

Suomen Erityisjäte Oy

Selvitys jätteen orgaanisen aineksen määrittämismenetelmistä

11.4.2025

1070

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Orgaanisen aineksen koostumus jätteissä	3
3	Lainsäädäntötausta	5
3.1	EU	5
3.2	Suomi.....	6
4	Biohajoavan jätteen osuuden määrittäminen Euroopassa	7
4.1	Käytetyt menetelmät.....	7
4.2	Raja-arvot	8
5	Analyysimenetelmien kuvaus.....	9
5.1	Yleistä	9
5.2	Orgaanisen hiilen kokonaismäärä, TOC	9
5.3	Hehkutushäviö, LOI	9
5.4	Liukoinen orgaaninen hiili, DOC	10
5.5	Respiraatiotesti AT4.....	10
5.6	Inkubaatiotesti GS21	11
5.7	Fermentaatiotesti GB21	12
5.8	TOC400	12
5.9	Lämpöarvo	12
6	Hankalien jätteiden kuvaus	13
6.1	Jätteiden kuvaus.....	13
6.2	Hankalien jätteiden poltto	13
6.3	Hankalien jätteiden kompostointi	14
6.4	Lopullinen käsittely	15
7	Käsittelymenetelmien kustannusten ja hiilijalanjälkien vertailu	16
7.1	Yleistä	16
7.2	Terminen käsittely	16
7.3	Loppusijoitus.....	17
7.4	Yhteenveto.....	17
8	Määrasuhdetarkastelu.....	17
9	Johtopäätökset.....	17

1 Johdanto

Selvityksen tarkoituksena on arvioida nykyisin käytössä olevan TOC-polttomenetelmän rinnalle paremmin soveltuvien orgaanisen aineksen määrittämismenetelmien käyttöä jätteiden loppusijoituskelpoisuuden tutkimisessa. Selvitystarpeen on aiheuttanut Suomen Erityisjätteelle käsittelyyn tulleet jäte-erät, joiden TOC-pitoisuus on ollut korkea, eikä sitä olla saatu alennettua esimerkiksi kompostoimalla orgaanisen aineksen pysyvyyden vuoksi. Erät ovat olleet pääasiassa vaaralliseksi jätteeksi luokiteltuja maamassoja. Vaarattomaksi luokitelluilla pilaantuneilla mailla ei ole TOC-rajaa, jos ne sijoitetaan erilleen muista jätteistä.

Tämän takia selvityksessä keskitytään pääasiassa vaarallisen jätteen sijoituskelpoisuuteen, mutta esitetyt orgaanisen aineksen määrittämismenetelmät koskevat yhtä lailla myös vaarattomaksi luokiteltuja jätteitä.

Suomen Erityisjätteelle tuodaan eri toiminnoissa syntyneitä kohtuullisen pieniä jäte-eriä, joissa pääosa kokonaisorgaanisesta hiilestä on muuta kuin biohajoavaa osuutta ja joiden lämpöarvo on pieni. Näiden jäte-erien kaatopaikkasijoittamisen määrittely TOC-pitoisuuden perusteella aiheuttaa haasteita, koska valtaosa kokonaisorgaanisesta aineksesta on reagoimatonta ainesta, eikä jäte-erille ole muuta järkevää käsittelytapaa kuin kaatopaikkasijoitus.

Käytössä oleva TOC- ja LOI-määrittäykset ovat karkeita, nopeita ja edullisia orgaanisen aineksen määrittämismenetelmiä. Muissa Euroopan maissa käytetään myös jätteen orgaanisen aineksen mittaamismenetelmiä, joilla saadaan selville vain aktiivinen eli biohajoava orgaaninen aines. Selvitys keskittyy jätteen biohajoavuuden ja kaasuntuottopotentialin tutkimusmenetelmien esittelyyn ja soveltuvuuden tarkasteluun Suomen Erityisjätteen käsittelyalueilla jätteiden loppusijoituksessa.

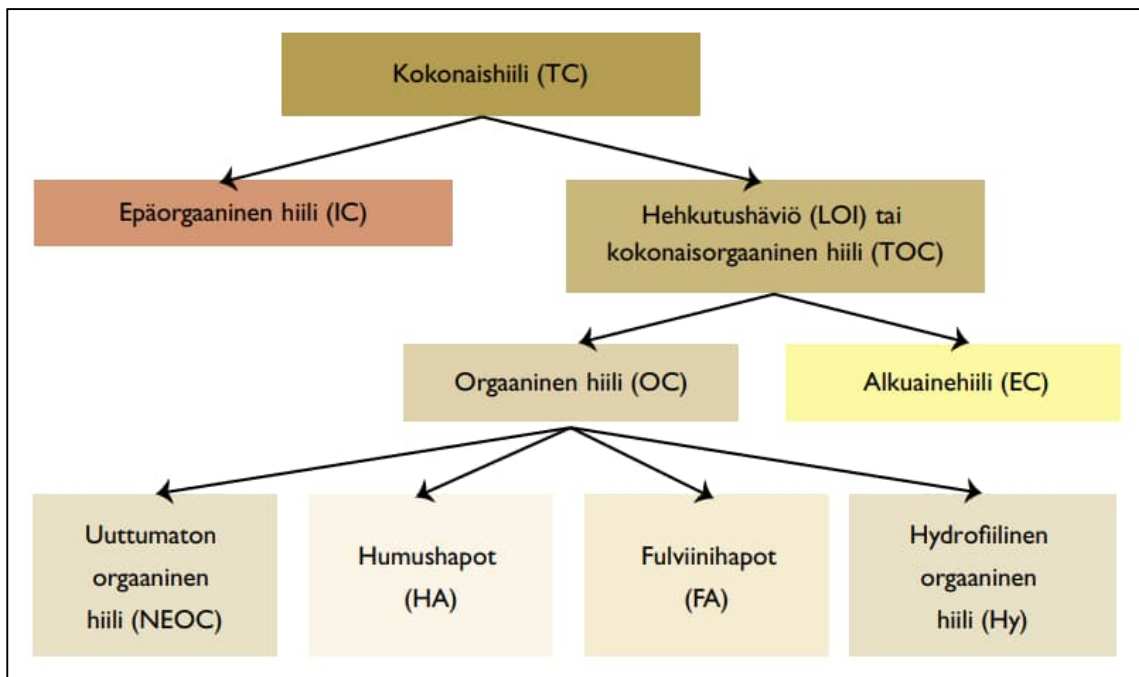
Selvityksen ovat laatineet FM Anne Kämäräinen, MMT Milja Vepsäläinen ja DI Marko Sjölund EnviPro Oy:stä. Työn tilaajana on toiminut liiketoimintajohtaja Pasi Virtanen Suomen Erityisjäte Oy:stä.

2 Orgaanisen aineksen koostumus jätteissä

Orgaaninen aines koostuu kemiallisista yhdisteistä, jotka sisältävät hiiltä. Tiedot epäorgaanisiksi luettavat hiilen esiintymismuodot, karbonaatit ja timantti, on lähtökohtaisesti luettu siitä pois. Orgaanisella jätteellä tarkoitetaan tyypillisesti kaikkea palavan jätteen osuutta, mukaan lukien biologinen jäte ja muu palava jäte, kuten muovi.

