

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Atte Saastamoinen

HIILIPITOISEN TUHKALANNOITTEEN LEVITYS KOEALUEELLE  
JA SEN VAIKUTUKSET OJITETUN SUON VALUMAVESIIN

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2021



**Opinnäytetyö**  
**Toukokuu 2021**  
**Energia- ja ympäristötekniikan koulutus**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

**Tekijä**  
Atte Saastamoinen

**Nimeke**  
Hiilipitoisen tuhkalannoitteen levitys koealueelle ja sen vaikutukset ojitetun suon valumavesiin

**Toimeksiantaja**  
Karelia ammattikorkeakoulu

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tutkittiin Karelia-ammattikorkeakoulun Volter 40 -CHP-laitoksen toiminnan lopputuotteena syntyvän metsälannoitteenä käytetyn tuhkan vaikutuksia koealan valumavesiin ja valitun ojan vedenlaatuun. Työ toteutettiin osana osa laajempaa projektia, joka käsittelee hiilipitoisen tuhkalannoitteen vaikutuksia metsänkasvuun. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää tuhkalannoituksen aiheuttamat muutokset valittujen vedenlaatumuuttujien osalta projektin ensimmäisen vuoden aikana.

Projekti toteutettiin Joensuun licksenvaaran alueella. Työssä mitoitettiin koeala, jolle tuhkalannoitus suunniteltiin ja toteutettiin yhteistyössä ammattikorkeakoulun henkilöstön kanssa. Tuhkasta tutkittiin sen soveltuvuus työtä varten sekä sen kosteuspitoisuus levitettävän kuiva-ainemäärän selvittämiseksi. Koealan läheisyydestä valittiin näytteenottpiste, josta otettiin kaksi vesinäytettä syksyllä 2020 ja yksi keväällä 2021 analysointia varten. Vesinäytteistä tutkittiin pH, sähkönjohtavuus, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi sekä työn kannalta olennaisten raskasmetallien pitoisuus.

Syksyn näytteiden välillä oli vähäisiä muutoksia, tärkeimpien ollessa rauta- ja arseenipitoisuuden lasku ja kuparipitoisuuden nousu vedessä. Keväällä pitoisuudet laskivat lukuun ottamatta kuparia. Kokemuksen perusteella suositeltiin jatkotutkimuksia, pohdittiin parannuksia vastaavanlaisen tuhkalannoituksen toteuttamiseen tuhkan esikäsittelyn ja levityksen osalta ja opinnäytetyötä rajoittaneita tekijöitä.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 32  
Liitteet 6  
Liitesivumäärä 10

**Asiasanat**  
Vesianalyysi, tuhka, metsänlannoitus



**Thesis**  
**May 2021**  
**Degree Programme in Energy and Environmental Engineering**  
Tikkarinne 9  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 13 260 600 (switchboard)

Author  
Atte Saastamoinen

Thesis  
The Spreading of Carbon-Rich Ash-Fertilizer to Testing Area And Its Effects on The Run-off Water of Ditched Marsh

Commissioned by  
Karelia University of Applied Sciences

#### Abstract

The thesis studied the effects of the ash produced as end product by the Volter 40- CHP-plant owned by Karelia UAS, and the effects it has on the runoff water of the testing area and on the water quality of the selected ditch when used as a forest fertilizer. The thesis was performed as a part of a wider project focusing on the effects of carbon-rich ash fertilizer on forest growth, and its purpose was to find out the effects of the ash fertilization on the selected water quality indicators.

The project was carried out in the suburb liksenvaara in Joensuu. The ash fertilization was planned and conducted in collaboration with the personnel of the University of Applied Sciences. The suitability of the ash for the work was determined, and its humidity percentage was analysed to find out the dry matter content of applied fertilizer. A sampling point was established nearby, wherein two samples were collected in the autumn 2020 and one in the spring 2021. The water samples were analysed for pH, electrical conductivity, total phosphorous, total nitrogen, and several heavy metals relevant to the study.

The changes between the autumn water samples were limited besides the decrease in iron and arsenic and increase in copper content. The spring samples mostly showed decreased contents, except for increased nitrogen and maintained copper content. On the basis of the experience further studies are suggested, and some improvements in terms of preparation and spreading of ash regarding similar projects, as well as to examine the limiting factors regarding the thesis.

Language  
Finnish

Pages 32  
Appendices 6  
Pages of Appendices 10

Keywords  
Water analysis, ash, forest fertilization

## Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Tuhkalannoituksen tietoperusta .....	6
2.1	Tuhkalannoituksen tarkoitus .....	6
2.2	Tuhkalannoituksen vaikutukset vesistöön.....	8
3	Opinnäytetyön tarkoitus ja lähtökohdat .....	9
3.1	Opinnäytetyö osana Karelia ammattikorkeakoulun tuhkaprojektia.....	9
3.2	Volter 40 -CHP-laitos .....	10
4	Toteutus .....	11
4.1	Koealan sijainti.....	11
4.1.1	Koealan mitoitus .....	12
4.1.2	Koealan asettelu .....	13
4.2	Tuhka.....	14
4.2.1	Käytettävän tuhkan kosteusprosentin tutkiminen.....	15
4.2.2	Kosteuden analysointi.....	16
4.3	Tuhkan kuljetus ja säilytys .....	19
4.4	Tuhkan levitys.....	19
4.5	Vesianalyysit.....	21
4.6	Analysoitavat ominaisuudet .....	24
5	Tulokset .....	24
5.1.1	Vesianalyysien tulokset .....	24
5.1.2	pH, sähkönjohtavuus ja ravinteet .....	25
5.1.3	Raskasmetallit .....	26
5.2	Projektin kustannukset.....	26
6	Yhteenveto.....	26
6.1	Muutokset vedenlaadussa .....	26
6.2	Jatkotutkimukset .....	28
6.3	Tuhkan esikäsittelyn ja levittämisen parantaminen .....	29
6.4	Työn rajoitukset ja parantamisehdotuksia.....	30
6.5	Työn eettisyys ja luotettavuus.....	30
6.6	Prosessi ja kiitokset .....	31
	Lähteet.....	32

## Liitteet

Liite 1	Suomen ympäristöpalvelu Oy, Kaasutintuhka
Liite 2	Suomen ympäristöpalvelu Oy, Suodatintuhka
Liite 3	Suomen ympäristöpalvelu Oy, Kaasutin- ja suodatintuhka
Liite 4	Testausseloste 15.10.2020
Liite 5	Testausseloste 20.11.2020
Liite 6	Testausseloste 26.5.2021

## Kuvat

Kuva 1	Volter CHP-laitoksen kontti sekä hakekontista johtava polttoaineen-syötin.
Kuva 2	Koealueen sijainti Joensuuun nähden.
Kuva 3	Tuhkan punnitus ja pussitus.
Kuva 4	Ojan molemminpuoliset koealat sekä mittauspiste.
Kuva 5.	Valuma-alue
Kuva 6	Näytteiden keräys.

Kuva 7	Tuhkanäytteet.
Kuva 8	Lämpökaappi.
Kuva 9	Tuhka ennen uudelleenpussitusta.
Kuva 10	Pölyävän tuhkan levitys.
Kuva 11	Levitetty tuhka.
Kuva 12	Pullotettu vesinäyte.
Kuva 13	Näytteenottopaikka syksyllä.
Kuva 14	Näytteenottopaikka keväällä.

#### Taulukot

Taulukko 1	Alueen perustiedot.
Taulukko 2	Tuhkan raskasmetallipitoisuudet verrattuna lannoitevalmisteasetukseen.
Taulukko 3	Kosteusprosenttimittausten tulokset.
Taulukko 4	Tutkittujen muuttujien pitoisuudet vesinäytteissä.

#### Lyhenteet

CHP	Combined heat and power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto.
FSC	Forest Stewardship Council, Hyvän metsänhoidon neuvosto.
ha	Hehtaari.
mS	Millisiemens.
pH	Happamuus.
TOC	Total organic carbon, orgaaninen kokonaishiili.

# **1 Johdanto**

Karelia ammattikorkeakoulun Sirkkalan kampuksella sijaitsee uusiutuvan energian ratkaisujen tutkimiseen ja testaamiseen keskittyvä Energiapuisto. Yhtenä osana tätä kokonaisuutta on konttiin sijoitettu Volter 40 -CHP-laitos, joka tuottaa lämpöä ja sähköä puuhaketta polttamalla. Prosessi tuottaa tuhkaa, jolle on etsitty uusia käyttökohteita jätehierarkian periaatteiden mukaisesti, jottei sitä jouduttaisi kuljettamaan erikoistuneisiin jätelaitoksiin loppukäsittelyä varten. Tuhka ei sellaisenaan sovellu loppusijoitukseen tyypilliselle paikalliselle kaatopaikalle, ja läheiset lämpölaitokset eivät suostu vastaanottamaan tuhkaa poltettavaksi sen hankalan käsiteltävyyden vuoksi.

Karelia-ammattikorkeakoulu tutkii CHP-laitoksen hiilipitoisen tuhkan hyödyntämistä metsälannoitteena ja on tätä varten hankkinut pitkäaikaiseen tutkimukseen soveltuvan koealueen. Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä ammattikorkeakoulun projektihenkilöstön kanssa, ja sen tarkoituksena on tarjota ylimääräistä dataa projektille. Tutkimuksessa keskitytään lannoituksen vaikutukseen alueen puustoon, ja opinnäytetyö puolestaan käsittelee sen vaikutuksia alueen valumavesiin valitun ojan vedenlaatua tutkimalla. Tarkoituksena on dokumentoida tutkitavan ojan lähtötilanne ja vedenlaadun muutokset saman syksyn ja seuraavan kevään osalta ja tarjota tietoa aluetta ja käytettävää tuhkaa koskevia jatkotutkimuksia varten. Opinnäytetyö aloitettiin syksyllä 2020, ja se kesti vuoden 2021 kevääseen saakka.

