



Metsäteollisuuden ravinteet

Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmistaina

Metsäteollisuuden ravinteet -

Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina

JOENSUU 2013

APILA GROUP OY AB



Ympäristöministeriön Ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristomeren tilan parantamista koskevan ohjelman hankkeen *Metsäteollisuuden ravinteet – Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina* selvitys.

Matilainen Mervi
Pisto Sanni
Rinnepelto Pirjo
Kinnunen Niko

Apila Group Oy Ab

Taitto: Mervi Matilainen
Kansikuva: © Tyynelän Tila

Julkaisu on saatavana vain internetistä.

Joensuu 2014

Alkusanat

Metsäteollisuudessa muodostuu vuosittain suuria määriä sivuvirtoja. Sivuvirroista osa on epäorgaanisia ja osa sisältää myös orgaanista ainesta. Kaikkia jakeita ei vielä pystytä hyödyntämään materiaalina, sillä olemassa olevien hyötykäyttökohteiden määrä ja laatu eivät ole riittävät. Lannoitevalmistelainsäädäntö mahdollistaa, että tietyt sivuvirrat hyödynnetään sellaisenaan lannoitevalmisteina käytettävänä sivutuotteina tai lannoitevalmisteen raaka-aineina. Lannoitevalmistelainsäädännön vaatimuksia noudattamalla voidaan turvata, että käytettäväksi hyväksytään ainoastaan sivuvirtoja, joiden haitta-aineiden pitoisuudet ovat turvallisella tasolla. Tällöin niiden sisältämät luonnosta peräisin olevat ravinteet ja orgaaninen aines saadaan palautettua takaisin. Haasteena on kuitenkin sivuvirtojen osalta ollut riittämätön tieto niiden ominaisuuksista ja saatavuudesta, ja sen myötä heikko tuotteiden kysyntä.

Tässä selvityksessä esitellään kansallista lannoitevalmistelainsäädäntöä siltä osin, kuin se koskee metsäteollisuuden sivuvirtoja. Selvityksessä esitellään massan ja paperin valmistuksen prosessit, ja tietoa täydennetään kuvaamalla valmistuksessa käytetyt kemikaalit. Samoin esitellään erityisesti haitta-aineiden kiertoa prosesseissa. Oleellista on esittää myös nykytilanne: vain 7,5 % nykyisistä, lannoituskäyttöön mahdollisesti soveltuvista sivuvirroista päätyy lannoitevalmisteiden markkinoille.

Selvityksessä esitellään tarkemmin lannoituskäyttöön soveltuvat sivuvirrat: prosessista poistettava kemikaali meesa(kalkki), erilaiset kuitupitoiset sivuvirrat ja kuori, sekä metsäteollisuuden energiantuotannon tuhkat. Sivuvirtojen laatua ja koostumusta kuvataan niille toteutettujen kemiallisten analyysien perusteella. Selvityksessä esitellään myös menetelmiä, joilla sivuvirtoja voidaan mahdollisesti käsitellä, jotta niiden laatu ja ominaisuudet täyttäisivät asetetut kriteerit. Sivuvirtojen käytön tehostamiseksi on tärkeää esitellä myös tietoa siitä, kuinka näiden arvokkaiden lannoitevalmisteiden käyttö onnistuu käytännössä.

Tämä selvitys tuotettiin Metsäteollisuuden ravinteet -hankkeessa, joka oli osa ympäristöministeriön *Ravinteiden kierrätystä ja Saaristomeren tilaa* koskevaa RAKI-ohjelmaa. Hankkeen toteuttajana haluamme kiittää kaikkia yhteenedon tuottamiseen osallistuneita tahoja, erityisesti hankkeen ohjausryhmää. Ohjausryhmässä toimivat metsäteollisuuden edustajina Ari-Pekka Heikkilä (ohjausryhmän puheenjohtaja, Metsä Group), Kati Manskinen (Stora Enso Oyj), Harri Jussila (UPM Oyj) ja Maija Heikkinen (Metsäteollisuus ry). Heidän osoittamansa aktiivinen vuoropuhelu ja avoimuus olivat avainasemassa tämän selvityksen sisällön laatimisessa. Ympäristöministeriön edustajana ohjausryhmässä toimi Laura Saijonmaa ja maa- ja metsätalousministeriön edustajana Pirjo Salminen. Prosessitekniikan ja -kemikaalivalmistajien edustajana ohjausryhmään osallistui Kari Saari, Kemira Oyj. Maatalouden ja lannoitevalmistesektorin edustajana ohjausryhmään osallistui Juuso Joona (Tyynelän tila ja Tyynelän Maanparannus Oy). Ympäristöministeriön asettamina valvojina hankkeessa toimivat Juhani Anhava, Esa Salminen ja Anne Salminen, Pöyry Finland Oy.

Joensuussa 20.3.2014, Apila Group Oy Ab:n puolesta

Mervi Matilainen

Sisällysluettelo

Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
1. Johdanto	6
2. Kansallinen lannoitevalmistelainsäädäntö	6
2.1 Lannoitevalmistelaki	7
2.2 Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista	7
2.3 MMM asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta	9
2.4 Jätelaki	10
2.5 Valtioneuvoston asetus jätteistä	10
3. Massan ja paperin valmistus	12
3.1 Massan valmistus	12
3.2 Paperin valmistus	15
3.3 Haitta-aineiden kierto	16
4. Sivuvirrat	17
4.1 Kuvaukset	17
4.2 Sivuvirtojen määrät	20
4.3 Koostumus	20
5. Sivuvirtojen käsittely	25
5.1 Meesakalkki	25
5.2 Kuivalietteet	25
5.3 Tuhka	28
6. Johtopäätökset	31
6.1 Meesakalkki	31
6.2 Kuivalietteet	31
6.3 Tuhka	31
6.4 Kuori ja kuorihiekka	32
7. Sivuvirtojen käyttö lannoitevalmisteina	32
7.1 Tuhkalannoitteet	32
7.2 Meesakalkki kalkitusaineena	33
7.3 Kuitulietteen lannoituskäyttö	34
7.4 Kuori	35
8. Yhteenveto	35
9. Liitteet	37
10. Viitteet	37

1. Johdanto

Metsäteollisuudessa muodostuu vuosittain suuria määriä sivuvirtoja eli kiinteitä jätteitä ja lietteitä, jotka sisältävät orgaanista ainesta, ravinteita ja kalkkia. Kaikkia jakeita ei vielä pystytä hyödyntämään materiaalina, sillä olemassa olevien hyötykäyttökohteiden määrä ja laatu eivät ole riittävät. Metsäteollisuus kehittää aktiivisesti sivuvirtojensa hyötykäyttöä. Kaatopaikkajätteiden määrä on saatu laskemaan kolmannekseen 90-luvun alusta. Samana ajanjaksona massan ja paperin tuotanto on kasvanut lähes 50 %. Tuotantoon suhteutettuna kaatopaikkajätteiden määrä on vähentynyt 89 % vuodesta 1992.

Lannoitevalmistelainsäädännön puitteissa on mahdollista, että tietyt ravinteita sisältävät metsäteollisuuden sivuvirrat hyödynnetään sellaisenaan lannoitevalmisteina käytettävänä sivutuotteina tai lannoitevalmisteen raaka-aineina. Lannoitevalmistelainsäädännön vaatimuksia noudattamalla voidaan turvata, että käytettäväksi hyväksytään ainoastaan sivuvirtoja, joiden haitta-aineiden pitoisuudet ovat turvallisella tasolla. Tällöin niiden sisältämät luonnosta peräisin olevat ravinteet ja orgaaninen aines saadaan palautettua takaisin. Haasteena on kuitenkin sivuvirtojen osalta ollut riittämätön tieto niiden ominaisuuksista ja saatavuudesta, ja sen myötä heikko tuotteiden kysyntä.

Eräs merkittävimmistä metsäteollisuuden sivuvirroista on tuhka, jota syntyi massa- ja paperiteollisuudessa v. 2012 184 000 ka-tonnia.¹ Uusiutuvan energian käytölle asetetut tavoitteet lisäävät syntyvän tuhkan määrää tulevaisuudessa. Tuhka sisältää kalkkia sekä jonkin verran ravinteita, ja sen hyötyjä metsälannoituksessa on selvitetty ja käyttöä edistetty useissa tutkimuksissa.^{2 3} Vuonna 2013 käynnissä olivat myös TUULI- ja GEOPO-hankkeet, joiden tavoitteena on edistää tuhkan hyötykäyttöä vaikuttamalla tuhkan laatuun mm. prosessimuutoksilla ja tuhkan stabiloinnilla.⁴

Myös meesakalkkia (yht. 26 000 ka-tn/2012¹) voidaan hyödyntää lannoitevalmisteena sellaisenaan. Meesan käyttöä kalkitusaineena tai muiden lannoitevalmisteiden raaka-aineena tulisi kuitenkin edelleen tehostaa. Täysin hyödyntämätön mahdollisuus sen sijaan on soodasakka (yht. 79 000 ka-tn/2012¹), soodakattilan ”tuhka”, joka sisältää runsaasti kalkkia, mutta myös esimerkiksi kaliumia, rikkiä ja hivenaineita kuten sinkkiä. Vaikka soodasakka vastaa koostumukseltaan puun tuhkaa, sen lannoituskäyttö ei ole tällä hetkellä mahdollista, koska lainsäädännössä ei ole määritelty sille soveltuvaa tyyppinimeä. Soodasakka on lisäksi hankalaa käsitellä.

Metsäteollisuuden lietteet (518 000 ka tn/2012¹, kuiva-aine 25 – 65 %, rakenne murumainen), erityisesti kuituliete, sisältävät puusta lähtöisin olevia ravinteita ja runsaasti orgaanista ainesta. Tällä hetkellä kuitulietettä voidaan käyttää sellaisenaan maanparannukseen, mikäli se täyttää lannoitevalmisteille annetut kriteerit. Uusi asetus kaatopaikoista rajoittaa orgaanisen jätteen sijoittamista tavanomaisen jätteen kaatopaikalle vuodesta 2016 lähtien. Näin ollen lannoitusikäytön tehostaminen näille orgaanista ainesta sisältäville lietteille on tärkeää.

2. Kansallinen lannoitevalmistelainsäädäntö

Kansalliseen, metsäteollisuuden sivuvirtoja koskevaan [lannoitevalmistelainsäädäntöön](#) sisältyvät seuraavat lait ja asetukset:

- Lannoitevalmistelaki 539/2006; muutos 1498/2009, muutos 340/2010
- MMM asetus lannoitevalmisteista 24/11; muutos 12/12, muutos 7/13

- MMM asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 11/12
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus luonnonmukaisesta tuotannosta, luonnonmukaisten tuotteiden merkinnöistä ja valvonnasta annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta, MMMa 108/2012.

Lannoitevalmisteiden valvontaa Suomessa suorittaa [Evira](#). Lannoitevalmistelainsäädännön ohella metsäteollisuuden sivuvirtoja koskevat jätelainsäädännön jätteiden hyötykäyttöä koskevat ohjeet. Seuraavassa esitellään lannoitevalmiste- ja jätelainsäädäntöä siten, kuin se koskee metsäteollisuuden sivuvirtoja.

2.1 Lannoitevalmistelaki

Laissa [539/2006](#) säädetään yleisistä lannoitevalmisteiden laatuvaatimuksista, jotka lannoitevalmisteiden tulee täyttää kun niitä valmistetaan, markkinoidaan, käytetään tai tuodaan maahan. Laki käsittää myös viennin sekä osin lannoitevalmisteiden valmistuksen maatilalla omaa käyttöä varten sekä muun lannoitevalmisteiden käytön.

Lainsäädännön tavoitteena on varmistaa Suomen markkinoille tulevien lannoitevalmisteiden turvallisuus, laatu ja sopivuus niiden käyttötarkoitukseen. Tarkoitus on myös parantaa lannoitevalmisteiksi soveltuvien sivutuotteiden hyötykäyttöä, mikäli niistä ei aiheudu vaaraa tai haittaa ihmisille, eläimille, kasveille tai ympäristölle ja ne vaikuttavat myönteisesti viljelytuloksiin. Lannoitevalmisteiden on sisällyttävä joko kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon tai Euroopan yhteisön lannoitetyyppien luetteloon.

Lannoitevalmisteiden viranomaisvastuu kuuluu Eviralle. Viranomaisen suorittama valvonta perustuu toiminnanharjoittajien tekemän omavalvonnan valvomiseen. Lisäksi viranomainen valvoo markkinoita ja lannoitevalmisteiden käyttöä. Orgaanisia lannoitevalmisteita ja niiden raaka-aineita valmistavalla laitoksella on oltava laitoshyväksyntä.

2.2 Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista

Asetuksessa 24/11 säädetään lannoitevalmisteiden tyypeistä, tyyppinimiryhmistä ja tyyppinimiryhmäkohtaisista vaatimuksista. Lisäksi asetuksessa esitetään lannoitevalmisteiden laatu-, merkintä-, pakkaus-, kuljetus-, varastointi- ja käyttövaatimukset sekä lannoitevalmisteiden raaka-aineet.

Tyyppinimiryhmät

Suomessa lannoitevalmisteiden on kuuluttava joko kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon (MMM asetus 12/07, liite I) tai EY-lannoitteiden osalta (EY) lannoitetyyppien luetteloon (2003/2003, liite I). Lannoitevalmisteisiin lasketaan kuuluviksi Taulukossa 1 esitellyt tyyppinimiryhmät.

Asetuksen liitteessä I on luettelo kansallisista lannoitevalmisteiden tyypeistä (1 – 5) ja tyyppinimiryhmistä ja niitä koskevista vaatimuksista. Liitteissä II – IV on lisätietoa tyyppinimiin liittyvistä vaatimuksista. Ajantasaiset kuvaukset ja vaatimukset löytyvät kulloinkin voimassa olevasta lainsäädännöstä⁵ ja tyyppinimiluetteloista.⁶ Tämän yhteenvedon laatimishetkellä voimassa olevat metsäteollisuuden sivuvirtoja koskevat tyyppinimet on taulukoitu liitteessä 1.

Taulukko 1. Lannoitevalmisteiden tyyppinimiryhmät asetuksen 24/11 mukaisesti.

Lannoitevalmiste	Määritelmä Lannoitevalmistelaissa
Lannoite	Aine tai valmiste, jonka tarkoituksena on edistää kasvien kasvua tai parantaa sadon laatua ja jonka vaikutus perustuu kasvinravinteisiin tai muihin kasveille, ihmisille tai eläimille hyödyllisiin aineisiin.
Maanparannusaine	Aine, jota lisätään maahan sen fysikaalisten ominaisuuksien ylläpitämiseksi ja parantamiseksi tai lisäämään maan biologista toimintaa.
Kasvualusta	Kasvien kasvatukseen tarkoitettu, teknisesti käsitelty kiinteä tai nestemäinen aine, johon on tai voi olla lisätty muita lannoitevalmisteita.
Sellaisenaan lannoitevalmisteena käytettävä sivutuote	Lannoitevalmisteena käytettävä teollisuus-, poltto- tai tuotantolaitosten, biokaasutai kompostointilaitosten tai muiden laitosten sekä jätevedenpuhdistamojen tai muun vastaavan toiminnan yhteydessä syntyvä tuote.

Lannoitevalmisteita koskevat erityiset vaatimukset

Lannoitevalmisteissa ei saa olla ympäristölle tai terveydelle haitallisia vaikutuksia. Asetuksen 24/11 asettamat rajoitukset koskevat ennen kaikkea kadmiumia ja arseenia. Kadmiumia koskevat yhteenvedon laatimishetkellä voimassa olevat rajoitukset on esitetty taulukossa 2 ja arseenia koskevat rajoitukset taulukossa 3. Lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva kadmiumin enimmäiskuormitusta käytettävänä erinä on pyritty rajoittamaan. Tuhkalannoituksessa maataloudessa, maisemoinnissa ja viherrakentamisessa rajoitukset ovat tiukempia kuin metsätaloudessa.

Taulukko 2. Kadmiumia koskevat rajoitukset.

Käyttötarkoitus	Enimmäismäärä tai -kuormitus mg/kg kuiva-ainetta
Lannoitevalmiste	1,5 mg/kg kuiva-ainetta
Maa- ja puutarhataloudessa ja viherrakentamisessa ja maisemoinnissa käytettävä tuhkalannoite	2,5 mg/kg kuiva-ainetta
Metsässä käytettävät tyyppinimiryhmän 1A7 tuhkalannoitteet lannoitevalmisteena ja niiden raaka-aineena käytettävä tuhka	25 mg/kg kuiva-ainetta 100g/ha/60 v
Lannoitteet, joiden fosforipitoisuus on vähintään 2,2 % (5 % P ₂ O ₅)	50 mg/kg kuiva-ainetta
Lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva keskimääräinen kadmiumin enimmäiskuormitus	1,5 g /ha/a maa- ja puutarhataloudessa 7,5 g/ha/ 5 v maisemoinnissa ja viherrakentamisessa 15 g/ha/10v

Taulukko 3. Arseenia koskevat rajoitukset.

Käyttötarkoitus	Enimmäismäärä tai -kuormitus
Lannoitevalmiste	25 mg/kg kuiva-ainetta
Metsässä käytettävässä tyyppinimiryhmän 1A7 tuhkalannoitteet lannoitevalmiste ja sen raaka-aineena käytettävä tuhka	40 mg/kg kuiva-ainetta
Metsätaloudessa käytettävien tyyppinimiryhmän 1A7 tuhkalannoitteet lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva keskimääräinen arseenin enimmäiskuormitus metsätaloudessa	2,65 g /ha/a
Metsätaloudessa käytettävien tyyppinimiryhmän 1A7 tuhkalannoitteet lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva arseenin enimmäiskuormitus metsätaloudessa	160 g/ha/60 a

Asetuksen 24/11 liitteessä IV on määritelty lannoitevalmisteissa sallittujen haitallisten aineiden, eliöiden ja epäpuhtauksien raja-arvot. Taulukossa 4 on esitetty asetuksen mukaiset rajoitukset koskien haitallisten metallien enimmäispitoisuuksia. Lisäksi asetuksessa on annettu rajoituksia koskien tautia aiheuttavien tai niitä indikoivien mikro-organismien enimmäismääriä sekä epäpuhtauksia, joilla tarkoitetaan rikkakasvinsiemeniä tai roskia. Orgaanisissa lannoitteissa ei saa olla muuta kuin tuoteselosteessa ilmoitettua orgaanista ainesta. Orgaanisissa lannoitevalmisteissa ei saa esiintyä ilmoittamatonta eläinperäistä ainesta.

Taulukko 4. Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa ja kalkitusaineissa tyyppihapolla uutettuna sekä muissa lannoitevalmisteissa kuningasvesimärkäpolttomenetelmällä uutettuna. Asetus 24/11 liite IV.

Alkuaine	Enimmäispitoisuus mg/kg TS	Metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa enimmäispitoisuus mg/kg TS
As	25	40
Hg ^a	1,0	1,0
Cd ^b	1,5	25
Cr	300	300
Cu ^c	600	700
Pb	100	150
Ni	100	150
Zn ^c	1500	4500

^a Elohopean määrittäminen EPA 743-menetelmällä

^b Cd 2,5 mg Cd/kg ka maa- ja puutarhataloudessa sekä viherrakentamisessa ja maisemoinnissa käytettävässä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa

^c Kuparin ja sinkin enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteissa voidaan sallia, kun maaperäanalyysin perusteella on todettu puutetta kuparista tai sinkistä. Metsätaloudessa enimmäispitoisuuden ylitys lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa on sallittu ainoastaan sinkkiä suometsissä käytettäessä, silloin kun sinkin puute on kasvustosta todettu joko maaperä-, lehti- tai neulasanalyysillä. Maksimimäärä sinkkiä lannoitevalmisteena käytettävässä sivutuotteessa saa olla enintään 6000 mg Zn/kg/ka

2.3 MMM asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta

Asetuksessa 11/12 säädetään toiminnanharjoittajan ilmoitusvelvollisuudesta ja eräiden toiminnanharjoittajien eläinperäisiin sivutuotteisiin liittyvästä rekisteröinnistä, tiedostonpitämisvelvollisuudesta, omavalvontavelvollisuudesta, ennakoilmoitusvelvollisuudesta, laboratoriohyväksynnästä, lannoitevalmisteiden sisämarkkinakaupasta ja maahantuonnista koskien lannoitevalmisteita. Lisäksi asetuksessa säädetään orgaanisia lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita valmistavan, teknisesti käsittelevän tai varastoivan laitoksen hyväksynnästä sekä lannoitevalmisteita koskevan valvonnan järjestämisestä. Käytännössä yllä mainittujen lain ja asetusten nojalla lannoitteiden jäljitettävyyden ja laatuvarmistuksen toteuttaminen lannoitteiden valmistajan toteuttamalla omavalvonnalla. Toiminta ei saa aiheuttaa haittaa ihmiselle tai ympäristölle sekä soveltuvuus käyttökohteeseen on oltava varmaa käyttökohdetta vaarantamatta.

