

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**PUU- JA TURVEPERÄISTEN TUHKIEN KÄYTTÖ  
HAPPAMIEN VESIEN NEUTRALOINNISSA**

**Usage of wood and peat ash in neutralizing of acid water**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Ville Uusitalo

Lappeenrannassa 26.9.2011

Jelena Jaakkola

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	3
1.1 Työn tausta.....	3
1.2 Työn tavoitteet .....	4
2 VESISTÖJEN HAPPAMOITUMINEN JA NIIDEN KUNNOSTUS .....	4
2.1 Happamoitumisongelma Suomessa .....	4
2.1.1 Ilmaperäinen happamoituminen.....	5
2.1.2 Muut happamoitumislähteet .....	6
2.2 Vesistöjen kunnostus .....	8
2.2.1 Kalkkineutralointi .....	8
2.2.2 Muut kunnostustoimenpiteet.....	10
3 TUHKA JA SEN VESISTÖVAIKUTUKSET .....	12
3.1 Tuhkan yleiset ominaisuudet .....	12
3.2 Tuhkan vesistövaikutukset.....	14
3.2.1 PH, alkaliniteetti ja johtokyky .....	15
3.2.2 Kloridi-, sulfaatti- ja kaliumpitoisuudet.....	15
3.2.3 Raskasmetallit .....	16
3.2.4 Fosfori.....	16
3.2.5 Kasvi- ja eläinplanktonit.....	17
3.3 Muut vesistötutkimukset.....	18
4 LAINSÄÄDÄNTÖ .....	18
4.1 Mitä vesiin saa päästää .....	18
4.2 Tuhkan käytön rajoitteet .....	19
4.2.1 Jätelaki .....	19
4.2.2 Lannoitevalmistelaki.....	20
4.2.3 REACH-asetus.....	21
4.2.4 EU-direktiivi kaatopaikoista .....	21
4.2.5 Ympäristönsuojelulaki .....	22
5 TUHKAN SOVELTUVUUS .....	22
5.1 Tuhkalta vaadittavat ominaisuudet .....	22
5.2 Tuhkan ja kalkin vertailu .....	24

6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	25
6.1 Mahdollisuuksia ja rajoituksia .....	25
6.2 Mahdolliset käyttökohteet.....	28
6.2.1 Turvetuotannon valumavedet .....	28
6.2.2 Suora järvilannoitus .....	28
6.2.3 Happamat sulfaattimaat .....	28
7 YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET .....	31

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Suomessa syntyy vuosittain metsäteollisuudessa ja muissa energiantuotantolaitoksissa puun ja turpeen poltossa valtavat määrät tuhkaa. Lannoitekäyttöön soveltuvia puutuhkia arvelaan syntyvän vuosittain 150 000 tonnia ja turvetuhkaa 350 000 tonnia. Kuitenkin vain pieni osa käytetään hyödyksi lannoitteena tai rakennusmateriaalina. Lannoitekäyttöön puutuhkista päätyi vuonna 2003 vain 10 %, joten markkinarako on merkittävä. Toisen, vuodelta 2009 olevan arvion mukaan vuosittain syntyy 500 000 tonnia puu-turvetuhkia, joista hyödynnetään puolet. Suurin osa päätyy kaatopaikalle. Tämä ei jatkossa ole välttämättä yrityksille edullista, koska jätelait ja EU:n määräykset tiukentuvat. Tuhkien hyötykäytön tehostamiselle on siis useita syitä. (Tulonen et al. 2000, 6; Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 4; Saarinen 2009, 7-8.)

Teollistumisesta lähtenyt voimakas fossiilisten polttoaineiden käyttö käynnisti valtavat tyypen ja rikin oksidien päästöt ilmaan. Nämä muuntuivat happamiksi laskeumiksi ja vaurioittivat erityisesti Skandinavian herkkiä ekosysteemejä. Tämä ongelma tajuttiin julkisesti vasta 1970-luvulla, kun happamat laskeumat olivat jo ehtineet happamoittaa Suomessa 5000 järveä, lähinnä pieniä metsäjärviä. Lisäksi arvioitiin yli 2200 kalakannan vaurioituneen. Ne ovat nyt elpymässä. (Suomen ympäristökeskus 2010.) Ruotsissa ja Norjassa happamoitumisongelma on ollut vielä suurempi ja niiden korjaamiseksi on panostettu valtionkin taholta huomattavat määrät rahaa. Pääasiallisena kunnostustoimenpiteenä on ollut happamoituneiden vesien kalkitseminen. (Weppling ja Iivonen 2005, 274.)

Puun ja turpeen tuhkien toimittajia olisi Suomessa useita, jos niille pystytään kehittämään käyttökohteita. Tiedetään, että metsien lannoittamiseen on käytetty niin kalkkia kuin puun ja turpeen tuhkiakin. Mielenkiintoinen kysymys onkin, soveltuisivatko nämä tuhkat myös happamien vesistöjen neutralointiin. Tuhkien hyötykäyttöön olisi olemassa valtava potentiaali. Niin ympäristön kuin taloudenkin näkökulmasta syntyy jopa painetta kehitellä sopivia käyttökohteita. Tässä työssä käsitellään mahdollisuutta käyttää puu- ja turvetuhkia happamien vesien neutralointiin.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, soveltuvatko puun ja turpeen poltossa jäljelle jääneet tuhkat hyötykäytettäväksi turvesoiden valumavesien tai happamien vesistöjen veden laadun parantamiseen. Koska aiheesta on hyvin vähän kirjallisia viittauksia, lähestymistapoja on useita. Pohjustukseksi tässä työssä tutustutaan vesistöjen happamoitumiseen ja sen ekosysteemivaikutuksiin. Tavoitteena on selvittää, mitkä ovat potentiaaliset happamoitumiskohteet Suomessa ja miten niitä on tähän asti hoidettu. Myös tuhkan ominaisuuksista pyritään saamaan kattava kuvaus. Näiden tietojen avulla arvioidaan tuhkan soveltuvuutta neutralointiaineksi ja mahdollisia käytännön haasteita, kuten lainsäädäntöä.

# 2 VESISTÖJEN HAPPAMOITUMINEN JA NIIDEN KUNNOSTUS

## 2.1 Happamoitumisongelma Suomessa

Happamoituminen tarkoittaa maaperän tai järiveden puskurikyvyn heikkenemistä tai sen happamuuden lisääntymistä johtuen happamasta kuormituksesta. Makeat järvedet ovat maaperää herkempiä happamoitumiselle, koska veden puskurikyky perustuu kalkkiin tai humuksen sisältämään orgaaniseen aineeseen. Maaperässä sen sijaan on lisäksi maahiukkasia ja mineraaleja, jotka toimivat kationeina. Happamoitumisesta puhuttaessa käytetään usein käsitettä pH. Se ilmaisee vapaiden vetyionien määrää tietyssä liuoksessa tai aineessa. Asteikko liikkuu 0 ja 14 välillä. Hapan arvo on neutraalin, luvun seitsemän, arvon alapuolella. Veden pH-arvo ei kuitenkaan yksistään kuvaa, milloin jokin on hapanta, sillä esimerkiksi humusvedet ovat luontaisesti hieman happamia, mutta niiden puskurikyky on parempi kuin kirkkailla vesillä. Puskurikyky syntyy, kun maaperässä tai vedessä on emäskatiooneita. Ne sitovat myös haitallisia metalleja vähentäen niiden haitallisia vaikutuksia. Tähän liittyen käytetään käsitettä alkaliniteetti eli emäksisyys. Happamoituneissa vesissä alkaliniteetti on nolla. (Hakala ja Välimäki 2003, 70-71, 78-79.) PH:n arvo puolestaan on 4-4,5. Aluksi puskurikyvyn heikkeneminen voi näkyä vain keväisin ja syksyisin, kun valumat ovat suurimmillaan, mutta happamoitumisen edettyä alkaliniteetin alhaiset arvot ovat ympärivuotisia. Myös metallipitoisuuden kohoaminen kertoo ilmiön etenemisestä. Loppuvai-

heessa veden alumiinipitoisuus voi olla 200 - 400 µg/l. (Weppling ja Iivonen 2005, 273-274.)

Suomen kallioperä ja kivennäismaat ovat puskurikyvyltään tavallista heikompia. Erityisen herkkiä happamoitumiselle ovat latvusjärvet, pienet metsäjärvet ja purot. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 13.) Suomalaisen järvien etuna naapurivaltioihin on ollut niiden humuspitoisuus, jopa 90 prosenttia luokitellaan humusjärviksi (Hakala, Välimäki 2003, s. 79). Oman yksittäisen herkän kohteen muodostavat sen sijaan Pohjanmaan vesistöt, sillä maaperä on hapanta sulfaattimaata, joka happamoittaa ojitusten ja maaperän kohoamisen johdosta valumavesiä. Nämä valumavedet kerääntyvät jokien alaosiin, suistoihin ja makeanveden altaisiin. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 23-24.) Happamoitumistutkimusprojektin (HAPRO) tekemän otantatutkimuksen mukaan kymmenesosa Etelä- ja Keski-Suomen järviolasta oli hyvin hapanta, alle 5,0 pH. Tämän arvon alle jäi kaikkiaan 4100 järveä. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 17.)

Vesistön pH:n muutos vaikuttaa vesieliöiden elinvoimaisuuteen. On tiettyjä lajeja, jotka viihtyvät vähän happamammassa tai emäksisemmässä vedessä. Happamissa vesistöissä kuitenkin lajimäärä vähenee. Kasveista viihtyvät lähinnä kelluslehtiset ja pohjaa valtaavat rahkasammalet. Ravut, kotilot ja simpukat vähenevät jo pH:n alitettua kuuden. Kaloista särki- ja lohikalat kärsivät ensimmäisinä. Kalojen lisääntyminen häiriintyy ja kiduksiin kertyy myrkyllistä alumiinia. Kalakanta kokonaisuudessa pienenee muutamassa vuodessa. (Weppling ja Iivonen 2005, 276.)

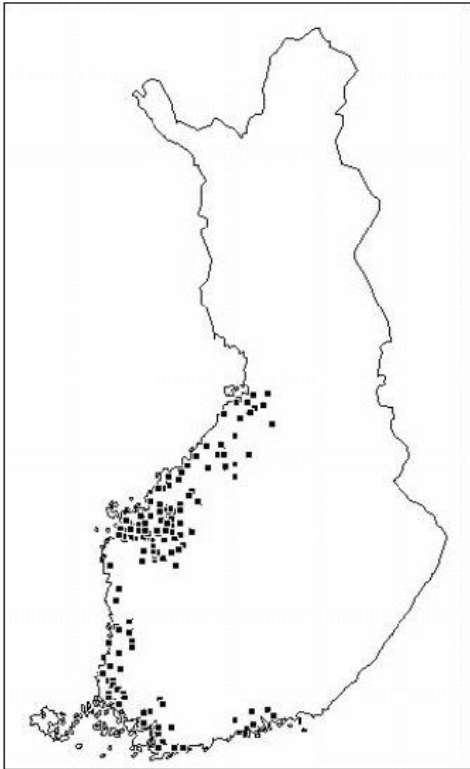
### **2.1.1 Ilma-peräinen happamoituminen**

Happamoituminen johtuu pääosin rikkilaskeumista ja siksi rikkipäästöjen hillitseminen on ollut Suomessa ensisijainen keino ehkäistä happamoitumisongelmaa (Iivonen ja Kenttämies 1995, 11). 1980-luvulla suoritettujen laajien ilmansuojelutoimenpiteiden vähensivät rikkipäästöjä jyrkästi. Happamoituneiden vesistöjen kunnossa on tämän jälkeen havaittu parantamista eri puolilla Eurooppaa. Suomessa suurimmat erot on havaittu eteläisissä osissa. (Suomen Ympäristökeskus 2010.) Vähennyksen vaikutukset näkyvät tosin pahiten kärsineissä vesistöissä edelleen hitaasti. Happamoittavaa kuormaa lisää maaperiin kerääntynyt happamuus, joka huuhtoutuu edelleen vesistöihin. (Weppling ja Iivonen 2005, 273.) Sa-

malla kun rikin merkitys vähenee, typpilaskeuman rooli happamoittajana kasvaa (Iivonen ja Kenttämies 1995, 11). Fossiilisten polttoaineiden käytön vaikutukset ovat kansainvälisiä. Rikin ja typen yhdisteet nimittäin voivat kulkeutua ilmassa kauas päästölähteestään. (Weppling ja Iivonen 2005, 273-274.) Arvioiden mukaan typpipäästöistä 30 % laskeutuu Suomeen takaisin ja rikkipäästöistä 17 % (Hakala ja Välimäki 2003, 73). Eli Suomen omaa energiantuotantoa kehittämällä ei voida täysin rajata happamoitumista pois.