## **2 Tuhkalannoituksen tietoperusta**

### **2.1 Tuhkalannoituksen tarkoitus**

Metsän tuhkalannoituksella tarkoitetaan eloperäisen aineksen, yleisimmin puun tai turpeen, poltosta syntyneen tuhkan hyödyntämistä metsän maaperän kasvu-

olosuhteiden parantamiseen. Lannoitteena tuhalla on pitkä historia maanviljelyssä muun muassa kaskiviljelyn kautta, mutta metsätaloudessa käyttö on ollut rajoitetumpaa. Puutavaran tarpeen kasvaessa metsälannoitus on nähty hyvänä keinona hehtaarikohtaisen tuoton lisäämiseksi ja laadukkaamman puutavaran saamiseksi. Suomessa metsälannoituksia toteutettiin eniten 1970-luvulla, jolloin lannoitettiin lähes 250 000 hehtaaria vuosittain, mutta sen suosio laski 1990-luvulle tultaessa alle 10 000 hehtaarin vuosimäärään, josta lähtien määrä on taas ollut hitaassa nousussa (Kukkola & Nöjd, 2000, 604).

Suomessa tuhkalannoituksen osuus metsälannoituksista on ollut vähäistä jäädessä vain muutama tuhat hehtaariin. Tähän ovat vaikuttaneet osaltaan tiedon puute metsänomistajien keskuudessa sekä logistiikkaongelmat tuhkan saatavuudessa. Tuhkan lannoituskäyttöä puoltavat puolestaan sen uusiutuvuus, uusiokäyttö loppusijoituksen sijaan sekä ympäristövaikutukset. Tuhkalannoitus palauttaa puun kasvuun käyttämiä ravinteita kiertoön luonnossa, ja lisääntynyt puuston kasvu sekä tuhkan pysyvyys maaperässä voivat lisätä metsien arvoa hiilinieluinä. (Joensuu, 2017, 3–7)

Puiden pääravinteita ovat fosfori, typpi sekä kalium ja sivuravinteita kalsium, magnesium, rikki sekä natrium. Näiden lisäksi puut tarvitsevat vähemmissä määrin hivenravinteita, eli klooria, booria ja metallikationeja. (Nousiainen, Reinikainen & Veijalainen, 1998, 12–17) Puuperäinen tuhka sisältää samassa suhteessa näitä ravinteita, joita puu on käyttänyt kasvuunsa. Tuhka ei kuitenkaan sisällä typpeä, sillä se on palanut pois ja se soveltuukin sellaisenaan typpirikkaille sekä ravinteiden puutoksesta kärsiville metsämaille, tai käytettäväksi typpilannoituksen yhteydessä. (Huotari, 2012, 6–7).

Tuhka on emäksistä, sen pH:n yleisesti ollessa 9–13. Tuhkan käytöllä voidaan parantaa maaperän happamuutta, jonka seurauksena myös sen mikrobitoiminta muuttuu. Orgaanisen aineksen hajoaminen vapauttaa typpeä, jolloin tuhkalannoituksella on myös rajoitettu vaikutus maaperän typpimäärään. (Motiva, 2009, 3).

Ravinteiden lisäksi tuhka sisältää useita raskasmetalleja. Ne toimivat hivenravinteina puille, mutta niiden tarve on vähäistä ja liiallinen kerääntyminen ympäristöön

on puolestaan haitallista. Raskasmetallien ongelmana on niiden rikastuminen ravintoketjuihin, tuhkalannoituksen tapauksessa maaperän ja kasvien välityksellä. Raskasmetallien enimmäismäärät lannoitteena käytettävässä tuhkassa on määriteltänyt lannoitevalmistelaitokset, ja näitä rajoituksia käsitellään yksityiskohtaisemmin työssä käytettävää tuhkaa käsiteltäessä. Pääsääntöisesti raskasmetallien ei kuitenkaan ole todettu kerääntyvän marjoihin ja sieniin vaarallisina pitoisuuksina tuhkalannoituksen seurauksena, vaikkakin arvot ovat saattaneet olla lievästi koholla lannoituksen jälkeen (Ilvesniemi H., Joensuu S. & Tuovinen N. 2019, 11)

## **2.2 Tuhkalannoituksen vaikutukset vesistöön**

Tuhkalannoituksen riskeinä vesistöjen osalta ovat ravinteiden sekä raskasmetallien huuhtoutuminen valumavesien mukana, jolloin uhkana on vesistöjen rehevöityminen sekä haitallisten aineiden pitoisuuksien nousu vaaralliselle tasolle. Pääasiallisesti tuhkan sisältämän fosforin on todettu olevan sitoutunut rautaan ja olevan hitaasti liukenevaa (Huotari N. 2012, 14 ja 38), jolloin sen joutuminen valumavesiin on pääasiallisesti vähäistä, mutta mahdollista.

Emäksisyytensä vuoksi tuhalla voi olla pH:ta lievästi kohottava vaikutus vesistöihin. Sähkönjohtokyvyn on havaittu nousevan valumavesissä heti tuhkalannoituksen jälkeen, mutta erot normaalitilanteeseen tasaantuivat nopeasti. (Metsäteho, 2004, 23–24). pH:n nousu voi osaltaan vähentää muiden aineiden liukoisuutta maaperästä, sillä etenkin raskasmetallien liukeneminen kiihtyy happamissa olosuhteissa. Vastaavasti tuhkan sisältämät raskasmetallit voivat alkaa liukenemaan sen joutuessa kosketuksiin happaman ympäristön kanssa. (Huotari, 2012, 15).

Edellä mainittujen vaikutusten on pääosin todettu olevan vähäisiä. Pääasiallisena riskinä onkin tuhkan levittäminen suoraan vesistöön, jolloin tuhka liukenee suoraan veteen. Tämän välttämiseksi lannoitettaessa on suositeltavaa perustaa suojavyöhykkeitä vesistöjen ympärille, joita ei lannoiteta. Suomen FSC-standardin



ohjeistuksessa vähimmäisleveydet ovat 50 metriä vesistöille, kuten lammet, järvet ja joet, 20 metriä puroille ja 5 metriä ojille (FSC Finland, 2010, 30).

### **3 Opinnäytetyön tarkoitus ja lähtökohdat**

#### **3.1 Opinnäytetyö osana Karelia ammattikorkeakoulun tuhkaprojektia**

Karelia ammattikorkeakoulu tutkii hiilipitoisen puutuhkan vaikutuksia metsän kasvuun, maaperän hiilimäärään, ja valumavesiin. Tarkoituksena on hyödyntää koulun omistaman Volter 40 -CHP-laitoksen tuhkaa kiertotalouden periaatteiden mukaisesti tutkimalla sen soveltuvuutta ja hyötyjä metsälannoitteena sekä sen potentiaalia hiilen sitomisessa. Tutkimusta varten perustettiin koeala levitystä varten, sekä kontrolliala jolle tuhkaa ei levitetä. Näillä alueilla tullaan seuraamaan metsikön puustotunnuksia sekä mahdollisia metsätuholaisten vaikutuksia puustoon. Alueilla tullaan myös suorittamaan maaperätutkimuksia maaperän hiilipitoisuuden selvittämiseksi.

Opinnäytetyön vastuulla on suorittaa valumavesien alkutilanteen selvittäminen syksyn 2020 ja kevään 2021 osalta sekä tulosten dokumentointi osana projektia. Tarkoituksena on selvittää, minkälaisia vaikutuksia pienen mittakaavan tuhkalannoituksella on kyseisen CHP-laitoksen tuhkaa käytettäessä. Tuhkalannoituksen vaikutukset ovat pitkäaikaisia, joten opinnäytetyö dokumentoi vain alkutilanteen sekä välittömät muutokset. Tuloksia voidaan näin ollen hyödyntää alueen pitkäaikaisseurannassa sekä mahdollisissa jatkotutkimuksissa. Tavoitteena on selvittää, aiheuttaako tuhkalannoitus haitallisia lieveilmiöitä lannoitetun alueen valumavesille ja vesistöille tutkittavien muuttujien osalta.

Tuhkalannoitus toteutettiin yhteistyössä opinnäytetyön tekijän ja Karelia-ammattikorkeakoulun henkilöstön välillä. Tutkittavan alueen lopullinen rajausta ja sijoittelu määräytyi opinnäytetyön tarpeiden mukaisesti. Levityksen suunnittelu ja toteutus toteutettiin yhteistyössä, ja se sisällytettiin osaksi opinnäytetyötä.

### 3.2 Volter 40 -CHP-laitos

Karelia-ammattikorkeakoulun Sirkkalan kampuksella sijaitsee uusiutuvan energian teknologioita tutkiva energiapuisto. Volter 40 CHP-laitos on sijoitettu rakennuksen ulkopuolella sijaitsevaan liikuteltavaan konttiin, jonka yhteyteen on liitetty hakesiilo (kuva 1). Laitoksen toiminta perustuu polttoaineena käytettävän puuhakkeen kaasuttamiseen. Hake syötetään polttokattilaan, jossa se kaasutetaan korkeassa lämpötilassa mutta vähäisellä happimäärällä. Syntyvä kaasuihminen puhdistetaan kiinteistä epäpuhtauksista, sekoitetaan ilman kanssa ja syötetään polttomoottoriin sähköntuotantoa varten. (Volter 2021.)