Laadunvalvonnasta ja tuoteturvallisuudesta sekä ilmoitettujen tietojen paikkansapitävyydestä vastuu on toiminnanharjoittajalla ja sitä valvotaan omavalvontavelvoitteen avulla. Myytäessä tai luovutettaessa ostajalle tai käyttäjälle on tuotteen mukana annettava tuoteseloste. Tuoteselosteesta tulee ilmi muun muassa tuotteen tyyppinimi, joka esimerkiksi tuhkan tapauksessa on ”puun ja turpeen

tuhka”. Lisäksi tuoteselosteessa kuuluu olla valmistajan tiedot ja kauppanimi sekä valmisteen käyttötapa, koostumus, ominaisuudet ja raaka-aineet.

Tuotteen valmistajalla on ankara vastuu tuotteen laadusta. Valmistaja on esimerkiksi tuhkan tapauksessa voimalaitos, joka tuottaa tuhkan. Voimalaitoksen on tarkkaan oltava selvillä, mitä voimalaitoksessa poltetaan ja mitä haitta-aineita muodostunut tuhka sisältää. Heidän ohellaan myös tuhkan rakeistaja, joka voi kerätä tuhkaa useilta voimalaitoksilta, on vastuussa tuotteen laadusta. Jos tuotetta jatkojalostetaan esimerkiksi rakeistamalla tai yhdistämällä siihen muita lannoitevalmisteita, siirtyy vastuu uudesta lannoitevalmisteesta jatkojalostajalle. Alkuperäisten aineiden tuottajilla on kuitenkin edelleen vastuu tiedoista, jotka he ovat toimittaneet jatkojalostajalle. Lannoitteen käyttäjällä on myös vastuu tuotteen mukana kulkevassa tuoteselosteessa olevan ohjeen mukaisesta valmisteen käytöstä. Jos lannoitevalmisteen asianmukaisesta käytöstä aiheutuu kuitenkin vahinkoa kasvustolle (esim. sadon määrän pienentyminen/ laatuongelmat tai vahinkoa maaperälle tai vesistöille), tulee vastuuseen valmisteen tuottaja.

Evira on koonnut sivuilleen tietoa lakisääteisistä velvoitteista lannoitevalmisteiden valmistukseen ja markkinoille saattamiseen liittyen. Näitä ovat ilmoitusvelvollisuus, kirjanpitovelvollisuus sekä omavalvonnan järjestäminen ja laitoshyväksynnän hankkiminen.⁷

2.4 Jätelaki

Vuonna 2012 voimaantullut jätelaki [646/2011](#) koskee kaikkia jätteiden tuottajia, välittäjiä ja käsittelijöitä kaikilta osin. Jätelaki kattaa myös jätevedet siltä osin kuin niistä ei säädetä muualla laissa. Jätevesien käsittely hyödyntämistarkoituksiin on jätelain mukaista jätteen käsittelyä.

Jätelaki pyrkii helpottamaan jätteiden hyödyntämistä. Jätelain mukaan jätteen tuottajalla on oltava tarkat tiedot jätteensä sisällöstä joka voidaan myöhemmin antaa eteenpäin jätteen hyödyntäjälle. Vastaavasti tuottajan (jätteistä tuotteita valmistava taho) on oltava selvillä tuotteidensa sisällöstä.

2.5 Valtioneuvoston asetus jätteistä

Asetus [179/2012](#) täydentää aiemmin voimaan tullutta jätelakia 646/2011. Asetuksen liitteessä 1 on määritelty tarkemmin, mitä tarkoitetaan jätteen hyödyntämisellä. Jätteiden hyödyntäminen maataloudessa on mahdollista maaperän käsittelemisessä siten, että siitä on hyötyä maataloudelle tai että sillä on ekologisesti hyödyllinen vaikutus. Asetuksessa määritellään myös jätteen käsittelijän (myös loppukäsittelijän) ja/tai jätteitä hyödyntävän tahon velvollisuudet. Tähän liittyen 12 §:ssä on mainittu, että levitettäessä jätteitä maahan, on käyttömäärän ja käyttötarkoituksen vastattava mahdollisimman tarkasti tarvetta.

Jäteasetuksessa (§ 20-23) määritellään myös jätteen tuottajan, kuljettajan, vastaanottajan ja käsittelijän kirjanpitovelvollisuus. Kaikkien osallisten kirjanpidossa on oltava seuraavat tiedot:

- 1) jätteen määrä;
- 2) jäteluettelon mukainen jätteen nimike ja kuvaus jätelajista sekä olennaiset tiedot jätteen ominaisuuksista ja koostumuksesta;
- 3) vaarallisesta jätteestä liitteen 3 mukaiset pääasialliset vaaraominaisuudet.

Toimitettaessa jäte muualle käsiteltäväksi, tuottajan kirjanpidossa on lisäksi oltava tieto jätteen vastaanottajasta sekä jätteen käsittelytapa. Käsittelijällä on edelleen oltava kirjanpidossa jätteen edellinen haltija, jätteen käsittelytapa ja käsittelytoimen luokitus, sekä jätteen käsittelyssä syntyvästä

jätteestä kohtien 1-3 mukaiset tiedot soveltuvin osin. Kuljetettuja, välitettyjä tai kerättyjä jätteitä koskevassa kirjanpidossa on oltava tiedot jätteen luovuttaneen ja vastaanottavan tahon tiedot sekä päiväykset tapahtumien osalta. Jätelainsäädännön mukaan jätteen käsittelyä varten on myös laadittava seuranta- ja tarkkailusuunnitelma ennen jätteen käsittelyn aloittamista. Suunnittelulla pyritään välttämään jätteiden käsittelystä mahdollisesti aiheutuvia haittoja ja ympäristön pilaantumista turhaan. Laissa on listattu suunnitelmaan tarvittavat tiedot, joita ovat mm. jätteen ja sen käsittelyprosessin kuvaus sekä siihen liittyvät mahdolliset häiriö- ja vaaratekijät.

Teollisuuden jätevesiä tai jätevesilietteitä ei ole asetuksessa erikseen mainittu. Näiden hyödyntämistä koskevat täten samat määritelmät kuin muitakin jätteitä, joita hyödynnetään samoihin tarkoituksiin. Uudessa jätelainsäädännössä yhdyskuntajätevesiä käsitellään erikseen, ja säännökset kohdistuvat yhdyskuntajätevesien ja niihin rinnastettavien jätevesien käsittelylaitoksiin. Lisäksi, jäteasetuksen yhdyskuntajätevesilietteen määritelmä (1 § 5 kohta) pitää sisällään asumisjätevesilietteiin laadultaan rinnastettavat muut lietteet, myös teollisuuden jätevesilietteet. Asetuksen liitteessä 5 on annettu tiedot, joihin perustuen yhdyskuntajätevesilietteen ja siihen rinnastettavan lietteen laatu on määriteltävä, sekä tiedot, jotka tulee toimittaa valvovalle viranomaiselle. Erityisesti on lietteiden osalta huomioitava, että asetuksen pykälä 37 kumoaa puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä annettu valtioneuvoston päätöksen (282/1994).

Asetuksen (179/2012) liitteessä 4 on julkaistu jäteluettelo. Taulukossa 5 on esitetty metsäteollisuuden jätteet jaoteltuna asetuksen mukaisesti, yhteenvedon laatimishetkellä.

Taulukko 5. Metsäteollisuuden jätteet ja niiden jätenumerot YMa 1129/2001 mukaisesti.

Jätenumero	Jätelaji
03 01	puun käsittelyssä sekä levyjen ja huonekalujen valmistuksessa syntyvät jätteet
03 01 01	kuori- ja korkkijätteet
03 01 04*	sahajauho, lastut, palaset, puu ja puupohjaiset levyt (kuten lastulevy ja vaneri), jotka sisältävät vaarallisia aineita
03 01 05	muut kuin nimikkeessä 03 01 04 mainitut sahajauho, lastut, palaset, puu ja puupohjaiset levyt (kuten lastulevy ja vaneri)
03 01 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla
03 02	puunsuojauksessa syntyvät jätteet
03 03	massojen, paperin ja kartongin valmistuksessa ja jalostuksessa syntyvät jätteet
03 03 01	kuori- ja puujätteet
03 03 02	soodasakka (joka syntyy keittolipeän hyödyntämisessä)
03 03 05	keräyspaperin siistauslietteet
03 03 07	keräyspaperin ja -kartongin pulpperoinnissa syntyvät mekaanisesti erotetut jätteet
03 03 08	kierrätykseen tarkoitetun paperin ja kartongin lajittelussa syntyvät jätteet
03 03 09	meesajäte
03 03 10	mekaanisessa erotuksessa syntyvät kuitujätteet sekä kuitu-, täyteaine- ja päällysteainelietteet
03 03 11	muut kuin nimikkeessä 03 03 10 mainitut, jätevesien käsittelyssä toimipaikalla syntyvät lietteet
03 03 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla
10 01	voimalaitoksissa ja muissa polttolaitoksissa syntyvät jätteet
10 01 01	pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka
10 01 03	turpeen ja käsittelemättömän puun poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 05	savukaasujen rikinpoistossa syntyvät kiinteät kalsiumpohjaiset reaktiojätteet
10 01 21	muut kuin nimikkeessä 10 01 20 mainitut, jätevesien käsittelyssä toimipaikalla syntyvät lietteet
10 01 24	leijupetihiekka

* Vaarallinen jäte

3. Massan ja paperin valmistus

Metsäteollisuus eli puunjalostusteollisuus jaetaan tavallisesti massa- ja paperiteollisuuteen sekä puutuoteteollisuuteen. Massa- ja paperiteollisuudessa valmistetaan sellua ja mekaanista massaa, joista taas valmistetaan paperia ja kartonkia. Puutuoteteollisuudessa valmistetaan sahatavaraa, vaneria ja muita puulevyjä sekä näiden jatkojalosteita, kuten huonekaluja.

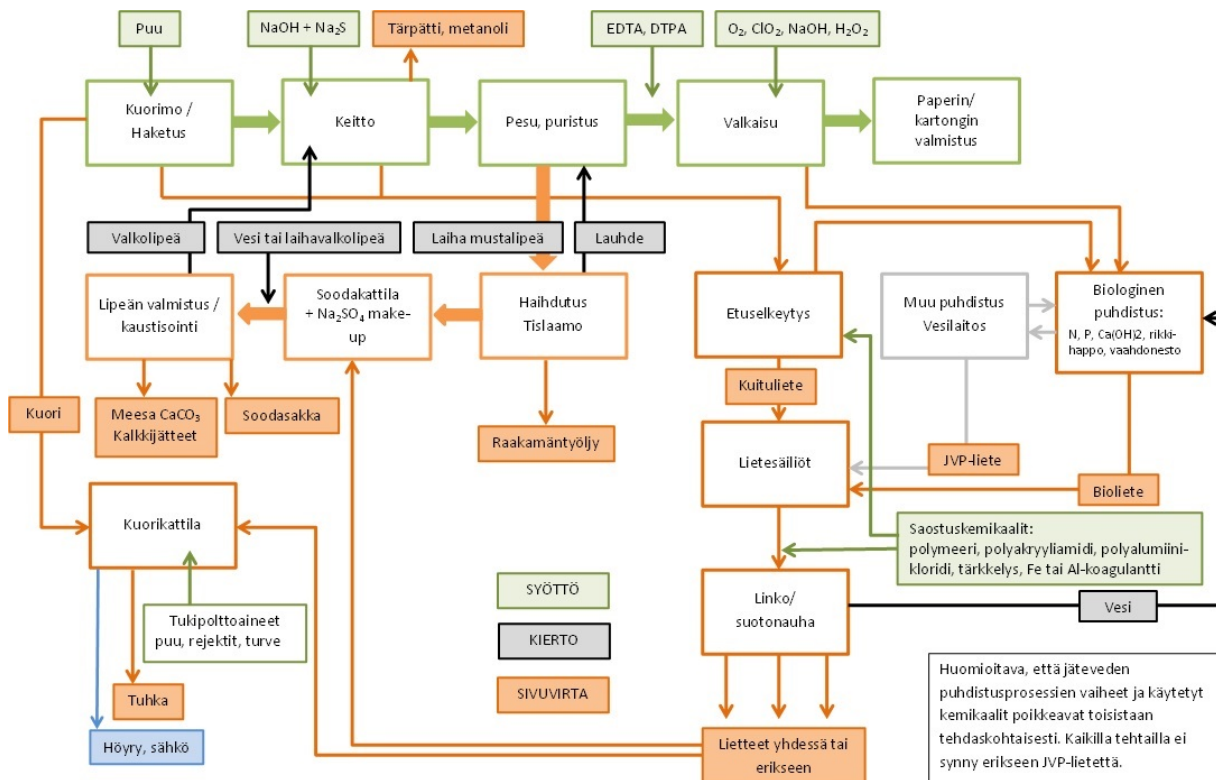
Puutuoteteollisuudessa syntyy lähinnä puupohjaisia sivuvirtoja, ja näiden kierrätysaste on hyvä.⁸ Kuori- ja puujätteet hyödynnetään pääosin energiantuotannossa. Haketta käytetään usein sellun raaka-aineena ja sahanpuru voidaan hyödyntää puulevyjen valmistuksessa tai purusellun valmistuksessa. Kuorta käytetään jonkin verran myös kompostoinnin apuaineena. Sahateollisuudessa syntyvää purua ja lastua hyödynnetään myös mm. eläinten kuivikkeena. Myös varsinainen puutuotteiden jalostus (esim. vaneriteollisuus) tuottaa sivuvirtoja. Vaneriteollisuudessa muodostuvia merkittävimpiä sivuvirtoja ovat liete, tuhka ja erilainen puujäte. Lietettä muodostuu ennen viilun sorvausta, jolloin tukkeja haudutetaan vedessä. Tuhka syntyy, kun jalostuksessa erotettua kuorta poltetaan voimalaitoksella. Tässä yhteydessä keskitytään tarkemmin massa- ja paperiteollisuuden prosesseihin, kemikaaleihin ja haitta-ainevirtoihin.

3.1 Massan valmistus

Metsäteollisuudessa valmistetaan massaa mekaanisesti, kemiallisesti ja puolikemiallisesti. Suurin osa maailman sellusta valmistetaan kemiallisella sulfaattimenetelmällä (Kraft) emäksisissä olosuhteissa. Suomessa valmistetaan sellua myös puolikemiallisella sulfiitti-menetelmällä, neutraaleissa olosuhteissa. Kuvassa 1 on esitetty sulfaattiselluloosan valmistusprosessin periaate ja siihen liittyvät raaka-aine- ja tuotantovirrat. Perusprosessi on eri tehtailta pääpiirteissään samanlainen, käsittäen lipeäkeiton ja lipeä- ja kalkkierron. Prosessien eroavaisuudet ovat laitekoonpanoissa sekä jätevesien ja sivuvirtojen erottelu- ja puhdistustekniikoissa ja niissä käytetyissä kemikaaleissa. Esimerkiksi soodasakka-jäte voidaan erottaa prosessista meesa-precoat suodatuksella tai painesuodatuksella ilman apuaineita. Tällä on merkitystä syntyvän jätteen kokonaismäärään ja laatuun.

Massan valmistuksessa pääprosesseissa merkittävimmät ainemäärät liittyvät sellun keittoon, jossa keittokemikaaleina ovat prosessista riippuen joko valkolipeä sulfaattisellun keitossa (NaOH-Na₂S -seos) tai natriumsulfidi Na₂SO₃ sulfiittisellun keitossa. Valkolipeän väkevyys edellä mainittujen yhdisteiden suhteen ilmoitetaan vaikuttavana eli aktiivisena alkalina tai tehollisena alkalina (g/l). Yleensä väkevyys on luokkaa 140 - 170 g/l vaikuttavaa alkalia NaOH. Natriumsulfidin osuus keittonesteessä ilmoitetaan sulfiditeettina (%). Sulfiditeetti on nykyaikaisessa tehtaassa yleensä tasolla 35 – 45 %.

Keiton jälkeen keittolipeä erotetaan massasta ja kierrätetään takaisin prosessin alkuun. Keiton jälkeen erotettuun laihaan mustalipeään ovat liuenneet puun epäorgaaniset suolat sekä siihen erottuu myös jonkin verran orgaanista ainesta. Se johdetaan yhdessä massan huuhtovesien kanssa mustalipeän haihduttamoon, jossa syntyy tislaustuotteena *mäntyöljyä*. Jäljelle jäävä mustalipeä johdetaan soodakattilaan, jossa poltetaan pois liuoksen mahdollisesti sisältämät orgaaniset aineet ja ligniini. Jäljelle jäävä palamaton aines eli soodakattilan tuhka (epäorgaaniset suolat) liuotetaan veteen. Liukoiset alkalit muodostavat viherlipeää, ja muu epäorgaaninen aines on liukenemattomana kiintoaineena. Kiintoainetta eli *viherlipeäsakka* erotetaan suodatuksella. *Viherlipeä- eli soodasakka* sisältää puusta peräisin olevia metalleja, myös raskasmetalleja, sekä jonkin verran keittolipeää. Liuos eli viherlipeä kaustisoidaan kalsiumhydroksidin avulla jälleen valkolipeäksi, joka kierrätetään taas uudelleen keittoon.



Kuva 1. Sulfaattisellun (Kraft) valmistusprosessi. Vihreä linja kuvaa tuotantoprosessia ja syöttökemikaaleja. Oranssi linja kuvaa puhdistuslinjaa ja sivuvirtoja.

Sellun valkaisu tapahtuu lähes poikkeuksetta useampien valkaisu- ja happikemikaalien seoksella. Sellun valkaisu tavoitteena on jatkaa massan delignifointia ja poistaa valkaisu- ja happikemikaalien avulla massasta keiton ja mahdollisen happivaiheen jälkeen jäljellä oleva ligniini. Tämä ns. jäännösligniini, jota ei keitossa tai happivaiheessa pystytä pilkkomaan ja liuottamaan massan saannon tai kuitujen ominaisuuksien kärsimättä. Valkaisu- ja happikemikaalit pystyvät pilkkomaan jäännösligniinin pieniin vesi- tai alkaliliuokoihin osiin mahdollisimman vähäisellä vaikutuksella hiilihydraatteihin. Valkaisu- ja happikemikaalien oleellisenä osana on liuenneen ligniinin poispesu massasta valkaisu- ja happivaihetta seuraavalla pesurilla.

