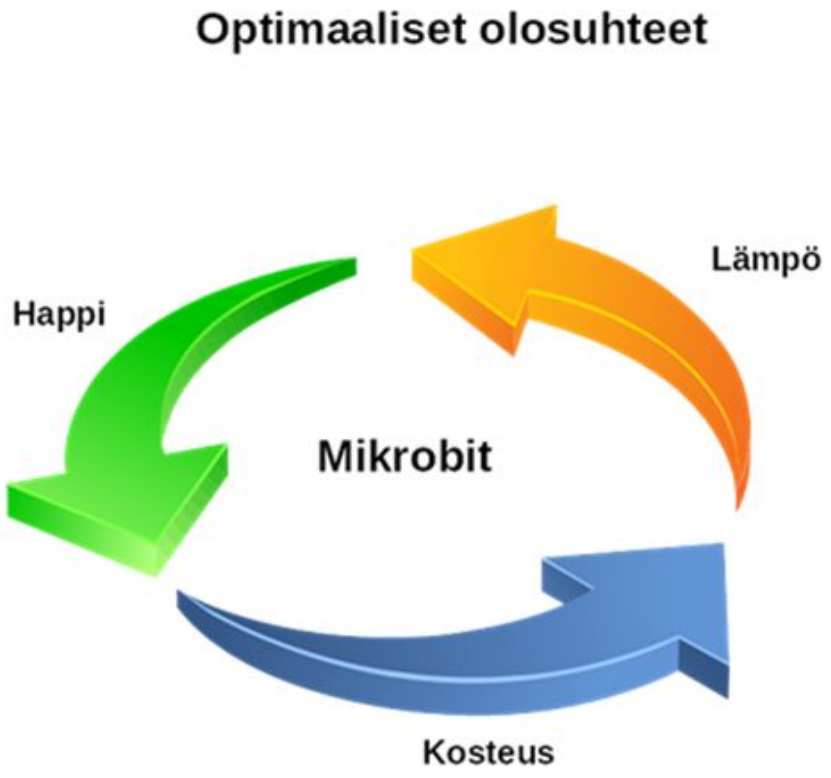
Nollakuidun kompostointi DTS- menetelmällä

Lielahden nollakuidun käsittelyraportti 2018

Digi Toilet Systems Oy
Raini Kiukas
Pirjo Niemelä



ESIPUHE

Digi Toilet Systems Oy (perustettu toukokuu 2017) jatkaa Kopli Oy:n kuivakäymälöiden kehittämistoimintaa. Tämä kehitystyö käynnistyi Tampereen Hiedanranna kulttuuritila Kuivaamon kiinteistä kuivakäymälöistä kesällä 2016. Käymäläjätteille oli löydettävä tehokas käsittelymenetelmä. Etsintöjen jälkeen päädyttiin kompostoriin, jonka ominaisuuksia olivat pikainen ja joustava käsittely. Kompostori myös hygienisoi, mikä varmisti tuotteen turvallisuuden. Pääosa virtsasta käsitellään erikseen.

Kun kompostori oli ollut jonkin aikaa käytössä, siihen liitettiin antureita ja kerääntyvät tiedot siirrettiin digitaaliseen muotoon ja myös kompostori saatiin osin etäohjaukseen. Näin päästiin tarkemmin selvittämään kompostorin toimintaa ja toimintaedellytyksiä. Samalla syntyi Digi Toilet Systems. Hiljalleen kokeiltiin myös muiden orgaanisten jätteiden käsittelyä ja huomattiin sen toimivan joillakin muutoksilla. Menetelmää alettiin tällöin kutsua DTS-menetelmäksi.

Lielahden nollakuitua haluttiin myös tutkia kun kerran oltiin alueella, missä sitä on runsaasti. Nollakuitua käsiteltiin uudella suuremmalla mutta vastaavalla kompostorilla kuin käymäläjäte käsitellään. Tämä kompostori jää Hiedanrannan alueelle käyttöön erilaisten orgaanisten aineiden käsittelyyn tai niiden käsittely kokeiluihin.

Tutkimus tehtiin Kainuun ELY-keskuksen ja Tampereen kaupungin Hiedanrannan kehitysohjelman antamien tukien turvin. Erityiskiitos hankekehitysjohtaja Reijo Väliharjulle tutkimuksen mahdollistamisesta.

Nollakuidun kompostointi DTS-menetelmällä

Johdanto

Sulfiittiselluprosessin tulo Suomeen 1870-luvulla oli suomalaiselle paperiteollisuudelle käänteentekevä, koska tämä mahdollisti usean paperilaadun valmistamisen puuperäisestä massasta, muun muassa kuusihakkeesta (Kuisma 2006). Tehtaita perustettiin useita ympäri Suomea ja ne perustettiin vesistöjen varteen, koska sellu- ja paperiteollisuus on voimakkaasti riippuvainen vedestä; puuta kuljetettiin vesireittejä myöten ja itse prosessi vaati suuria vesimääriä. Suurimmillaan vedenkulutus oli 1900-luvun alkupuolella (jopa 200–1000 m3/paperitonni), mutta ympäristölainsäädännön tiukkeneminen ja prosessien tehostaminen ovat vähentäneet paperiteollisuuden vedenkäyttöä runsaasti (Kamali et al. 2016).

Vesistöjä käytettiin myös selluteollisuuden jätevesien purkupaikkana. Vuosien myötä lähijärvien, merenlahtien ja joenpoukamien pohjaan on kertynyt valtaisat määrät kuitujätettä, niin sanottua nollakuitua. Nollakuidun rakenne vaihtelee tehdaskohtaisesti, samoin siihen kiinnittyneiden erilaisten haitta-aineiden määrä ja laatu vaihtelee tehtaan tuotantoprosessien ja raaka-aineiden mukaan. Sellu- ja paperiteollisuuden jätevesistä on tunnistettu yli 250 erilaista kemikaalia, joista osa on myrkyllisiä tai muuten haitallisia aineita, kuten paperin valkaisussa syntyvät klooratut orgaaniset yhdisteet (Ratia et al. 2012). Haitta-aineiden pitoisuudet vaihtelevat syvyyden ja näytteenottopaikan mukaan (Park & Erstfeld 1999; Autiola & Holopainen 2016). Suuri osa sellu- ja paperiteollisuuden jätevesien haitta-aineista on rasvaliukoisia ja ne sitoutuvat täten herkästi kiinteään aineeseen, kuten puukuituun (Ratia et al. 2013). Kun kuitupartikkelit laskeutuvat vesistön pohjaan ja sedimentoituvat, myös haitallisia aineita varastoituu pohjasedimenttiin. Sedimentistä haitta-aineet voivat vapautua olosuhteiden muuttuessa. Yleisesti haitta-aineita vapautuu, kun pohjasedimenttiin syntyy hapettomuus ja hapettoman mätänemisen myötä syntynyt metaani alkaa kuplia kohti pintaa. Myös kevät- ja syyskierto järvissä aiheuttaa sedimentin sekoittumista ja haitta-aineiden vapautumista yläpuoliseen vesipatsaaseen (Lindholm-Lehto et al. 2015).