### **2.1.2 Muut happamoitumislähteet**

Toinen merkittävä happamoitumistekijä on happamat sulfaattimaat. Pohjanmaan alavalla rannikolla on entisen Litorinanmeren pohjasedimenttiä, johon on saostunut rikkiä sulfidimuodossa. Sillä ei ole happamoitavaa vaikutusta niin pitkään, kun se pysyy hapettomissa olosuhteissa. Maan kohoamisen ja viljelykäyttöön oton myötä happi on kuitenkin päässyt tunkeutumaan syvälle maahan, joten hapettumisreaktiot pääsevät käynnistymään. Vapautuva happamuus kuluttaa maaperän puskurikyvyn perustana olevat emäskationit ja karbonaatit loppuun. Tämä johtaa paitsi maaperän, myös maanesteen happamoitumiseen. Näiden ns. sulfaattimaiden valumavedet voivat olla siis erittäin happamia ja myös raskasmetallipitoisia. PH-arvot ovat usein 2,5-4 ja alumiinipitoisuus yli 50 mg/l. Alapuolisissa vesistöissä on havaittu jopa kalakuolemia tämän takia. (Weppling ja Iivonen 2005, 273-274.) Happamia sulfaattimaita esiintyy erityisesti Oulun, Kokkolan ja Vaasan ympäristössä laajalla alueella. Näitä alueita on merkittynä kuvassa 1. Suurimmat happamoitumisongelmat kohdistuvat jokivesistöihin, merenlahtiin ja padottuihin makeanvedenaltaisiin. Kriittinen kuormitus syntyy jo, kun sulfaattimaiden osuus valuma-alueesta on vajaa 5 prosenttia. Kaikkiaan sulfaattimaita on Suomessa 163 000 hehtaaria. (Rantala 1991, 11-12.) Niiden vakavuusaste vaihtelee. Kansainväliset mitat täyttäviä sulfaattimaita on alle 130 000 hehtaaria. Voimakkuudeltaan nämä sulfaattimaat ovat niin huomattavat, että valumavesien happamoitumista voi tapahtua jo salaojituksissa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 31.)



**Kuva 1.** Happamat sulfaattimaat Suomessa (Maa- ja metsätalousministeriö 2009).

Turvemaat ovat vähäravinteisia ja happamia. PH-arvo liikkuu välillä 3,0 ja 5,0. Arvo riippuu kunkin turvealueen ominaisuuksista, mutta harvoin pH-arvo on kuitenkaan neutraali. (Ihme et al. 1991, 13.) Turvetuotantoalueiden pohjamaana voi olla sulfaattimaata, joka aiheuttaa valumavesien happamuutta. Sulfaattimaat ovat melko yleisiä Pohjanmaalla. Happamuuskuormituksen riski kasvaa tuotannon loppuvaiheessa, jos kuivatusojituksessa pintavesi pääsee laskemaan alapuoliseen mineraalimaahan asti. Saman riskin synnyttää myös turpeen tuotantoalueen muuttaminen maa- tai metsätalouksikäyttöön. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 8, 43.) Vuonna 2010 Pohjois-Karjalan Jukajoella kuoli kaloja joukoittain, johtuen Vapon turvetuotantoalueelta valuneista happamista vesistä. Nämä valumavedet olivat laskeneet pH:n vesistössä niin alhaiseksi, että se oli ollut tappavaa. Poikkeuksellisen voimakkaan tapauksen arvioitiin johtuvan kuivasta kesästä, jolloin sateet eivät laimentaneet turvesuon valumavesien happamuutta. (Hämäläinen 2010.) Toinen samankaltainen, mutta päinvastainen ilmiö ovat happamat sateet. Jos sateen mukana tulee runsaasti happamuutta ja veden viipymä on lyhyt, maaperä ei ehdi neutraloida sateita ennen niiden huuhoutumista vesistöön. Maaperän neutraloiva kyky voi olla toisaalta myös kulunut loppuun, jolloin tulos on sama. (Wepling ja Iivonen, 273-274.)



## 2.2 Vesistöjen kunnostus

### 2.2.1 Kalkkineutralointi

Pitkälle kehittynyt happamoituminen on aiheuttanut erityisesti Ruotsissa ja Norjassa merkittäviä kalastovaurioita. Molemmat maat ovatkin päätyneet kalkitsemaan happamia vesistöjään pH:n nostamiseksi. Lisäksi kalkitustutkimuksia on tehty paljon Skotlannissa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Ruotsissa kalkitsemistoimenpiteet kuuluvat kansalliseen strategiaan. Esimerkiksi vuonna 1993 ohjelman piiriin kuului 6700 järveä, 300 virtavesikohdetta ja 1400 kosteikkoa. Myös Norjassa kalkitaan satoja vesistöjä. Sekä Norjan että Ruotsin valtio tukevat kalkitsemista vuosittain huomattavin määrärahoihin. Usein korvaus kattaa 80 % kalkituskustannuksista. Suomalainen korkean tason kalkitustoiminta on vertailumaitaan vaatimattomampi. Toiminta on keskittynyt lähinnä yksittäisiin kohteisiin ja valtio on ollut mukana vain koetoiminnassa. Kalkkineutralointi onkin jäänyt lähinnä kalastuskuntien hoitettavaksi. Kunnostuskohteita on 200, suurin osa on aktiivisimmalta ajalta 1980-luvulta. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 11-12, 18; Weppling ja Iivonen, 274.) Itse kalkitustoimintakin on vaatimattomampaa. Sillä on pyritty lähinnä turvaamaan kala- ja rapukannat vaurioituneimmilla järvillä. Keino on ollut tilapäinen ja kunnostusmenetelmänä tämäkin on vähentynyt. (Suomen Ympäristökeskus 2009.) Vuosittain tehdään enää muutama kunnostuskalkitus (Weppling ja Iivonen 2005, 274).

Neutraloinnin tarkoituksena on hoitaa vesistöjen happamoitumisen aiheuttamia vaurioita tai ehkäistä niiden kehittymistä kriittiseksi. Kyse ei ole pelkästään pH-arvon muuttamisesta neutraaliksi, vaan vesiekosysteemin toiminnan turvaamisesta. Neutralointia käytetään myös kalaston parantamiseen. Neutralointi ei ole kertaluontoinen toimenpide, vaan sen vaikutusten väliaikaisuuden takia sitä voidaan joutua toistamaan useasti. Toistojen välit riippuvat veden vaihtuvuudesta. Neutraloinnin toteuttaminen on tarkkaa työtä, sillä neutralointiaineen liiallisella käytöllä on haitallisia sivuvaikutuksia ja pahimmillaan päästään toiseen ääripäähän, rehevöitymiseen. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 28-29.)

Neutralointiaineena käytetään ylivoimaisesti eniten kalkkikivijauhetta eli kalsiittia ( $\text{CaCO}_3$ ). Vaihtoehtona on dolomiittikalkki ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), joka on hitaammin liukenevaa ja sisältää enemmän magnesiumia kuin kalsiitti. Aineen hienojakoisuus riippuu käytetystä levitysmenetelmästä. Järvikalkituksessa suositellaan käytettäväksi hienojakoista tuotetta,

jossa 80 % rakeista on läpimitaltaan 0-0,2 mm. (Weppling ja Iivonen 2005, 277.) Keskimääräinen hiukkasen kokojakauma on 0,03-0,05 mm. Hienojakoisuus vaikuttaa liukenevuuteen, sillä karkeammasta raekoosta vain osa liukenee välittömästi, osan liuetessa vähitellen vasta veden pohjalla. (Vesi- ja ympäristöhallinto, 1995 s. 45-46.)

Kalkitusmenetelmiä on useampia. Valuma-alueen kosteikkokalkitus, suora järvikalkitus ja annostelijat ovat yleisimmin käytettyjä menetelmiä. Kallein menetelmä on kalkita koko kosteikko, joka valuu happamaan vesistöön. Käytännössä tämä onnistuu vain levittämällä kalkkia helikopterista käsin. Tällä menetelmällä saadaan metalleja saostettua vaarattomampaan muotoon, mutta tämä menetelmä soveltuu vain niihin vesistöihin, joissa veden vaihtuvuus on suhteellisen nopea. Mikäli vaihtuvuus aika ilmoitetaan vuosina, on käytettävä suoraa järvikalkitusta. Tämä on edullisin ja käytetyin menetelmä, sillä levitystapoja on monia ja vaikutus näkyy nopeammin. Suora levitystapa vaatii kuitenkin kalkilta tai muulta käytettävältä neutralointiaineelta hyvää liukenevuutta. Usein kalkki on sekoitettuna valmiiksi veteen ja se levitetään kalkkimaitona järvelle. Annostelijoita käytetään virtaavien vesien ja erittäin nopeasti vaihtuvien vesien kalkitsemiseen. Ne vaihtelevat toiminta-ajoiltaan, energialähteiltään ja annostelumääriltään. Annostelu voidaan säädellä monipuolisesti eri hydrologisin tekijöiden mukaan. Muunlaisia menetelmiä on useita, joista mainittakoon kalkkikaivot, puronpohjien ja tieojien kalkitus ja tiesuolan korvaaminen kalkilla. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 42-43, 45.)

Pohjanmaan sulfaattimaiden alueella on kalkitsemistoimenpiteenä keskitytty virtavesien kalkkineutralointiin (Weppling ja Iivonen 2005, 274). Käytössä on ollut kolme menetelmää; kalkkihiekkasuodatuskentät, ojanpohjansuodatus ja kalkkisuodinojat. Kaikki toimivat samalla periaatteella eli johdetaan vedet kalkkiseoksen läpi ja annetaan fosforin ja kiintoaineen sitoutua siihen. Tämä vähentää valumavesien happamuutta. Kalkkiseos levitetään menetelmästä riippuen ojanpohjalle, imeytyskentälle tai suodatinrakenteeseen. Kalkkiaines tai suodatin on vaihdettava tietyin väliajoin uuteen, koska suodatusteho vähenee. (Kaasinen 2010, 6-7.) Ojasuodattimissa on myös ongelmana, että ne vaativat pumppauksen ja sopivat siis vain kesäkäyttöön. PH:n nousu on varsin vaatimaton, noin 0,5 yksikköä. (Turveruukki 2009, 15.)

