainesosat pääse haitallisin määrin liukenemaan pohjaveteen. Yhteenvedo vaatimuksista on esitetty kuvassa 6. Mikäli uusiomateriaalin ainesosien kokonais- ja liukoiset pitoisuudet ylittävät asetuksen raja-arvot, tulee ympäristövaikutukset arvioida hankekohtaisesti. Arvioinnin perusteella voidaan päätyä hakemaan ympäristölupaa tai todeta materiaalin soveltumattomuus kyseiseen tierakenteeseen.

Kuva 6. Yhteenvedo MARA-asetuksen soveltamisohjeen keskeisistä vaatimuksista päällystetylle MARA-rakenteelle (Ympäristöhallinto, 2019b, s. 39)



### 3.3.4 Kuormituskestävyyteen liittyvät vaatimukset

Aluksi kuormituskestävyyteen liittyvinä laatuvaatimuksina käytettiin pelkästään raekokojakaumaa. Nykymuotoiset vaatimukset ovat kehittyneet viimeisen neljän vuosikymmenen aikana. Laatuvaatimukset kehitettiin 1960-luvulla murskatuille kiviaineksille ja tällä hetkellä niitä määritetään uusiomateriaalikohtaisesti. (Kuula, 2015, s. 11)

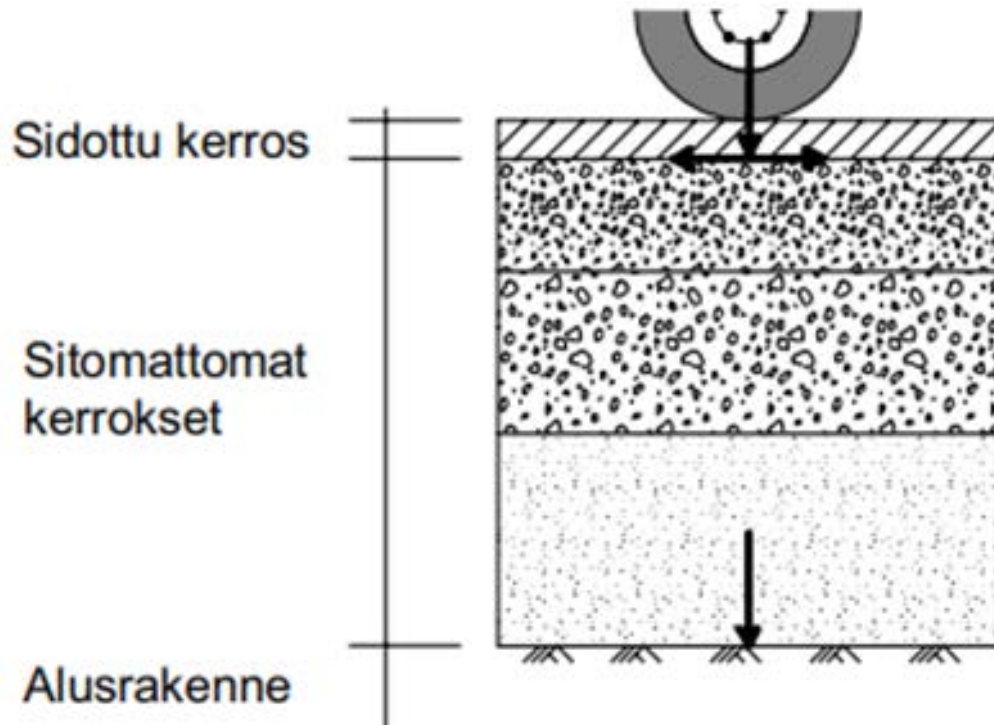
Tierakenteessa käytettävän materiaalin ja rakenteen teknisten ja toiminnallisten ominaisuuksien tulee vastata käyttökohteen vaatimuksia (Väylävirasto, 2020a, s. 33). Vaatimukset perustuvat etenkin rakenneosien kestävyyteen liikenne- ja sääolosuhteilta sekä rakenteen omapainon aiheuttamalta kuormitukselta (Lätti, 2016, s. 28).

Rakennusmateriaalin käyttö- ja kestävyysominaisuuksiin vaikuttaa materiaalin koostumus ja rakenne. Rakenteen muodostavien geometristen partikkelien koko, muoto ja jakauma vaikuttavat mm. jäykkyys- ja lujuus- ja routivuusominaisuuksiin. Rakeisuudella tavoitellaan kuormien jakamista ja kantavuutta kyseisissä kerroksissa, routimisen estämistä ja kapillaarikatkoa suodatinkerroksessa sekä muotoiltavuutta penkereissä (Rakennustieto, 2021).

Optimaalisella rakeisuudella ja vesipitoisuudella tavoitellaan rakenneosien tiiviyyttä ja tiivistettävyyttä. Kulmikkaammat partikkelit pakkautuvat tiiviisti, jolloin partikkelien väliin jää vähemmän tilaa jäykkyyttä heikentävälle kosteudelle (Belt ym., 2002, s. 37). Hienoaines puolestaan sitoo kosteutta itseensä (Belt ym., 2002, s. 38). Alkuainekoostumus tai mineralogia vaikuttaa fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten materiaalin kestävyyteen liikennekulutukselta ja pakkaselta sekä kemiallisiin ominaisuuksiin esimerkiksi aiheuttamalla korroosiota viereisissä metallirakenteissa (Belt ym., 2002, s. 37; ks. myös Saarinen ym., 2014, ss. 4–5).

Liikennekuormitus aiheuttaa pystysuuntaista puristusrasitusta päällys- ja alusrakenteen pintoihin sekä vaakasuuntaista vetorasitusta päällysteen alareunaan kuvan 7 mukaisesti. Rasitusten eli jännitteiden vastavoimana on materiaalin lujuus- ja jäykkyysominaisuudet (Lätti, 2016, ss. 14–26).

Kuva 7. Liikennekuormituksen aiheuttamat kriittiset rasitukset päällystettyyn tierakenteeseen (Belt ym., 2002, s. 24)



Lujuus kertoo materiaalin kestävyden ennen kuin se murtuu esimerkiksi puristuksessa tai vedossa (Lätti, 2016, ss. 20–26). Hienonemisella tarkoitetaan materiaalin rakeiden murtumista (Kuula, 2015, s. 22). Tällöin materiaali ei toimi suunnitellulla tavalla eli mitoituksessa käytetyt ominaisuustiedot eivät enää päde (Kuula, 2015, s. 22).

Jäykkyydellä kuvataan materiaalin kykyä palautua rasituksen aiheuttamasta muodonmuutoksesta. Sitä kuvataan moduuleilla kuten kimmomoduulilla ( $E$ ) materiaalin palautuessa alkuperäiseen muotoonsa, ja resilient- eli jäykkyysmoduulilla ( $M_r$ ) palautumisen ollessa osittaista (Lätti, 2016, ss. 14–20). Jäykkyysmoduulin pienenemistä aiheuttaa etenkin hienoneminen (Kuula, 2015, s. 60). Yleisesti jokaisen kuormituskerran jälkeen syntyy palautumattomia muodonmuutoksia (Kuula, 2015, s. 22).

Kantavuudessa huomioidaan myös rakenteen paksuus (Väylävirasto, 2018a, s. 44). Tierakentamisessa kantavuudella tarkoitetaan koko tierakenteen kykyä vastustaa muodonmuutosta. Laskennallinen kantavuus määritetään Odemarkin kaavalla takaisinlaskennalla valmiista rakenteesta tehtyjä kuormitusmittauksia hyödyntäen (Lätti,

2016, ss. 52–53). Laskennallista kantavuutta ilmaistaan kimmokertoimella eli E-moduulilla (Siika, 2006, s. 12). Tavanomaisessa päällysrakenteessa E-moduulit ovat korkeimmillaan päällysteessä ja pienenevät aina alusrakennetta kohti mentäessä (Sikiö, 2020).

Jäykkyysmoduulien sekä lujuuden ja kantavuuden osalta tarkastellaan materiaalin tai rakenteen pintaan kohdistuvaa voimaa ja niiden yksikkönä käytetään yleensä MN/m<sup>2</sup> tai MPa.

Materiaalien ominaisuudet vaikuttavat kantavuuden ja routivuuden perusteella mitoitettaviin kerrospaksuuksiin. Tavoitekantavuus ja päällysteen paksuus määritetään tierakenteen suunnitteluun liittyvää rakennekerrosten mitoitusta varten (Väylävirasto, 2018a, s. 43). Tiesuunnittelussa päällysrakenteiden kerrospaksuudet mitoitetaan niin, että laskennallinen kantavuus ylittää tavoitekantavuuden (Väylävirasto, 2018a, s. 43).

Routamitoitus voi myös vaatia kantavuusmitoitusta paksumman rakenteen (Väylävirasto, 2018a, s. 43). Tavoitekantavuudet määritetään päällysteen ja kantavan kerroksen päältä (Väylävirasto, 2018a, s. 39). Tavoitteisiin pääsemiseen vaikuttaa päällys- ja alusrakenteen kaikkien kerrosten kantavuudet (Väylävirasto, 2018a, s. 43). Kuormitusluokkataulukoiden mukaan määräytyy tavoitekantavuuksien lisäksi päällysteen paksuus (Väylävirasto, 2018a, s. 39). Kuormitusluokkaan vaikuttaa raskaan liikenteen rasitus eli kuormituskertaluku (KKL) sekä ennustettu liikennemäärä (KVL) (Väylävirasto, 2018a, s. 38). Katurakenteiden vaatimukset kantavuuden ja päällyspaksuuden osalta perustuvat liikennemäärien mukaisiin katuluokkiin ja ovat korkeimmillaan raskaasti liikennöidyn katuluokan 1 osalta (Sikiö, 2020). Tavoitekantavuudet määritetään samojen rakennekerrosten päältä (Sikiö, 2020).