Myös muu järveen kohdistuva jätevesikuormitus on omalta osaltaan vaikuttanut pohjaan kertyneen nollakuidun pitoisuuksiin ja rakenteeseen. Jätevesien käsittely kehittyi 1980 -luvulla ja biologisen aktiivilietemenetelmän avulla sellu- ja paperiteollisuuden kuormitus saatiin pienenemään merkittävässä määrin. Kiristyvät ympäristönormit ovat ohjanneet omalta osaltaan sellu- ja paperitehtaita kohti vähäpäästöistä toimintaa. Paperi- ja selluteollisuudesta syntyy edelleen nollakuitua, mutta haitta-ainepitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi. Eri vuosikymmeninä vesistön pohjaan kertyneen nollakuidun pitoisuudet vaihtelevat tästä syystä hyvinkin paljon. Haitta-aineiden suhteen kuormitetuin materiaali löytyy yleensä syvimmältä.

Vesistöjen pohjaan vuosien saatossa kertynyt 0-kuitu ja siihen sitoutuneet haitta-aineet ovat olleet usean vuoden ajan seurannan alaisena. Seurantaraporttien mukaan 0-kuitu ei ole vaaraksi ympäristölleen, jos se pysyy sedimentoituneena. 0-kuidusta tulee kuitenkin vakava haitta vesistölle ja sen eliöstölle, mikäli sedimentti syystä tai toisesta sekoittuu ja saastuttaa myös ympäröivän vesistön. 0-kuidun poistosta vesistöjen pohjasta on puhuttu paljon, mutta sille ei ole löydetty hyvää nosto- ja/tai käsittelymenetelmää, joten asian on annettu olla.

Lielahden sulfiittisellutehdas

Tampereen Lielahden sulfiittitehdas on perustettu Näsijärven rannalle vuonna 1913 (J. W. Enquist). Tehdas on ollut yhtäjaksoisesti toiminnassa vuoteen 1985. Toiminnan aikana sellutehtaan jätevedet johdettiin puhdistamattomina Näsijärveen 1950-luvulle saakka. Kuitulietteen erotus jätevedestä aloitettiin -50 luvun aikana, mutta orgaanista ainesta jäi silti jäteveteen oletettavasti melko runsaasti. Sellun valmistuksessa käytetty mustalipeä sisälsi runsaasti pienikokoista ja liukoista orgaanista ainesta, jonka erottaminen on vaikeaa (Stenius 2000). 1980-luvulla siirryttiin jätevesien käsittelyssä aktiivilieteprosessii, tosin Lielahden tuotannossa koko prosessi muuttui lähes samaan aikaan.

Tehtaan toiminnan aikana Näsijärveen on kertynyt paikoin 11 metriä syvä kerros puuperäistä orgaanista kuitulietettä, nollakuitua (Pyykkö & Lehtovaara 2011). Vuonna 1984 tehdyn selvityksen mukaan nollakuitua on järvessä noin 500–700:n metrin etäisyydellä maapadosta, joka erottaa lietealtaan Näsijärvestä. Nollakuidun määräksi on arvioitu 1,5 miljoonaa m^3, josta kuiva-ainetta on 150 000 tonnia. (Kuitupitoisen lietteen levinneisyys Näsijärvessä, 1984) Myöhemmin tehdyn ympäristölupaselvityksen mukaan nollakuitu ei ole levinnyt, vaan pikemminkin tiivistynyt paikalleen vuosien kuluessa (Lielahden kemihierretehtaan ympäristölupaselvitys, 2004).

Leija Lahtisen (2016) diplomityöhön liittyen Lielahden 0-kuitukertymästä otettiin kesällä 2016 useita näytteitä eri syvyyksistä (0-6m). Näytteenotto osoitti, että sedimentoituneen nollakuidun rakenne muuttui syvyyden funktiona:Pohjasedimentit olivat selkeästi tummempia ja niissä puuaines ei ollut enää tunnistettavissa, rakenne oli huopamaista ja sitkeää. Päällimmäiset kerrokset muistuttivat rakenteeltaan puujätettä, kuten haketta tai sahanpurua (0-2 m). Koska pohjalle aiemmin, jopa sata vuotta sitten sedimentoituneet kuidut ovat ehtineet tiivistyä kauemmin, myös orgaanisen hajoavan aineksen määrä mitattuna kemiallisena ja biologisena hapenkulutuksena kasvoi näytteenottosyvyyden kasvaessa. (Autiola & Holopainen 2016) Nollakuitu oli siis huomattavan heterogeenistä ja sen ominaisuudet vaihtelivat sekä syvyyden että näytteenottokohdan mukaan (Autiola & Holopainen 2016).

Lahtisen (2016) tekemien selvitysten mukaan nollakuidun pH oli hapan, vaihdellen kerroksittain välillä 4,1–6,5 ja ollen tyypillisimmillään noin 4,7. Happamuus kasvoi syvemmälle, vanhempiin sedimenttikerrostumiin mentäessä, kuten myös sulfaatti- sekä rikkipitoisuudet. (Autiola & Holopainen 2016). Sedimentoituneessa nollakuidussa, nollakuidusta puristetussa huokosvedessä ja nollakuidun kiintoainejäämässä havaittiin kohonneita pitoisuuksia metalleja sekä orgaanisia ja epäorgaanisia haitta-aineita.Metalleista sinkin ja nikkelin pitoisuudet huokosvedessä kasvoivat näytteenottosyvyyden kasvaessa. Elohopea-, arseeni-, koboltti- ja kuparipitoisuudet nollakuidussa ylittivät Valtioneuvoston

asetuksen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, nk PIMA-asetus, (214/2007) sallitun kynnysarvon, joka on määritetty maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnille, mutta ainoastaan elohopea ylitti yhden näytteen osalta myös alemman ohjearvon. Minkään metallin pitoisuuden ei kuitenkaan todettu ylittävän ylempää ohjearvoa. Huokosvedessä olleet elohopea-, kadmium-, lyijy- ja nikkelipitoisuudet ylittivät Valtioneuvoston asetuksen (1308/2015) vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta asettaman sisämaan pintavesien enimmäisarvon. (Autiola & Holopainen 2016).