Yleensä ei voida saavuttaa täyttä vaaleutta yhdellä valkaisu- ja happivaiheella, vaan on käytettävä useita peräkkäisiä vaihteita, joiden välillä massa pestään. Valkaisu- ja happivaihteita on emäksisiä ja happamia. Vaihteiden välissä säädetään usein myös massan lämpötila sekä sakeus sopivaksi seuraavaa valkaisu- ja happivaihetta varten. Yleisimmät valkaisu- ja happikemikaalit ovat klooridioksidi ja vetyperoksidi. Vetyperoksidin lisäksi muita happikemikaaleja ovat happi ja otsoni. Uudempina käyttöön ovat tulleet perhapot kuten peretikkahappo.^{9 10} Jaksoa, jossa klooridioksidia (ClO_2) käytetään yhdessä tai useammassa vaiheessa, kutsutaan klooridioksidivalkaisuksi (ECF = Elemental Chlorine Free). Vastaavasti jakso, jossa käytetään vain happikemikaaleja kuten happi, vetyperoksidi ja otsoni (TCF = Total Chlorine Free) on nimeltään kloorikemikaaliton valkaisu. Valkaisu- ja happikemikaalien tyypilliset kulutukset kloori- ja happivalkaisuissa (kg/t) on esitetty taulukossa 6.

Jätevesien määrät vaihtelevat tehdaskohtaisesti. Prosessijäteveden määrä on keskimäärin $20 - 40 \text{ m}^3$ per tonni ilma-kuivaa sellua (ADt), ja sitä pyritään edelleen vähentämään. Valtaosa sellutehtaan jätevesistä syntyy valkaisu- ja happivaiheilla. Muilta osin prosessien jätevedet pystytään käyttämään varsin hyvin hyödyksi muissa prosesseissa, mutta valkaisu- ja happivaiheiden jäteveden hyötykäyttö on hankalaa. Puusta ja valkaisu- ja happikemikaaleista peräisin olevat suolat (lähinnä kalsium, kloridi ja oksalaatit) kertyvät tehta-

lipeäkiertoon aiheuttaen ongelmia talteenottolinjalla. Jätevesien käsittelyssä ja puhdistuksessa käytetään alumiini- ja rautasulfaatteja sekä polymeerejä.

Valtaosa kemiallisen metsäteollisuuden jätevesistä käsitellään biologisissa puhdistamoissa (aktiivilietelaitoksissa). Biologisia jätevedenkäsittelymenetelmiä voidaan käyttää erityisesti pienimolekyylisen orgaanisen aineen vähentämiseen. Biologisessa puhdistuksessa käytetään hyväksi mikro-organismien kykyä elää jätevesissä. Tällöin mikrobit hajottavat liuenneita tai kolloidimuodossa olevia jätteaineita käyttäen niitä ravintonaan. Jätteaineet poistetaan osin biomassan muodossa ja osa muuttuu hiilidioksidiksi ja vedeksi.

Taulukko 6. Sellun valkaisu kemikaaliannokset kloori- ja happivalkaisuissa (kg/t).

Kemikaali	ECF	TCF
Klooridioksidi ClO ₂ (aktiivi kloridina)	15	-
Natriumhydroksidi NaOH	24	28
Happi O ₂	10	10
Rikkihappo H ₂ SO ₄	5-10	5-10
Peroksidi [O ₂] ²⁻	20	33
Natriumbisulfiitti NaHSO ₃	5	-
Kelatointiaine	2	3
Magnesiumsulfaatti MgSO ₄	3	3
Peretikkahappo C ₂ H ₄ O ₃	-	5

Ennen ilmastusaltaalle johtamista jätevesi neutraloidaan sekä lisätään ravinteet. Neutraloinnissa veden pH säädetään tasolle 6 – 8 yleensä joko kalkilla tai rikkihapolla (H₂SO₄), tulevan veden pH:n mukaan. Lisäksi veteen voidaan tarvittaessa lisätä ravinteiksi fosforia ja typpeä (esim. fosforihappoa H₃PO₄ ja ureaa (NH₂)₂CO). Puhdistettu vesi johdetaan yleensä takaisin prosessiin tai luonnon vesiin, ja sen pitoisuuksien on täytettävä tehdaskohtaisissa ympäristöluvuissa asetetut raja-arvot. Parhaalla nykYTEKNOLOGIALLA saavutetaan seuraavan laisia reduktioita (vedestä saadaan poistettua):

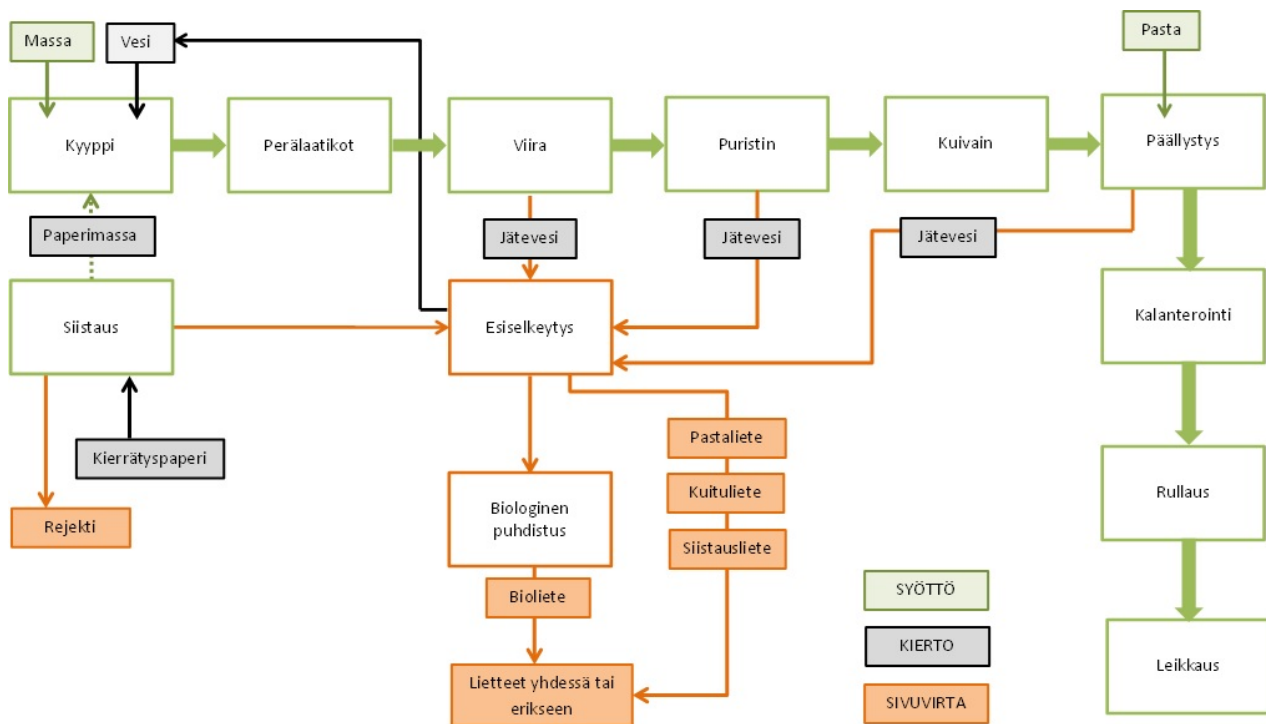
- Kiintoaine 98 – 99 %
- BOD (biologinen hapen kulutus) 98 – 99 %
- COD (kemiallinen hapen kulutus) 80 – 90 %
- Fosfori 80 – 95 %
- Typpi 75 – 85 %.

Em. ravinteet poistetaan jätevesistä kiintoaineen mukana: puhdistuksessa syntyy huomattavia määriä *primääri- eli kuitulietettä* ja *sekundääri- eli biolietettä*. Lietteet voidaan johtaa hyötykäyttöön joko sellaisenaan tai *sekalietteenä*. Lietteet kuivataan yleensä mekaanisin menetelmin mahdollisimman kuivaksi. Noin 25 – 65 % kuiva-ainepitoisuuteen kuivattu liete annostellaan tasaisesti pääpolttoaineen, yleisimmin kuoren, mukana poltettavaksi.

Kuoren sekaan annosteltavan lietteen määrä vaihtelee tehdaskohtaisesti, mutta sen määrä on yleensä alle 10 % pääpolttoaineen määrästä kattilan tasaisen toiminnan varmistamiseksi. Kuoren ja lietteiden seassa voidaan polttaa myös turvetta ja puuta, ja poltossa muodostuu *tuhkaa*. Tuhkan ominaisuuksista on tarkempaa tietoa myöhemmin tässä selvityksessä.

3.2 Paperin valmistus

Paperin ja kartongin tuotantoprosessien periaatekaavio sekä käytettyjä reagensseja on esitetty kuvassa 2. Prosessin ensimmäinen vaihe on raaka-ainesellun sekä kierrätyspaperista valmistetun, siistauksessa puhdistetun massan liuotus veteen sekoitussäiliöissä, joista ne johdetaan edelleen perälaatikkoon. Lyhyessä kierrossa sakea massa laimennetaan perälaatikkosakeuteen ja pumpataan perälaatikkoon. Kaaviossa esitetty *siistausliete* on kierrätyspaperin puhdistuksessa erotettu, epäpuhtauksia sisältävä liete, joka johdetaan usein maanrakentamiseen tai polttoon. Keräyspaperin sisältämä muovi- ja metallirejeki johdetaan useimmiten sekajätteeseen.



Kuva 2. Paperi/kartonki-prosessi. Vihreä linja kuvaa tuotantoprosessia ja syöttökemikaaleja. Oranssi linja kuvaa puhdistuslinjaa ja sivuvirtoja.

Vesi-kuitu seos johdetaan viiralle ohuena virtana, jolloin kuitu levittyy tasaisesti. Puristimien ja kuivauksen avulla vesi erotetaan kuidusta, ja jäljelle jää kuitu-kerros, paperiraina, joka valmistettavan paperin mukaan voidaan päällystää pastalla halutuksi paperi- tai kartonkituotteeksi. Kalanterointi, rullaus ja leikkaus liittyvät tuotteiden muotoviimeistelyyn. Jätevesi kierrätetään biologisen puhdistuksen kautta, ja siitä erotetaan *biolietettä*, joka johdetaan usein polttoon muiden lietteiden mukana kuori- tai soodakattilaan. Prosessien olosuhteet sekä käytetyt kemikaalit riippuvat halutun lopputuotteen laatuvaatimuksista. Erityisesti pakkauskartonkien tulee täyttää tiukat kriteerit elintarvikekelvopuuden osalta,^{11 12 13} jolloin prosessissa voidaan käyttää vain tähän tarkoitukseen hyväksytyjä kemikaaleja.

Kartongin ja erilaisten paperilaatujen valmistuksessa, erityisesti päällystyksessä käytetään kemikaaleja, joilla saadaan tuotteeseen haluttu vaaleus, kirkkaus, jäykkyys/pehmeys ja toisaalta merkittävimpana tekijänä käyttöturvallisuus. Pigmenttipäällystyksessä levitetään paperin/kartongin pinnalle eri menetelmillä tasainen kerros päällystemassaa eli pastaa, joka sisältää veteen dispergoituna pigmenttejä, sideaineita ja tiettyjä lisäaineita. Levityksen jälkeen päällysteen mukana tuleva

ylimääräinen vesi poistetaan kuivaimilla, joko säteilyn tai ilmakeivauksen avulla. Päälysteen määrä on 5 – 30 g/m². Alhaisen neliöpainon papereilla päälysteen osuus voi olla jopa 20 – 30 % painosta.

Kemikaaleista sekoitetaan pastaa erityisillä resepteillä; pääaineet ovat pigmentit 75 – 90 % kuiva-aineesta, sideaineet 5 – 20 % ka ja lisäaineet 1 – 5 % ka. Vettä pastassa on 30 – 70 %. Yleisimmin käytetyt pigmentit ovat savi (kaoliini), kalkki (kalsiumkarbonaatti, CaCO₃), kipsi ja talkki, jotka kaikki esiintyvät vapaina mineraaleina luonnossa. Harvemmin pigmentteinä käytettyjä ovat titaanioksidi, alumiinihydroksidi, satiinivalkoinen, silikaatit sekä muovipigmentit, styreeni- ja styreeniakrylaattipolymeerit. Muovipigmentit ovat kalliita, mikä rajoittaa niiden käyttöä.¹⁴

Sideaineiden tehtävänä on sitoa pigmenttihiukkaset toisiinsa ja päälystettävän paperin ja kartongin pintaan. Synteettiset polymeeridispersiot eli lateksit ovat ns. ”pieniä muovipalloja vedessä”. Muovit ovat polymeroitua styreeniä, vinyylisetaattia, butadieenia tai n-butyylakrylaattia, ja ne sisältävät pieniä määriä muoveille tyypillisiä lisäaineita. Sideaineina käytetään myös vesiliukoisia polymeereja, jotka ovat usein luonnontuotepohjaisia polysakkarideja eli tärkkelystä. Tärkkelystä voidaan valmistaa esim. perunasta, maissista tai vehnästä. Myös karboksimeetyliselluloosaa CMC ja polyvinyylialkoholia PVA voidaan käyttää sideaineena. Jopa proteiineja kuten soijaproteiini ja kaseiini voidaan käyttää sideaineena. Lisäaineiden tehtävänä on toimia mm. dispergointiaineena, vaahdonesto/poistoaineena, pH:n säätöaineena, kovettimena, voiteluaineena, kirkasteena tai väriaineena. Kunkin käytetyn lisäaineen osuus on yleensä alle 1 %.

Vain pieni osa pastaa kulkeutuu jätteisiin, pastalietteenä. Syntyvä *pastaliete* sisältää siis pääasiassa epäorgaanisia, tavanomaisia mineraaleja, kuten talkkia ja kaoliinia. Sitä voidaan koostumuksen perusteella hyödyntää mm. sorateiden kulutuskerrosmateriaalina sekä tiilen, kevytsoran ja vuorivillan valmistuksessa.¹⁵

3.3 Haitta-aineiden kierto

Haitallisten metallien ainevirtoja sulfaattiselluloosan valmistuksessa on selvitetty mm. VTT:n toimesta osana SIHTI 2-hanketta.¹⁶ Projektin tavoitteena oli tutkia ympäristöhaitallisten metallien lähteitä, kulkeutumista ja nieluja ECF-valkaistun sulfaattimassan valmistuksessa. Tutkimusmetodina oli massataseiden määrittäminen.

Tutkittavat metallit jakautuivat neljään massavuoluokkaan:

- | | |
|--|-------------------|
| 1) pääkomponentit Na, Si, Mn, Mg, Ca, S, P | 10 – 100 000 kg/h |
| 2) sivukomponentit Cr, Al, Ni, Fe | 0,1 – 10 kg/h |
| 3) hivenaineet As, Cd, Hg, Se, Pb | 10 – 500 g/h |
| 4) TI | < 0,5 g/h |

Tutkimuksen tulosten mukaan korkeimmat ympäristöhaitallisten metallien kuten Cd ja Pb pitoisuudet esiintyivät soodakattilan kiertotuhkassa ja polttolipeässä, vihelipeäsakassa, meesassa ja uunikalkissa. Hake on kadmiumin ja lyijyn merkittävin lähde. Tutkituissa mänty- ja koivuhakkeissa kadmiumin pitoisuus oli 90 - 141 µg/kg, ja lyijyn pitoisuus 229 – 339 µg/kg. Metallit rikastuvat soodakattilan tuhka-polttolipeäkiertoon ja kalkkiikiertoon. Kappaleessa 4 on esitetty nyt tutkittujen sivuvirtojen, tuhkan, meesan, lietteiden ja soodasakan haitallisten metallien pitoisuuksia tarkemmin.

4. Sivuvirrat

Massa- ja paperiteollisuuden sivuvirroista hyödynnetään yli 90 %. Niiden osalta on esitetty seuraavat tiedot vuodelta 2012 koskien eri sivuvirtojen kuiva-aineen osuutta kaatopaikkajätteen määrästä: ¹⁷

<u>Kaikki</u>	<u>146 600 t (kuiva)</u>	<u>Kosteus-%</u>
Soodasakka ja meesa	64 200 t	44 - 68
Jätevedenpuhdistamon lietteet	39 500 t	60 - 75
Tuhkat	24 200 t	0 - 10
Muut jätteet (myös ongelmajäte)	13 600 t	
Siistausliete ja -jäte	2 100 t	45 - 55
Kuitu- ja pastalietteet	1 700 t	35 - 75
Puujätteet	1 200 t	

Esitetyt kosteus-% (kyselytutkimus 2013) kuvaavat sivuvirtojen tyypillisesti sisältämää veden osuutta, joka ei ole mukana ilmoitetussa kuiva-aineessa. Näin ollen todellinen kaatopaikoille päätyvä jätemäärä on suurempi.

4.1 Kuvaukset

Sooda- eli viherlipeäsakka on sellun tuotannossa syntyvä kiinteä jätejäte, jonka osuus kaikesta selluteollisuuden kaatopaikalle päätyvästä kiintojätteestä on noin 44 %.¹⁷ Soodasakkaa syntyy sulfaattiselluolosuhteissa kemikaalien talteenottolinjalla. Soodasakka poistetaan viherlipeästä viherlipeäselkeyttimessä ennen viherlipeän johtamista kaustisointiin eli keittokemikaalien valmistukseen. Sakka on yleensä soodakattilaprosessin aikana syntyneestä noesta johtuen väriltään tumman harmaata, pehmeää, vahamaista massaa, jossa on keittokemikaaleista johtuen voimakas rikkivedyn haju. Sakka on koostumukseltaan ongelmallinen; se on seos erilaisista viherlipeään liukenemattomista aineista, epäorgaanisista suoloista, kuten oksideista, karbonaateista ja sulfideista. Se sisältää tavanomaisten alkalimetallien ja kalsiumin ja magnesiumin ohella myös haitallisia metalleja. Prosessista poistettava soodasakka pestään sen sisältämien natriumyhdisteiden talteen ottamiseksi. Pesty soodasakka kuivataan ennen kaatopaikalle läjittämistä, ja sen tyypillinen kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. Kaatopaikalle läjitettävässä soodasakassa voi olla runsaasti myös meesaa, jos sakka suodatetaan meesa-precoat-suodatuksella. Soodasakalle ei tällä hetkellä ole olemassa selvää hyötykäyttökohdetta. Kaatopaikalle läjitettävä soodasakka ei sisällä biohajoavaa ainetta.¹⁸

Meesa. Selluolosuhteiden keittokemikaalien regenerointiin kuuluvan kalkkikierron yhteydessä syntyy kalkkijätteitä, joiden yleisenä nimityksenä käytetään meesaa (kuva 3). Meesaa ovat pääasiassa kalsiumkarbonaatti CaCO_3 ja sammutettu kalkki Ca(OH)_2 , joka on poistettu kemikaalikierrosta ennen sen regenerointia meesauunissa. Polttamisen jälkeen se muuttuu meesakalkiksi, jota käytetään prosessissa rinnakkain ostokalkin kanssa. Meesauunin sähkösuotimilta poistetaan lisäksi kalkkipölyä. Meesauunin huoltotoimenpiteenä syntyy myös kiinteässä olomuodossa olevaa poltettua kalkkia CaO . Meesaa poistuu prosessista myös soodasakan pesun yhteydessä soodasakan mukana. Meesajäte ei sisällä luonteensa vuoksi biohajoavaa ainetta.



Kuva 3. Meesa (Kuva: Tyynelän tila).

Lietteet. Metsäteollisuudessa yleisimmin syntyvät lietetyypit voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti:

- *Kuorimoliete* syntyy kuorimossa. Näitä ovat esimerkiksi kuoriliete, hiekanerottimen hiekkaliete ja selkeyttimen liete.
- *Primääri- tai kuituliete* syntyy esiselkeytyksessä, jossa jäteveden kiintoaine laskeutetaan. Tyypillisesti metsäteollisuudessa syntyvä primääriliete sisältää oksarejektia, kuorta ja kuitua, sekä epäorgaanisia mineraaleja, mikäli esiselkeytykseen on ohjattu myös paperin valmistuksen pastaliete.
- *Pastalietteellä* tarkoitetaan paperin ja kartongin päällystyksessä yli jäävää täyte- ja päällysteaineita sekä kuitua sisältävää lietettä.
- *Sekundääri- tai bioliete* syntyy esiselkeytyksen jälkeen tehtävässä jäteveden biologisessa puhdistuksessa. Mikrobimassan lisäksi siinä on puun uuteaineita, ligniiniyhdisteitä ja jonkin verran kuituja.
- *Siistausliete* syntyy siistausprosessissa kierrätyspaperia käsiteltäessä. Käsitelyssä paperista poistetaan painomuste, täyte- ja päällysteaineet. Liete sisältää paperin valmistukseen soveltumatonta kuitumateriaalia sekä täyte- ja päällysteaineita. Siistauslietettä sisältävästä kuivalietteestä käytetään myös nimitystä kuitusavi.