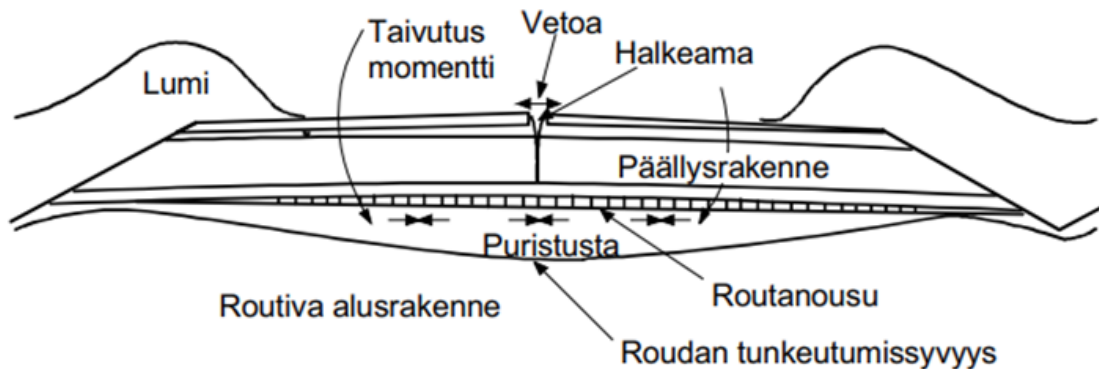
Päällyste ottaa jäykimpänä rakenneosana liikennekuormat vastaan (Lätti, 2016, s. 28).

Päällyste myös estää sade- ja pintaveden pääsemisen alempiin kerroksiin (Lätti, 2016, s. 28).

Se on tärkeää, koska kosteustilan kasvaessa alempien kerrosten jäykkyys, eli kyky ottaa kuormitusta vastaan heikkenee (Lätti, 2016, s. 35). Päällysteen halkeamia aiheuttavat ympäristöolosuhteet kuten veden ja jäätyminen aiheuttama routiminen janopeat muutokset lämpötilassa sekä liikennekuormitus (Belt ym., 2002, s. 4; ks. myös Väylävirasto, 2020, s. 49).

Päällysteen halkeilun myötä vesi ja suola pääsevät muihin rakennekerroksiin (Väylävirasto, 2020a, s. 49). Routanousun johtaminen halkeamaan on esitetty kuvassa 8.

Kuva 8. Routimisen aiheuttaman rasituksen johtaminen tierakenteen päällysteen halkeamaan (Belt ym., 2002, s. 52)



Routimisella tarkoitetaan sellaista rakenneosan jääymistä, mikä johtaa koko rakenteen nousuun eli routanousuun (Belt ym., 2002, ss. 17–21). Routanousu aiheuttaa vetorasitusta ja voi siten johtaa halkeiluun päällysrakenteen yläosassa (Belt ym., 2002, s. 52). Sallittavan routanousun ( $RN_{sall}$ ) suuruus määritetään tien vaatimusluokan ja vaurioherkkyyden sekä pohjamaan tasalaatuisuuden perusteella (Väylävirasto, 2018a, s. 29). Tien vaatimusluokitukseen moottoritiestä (V1) aina kevyen liikenteen väylään (K2) vaikuttavat mm. mitoitusnopeus ja ennustettu liikennemäärä (Väylävirasto, 2018a, s. 30).

Epätasainen routanousu johtaa tien epätasaiseen pintaan (Väylävirasto, 2018a, s. 25). Sekalaatuinen pohjamaa johtaakin selvästi alempaan sallittuun routanousuun (Väylävirasto, 2018a, s. 30).

Kantava ja jakava kerros vaimentavat edelleen liikennekuormitusta ja johtavat veden pois rakenteesta ettei se roudi (Lätti, 2016, s. 28). Suodatinkerros estää rakennekerrosten sekoittumisen pohjamaahan (Belt ym., 2002, s. 12). Se myös kuivattaa rakennetta vettä läpäisevänä ja kapillaarista nousua hidastavana rakenteena (Belt ym., 2002, s. 12). Jos alusrakenne on routivaa, niin riittävän paksulla suodatinkerroksella voidaan varmistaa ettei se pääse jäätymään vähentäen routanousua (Belt ym., 2002, s. 12). Alusrakenteen kelpoisuus määräytyy luonnonkiviainesten osalta etenkin rakeisuuden ja kuivatusolosuhteiden perusteella (Väylävirasto, 2018a, s. 20).

Roudan ulottuminen alusrakenteeseen riippuu päällysrakenteen paksuudesta. Alusrakenne voi olla routivaa, jos suodatinkerros on tarpeeksi paksu eikä routa ulotu alusrakenteeseen. Alusrakenteen ollessa routivaa päällysrakenteen laskennallisen kokonaispaksuuden ( $R_{red}$ ) tulee olla vähintään yhtä suuri kuin tierakenteen mitoittava roudansyvyys. Esimerkiksi Kuulojantien koerakenteen sijainnissa mitoittava roudansyvyys on 1,6 metriä. Jokaisen päällysrakennekerroksen paksuus ja eristävyys vaikuttaa laskennalliseen kokonaispaksuuteen ( $R_{red}$ ). Mitoitus on määritetty hiekan mukaan, joten eristävyden osalta käytetään materiaalikohtaista vastaavuusarvoa. (Väylävirasto, 2018a, ss. 26–27)

Uusiomateriaalien osalta myös viereisille rakenneosille voidaan joutua asettamaan erityisiä vaatimuksia kuten kemiallinen yhteensopivuus metalliputkien kanssa (Väylävirasto, 2020a, s. 33; ks. myös Saarinen ym., 2014, ss. 4–5). Myös päällysteen halkeilun myötä tiesuola aiheuttaa kemiallista rasitusta alempiin rakennekerroksiin (Väylävirasto, 2020a, s. 49).

Tien rakennekerroksissa käytettävät materiaalit ja niiden kerrospaksuudet esitetään rakennussuunnitelman tyyppipoikkileikkauksessa (Väylävirasto, 2013, s. 26). Mitoitettavan roudan syvyys ja sallittu laskennallinen routanousu sekä tavoitekantavuudet esitetään rakennussuunnitelman päällysrakennetaulukossa (Väylävirasto, 2013, s. 23).

## 4 Kuonatoruotteiden yleisen teknisen soveltuvuuden arviointi

Fortumin tavoitteena on osoittaa kuonatoruotteiden yleinen soveltuvuus Väyläviraston ja ELY-keskusten valtakunnallisten tiehankkeiden päällystettyihin suodatinkerroksiin (0–2 mm ja 0–16 mm materiaalit) ja jakaviin kerroksiin (0–32 mm materiaali) (Sormunen, 2021). Valtakunnallisissa hankkeissa soveltuvuus tulee esittää hankekohtaisessa tai yleisessä arviointipyyntössä (Väylävirasto, 2020a, s. 8).

Tässä luvussa esitetään Väyläviraston uusiomateriaalin yleisen teknisen soveltuvuuden arviointimenettely sekä arviointipyyntössä esitettävät ja esitetyt tiedot.

### 4.1 Väyläviraston arviointimenettely

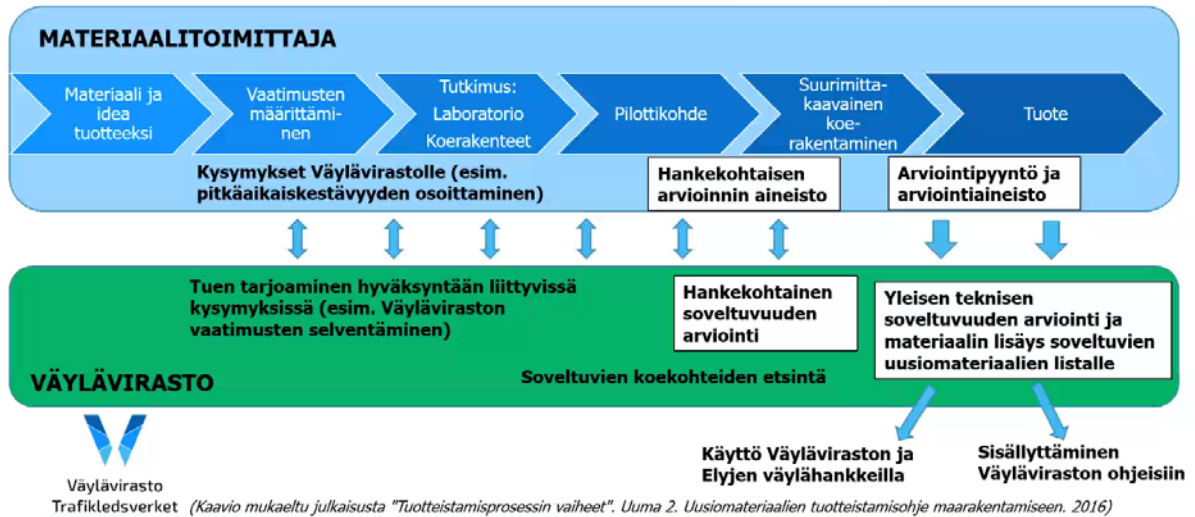
Väyläviraston ja ELY-keskusten tiehankkeissa on vaatimuksena uusiomateriaalin teknisen soveltuvuuden arviointi (Väylävirasto, 2020a, s. 8). Arviointimenettelyä ollaan ottamassa käyttöön ja se vastaa menettelyltään materiaalihyväksyntää (Väylävirasto, 2021a).

Materiaalihyväksyntään liittyviä ohjeita on ollut Väyläviraston (2020a) Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa, Liikenneviraston uusiomateriaaliopas (Väylävirasto, 2014) sekä luonnos oppaasta Liikenneviraston materiaalihyväksyntä (Väylävirasto, 2013). Käytössä on ollut myös Tiehallinnon (nyk. Väylävirasto) ohjeen Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa (Väylävirasto, 2006) mukainen tyyppihyväksyntä. (Lehtonen, 2019, s. 3; ks. myös Väylävirasto, 2020a, s. 4)

Arviointi tehdään uusiomateriaalitoimittajan arviointipyyntön perusteella hankekohtaisesti tai yleisesti. (Väylävirasto, 2020a, s. 24). Uusiomateriaalitoimittajana on esimerkiksi valmistaja, valmistuttaja tai maahantuoja (Väylävirasto, 2020a, s. 24). Väylävirasto on tehnyt arviointeja Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa -ohjeen julkaisun jälkeen eli kesäkuusta 2020 lähtien (Väylävirasto, 2021b, ss. 1–2). Yleiset ja hankekohtaiset arviointiperiaatteet ovat molemmissa menettelyissä samat, mutta uusiomateriaali voi olla yleisesti soveltuva vain riittävän käyttökokemuksen eli riittävien koerakenteiden tai hankekohtaisten arviointien sekä niistä tehtyjen mittausten jälkeen (Väylävirasto, 2020a, s.