Haitta-aineista dioksiinien ja furaanien pitoisuudet olivat suuremmat vanhemmissa kerrostumissa ja niiden pitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen kynnysarvon useissa näytteissä. Lisäksi myös joidenkin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, PAH-yhdisteiden eli polyaromaatisten hiilivetyjen, klooribentseenien ja pestisidien todettiin ylittävän PIMA asetuksen kynnysarvon. Tolueenin ja heksaklooribentseenin pitoisuudet ylittivät myös alemman ohjearvon. Huokosvedessä todettiin lisäksi huomattavia pitoisuuksia erilaisia orgaanisia happoja ja niiden metyylijohdannaisia. (Autiola & Holopainen 2016)

Haitta-ainepitoisuuksien vuoksi Lielahden nollakuitu asettaneen vaatimuksia tai rajoitteita Tampereen uuden kaupunginosan Hiedanrannan tuleviin suunnitelmiin. Hiedanrantaan on suunniteltu uutta, kiertotaloudellista asuinaluetta ja alustavissa suunnitelmissa ranta on merkitty vapaa-ajankäyttöön. Nykytilassa nollakuidusta aiheutuva riski alueen käytölle on arvioitu pieneksi, mutta koska nollakuitu ja siihen sitoutuneet haitta-aineet eivät häviä mihinkään, ne tulee ottaa huomioon Hiedanrannan asuinaluetta suunniteltaessa (Pyykkö & Lehtovaara 2011). Rantarakentaminen voi jopa edellyttää nollakuidun käsittelyä ja/tai poistoa alueelta (Ekman et al. 2016).

Hiedanrannan nollakuitututkimus

Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää Lielahden (jatkossa Hiedanarannan nollakuitua) nollakuidun käsittelyä DTS-menetelmällä. DTS-menetelmä perustuu pikakompostointiin. Kompostointi tehdään suljetusti ja turvallisesti, kompostointiin vartavasten suunnitellulla laitteistolla. Pikakompostoinnissa käytetään maaperästä eristettävissä olevia mikrobeita, ja niiden olosuhteet on optimoitu lämmön, kosteuden ja hapen suhteen. Hapetuksesta huolehtii jatkuvatoiminen lapa, joka sekoittaa käsiteltävän massan tasaisesti. Sekoitus tasoittaa myös massan kosteutta ja takaa sen, että lämpötila on vakio käsiteltävässä massassa. Kompostorin toimintoja on täydennetty DTS Oyn toimesta asentamalla siihen erilaisia sensoreita, joiden avulla kompostoitumisprosessia voidaan seurata ja tarvittaessa säätää reaaliajassa etänä. Optimoiduissa olosuhteissa mikrobit pystyvät toimimaan erittäin tehokkaasti ja ne maaduttavat hyvin hankaliakin orgaanisia jätejakeita jopa vuorokaudessa. Kompostoinnin lämpötila on korkea ja kompostoinnin lopuksi loppumassa vielä hygienisoidaan nostamalla kompostorin lämpötila noin 80C kahden tunnin ajaksi (stand). Kompostoinnin aikana jätteen massa pienenee, orgaanisesta jätteestä riippuen, jopa 80%, hajuhaitat vähenevät ja selvitysten mukaan yleisimmät patogeenit häviävät. Mikrobit voivat myös metabolisoida erilaisia haitta-aineita.

Nollakuidusta otetaan laboratorioanalyysit ennen ja jälkeen kompostoinnin. Tuloksia vertaamalla selvitetään kompostoinnin kokonaisvaikutus nollakuituun. Tulosten pohjalta voidaan myös arvioida voidaanko Hiedanrannan nollakuitujätettä tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi viherrakentamisessa tai maanparannusaineena.

Aineisto ja menetelmät

Kesällä 2017 Hiedanrannan nollakuitukertymästä nostettiin kaivinkoneella nollakuitua erilaisia nollakuitutestauksia varten. Nollakuitu kuljetettiin Hiedanrannan vanhaan teollisuushalliin varastoitavaksi. Varastointitiloja ei lämmitetty, joten nollakuitu jäätyi talven 2017-2018 aikana. Esikäsittelyvaiheesa nollakuitu jouduttiin pilkkomaan jäisenä pienempiin eriin, erät sulatettiin, punnittiin ja siirrettiin kompostoitavaksi.

Nollakuitukompostointi tehtiin GreenGood -kompostorilla. Ensimmäiset ajot tehtiin varastoinnissa kuivuneella nollakuidulla. Kompostoriin ei lisätty kompostoinnin aikana vettä vaan prosessin annettiin tapahtua valumakuivalle raaka-aineelle (kuivakompostointi).

Kuva 1. Kompostori on sijoitettu toistaiseksi vanhaan tehdashallin osaan, missä ei ole vettä eikä viemäriä. Kuvassa olevalla kompostorilla pystytään käsittelemään keskimäärin 100-150 kg orgaanista jätettä vuorokaudessa. Suurin kompostori käsittelee voin 1500 kg vuorokaudessa.

Toinen kompostointiajo tehtiin kosteutetulle nollakuidulle. Kosteutuksella haluttiin luoda ne olosuhteet, mitä suurissa kompostontierissä tulisi todennäköisesti olemaan; mikäli kompostointia käytetään tulevaisuudessa nollakuidun käsittelyssä, nostetaan nollakuitu suoraan järven pohjasta kompostoriin, jolloin kompostoitava massa on erittäin märkää (märkäkompostointi). Runsaalla kosteutuksella haluttiin siis selvittää, pystyykö kompostorin mikrobit toimimaan myös märissä olosuhteissa tehokkaasti, vai tarviiko kompostointi esikäsittelyksi jonkinasteisen nollakuidun kuivauksen tai valuttamisen.