Polttoprosessin tuloksena syntyy mustaa tuhkaa, jonka hiilimäärä on kaasutuksen eli epätäydellisen palamisen johdosta suhteellisen korkea. Suomen ympäristöpalvelun CHP-laitosta käsittelevissä dokumenteissa (Liitteet 1–3) orgaanisen hiilen osuus (TOC) on kaasuttimen tuhkassa 246 g/kg kuiva-ainetta. Jäteasetuksen mukaan kaatopaikalle hyväksyttävän jätteen orgaanisen hiilen TOC tulee olla alle 10 % (Ympäristöministeriö, 2018, 3), jolloin CHP-laitoksen tuhka tulisi kuljettaa Fortumin Riihimäen jätelaitokselle loppukäsittelyyn. Tämä on osaltaan vaikuttanut kiinnostukseen tuhkan hyödyntämistä kohtaan.



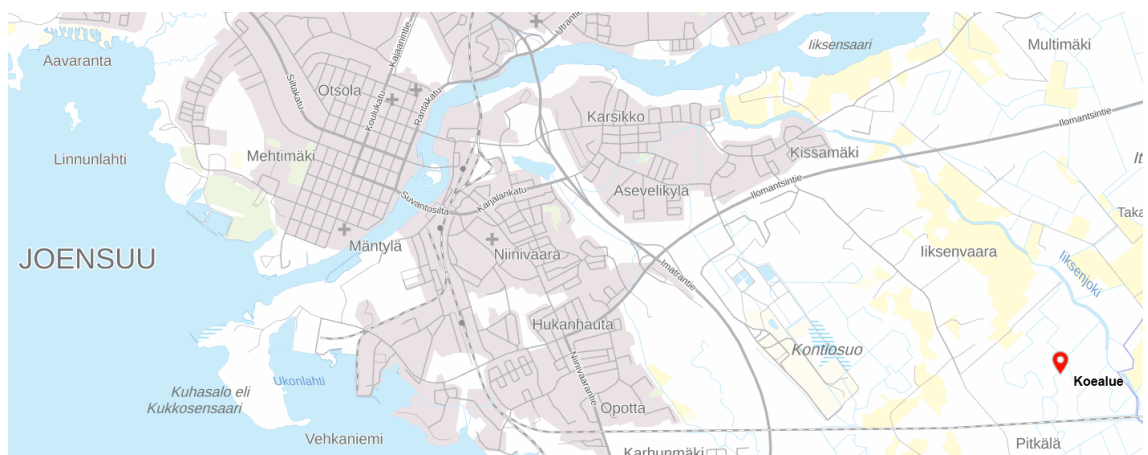
Kuva 1. Volter CHP-laitoksen kontti sekä hakekontista johtava polttoaineensyöttö (Kuva: Atte Saastamoinen).

## 4 Toteutus

### 4.1 Koealan sijainti

Projekti toteutetaan Joensuun kaupungin omistamalla metsäpalstalla, joka sijaitsee liksenvaaran alueella (kuva 2). Kuvion pinta-ala on 5,1 hehtaaria, ja alueella sijaitsee nuorta kasvatusmetsikköä, jonka ensiharvennus on toteutettu vuonna 2010. Alueella sijaitsee useita vaihtelevan kokoisia oja, joista osa on umpeenkasvaneita, ja niitä ei ole merkitty kartoille. Alueen valintaan vaikutti se, ettei sinne ole suunniteltu uusia metsänhoidollisia toimenpiteitä tulevina vuosina, jolloin seuranta voidaan jatkaa ilman merkittäviä häiriöitä. Taulukossa 1 näkyy metsäpalstan tiedot, jolle koealue perustettiin.

Valittu oja sijaitsee metsätien varrella noin 800 metrin päässä läheisestä autotiestä. Alueelle on helppo päästä ja lyhyt etäisyys metsätiestä, noin 50 metriä, helpotti materiaalien kuljetusta kohteelle. Ojan valuma-alue on rajattu muun ojas-  
ton ja koholla olevan tien ansiosta, jolloin koealan suhteellinen osuus on suurempi, ja valuma-alueen muuttujien määrä vähäisempi. Ojan virtaus on vähäinen, ja vesi oli silminnähden seisovaa ojan koko pituudelta. Alueella sijait-  
si pieniä tutkittavaan ojaan nähden poikittaisia umpeenkasvaneita oja. Ojissa ei virrannut vettä, mutta ne toimivat kokoomauomina valumavesille.



Kuva 2. Koealueen sijainti Joensuuhun nähden (Maanmittauslaitos 2021). Muokaus: Atte Saastamoinen.

Taulukko 1. Alueen perustiedot.

Kiinteistön nimi ja tunnus, pääryhmä, kasvu-paikka, maalaji, kehitysluokka, saavutettavuus ja metsikön laatu	Puulaji	Ikä, v	Läpimitta, cm	Pituus, m	Runkoluku, kpl/ha	Kasvu, m <sup>3</sup> /ha/v
<b>Kukkola 167-401-6-204</b>	Yhteensä	32	16.9	12.2	2013	16.7
Metsämaa	Mänty	32	17.3	12.5	1723	15.6
Tuore kangas, vastaava suo ja mustikkaturvekangas	Kuusi	32	14.4	10.9	152	0.9
Turvemaa	Hieskoivu	26	10.4	7.3	138	0.2
02 - Nuori kasvatusmetsikkö						
Talvi						

#### 4.1.1 Koealan mitoitus

Koealan mitoitukseen vaadittiin käytettävän tuhkan massa sekä kosteusprosentti kuiva-ainepitoisuuden selvittämiseksi. Tuhkalannoitetta suositellaan levitettäväksi 3000–5000 kg kuiva-ainetta hehtaarille (Metsänhoidon suositukset, 2021). Koeala päätettiin mitoittaa 4000 kg/ha mukaisesti, ja laskentaa varten kosteusprosentiksi arvioitiin 40 %. Koeala suunniteltiin ennen tuhkan kosteuden mittamista, jolloin lukemat ovat vain arvioita.

Tuhka oli säilötty jätesäkkeihin, joista osa oli kohteen lähellä maastossa ja osa vielä Sirkkalassa CHP-laitoksen luona. Kerätty tuhka pussitettiin uudelleen jätesäkkeihin kuljetusta ja levitystä varten, ja jokaisen uuden pussin sisällöksi punnittiin noin 15 kg (kuva 3). Pusseja kerääntyi 110, jolloin kostean tuhkan kokonaismassa on noin 1 650 kg, eli kuiva-aineen osuus 40 %:in kosteusprosentilla laskettuna on noin 990 kg. Määrä on noin neljäsosa suunnitellusta 4 000 kg:sta, jolloin koealan pinta-alaksi saatiin 0,25 ha.



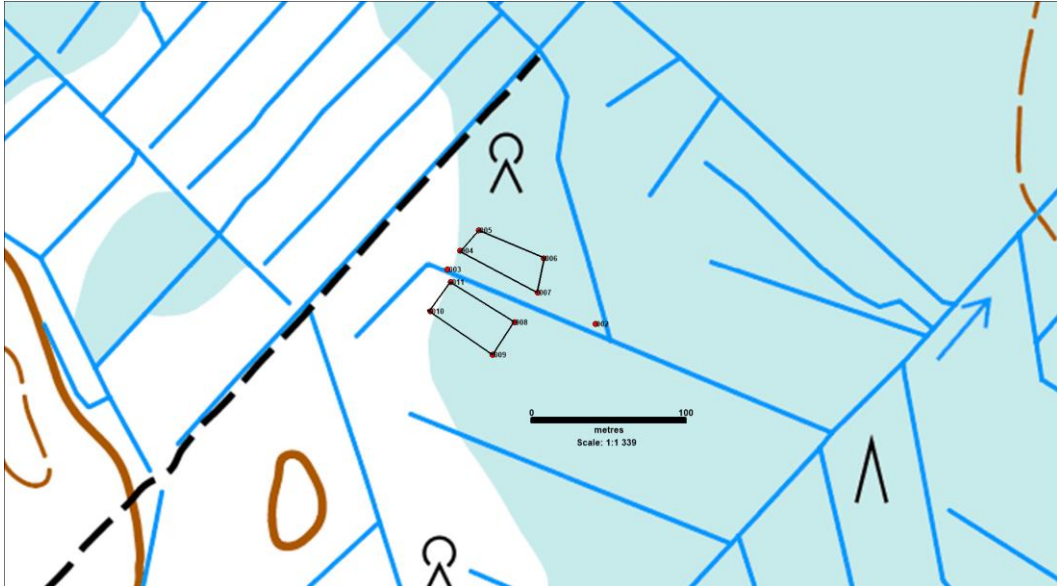
Kuva 3. Tuhkan punnitus ja pussitus (Kuva: Atte Saastamoinen).