24). Materiaalitoimittajan tuotteistamiseen liittyvät vaiheet sekä Väyläviraston rooli on esitetty alla olevassa kuvassa 9.

Kuva 9. Uusiomateriaalin tuotteistamiseen liittyvä prosessi sekä Väyläviraston tuki soveltuvuuteen liittyvissä kysymyksissä ja koekohteiden etsimisessä (Väylävirasto, 2021a)



Yleisen teknisen soveltuvuuden arviointimenettely suositellaan aloitettavan keskustelulla Väyläviraston kanssa. Keskustelun lähtötietoina on materiaalitoimittajan tutkimustulokset. Tarkoituksena on selvittää mitä materiaalin lisätestauksia, koerakentamista ja sen seurantaan tarvitaan. Arviointipyyntöä esitetään yleiskuvaukset materiaalitoimittajan liiketoiminnasta, uusiomateriaalista, sen tuotannosta ja käyttöhistoriasta sekä käyttökohteen vaatimuksista. Lisäksi esitetään uusiomateriaalin ohjeet, tutkimusraportit ja soveltuvuuden perustelumuuisto. Arviointimenettely kestää yleensä kuukausista vuosiin (Väylävirasto, 2021a). (Väylävirasto, 2020a, ss. 25–27)

Yleinen soveltuvuus voidaan myöntää hakemuksen mukaisiin hyötykäyttökohteisiin eli rakenneosiin (Väylävirasto, 2020a, s. 28). Uusiomateriaali voi soveltua rakenneosaan sellaisenaan tai osana seosta esimerkiksi stabiloinnissa tai betonituotteissa (Väylävirasto, 2020a, s. 25; ks. myös Räsänen, 2018, s. 24). Arviointikirjeessä Väylävirasto esittää hyväksytyt mitoitusparametrit ja laatuvaatimukset sekä käytön ehdot ja rajoitteet (Väylävirasto, 2020a, s. 28).



Väylävirasto pyrkii edesauttamaan uusiomateriaalien käyttöä omissa hankkeissaan ohjeistuksen avulla ja sen kehittämällä (Väylävirasto, 2021a). Lisäksi Väylävirasto osallistaa materiaalitoimittajia ohjeiden kehittämisessä. Esimerkiksi vuoden 2021 maaliskuussa Väylävirasto järjesti arviointipyyntöjä laativille kehitystyöpajan arviointimenettelyn kehittämiseksi (Väylävirasto, 2021a). Fortum on käynyt Väyläviraston kanssa vuoropuhelua, johon on liittynyt etenkin koerakennuskohteiden etsiminen sekä keskustelu mittaustuloksista ja arviointipyyntöön tarvittavista liiteasiakirjoista (Sormunen, 2021).

Kuonatoratuotteiden käyttöön liittyviä ohjeita selkeytetään ja päivitetään käyttökokemuksen kartuttua myös arviointipyyntöjen jälkeen. Kuonatoratuotteiden hyötykäyttöä pyritään edistämään tässä opinnäytetyössä käsitellyn Väyläviraston yleisen soveltavuuden arvioinnin myötä sekä teettämällä myös tulevaisuudessa julkisia korkeakoulujen opinnäytetöitä. Arviointimenettelyä voidaan kehittää saatujen kokemusten myötä. Pohjakuonan jalostettavuutta vaativampiin hyötykäyttökohteisiin kuten kantavaan kerrokseen tai peitettyihin rakenteisiin edelleen selvitetään. Yleisen arviointimenettelyn kehittäminen on siten myös Fortumin kierrätys- ja jäteliiketoimintaan liittyvä jatkuvasti kehitettävä prosessi.

## 4.2 Arviointipyyntöjen tavoitesisältö

Arviointipyyntöjen tavoiteltu sisältö on esitetty Väyläviraston (2020a, 32–37) ohjeen luvussa 4.4, jonka alaotsikot on lueteltu alla olevassa kuvassa 10.

Kuva 10. Yleisen soveltavuuden arviointipyyntöjen tavoitesisältö (Väylävirasto, 2020a, s. 5)

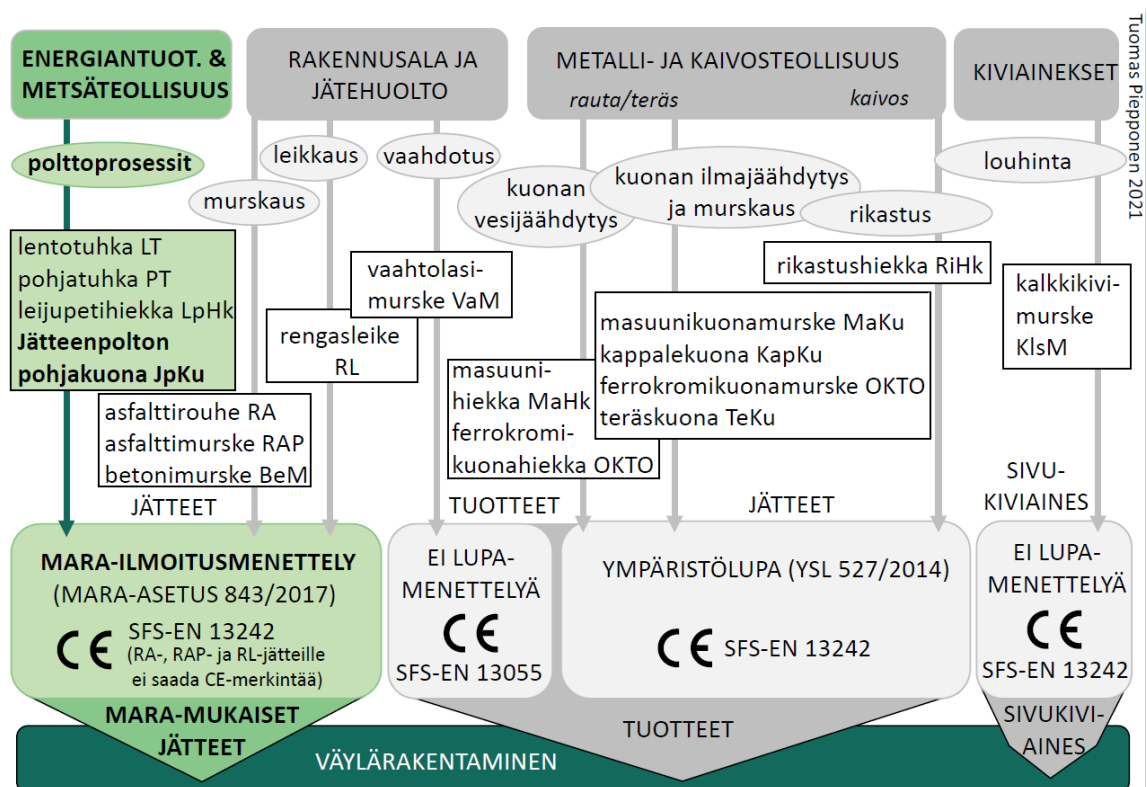
- 4.4.1 Uusiomateriaalin ja sen tuotannon yleiskuvaus
- 4.4.2 Ympäristökelpoisuus
- 4.4.3 Ehdotus materiaalivaatimuksiksi
- 4.4.4 Vaatimukset ylä- tai alapuolisille rakennekerroksille
- 4.4.5 Kemiallinen yhteensopivuus
- 4.4.6 Rakenteiden suunnittelu- ja mitoitusohjeet sekä mitoitusparametrit
- 4.4.7 Käyttöturvallisuus
- 4.4.8 Rakentamisen työ- ja laadunvarmistusohjeet
- 4.4.9 Kunnossapito-ohjeet ja ohjeet käytöstä poistamiseksi
- 4.4.10 Käyttöhistoria
- 4.4.11 Tekninen soveltavuus suunniteltuun käyttökohteeseen
- 4.4.12 Riskien arviointi

#### 4.2.1 Uusiomateriaalin laadun ja laadunhallinnan esittäminen

Uusiomateriaalin valmistus ja laadunhallinta, sekä valmiin tuotteen ominaisuudet ja kelpoisuus kuvataan arviointipyyntössä (Väylävirasto, 2020a, s. 26). Valmistuksen osalta kerrotaan missä ja kuinka uusiomateriaalia valmistetaan (Väylävirasto, 2020a, s. 32).

Valmiin uusiomateriaalin ominaisuudet kuten koostumus sekä tekniset ominaisuudet esitetään arviointipyyntössä (Väylävirasto, 2020a, s. 26). Uusiomateriaalin laatu luokitellaan, jos materiaalin luokitus on olemassa (Väylävirasto, 2020a, s. 26). Tekninen kelpoisuus osoitetaan suoritustasoilmoituksella ja CE-merkinnällä, jos uusiomateriaali kuuluu harmonisoidun tuotestandardin piiriin (Väylävirasto, 2020a, s. 32). Ympäristökelpoisuus osoitetaan ympäristölainsäädännön mukaisesti ympäristöluvalla, hyväksytyllä ilmoitusmenettelyllä tai tuoteluokittelun perusteella. Väylärakentamisessa käytettävien uusiomateriaalien tekniseen ja ympäristökelpoisuuteen liittyvät keskeiset vaatimukset ja menettelyt on esitetty kuvassa 11.