Liete-nimestään huolimatta nämä sivuvirrat sisältävät vettä vain 35 – 75 % ja ovat olomuodoltaan melko kiinteitä, kuten voidaan nähdä kuvassa 4. Lietteitä voidaan kuvata paremmin nimellä ”kuivaliete”. Suomessa syntyvistä metsäteollisuuden kuivalietteistä suurin osa poltetaan tuotantolaitosten omissa laitoksissa, joissa tuotetaan sekä sähköä että lämpöä. Kuivalietteen poltto tapahtuu yleisimmin arina- tai leijupetikattiloissa tukipolttoaineen kanssa. Lietteen termistä kuivausta haihduttamalla ja polttoa soodakattilassa mustalipeän seassa on myös kokeiltu eräillä Suomen sellutehtailla.

Loput lietteistä viedään pääosin kaatopaikalle ja pieni osa käytetään muuten hyödyksi.¹⁹ Nykyisin kaatopaikoille viedään ainoastaan lietteen kuivausprosessien häiriön seurauksena syntyneet, polttoon kelpaamattomat liian märät puhdistamolietteet. Lietteet pyritään kompostoimaan mahdollisuuksien mukaan. Kompostoitua puhdistamolietettä sekoitettuna jonkun toisen sivutuotevirran, esimerkiksi kuoren tai kuitulietteen kanssa, voidaan käyttää esimerkiksi kaatopaikan pintarakennekerroksissa. Jätevedenpuhdistuksessa syntynyt liete sisältää biohajoavaa ainesta vaihtelevia määriä, noin 50 - 80 % kuiva-aineen määrästä.



Kuva 4. Oksarejekti ja primääriliete (Kuva: Tyynelän tila).

Tuhka. Metsäteollisuudessa muodostuu voimalaitostuhkaa vuosittain 225 000 tonnia (kyselytutkimus kevät 2013, 29/35 vastaajaa), josta kaatopaikalle päätyy vain noin 10 %.¹⁷ Tuhka muodostuu poltettaessa turvetta, puuta ja puun kuorta. Usein varsinaisen polttoaineen seassa käytetään puunjalostuksen prosesseissa muodostuvia sivuvirtoja, kuten em. jätevesilietteitä. Polttoaineen koostumus, palamisprosessi sekä tuhkan keräysjärjestelmät määräävät muodostuvan tuhkan ominaisuudet. *Arina- ja pohjatuhkat* ovat karkearakeisia, kun taas *lentotuhka* on hienorakeista ja kuivana voimakkaasti pölyävää. Lannoitevalmistekäytössä tuhkan etuna ovat sen sisältämät mineraaliset yhdisteet sekä tietyissä käyttökohteissa myös rikkiyhdisteet. Puun sisältämistä mineraaleista peräisin olevat haitta-aineet päätyvät kuitenkin tuhkaan ja voivat estää tuhkan käytön lannoitevalmisteena.

Puujäte, kuorihiekka, kuorikate. Nykyisin kaikki syntyvä kuori ja hyötykäyttöön kelpaamaton puujäte pyritään hyödyntämään energiantuotannossa polttamalla ne apukattiloissa. Kaatopaikoille viedään vain polttoon kelpaamaton kuori. Syinä kaatopaikalle läjittämiseen ovat yleensä kuoren liian korkea vesipitoisuus tai huonolaatuisuus, esimerkiksi kuitupuun mukana tulleet kivet kuorimurskan seassa. Varastoinnin aikana kasoissa palanut tai maatonut kuori viedään myös kaatopaikoille. Kuorihiekan (kuva 5) käyttömahdollisuuksia on viime aikoina tutkittu myös kasvualustoissa.



Kuva 5. Kuorihiekka (Kuva: Tyynelän tila).

Puu- ja kuorijäte sisältävät runsaasti biohajoavaa ainesta, yli 90 % kuiva-aineen massasta. Kaatopaikoilla tapahtuva puun ja kuoren hajoaminen on kuitenkin hyvin hidasta johtuen puun ja kuoren ominaisuuksista ja rakenteesta. Puu ja kuori ovat tiiviitä, jolloin hajottajamikrobit eivät pysty tunkeutumaan niihin helposti. Hajoaminen kaatopaikalla saattaa siksi kestää jopa useiden vuosikymmenien ajan. Peruste lannoitevalmistekäytölle on aineksen sisältämä orgaaninen massa, joka muuttuu humukseksi. Materiaali tulee prosessoida levityksen ja koostumuksen osalta soveltuvaksi.

4.2 Sivuvirtojen määrät

Nykyisten sivuvirtojen hyötykäyttökohteet selvitettiin massa- ja paperitehtaille keväällä 2013 toteutetun kyselyn perusteella (vastauksia 29/35). Taulukossa 7 on esitetty tässä kyselyssä saadut sivuvirtojen kokonaismäärät ja lannoituskäytön osuudet. Yhteenvedon voidaan todeta, että lannoituskäyttöön on ohjautunut yhteensä 7,5 % kaikista sivuvirroista. Tuhka (21 %) ja kuitulietettä sisältävät sekalietteet (yht. 14 %) ovat yleisimmin lannoituskäyttöön ohjautuvat sivuvirrat. Myös 12 % meesasta ohjautuu lannoitevalmisteiksi.

Taulukko 7. Massa- ja paperitehtaiden sivuvirtojen määrät ja lannoituskäyttö 2012 (kyselytutkimus 2013), tonnia ja %. Lietteiden määrät märkätonneina.

	Kosteus *	Kaikki	Lannoituskäyttö	
	%	t	t	%
Kuorijäte, kuorihiekka		8 457	0	0 %
Soodasakka	57 - 68	87 696	0	0 %
Meesa, kalkkijätteet	44	32 072	3 861	12 %
Kuitu- ja pastaliete	45 - 55	127 935	6 978	5 %
Pasta		104 830	0	0 %
Bio-, jvp- ja sekaliete	60 - 75	627 308	53 934	9 %
Siistausliete, kuitusavi	45 - 55	274 882	0	0 %
Tuhka	0 - 10	225 049	46 589	21 %
Yhteensä		1 488 230	111 361	7,5 %

* Tyypillisiä kosteuspitoisuuksia; tietoa ei toimitettu kaikkien erien osalta

4.3 Koostumus

Metsäteollisuuden lannoituskäyttöön soveltuvien sivuvirtojen koostumusta arvioitiin eri näytteille toteutettujen kemiallisten analyysien perusteella. Metsäteollisuuden toimijoilta valittiin eri tehtailta yhteensä kuusi erilaista lietettä, kolme meesanäytettä ja kaksi soodasakkanäytettä sekä seitsemän erilaista tuhkaa tähän tutkimukseen tarkasteluun. Näytteet pyrittiin valitsemaan niin, että ne edustavat jätelajeja mahdollisimman kattavasti. Näytteille määritettiin lannoitevalmisteasetuksen mukaiset ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet. Tulokset on esitetty taulukoissa 8 – 11 meesalle, soodasakalle ja tuhkalle kuiva-aineessa ja lietteille tuorepainossa ja -tilavuudessa. Tällä hetkellä hyödyntämätön, kuorimon kuorihiekkajäte on analysoitu muussa yhteydessä syksyn 2013 aikana, ja sen osalta on esitetty kasvualusta-analyysin tulokset taulukossa 12.²⁰

Kolmelle *meesanäytteelle* toteutetun kalkitusaineanalyysin (2A1 ja 2A2) tulokset ovat taulukossa 8. Verrattaessa meesanäytteiden maksimituloksia lannoitevalmisteiden haitallisten metallien enimmäispitoisuuksiin, havaitaan, että kaikkien haitallisten metallien pitoisuudet alittavat annetut raja-

arvot. Kalkitusaineen tai sellaisena käytettävän sivutuotteen neutraloivan kyvyn tulee olla vähintään 10,0 %, ja tämä toteutuu kahdella tutkitulla näytteellä.

Taulukko 8. Meesakalkkinäytteiden **M** (3 näytettä) ja soodasakkanäytteiden **S** kalkitusaineanalyysin (2A1, 2A2) tulokset sekä lannoitevalmisteiden haitallisten metallien raja-arvot.

	M1	M2	M3	S1	S2	RAJA- ARVOT	Yksikkö
Arseeni (As) ^a	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	25	mg/kg ka
Boori (B) ^a	< 20	< 20	< 20	27	< 20		mg/kg ka
Elohopea (Hg) ^a	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,07	1,0	mg/kg ka
Kadmium (Cd) ^a	< 0,1	0,45	0,2	25	4,1	1,5	mg/kg ka
Kromi (Cr) ^a	17	23	6,4	110	200	300	mg/kg ka
Kupari (Cu) ^a	4,6	< 1,5	< 1,5	370	77	600	mg/kg ka
Lyijy (Pb) ^a	< 2,0	< 2,0	< 2,0	46	3,4	100	mg/kg ka
Magnesium (Mg) ^a	19	6,5	3,6	98	30		g/kg ka
Mangaani (Mn) ^a	0,1	0,5	0,3	28	6,4		g/kg ka
Nikkeli (Ni) ^a	3,8	8,1	10	230	63	100	mg/kg ka
Sinkki (Zn) ^a	9,2	17	16	5900	740	1500	mg/kg ka
Kalsium (Ca) ^a	21	53	35	12	31		% ka
Kalium (K) ^a	0,12	< 0,1	< 0,1	0,62	0,10		% ka
Fosfori (P) ^b	0,06	0,44	0,30	0,04	0,18		% ka
Orgaaninen hiili (TOC)	0,2	< 0,1	< 0,1	8,0	3,5		g/kg ka
Neutralointikyky	25,5	67,3	39,1	39,0	38,6		% Ca
Kuiva-aine	89,8	> 100	75,6	35,4	54,2		%
Tilavuuspaino	1100	770	570	610	950		kg/m ³
Nopeavaikutteinen neutralointikyky	7,2	54,9	39,9	21,0	26,5	10	% Ca
Seulakoko, jossa läpäisy% 100	8,0	> 8,0	0,5	> 8,0	> 8,0		
Seulakoko, jossa läpäisy% 50	0,5	8,0	0,1	2,0	8,0		

^a Kokonaispitoisuus, ^b Vesiliukoinen

Kahdelle soodasakkanäytteelle toteutettiin myös kalkitusaineanalyysi (2A1 ja 2A2), vastaavasti kuten meesakalkkinäytteille. Näytekohtaiset tulokset on esitetty taulukossa 8. Verrattaessa soodasakoille saatuja tuloksia lannoitevalmisteiden haitallisten metallien enimmäispitoisuuksiin kalkitusaineissa, havaitaan, että näytteen **S2** kadmiumin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet ylittävät raja-arvot selvästi. Toisaalta, kaikki näytteen **S1** tulokset alittavat raja-arvot. Mikäli soodasakkaa voitaisi käyttää lannoitevalmisteasetuksen mukaisena kalkitusaineena, sen neutraloivan kyvyn tulisi olla vähintään 10,0 %. Tämä toteutuu kummallakin tutkitulla näytteellä.

Kolmelle *kuitupitoiselle lietteelle* (**L1** primääriliete, **L2** sekaliete, **L3** primääriliete) toteutetun orgaanisen maanparannusaineanalyysin tulokset ovat taulukossa 9. Näiden lietteiden *E.coli* bakteerien osuus oli alle 10, Salmonellaa näytteissä ei todettu. Sekalietteessä **L2** puhdistamolietteen osuus on alle 2 %, mikä selittää alhaisen tuloksen.

Verrattaessa taulukon 9 lietteiden tuloksia lannoitevalmisteiden haitallisten metallien enimmäispitoisuuksiin, havaitaan, että lietteissä **L1** ja **L3** todetuista maksimipitoisuuksista kaikki alittivat selkeästi annetut raja-arvot; lietteen **L2** osalta vain kadmium-pitoisuus oli liian korkea. Orgaanisessa maanparannusaineessa (3A2) orgaanisen aineksen (hehikutushäviönä mitattuna) tulee olla vähintään 20,0 %; vain lietteellä **L3** arvo jää hieman tämän alle (määritetty kuiva-aineesta).

Taulukko 9. Kuitulietteiden (3 näytettä) orgaanisen maanparannusaine-analyysin (3A2, 3A5) tulokset sekä lannoitevalmisteiden haitallisten metallien raja-arvot.

	L1	L2	L3	RAJA- ARVOT	Yksikkö	L1	L2	L3	Yksikkö
	Kuiva-aineessa					Tuorepainossa			
Salmonella	-	-	-		pmy/g				
Escherichia coli	< 10	< 10	< 100		pmy/g				
Arseeni (As) ^a	8,8	10	< 5,0	25	mg/kg ka	0,3	0,2	< 2,7	g/tn
Elohopea (Hg) ^a	< 0,07	0,08	< 0,07	1,0	mg/kg ka	< 0,07	< 0,07	< 0,04	g/tn
Kadmium (Cd) ^a	0,61	5,7	0,12	1,5	mg/kg ka	0,02	0,13	0,07	g/tn
Kromi (Cr) ^a	31	36	< 3,0	300	mg/kg ka	1,1	0,8	< 1,6	g/tn
Kupari (Cu) ^a	7	19	2,8	600	mg/kg ka	0,3	0,4	1,5	g/tn
Lyijy (Pb) ^a	2,4	8,5	< 2,0	100	mg/kg ka	0,1	0,2	< 1,1	g/tn
Nikkeli (Ni) ^a	14	0	< 3,0	100	mg/kg ka	0,5	0	< 1,6	g/tn
Sinkki (Zn) ^a	90	350	< 5,0	1500	mg/kg ka	3,2	7,7	< 2,7	g/tn
Kloridi (Cl) ^c	2300	2300	270		mg/kg ka	84	51	150	g/tn
Natrium (Na) ^a	13	15	0		g/kg ka	< 0,1	< 0,1	< 0,1	kg/tn
Rikki (S) ^a	< 1,0	< 1,0	< 1,0		g/kg ka	< 1,0	< 1,0	< 0,5	kg/tn
Kalium (K) ^a	< 0,1	0,17	< 0,1		% ka	< 0,1	< 0,1	< 0,05	%
Fosfori (P) ^b	0,004	0,014	< 0,001		% ka	0,00015	0,0003	< 0,00054	%
Fosfori (P) ^a	< 0,1	0,66	< 0,1		% ka	< 0,1	0,01	< 0,05	%
Typpi (N) ^b	< 0,03	0,11	< 0,002		% ka	< 0,001	0,0024	< 0,001	%
Typpi (N) ^a	0,35	3,2	0,092		% ka	0,013	0,07	0,05	%
Happamuus, (1:5)						7,2	5,7	7,6	
Johtokyky, (1:5)						44,3	76	26,7	mS/m
Hehkutushäviö	91,0	75,8	19,2	20,0	% ka				
Tilavuuspaino						1000	1000	500	kg/m ³
Kuiva-aine						3,6 ^d	2,2 ^d	54,4	%
Kosteus						96,4	97,8	45,6	%

^a Kokonaispitoisuus, ^b Vesiliukoinen, ^c Liukoinen, ^d lopputilassa kuiva-aine yleensä 25 %

Taulukossa 10 on esitetty erilaisten *sekalietteiden* (**L4** kuitusavi, **L5** sekaliete, **L6** kuitusavi) orgaanisen maanparannusaineen analyysin tulokset. Tuloksista nähdään, että lietteiden *E.coli* bakteerien osuus oli korkea, mutta Salmonellaa näytteissä ei todettu. *E.coli* on peräisin näytteiden sisältämästä biolietteestä: kuitusavi **L4** sisältää useita eri lietejakeita (primääri-, kuitu- ja siistausliete) ja myös biolietettä, ja näytteessä **L5** on 80 % primäärilietettä ja 20 % biolietettä.

Verrattaessa taulukon 10 tuloksia lannoitevalmisteiden haitallisten metallien enimmäispitoisuuksiin, havaitaan, että lietteissä todetuista maksimipitoisuuksista kaikki alittivat selkeästi annetut raja-arvot. Orgaanisessa maanparannusaineessa (3A2) orgaanisen aineksen (hehkutushäviönä mitattuna) tulee olla vähintään 20,0 %; kaikissa tutkituissa lietteissä hehkutushäviö oli yli 40 % (määritetty kuiva-aineesta). Tutkittujen lietteiden osalta voidaan todeta, että kuitusavi-lietteet ovat koostumukseltaan maanparannusaineiksi hyvin soveltuvia, mutta niiden käyttö ei ole mahdollista ilman hygienisointia. Tämä tarkoittaa myös, että kuitusavea ei voida suoraan luokitella kuituliete-tyyppinimen alle.

Taulukko 10. Metsäteollisuuden biolietettä sisältävien sekalietteiden (3) orgaanisen maanparannusaine-analyysin (3A2, 3A5) tulokset sekä lannoitevalmisteiden haitallisten metallien raja-arvot.

	L4	L5	L6	RAJA- ARVOT	Yksikkö	L4	L5	L6	Yksikkö
	Kuiva-aineessa					Tuorepainossa			
Salmonella	-	-	-		pmy/g				
Escherichia coli	470000	2000	53000		pmy/g				
Arseeni (As) ^a	5,9	7	< 5,0	25	mg/kg ka	3,5	2,1	< 1,7	g/tn
Elohopea (Hg) ^a	< 0,07	< 0,07	< 0,07	1,0	mg/kg ka	< 0,04	< 0,02	< 0,02	g/tn
Kadmium (Cd) ^a	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,5	mg/kg ka	< 0,06	< 0,03	< 0,03	g/tn
Kromi (Cr) ^a	10	< 3,0	< 3,0	300	mg/kg ka	5,9	< 0,9	< 1,0	g/tn
Kupari (Cu) ^a	170	5,2	110	600	mg/kg ka	100	1,5	37	g/tn
Lyijy (Pb) ^a	6	< 2,0	6,4	100	mg/kg ka	3,5	< 0,6	2,2	g/tn
Nikkeli (Ni) ^a	3,7	< 3,0	< 3,0	100	mg/kg ka	2,2	< 0,9	< 1,0	g/tn
Sinkki (Zn) ^a	39	18	28	1500	mg/kg ka	23	5,3	9,5	g/tn
Kloridi (Cl) ^c	18	71	80		mg/kg ka	11	21	27	g/tn
Natrium (Na) ^a	1	0	1		g/kg ka	< 0,1	< 0,1	< 0,1	kg/tn
Rikki (S) ^a	< 1,0	< 1,0	< 1,0		g/kg ka	< 0,6	< 0,3	< 0,3	kg/tn
Kalium (K) ^a	< 0,1	< 0,1	< 0,1		% ka	< 0,06	< 0,03	< 0,03	%
Fosfori (P) ^b	< 0,001	0,0022	< 0,001		% ka	< 0,0006	0,0007	0,0003	%
Fosfori (P) ^a	< 0,1	0,13	< 0,1		% ka	< 0,06	0,04	< 0,03	%
Typpi (N) ^b	0,0096	0,0154	0,0029		% ka	0,0056	0,0046	< 0,001	%
Typpi (N) ^a	0,52	0,94	0,29		% ka	0,31	0,28	0,098	%
Happamuus, (1:5)						6,9	7	7,4	
Johtokyky, (1:5)						60,1	99,8	44,7	mS/m
Hehkutushäviö	51,6	88,7	43,9	20,0	% ka				
Tilavuuspaino						490	1000	740	kg/m ³
Kuiva-aine						58,7	29,6	33,9	%
Kosteus						41,3	70,4	66,1	%

^a Kokonaispitoisuus, ^b Vesiliukoinen, ^c Liukoinen

Tuhkanäytteiden osalta (taulukko 11) todetaan, että verrattaessa haitallisten metallien pitoisuuksia lannoitevalmistelainsäädännön asettamiin raja-arvoihin, lähes kaikki haitta-aineiden pitoisuudet ovat nyt tutkituissa näytteissä alle raja-arvojen. Vain kuparin pitoisuus on **T4** näytteessä huomattavasti korkeampi, 1800 mg/kg kuin raja-arvo 700 mg/kg. Myös näytteen **T6** tuhkan kupari ja arseeni ylittävät raja-arvot.