Biohajoava jäte määritellään Suomen lainsäädännössä jätteeksi, joka voi hajota biologisen toiminnan seurauksena hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa pienemmiksi orgaanisiksi ja epäorgaanisiksi yhdisteiksi (Wahlström ym. 2012). Biohajoavaa jätettä on siis kaikki sellainen aines, josta kaatopaikoilla voi muodostua biokaasua (lähinnä metaania ja hiilidioksidia).

Jätteen sisältämä orgaaninen aines voidaan ryhmitellä kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Jätteiden sisältämän orgaanisen aineksen jaottelu. Muistiosta Wahlström ym. 2012.

Orgaanisen aineksen käyttäytymistä tutkineen hollantilaisen ryhmän mukaan orgaanisen aineksen biohajoavaa osaa kuvaa parhaiten hydrofiilinen orgaaninen hiili (Hy). Se sisältää alifaattisia hiilivetyjä ja hiilihydraatteja, jotka hajotessaan muodostavat hiilidioksidia ja metaania. Sekä humushapot, fulviinihapot että hydrofiilinen orgaaninen hiili näkyvät kaatopaikkavesien liuenneessa orgaanisessa aineksessa (DOC). Happoihin ja emäksiin uuttumaton orgaaninen fraktio sisältää mm. paperia, muovia ja puuta. (Wahlström ym, 2012)

Stabiili orgaaninen aines ei aiheuta kaasunmuodostusta, eikä vaikuta loppusijoituksen prosesseihin esim. muodostamalla rikkiyhdisteiden kanssa rikkivetyä. Orgaanisen aineksen ja biohajoavan aineksen merkitys on selvityksessä tärkeä; kokonaisorgaaniseen ainekseen lukeutuu heikosti reagoivia aineksia, kuten muovi. Biohajoava aines puolestaan reagoi nopeammin ja sen hajoamisen tuloksena syntyy kaasuja (metaani, hiilidioksidi, rikkivety) olosuhteista ja aineksen kemiallisesta koostumuksesta riippuen.

Ympäristöministeriön julkaisemassa kaatopaikka-asetuksen taustamuistiossa (Wahlström ym., 2012) painotetaan, että orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon perusteena on kaatopaikkojen saaminen epäorgaanisiksi. Näin orgaanisen aineksen aiheuttama kuormitus ja kaasunmuodostus vähenevät ja kaatopaikat ovat aiempaa turvallisempia. Epäorgaanisuuden varmistamiseksi TOC-pitoisuuden tulisi olla luokkaa 3...5 %, mutta menetelmän rajoitusten vuoksi kaatopaikka-asetuksessa vaarattoman jätteen kaatopaikoilla raja on 10 %. Menetelmän rajoituksena on, että se ottaa mukaan alkuainehiilen ja karbonaatit.

3 Lainsäädäntötausta

3.1 EU

Kaatopaikkadirektiivissä (1999/31/EY) ja vuonna 2008 julkaistussa jätedirektiivissä (2008/98/EY) on esitetty tarkat vaatimukset kaatopaikoille tuotavan biohajoavan jätteen määrän vähentämisestä. Vuonna 2003 kaatopaikkadirektiiviin (2003/33/EY) tehdyillä muutoksilla rajoitettiin muun muassa kaatopaikoille sijoitettavan vaarallisen jätteen orgaanisen hiilen määrää, jätteiden liukoisuusominaisuuksia ja kipsijätteen kanssa yhteen sijoitettavan muun jätteen orgaanisen hiilen määrää (Korhonen et al. 2018). Samassa direktiivissä määrättiin menetelmät orgaanisen hiilen määrittämiseksi, sekä raja-arvot erityyppisille kaatopaikoille.

Kaatopaikkadirektiivissä 2003/33/EY annetaan kipsijätteen kanssa sijoitettavalle ja vaaralliselle jätteelle taulukon 1 mukaiset orgaanisen aineksen pitoisuutta koskevat raja-arvot.

Taulukko 1. EU-tason raja-arvot jätteen orgaanisen aineksen osalta.

Jäte	DOC			TOC (%)	LOI (%)
	L/S=2 l/kg (mg/kg)	L/S=10 l/kg (mg/kg)	Läpivirtaus- testi C ₀ (mg/l)		
Kipsijätteen kanssa sijoitettava	380	800	250	5	-
Vaarallinen jäte vaarattoman kaatopaikalle	380	800	250	5*	-
Vaarallinen jäte	480	1 000	320	6**	10

* korkeampi raja-arvo mahdollinen, kun L/S=10 l/kg alittaa 800 mg/kg

** korkeampi raja-arvo mahdollinen, kun L/S=10 l/kg alittaa 1 000 mg/kg

Direktiivin mukaan voidaan ympäristöluvassa hyväksyä tietyissä tapauksissa jopa kolminkertaiset raja-arvot. Tällöin kaatopaikan päästöt eivät saa lisätä kaatopaikan

aiheuttamaan ympäristöriskiä. Myös menetelmät on säädetty; TOC tulee analysoida menetelmällä ENV 13370.

Useat maat ovat asettaneet pitoisuusrajoja orgaanisen aineksen kaatopaikkasijoitukselle. Yleisesti 5 % osuutta orgaanista materiaalia pidetään parhaiten mineraalista jätettä kuvaavana. 5 % rajan alittava jäte on mineraalista, eikä sen katsota reagoivan jätetäytössä muodostaen kaasuja tai päästöjä suotovesiin. Jätteen sisältämä orgaaninen aines voi aiheuttaa edellä mainittuja päästöjä, mm. sijoitettaessa kipsijätteen joukkoon orgaaninen aines aiheuttaa biologisen toiminnan seurauksena vaarallista rikkivetyä. Esimerkiksi Saksassa säädettyistä TOC- ja LOI-rajaa-arvoista voidaan poiketa viranomaisen arvioinnin perusteella, kun DOC-kriteeri samalla täyttyy tai jos kriteerin ylitys aiheutuu alkuainehiilestä. Termisille tuhille ei ole TOC-rajaa. Myöskään Itävallassa orgaanisen aineksen kaatopaikkakielto ei koske alkuainehiiltä. Tietty mekaanisesti käsitelty jätterejektit saavat sisältää 8% TOC:ä, jos niiden lämpöarvo alittaa 6 600 kJ/kg. (Wahlström ym., 2012)

Neuvoston päätöksen raja-arvot, mukaan lukien kipsijätteen sijoittaminen TOC-pitoisuudeltaankorkeintaan 5 % jätteen sekaan, on tietävästi johdettu Saksan lainsäädännöstä, eikä niitä ole erikseen perusteltu (Wahlström et al. 2012).

3.2 Suomi

Suomessa biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta rajoitettiin ensimmäisen kerran kaatopaikoista annetulla valtioneuvoston päätöksellä (861/1997) vuonna 1997. Kyseinen päätös valmisteltiin kaatopaikkoja koskevan komission direktiiviehdotuksen perusteella ennakkoiden tulevaa EU:n kaatopaikkadirektiiviä (Korhonen et al. 2018).