Kuva 11. Uusiomateriaalien hyötykäyttöön liittyvän ympäristö- ja teknisen kelpoisuuden osoittaminen väylärakentamisessa (Väylävirasto, 2020a)



Viranomaiskäsittelyyn liittyvien dokumenttien lisäksi tarvitaan tuotannon laadunvarmistuksen dokumentointi. Laadunvarmistuksen avulla hankkeisiin ei päädy MARA-ilmoituksesta poikkeavia materiaali-eriä. Laadunvarmistukseen kuuluu uusiomateriaalin valmistukseen ja varastointiin liittyvä laadunvalvonta sekä sovellettavan lupamenettelyn tai tuotestatuksen perusteet. Uusiomateriaalin käyttöön liittyvät mahdolliset rajoitteet tulee esittää. (Väylävirasto, 2020a, ss. 32–33)

Uusiomateriaalin laatu varmistetaan säännöllisellä testaamisella. Arviointipyyntöissä esitetään kuinka usein testauksia tehdään, millä menetelmillä, mitä tuloksia on saatu sekä tuloksiin liittyvät tilastot kuten vaihteluvälit. Laadunhallintaan kuuluu myös tuotannon ja varastoinnin ja laadunvalvonta. Valmiin tuotteen saatavuuteen liittyen esitetään valmistuspaikan sijainti, tuotantokapasiteetti sekä tuotannon mahdollinen kausivaihtelu (Väylävirasto, 2020a, s. 26). (Väylävirasto, 2020a, s. 32)

#### **4.2.2 Uusiomateriaalin teknisen soveltuvuuden esittäminen**

Arviointipyyntöissä esitetään mihin rakenneosiin uusiomateriaali soveltuu ja millä ehdoin. Uusiomateriaalin ja valmiin rakenteen teknisten ominaisuuksien raja-arvot ja niiden testaustiheydet tulee määrittää. Hyötykäytössä pitää huomioida yhteensopivuus viereisten rakenneosien kanssa. Teknisen soveltuvuuden osoittamisessa tulee huomioida Väyläviraston Tierakenteen suunnittelu -ohjeen, Rakennustiedon InfraRYL:n ja Päälystealan neuvottelukunnan (PANK) Asfalttinormien vaatimukset. (Väylävirasto, 2020a, ss. 26–27)

Infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia tien rakenneosien osalta on etenkin InfraRYL:n luvut 18100 Penkereet ja 21000 Päälysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset. InfraRYL:n vaatimukset materiaalien ominaisuuksista liittyvät pääosin rakeisuuteen, tiiviyyteen ja tasalaatuisuuteen. Esimerkiksi suodatinkerroksessa tulee myös huomioida kemiallinen yhteensopivuus muiden rakenteiden kuten putkien kanssa, ja kantavan kerroksen kulutus- ja iskunkestävyys tulee osoittaa. Uusiomateriaaleja käytettäessä ohjeistetaan ympäristökelpoisuuden osoittaminen. Tekninen soveltuvuus todennetaan yleensä ennakkokokein ja koerakentein. Rakenteissa käytettävä materiaali tulee näytteistää kattavasti ja laadun todentamisessa tulee käyttää InfraRYL:ssä esitettyjä tai muita soveltuvia

tutkimusmenetelmiä. Uusiomateriaaleja käytettäessä vaatimuksena Väyläviraston ja ELY-keskusten hankkeissa on noudattaa Väyläviraston uusimpia ohjeita. (Rakennustieto, 2021)

Uusiomateriaaleista tulee määrittää laboratoriossa ainakin rakeisuus, vesipitoisuus, optimivesipitoisuus, tiivistettävyyden, vedenläpäisevyys, routivuus, leikkauskestävyys, hienonemisherkkyys, jäätyminen-sulamiskestävyys kantavan ja jakavan kerroksen osalta sekä kapillaarisuus suodatinkerroksen osalta (Väylävirasto, 2020a, 48).

Materiaalitoimittajan tulee laatia ohjeet uusiomateriaalin koko elinkaaresta suunnitteluvaiheesta käytöstä poistoon (Väylävirasto, 2020a, s. 27). Suunnitteluvaiheeseen liittyvät suunnittelu- ja mitoitusohjeet sisältäen mitoitusparametrit (Väylävirasto, 2020a, s. 27). Päällysrakenteiden osalta vaadittavia parametrejä ovat E-moduuli, eristävyys vastavuuskerroin, routaturpoama, vaurioitumisherkkyys ja tilavuuspaino eri kosteustiloissa (Väylävirasto, 2020a, s. 48). Mitoitusparametrien määrittäminen vaatii yleensä koerakenteiden tutkimista (Väylävirasto, 2020a, s. 48).

Rakentamisvaiheeseen liittyy etenkin työstämiseen, käyttöturvallisuuteen, varastointiin ja laadunvarmistukseen liittyvät ohjeet (Väylävirasto, 2020a, s. 27). Lisäksi laaditaan ohjeet valmiin rakenteen kunnossapidosta ja käytöstä poistosta (Väylävirasto, 2020a, s. 27). Materiaalin käytettävyyteen voi myös liittyä muita noudatettavia ohjeita (Väylävirasto, 2020a, s. 11).

Arviointipyyntöön tulee osoittaa että uusiomateriaali toimii suunnitellussa rakenteessa teknisesti sekä kestää pitkäaikaisesti käyttöolosuhteita. Hyötykäyttökohteen mitoitusparametrit tulee perustella. Perusteluissa viitataan julkisiin tutkimusraportteihin ja arviointipyyntöön liitteeksi laitettaviin materiaalitoimittajan tutkimusraportteihin. Arviointipyyntöön kerrotaan myös yleistietoja materiaalitoimittajan liiketoiminnasta ja uusiomateriaalin käyttöön liittyvistä kokemuksista. (Väylävirasto, 2020a, ss. 26–27)

Hyötykäytön riskit tulee arvioida. Riskien arviointiin liittyy riskien luokittelu todennäköisyyden ja vakavuuden perusteella sekä vaadittujen toimenpiteiden määrittäminen niiden hallitsemiseksi. (Väylävirasto, 2020a, s. 36)

### 4.3 Arviointipyyntöjen laatiminen ja sisältö

Fortumin toimeksiantona tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Väyläviraston yleisen teknisen soveltuvuuden arviointipyyntöjen tekeminen suodatin- ja jakavaan kerrokseen tarkoitettujen kuonatoratuotteiden osalta. Lopullinen arviointipyyntö laaditaan kun riittävä määrä tutkimuksia arvioidaan tehdyksi.

Käsitellyn pohjakuonan soveltuvuutta hyötykäyttöön on tutkittu koerakentamisten myötä vuodesta 2009 lähtien. Samassa yhteydessä silloista Tiehallinnon tyyppihyväksyntää eli nykyistä Väyläviraston yleistä teknistä soveltuvuutta selvitettiin (Lehtonen, 2009, ss. 16–17). Selvitystyön jälkeen kuonatoratuotteet on arvioitu soveltuvaksi etenkin päällystettyyn suodatin- ja jakavaan kerrokseen. Arviointipyyntöjen laatimista on edeltänyt kuvan 12 mukaisesti jalostettujen kuonatoratuotteiden ominaisuuksien ja koerakenteiden tutkiminen. Arviointipyyntö laaditaan Väyläviraston (2020a) ohjeen mukaisesti ja sisällysluettelo kuvan 10 mukaisin jaotteluin.

Kuva 12. Väyläviraston arviointipyyntöissä esitetään kuonatoratuotteiden tuotannon, materiaalin ominaisuuksien sekä valmiin rakenteen kelpoisuus ja laadunhallinta



Arviointipyyntöjen rakenteellisena tavoitteena oli selkeys sekä asiakirjoihin viittaaminen lyhyellä yhteenvedolla. Jokaiseen lukuun liittyy yleiskuvaus sekä viittaus lisätietoihin liiteasiakirjoissa tai julkisissa lähteissä. Kuonatoratuotteiden ominaisuudet ja olemassa olevat hyötykäyttökohteet ovat taulukoituina, jotta Väyläviraston arvioijat pystyvät helposti tarkastelemaan kokonaisuutta. Taulukoissa on esitetty keskeiset tiedot ja viittaukset lisätietojen osalta. Arviointipyyntöissä viitattavina liiteasiakirjoina ovat etenkin Fortumin laadunhallintaan liittyvät dokumentit sekä kuonatoratuotteisiin liittyvät ohjeet. Lisäksi viitataan opinnäytetöissä esitettyihin koerakenteiden tutkimustuloksiin. (Fortum, 2021b)

#### **4.3.1 Kuonatoratuotteiden tuotannon laadunvarmistus**

Fortum käsittelee omien laitostensa sekä asiakasyritystensä pohjakuonat ja jalostaa niistä kuonatoratuotteita. Pohjakuonasta tehtävien uusiomateriaalien valmistamisesta vastaa Fortumin Recycling & Waste (kierrätys- ja jäte) -liiketoiminnan Ash & Slag (tuhka ja kuona) -tuotelinja. Tuotannon laadunvarmistus tehdään laaduntarkkailusuunnitelman mukaisesti, mikä puolestaan perustuu Fortumin toimintamalliin ja laadun- ympäristön- ja turvallisuudenhallintajärjestelmiin. Tuotannonvalvonnan vastuuhenkilöt on nimettyjä, jotta vaatimustenvastaiset tuotteet estetään ja tarvittaviin toimenpiteisiin on valtuudet. (Fortum, 2021b)

Pohjakuonan tuotannossa ja valmiin tuotteen elinkaareissa noudatetaan Fortumin yksityiskohtaisia ohjeistuksia. Tuotantoon liittyy vastaanotto, varastointi ja jalostus. Pohjakuonaa voidaan jalostaa toimipaikoissa, joissa siihen on ympäristölupa, kuten pääosassa Fortumin materiaalikeskuksissa tai Fortumin asiakkaiden toimipaikoissa siirrettävän kuonankäsittelylaitteiston avulla. (Fortum, 2021b)

Valmiin tuotteen laadunvarmistus tehdään näytteenottosuunnitelman mukaisesti. Ympäristökelpoisuuden osalta sovelletaan ympäristölainsäädäntöä ja etenkin Ympäristöhallinnon (2019b) ohjeita sekä lomakkeita. Tuotteen toimitus, käyttöönotto ja käytöstä poisto tehdään Fortumin määrittämien toimintatapojen mukaisesti. (Fortum, 2021b)

#### **4.3.2 Kuonatoratuotteiden jalostus ja koostumus**

Jätteenpolton pohjakuonasta jalostetaan kuonatoratuotteita hyötykäyttökohteiden vaatimusten mukaisesti. Pohjakuonan ja kuonatoratuotteiden jalostus ja koostumus esitetään Fortumin (2021a) kuonaohjeessa sekä esimerkiksi Söderholmin (2020, ss. 13–36) opinnäytetyön luvuissa 3 ja 4.

Jalostettavan pohjakuonan hehikutushäviö alittaa jätteenpolttoasetuksen vaatimuksen (Söderholm, 2020, s. 25). Arinapolton pohjakuona koostuu eroteltavista rautametalleista

(10–12 %) ja muista metalleista (2–5 %) sekä hyötykäytettävästä mineraaliaineksesta (80–85 %) (Söderholm, 2020, ss. 12–15). Mineraaliaineksen suurimmat jakeet välpätään. Välpätty mineraaliaines seulotaan eri jakeisiin, jotka lopulta suhteutetaan kuonatoratuotteittain niiden tavoitellun rakeisuuden mukaisesti (Söderholm, 2020, s. 13). Tiettyjä seuloituja jakeita voidaan myös käyttää sellaisenaan rakenneosissa. Valmiiden tuotteiden rakeisuudet täyttävät InfraRYL:n vaatimukset (Söderholm, 2020, s. 22).