#### 4.1.2 Koealan asettelu

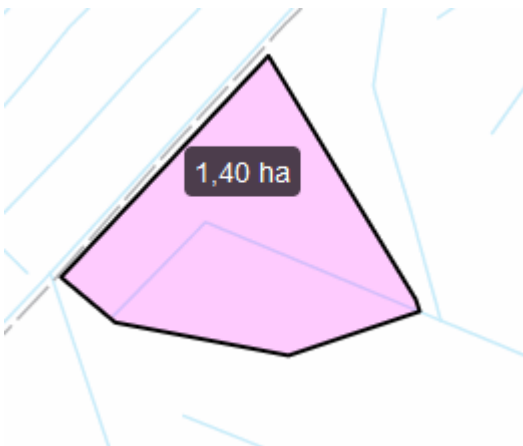
Alustavasti koealan suunniteltiin olevan nelikulmio, jonka sivut ovat 50 metriä, mutta alue päätettiin jakaa kahteen osaan seurattavan ojan molemmille puolille kuvan 4 mukaisesti. Tällöin pienellä tuhkamäärällä voidaan jäljitellä laajemman tuhkalannoituksen olosuhteita ja vaikuttaa useasta suunnasta tulevaan valumaveteen levityksen vaikutusten tutkimista varten. Karkeasti arvioiden mittauspisteen yläpuoliseksi valuma-alueeksi mitattiin noin 1,4 hehtaaria (kuva 5). Alueiden pituus on ojan myötäisesti 50 metriä ja leveys 25 metriä. Tutkittavaan ojaan jätettiin 5 metrin suojavyöhyke FSC-standardin ohjeistuksen mukaisesti (FSC Finland 2010, 30).

Alueiden rajausta toteutettiin maastossa linjalaserin ja prisman avulla. Alue rajattiin kulmakepeillä ja kuitunauhalla levittäjiä varten. Molempien puolien mittaus aloitettiin ojan reunasta, ja alku- ja loppupisteiden etäisyys ojasta pidettiin vähintään 5 metrissä. Ojan muotojen ja inhimillisen mittausvirheen takia itäpuoleisen alueen eteläpääty jäi lievästi lyhyemmäksi, noin 23 metrin pituiseksi, jottei ojan suojavyöhyke vaarantuisi. Inhimillisen virheen vuoksi lopputulos ei ollut täydellinen, mutta tarkkuus oli riittävä työn tarkoituksia varten.





Kuva 4. Ojan molemminpuoliset koealat sekä mittauspiste (kuvassa piste 002). (MapInfo 2021) Muokkaus: Tarmo Tossavainen.



Kuva 5. Valuma-alue (Maanmittauslaitos 2021.) Muokkaus: Atte Saastamoinen

## 4.2 Tuhka

Tuhkalannoituksessa käytetään Volter 40 -CHP-laitoksen polttoaineena käytetyn sekahakkeen tuhkaa. Käytetyn tuhkan ominaisuuksia ei kyetty tutkimaan työtä varten, jonka vuoksi viitearvoina on käytetty Volter Oy:n Suomen ympäristöpalvelu Oy:llä teetättämän tutkimuksen tuloksia (Liitteet 1–3). Kuten aiemmin todettiin, tuhka on poikkeuksellista sen suuren hiilipitoisuuden, 246 g/kg eli 24,6 %, vuoksi. jolloin sen vaikutusten odotettiin mahdollisesti poikkeavan tyypilliseen puutuhkaan vaikutuksista.

Taulukko 2. Tuhkan raskasmetallipitoisuudet verrattuna lannoitevalmisteasetukseen.

Raskasmetalli	Lannoitevalmisteet, sallittu enimmäispitoisuus (mg/kg)	Tuhkalannoitteet, sallittu enimmäispitoisuus (mg/kg)	Volter Oy:n tutkittujen tuhkanäytteiden matalin/korkein pitoisuus (mg/kg)
Kadmium	1.5	25	<0,015 / 7,9
Arseeni	25	40	<0,15 / <3
Elohopea	1	1	<0,005 / 0,14
Kromi	300	300	<0,1 / 65
Kupari	600	700	<0,1 / 310
Lyijy	100	150	<0,15 / 23
Nikkeli	100	150	<0,1 / 300
Sinkki	1500	4500	<0,1 / 1980

Tuhkan sisältämien raskasmetallien sallitut enimmäispitoisuudet lannoitteena käytettäessä määritellään lannoitevalmisteasetuksessa (Maa- ja metsätalousministeriö, 2011, 24). Volter Oy:n teettämien analyysien tuhkien on oletettu olevan lähtökohtaisesti laadultaan vastaavanlaisia työssä käytetyn tuhkan kanssa, jolloin tulosten todettiin soveltuvan viitearvoiksi työhön. Taulukossa 2 on esitetty lannoiteasetuksen rajat ja tuhkan arvojen ääriarvot. Näiden perusteella arvot alittivat kaikissa tapauksissa jopa tiukemmat lannoitevalmisteiden rajoitteet, poikkeuksina ollen nikkelin osuus kaasuttimen tuhkassa, 300 mg/kg, ja sinkin osuus suodattimen tuhkassa, 1980 mg/kg. Nikkelin pitoisuudet kolmessa muussa näytteessä olivat huomattavasti matalampia, joten yksittäisen raja-arvon ylittämisen ei todettu vaikuttavan tuhkan soveltuvuuteen.

#### 4.2.1 Käytettävän tuhkan kosteusprosentin tutkiminen

Tuhkalannoitettavan alueen rajaukseen ja tuhkalannoituksen suunnitteluun käytettiin 40 %:in arviota kosteudelle. Todellisen kosteusprosentin selvittämiseksi käytettävästä tuhkasta kerättiin näytteet uudelleenpussituksen yhteydessä kos-

teusprosentin selvittämistä varten. Jokaisesta uudesta pussista kerättiin silmämääräisesti puolikas 500 ml kauhallinen tuhkaa, eli noin 250 ml. Näytteet kerättiin ämpäreihin, joissa ne sekoitettiin ja jossa kosteus sai tasaantua ennen mittaukseen toimittamista kuvan 5 mukaisesti. Pussitus suoritettiin kahtena päivänä, ja molemmilla kerroilla näytteitä kertyi kaksi ämpärillistä, laskennallisesti yhteensä 27,5 litraa.

Pussituksen yhteydessä tuhkan kosteuden huomattiin olevan vaihtelevaa. Osa tuhkasta oli erittäin hienojakoista ja helposti pölyävää. Joihinkin pusseihin taas oli säilytyksen aikana päässyt kosteutta joko pussin hajoamisen tai muiden tekijöiden takia, ja tällöin tuhka oli tiivistä ja raskasta massaa. Uudelleenpussituksen yhteydessä tällaisia ”ääripäitä” pyrittiin sekoittamaan, jotta tuhkan laatu tasaantuisi.



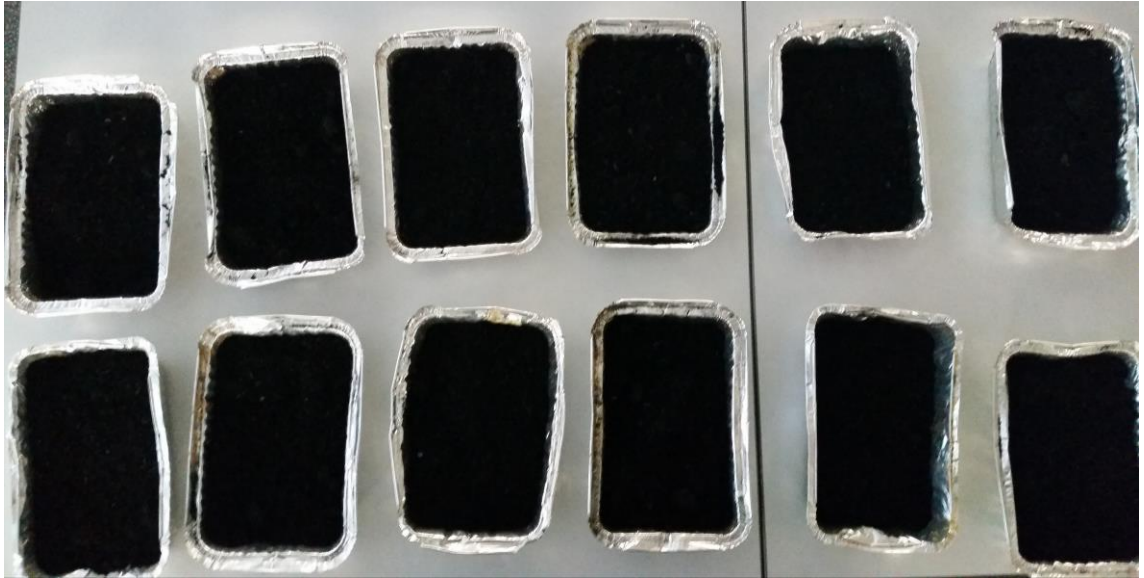
Kuva 6. Näytteiden keräys (Kuva: Atte Saastamoinen).

#### 4.2.2 Kosteuden analysointi

Kerätyt tuhkanäytteet kuljetettiin Karelia-ammattikorkeakoulun Sirkkalan laboratorioon kosteusprosentin analysointia varten. Työtä varten punnittiin tyhjen folioastioiden massa, minkä jälkeen astioihin kerättiin silmämääräisesti vastaava



määrä tuhkaa kuvan 6 mukaisesti. Molemmilla kerroilla näyteastioita kertyi 12, eli jokaisesta kerätyistä ämpäristä kerättiin näytteet 6 astiaan. Näytteet punnittiin, ja asetettiin lämpökaappiin (kuva 7) 105 °C lämpötilaan yön yli, noin 18 tunnin ajaksi. Seuraavana päivänä kuivatut näytteet otettiin uunista, ja niiden massa punnittiin. Tuhkan kosteus laskettiin ominaiskosteuden kaavalla, eli kosteuden osuus kostean aineen kokonaismassaan nähden.



Kuva 7. Tuhkanäytteet (Kuva: Atte Saastamoinen).