Suomen jätelainsäädäntö noudattaa pääosin Euroopan unionin lainsäädäntöä ja kaatopaikkasijoittamisesta säädetään yksityiskohtaisesti valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (kaatopaikka-asetus 331/2013). Asetuksessa on orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoittamista koskeva rajoitus, jolla pyritään ohjaamaan biohajoava tai muuta orgaanista ainesta sisältävä jäte pois kaatopaikoilta materiaalina tai energiana hyödynnettäväksi sekä vähentämään jätehuollosta aiheutuvia haittoja ympäristölle (Korhonen et al. 2018). Ympäristöhaittoja voivat olla esimerkiksi kaatopaikkakaasun muodostuminen, rikkivedyn muodostuminen korkeita sulfaattipitoisuuksia sisältävien massojen kanssa reagoidessa, hajoamisesta johtuvat kaatopaikkarakenteiden painumat ja sortumat ja haitalliset orgaaniset yhdisteet suotovesissä.

Kaatopaikka-asetuksen (331/2013) liitteessä 2 on annettu näytteenotto- ja testausmenetelmät kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa. Jätteen orgaanisen hiilen kokonaismäärä on määritettävä asetuksen mukaan standardin SFS-EN 13137 mukaisesti ja

liuennut orgaaninen hiili (DOC) teknisen spesifikaation CEN/TS 14429 tai CEN/TS 14997 mukaisesti. Standardi SFS-EN 13137 on kumottu ja korvattu standardilla SFS-EN 15936.

Kokonaisorgaanisen aineksen (TOC) määrittäminen standardin SFS-EN 15936 mukaisesti on laajasti käytetty, toistettava ja kustannuksiltaan kohtuullinen (35–90 €/analyysi) orgaanisen aineksen pitoisuuden tutkimusmenetelmä. Suomessa on useita kyseisiä määrittämiä suorittavia laboratorioita. Analyysituloksen orgaanisen aineksen määrä korreloi melko hyvin liukoisen orgaanisen aineksen (DOC) pitoisuuden kanssa, joka kuvaa jätteen pysyvyyttä ja kaatopaikalta muodostuvaa orgaanista suotovesikuormaa. Poikkeuksena ovat esim. energiantuotannon lento- ja pohjatuhkat, joiden TOC saattaa olla korkea, vaikka DOC-pitoisuus olisi alle 800 mg/kg. (Wahlström ym. 2012).

Suomessa on annettu ympäristölupapäätöksissä poikkeuksia asetuksen TOC-pitoisuudesta. Esimerkiksi ympäristöluvassa nro 118/2019 (9.7.2019, dnro PSAVI/4294/2018) vaarallisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavien tuhkien ja pilaantuneiden maiden TOC-raja on 18 %, kun liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus on enintään 1 000 mg/kg uuttosuhteessa L/S = 10 jätteen omassa pH:ssa tai pH:ssa 7,5-8,0.

4 Biohajoavan jätteen osuuden määrittäminen Euroopassa

4.1 Käytetyt menetelmät

Kaikissa Euroopan maissa jätteiden syntypaikkalajittelu ei ole samalla tasolla Suomen kanssa. Laitoskäsittelynä tehtävää lajittelua kutsutaan mekaanisbiologiseksi käsittelyksi (MB). MB-käsittely toimii esikäsittelynä jätteelle ennen sen sijoittamista kaatopaikalle, polttolaitokseen tai esimerkiksi kompostointiin.

EU-direktiiveissä ei määritellä kriteereitä jätteen biohajoavuuden määrittämiselle ja valvonnalle, mutta direktiivit mahdollistavat kansallisten lisäkriteereiden käyttöönoton jätteen luonteen määrittämiseksi. Raja-arvot ja analyysimenetelmät on esitetty orgaanisen aineksen kokonaispitoisuuden tai liukoisen orgaanisen aineksen osalta. Jotkin Euroopan maat ovat omaksuneet esimerkiksi respirometriä menetelmiä kiinteän jätteen biologisen stabiiliuden määrittämiseksi. Näitä kriteereitä on sovellettu esimerkiksi mekaanisbiologisesti (MB) käsitellyille jätteille ja/tai mekaanisen käsittelyn rejekteille.

Ainakin Irlanti, Saksa, Itävalta, Puola, Slovakia, Slovenia ja Tšekki ovat ottaneet käyttöön analyysimenetelmän jätteen biohajoavuuden ja stabiiliuden määrittämiseksi (AT4 indeksi). AT4-indeksiä harvemmin käytettyjä, mutta tarkempia kaasuntuotantoon perustuvia jätteen biohajoavuuden arvioinnissa käytettäviä menetelmiä Euroopassa ovat GS21 ja GB21. Esimerkiksi Saksassa ja Itävallassa on käytössä biokaasun tuotantoa

mittaava GB21 menetelmä ja Slovakiassa kokonaiskaasuntuotantoa mittaava GS21-menetelmä.

4.2 Raja-arvot

Jätteen biologisen stabiiliuden raja-arvosta ei ole EU:n mittakaavassa yksimielisyyttä, ja kaatopaikoille sijoitettavan jätteen AT₄-indeksin enimmäisarvot vaihtelevat (taulukko 2). Useimmissa tapauksissa AT₄-parametrin raja-arvo on asetettu välille 7...10 mg O₂/g kuiva-ainetta kohti (ALS, 2023). Saksassa raja-arvo on matalampi, 5 mg O₂/g, ja Euroopan komission (2001) luonnosehdotuksen mukaan biologisen jätteen katsotaan olevan ”stabiilia” kun sen AT₄-arvo alittaa 10 mg O₂/g (Auset M. et al., 2024 mukaan).

Kaikissa Euroopan unionin jäsenvaltioissa ei ole käytössä lainsäädännöllistä raja-arvoa kaasuntuottopotentiaalille, mutta yleisesti raja-arvona kaatopaikkasijoittamiselle on käytössä 20 litraa 1 kg:aa näytteen kuiva-ainetta kohti. Jos GS₂₁-parametrin tulos tietylle näytteelle on tätä määritettyä arvoa pienempi, jätteet voidaan sijoittaa kaatopaikalle (ALS, 2023). Taulukossa 2 esitetyt raja-arvot koskevat erityyppisiä jätelaatuja, joihin kohdistuu EU-maiden lainsäädännössä erityisvaatimuksia, kuten MB-jätteet.

Taulukko 2. Muutamissa Euroopan maissa biohajoavaa ainesta sisältävälle MB-jätteelle asetettuja kaatopaikkasijoittamisen raja-arvoja (Auset et al, 2024; EEA, 2023 ja Wahlström et al. 2012 mukaisesti).

Maa	LOI, %	TOC, %	DOC, mg/kg	AT ₄ , mg O ₂ /g dm	GS ₂₁ , l/kg dm	GB ₂₁ , N l/kg dm	Lämpöarvo, MJ/kg
Tšekki	-	-	-	10	-	-	6,5
Saksa (MB)	-	18	3 000	5	-	20	6,0
Itävalta (MB)	-	8	-	7	-	20	6,6
Puola	8	5	-	10	-	-	6,0
Slovakia	-	-	-	10	20	-	-
Slovenia	-	5	-	10	-	-	6,0
Irlanti	-	-	-	7	-	-	-

Jätteiden sijoittamista arvioidaan useassa Euroopan maassa myös polton lämpöarvon kautta. Jätteen lämpöarvon raja vaihtelee maan mukaan 6,0...6,6 MJ/kg välillä ja mikäli mitattu lämpöarvo on tämän alle, jätteen voi sijoittaa kaatopaikalle, jos jäte täyttää taulukossa 2 esitetyn TOC- tai AT₄-rajan maasta riippuen.