Kuulojantien koerakenteessa käytettyjen kuonatoratuotteiden mineraaliaineksen osa-aineet tutkittiin uusiokiviainesten luokittelua varten. Mineraaliaines ei sisältänyt silmämääräisesti betonia, kiviainesta sekä bitumisia materiaaleja, mutta muita osa-aineita kuten tiiltä ja lasia todettiin. (Söderholm, 2020, s. 27)

### **4.3.3 Kuonatoratuotteiden käyttökokemukset**

Kuonatoratuotteiden käyttökokemukset ja koerakenteisiin liittyvät tutkimus- ja seurantalulokset ovat keskeisessä roolissa kuonatoratuotteiden soveltuvuuden arvioinnissa. Tuloksista ja niiden tulkinnasta laaditaan ja ollaan laatimassa opinnäytetöitä, joihin viitataan arviointipyyntöissä. (Fortum, 2021b)

Fortumin ja Väyläviraston käymien keskustelujen perusteella soveltuvuutta on todennettu koerakenteilla. Koerakenteet ovat Fortumin rakennuttamia ja ne on tehty raskaan liikenteen kuormittamalle Hausjärven Kuulojantielle ja Riihimäki–Hikiä väliseen kevyen liikenteen väylään. Kuonatoratuotteita käytettiin päällystetyissä suodatin- ja jakavissa kerroksissa. Kuulojantien koerakenteen tulokset käsitellään Söderholmin (2020) ja Lahtisen (2021) opinnäytetyöissä. Arviointipyyntöä täydennetään vielä ainakin tulevassa opinnäytetyössä käsiteltävien Riihimäki–Hikiä välisen koerakenteen tulosten tarkastelulla. (Fortum, 2021b)

Söderholmin (2020, s. 2) opinnäytetyössä esitetään etenkin pohjakuonan jalostus kuonatoratuotteiksi, Kuulojantien koerakenteessa käytettyjen kuonatoratuotteiden ominaisuudet ja kelpoisuudet sekä niiden rakentaminen ja laadunvarmistustulokset. Koerakenteen routivuuden ja kantavuuden osalta arviointipyyntöissä viitataan pääosin Lahtisen (2021) kandidaatintyön tuloksiin (Fortum, 2021b). Opinnäytetyössä käsitellään

kuonakoetien valmiiden rakenteiden routivuuteen ja kantavuuteen liittyviä seurantatuloksia. Lisäksi Riihimäki–Hikiä välisen koetien tulokset esitetään arviointipyyntöissä, kun tulokset on käsitelty arviolta syksyllä 2021 (Fortum, 2021b). Tulokset esitellään tulevassa opinnäytetyössä, ja niihin viitataan arviointipyyntö luonnoksen tulevassa päivityksessä.

Osana yleisen soveltavuuden osoittamista Fortumin koerakenteista tehdään pitkäaikaisseurantaa hankkeiden seurantasuunnitelmien mukaisesti. Seurannassa kuonatoratuotteista tehtyjä rakenteita vertaillaan luonnonkiviaineista tehtyihin referenssirakenteisiin. Seurantaan liittyviä tutkimuksia tehdään vähintään kolmen vuoden ajan ja suunnitelmia täydennetään tarvittaessa lisätutkimuksilla. (Fortum, 2021b)

#### **4.3.4 Kuonatoratuotteiden kelpoisuus**

Arviointipyyntöön liitteenä esitetään kuonatoratuotteiden ympäristökelpoisuuteen liittyvä lausunto sekä koerakenteissa käytettyjen kuonatoratuotteiden suoritustasoilmoitukset ja CE-merkinnät. (Fortum, 2021b)

Materiaaleista määritetään ympäristökelpoisuuteen liittyvät pitoisuudet MARA-asetuksen mukaisesti (Söderholm, 2020, s. 20). Kuonatoratuotteiden pitoisuudet alittavat MARA-asetuksen mukaiset päällystetyn väylän vaatimukset (Söderholm, 2020, s. 36). Käsitelty jätteenpolton pohjakuona kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamispiiriin, jolloin sen tekniset ominaisuudet määritetään tuotestandardin SFS-EN 13242:2003 + A1:2008/AC:2017 (2017) mukaisesti soveltuvin osin. Testatut ominaisuudet ilmoitetaan suoritustasoilmoituksessa ja kuonatoratuotteet CE-merkitään. Arviointipyyntöön lisätään kuonatoratuotteiden laatuluokittelut, jos niihin liittyvä infraohjekortti laaditaan ennen lopullista arviointipyyntöä. (Fortum, 2021b)

Kuonatoratuotteet valmistetaan niin, että ne täyttävät suoritustasoilmoituksen ilmoittamien perusominaisuuksien sallitun tason. Vaatimuksina on esimerkiksi teknisten ominaisuuksien osalta rakeisuus ja ympäristöominaisuuksien osalta sallitut liukoiset metallipitoisuudet. Teknisten ominaisuuksien sallittuihin vaihteluväleihin tai raja-arvoihin perustuvat luokat on



esitetty tuotestandardissa. Suoritusasoilmoitus ei pidä sisällään pelkästään valmiista rakenteesta määritettäviä parametrejä kuten kantavuutta. (Fortum, 2021b)

#### 4.3.5 Kuonatorarakenteiden suunnittelu

Kuonatoratuotteista tehtävien rakenteiden suunnitteluun ja mitoitukseen liittyvät asiat esitetään Fortumin (2021a) kuonatoroheessa. Tien päällysrakenteen kuormituskestävyys mitoitetaan routivuuden ja kantavuuden perusteella. Kuonatoratuotteiden kantavuus- ja routivuusominaisuuksien tulee täyttää tie- tai katuluokan vaatimukset sekä rakeisuuden tulee olla InfraRYL:n mukainen. Kuonatoratuotteiden mitoituksesta laaditaan ohjeet, jotka sisältävät tarvittavat mitoitusparametrit. Selvitettävänä mitoitusparametreinä on ainakin E-moduulit, lujittuminen, routivuus, vastaavuus eristävyuden kannalta sekä tilavuuspaino eri vesipitoisuuksilla. Suunnittelu- ja mitoitusohjeet liitetään arviointipyyntöön. (Fortum, 2021b)

Kuonatoratuotteista tehtyjen rakenteiden routivuutta on selvitetty materiaalin routivuusominaisuuksien määrittämisellä sekä valmiin rakenteen seuranta tutkimuksilla. Seuranta tutkimuksilla osoitetaan kuonatoratuotteista tehtyjen rakenteiden kuormituskestävyys. Oleellista on etenkin Kuulojantien koerakenteen kantavuuden ja routivuuden seuranta tulosten tulkinta Lahtisen (2021) kandidaatintyössä. Työn tuloksia sovelletaan arviointipyyntöön liitteenä toimitettavaan mitoitusohjeeseen. Kuonatoratuotteiden käyttöohjeita päivitetään laatuluokittelulla, jos kansallinen kuonan infraohjekortti laaditaan. (Fortum, 2021b)

Kuulojantien koerakenteen ensimmäisen talven seuranta tulokset ovat olleet lupaavia kuonan routivuuden osalta. Routivuusominaisuuksia tutkittiin myös ennen rakentamista. Osa määrittämisistä tehtiin luonnonkiviaineksille kehitetyillä menetelmillä ja niiden käyttöön perustuvien laatuvaatimusten mukaisesti, joten niillä ei voida suoraan päätellä uusiomateriaalin routivuutta. (Fortum, 2021b)

Kuonatoratuotteet täyttävät InfraRYL:n rakeisuuskäyrien vaatimukset (Söderholm, 2020, s. 22). Routivuusominaisuuksia voivat parantaa kuonatoratuotteiden hyvä vedenjohtavuus, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin karkealla hiedalla (Söderholm, 2020, s. 30). Lisäksi

lämmöneristävyys on selvästi luonnonkiviainesta korkeampaa (Söderholm, 2020, s. 30). Vedenimeytymiskorkeus on suhteellisen korkea, mikä on otettava huomioon riittävän kapillaarikatkon eli tarvittavan kerrospaksuuden osalta (Söderholm, 2020, s. 31). Kuonatoratuotteille on määritetty myös ominaisuuksia, jotka voivat heikentää routivuusominaisuuksia. Ensinnäkin luonnonkiviaineksille tarkoitetun routimiskertoimen perusteella kuonatoratuotteet luokitellaan jonkin verran routiviksi (Söderholm, 2020, s. 35). Lisäksi vedenimukyky on luonnonkiviaineksia korkeampi, ja jäädytys-sulatuskestävyys ylittää InfraRYL:n vaatimuksen maksimitason (Söderholm, 2020, ss. 24–27).

Kuulojantien koerakenteen seurantasuunnitelmaan kuuluvat routivuuteen liittyen vaurioinventoinnit sekä lämpötila- ja routanousumittaukset. Mittausten perusteella Lahtinen (2021) on laskenut kuonatoratuotteiden lämmöneristävyyttä ja roudansyvyyttä Kuulojantiellä pakkaskaudella 2020–2021. Alustavan laskennallisen arvion perusteella kuonatoratuotteiden eristävyysvastaavuusarvot olivat yli kaksinkertaiset (Lahtinen, 2021). Suuruusluokkana suodatinkerroksen vastaavaan eristävyyteen riittää hiekkään verrattuna puolikas kerrospaksuus kuonatoratuotteita. On kuitenkin huomioitava että tulokset ovat vain yhdeltä talvelta (Sormunen, 2021). Lopullisessa laskennassa otetaan huomioon myös varovaisuusperiaate (Sormunen, 2021). Routanousu oli talvella suurempaa referenssirakenteessa (Lahtinen, 2021). Keväällä tehdyssä vaurioinventoinnissa ei todettu routavaurioita (Lahtinen, 2021). (Fortum, 2021b)

Koerakenteessa käytettyjen kuonatoratuotteiden jäykkyys- ja lujuusominaisuuksia tutkittiin kuormituslaitteiston avulla syklisissä kolmiakksiaalikoikeissa (Söderholm, 2020, ss. 21–22). Toteutuneet kantavuudet ja kerrospaksuudet mitattiin rakentamisen aikana rakennekerroksittain (Söderholm, 2020, s. 48). Mittaustuloksia hyödynnettiin E-moduulien takaisinlaskennassa Odemarkin menetelmällä (Söderholm, 2020, s. 48). Kuonatoratuotteille määritetyt alustavat mitoitusmoduulit on esitetty Söderholmin (2020, s. 60) opinnäytetyön taulukossa 11. Kantavuusmittauksia on tehty myös keväällä 2021. Tuloksia tarkastellaan Lahtisen (2021) kandidaatintyössä.