Kuva 8. Lämpökaappi (Kuva: Atte Saastamoinen).

Taulukossa 3 on esitytetty tuhkanäytteiden kosteusprosentti. Tuhkan kosteusprosentti oli keskimäärin huomattavasti korkeampi kuin arvioitu 40 %. Vain kolmen tuhkanäytteen kosteus oli alle 50 %, ja pääosin kosteus ylitti 60, jopa 70 %. Tuhkan keskimääräiseksi kosteusprosentiksi saatiin 65 %, jolloin levitettävän kuiva-aineen määrä on vain noin 577 kg, eli 2 310 kg/ha. Levitettävä määrä nähtiin kuitenkin riittäväksi, ja koeala päätettiin pitää alkuperäisessä laajuudessaan.

Taulukko 3. Kosteusprosenttimittausten tulokset.

Paino gram-moina	Paino, kostea	Paino, kuivattu	Astia	Märkä paino, tuhka	Kuiva paino, tuhka	Kosteuden osuus massasta
Näyte 1.1	195,68	64,63	9,16	186,52	55,47	70 %
Näyte 1.2	155,47	65,7	9,54	145,93	56,16	62 %
Näyte 1.3	147	64	9,44	137,56	54,56	60 %
Näyte 1.4	161,17	56,67	10,02	151,15	46,65	69 %
Näyte 1.5	166,84	63,55	8,83	158,01	54,72	65 %
Näyte 1.6	186,78	70,04	8,82	177,96	61,22	66 %
Näyte 1.7	218,56	74,71	11,11	207,45	63,6	69 %
Näyte 1.8	184,91	57,01	9,13	175,78	47,88	73 %
Näyte 1.9	220,3	65,58	8,78	211,52	56,8	73 %
Näyte 1.10	204,27	65,8	8,9	195,37	56,9	71 %
Näyte 1.11	170,75	55,22	9,35	161,4	45,87	72 %
Näyte 1.12	164,03	58,54	11,59	152,44	46,95	69 %
Näyte 2.1	209,63	86,68	8,69	200,94	77,99	61 %
Näyte 2.2	126,41	81,14	0,09	126,32	81,05	36 %
Näyte 2.3	177,31	92,61	8,82	168,49	83,79	50 %
Näyte 2.4	145,75	84,21	11,4	134,35	72,81	46 %
Näyte 2.5	134,9	84,34	8,81	126,09	75,53	40 %
Näyte 2.6	203,66	89,13	8,96	194,7	80,17	59 %
Näyte 2.7	233,25	67,57	11,01	222,24	56,56	75 %
Näyte 2.8	227,59	61,18	8,8	218,79	52,38	76 %
Näyte 2.9	190,69	56,25	9,11	181,58	47,14	74 %
Näyte 2.10	195,82	56,97	8,92	186,9	48,05	74 %
Näyte 2.11	219,7	65,16	9,35	210,35	55,81	73 %
Näyte 2.12	213,08	59,87	9,54	203,54	50,33	75 %
<b>Näyte-erä 1, kosteuden keskiarvo</b>						<b>68 %</b>
<b>Näyte-erä 2, kosteuden keskiarvo</b>						<b>62 %</b>
<b>Kosteuden keskiarvo, kaikki näytteet</b>						<b>65 %</b>

Mielenkiintoista on, että toisen mittauspäivän näytteet edustivat kosteuden ääripäitä. Osaa tuhkasta ei ollut kuljetettu maastosäilytykseen ennen työn aloittamista, vaan ne pussitettiin Sirkkalassa ennen alueelle vientiä. Tuona päivänä toisen näyteämpäriin sisältö koostui pääosin näiden säkkien tuhkasta, ja toisen puolestaan maastoon jäljelle jääneiden pussien sisällöstä. Tuntemattomasta

syystä koululle jäänyt tuhka (näytteet 2.7–2.12) oli tulosten ja ulkonäkönsä perusteella erittäin kosteaa, ja vastaavasti maastoon jääneiden (Näytteet 2.1–2.6) säkkien sisältö kuivaa. Näennäisesti pussien kunnon tai säilytysajan välillä ei ollut eroja, joten syytä voidaan vain arvailla.

#### **4.3 Tuhkan kuljetus ja säilytys**

Tuhka kuljetettiin jätessäkeissä maastosäilytykseen tien varteen (kuva 8) kesän 2020 aikana, ja ne pussitettiin uudelleen syksyllä. Tuhkan uudelleenpussituksen jälkeen jätessäkit kuljetettiin tienvarresta metsätietä pitkin alueen viereen odottamaan levitystä noin viikon ajaksi. Kuljetus toteutettiin metsätietä pitkin traktorilla sekä mönkijällä. Alkuperäisenä tarkoituksena oli kuljettaa tuhka traktorin kauhalla, mutta epätasainen metsätie ei soveltunut traktorille, joten kuljetusta varten käytettiin myös mönkijää ja ahkiota.



Kuva 9. Tuhka ennen uudelleenpussitusta (Kuva: Atte Saastamoinen).

#### **4.4 Tuhkan levitys**

Levitettävää tuhkaa oli 1 650 kg, josta kuiva-ainetta noin 577 kg ja hiilen osuus tästä 142 kg. Tuhkan levitystä varten molemmat koealueet jaettiin 25 metrin sivun



mukaisesti viiteen 50 metrin pituiseen linjaan. Linjojen varrelle asetettiin 11 säkkiä linjaa kohden, jolloin molemmille koealueille kertyi 55 tuhkasäkkiä. Tarkoituksena oli, että kunkin säkin sisältö levitetään tasaisesti noin viiden metrin alueelle molemmin puolin kulkulinjaa levittäjän kulkiessa seuraavaa säkkiä kohden. Tällöin yhden säkin, 15 tuhkakilon, levitysalueeksi tuli noin 22,7 neliometriä.

Levitys toteutettiin Karelia-ammattikorkeakoulun opiskelijoiden avustuksella. Jokaiselle opiskelijalle jaettiin asianmukaiset suojavarusteet pölyä varten eli kasvosuojaimet, haalarit ja suojalasit. Kuva 9 osoittaa, kuinka pölyävää hienojakoinen tuhka on levittäessä. Levittäjille ohjeistettiin alueen rajausta sekä suunniteltu levittämistapa, jonka lisäksi heitä opastettiin välttämään tuhkan levittämistä suoraan umpeenkasvaneisiin ojiin, joita varten ei rajattu turvavyöhykkeitä niiden lukumäärän ja olemattoman virtauksen takia. Itse levityksen opiskelijat toteuttivat vapaamuotoisesti opinnäytetyön laatijan valvoessa suoritusta ja lopputuloksen laatua.



Kuva 10. Pölyävän tuhkan levitys (Kuva: Atte Saastamoinen).

Opiskelijat suoriutuivat työstä kiitettävästi, ja levitykseen kului noin kaksi tuntia. Levityksen osalta työ onnistui hyvin, mutta tuhkan laatu vaikutti lopputulokseen. Hienojakoinen tuhka levittyi tasaisesti alueelle, kuten kuvasta 10 näkyy, ja sen levitys oli nopeaa. Kostunut, kokkareinen tuhka kattoi pussikohtaisesti pienemmän pinta-alan, jolloin levittäjän tuli sirotella 'kekoja' hajanaisesti osa-alueelle.

Seuraavien päivien sateet kuitenkin huuhtelivat tuhkan kasvien päältä ja tasasivat lopputuloksen.



Kuva 11. Levitetty tuhka (Kuva: Atte Saastamoinen).

#### **4.5 Vesianalyysit**

Valitun ojan vedenlaatu selvitettiin ottamalla kolme vesinäytettä koealueesta nähdessä ojan alajuoksulta. Ensimmäinen näytteenotto ajoitettiin syksyksi ennen levitystä, toinen syksyksi levityksen jälkeen ja kolmas seuraavana keväänä välittömästi lumen sulamisen salliessa. Tarkoituksena on selvittää tuhkan levityksen välittömät vaikutukset valumaveteen sekä ajoittaa näytteenotot valumavesien tärkeimpiin kausiin eli syksyn ja kevään ylivirtaamajaksoille.



Kuva 12. Pullotettu vesinäyte (Kuva: Atte Saastamoinen).

Näytteenottoa varten odotettiin soveliaita sääolosuhteita, jolloin ojan vesitilanne oli sateiden jälkeen otollinen ja tutkittava aines ei ollut saostunut pohjaan seisovassa vedessä. Näytteiden analysointi tilattiin Savo-Karjalan ympäristötutkimus Oy:ltä, ja näytteenotto suoritettiin oikeaoppisesti yrityksen tarjoamiin litran näytepulloihin (kuva 11). Näytteet toimitettiin saman päivän aikana yrityksen Joensuun toimistolle, josta ne toimitettiin laboratorioon tutkimusta varten. Tästä poikkeuksena oli kevään näyte, jota säilöttiin ohjeitten mukaisesti jääkaapissa yön yli ennen toimitusta.

Syksyn vesinäytteenottojen aikaan olosuhteet olivat pääosin samankaltaiset. Edeltävillä viikoilla oli sateista, ja ojan vesitilanne oli kauttaaltaan hyvä (kuva 12). Kevään vesinäytteenottopäivän aamuna ojassa oli ohut jääkerros ja paikoitellen ojassa oli pohjaan asti ulottuvaa jäätä. Vesi virtasi pitkin ojaa, paikoitellen joko jään alla tai päällä (kuva 13). Tuolloin näyte otettiin iltapäivällä, jolloin jää oli sulanut. Ojan vesitilanne oli riittävä näytteenottoon niin, ettei pohjaa häiritty.