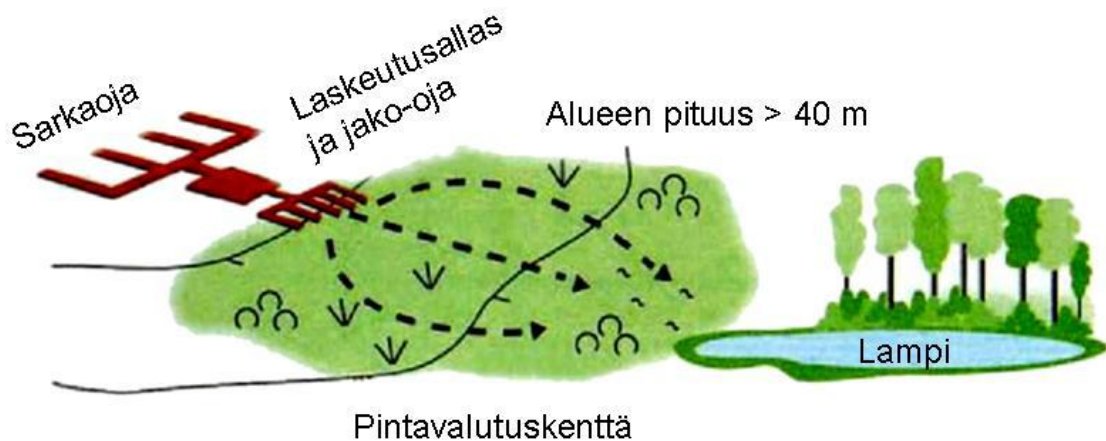
Neutraloinnin tuloksena veden happamuus vähenee ja puskurikyky vahvistuu alkaliniteetin noustessa. Tämä muutos on välitön. Tavoitteena on pH-arvo 6,5 ja alkaliniteetin arvo 0,1-0,2 mmol/l eli moolia sähköistä varausta litrassa. Neutralointiin käytetyn kalkin sisältämä alumiini voi saostuessaan aiheuttaa kertymää kaloihin. Toisaalta muiden metallien pitoisuudet vähenevät. Kalsiumpitoisuus, sähkönjohtavuus ja eräorgaanisen hiilen määrä kasvavat. PH:n muutoksen jälkeen eliöiden elinkyky vahvistuu elinympäristön olojen parantua. Lajimäärä voi kasvaa lisääntymistoiminnan helpotuttua ja happamille vesille herkät kalalajit palautuvat. Happamuutta hyvin sietäneet lajit puolestaan taantuvat. Yleisesti ottaen neutraloinnilla nähdään olevan myönteinen vaikutus monimuotoisuudelle. Kaiken kaikkiaan eliöyhteisön eri osa-alueet ja tasot palautuvat normaalitilaan, vaikkakaan happamoitumista edeltänyt luonnontila ei ole mahdollista. Muutoksessa menee aikaa, eikä lyhyen aikavälin muutokset aina ennusta, millaiseksi vesistö muuttuu pitkällä aikavälillä. Tilanne vesistössä vakiintuu eliöyhteisön tasolla aikaisintaan 10-15 vuoden kuluessa kalkituksen aloittamisesta, vaikka veden laatu muuttuisikin nopeasti. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 29; Wepling ja Iivonen 2005, 275-276.)

### **2.2.2 Muut kunnostustoimenpiteet**

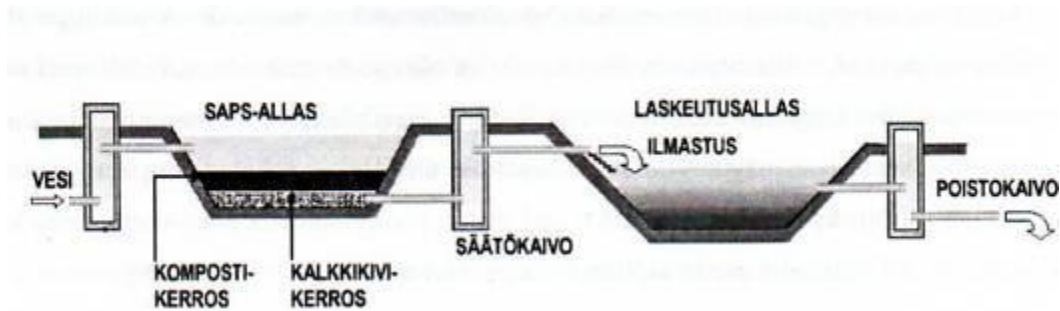
Happamien sulfaattimaiden suunnitelluissa kuivatushankkeissa otetaan huomioon valumavesien vaikutus purkuvesistöön ja mikäli sen arvioidaan ylittävän kriittisen rajan, käytetään ehkäiseviä toimenpiteitä. Keinona voi olla suunnitelmallinen, vaiheittainen kuivatus siten, että happamoitavat päästöt jakautuvat sekä ajallisesti, että paikallisesti sopivasti. Myös kalkitusta käytetään. Kun kuivatusojia kaivetaan, sen perkausmassat nostetaan pellolle levitettäväksi. Kalkitukset kohdistetaan suoraan perkausmassoihin, jotta happamoituminen lieventyy heti alkutekijöihinsä. (Palko et al. 1988, s. 28-29.) Käytännön tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että vesistön happamoitumisen kannalta ei riitä, että kalkkia levitetään maan pintakerrokseen. Todelliset vaikutukset saadaan aikaan vasta, kun kalkki saadaan lisättyä syvemmälle maahan sulfidihapetusreaktioiden polttopisteeseen. Menetelmissä on siis kehitettävää. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 55.) Yksi vaihtoehto on virtavesiä suoraan kalkitseva vakituinen kalkitusasema. Näitä on perustettu Kruununpyyn- ja Sirppujoelle. (Rantala 1991, s. 77.) Erityisesti pelloilla menetelmän valintaan vaikuttaa paljon maatalouden ympäristötuen saanti, koska haettavat kohteet vaihtuvat vuosittain valtioneuvoston asetusten mukaan. Tarjolla on kuitenkin ollut kalkkisuodinojitusta, tehostettua kalkitusta ja säätösalaajitusta. Myös happamien sulfaattimaiden kalkitsemista on toimenpide-

tuettujen listalla ollut, mutta vain Pohjanlahden valuma-alueilla. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 21.)

Turvetuotantoalueilla ympäristölupa määrää pitkälti, millainen vesiensuojelutoiminta kohteessa on. Määräykset ovat tapauskohtaisia, mutta valtakunnallista ohjeistusta on olemassa. Niiden mukaan turvetuotantoalueilla tulee ottaa huomioon suopohjan maalaji. Sulfidisedimentit ja mustaliuske ovat happamoitumisen riskitekijöitä ja niiden esiintyminen on selvitettävä. Kuormitusta ehkäisevät ja vähentävät toimenpiteet määrätään ympäristöluvassa. Happamien ojamaiden kalkitukset kuuluvat tähän yhtenä hyväksytyistä ja jopa suositelluista keinoista suojella vesistöjä. Muut vesiensuojelutoimenpiteet ovat samankaltaisia kuin metsätaloudessakin ja perustuvat veden hydrologian hallintaan. Happamat sulfaattimaat otetaan huomioon menetelmiä valittaessa. Yleisimpiä ovat sarkaojat, lietesyvennykset, laskeutusaltaat, pintavalutuskentät, virtaaman säädöt, kosteikot ja kemiallinen puhdistus. Näitä on esitetty kuvassa 2. Kaivostoiminnan puolelta on ongelmatyyppien samankaltaisuuden vuoksi sovellettu ratkaisuja valumavesien happamuuden hallintaan. Yksi näistä keinoista on anaerobinen kalkkipato (SAPS), jonka tarkoitus on neutraloida kuivatusvesiä ja saostaa veden sisältämät metallit. Kuvassa 3 on havainnollistettu, kuinka linja koostuu eloperäisellä aineella suodattavasta ja kalkkikivellä neutraloivasta altaasta, sekä selkeytysaltaasta. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 27, 29, 49, 58.)



**Kuva 2.** Turvetuotantoalueen vesiensuojeluratkaisut (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 49, kuva 12).



**Kuva 3.** SAPS-altaan toimintaperiaate (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 58, kuva 15).

## 3 TUHKA JA SEN VESISTÖVAIKUTUKSET

### 3.1 Tuhkan yleiset ominaisuudet

Neutraloinnissa tärkein tekijä on pH-arvo, joka puutuhkalla on 10-13 eli se on hyvin emäksistä (Korpilahti 2004, 12; Makkonen 2008, 8). Teoriassa se siis soveltuisi happamoituneiden vesien neutralointiin ja käytännössä tuhkan neutraloiva kyky on havaittu hyväksi. Esikäsittely, kuten rakeistaminen, murskaaminen tai muu jalostamistoimenpide tosin alentaa puutuhkan neutraloivaa kykyä, koska aine ei tällöin liukene yhtä nopeasti. (Anttila 1998, 27-30.) Turpeen tuhka taas on selkeästi hapanta, joten sellaisenaan siitä ei ole neutraloinnissa hyötyä. Turvetta poltetaan yleisesti puupolttoaineiden kanssa, joten tarkastelussa otetaan molempien tухkien ominaisuudet huomioon. Lisäksi on huomattavaa, että laitoksilla syntyvä tuhka ei ole tasalaatuista, vaan sisältää usein pieniä määriä hiekkaa tai soraa. (Steenari et al. 1999, 123.)

Puu- ja turvetuhkat ovat lannoitekäytön näkökulmasta varsin vähäravinteisia. Merkittävin ravinne on kalsium, jota on 20-30 %. Tuhkassa kaliumia, booria ja fosforia on vähän, vain korkeintaan muutama prosentti. Typpeä ja orgaanista ainesta ei ole polttoprosessin takia lainkaan. (Makkonen 2008, 8.) Turpeessa ravinnepitoisuudet ovat puutuhkaan verrattuna pienempiä, paitsi fosforia on enemmän (Anttila 1998, 27-30). Ravinteiden pitoisuuksien lisäksi merkitystä on niiden vesiliukoisuudella. Tuhkassa on kalsiumia erilaisina yhdisteinä. Hyvin liukenevia ovat kalsiumoksidi, kun taas kalsiitti ja kalsiumsilikaatit ovat heikommin liukenevia. Suolat eli sulfaatti, kloridi ja karbonaatti ovat kaikki liukoisia aineita. Kalium liukenee melko helposti, samoin rikki, natrium ja boori. Turvetuhkassa kalium ja

natrium ovat kuitenkin vaikealiukoisemmassa muodossa kuin puutuhkassa. Huuhtoutuminen on fosforin, magnesiumin ja tuhkan sisältämien metallien kohdalla alhainen, johtuen korkeasta pH:n arvosta. Fosforia lisäksi sitoutuu tuhkan alumiini- ja rautayhdisteisiin. Pidemmällä aikavälillä kuitenkin on huomioitavaa, että pH:n alentuminen saa aikaan myös metallien huuhtoutumista. (Anttila 1998, 27-30; Nieminen 2003, 17-18; Steenari 1999, 124.) Liukenevuudet vaihtelevat paljolti jo puutuhkien sisälläkin, mutta yleisesti ottaen voidaan todeta, että ravinteiden huuhtoutuminen on tuhkalannoitteista heikompaa kuin kaupallisissa lannoitteissa. (Isomaa 2010, 8-9.) Tämä ominaisuus suojaa tuhkanneutraloivia vesistöjä rehevöitymiseltä.

Taulukko 1: Puun ja turpeen tuhkien ominaisuudet ja liukoisuudet (<sup>1</sup>Ranta ja Wahlström 2002, 9-10; <sup>2</sup>Nieminen 2003,17).

	Puutuhka <sup>1)</sup>	Liukoisuus <sup>2)</sup>	Turvetuhka <sup>1)</sup>	Liukoisuus <sup>2)</sup>	Yksikkö
<b>Ravinteet:</b>					
Fosfori (P)	-	-	-	-	%
Vesiliukoinen P	-	-	-	-	%
Kalium (K)	4,7	helppo	0,7	vaikea	%
Kalsium (Ca)	12	-	6,78	-	%
Magnesium (Mg)	1,24	keski	0,6	keski	%
Rikki (S)	4,01	helppo	4,01	helppo	%
Boori (B)	-	helppo	-	helppo	%
Kupari (Cu)	-	keski	-	keski	%
Rauta (Fe)	3,16	-	7,44	-	%
Natrium (Na)	0,69	helppo	0,3	vaikea	%
Pii (Si)	13,7	-	18,6	-	%
<b>Haitalliset raskasmetallit:</b>					
Alumiini (Al)	3,03	-	11,2	-	%
Elohopea (Hg)	0,0-1,0	-	0,1-2,0	-	mg/kg
Kadmium (Cd)	0,4-40	vaikea	0,5-5	vaikea	mg/kg
Arseeni (As)	0,2-60	-	2-365	-	mg/kg
Nikkeli (Ni)	20-250	vaikea	30-700	vaikea	mg/kg
Lyijy (Pb)	15-1000	vaikea	75-970	vaikea	mg/kg
Kupari (Cu)	15-300	-	60-160	-	mg/kg
Sinkki (Zn)	40-5100	-	10-540	-	mg/kg

Merkittävin rajoitekysymys liittyy tuhkan raskasmetalleihin. Raskasmetallit ovat tiheitä metalleja, jotka ovat suurina pitoisuuksina haitallisia. Puun ja turpeen tuhkaan rikastuu erityisen helposti ja haitallisia määriä kadmiumia. Kadmiumpitoisuus voi olla lentotuhkas-

sa jopa 10 mg/kg. Elohopeaa tuhkassa ei ole, koska se haihtuu poltettaessa helposti. (Korpilahti 2004, 8, 12.) Useimmat raskasmetallit, kuten nikkeli, lyijy ja alumiini ovat tuhkassa hyvin vaikealiukoisessa muodossa (Isomaa 2010, s. 8-9). Taulukosta 1 voidaan todeta, millaiset vaihteluvälit raskasmetalleilla on sekä puun, että turpeen tuhkissa. Vaikka monet raskasmetallit esiintyvät suurinakin pitoisuuksina, niiden myrkyllisyysvaikutus on alhaisempi. Niitä koskevat raja-arvotkin ovat tällöin korkeammat.