5 Analyysimenetelmien kuvaus

5.1 Yleistä

Kiinteän jätteen biologinen stabiilius on ensisijainen huolenaihe kaatopaikkojen pitkän aikavälin ympäristövaikutuksien ja päästöpotentiaalin arvioinnissa. Suomessa yleisimmin käytetyt karkeat orgaanisen aineksen kokonaismäärän indikaattorit ovat hehkutushäviö (LOI) ja kokonaisorgaaninen hiili (TOC). Molempiin indikaattoreihin sisältyvät esimerkiksi muovijätteet, jotka ovat heikosti reagoivaa orgaanista jätettä.

Jätteen biohajoavuuden määrittämiseen ei ole Suomessa aiemmin ollut käytännöllisiä ja laajasti käytössä olevia menetelmiä (VTT, 2013). Tällä hetkellä menetelmiä on kuitenkin saatavilla usean eri analyysilaboratorion kautta. Jätteen biologisen aineksen ja biohajoavuuden testausmenetelmät voidaan jakaa aerobisiin (AT4) ja anaerobisiin (GS21, GB21) testausmenetelmiin. Respiraatiotestillä AT4 voidaan arvioida jätteen biologista aktiivisuutta sekä biohajoavuutta hapellisissa olosuhteissa ja inkubointitestillä GS21 arvioidaan kaasun kokonaistuotantopotentiaalia. Fermentaatiotesti GB21 määrittää jätteen biohajoavuuden kaasuntuottopotentiaalia.

Seuraavassa on esitetty erilaisten orgaanisen aineksen määrittämismenetelmien sisältöä, kuvaavuutta ja saatavuutta.

5.2 Orgaanisen hiilen kokonaismäärä, TOC

TOC (total organic carbon) on näytteen sisältämän orgaanisen hiilen kokonaismäärä ja se sisältää myös alkuainehiilen, karbidin, syanidin ja eri syanaattien osuuden näytteessä. TOC sisältää sekä orgaanisen hiilen (OC, organic carbon) että alkuainehiilen (EC, elemental coal). Standardin SFS-EN 13137 mukaisesti kiinteä homogeenisoitu näyte kuivataan 40 °C:ssa ja sen TOC-pitoisuus määritetään epäsuoralla tai suoralla menetelmällä. Epäsuorassa menetelmässä TOC saadaan laskennallisesti kokonaishiilen (TC) ja epäorgaanisen hiilen (TIC) erotuksesta. Kokonaishiili ja epäorgaaninen hiili poltetaan eri uuneissa ja eri lämpötiloissa (TC 900°C, TIC 200°C) ja vapautuneen hiilidioksidin määrä mitataan NDIR-detektorilla. Suorassa menetelmässä epäorgaaninen hiili poistetaan ensin happokäsittelyllä, jonka jälkeen TOC mitataan suoraan kokonaishiilenä (TC). Suomessa tehtyjen menetelmien TOC ilmoitetaan kuivapainoa kohti.

5.3 Hehkutushäviö, LOI

Orgaanisen aineksen määrää voidaan mitata myös hehkutushäviön (LOI, loss on ignition) avulla. Hehkutushäviö on esitetty vaihtoehtona TOC-määrittämiselle, koska se soveltuu paremmin heterogeeniselle jätteelle. LOI-kriteeriä voidaan käyttää myös tilanteissa, joissa

TOC-pitoisuuden mittaaminen on ongelmallista. Standardi SFS-EN 15935 (2021) käsittelee biojätteiden, pilaantuneen maaperän, lietteiden ja maatalousmaan kaltaisten maa-ainesten hehkutushäviötä ja se on korvannut aikaisemman standardin SFS-EN 15169. Standardin mukaisesti näyte esikäsitellään seulomalla alle <0,2 mm raekokoon ja tyyppillisesti näyte myös kuivataan. Näytettä punnitaan 0,5–5 g kuumentamalla esikäsiteltyyn upokkaaseen. Näytettä hehkutetaan 550°C:ssa uunissa kahden tunnin ajan. Mikäli hehkuttamisen jälkeen näytteessä havaitaan vielä mustia hiilihiukkasia, näytettä kostutetaan muutamalla tipalla ammoniumnitraattiliuosta. Näyte asetetaan takaisin uuniin, joka kuumennetaan hitaasti takaisin 550 asteeseen ja hehkuttamista jatketaan 1 tunnin ajan.

Runsaasti haihtuvia tai orgaanisia aineita sisältävä näyte voidaan hehkuttaa kuivaamattomana. Kuivaamattoman näytteen tapauksessa uuni lämmitetään hitaasti 550°C:seen ja lämpötilaa pidetään vähintään 1 h. Jos näytteessä on vielä mustia hiilihiukkasia jäljellä, sille toistetaan taas kostutus ammoniumnitraatilla ja uuni kuumennetaan takaisin 550 asteeseen ja hehkutusta jatketaan 1 h ajan.

Myös hehkutushäviö mittaa orgaanisen aineksen kokonaismäärää, mutta ei jätteen biohajoavuutta eikä reaktiivisuutta.

5.4 Liukoinen orgaaninen hiili, DOC

Liukoinen orgaaninen hiili (DOC, dissolved organic carbon) on jätteestä tietyissä olosuhteissa veteen liukenevan orgaanisen hiilen määrä. Jätteen vaikutusta vesistöihin ja välillisesti myös orgaanisen aineen hajoamista mitataan liukoisella orgaanisella hiilellä. Orgaanisesta hiilestä osa on biohajoavaa ja osa liukenee veteen. Jätteen vesiuutteen DOC-pitoisuuden perusteella voidaan arvioida myös orgaanista ainetta sisältävän jätteen stabiilisuutta tai reaktiivisuutta (Wahlström et al., 2012).

Mikäli halutaan tietää, onko jätteen sisältämä orgaaninen aines suotovesiin kulkeutuvaa, se voidaan tutkia kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisen yhteydessä liukoisuustesteillä (SFS-EN-12457-2 ja -3), joissa määritetään myös liunneen orgaanisen hiilen määrä liukoisuustestiutuksesta. Jätteen DOC-pitoisuus voidaan määrittää näytteen vesiuutosta myös erikseen standardien EN 14429:2015 tai EN 14997:2015 mukaisesti. Vesiuutteeeseen jää jäljelle liennut orgaaninen hiili, kun vesi on suodatettu 0,45µm huokoskokoisen kalvosuodattimen läpi muoviruiskun avulla. Kiinteät partikkelit jäätävät suodattimeen.

5.5 Respiraatiotesti AT4

Respiraatioindeksi AT4 (tunnetaan myös nimellä ammoniumtyppi-indeksi) on jätehuollossa ja ympäristötieteessä käytettävä aerobinen testausmenetelmä orgaanisen aineksen biohajoavuuden määrän arvioimiseksi. Se mittaa näytteen mikro-organismien biologisen

aktiivisuuden mittaamalla kulutetun hapen määrän neljän päivän inkubointiajan kuluessa 20 °C:n lämpötilassa. Respiraatiotesti perustuu itävaltalaiseen standardiin ÖNORM S 2027–4. Menetelmän heikkoutena on, ettei se anna luotettavaa kuvaa jätteiden pitkäaikaisesta hajoamiskäyttäytymisestä. Menetelmä osoittaa ainoastaan hapellisissa olosuhteissa tapahtuvan biohajoamisen, kun kaatopaikkaolosuhteissa myös anaerobihajoaminen voi olla merkittävä prosessi.