Ravinnepitoisuuksien tulee tuhkalannoitteissa (1A7) olla vähintään K+P 2,0 % ja Ca 6,0 %. Nyt tutkittujen tuhkanäytteiden ravinnepitoisuudet olivat K+P 0,5 – 6,6 % ja Ca 2,7 – 22 %, ja käytännössä vain kahdella laitoksella ravinnepitoisuudet olivat riittävät, **T3** ja **T6**. Muualla kuin metsässä käytettävän tuhkan neutraloiva kyky (Ca) on oltava vähintään 10 %, ja nyt tutkituista näytteistä neljä täyttää tämän vaatimuksen: **T3**, **T4**, **T6** ja **T7**. Epäorgaanisille lannoitteille sallitaan ±20% suhteellinen poikkeama ravinnepitoisuuksissa ja sallittu poikkeama neutraloivan kyvyn osalta on -2 %-yksikköä (MMM asetus 24/11, liite III). Näin ollen, vain yksi tutkituista tuhkanäytteistä täyttää suoraan kaikki tuhkalannoitteille asetetut raja-arvot ja vähimmäispitoisuudet, näyte **T3**.

Taulukko 11. Tuhkanäytteiden (6 näytettä) tuhka-analyysin (1A7) tulokset sekä lannoitevalmisteiden haitallisten metallien raja-arvot.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	RAJA-ARVOT		Yksikkö
	kuori- tuhka	arina- hiekkä	tuhka	tuhka	tuhka	tuhka	tuhka	Pelto	Metsä	
Arseeni (As) ^a	< 3,4	< 3,4	13	26	23	76	4,8	25	40	mg/kg ka
Boori (B) ^a	60	28	180	730	34	270	39			mg/kg ka
Elohopea (Hg) ^a	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,75	0,12	< 0,06	< 0,06	1,0	1,0	mg/kg ka
Kadmium (Cd) ^a	5,2	< 0,1	3,0	18	1,2	7,8	0,36	1,5	25	mg/kg ka
Kromi (Cr) ^a	19	6,1	48	150	39	49	41	300	300	mg/kg ka
Kupari (Cu) ^a	25	6,0	94	1800	120	750	220	600	700	mg/kg ka
Lyijy (Pb) ^a	11	< 1,5	19	< 1,5	16	22	16	100	150	mg/kg ka
Magnesium (Mg) ^a	4,6	2,5	18	14	8,1	17	12			g/kg ka
Mangaani (Mn) ^a	1700	1100	11000	3500	1000	9400	790			mg/kg ka
Nikkeli (Ni) ^a	19	< 10	28	63	33	20	30	100	150	mg/kg ka
Sinkki (Zn) ^a	380	350	1000	2600	180	3000	110	1500	4500	mg/kg ka
Kalsium (Ca) ^a	4,2	2,7	21,0	18,0	5,8	21,0	22,0	6,0		% ka
Kalium (K) ^a	0,59	0,43	2,4	1,4	0,40	5,5	0,34	K+P 2,0		% ka
Fosfori (P) ^a	0,63	0,16	0,88	0,37	0,62	1,1	0,13			% ka
Fosfori (P) ^b	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10			mg/kg ka
Orgaaninen hiili (TOC)	0,2	< 0,1	9,3	< 0,1	1,5	110	4,4			g/kg ka
Neutralointikyky	8,0	4,3	23,7	20,8	7,1	26,3	34,5	10		% Ca
Kuiva-aine	96,9	100	87,2	> 100	100	58,3	100			%
Kosteus	3,13	< 0,1	12,8	< 0,1	< 0,1	41,7	< 0,1			%
Tilavuuspaino	830	1400	450	980	1000	560	770			kg/m ³
Inorgaaninen hiili (TIC)	0,1	< 0,1	2,4	0,5	< 0,1	10	0,97			g/kg ka

^a Kokonaispitoisuus, ^b Vesiliukoinen

Kuorihiekka on metsäteollisuuden sivuvirta, jota ei voida hyödyntää polttamalla sen sisältämän epäorgaanisen aineksen ja mullan takia. Syksyllä 2013 valmistuneessa opinnäytetyössä selvitettiin kuorihiekan käyttömahdollisuuksia kasvualustana, ja samassa yhteydessä selvitettiin myös yhden kuorihiekanäytteen koostumusta ja lannoitevalmisteasetuksen edellytysten mukaisia ominaisuuksia. Taulukossa 12 on esitetty raportoidut tulokset. Tulosten mukaan kuorihiekan rikkipitoisuus on huono, mutta sen kalium ja fosforipitoisuudet ovat hyvät/tydyttävät.

Taulukko 12. Kuorihiekan kasvualusta-analyysin tulokset.²⁰

	Yksikkö	Laatu
Johtoluku	2,0	10 x mS/cm
Happamuus	5,9	pH
Kalsium (ca)	890	mg/l
Fosfori (P)	9,3	mg/l
Kalium (K)	260	mg/l
Magnesium (Mg)	170	mg/l
Rikki (S)	4,1	mg/l

5. Sivuvirtojen käsittely

5.1 Meesakalkki

Meesa on epäpuhdasta kalsiumkarbonaattia, ja sen epäpuhtauksia ovat mm. prosessin soodakierrosta tulevat metallit, noki ja pesusta jääneet alkalit ja sulfaatit. Meesan puhdistamiseen voidaan mahdollisesti hyödyntää tavanomaisia kalsiitti-mineraalin puhdistus- ja erottelutekniikoita. Lisäksi meesa voidaan regeneroida.

Vaahdotus

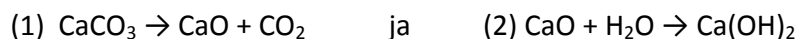
Kalsiittia voidaan puhdistaa epäpuhtauksista flotaatiolla hyödyntäen kationista ja/tai anionista vaahdotusreagenssia. Reagenssit vaikuttavat siten, että epäpuhtauksista tulee hydrofobisia ja ne voidaan erottaa ilmakuplien avulla puhtaasta kalsiumkarbonaatista.²¹

Valkaisu

Kalkkia (karbonaatti) voidaan valkaista vetyperoksidilla, kloorilla tai brominella. Patentoidussa menetelmässä 1 osa kalkkia ja 2 osaa vettä sekoitetaan pH 10 H₂O₂ -liuokseen. Liuosta sekoitetaan huoneen lämmössä, suodatetaan ja kuivataan, jonka jälkeen saadaan valkaistua kalkkia. Näin kalkista saadaan poistettua tummia humushappoja.²²

Regenerointi

Kalkkia eli kalsiumoksidia (CaO), eli poltettua kalkkia saadaan kalkkikivestä kalsiumkarbonaatista kuumentamalla sitä kalkkiuunissa noin 1 000 °C:n lämpötilassa, jolloin siitä lohkeaa hiilidioksidia. Kalsiumoksidia muodostuu myös eräiden muiden kalsiumyhdisteiden, kuten kalsiumnitraatin kuumentamisen yhteydessä. Kalkki reagoi edelleen herkästi veden kanssa. Reaktiosta saadaan kalsiumhydroksidia, eli sammutettua kalkkia (tai meesakalkkia). Reaktiot ovat:



5.2 Kuivalietteet

Metsäteollisuuden prosessikaaviossa esiteltiin, mistä vaiheesta jätevesiprosessia eri lietteet erottuvat. Kuituliettele (esim. primääriliete, oksarejeki, nollakuitu) on määritetty lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelossa oma tyyppinimi. Kuituliete ei sisällä mikrobeja, ja se voidaan täten hyötykäyttää sellaisenaan ilman hygienisointia lannoitevalmisteena, mikäli sen muut lannoitevalmisteita koskevat vaatimukset täyttyvät. Myöskään sekaliete, jossa biolietteen osuus on alle 10 %, ei tarvitse käsittelyä.

Tässä työssä analysoiduista lietteistä yksi sekaliete ja kuitusavi-näytteet sisälsivät kuitenkin biolietettä yli 10 %, ja siten myös merkittäviä määriä mikrobeja. Käsittelemättömät lietteet sisältävät myös runsaasti helposti hajoavaa orgaanista ainesta. Tällaisille lietteille vaadittava käsittely voi olla stabiloiva tai hygienisoiva tai molempia. Lisäksi liete voidaan kuivata, jolloin sen käsittely on helpompaa. Eri käsittelyistä voidaan myös yhdistää käsittely- tai jalostusketju.²³

Seuraavassa käydään läpi käsittelyvaihtoehtoja, jotka koskevat kaikkien puhdistamojen jätevesiprosesseista ulos tulevia liete-eriä. Tyypillisesti tekniikat jaetaan biologisiin, fysikaalisiin ja kemiallisiin menetelmiin. Menetelmät ovat käyttötarkoituksessaan toimiviksi todettuja, joskaan niiden käytöstä nimenomaan metsäteollisuuden lietteiden käsittelyssä ei löydy julkisesti raportoituja tutkimustuloksia.

Biologiset tekniikat

Kompostointi (aerobinen) tapahtuu joko aumassa tai reaktorissa, ulkona taivasalla (auma), katoksessa tai sisällä. Kokonaisuudessaan käsittely kestää muutamasta viikosta kuukausiin, ja sen aikana lietteen kiintoaineesta häviää tyypillisesti kolmannes.²⁴ Kompostoitumisessa noin puolet orgaanisesta aineksesta hajoaa hapen vaikutuksesta, ja syntyy hiilidioksidia, ammoniakkia ja nitraatteja sekä vettä. Kompostoinnissa tarvitaan usein tukiaineeksi kuorta tai puuhaketta, myös turvetta. Se myös usein vaatii paljon tilaa ja kompostin ilmastuksessa joudutaan käyttämään työkoneita.

Prosessin lämpötila on saatava nousemaan 55 – 60 °C lämpötilaan 14 vuorokauden ajaksi hygienisoinnin varmistumiseksi. Massan on oltava riittävän kosteaa, ja tämän lisäksi pH ja mikrobien laatu vaikuttavat lopulliseen hygienisoinnin vaatimaan aikaan. Laitosmaista toimintaa ajatellen on aina löydettävä laitoskohtaiset toimintaolosuhteet, joissa toistettavasti saadaan hygieeninen lopputuote.²³

Mädätys (anaerobinen) tapahtuu joko mesofiilisesti 35 – 42 °C lämpötilassa tai termofiilisesti 50 – 65 °C lämpötilassa suljetussa reaktorissa, hapettomissa olosuhteissa. Prosessi kestää 10 - 20 vuorokautta, ja 30 – 60 % massasta saadaan hajotettua.²⁴ Prosessi perustuu bakteeritoimintaan, ja yli puolet eloperäisestä aineksesta muuttuu siinä biokaasuksi.

Mädätystä käytetään lähinnä biomateriaalien kaasutukseen, ja se vaatii usein jälkikäsittelyä kuten kiintoaineen mekaaninen erotus, jälkikypsytytys, kompostointi, terminen kuivaus tai näiden yhdistelmä. Mädätys ei usein riitä riittävän hygieenisen tason saavuttamiseksi, vaan tarvitaan hygienisointiyksikkö, jossa liete kuumennetaan 70 °C lämpötilaan tunnin ajaksi.²³

Termofiilinen lahotus ja vanhentaminen. Lahotuksessa lietettä ilmastetaan termofiilisesti (55 - 60 °C) hapekkaissa olosuhteissa. Ilmastuksen seurauksena lietteen pH nousee kahdeksaan. Syntyvällä tuotteella on lannoitevalmisteluettelossa tyyppinimi.²³

Vanhentamisessa kuivattua lietettä varastoidaan esim. kentälle pitkäksi aikaa. Prosessi validoidaan tapauskohtaisesti. Esimerkiksi LIVAKE-hankkeessa kahden vuoden vanhentaminen mädätetylle puhdistamolietteelle oli riittävä hygienisointiin. Lopputuotteet voidaan saattaa markkinoille komposteina.²³

Fysikaaliset tekniikat

Pastörinti on perinteinen maidon lämpökäsittely, jossa tuhotaan mahdolliset tautia aiheuttavat bakteerit kuumentamalla. Pastöroinnin jälkeen maito ei ole kokonaan mikrobittonta. Lannoitevalmistelainsäädännössä pastörinti/hygienisointi on toteutettava 70 asteen lämpötilassa, yhden tunnin ajan. Mädätyksessä käytetään vastaavaa toimenpidettä hygienisoinnin varmistamisessa, ja tähän käytetään erillistä hygienisointiyksikköä.

Terminen kuivaus Termisellä kuivauksella on mahdollista saattaa liete jopa 90 % kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin tuotteesta tulee helpommin liikuteltavaa ja sen määrä pienenee. Perinteinen terminen kuivaus vaatii energiaa noin 800 W jokaista haihdutettavaa vesilitraa kohti ja 4 kWh sähköä käsiteltävää lietekuutiota kohden. Matalalämpökuivain voi kuivata 330 W teholla 30 °C:ssa yhden litran vettä, ollen näin yli kaksi kertaa tehokkaampi perinteiseen menetelmään nähden. Energiaa säästää alhainen kuivausilman lämpö.

Mikäli kuivauksen tarkoituksena on hygienisointi, liete tulee käsitellä 80 °C lämpötilassa kahden tunnin ajan. Kuivausmenetelmä on validoitava, mikäli lopputuote halutaan saattaa markkinoille lannoitevalmisteenä (orgaaninen maanparannusaine).²³

Terminen hydrolyysi on käsittelymenetelmä, jota hyödynnetään ennen mädätystä. Siinä lietteen lämpötila nostetaan paineistettuna 160 °C lämpötilaan 20 – 30 min ajaksi, jolloin liete steriloituu ja orgaaninen aine hydrolysoituu.²³

Kemialliset tekniikat

Kalkkistabiloinnissa lietteeseen lisätään poltettua kalkkia CaO tai sammutettua kalkkia Ca(OH)₂, joiden avulla pH saadaan nostettua yli 12 ja lämpötila kohoaa poltetun kalkin lisäyksellä jopa yli 50 °C lämpötilaan. Samalla voi vapautua ammoniakkia. Laitosmaisessa prosessissa hyödynnetään mekaanista sekoitinta, jossa olosuhteita voidaan seurata koko prosessin ajan. Samalla voidaan hallita hajukaasuja.

Riittävän hygieniatason saavuttamiseksi pH:n on säilyttävä korkeana 2 tunnin ajan poltetun kalkin lisäyksessä ja kahden vuorokauden ajan sammutetun kalkin lisäyksessä. Hygieniataso on lisäksi varmistettava bakteerimääryyksillä, jotta voidaan varmistaa liete- ja laitospesäkkeiden toimintaolosuhteet ja kalkin käyttömäärät. Kalkkistabiloitu liete soveltuu maatalouskäyttöön maanparannusaineeksi sellaisenaan käytettävänä sivutuotteena.²³

Happo- ja hapetus käsittelyssä raaka- tai mädätettyyn lietteeseen lisätään rikkihappoa, jolloin lietteen pH laskee. Tällöin lietteen rakenne hajoaa ja metallisuolat liukenevat. Tämän jälkeen liete hapetetaan vetyperoksidilla ja neutraloidaan natriumhydroksidilla tai kalkilla. Prosessilla voidaan vähentää lietteen hajuhaittoja sekä hygienisoida liete. Käsitelty liete soveltuu maatalouskäyttöön maanparannusaineeksi sellaisenaan käytettävänä sivutuotteena tai se voidaan kompostoida.^{23 25}

Vaihtoehtoiset tekniikat ja tutkimukset

Biologisen hajottamisen nopeuttaminen Puhdistamolietteen mädätyksen osalta on raportoitu tekniikoista, joilla on saatu nopeutettua hajoamisprosessia. Toimivia mädätyksen tehostamisessa ovat olleet mm. lämpökäsittely,^{26 27} entsyymien hyödyntäminen,²⁸ otsonointi,²⁹ kemiallisen liukoisuuden lisääminen happolisäyksellä^{30 31} ja emäshydrolyysillä³² sekä mekaaninen lietteen hajotus.³³ Osa tekniikoista on käytössä nykyisin mädätyksen yhteydessä. *Ultraäänihajotusta* on tutkittu jätevesilietteiden sekä eläinperäisten lietteiden orgaanisen kiintoaineen hajottamisessa, mädätyksen esikäsittelyinä.^{33 34 35 36} Ultraäänihajotuksen avulla on havaittu saavutettavan lyhyemmät käsittelyajat mädätyksessä ja parempi biokaasutuotanto.^{37 38} Menetelmää on myös yhdistetty ja tutkittu rinnan muiden esikäsittelyjen kanssa.³⁹ Suomessa menetelmää on tutkittu eläinperäisten lietteiden esikäsittelyssä.⁴⁰

Kasvihuone-kompostointi. On raportoitu, että toteuttamalla puhdistamolietteen aerobinen hajotus ja kuivaus hyödyntämällä aurinkoenergiaa, saadaan lietteen kuiva-aine 93 %:iin 60 - 80 vuorokaudessa. Tällöin kulutetaan vain 22 - 28 kWh sähköenergiaa vesitonnin haihduttamiseen, normaaliin 70-110 kWh/tn H₂O verrattuna.^{41a} Tutkimuksen pohjalta toteutettu ensimmäinen pilot-mittakaavan koe raportoitiin vuonna 2013 (Kreikka). Koe suoritettiin 60 m² kasvihuoneessa, jossa oli tuuletus sekä mekaaninen sekoitus lietteelle. Tulosten mukaan lietteen kuiva-aine saatiin nostettua 95 %:iin alle 31 päivässä. Lisäksi lopputuotteen orgaanisen aineksen osuus pienentyi jopa 21 % ja lopputuotteen laatu oli haitallisten aineiden osalta EU:n lannoitevalmisteiden vaatimusten mukainen.^{41b} Huomioitava on, että Suomen olosuhteissa tämä tekniikka olisi mahdollinen ainoastaan kesäaikaan toteutettuna.

Kemiallinen stabilointi tuhalla Tieteellisissä julkaisuissa on raportoitu, että puhdistamolietteen stabiloinnissa voidaan hyödyntää (kivihiilen) lentotuhkaa.^{42 43 44 45} On selvitetty, että tuhalla stabiloidut erilaiset puhdistamolietteet lannoitevalmisteina vaikuttavat positiivisesti maissin, ruohon ja rypsin kasvuun, joskin raskasmetallien määrät kasveissa saattavat lisääntyä. Raskasmetallien haitta-vaikutukset riippuvat niiden pitoisuuksista käytetyssä tuhassa. Huomioitava on myös, että käytettäessä

tuhkaa lannoitevalmisteena, on haitallisten metallien pitoisuuksien alitettava joka tapauksessa lainsäädännössä annetut raja-arvot.