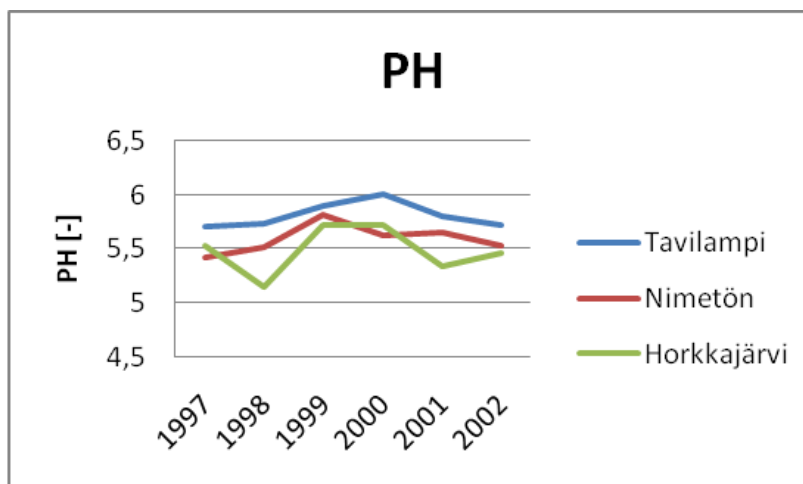
Turpeessa voi olla suoalueesta riippuen vaihteleva määrä radionuklideja, jolloin myös tuhka voi olla lievästi radioaktiivista. Toiminnanharjoittajan pitäisi ottaa se huomioon tuhkien käsittelyssä. Sama koskee myös puutuhkaa, mikäli se on seospolttoaineessa mukana. Turpeen käyttö polttoaineena voi johtaa lisäselvitysten tekemiseen, ennen kuin tuhkaa voidaan käyttää hyödyksi. (STUK 2001, 25, 35-36.)

### **3.2 Tuhkan vesistövaikutukset**

Tässä luvussa tarkastellaan tuhkan vaikutuksia vesistössä käyttämällä hyväksi tehtyä tutkimusta valuma-alueen tuhkalannoituksen vesistövaikutuksista kolmella metsäjärvellä. Ensimmäinen järvi oli Tavilampi, jonka valuma-alue oli sekä turve- että kivennäismaata ja toinen kohde oli Nimetön, joka oli valuma-alueeltaan pääosin turvemaata. Kolmas kohde, Horkkajärvi, oli vertailutapauksena mukana tutkimuksessa. Tarkasteluajanjaksona oli viisi vuotta lähtien alkutilanteesta vuonna 1997 ja lannoitusvuodesta 1998 aina vuoteen 2002 asti. (Tulonen et al. 2003, 8.) Kyseinen tutkimus ei suoraan selitä tuhkan hyötyjä ja haittoja veden laadun parantamisessa, mutta antaa viitteitä siitä, millaiset kemialliset olosuhteet tuhkan levittämisestä mahdollisesti seuraisi. Tässä luvussa viitataan myös muihin samankaltaisten tutkimusten johtopäätöksiin. Huomattavaa on, että veden kemiasta tehdyt tutkimukset jakautuivat kahteen osaan; pintaveden (0-2 m) ja alusveden (5 m) mittauksiin. Jäljempänä esitetyt havainnot koskevat nimenomaan pintavedestä tehtyjä tuloksia, sillä kemiallisia muutoksia ei juuri havaittu vähähappisessa alusvedessä. Syy tähän on myös mielenkiintoinen kysymys harkittaessa suoran tuhkalannoituksen vaikutuksia. (Tulonen et al. 2003, 14, liite 2.)

### 3.2.1 PH, alkaliniteetti ja johtokyky

Valuma-alueen tuhkalannoituksen aiheuttamat pH:n muutokset eivät ole suuria, mutta verrattuna kontrollijärveen, kuvasta 4 pystytään toteamaan, että lievää kasvusuuntausta on tapahtunut ja vuosittaiset vaihtelut ovat vähäisemmät tuhkaisia valumavesiä saaneissa jär-  
vissä. Erityisesti lannoitusta seuranneena vuonna on pH-arvojen ero Horkkajärven ja Ni-  
mettömän välillä huomattava lähtötilanteeseen verrattuna. Johtokyky tai alkaliniteetti eivät  
selvästi ole muuttuneet paremmiksi tai huonommiksi. Vuosittaiset vaihtelut näyttävät ole-  
van tulkittavissa sattumiksi, kuten esimerkiksi epätavallisen kuivaksi tai sateiseksi kesäksi.

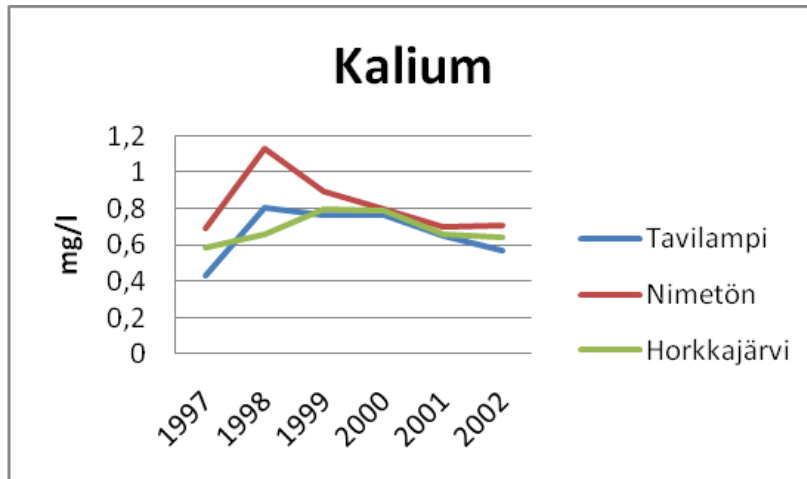


**Kuvat 4:** Alkaliniteetin, johtokyvyn ja pH:n muutokset tutkituissa vesistöissä (Tulonen et al. 2003, liitteet 2-4).

### 3.2.2 Kloridi-, sulfaatti- ja kaliumpitoisuudet

Kaliumin arvoista on selvimmin havaittavissa tuhkalannoituksen seuraukset. Pitoisuus oli korkeimmillaan heti talvilannoituksen jälkeisenä keväänä ja laskusuunnasta huolimatta se on pysynyt korkeana useamman vuoden. Lisäksi lannoitetun turvemaan purosta mitattiin nelinkertaisia arvoja heti lannoituksen jälkeen. (Tulonen et al. 2003, 11.) Tuhkan sisältämän kaliumin on todettu useissa tutkimuksissa olevan ravinteista ensimmäinen, joka liukee valumavesiin. Myös sulfaatti- ja kloridipitoisuudet kasvavat tämän takia, koska kaliumin liukeneminen tapahtuu suoloina. (Tulonen et al. 2000, 35.)





**Kuvat 5:** Kaliumin pitoisuuksien muutokset tutkituissa vesistöissä (Tulonen et al. 2003, liitteet 2-4).

### 3.2.3 Raskasmetallit

Kadmium- ja elohopeapitoisuuksia mitattiin Tavilammen ja Horkkajärven vesisiirroista ja ahvenen maksasta. Kummassakaan ei havaittu merkittäviä muutoksia, vaan vaihtelu oli molemmissa vesistöissä samansuuntaista ja kadmiumia havaittiin kontrollijärvessä jopa enemmän kuin lannoitetun valumaveden saaneessa järvessä. Myös muut yleisimmät raskasmetallit tutkittiin samalla tavalla, mutta ilman mainittavia tuloksia. (Tulonen et al. 2003, 28.)

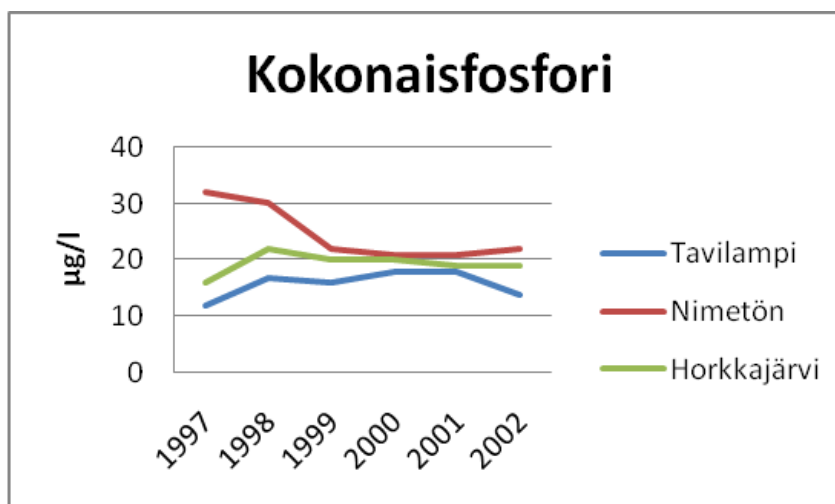
Useissa tutkimuksissa on analysoitu, millaisia vaikutuksia puutuhkalla lannoittamisella on maaperän vesikemiaan. Havaitaan, että kaikista raskasmetalleista esiin nousee kadmium, jonka pitoisuus nousee merkittävästi lannoituksen jälkeen. Muista raskasmetalleista, kuten kupari, lyijy, nikkeli, kromi ja sinkki, ei ole huomionarvoista kertymää mittauksissa havaittu edes kuukausien kuluessa lannoituksesta. Myöskään vesiekosysteemissä haitallisen alumiinin pitoisuuksissa ei ole mainittu merkittäviä nousuja. (Ring et al. 1998, 1-2.)

### 3.2.4 Fosfori

Kokonaisfosforin pitoisuudet ( $\mu\text{g/l}$ ) tutkimusjärvissä ovat vaihdelleet vuosittain hyvin vähän lannoituksen jälkeen, jopa vähemmän, kuin ennen lannoitusta. Toisaalta tutkimuksessa todetaan, että valuma-alueelta tulevien purojen virtaamat ovat vähentyneet, joten se voi vaikuttaa tuloksiin. Sen sijaan voidaan tarkastella kokonaisfosforin pitoisuuksia Nimettö-

mään virtaavien kolmen puron välillä. Tällöin lannoitetun ja lannoittamattoman turvemaan valumavesissä havaitaan ero mitattaessa fosforipitoisuuksien kuukausikeskiarvoja; lannoitetussa se nousi ja lannoittamattomassa se laski. (Tulonen et al. 2003, 11.)

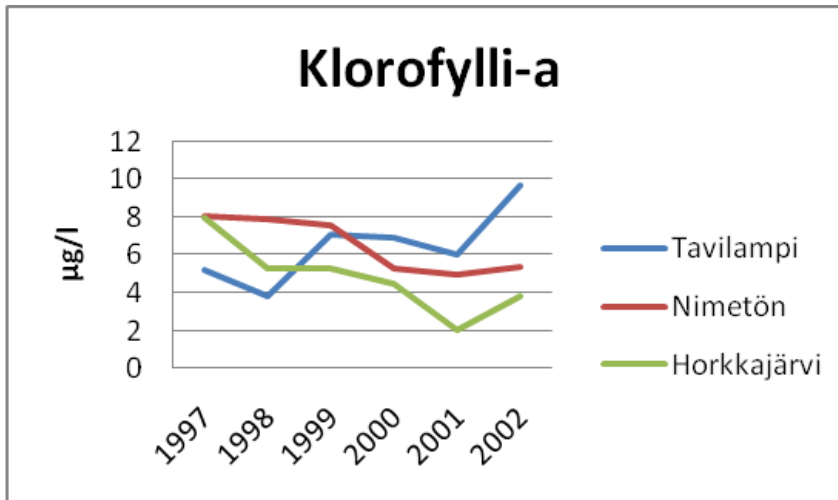
Tuhkalannoitteista on havaittu, että fosforin vapautuminen niissä on heikompaa kuin kaupallisissa lannoitteissa. Fosforin huuhtoumien vähäisyyttä selittää osaltaan fosforin sitoutuminen tuhkan rauta- ja alumiiniyhdisteisiin. Lisäksi fosforin liukoisuuteen vaikuttaa maaperän happamuus ja veden liike turpeen sisällä ja turvemaassa. Näistä johtuen fosforipitoisuuksiin voisi odottaa tilastollisia merkitsevyyksiä runsaiden sateiden ja korkeamman pH:n myötä. Maaperäkemian voimakkaan vaikutuksen takia ravinteiden huuhtoutumisen uskotaan kasvavan näkyvästi, jos tuhka olisi suorassa kosketuksessa veteen. Sama koskee myös raskasmetalleja. (Tulonen et al. 2003, 28; Makkonen 2008, 16.)