Analyysissä reaktoripulloon laitetaan 50 g näytettä (kuiva-aine) ja lisätään vettä 50–70 % materiaalin vedenpidätyskapasiteetista. Hajoamisprosessin tuottama hiilidioksidi adsorboidaan joko natrokalkkiin tai emäksiseen aineeseen, jolloin reaktoripulloon syntyy alipaine. Menetelmästä riippuen reaktoripulloon lisätään hapetta avaamalla pullo tai käyttäen automaattista hapetusta, kunnes paine on tasautunut. Kulutetun hapen määrä lasketaan ideaalikaasulain avulla ja tulos ilmoitetaan mg O₂/g kuiva-ainetta.

Analyysijä on tällä hetkellä saatavilla ALS Finlandin laboratoriosta 10 työpäivän analyysiajalla (160 €/näyte) ja Eurofins Testing Finland Oy:n laboratoriosta noin 3 viikon analyysiajalla. Analyysien hinnat vaihtelevat välillä 106...160 €/näyte.

5.6 Inkubaatiotesti GS21

Biologisesti aktiiviset jäte-erät voivat tietyissä aerobisissa ja anaerobisissa olosuhteissa vapauttaa niin sanottuja suokaasuja, joihin lukeutuu metaani, hiilidioksidi ja rikkivety. Inkubaatiotesti GS21 on anaerobinen menetelmä, joka arvioi jätteen yleistä kaasuntuottopotentiaalia ja se on myös tärkeä jätehuollon parametri. GS21-testin avulla arvioidaan kaasun kokonaistuotantoa ja se mittaa, kuinka monta litraa kaasua syntyy anaerobisissa olosuhteissa 21 päivän ajanjaksolla. Kaikissa Euroopan unionin jäsenvaltioissa ei ole käytössä lainsäädännöllistä raja-arvoa kaasuntuottopotentiaalille, mutta yleisesti raja-arvona kaatopaikkasijoittamiselle on käytössä 20 litraa 1 kg:aa näytteen kuiva-ainetta kohti. Jos GS21-parametrin tulos tietylle näytteelle on tätä määritettyä arvoa pienempi, jätteet voidaan sijoittaa kaatopaikalle. Kaasun tuotannon määrittäminen perustuu Itävallan standardiin ÖNORM S 2027–2 (ALS, 2023).

Näytteen valmistelu on yksinkertaista, mutta esimerkiksi näytteen homogenisointi on aikaa vievää. Lisäksi näytteen kuiva-ainepitoisuus tulee olla tiedossa ja pH-arvon asettua välille 6–9 ennen analyysiä. GS21-menetelmä eroaa anaerobisesta fermentaatiotestistä tutkittavan jätteenäytteen määrän ja ympin käytön suhteen. Koejärjestely rakennetaan suurempaan astiaan, jonka pohjalle laitetaan vedellä kyllästettyä jätteenäytettä 800–1500 g. Reaktoria pidetään 21 päivän ajan 40 °C lämpötilassa ja kaasuntuotto mitataan volumetrisesti syrjäytyneen nesteen määränä.

GS21-testi on saatavilla ALS Finlandin laboratorioverkoston kautta, mutta sen analyysiaika on huomattavan pitkä, 35 työpäivää. Myös hinta on muita analyysijä korkeampi, noin 635 €/näyte.

5.7 Fermentaatiotesti GB21

Fermentaatiotesti, GB21, on anaerobinen menetelmä, joka kuvaa jätteen biohajoavuuden kaasuntuottopotentialia. Koejärjestelyssä lasipulloon laitetaan jätenäytettä tyypillisesti 50 g märkäpainona (partikkelikoko alle 10 mm), lisätään ympäriä ja täytetään vedellä 1 000 millilitraan. Anaerobisen olosuhteen luomiseksi pullon kaasutila tyydetään. Reaktoriliuoksen pH mitataan testin alussa ja lopussa. Syntyvän kaasun määrä mitataan manometrisesti tai volumetrisesti 21 päivän ajan. Manometrisessä mittauksessa seurataan reaktiopullon kaasunpainetta sensorin avulla ja tiedot siirretään suoraan tietokoneelle. Volumetrisessä mittauksessa syntynyt kaasu määritetään sen syrjäyttämän nesteen määrällä. Syrjäytyneen nesteen määrä mitataan päivittäin. Saatu kaasumäärä muutetaan normikaasuksi (0°C, 1 atm) ja tulos ilmoitetaan N l/kg kuivapainossa (Korhonen, 2010 mukaisesti: Heerenklage & Stegmann 2005).

GB21-testiä on saatavilla Eurofinsin laboratorioista, ja sen analyysiaika on pitkä, 35 työpäivää. Analyysin hinta on noin 400 €/näyte.

5.8 TOC400

TOC400-analyysissä näytettä kuumennetaan portaittain ja TOC400-arvo on 400 C°:en lämpötilassa näytteestä määritetty orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus. Näytteestä analysoidaan edelleen 600 C°:n lämpötilassa alkuainehiili (ROC) ja 900 C°:en lämpötilassa epäorgaaninen hiili (TIC). Analyysijä on saatavilla eurooppalaisen SFS-EN 17505:2023 sekä saksalaisen DIN 19539:2016–12 standardin mukaisina analyysinä.

Molemmat menetelmät perustuvat näytteen kuivapoltoon lämpötilagradienttien avulla 150 °C:sta 900 °C:een. Kuivapolton aikana näytteestä vapautuu happivirrassa hiilidioksidiä. Menetelmiä voidaan käyttää mm. maaperänäytteille sekä kiinteille jätteille, joiden hiilipitoisuus on yli 1 g/kg.

Standardin DIN 19539 mukaisia TOC400-analyysijä on saatavilla ALS Finland Oy:n ja Eurofinsin laboratorioverkostojen kautta noin 10 työpäivän analyysiajalla. Analyysin hinta vaihtelee välillä 115...170 €/kpl. Standardin SFS-EN 17505:2023 mukaisia analyysijä on saatavilla tällä hetkellä ainoastaan Kuusakoski Recycling Oy:n laboratoriosta.

5.9 Lämpöarvo

Kalorimetrinen eli ns. ylempi lämpöarvo on se lämpöenergian määrä poltettavan aineen massayksikköä kohti, joka vapautuu, kun aine palaa täydellisesti ja palamistuotteet

jäähtyvät 25 °C lämpötilaan. Kalorimetrisessä lämpöarvossa sekä aineen sisältämän vedyn palamistuotteena syntyvä vesi että aineen sisältämä vesi (eli kosteus) oletetaan palamisen jälkeen nesteeksi. Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan yleensä kuitenkin tehollisena lämpöarvona (ns. alempi lämpöarvo), joka saadaan muunnoskaavan avulla laskemalla kalorimetrisesta lämpöarvosta. Tehollisessa lämpöarvossa on otettu huomioon palamisen yhteydessä höyrystyvän veden höyrystymisenergia (Alakangas et al., 2016).

Standardin SFS-EN 15400:2011 mukaisesti ilmakeivästä näytteestä punnitaan noin 1 g, joka poltetaan nesteeseen upotetussa kalorimetripommissa happiatmosfäärissä ja vapautuva lämpö mitataan. Näytteestä määritetään myös kosteus, jonka avulla ilmakeivän näytteen lämpöarvo muunnetaan vastaamaan absoluuttisen kuivan näytteen lämpöarvoa. Tuloksena ilmoitetaan kahden rinnakkaismäärittelyn keskiarvona saatu kalorimetrinen eli ylempi lämpöarvo absoluuttisen kuivalle näytteelle. Useimmiten jättepolttoaineen lämpöarvon yksikkönä käytetään MJ/kg.