Märkäkompostointiajossa nollakuidun kosteus ja massa mitattiin ennen kompostointia. Kompostoitumisen aikana kosteutta seurattiin silmämääräisesti ja kompostoriin lisättiin vettä kosteuden ylläpitämiseksi (Taul 1.) . Kompostoitumisen aikana seurattiin myös sähkönkulutusta, jotta saatiin selville menetelmän kokonaistehokkuus nollakuidun käsittelyssä. Kompostoitumisen etenemistä seurattiin koko prosessin ajan ja käsittelyn vaiheita dokumentoitiin myös valokuvaamalla.

Taulukko 1. Nollakuidun massa, kompostorin lämpötila, sähkönkulutus, lisätty vesimäärä ja hygienisointi, sekä näytteenotto aikataulu.

pvm	massa(kg)	Lämpötila (C)	kwh	Vesi (l)	Muuta huomioitavaa
16.1.2018	5	52	226		
17.1.2018	30,5	56	266		
18.1.2018	48,8	63	313	3	
19.1.2018	23	55	349		
22.1.2018			360	10	
23.1.2018		42			Näyte, Hygienisointi päälle
24.1.2018		70	421		Hygienisointi pois, näyte
26.1.2018	34,8		444	40	
28.1.2018	45,6	27	452	32,4	
29.1.2018		30	464		
30.1.2018		49	507		Näyte,
31.1.2018		58	567		Hygienisointi, näyte

Molemmat Hiedanrannan nollakuidun kompostointiajot suoritettiin tammikuussa 2018. Raaka-aineen jäätyminen hankaloitti pilkontaa, joten kompostiin lisätty raaka-ainemäärä vaihteli (Taul. 1). Kompostointi tehtiin jatkuvan raaka-ainesyötön periaatteella. Kompostoriin lisättiin kolmena peräkkäisenä päivänä nollakuitua ja viidentenä koeajopäivänä käynnistettiin hygienisointijakso.

Käsittelemättömästä nollakuidusta otettiin näyte laboratorioanalyysejä varten. Myös kuivakompostoidusta ja märkäkompostoidusta kompostimassasta otettiin näytteet. Kompostimassat hygienisoitiin EU-standardin EC 1069/2009 mukaisesti kompostoinnin jälkeen. Hygienisoinnin jälkeen kompostimassoista otettiin vielä kolmannet näytteet, jotta voitiin selvittää ensinnäkin hygienisoinnin tehokkuus, mutta myös sen kokonaisvaikutukset nollakuidun rakenteeseen ja pitoisuuksiin. Näytteet (2 l/näyte) lähetettiin Eurofins viljavuuspalveluun, jossa niistä analysoitiin lannoitelain mukainen (3A2, 3A5) Orgaanisten maanparannusaineiden analyysipaketti:

Tilavuuspaino
Kuiva-aine
Kosteus
Orgaaninen aines
Johtokyky
pH

kokonais- N
vesiliukoinen N
kokonais- P
vesiliukoinen P
kokonais- K

Lisäksi analysoitiin raskasmetallit: Cd, Cr, Cu, As, Ni,Pb, Hg, Zn

Kompostoitumisen kypsyyden ja stabiilisuuden varmentamiseksi kompostoiduista näytteistä mitattiin myös CO^2-tuotto. Koska kyseessä oli nollakuitu, sekä raaka-aineen että kompostimassojen kuitumääritys tehtiin, jotta voitiin selvittää kuinka paljon kompostointi oli muuttanut nollakuidun määrää.

Vaaralliset aineet

Hiedanrannan nollakuitukertymästä on saatavilla taustatietoja aikaisempien tutkimusten pohjalta (mm Lahtinen 2016). Näiden selvitysten perusteella tiedettiin, että nollakuidussa on haitta-aineita. Koska kyseessä on pieniin koe-eriin pohjaava alkututkimus, ei haitta-aineiden määritystä otettu tässä vaiheessa osaksi selvitystä. Hiedanrannan nollakuidusta on tehty viime vuosina useita tutkimuksia ja näiden pohjalta tiedetään, että ainakin dioksiinia ja furaania, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, PAH-yhdisteitä eli polyaromaattisia hiilivetyjä, klooribentseeniä ja pestisidejä, tolueenai ja heksaklooribentseeniä, orgaanisia happoja ja niiden metyylijohdannaisia on määrityksissä löydetty. Pitoisuudet vaihtelivat näytteenottoalueelta ja näytesyvyydeltä toiseen, yleisesti niin, että syvemmältä (noin 6 m) määritettiin korkeampia pitoisuuksia kuin pinnasta. Pitoisuudet siis kasvoivat syvyyden funktiona usean muuttujan suhteen.

Mikäli Hiedanrannan nollakuituajoja jatketaan DTS-menetelmällä, haitta-aineiden analysointi ja määritys tulee ottaa osaksi tutkimusta. Eteenkin furaani ja dioksiini ovat erittäin vaarallisia, elimistöön kertyviä supermyrkkyjä ja niiden pitoisuuksia kompostimassassa on hyvä seurata. Alustavan selvityksen mukaan kyseisiä haitta-aineita ei Suomessa analysoida kuin muutamassa ympäristölaboratoriossa. Keskimääräinen hinta analyyseille on 500-1200€/näyte ja analysointiaika on 4 vk- 2 kk riippuen siitä, joudutaanko näytteitä lähettämään ulkomaille analysoitavaksi (esim. Saksa). Tämä tulee huomioida, kun uutta tutkimusta menetelmineen suunnitellaan.

Tulokset ja tulkinta

Laboratorioanalyysien tulokset

Hiedanrannan nollakuitunäytteet analysoitiin 8.2.2018 Eurofins Viljavuuspalvelussa Mikkelissä. Analyysit tehtiin akkreditoiduilla menetelmillä; SFS EN ISO/IEC 17025:200FINAS T096.

Taulukossa 2 on esitetty laboratorioanalyysien tuloksista ravinteet, johtokyky, pH, kuiva-ainepitoisuus sekä kompostin kypsyystestin tulokset. Taulukossa 3 on raaka-kuitu ja raskasmetallit.