**Kuva 6:** Kokonaisfosforin muutokset tutkituissa vesistöissä (Tulonen et al. 2003, liitteet 2-4).

### 3.2.5 Kasvi- ja eläinplanktonit

Järvien perustuotantotason eli esimerkiksi kasvien yhteyttämistehokkuuden nousu todetaan kohonneista klorofylli-a -pitoisuuksista. Tutkimuksissa tehtyjen vuosittaisten mittaustuloksien perusteella ei voitu havaita selvää klorofylli-a:n pitoisuuksien nousua kuin korkeintaan Tavilammessa. Yleispätevää johtopäätöstä ei voida tehdä. Ainakaan tässä tutkimuksessa käytetty tuhkalannoitemäärä ei riittänyt nostamaan happamien järvien perustuotantoa, mutta ei toisaalta myöskään rehevöittänyt, koska arvot jäivät selvästi alle 10 µg/l.



**Kuva 7:** Klorofylli-a:n muutokset tutkituissa vesistöissä (Tulonen et al. 2003, liitteet 2-4).

### 3.3 Muut vesistötutkimukset

Valuma-alueen tuhkalannoituksen vaikutuksia alapuoliseen vesistöön on pohdittu paljon. Esimerkiksi Ruotsissa on suhtauduttu positiivisesti metsälannoitukseen happamien vesistöjen läheisyydessä siinä toivossa, että vesien laatuakin paranee. (Tulonen et al. 2000, 6.) Ruotsissa oli tutkimushanke, jossa selvitettiin kalkin ja tuhkan yhteislannoituksen vaikutuksia valuma-aluevesistöihin. Levitys tehtiin helikopterista käsin vuosien 1998-1999 vaihteessa. Perusannostus oli neljä tonnia kalkkia ja 2 tonnia tuhkaa per hehtaari. Vesikemiallisten analyysien avulla osoitettiin, että levitys vaikutti nopeasti purkuvesistöihin jo pieninä annoksina ja samankokoisina rakeina, kuin metsälannoituksessa tyypillisesti käytetään. PH-arvo nousi ja haitallisen epäorgaanisen alumiinin pitoisuudet laskivat. Onnistuneen hankkeen ansiosta saatettiin istuttaa pitkän tauon jälkeen puroihin happamoitumiselle herkkiä lajeja. (Larsson et al. 2003.) Tutkimuksia ei ole riittävästi, jotta niistä voitaisiin tehdä yleispäteviä oletuksia. Tarvitaan lisäselvityksiä.

## 4 LAINSÄÄDÄNTÖ

### 4.1 Mitä vesiin saa päästää

Vesilakia sovelletaan kaikkiin vesistöihin pois lukien ojat, pienet vesiuomat, lähteet tai kaivot. Vesilaista ei löydy suoraan sellaista pykälää, jonka voisi olettaa koskevan tai sivua-

van tuhkien levittämistä vesistöön. Vesienhoidosta annetun valtioneuvoston asetuksen mukaan on elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen laadittava ja noudatettava oman toimipiirinsä vesienhoitosuunnitelma. Tämä tarkoittaa kahta asiaa. Ensinnäkin ELY-keskusta tulee tiedottaa ennen tuhkan käyttöä vesistöjen neutralointiin. Toiseksi on oletettavaa, että neutralointitoimenpiteet tulee olla vesienhoitosuunnitelmaan sisällytetty tai ainakin noudattaa sen periaatteita. (Vesilaki.) Vesienhoitolaissa noudatetaan EU:n vesipuite-direktiivin pääajatusta, että vesiekosysteemien tilaa tulee parantaa. Tavoitteena on jäsen-maiden vesistöjen hyvä tila vuoteen 2015 mennessä. Valtioneuvosto vahvisti ensimmäiset alueelliset vesienhoitosuunnitelmat vuonna 2009. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, 14.) Koska vesistöjen tuhkalannoituksella pyritään neutraloinnin kautta juuri ekologisen tilan tasapainottamiseen, se ei riitele vesiensuojelun perusajatusta vastaan, vaan voi toimia perusteena.

Euroopan unionissa on säädetty vesipolitiikan alan prioriteettiaineiden luettelo, johon on luokiteltu niitä aineita, jotka vesiin päästyään antavat aiheutta huoleen. Tarkoituksena on kerätä tietoa haitallisista aineista, mutta listamerkintä tarkoittaa myös kyseisen aineen jou-tuvan säätelyn alaiseksi. Näitä aineita ei tulisi päästää ihmistoiminnan seurauksena veteen enempää, kuin mikä luonnollinen tausta-arvo on. Esimerkiksi elohopea on luokiteltu vaa-ralliseksi prioriteettiaineeksi.

## **4.2 Tuhkan käytön rajoitteet**

### **4.2.1 Jätelaki**

Jätelaissa määritellään jäte aineeksi tai esineeksi, jonka haltija on poistanut, aikoo poistaa tai on velvollinen poistamaan käytöstä (Jätelaki, 5§). Jätelaki on kuitenkin uudistumassa ja uuteen lakiin on luonnosteltu selvempiä määritelmä mm. sivutuotteesta. Hallituksen vuo-den 2010 ehdotuksen mukaan aine voidaan määritellä sivutuotteeksi eikä jätteeksi, jos:

- 1) ”aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus;
- 2) ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti;
- 3) aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana; sekä

- 4) aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioi- den aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.” (Saarinen 2010, 1.)

Nykyisen jätelain mukaan tuhkien lannoitekäyttö tulkittaneen jätteen hyötykäytöksi tai kierrätykseksi tai REACH-asetuksen piiriin kuuluvaksi. Uudella jätelailla puolestaan tuhkat mahdollisesti määritellään sivutuotteiksi.

Jätelain mukaan jätteet tulisi ensisijaisesti hyödyntää uudestaan, mikäli se on kohtuullisin keinoin mahdollista. Tuhkan epätasaisen laadun vuoksi se on ollut vaikeata ja siksi sillä onkin kuormitettu kaatopaikkoja. Yritykset ovat suosineet teollisuuden omia kaatopaikkoja, koska tuhkan läjittäminen sinne on kustantanut ainoastaan kuljetus- ja muut kulut. Jäteverolain mukaista kaatopaikalle sijoitettavan jätteen veroa ei ole tällöin tarvinnut maksaa. (Lapin ympäristökeskus 2009, dia 5; VTT 2002, 46.) Uusi vuoden 2012 voimaan astuva jätelaki muuttanee tätäkin käytäntöä.

#### **4.2.2 Lannoitevalmistelaki**

Lannoitevalmistelaissa säädellään tuhkan käyttöä, sekä sen valmistusta ja kuljetusta. Lain säädökset määrittelevät laatuvaatimukset ja laadittavat tuoteselosteet lannoitekäytössä ole- ville tuhille. Tuoteselosteen takia tuhkasta pitää tietää pitoisuudet fosforille, kaliumille, kalsiumille, vesiliukoiselle fosforille, sekä prosentit neutraloivalle kyvyille ja kosteuspitoi- suudelle. Näiden tulee lisäksi alittaa enimmäispitoisuudet. (Makkonen 2008, 6-7.) Lannoitevalmisteiden tulee olla laadultaan tasaisia ja käyttöturvallisia. Tuhka ei saa sisältää ympä- ristölle tai terveydelle vaaraa aiheuttavia aineita. Tuhkan tuottajia veloitetaan valvomaan tuotteensa laatua ja noudattamaan toiminnassaan huolellisuus- ja varovaisuusperiaatetta. (Lannoitevalmistelaki.)

Maa- ja metsätalousministeriö valvoo yleisesti lannoitevalmistelain täytäntöönpanoa ja laatii tarkentavia asetuksia. Valvontaviranomaisen rooli puolestaan kuuluu Elintarviketur- vallisuuksivirastolle, joka tekee yhteistyötä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten kanssa. Elintarviketurvallisuuksivirastolta pitää hakea hyväksyntä laitokselle, joka valmistaa, käsittelee tai varastoi orgaanisia lannoitevalmisteita. Lupa voi olla määräaikainen ja sitoa toiminnanharjoittajaa erityisehtoihin. (Lannoitevalmistelaki.)

### 4.2.3 REACH-asetus

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) on Euroopan parlamentin laatima asetus, joka sisältää 40 säädöstä kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista ja rajoituksista, sekä vaarallisimpien aineiden lupamenettelystä. Tämä asetus sitoo suoraan Euroopan unionin jäsenmaita ja koskee kaikkia kemikaalien valmistajia, maahantuojia, käyttäjiä ja jakelijoita. Jätelaki ja REACH-asetus toimivat erillään ja luokittelu tapahtuu jätelainsäädännön perusteella. Mikäli jokin jätteeksi luokiteltu aine otetaan hyötykäyttöön samalla vapautuen jätelain velvoitteista, se siirtyy REACH-asetuksen piiriin. Rekisteröintiin liittyy uusiomateriaalien kohdalla kuitenkin lieventäviä poikkeuksia. Rekisteröintivelvollisuudesta vapautuu, jos kyseessä on jätteestä hyödynnettävä uusiomateriaali, joka vastaa ominaisuuksiltaan toista rekisteröityä tuotetta, tai kyseessä on tuotantopaikalla käytettävä väliaine. Energiantuotantolaitosten puu- ja turvetuhat vaativat siis rekisteröinnin, mikäli niitä käsitellään muuten kuin mekaanisesti ja käytetään muualla kuin tuotantopaikalla. (Tukes 2009.)

### 4.2.4 EU-direktiivi kaatopaikoista

Vuonna 1999 astui voimaan Euroopan unionin kaatopaikkadirektiivi, jonka mukaan vuodesta 2002 lähtien ei kaatopaikoille saa sijoittaa esikäsittelemätöntä jätettä. Lisäksi esitetään vaatimuksia kaatopaikkakaasujen talteen keräämisestä, kaatopaikkojen pintarakenteista, vesien hallinnasta ja biojätteen erikseen keruusta. Poikkeuksena muihin vaatimuksiin kaatopaikan pohjarakenteiden tuli vastata direktiivin vaatimuksia vasta vuonna 2007. (Ranta ja Wahlström 2002, 35, 38, 44-45.) Vaatimusten tiukentuminen vaikutti erityisesti teollisuuden omien kaatopaikkojen hallintaan. Tuhkan kannalta merkittävin asia saattaa kuitenkin olla se, että kaatopaikalle saa sijoittaa enää vain tietyn luokituksen mukaista jätettä. (Lapin ympäristökeskus 2009, dia 6.) Suomessa on kolme kaatopaikkaluokitusta; pysyvä jäte, tavanomainen jäte ja ongelmajäte. Eri kaatopaikoilla on eriaisteiset vaatimukset pinta- ja pohjarakenteille. Tähän asti tuhkan sijoittaminen tavanomaisen jätteen kaatopaikoille on kansallisesti ollut hyväksyttävää, mutta Euroopan unionin lainsäädännössä tuhkaa ei välttämättä nähdä riittävän inertiksi materiaaliksi. Luokitteluperusteiden puutteen takia kaatopaikkakelpoisuuden arviointi tehdään teknisten tietojen ja asiantuntijaviranomaisen lausunnon nojalla. (Ranta ja Wahlström 2002, 35, 38, 44-45.)