6 Hankalien jätteiden kuvaus

6.1 Jätteiden kuvaus

Suomen Erityisjätteelle toimitetaan jätteitä, joiden käsittely on hyvin vaikeaa, eikä niille ole löytynyt soveltuvaa käsittelymenetelmää. Käsittelyä on kartoitettu myös muilta jätteiden käsittelijöiltä, kuin Suomen Erityisjäte. Jätteissä on usein haitta-aineita niin, että ne luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. Jätteiden loppusijoituksen esteenä on korkea orgaanisen aineksen pitoisuus.

Tyypillisesti nämä jätteet ovat hienojakoisia maa- tai sedimenttiaineita, joissa vesipitoisuus on korkea. Ne voivat myös olla esimerkiksi grafeenia (alkuainehiili) sisältäviä aineita tai erilaisia sakkoja.

6.2 Hankalien jätteiden poltto

Jätteiden poltto on ollut hankalissa massoissa ainoa menetelmä, jolla orgaaninen aines saadaan hajoamaan. Orgaanisen aineksen määrä ja samalla jätteen polton lämpöarvo ovat usein kuitenkin niin pieniä, että jätteen polttamiseksi prosessiin on lisättävä merkittävä määrä polttoainetta. Jätteet ovat olleet lisäksi hienojakeisia ja märkiä, mikä entisestään vaikeuttaa polttoprosessia. Esimerkkinä Savaterran polttolaitoksen toiminta, jossa pilaantuneita maa-aineita käsitellään termisesti. Vuosiraportin mukaan laitoksella on käytetty poltossa energianlähteenä polttoöljyä, jonka menekki on 170 kg PÖ/1 t maa-ainesta. Vantaan Energialla on tulossa käyttöön rumpu-uuni maa-ainesten polttoa varten, mutta sen teknisten rajoitteiden vuoksi poltto onnistuu vain rajallisessa määrin. Hankalien

jäte-erien alhaisen lämpöarvon ja hankalan käsiteltävyyden vuoksi toiminnanharjoittaja on arvioinut polttokustannuksen olevan luokkaa 400 €/t.

Poltossa jätteestä poistuu vain pieni osa, jolloin muodostuvan tuhkan määrä on määrällisesti samaa luokkaa, kuin käsittelemättömän jätteen. Vaarallisen jätteen poltosta muodostuva tuhka joudutaan pääasiassa loppusijoittamaan, koska sille on vaikeata löytää hyödyntämiskohdetta. Jätteen polton tuloksena muodostuu siis merkittävä määrä energian käyttöä ja päästöjä kuljetusten ja polton kautta, ja lisäksi jätteen määrää ei pystytä käsittelyllä pienentämään.

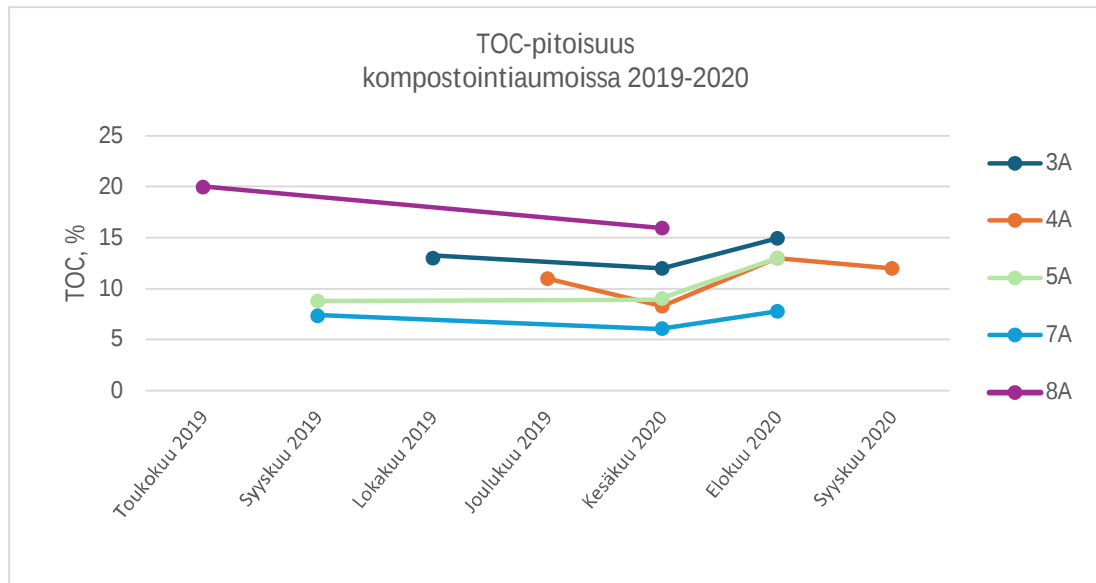
6.3 Hankalien jätteiden kompostointi

Käsittelyssä hankalia massoja Suomen Erityisjätteellä on ollut mm. erilaisia lietteitä, joiden LoW-koodit ovat 19 02 05* (fysikaalis-kemiallisessa käsittelyssä syntyvät lietteet, jotka sisältävät vaarallisia aineita) ja 17 05 03* (Maa- ja kiviainekset, jotka sisältävät vaarallisia aineita).

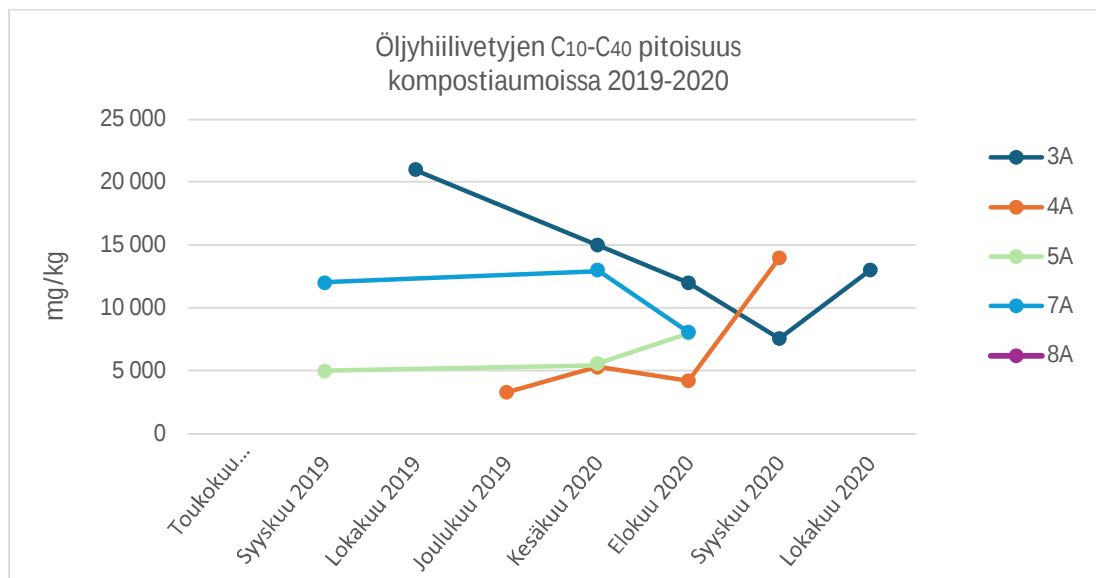
Suomen Erityisjäte on kompostoinut näitä vaaralliseksi luokiteltavia jätteitä aumoilla usean vuoden ajan. Tässä yhteydessä on tarkasteltu viittä eri aumaa, joiden öljyhiilivetyypitoisuuksista sekä TOC-pitoisuuksien vaihtelusta on kerätty analyysituloksia 1–2 vuoden kompostoimisen ajalta vuosina 2019–2020. Kompostoidut massat ovat sisältäneet vaarallisen jätteen raja-arvon ylittäviä öljyhiilivetyypitoisia ja niiden TOC on ollut yli 6 %. Tarkkailtujen aumojen kokonaismassamäärä oli noin 2 400 t ja yksittäisen auman koko vaihteli välillä 240...640 t.