Kuva 13. Näytteenottopaikka syksyllä (Kuva: Atte Saastamoinen).



Kuva 14. Näytteenottopaikka keväällä (Kuva: Atte Saastamoinen).

## 4.6 Analysoitavat ominaisuudet

Tutkittavat vedenlaadun indikaattorit valittiin niiden merkityksellisyyden mukaan tuhkalannoituksen kannalta. pH:n seuranta on oleellista, sillä metsäojien vedet ovat yleisesti happamia tuhkan ollessa voimakkaan emäksistä, jolloin valumaveden pH:n nousu on mahdollista. Tuhkan kaliumin on havaittu huuhtoutuvan valumavesiin sulfaatti- ja kloridisuoloina (Arvola L., Ollila S. & Tulonen T. 2000, 35), jolloin veden sähkönjohtavuus alueella voi kohota tuhkalannoituksen jälkeen.

Ravinteiden osalta tutkitaan tuhkan sisältämää fosforia sekä typpeä, jonka pitoisuus maaperässä voi nousta mikrobitoiminnan kiihtymisen myötä. Tuhkan sisältämä rauta sitoo fosforia heikommin liukenevaan muotoon, mutta raudan pitoisuutta itsessään ei ole analysoitu tuhkasta, joten sen pitoisuutta valumavedessä päätettiin mitata. Tutkittaviksi raskasmetalleiksi valittiin ne, joiden enimmäispitoisuudet tuhkassa rajattiin lannoitevalmistelaissa, ja joiden liukenemista nähtiin täten tarpeen seurata. Näitä ovat arseeni, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki ja elohopea.

## 5 Tulokset

### 5.1.1 Vesianalyysien tulokset

Taulukko 4 esittää liitteiden 4–6 vesianalyysien tulokset. Syksyllä ennen ja jälkeen tuhkalannoitusta otettujen näytteiden välillä oli pääosin vain lieviä eroja, kun taas kevään vesinäytteen tulokset puolestaan poikkesivat näistä huomattavasti. Varsinaisten vesinäytteiden lisäksi opiskelijat suorittivat kenttäanalyysseja tuhkan levityspäivänä. Opiskelijat mittasivat veden lämpötilan, pH:n ja sähkönjohtavuuden kenttämittareilla. Veden lämpötila oli 10 °C, pH 4,0 ja sähkönjohtavuus 9,3 mS. Tulokset olivat varsin yhdenmukaisia analyysien kanssa.



Taulukko 4. Tutkittujen muuttujien pitoisuudet vesinäytteissä.

Näyte	Yksikkö	Näyte 1, 28.9.2020	Näyte 2, 22.10.2020	Näyte 3 3.5.2021
pH		4	4	3,9
Sähkönjohtavuus, 25°C	mS/m	11	12	11
Kokonaistyppe	mg/l	2,7	2,7	3,5
Kokonaisfosfori	mg/l	0,040	0,040	0,035
Arseeni	µg/l	4,3	3,2	3
Kadmium	µg/l	0,094	0,10	0,082
Kromi	µg/l	2,5	2,3	1,5
Kupari	µg/l	2,0	3,5	3,5
Lyijy	µg/l	1,1	1,0	0,58
Nikkeli	µg/l	19	19	9,4
Sinkki	µg/l	14	13	6,4
Elohopea	µg/l	0,011	0,011	0,014
Rauta	µg/l	6500	4300	2300

### 5.1.2 pH, sähkönjohtavuus ja ravinteet

Kahden ensimmäisen näytteenoton välillä pH pysytteli samana, kuten myös tuhkanlevityspäivänä opiskelijoiden ottamassa näytteessä. Sähkönjohtavuus nousi lievästi tuhkalannoituksen jälkeen. Opiskelijoiden ottaman näytteen sähkönjohtavuus oli matalampi, mutta mittaus suoritettiin luonnonlämpötilassa, kun taas tilattujen näytteiden mittaus suoritettiin 25 °C-asteessa. Kokonaisfosforin ja kokonaistypen pitoisuuksissa ei havaittu muutoksia kahden ensimmäisen näytteenoton välillä. Keväällä, sähkönjohtavuus ja fosforipitoisuus laskivat, mutta typpipitoisuus nousi.

### 5.1.3 Raskasmetallit

Syksyn näytteiden osalta muutosta ei havaittu nikkelin ja elohopean osalta. Lyijyn, kromin ja arseenin pitoisuudet puolestaan laskivat lievästi. Kadmiumin ja kuparin pitoisuudet nousivat tuhkalannoituksen seurauksena kuparipitoisuuden nousun ollessa korkea. Kiinnostavinta oli raudan pitoisuuden lasku sen ollessa 2 200 µg/l, joka oli noin kolmasosa ensimmäisen mittauksen tuloksesta.

Kevään näytteessä pitoisuudet laskivat lähes kaikkien aineiden osalta. Ainoastaan kuparin pitoisuus pysyi samana kuin syksyn jälkimmäisessä näytteessä, ja elohopean pitoisuus nousi lievästi. Raudan pitoisuus laski 2 000 µg/l eli noin kolmasosaan ensimmäisen näytteen pitoisuudesta. Nikkelipitoisuuden lasku oli myös merkittävä, laskien puoleen.

## 5.2 Projektin kustannukset

Varsinaisen opinnäytetyön budjetti oli 1 000 €, jonka tarjosi Karelia-ammattikorkeakoulu. Budjetti käytettiin kokonaisuudessaan vesinäytteiden ottoon, joiden yksilöhinta oli 273,28 €. Muilta osin tuhkalannoituksen rahoitus oli Karelia-ammattikorkeakoulun vastuulla. Jokaiselle tuhkan levittäjälle tarjottiin suojarahusteet, joiden budjetti oli 500 €. Yllätyksellisenä kuluna projektiin tuli mönkijän vuokraus, jonka päivävuokra oli 242 €. Alkuperäisenä idea oli toteuttaa tuhkan kuljetus ainoastaan ammattikorkeakoulun traktorilla, mutta epäsuotuisa maasto aiheutti liiallisen kiinnijäämisen riskin raskaalle kalustolle.

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Muutokset vedenlaadussa

Työssä tutkittiin vedenlaadun muutoksia nimenomaisesti hiilirikkaan tuhkan käytön seurauksena. Vaikutusten odotettiin olevan laajalti samankaltaisia tyypillisten

tuhkalannoitusten kanssa, joskin myös poikkeuksiin varauduttiin tuhkan omalaatuisen koostumuksen johdosta. Tuhkan hiilipitoisuuden ja hienojakoisuuden johdosta esitettiin teorioita, että lannoitus saattaisi sitoa tutkittavia aineita ja vähentää niiden huuhtoutumista. Toisaalta taas lannoituksen mittakaava on niin pieni, että nähtiin mahdolliseksi, ettei sen vaikutuksia kyettäisi havaitsemaan työn toteutukseen käytettävänä aikana.

Pääasiallisesti ensimmäisen ja toisen näytteenoton väliset erot muistuttivat alan julkaisujen tarjoamaa tietopohjaa. Arvot pysyivät samankaltaisina, ja muutokset olivat muuttujien osalta pääosin lieviä. Sähkönjohtavuus nousi odotetusti, joskin ero oli vähäinen. Raskasmetallien pitoisuudet pysyivät pääosin samankaltaisina, laskien tai nousten vain lievästi. Tuhkan raportoiduissa (liitteet 1–3) pitoisuuksissa korkeat sinkin ja nikkelin pitoisuudet eivät muuttuneet levityksen seurauksena. Tässä vaiheessa kiinnostavimmiksi nousivat raudan ja arseenin pitoisuuden suurempi lasku sekä kuparipitoisuuden nousu. Näytteenottojen aikaan vallitsevat olosuhteet olivat pääosin samankaltaiset, joskin toista näytteenottoa edelsi sateisempi jakso ja vesi oli ulkonäöltään samanlaista.

Kevään vesinäytteessä havaittiin laskua useimpien muuttujien osalta. Muutokset olivat merkittäviä, ja niiden voidaan olettaa johtuvan pääosin vuodenajan ympäristötekijöistä, kuten sateettomuudesta ja sulamisvesistä. Vesi oli seisovaa sateettomuuden vuoksi, jolloin on todennäköistä, että aineet olivat saostuneet ojan pohjaan. Kuparipitoisuuden pysyminen samana on kuitenkin poikkeavaa, ja on mahdollista, että se johtuu levitetyn tuhkan kuparimäärästä. Typpipitoisuus vesissä nousee tyypillisesti kasvukauden ulkopuolella, kun kasvit eivät käytä maaperän ravinteita hyväkseen ja niiden huuhtoutuminen lisääntyy. Fosforin huuhtoutuminen puolestaan oli vähäistä, ja vaikuttaa että tuhka ei vielä parantanut alueen fosforitilannetta.

Raskasmetallipitoisuuksien nousu tuhkalannoituksen seurauksena olisi ollut odotettua, mutta se, että ainoastaan kuparin pitoisuus nousi, oli yllättävää. Raskasmetallien pitoisuuden lasku puolestaan voi johtua tuhkan vaikutuksesta maaperän happamuuteen, jolloin niiden liukoisuus laskee. Veden pH puolestaan ei muuttunut syksyn aikana, ja jopa laski keväällä. Vaikka syksyn olosuhteet olivat

näennäisesti samanlaiset, on myös mahdollista, että sateiden huuhtoumat ja veden määrä ojassa vaikuttivat tuloksiin, joskin useimpien raskasmetallien pitoisuuksien pysyminen samana ei välttämättä tue tätä teoriaa. Kevään olosuhteet puolestaan ovat niin erilaisia, että varmuutta tuhkalannoituksen vaikutuksista on vaikea saada.