#### **4.2.5 Ympäristönsuojelulaki**

Ympäristönsuojelulain mukaan laitos, joka hyödyntää tuhkia ammattimaisesti, on haettava ympäristölupaa. Lupa haetaan kunnalta, jos hyödynnettävä määrä on alle 5000 tonnia tuhkaa vuodessa. Tämän ylittävä määrä vaatii luvan hakua aluehallintovirastolta. (Lapin ympäristökeskus 2009, dia 6.)

## **5 TUHKAN SOVELTUVUUS**

### **5.1 Tuhkalta vaadittavat ominaisuudet**

Puun polttaminen laitokseen kattiloissa asettaa suuria vaatimuksia materiaaleille ja siksi energiantuotannossa harvoin käytetäänkin pelkästään puuta. Lisänä on usein turvetta tai muita biomassoja. (Makkonen 2008, 8.) Ensimmäinen vaihe tuhkan ominaisuuksia analysoidessa onkin tietää, mitä polttoaineita on käytetty ja missä suhteessa. Polttoaineen sisältämät kivennäisaineet ja raskasmetallit nimittäin rikastuvat poltettaessa tuhkaan. (Saarsalmi ja Kukkola 2009, 68.) Toinen vaihe on tuntea polttoprosessin tapahtumat ja niiden vaikutukset tuhkan koostumukseen.

Puun ja turpeen kasvuympäristö määrää, millaisia pitoisuuksia tuhkassa on ravinteita ja raskasmetalleja, sillä kasvit ottavat ne maaperästä ja ne rikastuvat poltettaessa tuhkaan. Pitoisuudet voivat vaihdella siis turvesoittain ja metsittäin paljon. Puupolttoaineissa pitoisuusvaihtelua aiheuttavat myös puulajit. Esimerkiksi kadmiumia päätyy koivuun herkemmin kuin havupuihin. Turpeen radioaktiivisuusmittaukset voidaan tehdä ottamalla edustavat näytteet turveaumoista tai -kuormista. Näin voidaan laskea arviot tuhkalle, kun otetaan seospoltossa huomioon, että turpeen tuhkapitoisuus on suurempi kuin puun. (STUK 35-36.)

Tuhkan koostumukseen vaikuttavat palamisolosuhteet. Palamislämpötilan avulla voidaan arvioida, mitkä aineet ovat höyrystyneet tai sulaneet, vaikka eri sekoitukset voivatkin muuttaa ominaislämpötila-arvoja. Esimerkiksi boori höyrystyy 200 asteessa ja kadmium 700 asteessa. Kiertoleijupetipoltossa polttolämpötila on noin 850 astetta ja arina- ja pölypoltossa yli 1000 astetta. Nämä lämpötilat kuitenkin koskevat polttokammiota, joten savukaasut ehtivät jäähtyä, kun niitä johdetaan pois. Tiivistymistä ehtii siis tapahtua. Toisaalta

polttoteknisin toimenpitein voidaan vaikuttaa esimerkiksi raskasmetallien määrään tuhka-  
sa. Toinen tuhkan koostumukseen vaikuttavat seikka on savukaasujen puhdistuslaitteet.  
Kun polttoaineen palamattoman aineksen määrä on pieni, suurin osa tuhkasta saadaan puh-  
distuslaitteesta erotetusta lentotuhkasta. (Korpilahti 2004, 5.)

Tuhkan hyötykäytön ja sellaiseksi jalostamisen kannalta on tärkeää, että tiedetään tarkal-  
leen, millainen kyseinen tuhkaerä on. Tuhkaan liittyvä heikkous on laadun vaihtelevuus  
sekä pölyävyys. Tuhkasta pitäisi pystyä kohtuullisin keinoin tuottamaan tasaista jaetta,  
joka olisi helposti levitettävää tai rakeistavaa. Tämä vaatii esikäsittelyä. (Tulonen et al.  
2000, 6.) Käsittelemätön tuhka on niin pölyävää, että sitä on ainakin kostutettava vedellä  
riippumatta jatkokäsittelytekniikasta (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 8).  
Toinen ongelma jalostamisessa on, että laitoksen tuhkat kerätään yleensä samaan paikkaan.  
Jatkovaihetta ajatellen olisi järkevää pystyä erottelemaan eri tuhkalaadut toisistaan. Kun  
tiedetään, missä osassa laitosta tuhkassa on eniten haitallisia aineita, voidaan tuhkat jakaa  
soveltuvuutensa puolesta eri luokkiin. Huolellinen esikäsittely ja tuhkan keruu- ja jaotte-  
lusysteemit helpottavat tuhkan jatkokäsittelyä. (Ympäristöministeriö 2009.) Tuhkien jalos-  
taminen hyötykäyttöön säästää parhaimmillaan rahaa ja luonnonmateriaaleja, mutta kan-  
nattavuutta koetellaan jalostamisvaiheessa. Seostuhka on usein heterogeenistä ja varsinkin  
turpeen tuhka sisältää rakeistamista vaikeuttavia silikaatteja. (Anttila 1998, 27-30; Saari-  
nen 2009, 7-8.)

Taulukossa 2 on havainnollistettu, millaisia vaatimuksia tuhkalle voi olla raskasmetallien  
suhteen. Jos voimalaitoksen tuhkan sijoittaa kaatopaikalle, sovelletaan valtioneuvoston  
asetusta kaatopaikoista ja siinä määritellyistä liukoisuuden raja-arvoista. Tuhka on luokitel-  
tu Suomessa tavanomaisen jätteen luokkaan. Tuhkasta saa tällöin liueta esimerkiksi eloho-  
peaa veteen vain 0,2 mg yhtä kuiva-ainekiloa kohti. Liukoisuustestit tehdään standardin  
SFS-EN 12457/3 avulla. Tuhkan kaatopaikkaluokitusta voidaan mahdollisesti nostaa pysy-  
vän jätteen luokkaan, jolloin liukoisuusvaatimukset tiukentuvat. (VNa 23.3.2006/202.)  
Muut taulukon arvot ilmaisevat tietyn raskasmetallin pitoisuutta. Lukuja ei voi suoraan  
verrata keskenään. Metsätuhkan tai maanparannusaineen raja-arvot ovat siis todellisuudes-  
sa tiukempia kuin kaatopaikkajätteen raja-arvot. Periaatteessa, jos tuhkalannoite kelpaa  
pellolle, se kelpaa myös kaatopaikalle. Lentotuhkan raskasmetallipitoisuuksia kuiva-



aineessa tarkastelemalla havaitaan, että lannoitekäytön raja-arvot alitetaan melko varmasti, varsinkin, jos ottaa huomioon puuttuvan kosteuden. Tämä on esimerkkitapaus, sillä puu- ja turvetuhkan yleinen raskasmetallien vaihteluväli on hyvin laaja. Kaikki raja-arvot voivat joko alittua helposti tai myös ylittyä moninkertaisesti.

**Taulukko 2:** Tuhkien haitallisia raskasmetalleja verrattuna eri raja-arvoihin (<sup>1)</sup> Ranta ja Wahlström 2002, 9-10 <sup>2)</sup> Nieminen 2003, 17 <sup>3)</sup> Juuan Dolomiittikalkki Oy <sup>4)</sup> Suoniitty 2009, 2 <sup>5)</sup> Korpilahti 2004, 8 <sup>6)</sup> VNa 23.3.2006/202).

	<b>Elohopea (Hg)</b>	<b>Kadmium (Cd)</b>	<b>Arseeni (As)</b>	<b>Nikkeli (Ni)</b>	<b>Lyijy (Pb)</b>	<b>Kupari (Cu)</b>	<b>Sinkki (Zn)</b>	<b>Yksikkö</b>
<b>Puutuhka</b> <sup>1)</sup>	0,0-1,0	0,4-40	0,2-60	20-250	15-1000	15-300	40-5100	mg/kg
<b>Turvetuhka</b> <sup>1)</sup>	0,1-2,0	0,5-5	2-365	30-700	75-970	60-160	10-540	mg/kg
<b>Puuhakkeen ja turpeen lentotuhka (kuiva-aineessa)</b> <sup>2)</sup>	0,15	9,1	26	170	75	147	900	mg/kg
<b>Esimerkki kalkkikivi-jauhetuotteen sisällöstä</b> <sup>3)</sup>	0,03	0,3	3	20	10	20	50	mg/kg
<b>Tuhkalannoite, metsätuhkan- raja-arvot</b> <sup>4)</sup>	1	17,5	30	150	150	700	4500	mg/kg
<b>Maanparannusaineen raja-arvot</b> <sup>5)</sup>	2	3	50	100	150	600	1500	mg/kg
<b>Pysyvä jäte: raja-arvot (liukoisuus kuiva-ainekiloa kohti)</b> <sup>6)</sup>	0,01	0,04	0,5	0,4	0,5	2	4	mg/kg
<b>Tavanomainen jäte: raja-arvot (liukoisuus kuiva-ainekiloa kohti)</b> <sup>6)</sup>	0,2	1	2	10	10	50	50	mg/kg

## 5.2 Tuhkan ja kalkin vertailu

Kalkkikivituotteet ovat turvallinen ja tunnettu vaihtoehto. Niiden yliannostelu ei aiheuta rehevöitymistä tai haitallisen korkeita pH-arvoja. Neutralointivaikutus ulottuu veden pohjalle asti. Kalkitusta on käytetty paljon ja sen vaikutus tunnetaan hyvin. (Weppling ja Iivonen 2005, 277.) Tuhkien kohdalla vaikutukset tiedetään vain niiden tutkimusten perusteella, mitä on tehty metsien tuhkalannoituksesta valuma-alueella. Näidenkin tutkimusten perusteella voidaan vain luonnehtia lyhyen aikavälin vaikutuksia. Sitä, millaiseksi vesiekosysteemi muuttuu useampien vuosien kuluessa, ei ole pätevää arviota.

Kalkkituotteiden etu on niiden suuri kalsiumkarbonaattipitoisuus ja vähäinen epäpuhtaus. (Weppling ja Iivonen 2005, 277.) Kalkki on siis sisällöltään lähes ihanteellinen neutralointitarkoitukseen. Lisäksi vesien elohopea-, kadmium- ja sinkkipitoisuudet ovat vähentyneet kalkituksen jälkeen. (Tulonen et al. 2000, 37-38.) Tuhkassa on kalsiumia vain 20-30 prosenttia. Lisäksi tuhkassa on vähäisiä määriä muita ravinteita. Edellä esitetystä taulukosta 2 voidaan huomata, mikä on ero lentotuhkan ja valmiin kalkkituotteen raskasmetallipitoisuuksissa. Sinkin, kuparin ja nikkelin pitoisuudet ovat lentotuhkassa paljon suuremmat, vaikka kosteusprosentin ottaisi huomioon. Kalkkituote alittaa kaikki raja-arvot selvästi.

Kalkkineutraloinnin kustannustekijöitä ovat kalkitusaine, kuljetukset, levitys ja työvoima, sekä tarvittaessa laitteisto. Kalkkikivijauhetonni maksaa Suomessa yli 60 euroa. Kuljetuskustannukset ovat vajaa 20 euroa/t ja levitys maksaa tavasta riippuen 10-50 euroa/t. (Iivonen ja Kenttämies 1995, 49.) Oletettavasti raaka-ainekuluja lukuun ottamatta kustannustekijät ovat samankaltaiset tuhkan ja kalkin välillä, mikäli menetelmätkin ovat samanlaiset. Puu- ja turvetuhkia ei tiettävästi ole käytetty nimenomaisesti happamien vesien neutralointiin. Ja toisaalta kalkituksia vastaan ei ole kirjallisuudessa ollut kritiikkiä. Siksi tuhkia lieenee vaikea markkinoida kalkin sijaan käytettävänä tuotteena. Kun uusi tuote tulee markkinoille, sillä on yleensä jokin erityisominaisuus, joka erottaa sen muista kilpailevista tuotteista. Näillä näkymin tuhkan kilpailuetuna suhteessa kalkkiin on vain helppo saatavuus. Sitä syntyy jatkuvasti ja jopa vailla muuta käyttökohdetta.