Taulukko 2. laboratorioanalyysien tulokset; ravinteet, pH, johtokyky, kuiva-ainepitoisuus sekä CO2 eli kompostin kypsyys.

	Kok-N (g/kg/ka)	**Kok-P (g/kg/ka)**	**Kok-K (g/kg/ka)**	**pH**	**johtokyky mS/m**	**kuiva-ainepitoisuus (%)**	**kompostin kypsyys CO2 mg C/g**
Raakamateriaali	5,3	<1	<1	6,0	8,3	27,2	-
Kuivakomposti	21,6	2,6	17	4,2	546	83,3	
Kuiva, hygienisoitu	22,4	2,5	16	4,2	495	98,1	
Märkäkomposti	19,7	2,3	15	4,2	379	76,1	0,14
Märkä, hygienisoitu	19,2	2,3	15	4,1	352	77,4	0,15

Taulukko 3. Laboratorioanalyysit, raakakuitu ja raskasmetallit (mg/kg ka)

	Raakakuitu (g/kg ka)	**As (mg/kg ka)**	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Ni**	**Pb**	**Zn**
Raakamateriaali	197	<5,1	0,24	14	44	0,21	14	10	120
Kuivakomposti	172	<5,2	0,10	14	9,1	0,073	6,9	2,3	34
Kuiva, hygienisoitu	42	<5,1	0,10	7,6	8,8	0,072	4,0	<2,1	36
Märkäkomposti	30	<5,2	<0,10	10	12	<0,072	5,3	2,7	44
Märkä, hygienisoitu	30	<5,2	<0,10	10	12	<0,072	5,4	3,0	41

Aistinvarainen arviointi

Nollakuidun kompostointiprosessia seurattiin myös aistinvaraisesti. Tässä kiinnitettiin huomiota nollakuidun ulkonäköön, väriin ja massan rakenteeseen, hajuun, sekä käsiteltävyyteen. Havaintoja kirjattiin ylös prosessin aikana ja siihen liittyen nollakuidusta otettiin myös valokuvia

Raaka-ainemassan ruskean-harmaa väri muuttui kompostoinnissa mustanruskeaksi ja heterogeeninen rakenne tasoittui, koska suuret kuiturakenteet ja puupalaset pilkkoutuivat kompostoinnissa. Nollakuidun pistävä haju hävisi ja loppumassa tuoksui makean mallasmaisesti. Loppumassan rakenne oli hyvin multamaista, joskin pitempiäkin kuiturihmoja, puupaloja ja kiviä oli edelleen havaittavissa. Lopputuotteen massan käsiteltävyys helpottui huomattavasti, koska loppumassan oli kuivaa ja kevyttä.

Kuva 2. Raakakuitu vasemmalla ja oikealla kompostoitua nollakuitua. Ero on huomattava.

Tulkinta

Raakakuitu

Tulosten mukaan kompostointi muutti nollakuidun rakennetta ja pitoisuuksia hyvin oleellisesti (ei tilastollisia arvioita pienen n vuoksi). Raakakuituanalyysin perusteella nollakuidun kuitupitoisuus muuttui hyvinkin selvästi kompostoinnin aikana. Kuivakompostoinnissa suurin muutos kuitupitoisuudessa tapahtui hygienisoinnin aikana, märkäkompostonnissa muutos tapahtui jo itse kompostointiprosessissa. Raakakuidun määrä oli raakamateriaalissa 197g/kg (ka +-59), kun se hygienisoidussa loppumassassa oli enää 42-30g/kg.

Raakakuituanalyysi huomioi kaikki kuitufraktiot ja se ei kerro yksityiskohtaisesti, mitkä kuidut ovat maatuneet kompostoinnin aikana erityisesti, ja mitkä eivät. Tuloksesta ei myöskään voi arvioida, kuinka täydellistä maatuminen kunkin kuitufraktion kohdalla on ollut. Tämän tutkiminen vaatisi erilaisia analyysejä, joissa huomioitaisiin kuituaineiden, selluloosan ja hemiselluloosan sekä ligniinin ja humusaineiden suhteet sekä lähtömateriaalissa, että lopputuotteessa. Aistinvaraisesti arvioituna muutos on kuitenkin erittäin selvä. Heterogeenisestä, ja haisevasta massasta saatiin neljässä vuorokaudessa multamaista, kevyttä ja hajutonta materiaalia.

Kuva 3. Jäätynyttä nollakuitua (raakamateriaali). Kuvassa erottuu hyvin kerroksellisuus.

Kypsyys ja stabiilisuus

Kun kompostointia käytetään käsittelymenetelmänä, on erittäin tärkeä määrittää kompostoituneen massan stabiilisuus ja kypsyys. Nollakuitu on materiaalina hyvin hankala ja Suomessa tehtyjen kokeiden mukaan, sellaisenaan peltoihin lisättynä se ei paranna pellon rakennetta, koska nollakuidun maatuminen on erittäin hidasta. Onnistunut kompostointi voisi tällöin olla ratkaisu asiaan; oletettavasti kompostointi muuttaa nollakuidun rakennetta siten, että se oikeasti tukee maan multavuutta, lisää orgaanisen aineen määrää ja kuohkeuttaa maan rakennetta. Kompostoitumisen pitää kuitenkin olla riittävän tehokasta, jotta maaperään ei laiteta kypsymätöntä materiaalia, joka pahimmillaan voi olla toksista ja heikentää maan kuntoa entisestään.

Kompostin kypsyyttä ja stabiilisuutta voidaan mitata hyvin monella suureella. Tässä tutkimuksessa tehtiin CO^2-tuotantoon perustuva kypsyystestaus. Komposti on stabiili, kun orgaaninen aines on hajonnut niin pitkälle, että sen hiilidioksidin tuotto ja hapenkulutus ovat vähentyneet tasolle, jossa ei huomattavia muutoksia enää tapahdu. Menetelmällä arvioidaan kompostin stabiilisuutta perustuen kompostin mikrobitoiminnan seurauksena muodostuneen hiilidioksidin ja/tai kulutetun hapen mittaukseen. Testissä mitataan kompostin CO^2-tuotto ja O_2-kulutusaktiivisuus 24 tuntia ja tarvittaessa myös 48 tuntia kokeen aloituksesta.