Aumat on perustettu vuosien 2015–2016 aikana ja kompostoinnin aloittamisen yhteydessä aumoihin on sekoitettu öljypilaantuneiden maiden puhdistamisessa käytettäviä aineita, kuten Algol Chemicalsin Oildeg tai Remsoil. Lähtökohtaisesti aumoissa ei ollut erillistä ilmastusta. Joihinkin tarkkailtaviin aumoihin myös lisättiin kompostoinnin aikana Remsoil-ainetta tai niihin syötettiin ravinteita ja ilmastettiin. Aumoja käännettiin säännöllisesti kompostoimisen aikana.

Aumoista otettujen näytteiden perusteella TOC-pitoisuus (Kuva 2.) ei ole kompostoinnin aikana merkittävästi pienentynyt vaan ajoittain jopa noussut tai pysynyt samana. Massojen öljyhiilivetyypitoisuuksissa (Kuva 3) ei myöskään ole todettu yksiselitteistä laskua kompostoinnin aikana.



Kuva 2. TOC-pitoisuuden muutos kompostiaumoissa vuosina 2019–2022.



Kuva 3. Öljyhiilivetyjen C₁₀-C₄₀ pitoisuuden muutos kompostiaumoissa vuosina 2019–2020.

Aumaamisen yhteydessä hienojakoisiin massoihin lisäksi sekoitetaan tyypillisesti apuaineena kuorikatetta tai muuta vastaavaa kompostoitumisen edellyttämän hapen saamiseksi ja massan rakenteen parantamiseksi. Aumat vievät tilaa käsittelylaitoksilla.

6.4 Lopullinen käsittely

Kappaleessa 5.3 esitetyistä Suomen Erityisjätteen kompostoimista massoista osa toimitettiin loppusijoitukseen ja osa polttokäsittelyyn. Loppusijoitus mahdollistui vaarallisen jätteen kaatopaikan korotetun TOC-rajan kautta tai huomioimalla orgaanisen hiilessä analysoitu alkuainehiilen määrä. Massojen öljypitoisuuksia ei saatu vaarattoman

jätteen tasolle, eikä TOC-pitoisuutta saatu tasolle, jolla jäte olisi täyttänyt korottamattoman vaarallisen jätteen TOC-ajan kaatopaikkasijoituksessa.

7 Käsittelymenetelmien kustannusten ja hiilijalanjälkien vertailu

7.1 Yleistä

Vaaralliseksi jätteeksi luokiteltavien kompostointiin soveltumattomien öljypitoisten jätteiden käsittelyvaihtoehdot ovat terminen käsittely eli polttaminen ja loppusijoitus. Jätteet ovat Suomen Erityisjätteellä olleet lietteitä tai pohjasakkoja, jotka ovat hienojakoisia ja niiden haitta-aineet siinä muodossa, että ne eivät sovellu kompostointiin.

7.2 Terminen käsittely

Termisessä käsittelyssä jätteet toimitetaan laitokseen, jonka ympäristöluvassa ko. jätteiden polttaminen on sallittu. Lietteiden poltto vaatii ennen polttoa kuivauksen ja tukiaineen lisäyksen. Polton seurauksena syntyy merkittävä määrä tuhkaa korkean mineraalisen aineksen pitoisuuden ja tukiainelisäysten takia. Tuhkalle on haasteellista löytää hyötykäyttökohteita. Tyypillisesti se joudutaan toimittamaan jätteenä kaatopaikkatäyttöön, usein vaarallisena jätteenä.

Termistä käsittelyä tarjoavia laitoksia on tällä hetkellä Riihimäellä (Fortum) ja Kemissä (Savatererra). Savaterrellalla on myös liikkuva käsittelylaitos, mutta sen siirtäminen alle 1 000 t massaerän takia ei ole teknis-taloudellisesti järkevää. Lisäksi Vantaan Energia aloittaa maa-ainesjätteiden polttamisen maaliskuusta 2025 lähtien Vantaalla.

Termisen käsittelyn hinta vaihtelee paljon materiaalin laadun mukaan. Halvimmillaan hinta on noin 250 €/t (Kemissä) sisältäen kuljetuksen. Vantaan Energialla ja Fortumilla hinta on noin 350–400 €/t. Kuljetukset Forssasta yllä esitettyihin kohteisiin maksavat vähintään 15 €/t.

Termisessä käsittelyssä muodostuu CO₂-päästöjä kuljetuksesta ja polton tukiaineen lisäyksestä sekä itse polttoprosessista. Esim. Kemin Savatererran polttolaitoksesta syntyy laitoksen vuosiraportin perusteella 1 t jäte-erän käsittelystä 170 kg CO₂-päästöjä. Kuljetuksesta Forssasta Kemiin (500 km) syntyy noin 12,5 kg CO₂-päästöjä tonnia kohden. Termisen käsittelyn CO₂-päästöt ovat siis noin 182,5 kg / käsitelty 1 t jätettä. Päästölaskenta ei ota huomioon poltossa muodostuvan tuhkan käsittelyä.

7.3 Loppusijoitus

Jätteet on mahdollista loppusijoittaa Suomen Erityisjätteen loppusijoitusalueille Forssaan, Kangasalalle tai Poriin vaarallisen jätteen kaatopaikoille. Arvioitu kustannus jätteen sijoituksesta kaatopaikalle on noin 30 €/t.

Jätteen sijoittamisesta Forssan vaarallisen jätteen kaatopaikalle muodostuu noin 5 kg CO₂-päästöjä 1 t käsiteltyä jäte-erää kohden.

7.4 Yhteenveto

Loppusijoituksen kustannus on noin 15 % termisen käsittelyn hinnasta. Vertailtaessa käsittelymenetelmien hiilijalanjälkeä, loppusijoituksen päästöt ovat alle 3 % polttokäsittelystä. Päästöjä lisää kuljetusmatkat termiseen käsittelyyn, jotka ovat usein huomattavasti pidemmät kuin loppusijoitusalueille, joissa jätteet otetaan vastaan.

8 Määräsuhtetarkastelu

Suomen Erityisjäte loppusijoittaa Forssassa, Kangasalalla ja Porissa vaarallisia jätteitä. Vuosittain jokaiselle loppusijoitusalueelle sijoitetaan jätetäyttöön 20 000...100 000 t vaarallisia jätteitä. Näistä vaaralliseksi jätteeksi luokiteltavia maa-aineksia on noin 10 000...20 000 t.