## **6 JOHTOPÄÄTÖKSET**

### **6.1 Mahdollisuuksia ja rajoituksia**

Tuhkan ominaisuuksia tarkasteltaessa voidaan arvioida, että se soveltuisi happamien vesien neutralointiin. Tämän puolesta puhuu neutraloivan kalsiumin hyvä liukenevuus ja toisaalta muiden ravinteiden vähäisyys ja heikompi liukenevuus, joka ei veisi liian lähelle rehevöitymistä. Puun tuhka on voimakkaasti emäksinen. Turve on hieman hapanta, joten se ei käy yksistään neutralointiin, mutta kelpaa seospolttoaineeksi, mikäli sen osuus ei ole puuta

suurempi. Raskasmetalleista kadmium on sellainen tekijä, joka voi kohota liian korkealle estäen tuhkan hyötykäytön.

Vaikka turpeella maustettu puutuhka vaikuttaakin ominaisuuksiensa puolesta hyvältä, vaikkakaan ei kalkkia paremmalta, sen vaikutuksista vesistöön ei ole pätevää tutkimusta. Muiden vesistötutkimusten pohjalta voidaan kuitenkin olettaa, että pH:n nousua tulisi tapahtumaan, mikä alentaa myös raskasmetallipitoisuutta. Alkaliniteetti nousee vasta pitkemmän ajan kuluessa. Liiallisesta ravinteiden liukenemisesta ei liene vaaraa, vaan veden tila paranee korkeintaan neutraaliksi. Merkittävin vesistövaikutus olisi siis pH-arvon lisääntyminen, joka käynnistää sisäisen korjaantumisen. Jotta tämä jatkuisi, vesistöä jouduttaneen käsittelemään useampia kertoja, ellei kyse ole virtaavan veden neutraloinnista.

Seospolton yleisyyden vuoksi tuhkan epätasainen laatu kuitenkin voi haitata kannattavaa jalostamista. Kynnyskysymys saattaakin kuulua, missä määrin tuhkaa joutuu stabiloimaan tai rakeistamaan, vai onko vesistöneutraloinnissa esikäsittelyvaatimukset alhaisemmat kuin tavanomaisessa metsälannoituksessa. Suomessa on useampikin yritys, joiden toimintaperiaate perustuu voimalaitostuhkien jalostamiseen ja myyntiin. Kuitenkin suuri osa tuhkista päätyy kaatopaikalle. Tämä kertoo siitä, ettei tuhkia varten ole vielä pystytty luomaan toimivaa logistiikkaa. Tuhkan jatkokäyttö tulisi ottaa huomioon jo laitoksella tarkoituksenmukaisella keruusysteemillä ja varastoinnilla. Varastoinnissa ongelmana on sen vaatima ympäristölupa ja tilantarve. Kysyntä voi myös vaihdella vuodenaikojen mukaan. Pitkät kuljetusmatkat jalostajan ja tuottajan tai jalostajan ja käyttökohteen välillä johtavat myös tuhkan hyötykäytön kannattamattomuuteen.

Suomalainen lainsäädäntö yleisesti ottaen on myönteinen uusiokäytölle. Myös ympäristön luonnontilaiseksi palauttaminen on lain tukema periaate. Vielä on epäselvää, kuinka viranomaiset tulkitsevat tuhkan - jätteeksi, sivutuotteeksi vai uusiotuotteeksi. Käsitteilyvaatimukset ja raskasmetallien raja-arvot annetaan määritelmän mukaan. Koska kuitenkin on kyseessä luontoon levitettävästä aineesta, sen ominaisuuksista oletettavasti on tiukat vaatimukset. Tuhkan käyttäminen tullee vaatimaan joka tapauksessa laajemmat limnologiset tutkimukset, ennen kuin se hyväksyttäisiin levitettäväksi vesistöön. Myös luonnonsuojelulain suojaamat arvokkaat eliöt on huomioitava. Viranomaisyhteistyöstä tulee siksi hyvin

tiivistä, koska lupaa ei varmastikaan myönnetä, ennen kuin tietoa on tarpeeksi molemmin puolin.

**Taulukko 3:** Vertailua tuhkan hyvistä ja huonoista puolista

	Hyvää	Huonoa
Tuhkan ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ puutuhka hyvin emäksistä</li> <li>+ kalsiumia paljon</li> <li>+ ravinteita vain vähän, rehevöitymisen riski vähäinen</li> <li>+ useimmat raskasmetallit vaikealiukoisia</li> <li>+ ei typpeä tai orgaanista ainesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kadmiumia voi olla yli raja-arvon</li> <li>- turvetuhka on hapanta ja sen tuhkapitoisuus on suurempi kuin puun</li> <li>- laitoksissa käytetään yleensä seospolttoaineita</li> </ul>
Vesistövaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ metsälannoitteen ei tiedetä aiheuttaneen ongelmia alapuolissa vesistöissä</li> <li>+ pH:n nousua on todettu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ei voida arvioida, millaisia vesistövaikutukset tulevat täsmälleen olemaan, suuri jatkotutkimusten tarve</li> </ul>
Tuhkan jalostaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ prosessitietojen avulla voidaan karkeasti arvioida syntyvä tuhkan sisältö</li> <li>+ tuhkan esikäsittelymenetelmiä on olemassa (tuhkalannoitteet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- laadun vaihtelevuus, tarvitaan näytteenottoja</li> <li>- sisältää usein hiekkaa tai soraa</li> <li>- suuri pölyävyys</li> <li>- vaaditaan keruu- ja lajittelusysteemit laitokselle</li> </ul>
Lainsäädäntö	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ laki myönteinen uusiokäytölle</li> <li>+ vesistöjen tilan parantaminen tavoitteena vesiputedirektiivissa ja vesienhoitolaissa</li> <li>+ tiukempi jätelaki luo painetta käyttää tuhkia hyödyksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- raja-arvot voivat olla hyvin tiukat</li> <li>- vaaditaan tutkimuksia ennen käyttöä</li> <li>- tuhkan varastointi ja ammattimainen käsittely vaatii ympäristöluvan</li> </ul>

## **6.2 Mahdolliset käyttökohteet**

### **6.2.1 Turvetuotannon valumavedet**

Turvetuotantoalueen päästöt vesistöön eivät ole yksiselitteisiä. Ne voivat rehevöittää tai poikkeusoloissa happamoittaa vahvasti alapuolisia vesistöjä. Tämä johtuu siitä, että turvetuotannon vedet ovat aina hieman happamia, mutta niiden mukana voi liueta kiintoaineita, jotka edistävät rehevöitymistä. Siksi vaaditaan hyvää kohdetuntemusta, jotta voidaan osoittaa neutraloinnin tarpeellisuus. Mikäli näin voidaan tehdä, tuhka soveltuisi hyvin tähän tilanteeseen. Erityisesti turvepitoinen tuhka sisältäisi turvesoille ominaisia ravinteita, jolloin on perusteltua puhua eräänlaisesta palautuksesta. Turvetuotantoalueen erilaisen toimintaympäristön takia perinteiset kalkituksessa käytetyt menetelmät eivät ole helposti sovellettavissa. Tuhkan neutraloinnin sijoittamisessa tuleekin ottaa huomioon, mitä muita keinoja on turvesoilla käytetty veden hydrologian muokkaamisessa. Esimerkiksi laskeutusaltaat ovat varsin yleinen näky. Sillä saadaan aikaan veden viipymää, jolloin kiintoaineet laskeutuvat altaan pohjaan. Yksi ehdotus olisikin levittää tuhkaa tällaisessa altaassa veden pinnalle ja antaa sen vaikuttaa ennen veden johtamista eteenpäin.

### **6.2.2 Suora järvilannoitus**

Suomessa suurin osa happamista järivistä ja pienvesistöistä ovat humuspitoisia. Näillä on parempi puskurikyky verrattuna kirkasvetisiin järviin. Humusjärvien kalkitsemista ei ole suositeltu siksi käytettävän. Tuhkalla neutralointikaan ei ole siis järkevää. Muun tyyppisissä vesistöissä se voisi olla mahdollista. Erityisesti pienet ja kirkkaat metsäjärvet voisivat hyötyä paljonkin tuhkan neutraloinnista. Metsäinen pienekosysteemi parhaimmillaan rikastuisi, kun yksipuolistunut vesikasvillisuus muuttuisi, mikä vaikuttaa laajemmaltikin. Suomessa kalkitustoiminta on kuitenkin ollut hyvin vaatimatonta. Kiinnostus tuhkakäyttöön herännee enemmän kalastuskuntien keskuudessa, jotka haluavat parantaa happamien vesien kalakantoja. Liiketaloudellisesti suora järvineutralointi lienee marginaalisempaa. Käytännössä kalkin korvaaminen tuhkalla ei olisi niinkään ongelmallista, koska käytetyistä kalkitusmenetelmistäkin on suurta kirjoa, joista soveltaa.

### **6.2.3 Happamat sulfaattimaat**

Tuhka happamien sulfaattimaiden neutraloinnissa vaikuttaa realistisimmalta sovelluskohteelta. Happamia maita tiedetään Suomessa olevan paljon ja niiden valumavesiä on helppo

hallita suunnitelmallisella peltojen kuivatuksella. Kalkkia on käytetty paljon neutralointiin joko suoraan pelloille tai kuivatusojiin. Samoja menetelmiä hyväksi käyttäen voi tuhkaa hyödyntää. Tuhkalannoitus on yleisesti hyväksytty keino maaperälannoituksessa ja peltolevitys ei paljonkaan poikkea siitä. Tuhkan levittäminen pellolle olisi ehkäisevänä keinona tehokas. Ainoa ongelma on pystyä arvioimaan, paljonko tuhkaa tarvitaan, jotta nimenomaan maaperävesien kemia muuttuisi oikeanlaiseksi. Rajoittavana tekijänä on lisäksi, miten peltojen oma ravinnetalous vaikuttaa levitettävään määrään. Mikäli tämä osoittautuu liian ongelmalliseksi, parempi vaihtoehto voi olla asentaa kuivatusojiin suodattimet, joissa suodatinaineena on tuhka. Tällöin pellostä eriytyvä valmiiksi hapan vesi neutraloitaisiin ennen sen päätymistä purkuvesistöön. Vaiheittaiseen kuivatussuunnitelmaan yhdistettynä suodattimet ovat turvallinen ratkaisu. Laitteiston asentaminen ja suodatinpatjan vaihtaminen ovat merkittävimmät käytännön kysymykset.

## **7 YHTEENVETO**

Voimalaitosten tuotannon sivuaineena syntyvät puu- ja turveperäiset tuhkat ovat määrällisesti merkittäviä jätteitä, joiden loppusijoittaminen vaikeutuu uuden jätelain myötä. Hyötykäyttömuotoja on kehitelty, mutta mikään niistä ei ole saavuttanut sellaista suosiota, että se voisi yksistään ratkaista tuhkien sijoittamispulmat. Lisäksi tiukat rajoitteet ovat varsinkin lannoitepuolella rajoittaneet hyötykäytön kannattavuutta. Puu- ja turvetuhkien käyttöä vesien neutralointiin tai sen laadun parantamiseen ei ole kokeiltu suoraan eikä sitä varten ole erikseen laadittu ohjeita tai rajoitteita.

Tässä työssä on selvitetty puun ja turpeen poltossa syntyvän tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksia turvesoiden valumavesien tai happamien vesistöjen veden laadun parantamisessa.

Tarkastelujen pohjaksi on selvitetty vesistöjen happamoitumista ja sen ekosysteemivaikutuksia sekä esitetty eri happamoitumiskohteet Suomessa ja miten niitä on tähän asti hoidettu. Toisaalta on kuvattu puu- ja turvetuhkien ne ominaisuudet, jotka mahdollisesti aiheuttavat muutoksia vesistöominaisuuksiin. Työssä on myös kuvattu lainsäädäntö, joka voi aiheuttaa käytännön haasteita tuhkien käytölle. Näiden tietojen avulla on arvioitu tuhkan soveltuvuutta happamien vesien neutralointiaineeksi.