CO^2-mittausten perusteella kompostoinnin loppumassa oli erittäin stabiili ja orgaaninen aines oli hajonnut riittävän pitkälle, jotta sitä voidaan sanoa kypsäksi. Tämä on kuitenkin vain yhden kypsyystestauksen tulos. Mikäli kypsyys halutaan todistaa tulee CO^2 -testauksen rinnalle ottaa muitakin analysoitavia muuttujia. VTT:n mukaan typen eri muotojen suhteita seuraamalla saadaan tarvittava lisätieto hiilidioksidin rinnalle:Kompostoinnin edetessä ammoniumtyppi hapettuu nitrifikaatiobakteerien avulla kasveille käyttökelpoiseen muotoon nitraateiksi ja kompostin kypsyyttä voidaan arvioida näiden kahden suhteella. Mikäli lähtömateriaali on typen suhteen erittäin köyhää, ei menetelmän käytölle ole perusteita. Tässä tapauksessa nollakuitu ja varsinkin nollakuidusta kompostoitu massa oli niin ravinnepitoista, että määritelmää voidaan käyttää kypsyysmäärityksen tukena tulevissa tutkimuksissa. Myös erilaiset toksisuustestaukset ja kasvatuskokeet antavat lisätietoa nollakuidun käyttömahdollisuuksista. Ja koska materiaalina nollakuitu on vielä vähän tutkittu, kasvatuskokeet olisivat myös suositeltavia, jotta kaikki mahdolliset positiiviset, mutta myös negatiiviset vaikutukset saataisiin kartoitettua.

pH

Tutkimusten mukaan maaperämikrobien toiminta on tehokkainta pH:n ollessa 6-7. Raakamateriaalin pH oli määritysten mukaan 6,0, joten kompostointi päästiin aloittamaan ihanteellisissa olosuhteissa. Kompostointiprosessi muuttaa massan pH:ta ja niin tässäkin tapauksessa tapahtui. Maatumisen myötä massa happamoitui selvästi alkuperäiseen nähden. Riippumatta kompostoinnin kosteudesta pH laski lähelle 4.

Kompostimassan alhainen pH on usein merkki siitä, että komposti ei ole vielä kypsää. Orgaanisen aineen hajoamiseen liittyy useita kemiallisia ja fysikaalisia reaktioita, joita seuraamalla voidaan saada tietoa kompostoinnin etenemisestä ja pH:n seuraaminen on yksi helpoimmista tavoista saada tätä tietoa. Kompostoitumisen alkuvaiheessa, kun mikrobeilla on saatavilla paljon helposti hajoavaa ravintoa, kompostoituminen on nopeaa, orgaanisen aineen hajotessa syntyy/vapautuu happoja ja massan pH laskee jopa lähelle 4. Kun kompostointi etenee, prosessi hidastuu ja kompostoinnissa alkaa niin sanottu termofiilinen vaihe. Tässä vaiheessa kompostin lämpötila on korkeimmillaan ja se aikaansaa proteiinien hajoamista, ammoniakin vapautumista ja pH alkaa nousta. Tämän jälkeen kompostointi laskeutuu kohti stabilointivaihetta. Tässä kompostoitumisen vaiheessa lämpötila laskee ja hitaimmin hajoavat selluloosa, hemiselluloosa, ja lopulta ligniini ja humusaineet hajoavat, mutta hajoaminen on epätäydellistä. Kypsässä kompostissa pH on lähellä 7.

Näin kompostointi etenee perinteisessä kompostoitumisprosessissa, aikaa tämä vie kompostorista riippuen 4-8 viikkoa, jonka jälkeen komposti vielä useissa tapauksissa aumataan jälkikompostoitumaan. Tulkinnassa on käytetty materiaalina perinteistä biojätettä, ja tämän perusteella on tehty raja-arvot muun muassa kypsyydelle ja stabiilisuudelle, sekä pH muutoksille. DTS-menetelmässä kompostoitumisprosessi on nopeutettu muutamaan päivään ja materiaalina kompostoinnissa oli nollakuitu, joka on biojätteeseen verrattuna hyvin erilainen raaka-aine.

Nollakuidun käyttäytymisestä kompostoinnissa on hyvin vähän tietoa, lähinnä kirjallisuudessa käsitellään nollakuidun ongelmallisuutta ja runsaita haitta-ainepitoisuuksia. Kompostoitumiseen ja syntyneen kompostimassan laatuun vaikuttaa ensisijaisesti raaka-aineen laatu. Tässä tapauksessa, kun raaka-aine on hyvin heterogeenistä, orgaaninen materiaali on hitaasti hajoavaa ja kompostointi tehdään DTS-menetelmällä, eivät kompostoitumiseen liitetyt väittämät pidä välttämättä paikkaansa. DTS-menetelmässä kompostoituminen pääsee maksimaaliseen tehokkuuteensa hyvin nopeasti, tämä näkyy massan lämpötilan voimakkaana nousuna, haihdunnan lisääntymisenä sekä CO^2 vapautumisena. Todennäköisesti myös selluloosan, hemiselluloosan, ligniinin ja humusaineiden hajonta nopeutuu ja tämän vaikutusta lopputuotteeseen ei tiedetä. Loppumassan happamuus voi siis johtua monesta tekijästä, ei välttämättä siitä, että kompostoituminen on tapahtunut hapettomissa olosuhteissa ja massa on ollut liian tiivistä, kuten kirjallisuudessa väitetään. Syyt voivat löytyä nollakuidun kompostoitumisprosessin erilaisuudesta, raaka-aineen runsaasta puukuitupitoisuudesta, selluloosan ja humusaineiden hajonnan lopputuotteista, mikrobien entsyymeistä tai näiden yhteisvaikutuksesta. Muiden vaikuttavien tekijöiden puolesta puhuu myös se, että DTS-menetelmässä massan hapettamisesta huolehditaan koko prosessin ajan ja käytännössä hapettomuutta ei pääse edes syntymään. Tarvitaan siis lisää, tarkempaa tutkimusta, ennen kuin loppumassan happamuuden syihin, aiheuttajiin ja seurauksiin voidaan vastata tarkemmin.