Toisessa tutkimuksessa perehdyttiin raskasmetallien saatavuuteen käytettäessä tuhalla stabiloitua lietettä maissin kasvihuoneviljelykokeissa. Tulosten mukaan kuparin, sinkin, nikkelin ja kadmiumin saatavuus pieni. Lisäksi maissin kuivamassa nousi.⁴⁵

Rakeistusta apuaineilla voidaan myös pitää yhtenä vaihtoehtona metsäteollisuuden lietteiden käsittelyssä. Suomessa on tutkittu biolietteen seostamista sekä tuhkan että soodasakan kanssa. Tavoitteena on ollut selvittää, voidaanko tuhalla edesauttaa biolietteen suodatusta esikäsittelyvaiheessa tai toisaalta sen rakeistamista. Soodasakan osalta selvitettiin, millainen vaikutus seostamisella on kemikaalien liukoisuuteen ja lopputuotteen koostumukseen.¹⁶

Tutkimusten mukaan tuhkan vaikutus biolietteen suodatukseen ei ollut merkittävä; suodatetun biolietteen kuiva-ainepitoisuus kasvoi vain vähän tuhkalisäyksen ansiosta. Samoin rakeistuksessa havaittiin, että mitä enemmän biolietettä käytetään tuhkan kostuttamiseen, sitä heikompi rakeista saadaan.⁴⁶ Toisaalta, Suomessa tuhkan käyttöä lietteen stabiloinnissa on tutkittu maarakennuskäyttöä ajatellen.⁴⁷ Tutkimuksessa ei otettu kantaa stabilisoinnin vaikutuksista seoksen pH arvoon tai hygienisointiin. Oletettavaa kuitenkin on, että seoksesta voidaan saada rakeistettavia, stabiileja ja niukkaliukoisia kappaleita.

Soodasakan kanssa seostaessa havaittiin, että biolietteessä oleva neste liuottaa ja pesee hyvin sakan vesiliukoisia yhdisteitä, vähentäen näin sakan kokonaismäärää. Biolietteen ja soodasakkalietteen seos suodatuu myös paremmin. Alkuaineista natrium, kalium ja rikki liukenevat kuitenkin nestefaasiin, kun taas fosfori suotautuu kiintoaineskakuun yhdessä metallien kanssa.⁴⁶

5.3 Tuhka

Tuhkan käyttö lannoitevalmisteena tai niiden raaka-aineena voi estyä tuhkan sisältämien haitallisten metallien liian korkeiden pitoisuuksien vuoksi. Erilaisia mekaanisia tekniikoita on tutkittu siltä osin, voidaanko tuhkaa fraktioida eli jakaa siten, että haitta-aineet erottuisivat tiettyyn jakeeseen, ja hyödynnettävät kemikaalit kuten kalkki toiseen. Toisaalta; tuhkan käyttöä lannoitevalmisteena voi rajoittaa myös sen hankala käsiteltävyys. Tällöin tuhkan käsittelymenetelmänä on stabilointi, itsekovetus, rakeistus tai pelletointi. Lannoitevalmistelainsäädännössä ohjeistetaan, että tuhka on käsiteltävä siten, että sen pölyäminen on mahdollisimman vähäistä.

Mekaaniset tekniikat

Luokittelu/lajittelu perustuu tuhkan sisältämien hiukkasten erilaiseen kokoon, näiden massaan ja sitä kautta painovoiman vaikutukseen hiukkasten erottelussa. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että raskasmetalliyhdisteet esiintyvät tuhkassa useimmiten kooltaan pienimmissä hiukkasissa. Painovoimaerottelun avulla tuhkasta saadaan erotettua hienoaainesta, jossa raskasmetallipitoisuudet ovat täten suuremmat kuin muissa erotetuissa osioissa, joissa hiukkaskoko on suurempi. Luokittelua on tutkittu usein sähkösuotimilla, mutta oletettavaa on, että vastaaviin tuloksiin päästäisi myös seuloilla. Luokittelun ongelmana on, että erotettavan, haitallisia aineita sisältävän hienoainesosion massaosuus on huomattavan pieni, ja todellinen vaikutus tuhkan puhdistamisessa tällä tekniikalla on minimaalinen.

Luokittelu sähkösuotimilla. SIHTI 2-ohjelman tavoitteena oli kehittää menetelmä tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden (viherlipeäsakka ja bioliete) hyötykäyttökelpoisuuden parantamiseksi. Tavoitteena oli ensisijaisesti ravinteiden palauttaminen metsiin vähentämällä haitallisia metalleja sekä yhdistämällä eri jätejakeita tuotteen käyttöarvon lisäämiseksi ja rakeistamalla tuote

levitettävyyden helpottamiseksi. Kehitystyön tuloksena lannoitteeksi menevän tuhkan Cd-pitoisuutta saatiin vähennettyä 15 - 25 % sähkösuodattimella luokittelemalla ja erotustehokkuutta voitiin parantaa sähkösuodatinta säätämällä tai käyttämällä erillistä luokittelijaa.¹⁶ Lentotuhkasta on voitu kokeiden mukaan erottaa sähkösuotimien avulla viimeisen kentän jae erilleen, jolloin hyötykäyttömahdollisuus kasvaa kahden ensimmäisen kentän suhteen. Tällöin viimeinen jae, joka sisältää suhteessa suurimmat pitoisuudet haitallisia metalleja saadaan tuhkasta pois.^{48 49} Vastaavia tuloksia on saatu myös muissa tutkimuksissa.⁵⁰

Ilmaluokittelu. VTT:n projektissa tarkasteltiin puuta ja turvetta polttavien laitosten lentotuhkien jalostuksen ja maarakennushyötykäytön ekotehokkuutta. Tuhkien ympäristö- ja teknisten ominaisuuksien parantamiseen käytettiin tutkimuksessa ilmaluokittelua. Ilmaluokittelulla voidaan erottaa pienet, paljon haitallisia aineita sisältävät partikkelit karkeammasta tuhkakajakeesta. Luokittelu paransi tuhkan ympäristökelpoisuutta ja teknistä soveltuvuutta maarakennuskäyttöön. Parannusta havaittiin esim. haitallisten metallien pitoisuuksissa ja routimiskäyttäytymisessä.⁵¹

Itselujitus

Rakeistus, itsekovetus, granulointi, pelletöinti. Tuhkan pölyäminen ja maaperän shokkivaikutukset estetään itsekovetuksella ja vielä tehokkaammin rakeistuksella. Rakeistuksella pyritään tasalaatuisen lopputuotteeseen, jossa on mahdollisimman vähän hienoainesta. Tuhkan reaktiivisuus (pH ja suolavaikutus) vähenee raekoon kasvaessa ja hienoaineksen määrän vähentyessä. Tämä vähentää riskejä aiheuttaa vahinkoja metsäekosysteemeissä. Tasalaatuisempia tuhkatuotteita on myös helpompi levittää. Tuhkan ravinnepitoisuudet ja rakeistuksen kannalta oleelliset asiat, kuten kalsiumin ja palamattoman hiilen määrä pitää tietää ennen stabilointia, sillä mitä vähemmän tuhkassa on hiiltä ja mitä enemmän kalsiumia, sitä paremmin rakeistus onnistuu.

Kiinteytys on prosessi, jossa sideaine kapseloi haitta-aineet estäen niiden kulkeutumisen ympäristöön. Stabiloitaviksi/kiinteytettäviksi sopivat erityisesti epäorgaanisia haitta-aineita sisältävät massat, mutta menetelmää on käytetty myös PCB:tä, öljyjä yms. haitta-aineita sisältäville massoille. Stabiloinnissa/kiinteytyksessä hyödynnetään sekä fysikaalisia että kemiallisia ilmiöitä. Sideaineena käytetään tyyppillisesti sementtiä, bitumia, kalkkia, bentoniittia, silikaatteja tai orgaanisia polymeerejä. Useimmiten sementtiä käytetään varsinaisena sideaineena ja sen ohella massaan lisätään jotain edellisistä itselujittuvista materiaaleista.

Alkalimetallit kalium ja natrium sekä maa-alkalimetalli kalsium reagoivat savukaasun rikkiyhdisteiden kanssa kiinteiksi sulfaateiksi, jotka jäävät lentotuhkaan. Tuhkien kovettumisen kannalta tärkein tekijä on niissä esiintyvä vapaa kalkki eli kalsiumoksidi, joka muodostaa alumiinin ja sulfaatin kanssa sementtimäisiä aineita. Saostuessaan tuhkahiukkasten sisäisiin vesihuokosiin ne tiivistävät hiukkasia, ja saostuessaan tuhkahiukkasten välisiin vesihuokosiin ne sitovat tuhka hiukkaset yhteen tiiviiksi partikkeleiksi. Mm. VTT kehitti rakeistuksen ja käsittelykonseptin tuhkalle hankkeessa Metsäteollisuuden puuperäisen tuhkan ja biolietteen käsittely metsälannoitteeksi. Saman hankkeen yhteydessä suoritettiin kasvihuonekokeita koivun- ja männyntaimilla ja analysoitiin ravinteiden ja haitallisten metallien liukenemista tuhkarakeista.⁵²

Kemiallis-mekaaniset tekniikat

Uuttaminen. Tuhkan käsittely uuttamalla sitä vedellä on käytännössä tuhkan pesemistä. Uuttoprosessissa tuhkasta liukenee vesiliukoisia alkalisia yhdisteitä. Menetelmä on hyvin perinteinen esimerkiksi tuhkalipeän valmistuksessa: tuhkalipeää käytetään jopa kansanparannuksessa. Uuttamalla saatu potaska-liuos on arvokas ravinneliuos, mutta on selvitettävä, mitä jää jäljelle sakkaan.

Periaatteessa tuhkan määrä ei uuttamalla pienene merkittävästi, sillä vesiliukoisten alkuaineiden määrä on pieni. Jäljelle jäävässä tuhassa haitta-aineiden pitoisuudet ovat korkeammat, mutta liukoisuus on pienempi tehtyjen liuotusten jälkeen.

Vaahdotus. Vuonna 1978 julkaistiin patentti, jossa esiteltiin monivaiheinen vaahdotuskäsittely kivihiilen lentotuhkalle. Menetelmä perustuu siihen, että tuhka sisältää erilaisia mineraalisia suoloja, jotka ovat erotettavissa toisistaan mineralogisella tekniikalla, kuten jalometallien rikastuksessa. Patentissa esitetään, että menetelmän avulla tuhkasta voidaan erottaa mm. puhdasta hiiltä, rautakonsentraatti, ja potsolaaninen konsentraatti.⁵³ Menetelmää on kehitetty myös myöhemmin,^{54 55 56} mutta ilmeisesti sen avulla ei ole voitu erotella hyödynnettäviä fraktioita kustannustehokkaasti (monimutkainen tekniikka, ei riittävän puhtaita jakeita).

Raaka-ainekäyttö

Puutuhka sisältää tyypeä (N) lukuun ottamatta puun mukana olleita ravinteita oikeissa suhteissa metsälannoitteeksi. Typeä saataisiin tuhkarakeisiin esimerkiksi rakeistamalla puuperäistä metsäteollisuuden biolietettä tuhkan kanssa.^{50 52} SIHTI 2-ohjelman tavoitteena oli kehittää menetelmä tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden (viherlipeäsakka ja bioliete) hyötykäyttökelpoisuuden parantamiseksi. Tavoitteena oli ensisijaisesti ravinteiden palauttaminen metsiin vähentämällä jakeiden haitallisia metalleja sekä yhdistämällä näitä lopputuotteen käyttöarvon lisäämiseksi ja rakeistamalla tuote levitettävyyden helpottamiseksi. Biolietteen ja tuhkan rakeistuskokeissa saatiin aikaan erittäin kovia pellettejä.¹⁶

Prosessimuutokset

Polttoainekoostumus. Laatuvariaatioiden minimoimiseksi tehokkaimmaksi tavaksi on tuhkan osalta todettu polttoainekoostumuksen vakioiminen.⁵⁷ Myös syntyvän tuhkan koostumus ja haitallisten metallien pitoisuudet ovat riippuvaisia polttoaineen koostumuksesta.

Lasittaminen. Metsätehon tutkimuksessa on selvitetty esikäsitelyn, kostutuksen ja rakeistuksen vaikutuksia puu- ja turvetuhkien ominaisuuksiin ja ravinteiden liukenemiseen. Tässä tarkoituksessa tarkasteltiin tuhkan ominaisuuksien riippuvuutta polttoainelajista ja polttoprosessista. Lisäksi tutkittiin kostutuksen aikaansaamia kovettumistapahtumia ja esikäsitellyssä tuhassa vallitsevia kemiallisia olosuhteita ja mineraalien liukenemismekanismeja. Tutkimuksessa havaittiin, että arina- ja pölypolttoimenetelmissä käytetyssä korkeassa polttolämpötilassa, yli 1000 °C, pii- ja alumiinioksidi sulavat muodostaen lasia jäähtyessään nopeasti. Tällöin haitalliset metallit ja muut epäorgaaniset aineet jäävät pääosin sulaan lasiin, mistä niiden liukeneminen on erittäin hidasta. Leijupetikattiloissa palaminen tapahtuu n. 800 - 900 °C:ssa, mikä ei ole riittävä tuhkan lasittamiseen, jolloin tuhkat sisältävät enemmän liukoisia aineita kuin pölypoltossa muodostuneet tuhkat.⁵⁸

Plasmakäsittely. Jätteiden massapolttolaitosten yleistyessä on havaittu, että näissä prosesseissa syntyvä tuhka on laadultaan hankalampaa ja sisältää enemmän haitta-aineita kuin tavanomainen puun, turpeen tai kivihiilen tuhka. Tämän vuoksi on kehitetty polttotekniikoita, joissa polttolämpötilat nostetaan plasma-suihkulla niin korkeiksi, että myös muodostuva tuhka on erilaista. Korkeissa lämpötiloissa metallit oksidoiduvat ja muodostavat lasia, tai jopa puhtaita metalleja. Termistä plasmakäsittelyä on esitetty käsittelytekniikaksi myös tuhkalle.⁵⁹

6. Johtopäätökset

6.1 Meesakalkki

Meesakalkin osalta analyysitulokset osoittivat, että meesa soveltuu hyvin kalkitusaineeksi (sellaisenaan kalkitusaineena käytettäväksi sivutuotteeksi), ja sen haitta-ainepitoisuudet ovat riittävän alhaiset. Toisaalta meesaa käytetään vain hyvin vähän lannoitevalmisteena, ja tähän lienee osasyynä tiedon puute sen ominaisuuksista ja toisaalta saatavuudesta. Meesan kalkituskäyttöä tulisi tehostaa.

Tässä hankkeessa esiteltiin myös toinen kalkkipitoinen sivuvirta, soodasakka, jonka ominaisuudet voisivat mahdollistaa sen käytön lannoitevalmisteena, esim. kalkitusaineena. Erityisesti sen kalsiumpitoisuus on merkittävä. Toisaalta soodasakan ongelmallinen fysikaalinen olomuoto tekee siitä hankalaa käsitellä. Tulisikin kehittää kustannustehokas käsittelymenetelmä, jotta se voitaisi saattaa helpommin käytettäväksi tuotteeksi lannoitevalmistemarkkinoille. Soodasakalle ei myöskään ole tyyppinimeä, eikä riittävästi tutkimustuloksia, jotta sen lannoitevalmistemarkkinoille saattaminen heti lähivuosina olisi edes teoreettisesti mahdollista.

6.2 Kuivalietteet

Tyyppinimiluettelon määritelmä kuituliettele on *”Kateaineena sellaisenaan käytettävä puuteollisuuden kuivaliete. Ei sisällä merkittävästi ravinteita.”* Lietteet, jotka on erotettu massan tuotannon prosessin esiselkeytyksessä, täyttävät yleensä sellaisenaan lietteille soveltuvalle ”kuituliete” tyyppinimelle asetetut edellytykset, mikäli niihin ei ole johdettu puhdistamo- tai biolietettä enempää kuin 10 %. Tällöin näiden hygieniataso on riittävä, eikä tarvetta jatkokäsittelylle ole. Selvityksen tulosten perusteella havaittiin, että alle 2 % biolietettä sisältäneen sekalietteen mikrobitaso oli riittävän alhainen.

Muulla jätevesiprosessissa syntyvät lietteet kuten pelkkä bioliete ja näitä suuremmissa määrin sisältävät sekalietteet sisältävät mikrobeja. Nämä tulee jatkokäsitellä (stabilisoida ja/tai hygienisoida) ennen käyttöä. Samoin, tässä selvityksessä tutkitut, biolietettä sisältäneet kuitusavi-näytteet (tai siistausliete) sisälsivät haitallisia mikrobeja, eikä niitä voida luokitella kuituliete-tyyppinimen alle sellaisenaan. Kemialliselta koostumukseltaan nämä lietteet olisivat lannoitevalmisteiksi soveltuvia, ja arvokkaita orgaanisina maanparannusaineina. Näille metsäteollisuuden lietteille ei kuitenkaan vielä ole varsinaisia (jäteveden)puhdistamolietteleille tyypillisiä tyyppinimiä, joille olisi määritelty erityiset käsittelyohjeet. Mahdollisia tekniikoita kuten aumakompostointia ja kalkkistabilointia tulisikin jatkossa tutkia näiden lietteiden käsittelemiseksi ja riittävän hygieniatason saavuttamiseksi.

6.3 Tuhka

Havaittavissa oli, että tuhkan osalta tietyt haitta-aineiden pitoisuudet vaihtelevat juuri lannoitevalmistelainsäädännön raja-arvojen tuntumassa. Vastaavasti ravinnepitoisuudet voivat täyttää edellytykset, tai toisaalta jäädä niiden alle. Tuhkan käyttömahdollisuudet tulee siis aina arvioida tapauskohtaisesti. Jatkuvaan lannoitevalmiste-tuotantoon tuhka voitaneen saattaa seuraamalla ja hallinnoimalla polttoaineiden käyttöä haitta-aineiden pitoisuuksien pitämiseksi riittävän alhaisella tasolla. Mikäli haitta-ainepitoisuudet ovat riittävän alhaiset, mutta ravinnepitoisuudet eivät täytä lainsäädännön edellytyksiä, tuhkaa voidaan käyttää raaka-aineena muiden lannoitevalmisteiden valmistuksessa. Lannoitevalmisteiden lainsäädännön mukaan rakeistettuun tuhkalannoitteeseen voidaan suoraan lisätä epäorgaanista lannoitevalmistetta sen käyttökelpoisuuden lisäämiseksi tai vähimmäisvaatimusten täyttämiseksi. Yksinkertaisimmillaan tuhkan rakeistus nestemäisellä

epäorgaanisella lannoitevalmisteella nostaa ravinnepitoisuuksia, ja kovettuminen ja rakeistaminen helpottavat tuhkan levitystä. Tuhkan osalta on tutkittu myös erilaisia käsittelymenetelmiä sen puhdistamiseksi, mutta yksikään tähän mennessä tutkituista tekniikoista ei ole osoittautunut riittävän kustannustehokkaaksi.

6.4 Kuori ja kuorihiekka

Kuorta käytetään yleisesti katemateriaalina eli maanparannusaineena kotipuutarhoissa. Kuorihiekka on puukentältä erotettua kuoripitoista maa-ainesta, joka sisältää kuoren lisäksi multaa ja hiekkaa. Kuorihiekan osalta ei ole selvitetty, voidaanko sille määritellä tyyppinimi maanparannusaineena. Toisaalta, kuoren ja kuorihiekan käyttömahdollisuudet kasvualustana (tyyppinimiryhmä 5) tulisi myös selvittää. Kuorihiekka oli tutkimuskohteena kasvualustakäytössä syksyllä 2013. Selvityksen mukaan kuorihiekkaa voitaisiin hyödyntää kasvualustoissa. Pelkässä kuorihiekassa kasvien kasvu jää melko pieneksi, mutta kuorihiekan ja turpeen seos ylsi lähes samoihin tuloksiin turpeen kanssa. Kastelulla, kalkituksella ja lannoituksella voitiin edelleen vaikuttaa kuorihiekan käyttömahdollisuuksiin.⁶⁰

7. Sivuvirtojen käyttö lannoitevalmisteinä

Metsäteollisuuden sivuvirroille tuhka, meesakalkki, kuituliete ja kuori on olemassa lannoitevalmisteasetuksen mukainen tyyppinimi tämän selvityksen kirjoitushetkellä (liite 1). Seuraavassa on esitetty näiden lannoitevalmisteiden ominaisuuksia ja käyttöön liittyviä huomioita (tyyppinimien mukaisessa järjestyksessä).