Emäksinen puuntuhka on ominaisuudeltaan neutralointikäyttöön soveltuva. Myös lievästi hapanturpeentuhka sopii pienessä määrin puuntuhkan oheisaineena. Eri ravinteiden määrä riippuu tuhkan puu-turve-suhteesta. Raskasmetalleista kadmium on merkittävin ja se voi rajoittaa tuhkan hyötykäyttöä. Polttoprosessien ja -aineiden erilaisuuden takia laadun vaihtelevuus on huomattava. Vaikka poltossa käytettäisiin puhtaasti puuta ja turvetta, täytyy vielä tuntea poltto-ominaisuudet, jotta voidaan arvioida, millaista on syntyvä tuhka. Jalostamisen kannalta tuhka pitäisi myös pystyä keräämään siten, että saadaan mahdollisimman puhdasta tuhkaa ja esikäsiteltyä sitä.

Tuhkien neutralointikohteista löytyi kolme eri vaihtoehtoa: happamat sulfaattimaat, turvetuotannon valumavedet ja happamat pienet vesistöt. Teoreettisesti nämä kaikki olisivat realistisia, koska tuhkan ominaisuudet tai lainsäädäntö eivät näyttäisi suoraan rajoittavan näitä pois. Kyse on enemmänkin siitä, kuinka saadaan tuhkaa jalostettua kannattavalla tavalla ja onko sille käytännössä kysyntää vesien neutralointikäyttöön. Kuten työssä todettiin, happamia vesistöjä on vähemmän ja niiden kalkituksetkin ovat vähentyneet. Tällöin suora järvilannoitus tuhkalla ei ole todennäköinen vaihtoehto. Turvetuotantoalueille tuhkan sijoittaminen on luontaista, mutta käytännössä toteutettavissa yksittäistapauksina. Happamien sulfaattimaiden ongelma on laajempi kuin happamat vesistöt ja tuhkan hyötykäyttö mahdollisempi.

Puu- ja turvetuhkalla on tämän työn perusteella useita hyviä puolia, jotka mahdollistavat hyötykäytön happamissa vesistöissä. Haasteellisia näkökohtia on kuitenkin enemmän. Suoraan tämän työn perusteella ei voida todeta selvää soveltuvuutta kuin teorian tasolla, joskaan ei myöskään mitään pois sulkea. Jatkotutkimuksen tarve on suuri. Erityisesti on selvitettävä vesistötutkimuksin, millä tavalla veteen liotettu tuhka vaikuttaa vedenlaadun parametreihin. Kun on kyse kokonaisesta järviekosysteemistä, parhaimmillakaan laboratoriotutkimuksilla ei voida täysin ennustaa kaikkia vaikutuksia ja siksi tarvitaan kenttäkokeiluja.

## LÄHTEET

Anttila, Paula. 1998. Tuhkan analysointi. Tuhkahankkeen väliseminaari 1998, Esitelmien tiivistelmät. Metsätehon raportti 52. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_052.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_052.pdf) [viitattu 10.2.2011]

Hakala Harri ja Välimäki Jari. 2003. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Suomen ympäristökeskus. 2. Painos. Tampere: Tammer-Paino/ Gaudeamus Kirja . ISBN 951-662-875-3

Hämäläinen Veli-Pekka. 2010. Turvepäästöt kalojen joukkokuoleman takana? YLE Pohjois-Karjala. 16.11.2010. Saatavilla [www-lähteenä: http://yle.fi/alueet/pohjois-karjala/2010/11/turvepaastot\\_kalojen\\_joukkokuoleman\\_takana\\_2144989.html](http://yle.fi/alueet/pohjois-karjala/2010/11/turvepaastot_kalojen_joukkokuoleman_takana_2144989.html) (päivitetty 17.11.2010) [viitattu 12.3.2011]

Ihme Raimo, Isotalo Lauri, Heikkinen Kaisa ja Lakso Esko. 1991. Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A, Vesi- ja ympäristöhallinto. Helsinki: Valtion painatuskeskus. ISBN 951-47-4721-6

Iivonen Pasi ja Kenttämies Kaarle. 1995. Happamoituneiden vesistöjen kalkitus Suomessa, neutralointiryhmän loppuraportti. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A. Vesi- ja ympäristöhallinto. Helsinki: Painatuskeskus Oy. 1995. ISBN 951-53-0023-1

Isomaa Jaakko. 2010. Rae- ja irtotuhka suometsien lannoituksessa. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, maa- ja metsätalouden yksikkö. Saatavilla [www-lähteenä: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13445/Opinnaytetyo\\_valmis.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13445/Opinnaytetyo_valmis.pdf?sequence=1) [viitattu 10.2.2011]

Juuan Dolomiittikalkki Oy. Paltamon kalkkikivijauhe, tekniset tiedot. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.dolomiittikalkki.fi/app/product/view/-/id/152/tab/tekniset\\_tiedot](http://www.dolomiittikalkki.fi/app/product/view/-/id/152/tab/tekniset_tiedot) [viitattu 31.8.2011]



Kaasinen Susanna. 2010 Valumavesien kemiallinen puhdistus ja suodatus. Saatavilla  
www-lähteenä: <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=119279&lan=fi> [viitattu  
12.3.2011]

Korpilahti Antti. 2004. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysi-tuloksia. Metsätehon raport-  
ti 172. Helsinki: Metsäteho Oy. Saatavilla www-lähteenä:  
[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_172.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_172.pdf) [viitattu 18.2.2011]

L 19.5.1961/264. Vesilaki. Saatavilla www-lähteenä:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1961/19610264> [viitattu 20.4.2011]

L 29.6.2006/539. Lannoitevalmistelaki. Saatavilla www-lähteenä:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539> [viitattu 6.3.2011]

L 3.12.1993/1072. Jätelaki. Saatavilla www-lähteenä:  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072> [viitattu 1.5.2011]

Larsson Per-Erik, Westling Olle och Abrahamsson Ingemar. 2003. En integrerad strategi  
för kalk- och askspridning i avrinningsområden, vattenkemiska effekter av markbehand-  
lingar. IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Saatavilla www-lähteenä:  
<http://www3.ivl.se/rapporter/pdf/B1435.pdf> [viitattu 1.5.2011]

Maa- ja metsätalousministeriö. 2009. Kohti happamien sulfaattimaiden hallintaa, ehdotus  
happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivoiksi. Saatavilla  
www-lähteenä: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=97584&lan=fi> [viitattu  
29.4.2011]

Makkonen Timo (toim.) 2008. Tuhkalannoitus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio  
Saatavilla www-lähteenä:  
[http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Metsatietostandardi/tuhkalannoitusopas\\_fin.  
pdf](http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Metsatietostandardi/tuhkalannoitusopas_fin.pdf) [viitattu 10.2.2011]

MMM:n asetus 13.2.2007/13. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Saatavilla www-lähteenä: <http://www.finlex.fi/data/normit/28518-07012fi.pdf> [viitattu 6.3.2011]

Nieminen Mika. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon raportti 155. Helsinki: Metsäteho Oy. Saatavilla www-lähteenä: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_155.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_155.pdf) [viitattu 6.4.2011]

Palko Jukka, Merilä Eero ja Soini Heino, 1988. Maankuivatuksen suunnittelu happamilla sulfaattimailla. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Vesi- ja ympäristöhallinto. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 1988. ISBN 951-47-1806-2

Ranta Jussi ja Wahlström, Margareta. 2002. Tuhkien laatu REFseospoltossa. VTT tiedotteita. VTT Prosessit. Toimitus Leena Ukskoski. Otamedia Oy, Espoo 2002. ISBN 951-38-5885-5. Saatavilla www-lähteenä: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2138.pdf> [viitattu 18.2.2011]

Rantala Aulis. 1991. Vesistöjen kalkitus happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Vesi- ja ympäristöhallinto. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 1991. ISBN 951-47-4722-4

Ring Eva; Jacobson Staffan; Nohrstedt Hans-Örjan. 1998. Självhårdad trädaska påverkade markvegetation och markvattenkemi. Skogforsk Resultat, 15/1998. Saatavilla www-lähteenä: <http://www.skogforsk.se/upload/Dokument/Resultat/1998-15.pdf> [viitattu 11.2.2011]

Saarinen Elina. 2009 Biovoimalan tuhkat käyttöön lähiseudulla. Uusiouutiset. 20/2009. Saatavilla www-lähteenä: [http://www.uusiouutiset.fi/pdf/uu2009\\_7\\_s06-07.pdf](http://www.uusiouutiset.fi/pdf/uu2009_7_s06-07.pdf) [viitattu 1.4.2011]

Saarinen Risto. Jätelaki uudistuu – Mikä muuttuu? EMAS-päivä, 21.10.2010. Suomen ympäristökeskus. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.oulu.fi/poves/eakr/tukos/pdf/kalliokoski.pdf](http://www.oulu.fi/poves/eakr/tukos/pdf/kalliokoski.pdf) [viitattu 1.5.2011]

Saarsalmi Anna ja Kukkola, Mikko. Tuhkalannoituksen vaikutus maaperään ja puuston kasvuun. Metsätieteen aikakauskirja 1/2009. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff091063.pdf](http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff091063.pdf) [viitattu 10.2.2011]

STUK-A177. 2001 Saatavilla [www-lähteenä: http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/a177\\_2.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/a177_2.pdf) [viitattu 18.2.2011]

Suomen ympäristökeskus. 2010. Vesistöjen happamoituminen. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.environment.fi/default.asp?contentid=55834&lan=fi](http://www.environment.fi/default.asp?contentid=55834&lan=fi) (Päivitetty 17.2.2010) [viitattu 12.3.2011]

Suomen ympäristökeskus 20.7.2009 (Päivitetty) Vesistöjen happamoituminen. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=10557&lan=fi](http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=10557&lan=fi) [viitattu 12.3.2011]

Suoniitty Titta. 2009. Tuhkan käyttö lannoitevalmisteena. Ohje / versio 12502/02 Evira, maatalouskemian yksikkö. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmisteet/ohjeet/12502\\_02\\_tuhkan\\_kaytto\\_lannoitevalmisteena.pdf](http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmisteet/ohjeet/12502_02_tuhkan_kaytto_lannoitevalmisteena.pdf) [viitattu 1.5.2011]

Tukes, turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Yleistä REACH-asetuksesta. 25.5.2009 Saatavilla [www-lähteenä: http://www.reachneuvonta.fi/Reach/reach.nsf/sp?open&cid=Content4898B&leftnavinf=FI\Sis%C3%A4lt%C3%B6\REACH\Content4898B&leftnavinfa=o&size](http://www.reachneuvonta.fi/Reach/reach.nsf/sp?open&cid=Content4898B&leftnavinf=FI\Sis%C3%A4lt%C3%B6\REACH\Content4898B&leftnavinfa=o&size) [viitattu 12.3.2011]

Tulonen Tiina; Ollila Susanna ja Arvola Lauri. 2000. Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset, Metsätehon raportti 87. Helsinki. Saatavilla [www-lähteenä: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_087.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_087.pdf) [viitattu 10.2.2011]

Tulonen Tiina; Arvola Lauri; Pihlström Mikael; Mäkinen Ahti; Rummukainen Pekka ja Rask Martti. 2003. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärvisssä, Metsätehon raportti 146. Helsinki. Saatavilla [www-lähteenä](#):

[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_146.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_146.pdf) [viitattu 18.2.2011]

VNa 23.3.2006/202 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta. Saatavilla [www-lähteenä](#):

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060202> [viitattu 2.4.2011]

Weppling Kjell ja Iivonen Pasi. 2005. Kalkitus. Teoksessa: YO114 Järvien kunnostus. Ulvi Teemu ja Lakso Esko (toim.) Helsinki: Edita Prima Oy. s. 271-286. ISBN 952-11-1847-4. Saatavilla [www-lähteenä](#):

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=32241&lan=fi> [viitattu 7.3.2011]

Ympäristöministeriö. 133 Tuhkan UUMA-tuotteistus (TUUMA). 23.1.2009 (Päivitetty). Saatavilla [www-lähteenä](#):

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=203273&lan=FI> [viitattu 10.2.2011]

2455/2001/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston päätös 20.11.2001 vesipolitiikan alan prioriteettiaineiden luettelon vahvistamisesta ja direktiivin 2000/60/EY muuttamisesta. Saatavilla [www-lähteenä](#): <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=8848&lan=fi> [viitattu 1.5.2011]