Kuonatoratuotteiden odotetaan lujittuvan rakenteessa aikaisempien tutkimusten perusteella. Toisaalta on huomioitava että pohjakuona on altis kestävyttä heikentävälle

hienonemiselle käytön aikaisessa rasituksessa (Söderholm, 2020, s. 16). Pitkäaikaista hienonemista tutkitaan hienonemissäkkien avulla (Söderholm, 2020, s. 46). Tierakenteeseen asennetut säkit kaivetaan ylös tutkimuksia varten muutaman vuoden päästä (Söderholm, 2020, s. 50). Näiden tekijöiden kokonaisvaikutusta kantavuuteen seurataan suunnitelman mukaisesti säännöllisesti tehtävien kantavuusmittausten myötä (Sormunen, 2021).

Tarvittaessa arviointipyyntöä täydennetään lisätutkimusten myötä. Lähtökohtaisesti mitä paremmat kantavuus- ja routivuusominaisuudet kuonatoratuotteilla voidaan luotettavasti osoittaa olevan, sitä laajempi on hyötykäyttökohteiden kirjo. Materiaalitehokkuuden kannalta lisätutkimuksia kannattaa siis tehdä, jos vaihtoehtona on liialliset varmuuskertoimet mitoitusparametrien osalta.

#### **4.3.6 Kuonatoratuotteilla rakentaminen**

Kuonatoratuotteiden käytöstä maarakentamisessa sekä siihen liittyvästä laadunvarmistuksesta laaditaan ohjeet urakoitsijalle sovellettavaksi rakennusvaiheissa. Lisäksi laaditaan erilliset käyttöturvallisuus- ja riskienhallintaohjeet. Ohjeet esitetään arviointipyyntöissä. Rakennusvaiheeseen liittyy etenkin kuonatoratuotteiden toimitus työmaalle, varastointiin liittyvät toimenpiteet sekä soveltuvat työkoneet, -menetelmät sekä suojavälineet. (Fortum, 2021b)

Kuonatoratuotteiden käytettävyydestä työmaalla on tähän mennessä ollut lähinnä hyviä kokemuksia, eikä merkittäviä haasteita ole todettu (Sormunen, 2021). Kuonatorajakeiden tiheydet ovat hieman matalammat kuin luonnonkiviaineilla (Söderholm, 2020, s. 25). Tiheys vaikuttaa etenkin toimituksessa kuljetuskustannuksia vähentävästi sekä rakennusvaiheessa tiivistystyöhön. Urakoitsijan tulee varmistaa kuonatoratuotteiden saatavuus hyvissä ajoin tuotantoon liittyvän kausivaihtelun takia. Laadukkaan tiivistystyön aikaansaamiseksi sekä säältä suojaamiseksi kuonatoratuotteet tulee peittää kuljetusten ajaksi ja välivarastointia työmaalle on pyrittävä välttämään. Tarvittaessa työmaalla välivarastokasat peitetään, jotta vältetään etenkin haitalliselta veden haihtumiselta ja pölyämiseltä lämpiminä päivinä sekä liettymiseltä sateella. Työkoneiden riittämättömän

ilmanvaihdon tai puutteellisten suojarusteiden myötä voidaan myös altistua haitalliseen määrään pölyäviä ainesosia. (Fortum, 2021b)

Kuonatoratuotteiden korkea pH on huomioitava terveyden kannalta suojarusteissa ja korroosion kannalta viereisten rakenteiden osalta. Turvallisuuteen liittyvät fysikaaliset ja kemialliset perusominaisuudet ja niiden vaikutukset ympäristöön, terveyteen ja turvallisuussuunnitteluun esitetään käyttöturvallisuusohjeessa. Kuonatoratuotteilla voidaan rakentaa käyttäen tavanomaisia työkoneita, jolloin kuonatoratuotteiden hienonemista ei ole tarvetta varoa (Söderholm, 2020, s. 40). Rakennettaessa kuonan lajittumista tulee välttää hyvällä kaivutekniikalla. Valmiiden rakenteiden päältä ei saa liiallisesti ajaa työkoneilla haitallisen hienonemisen välttämiseksi. Tiivysmittauksissa soveltuva laite määräytyy kuonatoratuotteiden rakeisuuden perusteella. (Fortum, 2021b)

Koerakenteissa Troxler oli soveltuvampi hienorakeisemmän materiaalin mittaukseen ja karkearakeisemmän osalta soveltuvampi oli levykuormituskoe. Toisaalta Troxler ei näytä materiaalin vesipitoisuutta oikein, joten käyttö vaatii erilliset vesipitoisuuden laboratoriomääritykset. Kantavuusmittauksissa soveltuvat ainakin Loadman- kevyt pudotuspainolaite sekä levykuormituskoe kaivinkonetta vastapainona käyttäen. (Söderholm, 2020, s. 65)

#### **4.3.7 Kuonatoratuotteiden kunnossapito ja käytöstä poisto**

Kuonatoratuotteelle ei ole erityisiä kunnossapitovaatimuksia. Kuonatoratuotteet vaativat päällysteen, joten päällysteen halkeilu voi johtaa ympäristöhaittoihin. Päällysteen vaurioitumista tulee inventoida sekä päällyste- ja rakennevauriot kunnostaa, jotta materiaali toimii suunnitellusti. (Fortum, 2021b)

Kuonatoratuotteita voidaan joutua kaivamaan esimerkiksi tierakennustöiden jälkeisten putkiasennusten yhteydessä. Kaivettuja tai käytöstä poistettuja kuonatoratuotteita voidaan käyttää uudelleen, jos niiden ympäristökelpoisuus- ja laatuominaisuudet vastaavat aiottua käyttötarkoitusta. Uudelleenkäytön arviointi on huomattavasti helpompaa, jos niihin ei ole sekoittunut muita materiaaleja. (Fortum, 2021b)

## 5 Yhteenveto

Euroopan Unionin kiertotaloustavoitteet ja niihin liittyvät direktiivit luovat pohjan kansallisen lainsäädännön kehittämiseksi. Jäteveron korotukset ja muut kierrätysasteen nostamiseen tähtäävät säädökset luovat kannusteita siirryttäessä perinteisestä lineaarisesta talousmallista kiertotalousmalliin. Yhdyskuntajätteen loppusijoitus kiellettiin, jolloin asteittain kasvavan materiaalihyödynnyksen rinnalle tuli välivaiheena energiahyödynnyks.

Yhdyskuntajätteen poltosta arinatekniikalla syntyy sivuvirtana pohjakuonaa, josta Fortum pyrkii jalostamaan tuotteita mahdollimman korkean vaatimustason hyötykäyttökohteisiin. Jalostamisen avulla pohjakuonan ominaisuuksia parannetaan vastaamaan maa- ja tierakentamiskohteiden vaatimuksiin. Valmistettujen kuonatoratuotteiden käyttökelpoisuutta voidaan selvittää tutkimalla materiaalin tai valmiin rakenteen ominaisuuksia sekä ominaisuuksien muutoksia kuormitusten vaikutuksesta. Päälystettyyn suodatin- ja jakavaan kerrokseen soveltuvia kuonatoratuotteita on käytetty Fortumin koerakenteissa Hausjärven Kuulojantiellä ja Riihimäki–Hikiä-välin kevyen liikenteen väylällä.

Koerakenteista tutkitaan edelleen seurantamittauksilla etenkin routivuutta ja kantavuutta. Tulokset esitetään Väylävirastolle toimitettavassa yleisen teknisen soveltuvuuden arviointipyyynnössä, jonka laatiminen on ollut tämän opinnäytetyön aiheena. Väyläviraston soveltuvuuden arvioinnin myötä kuonatoratuotteita voidaan hyötykäyttää valtakunnallisissa tiehankkeissa ilman hankekohtaista arviointia. Väyläviraston arviointikirje helpottaa oletettavasti hyötykäyttöä myös muissa tiehankkeissa.

Kuonatoratuotteiden valmistaminen tien rakenneosiin vaatii reunaehtojen tuntemisen ja hallitsemisen. Tierakenteita ovat etenkin päällyys- ja alusrakenteet ajolinjan alla sekä vallirakenteet sivuilla. Hyötykäytön tekniset vaatimukset perustuvat ympäristö- ja liikenneolosuhteisiin, jotka vaihtelevat rakennusosittain. Etenkin liikennekuormitus, routiminen ja veden pääseminen rakenneosiin haittaavat tien ja sen rakenneosien toimivuutta.

Päälystetyn suodatin- ja jakavan kerroksen kuonatoratuotteet ovat ympäristölainsäädännön näkökulmasta jätteitä, joita voidaan hyötykäyttää tierakentamisessa ympäristöluvan myötä

tai MARA-asetuksen vaatimusten toteutuessa. Asetuksen perusteella täytyy huomioida etenkin riittävät etäisyydet pohjavedestä ja vesien hankinnasta sekä materiaalin liukoisten aineiden pitoisuudet. Kuonarakenteissa on liukoisia aineita, joiden kontaktia veden kanssa hallitaan edellä mainittujen lisäksi rakenteiden kuivatuksella ja ympäröivillä rakenteilla. MARA-asetuksen raja-arvot perustuvat liukoisten aineiden kulkeutumiseen liittyvään riskitarkasteluun, joten niiden sallitut raja-arvot ovat alhaisemmat kun tierakenteet päällystetään. Kuonatoratuotteet alittavat kyseiset päällystetyn tierakenteen raja-arvot.

Tierakenteiden haitallinen jäätyminen aiheuttaa routimista. Routimista ehkäistään etenkin päällyskerrosten materiaaleilla ja routamitoituksella. Kuonatoratuotteiden routivuusominaisuuksista ei voi suoraan päätellä niiden routivuutta, joten sitä on tutkittu koerakenteista. Kuulojantien koerakenteessa ei todettu routavaurioita ensimmäisen talven jälkeen, mutta routanousuun liittyvien tulosten tarkastelu on vielä kesken.