7.1 Tuhkalannoitteet

Metsäteollisuuden tuhka on lannoitevalmisteasetuksen tyyppinimiluettelossa ryhmässä 1 Epäorgaaniset lannoitteet, ja sen tyyppinimi on 1A7 *Tuhkalannoitteet*. Tuhka on käsiteltävä siten, että sen pölyäminen on mahdollisimman vähäistä. Rakeistettuun tuhkalannoitteeseen saa lisätä epäorgaanisia lannoitevalmisteita sen käyttökelpoisuuden lisäämiseksi tai vähimmäisvaatimusten täyttämiseksi.

Tehtyjen tutkimusten perusteella tuhkan käyttöön lannoitteena ei liity merkittäviä riskejä. Käyttämällä tuhkaa lannoitteena voidaan metsään palauttaa sieltä puunkorjuun yhteydessä poistuneita ravinteita. Puun energiakäytön lisääntyessä lisääntyy myös tuotetun tuhkan määrä, jolle olisi siksi löydettävä sijoituspaikka. Tuhkaa voidaan pitää luonnon aineena toisin kuin epäorgaanisia lannoitteita. Luontaisten, tuhkaa tuottavien metsäpalojen välillä on vaihtelua olosuhteissa kuten metsäteollisuuden polttoprosessienkin välillä. Paikallisten tekijöiden ohella myös sääolosuhteet kuten vallitseva tuuli (hapetus), kosteus ja lämpötila vaikuttavat syntyvän tuhkan laatuun ja maaperään palautuvien hyödyllisten ja haitallisten aineiden määrään.

Metsäteollisuuden polttolaitosten tuottama tuhka soveltuu parhaiten metsän kasvun lisäämiseen turvemaidella. Lisäksi sillä voidaan kangasmailla saada aikaan kalkitusvaikutusta eli nostaa maaperän pH:ta, mikä pienentää maaperän haitallisten metallien liukenemistä ja kulkeutumista. Tuhkan käytölle hyvin soveltuviksi alueiksi voidaan katsoa hienoainesvaltaiset moreenit ja siltit, jotka läpäisevät jossain määrin vettä. Veden virtaus näissä on kuitenkin sen verran hidasta, että veteen liuenneet aineet ehtivät reagoida maaperän komponenttien kanssa. Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikaisten kokeiden mukaan

tuhkalannoitus lisää turvemaidilla puuston vuotuista kasvua varovasti arvioiden 3 m³/ha. Runsastyypisillä kasvualueilla puuntuha on lisännyt männyn runkokuuun kasvua jo 2 - 3 vuoden kuluessa, kun taas niukkatyyppisissä kohteissa vaikutus voi alkaa vasta 7 – 8 vuoden kuluttua levityksestä.

Tuhka soveltuu myös maa- ja puutarhatalouteen, maaperän neutralointiin sekä fosfori- ja hivenlannoitukseen. Luomuviljelyssä käytettävän tuhkan on oltava Eviran hyväksymä ja peräisin puusta, jota ei kaatamisen jälkeen ole käsitelty kemiallisesti.

Lannoituksessa tuhkan vaikutukset maaperään, kasveihin ja puustoon ovat monimuotoiset. Tutkimuksella on osoitettu, että hyvin monet aineet ovat tuhkassa erittäin hidasliukoisessa muodossa. Ainoastaan boori, rikki, kalium ja natrium liukenevat yleensä nopeasti. Myös kalsiumia, magnesiumia, sinkkiä, kuparia, kromia ja fosforia voi hieman vapautua joistakin tuhkalannoitteista jo ensimmäisinä vuosina lannoituksen jälkeen. Lyijyä, nikkeliä ja kadmiumia ei tuhkasta näyttäisi vapautuvan muutaman vuoden aikajaksolla. Raudankin vapautuminen on hyvin hidasta. Tuhkan rakeistamisella liukoisuus pienenee edelleen.

Yleisesti ottaen tuhkalaadut kohottavat maaperän pintakerroksen (0 - 10 cm) pH-arvoa, ja lisäävät useiden ravinteiden, mutta myös haitallisten metallien pitoisuuksia kasvualustan pintakerroksessa. Suokokeilla eräät helppoliukoiset ravinteet (mm. kalium) näyttivät kulkeutuneen turpeessa ainakin 20 – 30 cm:n syvyydelle. Männynneulasten kalsium-, boori-, kalium- ja fosforipitoisuudet kohoavat lannoituksen vaikutuksesta, ja vaikutus kestää kymmeniä vuosia. Marjojen ja sienten fosfori-, kalium-, kalsium- ja booripitoisuudet kohoavat nopeasti tuhkalannoituksen myötä. Suuret tuhka-annokset lisäävät myös eräiden metallien (rauta, alumiini, kromi, titaani, arseeni) pitoisuuksia marjoissa ja sienissä, sen sijaan kadmiumin pitoisuus pysyy ennallaan tai vähenee. Kadmiumpitoisuuksien on toisaalta havaittu nousevan lehtipuiden kuten pajun ja varpukasvien lehdissä.

Tuhkan levittäminen metsään voidaan toteuttaa joko lentolevityksenä tai maalevityksenä. Uusia tekniikoita ja välineitä on kehitteillä etenkin maalevitykseen. Kuivan, käsittelemättömän tuhkan levitys on hankalaa voimakkaan pölyämisen vuoksi. Siksi tuhka on esikäsiteltävä kostuttamalla (itsekovetusmenetelmä) tai varsinaisilla rakeistustekniikoilla. Esikäsiteltyjä tuhkia voidaan käsitellä, varastoida ja kuljettaa irtotavarana. Maatalouskäyttöön tuhka toimitetaan yleensä suoraan levitettynä. Rakeistettuja ja itsekovetettuja tuhkalannoitevalmisteita on saatavilla kaupallisilta toimijoilta. Fosforin ja hivenravinteiden pitoisuudet, neutralointikyky sekä maan pH määrittävät levitysmäärän, joka on yleensä 5000 – 15 000 kg/ha. Tarkemmat tiedot ja ohjeet tuhkan lannoituskäytöstä on saatavissa Metlan ja Tapion julkaisemissa tuhkalannoitusoppaissa.^{2 61}

7.2 Meesakalkki kalkitusaineena

Meesakalkki on kansallisessa lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelossa ryhmässä 2 Kalkitusaineet, kohdassa 2A2 *Sellaisenaan kalkitusaineena käytettävät sivutuotteet*. Kalkitukseen soveltuvan meesakalkin neutraloiva kyky on oltava vähintään 20 % (Ca).

Meesakalkki on pääasiassa kalsiumkarbonaattia CaCO₃, jossa on seassa myös poltettua ja sammutettua kalkkia. Lisäksi meesaan on kertynyt puusta lähtöisin olevia ravinteita ja hivenaineita. Materiaali on kuivaa, harmahtavaa jauhetta, ja sitä syntyy massan valmistuksessa käytettyjen keittokemikaalien kaustisoinnissa. Lannoitusvalmisteena markkinoitavan meesakalkin haitallisten aineiden pitoisuudet ovat alhaiset, ja sen neutraloiva kyky hyvin korkea.

Markkinoilla olevan meesakalkin neutralointikyky on useimmiten paljon yli vaaditun 20 %. Useiden tehtaiden meesakalkin nopea neutralointikyky (Ca) on lähes 40 %. Meesakalkki sisältää kalsiumin lisäksi

usein myös merkittävästi puuperäistä fosforia: liukoisen fosforin pitoisuus voi olla noin 2 – 4 kg/t. Tällainen määrä tulee ympäristötuen ehtojen mukaan huomioida viljelykirjanpidossa.

Meesakalkkia voidaan käyttää sängelle ja nurmille ja rakennekalkitukseen. Se parantaa myös maan mururakennetta etenkin savimaalla sen sisältämän kalsiumhydroksidin takia. Lisäksi se saattaa vähentää fosforin huuhtoutumista ja nopeuttaa maan kuivumista sekä parantaa muokkautuvuutta.^{62 63 64}

Meesakalkkia on kaupallisesti saatavilla mm. nimikkeillä hyötykalkki ja rakennekalkki. Tyypillisesti kalkki toimitetaan asiakkaalle levitettynä. Kalkin levittämistä välittömästi ennen satokasvin kylvöä ei suositella meesan korkean reaktiivisuuden vuoksi. Kalsiumpitoisuus, neutralointikyky ja maan pH määrittävät suositeltavan kertalevitysmäärän, joka on tyypillisesti 5000 – 15 000 kg/ha.

7.3 Kuitulietteen lannoituskäyttö

Metsäteollisuuden kuitulietteet ovat lannoitevalmisteasetuksen tyyppinimiluettelossa (24/11, muutos 7/13) ryhmässä 3 Maanparannusaineet ja alaryhmässä 3A5 *Maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet*. Maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet soveltuvat pelto- ja puutarhakäyttöön, energiakasvien viljelyyn sekä maisemoinnissa eroosion estoon. Sivutuotteessa saa olla korkeintaan 10 % puhdistamolietettä (asetus 24/11, muutos 7/13).

Pääsääntöisesti em. lannoitevalmisteeksi luokiteltavana kuitulietteenä voidaan pitää metsäteollisuuden esiselkeyttimeltä erotettua primäärilietettä, oksarejktiä tai nollakuitua, mikäli sen ominaisuudet ja mikrobitaso on lannoitevalmisteasetusten raja-arvojen mukaiset. Kuituliete saa sisältää korkeintaan 10 % puhdistamolietettä eli käytännössä myös biolietettä (jossa mahdollisesti saniteettivesiä). Kuitulietteen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 45 – 55 %, ja materiaali on rakeista ja melko helposti



käsiteltävää. Erilaisia lannoitevalmisteiksi kelpaavia kuivalietetteitä on esitelty kuvassa 6.

a)

b)

Kuva 6. a) Nollakuitu ja b) sekaliete.

Tätä kuitupitoista sivuvirtaa voidaan käyttää maan eloperäisen aineksen lisäykseen mm. veden- ja ravinteiden pidätyskyvyn kasvattamiseksi sekä mururakenteen ja pieneliötoiminnan parantamiseksi tavanomaisessa maa- ja puutarhataloudessa. Luonnonmukaiseen viljelyyn kuitu soveltuu, mikäli se ei sisällä lainkaan jätevedenpuhdistamon lietettä tai saniteettivesiä. Sitä voidaan käyttää myös kotieläinten kuivikkeena, lanta-aumojen pohjamateriaalina sekä viherrakentamisessa. Lietepohjainen lannoite sopii hyvin myös istutuksille, taimikoille ja harvennushakkuille. Metsälannoitteena sitä voidaan

käyttää myös sekoitettuna puun ja turpeen tuhkaan, joka täyttää maa- ja puutarhataloudessa käytettävän tuhkan haitallisille aineille asetetut vaatimukset. Sellutehtaiden kuituliete toimii yleensä hyvin myös happamien maiden pH:n tasoittamisessa kalkitusmateriaalina.

Metsäteollisuuden lietteiden etuna lannoituskäytössä ovat mm. ravinteiden kierrätys sekä useimmiten edulliset kustannukset verrattuna muihin lannoitevalmisteisiin. Esimerkiksi kalsiumpitoisella lietteellä on mahdollista vaikuttaa valumien sameuteen ja vähentää fosforin huuhtoutumista maaperästä. Fosfori on myös helpommin kasvien käytettävissä.

Kuituliete voidaan levittää pellolle sellaisenaan tai se voidaan käsitellä ennen levittämistä (stabilointi, kompostointi). Käsittelemällä liete pelletöimällä tai rakeistamalla siitä saadaan helpommin käsiteltävää ja hygieenisempää tuotetta. Kuitulietteen käyttömäärä mitoitetaan maan happamuuden, typensidontatarpeen tai eloperäisen aineksen lisästarpeen mukaan. Sen levitys tapahtuu esim. kuivalannan levityskalustolla (kts. kannen kuva). Kuidulle on tehtävä lisäksi ns. sekoittava muokkaus 5 – 20 sentin syvyyteen. Levityksen ajankohta riippuu kohteesta: levitys suoritetaan viherlannoitusnurmelle kesällä, lopetettavalle satonurmelle korjuun jälkeen tai yksivuotisten kasvien sängelle. Käytännön levitysmäärät ovat 25 – 50 t/ha kuiva-ainetta tai 50 – 250 t/ha tuorepainona n. 3 – 5 vuoden välein.

Kuitulietteen lannoituskäyttö on yksinkertaisinta toteuttaa lannoitevalmistealan toimijoiden kautta. Käytännön ohjeiden ja neuvonnan osalta apua tarjoaa mm. Tyynelän maanparannus Oy ja Humuspehtoori Oy. Tuotteiden toimittajat määrittelevät tarpeenmukaiset käyttömäärät tuotteen ominaisuuksien sekä kohteen tarpeen mukaisesti.

7.4 Kuori

Kuorijäte kuuluu tyyppinimiryhmään 3A3 *Maan rakennetta parantavat aineet, Kate-materiaali MMMa 12/07*. Se on teknisesti käsittelemällä puusta, kuoresta tai muusta orgaanisesta materiaalista valmistettu tuote, joka voi koostua yhdestä tai useammasta raaka-aineesta ja joka voi sisältää myös kivennäisainesta.

Kuorijäte syntyy metsäteollisuudessa kun puu kuoritaan massan valmistusta varten. Kuorikatteena usein kaupallisesti markkinoitu tuote on yleisesti tunnettu, myös kotitalouksien puutarhoissa ja viheristutuksissa hyödynnetty tuote, jonka avulla voidaan niin suojata kuin koristella istutuksia. Se parantaa maan rakennetta ja sitoo maatuessaan tyyppiä ja lisää humuksen määrää. Sitä käytetään yleisesti rikkakasvien torjuntaan ja helpottamaan kitkemistä. Se soveltuu myös luomutuotantoon.

Kuorta saa markkinoijilta irtotavarana toimitettuna. Se toimitetaan useimmiten kuorma-autolla tai haetaan syntypaikalta. Kuori on levitettävä itse ja tarvittaessa sekoitettava pellolla multa.

8. Yhteenveto

Lainsäädäntö mahdollistaa tällä hetkellä tiettyjen metsäteollisuuden sivuvirtojen hyötykäytön lannoitevalmisteena sellaisenaan käytettävänä sivutuotteina (puun ja turpeen tuhka, meesakalkki, kuituliete, (kuori) katemateriaali). Vastaavasti sivuvirtoja voidaan hyödyntää myös lannoitevalmisteiden raaka-aineina, mikäli sivutuotteita koskevat ominaisuudet täyttävät asetetut lannoitevalmisteiden ravinteiden vähimmäispitoisuudet ja alittavat haitta-aineiden enimmäispitoisuudet. Lainsäädäntö ohjaa

selkeästi myös sivutuotteiden valmistajia, sekä erityisesti lannoitevalmisteita markkinoille saattavia tahoja toimimaan siten, että valmisteet ovat lannoituskäyttöön soveltuvia, asetusten mukaisia ja turvallisia. Tässä hankkeessa toteutetun kyselytutkimuksen perusteella metsäteollisuudessa syntyvistä sivuvirroista ainoastaan 7,5 % päätyy tällä hetkellä lannoitevalmisteiksi. Lannoituskäyttöön ohjautuvat tuhkat, kuitupitoiset lietteet sekä meesakalkki.

Metsäteollisuuden prosessit, massan ja paperin valmistus esiteltiin tässä selvityksessä vaihe vaiheelta. Samassa yhteydessä kuvattiin prosesseissa käytetyt kemikaalit sekä sen eri vaiheissa syntyvät sivuvirrat ja haitta-aineiden kierto. On voitu osoittaa, että runsaimmat haitta-ainepitoisuudet ovat peräisin itse puusta, ja prosessin kautta ne voidaan ottaa talteen ja erottaa soodasakan ja tuhkan mukana. Meesakalkkiin kertyy myös jonkin verran haitta-aineita.

Sellun valmistuksen keittokemikaalin, valkolipeän, puhdistuksessa siihen puusta keiton aikana päätyneet vierasaineet saostetaan, ja syntynyt kiintoaine eli viherlipeäsakka erotetaan suodatuksella. Viherlipeä- eli soodasakka sisältää puusta peräisin olevia metalleja, myös raskasmetalleja, sekä jonkin verran keittolipeää. Liuos eli viherlipeä puhdistetaan meesakalkin avulla kaustisoinnissa jälleen valkolipeäksi, joka kierrätetään taas uudelleen keittoon. Kemikaalikierrrosta poistetaan meesaa tarpeen mukaan. Meesakalkki osoittautui tässä tutkimuksessa tehdyissä kokeissa puhtaaksi ja hyvin lannoitevalmisteeiksi soveltuvaksi. Sen arvoa lannoitevalmisteena tulisi tuoda paremmin esille, ja sen käyttöä tulisi tehostaa. Meesalla voidaan korvata helposti neitseellistä kalkkia, jolloin säästetään luonnonmateriaaleja ja tehostetaan ravinteiden kierrätystä. Muutamat toimijat Suomessa opastavat meesakalkin käytössä. Myös soodasakan käyttömahdollisuuksia lannoitevalmisteiden raaka-aineina tulisi arvioida uudelleen.

Metsäteollisuuden kuitupitoisten sivuvirtojen eli erilaisten lietteiden hyötykäyttömahdollisuudet lannoitevalmisteina riippuvat vahvasti siitä, mitä jätevesivirtojen ja lietteiden kiintoaineita ne sisältävät. Kuitulietteet sisältävät runsaasti puusta peräisin olevia kuituja. Näitä lietteitä ovat esim. kuorimon jäte, oksarejeki ja nollakuitu. Ne erotetaan tyyppillisesti esiselkeytyksessä primäärilietteenä. Kuituliete voi sisältää vähäisiä määriä myös prosessiin lisättyjä valkaisukemikaaleja sekä paperin päällystyksessä käytettyjä pastakemikaaleja. Pastakemikaalit ovat pääasiassa epäorgaanisia, luonnosta peräisin olevia mineraaleja kuten talkkia ja kalkkia. Biologisen puhdistuksen ja muun jätevesiprosessin jälkeen erotetaan sekundääriliete, joka voidaan yhdistää kuitulietteeeseen, mikäli lietteet joudutaan ohjaamaan polttoon. Paperitehtailla kierrätyspaperin käsittelystä syntyy myös siistauslietettä, joka sisältää vastaavia epäorgaanisia mineraaleja kuin pasta. Lietteiden kiintoaine kuivataan tyyppillisesti noin 50 % kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin siitä voidaan käyttää myös nimitystä ”kuivaliete”. Siistauslietettä sisältävää kuivalietettä kutsutaan myös kuitusaveksi.

Mikäli kuitu on puhdasta puu- tai massakuitua, eikä siinä ole mukana juurikaan biologisen puhdistuksen lietettä tai saniteettilietettä (alle 10 %), se voi saada tyyppinimen kuituliete. Kuituliete voi soveltua jopa luomutuotantoon. Tällöin on kuitenkin varmistettava, ettei kuitusivuvirta sisällä haitallisia mikrobeja, ja että myös sen muut ominaisuudet täyttävät tyyppinimelle asetetut vaatimukset. Mikäli sivuvirta sisältää biolietettä tai vastaavaa yli 10 %, kuten useimmat sekalietteet ja kuitusavi, tulee se käsitellä lietteille soveltuvilla stabilointi- ja/tai hygienisointitekniikoilla. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole tutkittua käsittelytekniikkaa tai tyyppinimeä, johon metsäteollisuuden kuitupitoiset sivuvirrat menisivät lannoitevalmisteena. Suomessa on muutamia toimijoita, jotka välittävät kuitupitoisia sivuvirtoja maanparannusaineiksi. Nämä toimijat pystyvät ohjeistamaan maanviljelijöitä lannoitevalmisteiden oikeaoppisessa käytössä.