Johtokyky ja ravinteet

Johtokyky kuvaa vesiliukoisten ravinteiden ja suolojen yhteismäärää kompostimassassa.Johtokyvyn lisäksi käytetään usein suuretta johtoluku, kun ilmoitetaan vesiliukoisten suolojen määrää maaperässä tai vedessä. Johtoluku saadaan tässä tapauksessa jakamalla taulukossa 1 esitetyt (yksikössä mS/m) johtokyvyn tulokset kymmenellä. Alkuperäisessä nollakuitu- raakamateriaalissa johtokyky oli todella alhainen, vain 8,3 mS/m, johtolukuna ilmaistuna 0,83. Kompostoidusta nollakuidusta mitatut johtokykyarvot olivat selvästi suurempia, kuin raakamateriaalin johtokyky. Analyysituloksien perusteella johtolukua nosti erityisesti vesiliukoisen fosforin pitoisuudet. Raaka-materiaalista sitä määritettiin vain 11 mg/kg, kun taas kompostoituneesta massasta sitä määritettiin jopa 1900 mg/kg. Vesiliukoisen typen osuus kasvoi kompostimassassa lähes yhtä paljon. Myös muut vesiliukoiset suolat,kuten orgaanisen aineen kompostoitumisessa vapautuneet suolat, sekä nollakuidun raskasmetallit (ja muut haitta-aineet) nostivat omalta osaltaan johtolukua.

Koska nollakuidusta tehdyn kompostimassan johtoluvut olivat huomattavan suuria, sitä ei voi käyttää ilman laimennusta/sekoitusta kasvualustoina. Peltomaiden johtoluku on keskimäärin alle 2.5 ja kasvihuoneissa vastaava luku on 4-6. Johtoluvun mukaan, valmiin nollakuitukompostimassan suola- ja

ravinnepitoisuudet olivat niin korkeita, että ne estävät jo kasvien kasvun ja kasvi kuivuu pystyyn liian ravinnerikkaassa alustassa.

Nollakuitunäytteistä analysoitiin myös kokonaistypen, - fosforin ja -kaliumin pitoisuudet. Tulosten mukaan raakamateriaalissa ravinteiden pitoisuudet olivat kohtuullisen alhaiset, mutta kompostointi mineralisoi massan ravinteet ja loppumassasta analysoitiinkin selkeästi suuremmat pitoisuudet kyseisiä ravinteita. Kokonaisravinnepitoisuukissa selkein pitoisuuden kasvu oli kaliumin kohdalla; raakanäytteessä kaliumia oli alle 1 g/kg/ka, kun taas valmiista kompostimassasta sitä analysoitiin jopa 17 g/kg/ka. Myös kokonaistypen suhteen kasvu oli huomattava. Huomattavin rikastuminen havaittiin kuitenkin vesiliukoisen fosforin pitoisuuksissa. Kompostin mikrobit mineralisoivat erilaisiin sidoksiin sitoutuneena olleen orgaanisen fosforin ja typen kasveille käyttökelpoiseen muotoon, jopa siinä määrin, että eteenkin fosfori näyttäisi olevan rajoittava tekijä nollakuidun käyttöä suunniteltaessa.

Kirjallisuuden mukaan nollakuitu on ravinteiden suhteen hyvin köyhää. Nollakuituun sedimentoituu järven pohjassa kuitenkin orgaanista ainesta ympäröivästä vesimassasta ja tämä massa rikastaa nollakuitua ravinteiden suhteen. Lisäksi nollakuidun rakenne vaihtelee paikasta toiseen ja se on raaka-aineena hyvin heterogeenistä. Pintakerroksissa nollakuitu saattaa sisältää puukappaleita, kutteria ja muita suuria kiintoainepartikkeleita, kuten kuolleita vesikasveja, jotka jo sinänsä vaikuttavat analyysituloksiin.

Kuiva-aine

Myös kompostimassan kuiva-ainepitoisuudet olivat erittäin korkeita. Odotetusti kuivakompostoinnissa loppumassan kuiva-ainepitoisuus lähenteli hygienisoinnin jälkeen jo sataa (98,1), kun taas märkäkompostoinnissa lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus jäi alle 80%. Molemmissa kompostointiajoissa lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus oli kuitenkin niin suuri, että massa on kevyttä käsitellä, ja sen säkitys ja varastointi on helppoa.

Raskasmetallit

Raskasmetallien osalta tulokset olivat vaikeasti tulkittavissa. Raakamateriaalista analysoitiin Cd, Cr, Cu, As, Ni,Pb, Hg, Zn. PIMA arvojen kynnysarvoon verrattuna raskasmetallien arvot olivat kohtuullisia, vain Arseeni ylitti maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnysarvon. MMM:n lannoitevalmisteasetuksen 24/11 mukaan lannoitevalmisteille on asetettu enimmäispitoisuus haitallisten metallien suhteen. Enimmäispitoisuus ilmoitetaan mg/kg kuiva-ainetta. Analyysien mukaan valmiin kompostimassan haitallisten metallien pitoisuudet eivät ylittäneet tätä enimmäispitoisuutta yhdenkään raskasmetallin kohdalla.

Oletuksena oli, että raskasmetallien pitoisuudet kasvaisivat kompostoinnin myötä näytteissä. Aikaisempien analyysien pohjalta tiedettiin, että ravinteet mineralisoituvat kompostoinnin aikana ja pitoisuudet voivat jopa moninkertaistua alkuperäisiin arvoihin verrattuna. Raskasmetallien suhteen kävi kuitenkin toisin; Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn pitoisuus näytteissä pieneni verrattaessa raakamateriaalin

lähtöpitoisuuteen, osan kohdalla jopa huomattavia määriä. Tämän tutkimuksen aikana emme saa varmaa vastausta siihen, miksi näin kävi, mutta peilatessa tulosta kompostointiprosessiin voimme esittää arvauksia asiasta:

1. Kompostorin lämpötila on hyvin korkea ja kompostoituminen on myös eksoterminen tapahtuma. Haihdunta on niin voimakasta, että osa raskasmetalleista on haihtunut näytteistä. Kirjallisuuden mukaan, tislauksessa voi haihtua sinkkiä ja lyijyä (Eaton et al 1995, Anon 2000). Mikäli kompostoinnin yhteydessä on tapahtunut myös näin, pitäisi kondenssiveden raskasmetallipitoisuuksien olla koholla. Emme saaneet tässä tutkimuksessa kondenssivettä talteen, joten asia pitäisi tutkia uuden kompostoinnin yhteydessä.
2. Kompostorin mikrobiomi sisältää raskasmetalleja syöviä bakteereita. Kompostorin mikrobiomia ollaan selvittämässä ja kun päästään lajitasolle asti, voidaan päätellä onko lajistossa mukana sellaisia lajeja, jotka voivat syödä erilaisia raskasmetalleja. Maailmalla on käytössä esimerkiksi BioCleaner- niminen jätevedenpuhdistusmenetelmä, jossa bakteereja käytetään raskasmetallien puhdistukseen jätevedestä.
3. Mittausvirhe ja/ tai heterogeenisestä raaka-aineesta johtuvat erot

Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin voidaanko nollakuitua käsitellä niin sanottuun DTS-menetelmään perustuvalla pikakompostoinnilla. Nollakuitua on monessa järvessä jopa miljoonia kuutioita ja vaarana on koko vesistön laadun romahtaminen, koska nollakuituun on sitoutunut huomattavia määriä erilaisia haitta-aineita. Nollakuidulle on viime aikoina yritetty löytää sellainen (jätteen)käsittelymenetelmä, että sen haittatekijät saataisiin minimoitua ja parhaassa tapauksessa sitä voitaisiin jopa hyödyntää, vaikkapa kasvualustana tai kierrätyslannoitteena.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella DTS-menetelmä soveltuisi erittäin hyvin nollakuidun käsittelyyn.

+ Massa pieneni noin puoleen, tämä tarkentuu isompien käsittelyerien myötä
+ Hajuhaitat hävisivät
+ Heterogeenisestä ja hankalasti käsiteltävästä raaka-aineesta saatiin multamaista, kuivaa ja helposti varastoitavaa ja levitettävää materiaalia
+ Nollakuidun suuresta puukuitupitoisuudesta huolimatta raaka-aine kompostoitui nopeasti
+ Kompostoituminen onnistui erinomaisesti myös märkäajossa, jopa paremmin kuin kuivana. Nollakuitu ei siis tarvitse esikäsittelyksi kuivausta, sen voi siirtää suoraan järvestä kompostointiin
+ Energiakulutus vastasi kompostorin yleistä kulutusta, vaikka materiaalina nollakuitu on hyvin haastava: noin 0,2 kwh/jätekilo
+ Kompostoituminen mineralisoi nollakuidun ravinteet, rikastuminen oli erittäin voimakasta
+ Valmiin kompostimassan pääravinteiden N:P:K suhde oli hyvä (9:1:6)
+ Raskasmetallien pitoisuus ei kasvanut kompostoitumisen myötä, raskasmetallien pitoisuus pieneni, joskaan syytä tähän ei tutkimuksessa saatu selville
+ Kompostointi oli ainakin CO2- kypsyysmäärityksen perusteella hyvin tehokasta, CO2 tuotto ilmaisi, että massa oli stabiilia
+ Nollakuidun raakakuitumäärä väheni kompostoinnin aikana selvästi, mikrobisto pystyy siis hyödyntämään myös vaikeaa nollakuitua ravintonaan
+ Kuiva-ainepitoisuus oli hyvin korkea
+ Tämän tutkimuksen tulosten mukaan, nollakuitua voidaan käyttää kompostoinnin jälkeen orgaanisena maanparannusaineena tai kuivalannoitteena. Tarvitaan kuitenkin vielä lisätutkimuksia, että turvallisuus, laatu ja kokonaisvaikutus saadaan varmistettua
- Syntynyt kompostimassa oli hyvin hapanta
- Syntyneen kompostimassan johtokyky (johtoluku) oli haitallisen korkea (tosin ilmaisee massan suuria ravinne- ja suolapitoisuuksia, joten massaa voisi todennäköisesti hyödyntää lannoiteraaka-aineena)
- Kompostoituneen massan C-pitoisuutta ei määritetty. Mikäli massaa halutaan käyttää maanparannusaineena, tulee orgaanisen hiilen määrä ja laatu selvittää. Tarvitaan tietoa maanparannuskuitujen hiilen hajoamisesta maaperässä ja kyvystä sitoa hiiltä maahan
- Kaikkia haitta-aineita ei tutkittu ja analysoitu, joten kompostimassan lopullinen turvallisuus- ja laatumääritys on vielä kesken

Kirjallisuus:

Anon 2000. Agilent 7400 ICP-MS application handbook. Agilent Technologies.
Autiola, M. & Holopainen, M. (2016). Nollakuidun pilaantuneisuustutkimus,1510027318-003, Ramboll Finland Oy
Eaton, Andrew, D., Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenburg (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 19th edition.
Kamali, M., Gameiro, T., Costa, M.E.V. & Capela, I. (2016): Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastes–An overview of the developments and improvement opportunities, Chemical Engineering Journal, 298,s. 162-182.
Kuisma, M. (2006). Metsäteollisuuden maa. Suomi, metsät ja kansainvälinen järjestelmä 1620-1920, Suomalaisen kirjallisuuden seura, Helsinki.
KuitupitoisenlietteenlevinneisyysNäsijärvessä, (1984). 11774, Ramboll Finland Oy.
Lahtinen, L (2017). Selluteollisuuden nollakuitusedimentin hyödyntäminen biokaasuprosessissa, Diplomityö TTY.
Lindholm-Lehto, P., Knuutinen, J.S., Ahkola, H.S.J. & Herve, S.H. (2015). Refractory organic pollutants and toxicity in pulp and paper mill wastewaters, Environmental Science and Pollution Research, 22, s. 6473-6499
Park, S.S. & Erstfeld, K.M. (1999). The effect of sediment organic carbon content on bioavailability of hydrophobic compounds in aquatic ecosystems,Environmental Pollution, 105, s. 9-15
Pyykkö, L. & Lehtovaara, O. (2011). Lielahden kumihierretehtaan alue: yhteenveto ympäristöselvityksistä, 82132399, Ramboll Finland Oy.
Stenius, P. (2000). Papermaking science and technology: Book 3, Forest products chemistry, Fapet,Helsinki
Virkanen, J, Reijola, H ja Vaahtojärvi, T: GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOKSEN YMPÄRISTÖLABORATORION TOIMINTAKÄSIKIRJA 25.10.2017