Liikennekuormitus kohdistuu enimmäkseen päällysteeseen ja kantavaan kerrokseen. Jakavan ja suodatinkerroksen jäykkyys- ja lujuusominaisuuksilla on kuitenkin merkitystä koko rakenteen kantavuuden osalta. Alustavat kantavuusmitoituksen E-moduulit laskettiin Söderholmin (2020, ss. 56–61) tulosten tarkastelussa. Lopulliset routimiseen ja kantavuuteen liittyvät mitoitusparametrit määrittävät missä tie- ja katuluokissa kuonatoratuotteita voidaan käyttää. Mitoitusparametrejä päivitetään Lahtisen (2021) tulosten perusteella.

Väylävirastolle lähetettävän arviointipyynnön tulee sisältää varsinaisen teknisen soveltuvuuden esittämisen myös muita asiakirjoja. Näitä on etenkin laadunhallintaan liittyvät dokumentit sekä ohjeet koko kuonatoratuotteiden elinkaareksi. Dokumentteja päivitetään samalla kun kuonatoratuotteiden käyttökokemuksia kartutetaan.

Arviointipyynnön luonnoksesta on tullut hyvää palautetta ennen kaikkea selkeään rakenteeseen liittyen. Fortumin kierrätys- ja jäteliiketoiminta kehittää jatkuvasti uusiomateriaaleja väylärakentamiseen, joten Väyläviraston arviointimenettelyä kehitetään osallistumalla Väyläviraston arviointimenettelyn kehittämistyöhön ja sisäisenä prosessina. Arviointimenettelyn jälkeen olisi siten tärkeää arvioida, miten vastaisuudessa menetellään mahdollisimman nopean menettelyprosessin ja riittävän tutkimusnäytön keräämiseksi.

## Lähteet

Belt, J. Lämsä, V. P. Savolainen, M. & Ehrola, E. (2002). *Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002*. Väylävirasto.

<https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3200747.pdf>

Blasenbauer, D. Huber, F. Lederer, J. Quina, M. Blanc-Biscarat, D. Bogush, A. Bontempi, E. Blondeau, J. Chimenos, J. Dahlbo, H. Fagerqvist, J. Giro-Paloma, J. Hjelm, O. Hyks, J. Keaney, J. Lupsea-Toader, M. O'Caollai, C. Orupöld, K. Pająk, T., . . . Fellner, J. (2020). *Legal situation and current practice of waste incineration bottom ash utilisation in Europe*. Elsevier 102(1), 868–883. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.031>

Bröckl, M. Kiuru, H. Heads, S. Kämäräinen, K. Patronen, J. Luoma-aho, K. Armila, N. Sipilä, E. & Semkin, N. (2021). *Jätteenpolton kiertotalous ja ilmastovaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin*. Valtioneuvosto.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162690/VNTEAS\\_2021\\_08.pdf?sequence=4](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162690/VNTEAS_2021_08.pdf?sequence=4)

Energiateollisuus. (2015). *Jätteiden energiahöydyntäminen Suomessa*. Pöyry Management Consulting.

[https://energia.fi/files/405/ET\\_Jatteiden\\_energiakaytto\\_Loppuraportti\\_161015.pdf](https://energia.fi/files/405/ET_Jatteiden_energiakaytto_Loppuraportti_161015.pdf)

Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätös (203/2014/1). Diaarinumero

ESAVI/195/04.04/2013. <https://ylupa.avi.fi/api/v1/documents/attachment/1395853>

Euroopan komissio. (2020). *Circular economy action plan*. Directorate-General for Environment. [https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en)

Euroopan parlamentti. (22.12.2020). *Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä?* 20151201STO05603.

<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>

Finlex. (2021). *Jätelain laaja uudistus voimaan 19. heinäkuuta 2021*. Edita Publishing.

<https://www.finlex.fi/fi/uutiset/412/>

Fortum. (n.d.). *Riihimäen tuotantolaitos*. <https://www.fortum.fi/riihimaen-tuotantolaitos>

Fortum. (2021a). *Jätteenpolton pohjakuonasta jalostetun kuonatoran hyödyntäminen maarakentamisessa*. Luonnos. Lopullinen versio on saatavilla arvioinnin jälkeen Fortumin verkkosivuilta.

Fortum. (2021b). *Arviointipyyntö*. Luonnos. Väyläviraston arviointikirje on saatavilla arvioinnin jälkeen Väyläviraston verkkosivuilta.

Harju, I. Dettenborn, T. Forsman, J. Jyrävä, H. & Lahtinen, P. (2019). *Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa*. Väyläviraston tutkimuksia 7/2019. Väylävirasto.  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt\\_2019-07\\_kokemuksia\\_uusiomateriaaleista\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt_2019-07_kokemuksia_uusiomateriaaleista_web.pdf)

HE 195/2017 vp. *Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi jätelain muuttamisesta*.

[https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE\\_195+2017.aspx](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_195+2017.aspx)

Huuhko, J. Kiljunen, A. Ristolainen, J. & Rinkinen, J. (2020). *HSY Ämmässuon jätteenkäsittelykeskus Ympäristöluvan muutoshakemus*. Ramboll Finland.

<https://ylupa.avi.fi/api/v1/documents/attachment/7989602>

Isotalo, J. (2003). *Kiviainesten vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettelyt, yleiset tied*. Väylävirasto. [https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/kiviaines\\_ac\\_tieh041203.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/kiviaines_ac_tieh041203.pdf)

Jätedirektiivi 2018/851. *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi jätteistä ja tiettyjen direktiivin 2008/98/EY muuttamisesta*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>

Jätelaki 646/2011. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

Jäteverolaki 1126/2010. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126>

Kaartinen, T. Laine-Ylijoki, J. Koivuhuhta, A. Korhonen, T. Luukkanen, S. Mörsky, P. Neitola, R. Punkkinen, H. & Wahlström, M. (2011). *Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi*. VTT



Tiedotteita 2567. Kopijyvä.

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2567.pdf>

Katainen, J, (22.3.2021). *Mikä on Sitra?* [Äänitiedosto]. Futucast.

<https://www.futucast.com/jaksot/episode/903d017f/mika-on-sitra-or-jyrki-katainen-169>

Kauppila, J. Turunen, T. Häkkinen, E. Salminen, J. & Lazarevic, D. (2018). *Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018.*

Ympäristöministeriö.

[http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160560/YMra\\_9\\_2018.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160560/YMra_9_2018.pdf)

Kiiskinen, T. (2013). *Tierakentamisen laadunvalvontamittaukset* [opinnäytetyö, Karelia-ammattikorkeakoulu]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305138002>

Koivisto, K. Forsman, J. & Vaajasaari, K. (2016). *Uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen. Uusiomateriaalit maarakentamisessa ohjelma 2013–2017.* Ramboll Finland.

[https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Tuotteistamisohje%202016\\_05\\_20\\_0.pdf](https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Tuotteistamisohje%202016_05_20_0.pdf)

KOM 666/2005. *Resurssien kestävän käytön edistäminen: jätteiden syntymisen ehkäisemistä ja kierrätystä koskeva teemakohtainen strategia.* Euroopan komissio. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005DC0666&from=EN>

Korhonen, M. Pitkänen, K. & Niemistö, J. (2018). *Selvitys orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vaikutuksista.* Suomen ympäristö 3/2018. Ympäristöministeriö.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160946/SY\\_03\\_3018\\_Orgaanisen\\_jatteen\\_kaatopaikkakielto.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160946/SY_03_3018_Orgaanisen_jatteen_kaatopaikkakielto.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Kuula, P. (2015). *Tien ja radan sitomattomissa rakennekerroksissa käytettävien kiviainesten lujuuden ja hienontumisen tutkiminen.* Kirjallisuusselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 68/2015. Väylävirasto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2015-68\\_tien\\_rad\\_n\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-68_tien_rad_n_web.pdf)

- Lahtinen, W. (2021). *Jätteenpolton kuonan routaeristävyys- ja kantavuusominaisuudet* [kadidaatintyön luonnos, Tampereen yliopisto]. Saatavissa julkaisun jälkeen Theseuksen arkistosta <https://www.theseus.fi/handle/10024/13>
- Laine-Ylijoki, J. Mroueh, U. Vahanne, P. Wahlström, M. Vestola, E. Salonen, S. & Havukainen, J. (2005). *Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn kuonista ja tuhkista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita. Kansainvälinen esiselvitys. VTT Tiedotteita 2291. Valopaino.* <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2005/T2291.pdf>
- Laki jätelain muuttamisesta 438/2019. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190438>
- Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 503/2005. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>
- Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 958/2012. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120958>
- Lehtonen, K. (2019). *Väyläviraston materiaalihyväksyntä* [powerpoint-esitys]. [https://vayla.fi/documents/25230764/35601557/Materiaalihyv%C3%A4ksynt%C3%A4\\_Kari\\_Lehtonen\\_28032019.pdf/7a9b6892-cca1-460e-92d4-73241656b11e/Materiaalihyv%C3%A4ksynt%C3%A4\\_Kari\\_Lehtonen\\_28032019.pdf?t=1554304076208](https://vayla.fi/documents/25230764/35601557/Materiaalihyv%C3%A4ksynt%C3%A4_Kari_Lehtonen_28032019.pdf/7a9b6892-cca1-460e-92d4-73241656b11e/Materiaalihyv%C3%A4ksynt%C3%A4_Kari_Lehtonen_28032019.pdf?t=1554304076208)
- Lehtonen, M. (2009). *Jätevoimalan arinakuonan hyötykäyttö* [diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto]. Saatavissa Tampereen yliopiston arkistosta.
- Lounavoima. (2020). *Salon ekovoimalaitokseen vastaanotettiin ensimmäinen jätekuorma.* [https://www.lounavoima.fi/ajankohtaista/ensimmainen\\_jatekuorma/](https://www.lounavoima.fi/ajankohtaista/ensimmainen_jatekuorma/)
- Lounais-Suomen ympäristökeskus. (2009). *Tuhkat ja kuonat. Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnittelun taustaraportti. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2009.* <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B5B065099-7562-4D60-A785-12877BE196A9%7D/93080>
- Lätti, E. (2016). *Vaihtoehtoisten maarakennusmateriaalien mekaaniset ominaisuudet* [opinnäytetyö, Väylävirasto]. <http://urn.fi/URN:978-952-317-207-4>

Materiaalitori. (2019). *Tietoa palvelusta*. Ympäristöministeriö & Motiva.