## **6.2 Jatkotutkimukset**

Tuhkalannoituksen vaikutukset ovat pitkäaikaisia, joten on myös perusteltua tutkia sen vesistövaikutuksia pitkällä aikavälillä. Opinnäytetyö antaa kuvan välittömistä vaikutuksista, mutta luotettavuuden parantamiseksi näytteiden ottoa voitaisiin jatkaa kesän ja syksyn 2021 aikana. Tällöin ensimmäinen vuosi katettaisiin kokonaisuudessaan, ja syksyjen tuloksia voitaisiin vertailla keskenään.

Pitkäaikaisempaa seuranta varten näytteenotto voitaisiin toistaa muutaman vuoden, esimerkiksi kahden tai kolmen vuoden välein syksyisin ja keväisin. Etenkin kevään syksystä poikkeavien tulosten takia olisi oleellista selvittää, kuinka tyypillisiä tulokset ovat keväiselle vesinäytteelle alueelta. Lannoituksen pienen mittakaavan vuoksi on kuitenkin todennäköistä, että vaikutukset valumavesiin vähenevät sängen nopeasti ja näytteenotto tuhkalannoituksen koko laskennallisen vaikutusajan osalta ei ole välttämätöntä. Tulevissa näytteenotoissa voidaan myös keskittyä niihin muuttujiin, joissa varsinaisia muutoksia on havaittu.

Työssä käytetyn tuhkan koostumusta ei kyetty tutkimaan ennen levitystä. Mikäli pien CHP-laitoksen tuhkaa käytetään vastaavanlaiseen metsälannoitukseen, olisi suotavaa analysoida käytettävän tuhkaerän koostumus XRF-mittauksella. Tällöin voidaan mahdollisesti havaita levitettävän tuhkan raskasmetallipitoisuuksien ja levityksen vedenlaatuun aiheuttamien muutosten korrelaatio. Etenkin kuparin lisääntyminen muista raskasmetalleista poiketen keväällä saattoi johtua tuhkan kuparipitoisuudesta.

### 6.3 Tuhkan esikäsittelyn ja levittämisen parantaminen

Tyypillisesti tuhka esikäsitellään ennen levittämistä, tarkoittaen sen stabilointia helpomman käsittelyn ja hitaamman liukenemisen saavuttamiseksi. Esikäsitely voidaan toteuttaa itsekovettamalla, rakeistamalla tai pelleteimalla. Käytetty tuhka oli osittain itsekovettunutta kosteuden takia, mutta prosessi ei ollut tarkoituksellista. Tuhkaa säilöttiin erillisissä pusseissa, jolloin laatu ei ollut tasaista. Korkean kosteusprosentin takia itsekovettuminen olisi voitu saavuttaa säilömällä tuhkaa yhdessä ja sekoittamalla sisältöä kosteuden tasaamiseksi.

Rakeistaminen voidaan pienessä mittakaavassa toteuttaa betonimyllyllä, joka soveltuu hyvin laitoksen tuottaman tuhkamäärän käsittelyyn. Tuhkaa kostutetaan, ja se syötetään betonimyllyyn, jossa se rakeistuu liikkeen johdosta. Tämä vaatii enemmän suunnitelmallisuutta ja työtä kuin itsekovettuminen, mutta tällöin tuhka soveltuisi paremmin manuaaliseen levitykseen sen raemaisen rakenteen ansiosta.

Karelia-ammattikorkeakoulu kokeili käytetyn tuhkan pelletointia sellaisenaan ja seoksena puun kanssa. Työ oli tilaustyö, ja sen tulokset ovat salassapitovelvollisuuden piirissä. Lopputuloksena kuitenkin todettiin, että prosessi oli liian ongelmallinen varsinaisen tuotannon kannalta ja työ ei olisi järkevää käytetyn laitteiston ja metodien osalta.

Manuaalinen levitys opiskelijoiden avustuksella soveltui hyvin alueen olosuhteisiin ja työn mittakaavaan. Puusto oli liian tiheää tyypillistä traktorilevitystä varten, joka puolestaan olisi myös ollut tehotonta pienen tuhkamäärän ja levitettävän pinta-alan osalta. Vaihtoehtona voitaisiin nähdä mönkijän hyödyntäminen levityksessä. Yksinkertaisimmillaan tämä voidaan toteuttaa lapiolevityksellä mönkijän perävaunusta, jolloin kolme ihmistä, ajaja ja levittäjät perävaunun molemmin puolin voisivat toteuttaa työn nopeina linjoina ilman tuhkan erillistä säkittämistä. Mönkijöihin on myös saatavilla erilaisia levittämiä lannoitteille, joita on raportin kirjoitushetkellä vuokrattavissa Pohjois-Karjalan alueella hinnan ollessa samaa luokkaa mönkijän vuokran kanssa.

## **6.4 Työn rajoitukset ja parantamisehdotuksia**

Opinnäytetyöhön liittyi useita olosuhteiden aiheuttamia rajoitteita. Yhtenä ongelmana on koealan vähäinen pinta-ala ja levitettävän tuhkan määrä. Ojan vedenlaadun tutkimisen osalta olisi suotavaa, että tuhkalannoitus vastaisi laajuudeltaan tyypillistä metsälannoitusta ja kattaisi laajemman alueen tutkittavan ojan ympäriltä. Tuhkan kuiva-aineen osuus putosi suunnitellusta 60 %:sta 35 %:iin todellisen kosteuden takia, jolloin alueen kokoa olisi tullut muuttaa tai tuhkan määrää lisätä tavoitteellisen levitysmäärän saavuttamiseksi. Koeala oli kuitenkin ennestään rajoitettu, joten se päätettiin pitää ennallaan.

Optimaalisessa tilanteessa opinnäytetyön rahoituksen aiheuttamat rajoitteet olisivat vähäisempiä. Budjetti riitti vain kolmeen vesinäytteeseen, jotka eivät tarjoa kattavaa kuvaa kulloisenkin ajankohdan vedenlaadusta. Ojien veden vaihtuvuus on suurta ja ajoittaisten huuhtoutumien vaikutukset näin ollen merkittävämpiä kuin joilla ja järvillä. Jatkuvalla näytteenotolla olisi mahdollista selvittää normaali-tilanne, jonka avulla voidaan sulkea pois poikkeuksellisia tuloksia ja havaita pitkäaikaisia muutoksia. Työn luotettavuuden lisäämiseksi olisi myös suositeltavaa valita kontrollioja lannoittamattomalle alueelle lähistöllä näytteenottoa varten. Tällöin tuloksia vertailemalla on helpompi todeta itse tuhkalannoituksen vaikutukset verrattuna ympäristötekijöihin.

## **6.5 Työn eettisyys ja luotettavuus**

Opinnäytetyö toteutettiin noudattaen hyvän tieteellisen käytännön ohjeistusta ja periaatteita. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää käytetyn tuhkan vaikutukset objektiivisesta näkökulmasta tarkasteltuna. Työ toteutettiin saatavilla olevaa ohjeistusta ja lainsäädäntöä noudattaen parhaimman mukaan. Tutkimus on luonteeltaan havainnoiva, ja toteuttajan ennakoasenteet tai veikkaukset eivät vaikuttaneet lopputulokseen. Lähteinä käytettiin metsäalalla toimivia ja luotettavaksi katsottuja lähteitä, joiden sisältämiä tietoja vertailtiin keskenään luotettavuuden varmistamiseksi.

Työ toteutettiin osana Karelia-ammattikorkeakoulun tuhkalannoitusta käsittelevää projektia ja yhteistyössä koulun henkilöstön kanssa. Ammattikorkeakoulu vastasi myös toimeksiannosta ja rahoituksesta. Vesinäytteiden analysointi tilattiin opinnäytetyön valvojan ehdottamalta sertifioidulta ja ammattitaitoiselta toimijalta. Savo-Karjalan ympäristötutkimus Oy:n mittaustulokset esitellään liitteissä kokonaisuudessaan mittausepävarmuustietojen kera.

## **6.6      Prosessi ja kiitokset**

Opinnäytetyö toteutettiin tiiviissä yhteistyössä Karelia-ammattikorkeakoulun projektihenkilöstön kanssa, mikä tarjosi hyvän oppimistilaisuuden ja mahdollisti erilaisten lähestymistapojen pohtimisen työn kannalta. Työssä yhdistyivät projektin suunnittelu, maastossa toteutettu käytännön lähestyminen sekä lähdetietoihin perustuva tiedonhaku aiheesta.

Kiitokset Karelia-ammattikorkeakoulun projektihenkilöille Simo Paukkuselle ja Anssi Kokkoselle, jotka vastasivat tuhkalannoitusprojektin käynnistämisestä ja sallivat opinnäytetyön toteutuksen osana sitä ja joiden kanssa yhteistyö oli saumatonta ja mieleistä. Kiitokset opinnäytetyöstä vastaavalle Tarmo Tossavaiselle puolestaan aihepiiriin kuuluvasta opetuksesta, opastuksesta ja opinnäytetyön prosessin tukemisesta. Kiitän myös tuhkan levitykseen osallistuneita Karelian BIYNS17-ryhmän opiskelijoita, joiden osallistuminen oli tärkeää projektille.