Edellä kuvattuja hankalia massoja, kuten öljypitoisia lietteitä ja sakkoja, joita ei pystytä käsittelemään kompostoimalla, muodostuu noin 10 000 t jokaiselle vastaanottopaikalle. Jos hankalien massojen TOC-pitoisuudeksi arvioidaan 18 % ja keskimäärin vaarallisen jätteen kaatopaikalle tuotavan maa-ainesjätteen TOC-pitoisuus on 2 %, nostaa hankalien massojen tuominen keskimääräisen TOC-pitoisuuden tasolle 3,8 %. Tällöin edelleen kokonaisuutena arvioiden vaarallisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan maa-aineksen ja siihen verrattavan hankalan jätteen TOC-pitoisuus jää selvästi alle 6 % raja-arvon.

9 Johtopäätökset

Kaatopaikka-asetuksen mukainen orgaanisen aineksen TOC-määritys aiheuttaa hankalasti kompostoituvien vaaralliseksi jätteeksi luettavien massojen ylikäsittelyä termisellä menetelmällä. Terminen käsittely lisää kustannuksia ja päästöjä merkittävästi, eikä käytännössä pienennä muodostuvaa loppusijoitettavaa jätemäärää.

Selvityksessä esitetyt biohajoavan orgaanisen aineksen testausmenetelmät soveltuvat TOCia paremmin jätteen kaatopaikkakelpoisuuden määrittämiseen. Kaasuntuottoa mittaavat menetelmät AT4, GS-21 ja GB-21 ovat huomattavasti soveltuvampia jätteen

loppusijoittamisen soveltuvuuden arvioimiseksi. Niistä saatava tulos kertoo orgaanisesta materiaalista, joka voi penkassa reagoida ja aiheuttaa ympäristövaikutuksia. TOC-tulos sisältää tämän lisäksi sellaisen orgaanisen aineksen pitoisuuden, joka ei reagoi täytössä ja josta ei lähtökohtaisesti aiheudu ympäristövaikutuksia. Tutkimalla edelleen jätteen lämpöarvo voidaan arvioida termisen käsittelyn järkevyyttä verrattuna loppusijoitukseen.

Yksinkertaisimmillaan TOC400-analyysillä saadaan määritettyä suoraan kaatopaikkatäytössä merkityksellisen orgaanisen aineksen määrä ja se soveltuu erinomaisesti jätteen orgaanisen aineksen määrittämiseen arvioitaessa jätteen soveltuvuutta loppusijoitukseen.

GS21- ja GB21-menetelmien analyysiajat ovat pitkiä, 35 työpäivää, ja ne ovat myös ”perinteisiä” analyysijä huomattavasti kalliimpia. Jätteen biohajoavuutta kuvaavan AT4-indeksin sekä pelkän orgaanisen hiilen osuutta näytteestä mittaavan TOC400-analyysin sa määritettyä jätenäytteistä samassa ajassa (10 työpäivässä) kuin kaatopaikkakelpoisuuspaketin ja hinnat ovat kohtuullisia (100–170 €/näyte). AT4-menetelmän rajoituksena kuitenkin on, ettei se anna kuvaa jätteen pitkäaikaisesta hajoamiskäyttäytymisestä.

Tässä selvityksessä esiteltyjen hankalien massojen terminen tai kompostointikäsittely arvioidaan teknis-taloudellisesti ja ympäristön kannalta huonoksi vaihtoehdoksi. Hankalasti käsiteltävillä massoilla tarkoitetaan esimerkiksi pilaantuneita maita, lietteitä, sakoja, tuhkia ja grafiittia sisältäviä jätteitä.

Massoille ehdotetaan taulukossa 3 kriteerit, joiden perusteella ne voidaan hyväksyä loppusijoitukseen D5-luokituksen mukaiselle kaatopaikkalohkolle (Vna jätteistä 978/2021 liite 2). Nämä kriteerit ehdotetaan esitettäväksi lupaviranomaiselle ympäristöluvan päivityksen yhteydessä.

Taulukko 3. Esitys kriteereiksi hankalien massojen orgaanisen aineksen sisällön ja ensisijaisen kaatopaikkasijoituksen määrittämiseksi.

Kriteeri	Menetelmä	Raja-arvo
1. Orgaaninen aines:		
1.1 TOC (%)	SFS-EN 15936	<18
1.2 TOC400 (%)	SFS-EN 17505:2023 tai DIN 19539:2016–12	<8
2. Kaasuntuotto tai lämpöarvo		
2.1 Lämpöarvo (MJ/kg)	SFS-EN 15400:2011	<6,6
2.2 GS21 (l/kg dm)	ÖNORM S 2027–2	<20
2.3 GB21 (N l/kg dm)		<20
3. Osuus kokonaismassasta (%)	Massakirjanpito	<30

Taulukon 3 mukaisia testejä ja kriteereitä käytetään niille massoille, joissa TOC-pitoisuus menetelmällä SFS-EN 15936 ylittää 6 %. Orgaanisen aineksen analysoinnille on esitetty kaksi vaihtoehtoista analyysiä. Orgaanisen aineksen lisäksi tulee analysoida jätteen kaasuntuotto tai lämpöarvo. Lisäksi varotoimenpiteenä kyseisiä massoja ei sijoiteta samaan lohkoon kipsipohjaisten vaarallisten jätteiden kanssa. Sijoitettavan jätteen määrä saa olla korkeintaan 30 % kyseisen kaatopaikan kokonaismassamäärästä.

Lähteet:

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Espoo. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2016/T258.pdf>

ALS, 2023, Methods for Assessing the Biological Stability of Solid Waste, EnviroMail Europe, No. 9/2023. Saatavilla: https://www.alsglobal.eu/enviromails/enviromail_09

Auset, M., Margarit, L., Cuadros, J., Fernández-Ruano, L., Claramunt, M., & Mundet, X., 2024, Evaluation of the biodegradability of hazardous industrial solid waste: study of key parameters. Journal of Environmental Quality, 53, 1164–1175. Saatavilla: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jeq2.20624>

European Environment Agency, 2023, Technical note accompanying the EEA briefing 'Economic instruments and separate collection – key instruments to increase recycling. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/publications/economic-instruments-and-separate-collection/technical-note-accompanying-the-eea/view>

Euroopan komissio, 2001, Working document on biological treatment of biowaste, 2 nd draft. Saatavilla: https://www.cre.ie/docs/EU_BiowasteDirective_workingdocument_2nddraft.pdf

Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021. Saatavilla: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2021/978>

Korhonen, M-R., Pitkänen, K. ja Niemistö, J., 2018, Selvitys orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vaikutuksista, Ympäristöministeriö, Suomen Ympäristö 3/2018. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160946/SY_03_3018_Orgaanisen_jatteen_kaatopaikkakiello.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Korhonen, P., 2010, Rejektikaatopaikan kaasujen ja hajujen hallinta, Diplomityö, Aalto yliopisto. Saatavilla: https://vanha.jly.fi/korhonen_rejektien_loppusijoituksen_kaasut_2010.pdf

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., ja Jermakka, J., 2012, Taustamuistio kaatopaikoista annetun valtioneuvoston muuttamista varten, Ympäristöministeriön raportteja 11/2012. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41421/YMr11_2012_TaustamuistioKaatopaikoista.pdf?sequence=2