<https://www.materiaalitori.fi/tietoa-palvelusta>

Oikeusministeriö. (2019). *Luonnos hallituksen esitykseksi jätelain ja eräiden muiden lakien muuttamisesta*. VN/538/2019. Lausuntopalvelu.fi-verkkopalvelu.

<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=9db14571-b2ec-4a6f-a530-1c7bc49397eb>

Oikeusministeriö. (2021). *Ehdotukset jätealan asetuksiksi (EU:n jättesäädöspaketti)*.

VN/538/2019-422. Lausuntopalvelu.fi-verkkopalvelu.

<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=c6e1d1d2-6398-42cf-b87b-8448ac86be76>

RT. (n.d.). *Jätedirektiivi ja jätelainsäädäntö*. Rakennusteollisuus.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentamisen-materiaalitehokkuus/Jatedirektiivi-ja-lainsaadannon-kokonaisuudistus/>

Rakennustieto. (2021). *InfraRYL -verkkopalvelu*. <https://www.rakennustieto.fi/infrarylnet>

Räsänen, I. (2018). *Jätteenpolton pohjakuonat ja niiden hyödyntäminen infrarakentamisessa*

[opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804275719>

Saarinen, J. Hakkarainen, A. Holmström, D. Forsman, J. & Dattenborn, T. (2014).

*Betonimurske käyttöohje suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon*. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.

<https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/2014--HSY-Betonimurskeohje.pdf>

Sahlman, T. (2013). *Jätevoimalan arinakuonan vastaavuustestaus* [opinnäytetyö, Tampereen

ammattikorkeakoulu]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305066651>

Salmenperä, H. Moliis, K. & Nevala, S. (2015). *Jättemäärien ennakointi vuoteen 2030*.

*Painopisteenä yhdyskuntajätteet ja kierrätystavoitteiden saavuttaminen*.

Ympäristöministeriö.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra\\_17\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra_17_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SFS-EN 13242:2003 + A1:2008/AC:2017. (2017). *Maa- ja vesirakentamisessa ja tierakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset*. Rakennusteollisuus.

<https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/103099.html.stx>

Siika, T. (2016). *Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus* [opinnäytetyö, EVTEK-ammattikorkeakoulu]. [https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2006/2006\\_4.pdf](https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2006/2006_4.pdf)

Sikiö, J. (2020). *Kadun rakennekerrokset ja materiaalit*. Suomen kuntatekniikan yhdistys SKTY. <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/>

Sjöberg, M. Kolisoja, P. Kuula, P. Leppänen, M. Ketola, T. Koivisto, K. Forsman, J. Ronkainen, M. Dettenborn, T. & Jyrävä, H. (2016). *Selvitys UUMA-materiaalien teknisen kelpoisuuden arviointiin liittyvistä testausstandardeista/-menetelmistä*. UUMA2-hankkeen loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto & Ramboll Finland.

[https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/images/Standardiselvitys\\_loppuraportti%202016\\_05\\_24.pdf](https://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/images/Standardiselvitys_loppuraportti%202016_05_24.pdf)

Sormunen, A. (2017). *Recovered Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash: Aggregate-Like Products for Civil Engineering Structures* [väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto]. Trepo. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4019-6>

Sormunen, A. (2021). Opinnäytetyöni tilanne. Teams-keskustelu 5.8.2021.

Söderholm, A. (2020). *Jätteenpolton pohjakuona tierakenteessa*. Koerakenteen rakentaminen ja tutkimus pohjakuonan teknisistä ominaisuuksista [opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020120125308>

Tilastokeskus. (2020a). *Yhdyskuntajätteet Suomessa käsittelytavoittain 1997–2018*. Tilastokeskuksen maksuttomat tietokannat.

[https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ymp\\_jate/statfin\\_jate\\_pxt\\_001.px/](https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ymp_jate/statfin_jate_pxt_001.px/)

Tilastokeskus. (2020b). *Yhdyskuntajätteen määrä kasvoi hieman vuonna 2019 – suurin osa jätteistä hyödynnettiin edelleen energiana.*

[https://www.stat.fi/til/jate/2019/13/jate\\_2019\\_13\\_2020-12-09\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/jate/2019/13/jate_2019_13_2020-12-09_tie_001_fi.html)

Tilastokeskus. (2021). *Liitetaulukko 3. Jätteiden tuonti ja vienti 2013-2019, 1000 tonnia.*

*Jätetilasto 2019.* [https://www.stat.fi/til/jate/2019/jate\\_2019\\_2021-06-16\\_tau\\_003\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/jate/2019/jate_2019_2021-06-16_tau_003_fi.html)

Torniainen, S. (2017). *Uusiomateriaalien käytön ohjeistuksen ja hankekäytäntöjen kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa* [diplomityö, Oulun yliopisto].

<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201801101018.pdf>

Uuma-käsikirjasto. (4.12.2017a). *Johdanto.* Motiva.

<http://www.uusiomaarakentaminen.fi/johdanto-0>

Uuma-käsikirjasto. (4.12.2017b). *Ympäristö- ja lupaprosessi.* Motiva.

<https://www.uusiomaarakentaminen.fi/ymp%C3%A4rist%C3%B6-ja-lupaprosessi-0>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 591/2006.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Väylävirasto. (2006). *Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa.*

<https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>

Väylävirasto. (2010). *Tiesuunnittelun kulku.* Väylävirasto & ELY-keskus.

[https://vayla.fi/documents/25230764/0/tiesuunnittelun+kulku\\_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdf-a763-32f41c7334e4](https://vayla.fi/documents/25230764/0/tiesuunnittelun+kulku_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdf-a763-32f41c7334e4)

Väylävirasto. (2013). *Tien rakennussuunnitelma. Liikenneviraston ohjeita 44/2013.*

Väylävirasto & ELY-keskus. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2013-44\\_tien\\_rakennussuunnitelma\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-44_tien_rakennussuunnitelma_web.pdf)

Väylävirasto. (2018a). *Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt. Kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2018.*  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2018-18\\_uusiomateriaalien\\_kayton\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-18_uusiomateriaalien_kayton_web.pdf)

Väylävirasto. (2018b). *Vt 19 Seinäjoen itäinen ohikulkutie.*  
<https://vayla.fi/seinajoenitainenohikulkutie>

Väylävirasto. (2020a). *Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita 6/2020.* [https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo\\_2020-06\\_uusiomateriaalien\\_kaytto\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-06_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf)

Väylävirasto. (2020b). *Tiesuunnitelma.* Väylävirasto & ELY-keskus.  
[https://vayla.fi/documents/25230764/35412529/tiesuunnitelma\\_esite.pdf/3ad230d5-f97b-4829-96c3-999d7801854b/tiesuunnitelma\\_esite.pdf?t=1623329505567](https://vayla.fi/documents/25230764/35412529/tiesuunnitelma_esite.pdf/3ad230d5-f97b-4829-96c3-999d7801854b/tiesuunnitelma_esite.pdf?t=1623329505567)

Väylävirasto. (2021a). *Teknisen soveltuvuuden arvioinnin esittely, yleinen ja hankekohtainen arviointi.* Kehitystyöpaja 19.3.2021.

Väylävirasto. (2021b). *Väylärakenteisiin soveltuvia uusiomateriaaleja.*  
<https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/uusiomateriaalit/lista.pdf>

Väyläviraston arviointikirje (VÄYLÄ/3102/06.04.02/2021). *Hankekohtainen teknisen soveltuvuuden arviointi. Kymenlaakson Jäte Oy:n jätteenpolton kuona maantien 354 väylien J1, J5 ja K3J suodatinkerroksessa.*  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/uusiomateriaalit/mt354\\_18.5.2021.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/uusiomateriaalit/mt354_18.5.2021.pdf)

Ympäristöhallinto. (2019a). *Uudenmaan ELY-keskus. Uudenmaan ELY-keskus.*  
[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Jatteet\\_ja\\_jatehuolto/Jatesuunnittelu/Etela\\_ja\\_LansiSuomen\\_jatesuunnittelu/Alueellista\\_jatetietoa/Uudenmaan\\_ELYkeskus\(30771\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Jatteet_ja_jatehuolto/Jatesuunnittelu/Etela_ja_LansiSuomen_jatesuunnittelu/Alueellista_jatetietoa/Uudenmaan_ELYkeskus(30771))

Ympäristöhallinto. (2019b). *MARA-asetuksen soveltamisohje - 2.7.2019 alkaen voimassa oleva versio.* Suomen ympäristökeskus SYKE.  
<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B39D6ABBA-49BE-4620-ACB1-B8A03700AB96%7D/143106>

Ympäristöhallinto. (2021a). *Ympäristölupa*. Suomen ympäristökeskus SYKE.

<https://www.ymparisto.fi/fi->

[fi/Asiointi luvat ja ymparistovaikutusten arviointi/Luvat ilmoitukset ja rekisterointi/Ymparistolupa](https://www.ymparisto.fi/fi-)

Ympäristöhallinto. (2021b). *Jätteiden vienti- ja tuontimäärät*. Suomen ympäristökeskus SYKE.

<https://www.ymparisto.fi/fi->

[fi/kartat ja tilastot/jatetilastot/Jatteen vienti ja tuontimaarat](https://www.ymparisto.fi/fi-)

Ympäristöministeriö. (n.d.). *CE-merkintä*. <https://ym.fi/ce-merkinta>

Ympäristöministeriö. (2019). *Jätteiden hyödyntäminen maanrakentamisessa*.

<https://www.ym.fi/fi->

[fi/Ymparisto/Lainsaadanto ja ohjeet/Ymparistonsuojelun valmisteilla oleva lainsaadanto/Jatteiden hyodyntaminen maanrakentamisessa](https://www.ym.fi/fi-)

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

Äystö, L, (2018). *MARA-asetus*. Suomen ympäristökeskus SYKE. <https://www.ely->

[keskus.fi/documents/10191/35986860/%C3%84yst%C3%B6%20esitys+kuntap%C3%A4iv%C3%A4t+2018/17a6223f-b826-499f-a44a-529696196db2](https://www.ely-)