Tällä hetkellä suurin osa metsäteollisuuden sivuvirtoina syntyvistä kuoresta ja kuitupitoisista sivuvirroista poltetaan tehtaiden omilla voimalaitoksilla energiaksi, ja lopputuotteena muodostuu tuhkaa. Tuhkan osalta on havaittavissa, että niiden laatu vaihtelee huomattavasti tehtaiden välillä. Lannoituskäyttöön soveltuvia tuhkia on, ja tuhkia voidaan käyttää myös lannoitevalmisteiden raaka-aineena, mikäli sen ravinnepitoisuudet eivät suoraan ole riittävät, ja mikäli sen haitta-aineiden pitoisuudet alittavat niille asetetut raja-arvot. Polttoaineen koostumuksen ja laadun tarkkailu voivat mahdollistaa parempien tuhkalannoitteiden tuotannon jatkossa. Tuhkan rakeistaminen ja yhdistäminen epäorgaanisiin lannoitevalmisteisiin ravinnepitoisuuksien nostamiseksi tekee tuhkasta arvokkaan lannoitevalmisteen. Tuhkan käyttöä on tutkittu paljon, ja sen suotuisat vaikutukset mm. puiden kasvuun on osoitettu. Suomessa on myös useita kaupallisia toimijoita, jotka voivat auttaa metsänomistajia ja maanviljelijöitä tuhkan oikeaoppisessa käytössä.

Puusta erotettu kuori on tyypillinen puutarhoissa ja puutarharakentamisessa käytetty katemateriaali, jota toimittavat useat kaupalliset tahot. Sen ohella myös kuorimoiden pihoilta kerätty kuorihiekka, joka sisältää enemmän multaa ja epäorgaanista hienoaainesta, voisi olla käyttökelpoinen esimerkiksi kasvualustana. Tätä on tutkittu syksyllä 2013, ja tulokset olivat lupaavia. On kuitenkin määriteltävä myös tälle uusi tyyppinimi, ennen kuin se voidaan saattaa markkinoille lannoitevalmisteenä, kasvualustana.

Tässä selvityksessä on koostettu ja tuotettu laajasti tietoa metsäteollisuuden prosesseista ja niissä syntyvistä sivuvirroista. Toimittamalla tieto sivuvirtojen ominaisuuksista ja saatavuudesta niille tahoille, jotka käyttävät lannoitevalmisteita tuotannossaan, on mahdollista, että sivuvirtojen käyttö lannoitevalmisteenä tehostuu. Käytön myötä metsäteollisuus toivoo tuotteiden kysynnän kasvavan, jotta niiden sisältämät ravinteet päätyisivät hyödylliseen käyttöön, eivätkä vain polttoon tai kaatopaikoille. Näin voidaan säästää myös arvokkaita luonnon resursseja.

9. Liitteet

1. Metsäteollisuuden sellaisenaan käytettävät sivuvirrat lannoitevalmisteasetuksen mukaisina tyyppiniminä.

10. Viitteet

¹ Lähde: Metsäteollisuus ry.

² Noora Huotari, Tuhkan käyttö metsälannoitteena, Metla, 2012. <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2403-0/Tuhkaopas-2012-2painos.pdf>

³ Mikko Moilanen, Tuhkalannoitus nykytiedon valossa, esitys, Metla, 2011. <http://www.metla.fi/tapahtumat/2011/sum-seminaari/esitykset/Moilanen.pdf>

⁴ Ekokem, TUULI-hanke tähtää tuhkan ja kuonan hyötykäytön tehostamiseen, hanke-kuvaus, 2012. <http://www.ekokem.fi/fi/media/tiedotteet/tuuli-hanke-tahtaa-tuhkan-ja-kuonan-hyotykayton-lisaamiseen>

⁵ Evira, Lannoitevalmisteiden lainsäädäntö, ajantasainen yhteenveto-sivusto. <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto>

⁶ Evira, Lannoitevalmisteiden kansallinen tyyppinimiluettelo, ajantasainen yhteenveto-sivusto. <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/tyyppinimiluettelo/>

- ⁷ Evira, Lannoitevalmisteiden valmistus ja markkinoille saattaminen, ajantasainen yhteenveto-sivusto. http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely_ ja_ tuotanto/lannoitevalmisteet/valmistus_ ja_ markkinoille_ saattaminen/
- ⁸ Linnunmaa Oy, Metsäteollisuuden sivutuote- ja jätevirrat teollisena raaka-aineena – lait ja määräykset, 2011. <http://www.linnunmaa.fi/binary/file/-/id/40/fid/200/>
- ⁹ KnowPulp 7.0 oppimisympäristö. Prowledge Oy.
- ¹⁰ Stålhandske, V., Sulfaattisellun valkaisuun käytettävien kemikaalien tuotanto ja valmistuksen energiankulutus, Kandidaatintutkielma, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2009. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/44569/nbnfi-fe200903311277.pdf?sequence=3>
- ¹¹ Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1935/2004 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:fi:PDF>
- ¹² Komission asetus (EY) N:o 2023/2006 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvien materiaalien ja tarvikkeiden hyvistä tuotantotavoista. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:384:0075:0078:fi:PDF>
- ¹³ SFS-EN ISO 22000 Elintarviketurvallisuuden hallintajärjestelmät.
- ¹⁴ Sokka, T. Päällystyksen kemialla, Stora Enso Oyj, 2009.
- ¹⁵ Valtonen, O. Pastalietteen hyödyntäminen raaka-aineena, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2000. <http://www.doria.fi/handle/10024/34611>
- ¹⁶ Thun, R., Korhonen, M. (toim.) 1999. Sihti 2: energia- ja ympäristöteknologia: tutkimusohjelman vuosikirja 1998, projektiesittelyt, VTT Symposium 191, Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/1999/S191.pdf>
- ¹⁷ Metsäteollisuus, Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2012, 2013. <http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/606.pdf>
- ¹⁸ Matilainen, M., VISA 2 hankkeen loppuraportti, Joensuun yliopisto, 2009.
- ¹⁹ Ojanen, P., Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät, 2001. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=74361>
- ²⁰ Ylimys, S. Kuorihiekan kasvualuekäyttömahdollisuudet, Opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu, 2013. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66148/Kuorihiekan%20kasvualuekäyttömahdollisuudet.pdf?sequence=1>
- ²¹ Deems T. Stanley A., Flotation process for purifying calcite US 3990966 A, 1975. <http://www.google.com/patents/US3990966>
- ²² Dammann, H., Sebb, W., Process for bleaching natural chalk US 4572825 A, 1986. <http://www.google.pl/patents/US4572825>
- ²³ ProAgria Keskusten liitto (toim.), Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa, Opas-hanke, 2013. http://www.mmm.fi/attachments/elo/newfolder/lannoiteaineet/6J0IEpdSu/Puhdistamolietteen_ kaytto_ maataloudessa.pdf
- ²⁴ Lohiniva E., Mäkinen T., Sipilä K., Lietteiden käsittely, Uudet ja käytössä olevat tekniikat, VTT tiedotteita 2081, Espoo 2001. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>
- ²⁵ Pöyry Environment Oy, Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky –selvitys, Sitra, 2008. <http://www.sitra.fi/NR/rdonlyres/BFCEC181-4AD7-4B1A-B7B6-27045F8280FC/0/Lietteenk%C3%A4sittely.pdf>
- ²⁶ Stuckey D.C., McCarty P.L., The effect of thermal pretreatment on the anaerobic biodegradability and toxicity of waste activated sludge. Water Res. 18(11), 1984, 1343.
- ²⁷ Li Y.Y., Noike T., Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment. Wat. Sci. Tech. 26(3-4), 1992, 857.
- ²⁸ Knapp J.S., Howell J.A., Treatment of primary sewage sludge with enzymes. Biotechnol. Bioeng., 20, 1978, 1221.
- ²⁹ Yasui H., Shibata M., An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process. Wat. Sci. Tech. 30(9), 1994, 11.
- ³⁰ Gaudy Jr. A.F., Yang P.Y., Obayashi A.W., Studies on the total oxidation of activated sludge with and without hydrolytic pretreatment. JWPCF 43(1), 1971, 40.
- ³¹ Woodard S.E., Wukasch R.F., A hydrolysis/thickening/filtrating process for the treatment of waste activated sludge. Wat. Sci. Tech. 30(3), 1994, 29.
- ³² Mukherjee S.R., Levine A.D., Chemical solubilization of particulate organics as a pretreatment approach. Wat. Sci. Tech. 26(9-11), 1992, 2289.
- ³³ Müller J., Mechanischer Klärschlamm-aufschluß. PhD thesis, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik, Technical University of Braunschweig, 1996.
- ³⁴ Kunz P.M., Wagner S., Ergebnisse und Perspektiven aus Untersuchungen zur Klärschlamm-desintegration. awt abwassertechnik 1, 1994, 50.
- ³⁵ Neis U., Plaß R., Bode I., Steuerung der Sekundärschlammströme aus der Schlammbehandlung. In: 8. Karlsruher Flockungstage 1994: Klärschlamm - Ressource oder kostenintensiver Abfall?, H.H. Hahn (Hrsg.), Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, 1994, 91.

-
- ³⁶ Chiu Y.C., Chang C.N., Huang W.S., Chao A., Effect of ultrasonic and alkaline pretreatment on WAS characterization. J. Chinese Inst. Envi. Engrg. 7(1), 1997, 25.
- ³⁷ Tieh A., Nickel K., Neis, U., The usage of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge, Tutkimusraportti, Aqua Sonic Management Pty, Ltd. <http://www.aquasonicmanagement.com/asm-files/31%20Khz-3.5Kw%20SewageSludge.pdf>
- ³⁸ Lafitte-Trouqué S., Forster C.F, The use of ultrasound and γ -irradiation as pre-treatments for the anaerobic digestion of waste activated sludge at mesophilic and thermophilic temperatures, Bioresource Technology, 84(2), 2002, 113. Abstract: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240200038X>
- ³⁹ Davidsson Å, Jansen J.laCour, Pre-treatment of wastewater sludge before anaerobic digestion – hygienisation, ultrasonic treatment and enzyme dosing, Vatten, 62, 2006, 335. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=3917104&fileId=3917111>
- ⁴⁰ Luostarinen S., Paavola T., Ervasti S., Sipilä I., Rintala J., Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat, MTT raportti 27, 2011. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti27.pdf>
- ⁴¹ a. Bux M, Baumann R., Quadt S., Pinnekamp J., Mühlbauer W., Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying, Drying Technology: An International Journal, 20 (4-5), 2002, 829. Abstract: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/DRT-120003765#Ulv351DIZXg> b. Mathioudakis V.L., Kapagiannidis, A.G., Athanasoulia E., Paltzoglou A.D., Melidis P., Aivasidis A., Sewage Sludge Solar Drying: Experiences from the First Pilot-Scale Application in Greece, Drying Technology: An International Journal, 31(5), 2013, 519. Abstract: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2012.744998#U1612FDIZXg>
- ⁴² Samaras P., Papadimitriou C.A., Haritou I., Zouboulis A.I., Investigation of sewage sludge stabilization potential by the addition of fly ash and lime, Journal of Hazardous Materials, 154(1-3), 2008, 1052. Abstract: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407016135>
- ⁴³ Poon C.S., Chu, C.W., Planting grass on stabilized chemically assisted precipitated sewage sludge, Toxicological & Environmental Chemistry, 72(3-4), 1999, 159. Abstract: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02772249909358834#U101DFDIZXg>
- ⁴⁴ Gupta A.K., Mishra R.K., Sinha S., Lee B.-K., Growth, metal accumulation and yield performance of *Brassica campestris* L. (cv. Pusa Jaikisan) grown on soil amended with tannery sludge/fly ash mixture, Ecological Engineering, 36(8), 2010, 981. Abstract: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857410000741>
- ⁴⁵ Su D.C., Wong J.W.C., Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge, Environment International, 29(7), 2004, 895. Abstract: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412003000527>
- ⁴⁶ Isännäinen S., Huotari H., Mursunen H., Lentotuhkan itsekovetus, Tutkimusraportti VTT Energiassa tehdyistä laboratoriotutkimuksista, Metsätehon raportti 30, Metsäteho Oy, Helsinki 1997. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_030.pdf
- ⁴⁷ Hakala E.-M., Voimalaitostuhkan käyttö kuituliikenteen stabiloinnissa Lievestuoreen Laajalahden kunnostustyössä, Opinnäytetyö, Tampereen AMK, Jyväskylä 2009. <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8002/Hakala.Eino-Matti.pdf?sequence=2>
- ⁴⁸ Ketosalu, K., Metsäteollisuuden lentotuhkien laadun vaikutus hyötykäyttösovellutuksiin, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2006. <http://www.doria.fi/handle/10024/30557>
- ⁴⁹ Orava, H., Lentotuhkien fraktiointi sähkösuodattimella ja Ion Blast –menetelmällä, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2003. <http://www.doria.fi/handle/10024/34459>
- ⁵⁰ RecAsh 2003-2006. Tuhkan käyttö metsälannoitevalmisteena. [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handböcker/Handboken/RecAsh_handbok\(finska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Handböcker/Handboken/RecAsh_handbok(finska).pdf)
- ⁵¹ Korpijärvi K., Mroueh U.M., Merta E., Laine-Ylijoki J., Kivikoski H., Järvelä E., Wahlström M., Mäkelä E., Energiatuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön, VTT Tiedotteita 2499, Helsinki, 2009. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2499.pdf>
- ⁵² Lindh, T., Isännäinen, S. ja Mursunen, H., Metsäteollisuuden tuottaman tuhkan ja bioliikenteen käsittely metsälannoitteeksi. VTT Energiaraportteja 10/2001. http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/enerap_10_2001.pdf
- ⁵³ Patentti US4121945 (A) – 1978-10-24, Fly ash benification process. <http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=19781024&DB=EPODOC&locale=fi FI&CC=US&NR=4121945A&KC=A&ND=5>
- ⁵⁴ Michalíková, F., Floreková L., Benková, M., Flotation of Slovak fly ashes, Fyzikochemické problémy Mineralurgii, 30, 1996, 49. <http://www.minproc.pwr.wroc.pl/journal/pdf/1996/5%20Michalikova.pdf>
- ⁵⁵ Cao, Y.J., Li, G.S., Liu, J.T., Zhang, H.J., Zhai, X., Removal of unburned carbon from fly ash using a cyclonic-static microbubble flotation column, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 112, 2012, 891. <http://www.saimm.co.za/Journal/v112n10p891.pdf>

-
- ⁵⁶ Walker, A., Wheelock, T.D., Separation of Carbon from Fly Ash Using Froth Flotation, *Coal Preparation*, 26(4), 2006, 235. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07349340601104883?journalCode=gcop19#.UmK6FPnIZXg>
- ⁵⁷ Toikka, M. 1998. Soodasakan ja tuhkan määrän minimoiminen ja hyötykäytön edistäminen sellu- ja paperiteollisuudessa. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 82. Helsinki. ISBN 952-11-0321-3.
- Toikka, M. 1999. Sellu- ja paperiteollisuuden jätteiden käsittely ja hyötykäyttö. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 131. Kouvola. ISBN 952-11-0544-5.
- ⁵⁸ Österbacka, J., Esikäsittelyn vaikutuksesta puu- ja turvetuhkien ominaisuuksiin ja ravinteiden liukenemiseen. Metsätehon raportti 109, 2001.
- ⁵⁹ Cheng, T.W., Chu, J.P., Tzeng, C.C., Chen, Y.S., Treatment and recycling of incinerated ash using thermal plasma technology, *Waste management* 22, 2002, 485. <http://www.cc.ntut.edu.tw/~twcheng/Treatment%20and%20recycling%20of%20incinerated%20ash%20using%20thermal%20plasma%20technology%20.pdf>
- ⁶⁰ Ylimys, S. Kuorihiekan kasvu- ja käyttömahdollisuudet, Opinnäytetyö, Puutarhatalouden koulutusohjelma, Hämeen ammattikorkeakoulu, 2013. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66148/Kuorihiekan%20kasvu- ja %20k%C3%A4ytt%C3%B6mahdollisuudet.pdf?sequence=1>
- ⁶¹ Makkonen, T. (toim.), Tuhkalannoitus. Tapio, Metsäkustannus Oy, 2008. http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Metsatietostandardi/tuhkalannoitusopas_fin.pdf
- ⁶² Tyynelän maanparannus, Tyynelän maanparannuksen menetelmät ja tuotteet, 2013. <http://tyynelanmaanparannus.fi/tietoa-toiminnastamme/>
- ⁶³ Kalkitusyhdistys, Kalkitusopas, 2007. http://www.kalkitusyhdistys.net/user_files/files/kalkitusopas_2007.pdf
- ⁶⁴ Käytännön maamies, Kalkkitaulukko, Kokonaisneutralointikyky. <http://www.kaytannonmaamies.fi/s/f/editor/attachments/kokonaisneutralointikyky.pdf>

Liite 1. Metsäteollisuuden sellaisenaan käytettävät sivuvirrat lannoitevalmisteasetuksen mukaisina tyyppiniminä.

1A7 Tuhkalannoitteet

Nro 1A7	Tyyppinimi / voimaan tulo	Valmistusmenetelmä ja siihen liittyvät vaatimukset sekä käyttörajoitukset	Keskeisten aineosien vähimmäispitoisuus	Tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot
1	Puun ja turpeen tuhka MMMa 12/07 MMMa 19/09 muutettu MMMa 24/11 muutettu	Puun, turpeen tai peltobiomassojen tuhka. MMMa 24/11, liite I, 1A7 Tuhkalannoitteet. MMMa 24/11, liite IV, taulukko 1. Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet epäorgaanisissa lannoitteissa.	2 % P+K 6 % Ca Muussa kuin metsäkäytössä Neutraloiva kyky 10 % (Ca)	Kokonaisfosfori (P) Vesiliukoinen fosfori Kokonaiskalium (K) Kokonaiskalsium (Ca) Neutraloiva kyky % (Ca) Kosteus % Haitallisten metallien pitoisuudet As,Cd,Cr,Cu,Pb,Ni,Zn,Hg Raaka-aineet

3A5 Maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet

Nro 3A5	Tyyppinimi / voimaan tulo	Valmistusmenetelmä ja siihen liittyvät vaatimukset sekä käyttörajoitukset	Ravinteiden ja muiden ominaisuuksien vähimmäispitoisuus	Tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot
4	Kuituliete MMMa 12/07	Kateaineena sellaisenaan käytettävä puuteollisuuden kuivaliete. Ei sisällä merkittävästi ravinteita.		Johtokyky Kosteus Orgaaninen aines

2A2 Sellaisenaan kalkitusaineena käytettävät sivutuotteet

Nro 2A2	Tyyppinimi / voimaan tulo	Valmistusmenetelmä ja siihen liittyvät vaatimukset sekä käyttörajoitukset	Ravinteiden ja muiden ominaisuuksien vähimmäispitoisuus	Tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot
4	Meesakalkki MMMa 12/07	Selluloosan valmistuksessa syntyvä sivutuote	Neutraloiva kyky 20 % (Ca)	Neutraloiva kyky Hienousaste Kosteus Haitallisten metallien pitoisuudet Neutraaliin ammoniumsitraattiin ja veteen liukoinen fosfori
7	Kalkkiuunin suodinpöly MMMa 12/07	Kalkkiuunin sähkösuotimista talteen otettava kalkkipöly	Neutraloiva kyky 35 % (Ca)	Neutraloiva kyky Kalsium (Ca) Hienousaste Kosteus Haitallisten metallien pitoisuudet Neutraaliin ammoniumsitraattiin ja veteen liukoinen fosfori

3A3 Maan rakennetta parantavat aineet

Nro 3A3	Tyyppinimi / voimaan tulo	Valmistusmenetelmä ja siihen liittyvät vaatimukset sekä käyttörajoitukset	Ravinteiden ja muiden ominaisuuksien enimmäispitoisuus	Tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot
1	Kate-materiaali MMMa 12/07	Teknisesti käsittelemällä puusta, kuoresta tai muusta orgaanisesta materiaalista valmistettu tuote, joka voi koostua yhdestä tai useammasta raaka-aineesta ja joka voi sisältää myös kivennäisainesta.	Ilmoitetun raaka-ainesuhteen poikkeama +/- 10 % Sallittu palakoon vaihteluväli +/- 20 %	Raaka-aineet (tilavuus- tai paino %) sekä lisätyt aineet (mm. värjäysaine) Palakoko (seulakoko) Tilavuuspaino