## Lähteet

- Arvola L., Ollila S. & Tulonen T. 2000. Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset, Metsäteho. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_087.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_087.pdf). 26.4.2021.
- Domisch T. & Piirainen S. 2004. Tuhkalannoituksen vaikutus pohja- ja valumavesien laatuun ja ainehuuhtoumiin ojitetuilla soilla. Metsäteho. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_168.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_168.pdf). 26.4.2021.
- Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metla. <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2371-2/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena.pdf>. 26.4.2021.
- Ilvesniemi, H., Joensuu S. & Tuovinen N. 2019. Puutuhkalannoituksen vaikutukset marjoihin ja sieniin kivennäismailla. Pilotointikoe 2016–2018. Tapio. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Puutuhkalannoituksen-vaikutukset-marjoihin-ja-sieniin-kivenn%C3%A4ismailla.pdf>. 26.4.2021.
- Joensuu, S. 2017. Puutuhkan käyttö kivennäismaa metsien lannoituksessa-pilotointi väliraportti 2016–2017. Tapio. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Puutuhka-hankeraportti-2016-2017.pdf>. 30.5.2021.
- Kukkola, M. & Nöjd, P. 2000. Kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunli säys suomessa 1950–1998. Metsätieteen aikakauskirja. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6065.pdf>. 30.5.2021
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista nro 24/11. <https://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet>. 26.4.2021.
- Metsänhoidon suositukset. 2021. <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/lannoitus/toteutus>. 26.4.2021.
- Motiva. 2009. Metsätuhkan ravinteet takaisin metsään. [https://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan\\_ravinteet\\_takaisin\\_metsaan.pdf](https://www.motiva.fi/files/3014/Metsatuhkan_ravinteet_takaisin_metsaan.pdf). 26.4.2021.
- Nousiainen, H., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Vantaa: Metla.
- Suomen FSC-yhdistys. 2010. Suomen FSC-standardi. <https://fi.fsc.org/preview-suomen-fsc-standardi.a-142.pdf>. 26.4.2021.
- Volter. 2021. Technology. <https://volter.fi/technology/>. 26.4.2021.
- Ympäristöministeriö. 2018. Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon soveltaminen. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023\\_43F0\\_44D0\\_BEFE\\_AAF4AE464968-138515.pdf/1f31fd19-504d-1f23-d46a-aa34b1fe7e08/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023\\_43F0\\_44D0\\_BEFE\\_AAF4AE464968-138515.pdf?t=1603260910164](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf/1f31fd19-504d-1f23-d46a-aa34b1fe7e08/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf?t=1603260910164). 26.4.2012.



Ympäristöanalyysi

As.nro 29874

Työ nro 92358

Pvm 26.02.2013

Suomen Ympäristöpalvelu Oy

Näytteen nro

001

Näytteen tunnus

Kaasutin tuhka

Näytetyyppi

Tuhka (a)

Mittaus suure	Yksikkö	Analyyssitulos
L/S10 uutteen pH		12,7
L/S10 uutteen johtokyky	mS / m	2680
Arseeni, As (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	0,48
Barium, Ba (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	0,44
Kadmium, Cd (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	<0,015
Koboltti, Co (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	<0,05
Kromi, Cr (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	6,8
Kupari, Cu (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	<0,1
Molybdeeni, Mo (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	5,8
Nikkeli, Ni (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	<0,1
Lyijy, Pb (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	<0,15
Antimoni, Sb (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	0,34
Seleen, Se (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	0,070
Tina, Sn (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	<0,15
Vanadiini, V (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	0,24
Sinkki, Zn (L/S 10) **	mg / kg kuiva-ainetta	<0,1
Elohopea, Hg (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	<0,005
Fluoridi (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	<5
Kloridi (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	360
Sulfaatti (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	3860
DOC (L/S 10) *	mg / kg kuiva-ainetta	47,5
TDS (L/S 10)	mg / kg kuiva-ainetta	168000

SFS EN 12457-2 (L/S10)

Suomen Ympäristöpalvelu Oy

Tomi Nevanperä, Kemisti FM

Ympäristöanalyysi As.nro 29874 Työ nro 92359 Pvm 26.02.2013 Suomen Ympäristöpalvelu Oy

Näytteen nro 001 Näytteen tunnus Suodatin tuhka  
Näytetyyppi Tuhka (a)

Mittaus suure		Yksikkö	Analyyssitulos
L/S10 uutteen pH			12,2
L/S10 uutteen johtokyky		mS / m	2740
Arseeni, As (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	<0,15
Barium, Ba (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	0,43
Kadmium, Cd (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	<0,015
Koboltti, Co (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	0,10
Kromi, Cr (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	<0,1
Kupari, Cu (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	<0,1
Molybdeeni, Mo (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	10,1
Nikkeli, Ni (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	<0,1
Lyijy, Pb (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	<0,15
Antimoni, Sb (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	0,12
Seleni, Se (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	0,079
Tina, Sn (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	<0,15
Vanadiini, V (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	0,071
Sinkki, Zn (L/S 10)	**	mg / kg kuiva-ainetta	0,23
Elohopea, Hg (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	<0,005
Fluoridi (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	27,5
Kloridi (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	1500
Sulfaatti (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	8540
DOC (L/S 10)	*	mg / kg kuiva-ainetta	330
TDS (L/S 10)		mg / kg kuiva-ainetta	56300

SFS EN 12457-2 (L/S10)

Suomen Ympäristöpalvelu Oy

Tomi Nevanperä, Kemisti FM

Ympäristöanalyysi As.nro 29874 Työ nro 92357 Pvm 25.02.2013 Suomen Ympäristöpalvelu Oy

Näytteen nro 001 Näytteen tunnus Kaasutin tuhka  
Näytetyyppi Tuhka (a)

Mittausuure	Yksikkö	Analyyssitulos
pH (1:5)	---	12,9
Elohopea, Hg *	mg / kg kuiva-ainetta	<0,04
Arseeni, As *	mg / kg kuiva-ainetta	<3
Barium, Ba **	mg / kg kuiva-ainetta	1900
Kadmium, Cd *	mg / kg kuiva-ainetta	0,59
Kromi, Cr *	mg / kg kuiva-ainetta	65
Kupari, Cu *	mg / kg kuiva-ainetta	310
Molybdeeni, Mo	mg / kg kuiva-ainetta	7,3
Nikkeli, Ni *	mg / kg kuiva-ainetta	300
Lyijy, Pb *	mg / kg kuiva-ainetta	9,7
Antimoni, Sb **	mg / kg kuiva-ainetta	3,4
Seleen, Se **	mg / kg kuiva-ainetta	<3
Sinkki, Zn *	mg / kg kuiva-ainetta	260
pH		12,9
ANC, pH 4 +	mol H+ / kg	13,0
ANC, pH 5 +	mol H+ / kg	11,5
ANC, pH 6 +	mol H+ / kg	10,0
ANC, pH 7 +	mol H+ / kg	6,1
ANC, pH 8 +	mol H+ / kg	5,0
ANC, pH 9 +	mol H+ / kg	4,7
ANC, pH 10 +	mol H+ / kg	2,4
ANC, pH 11 +	mol H+ / kg	1,2
ANC, pH 12 +	mol H+ / kg	0,67
TOC	g / kg kuiva-ainetta	246

Näytteen nro 002 Näytteen tunnus Suodatin tuhka  
Näytetyyppi Tuhka (a)

Mittausuure	Yksikkö	Analyyssitulos
pH (1:5)	---	12,2
Elohopea, Hg *	mg / kg kuiva-ainetta	0,14
Arseeni, As *	mg / kg kuiva-ainetta	<3
Barium, Ba **	mg / kg kuiva-ainetta	830
Kadmium, Cd *	mg / kg kuiva-ainetta	7,9
Kromi, Cr *	mg / kg kuiva-ainetta	36
Kupari, Cu *	mg / kg kuiva-ainetta	77
Molybdeeni, Mo	mg / kg kuiva-ainetta	14
Nikkeli, Ni *	mg / kg kuiva-ainetta	64
Lyijy, Pb *	mg / kg kuiva-ainetta	23
Antimoni, Sb **	mg / kg kuiva-ainetta	<3

---

Ympäristöanalyysi As.nro 29874 Työ nro 92357 Pvm 25.02.2013 Suomen Ympäristöpalvelu Oy

---

Seleeni, Se	**	mg / kg kuiva-ainetta	<3
Sinkki, Zn	*	mg / kg kuiva-ainetta	1980
pH			12,2
ANC, pH 4 +		mol H+ / kg	5,6
ANC, pH 5 +		mol H+ / kg	5,2
ANC, pH 6 +		mol H+ / kg	4,2
ANC, pH 7 +		mol H+ / kg	2,6
ANC, pH 8 +		mol H+ / kg	2,1
ANC, pH 9 +		mol H+ / kg	1,5
ANC, pH 10 +		mol H+ / kg	0,93
ANC, pH 11 +		mol H+ / kg	0,39
ANC, pH 12 +		mol H+ / kg	0,07
TOC		g / kg kuiva-ainetta	671

Suomen Ympäristöpalvelu Oy

Tomi Nevanperä, Kemisti FM

Saastamoine Atte  
1601536@edu.karelia.fi  
Turjankatu 7a  
80260 JOENSUU



Tilausno 271095 (5353/VESINÄYT), saapunut 29.9.2020, näytteet otettu 28.9.2020  
Näytteenottaja: Saastamoinen Atte

**NÄYTTEET**

Lab.nro	Näytteen kuvaus
25522	Metsäoja liksenvaara

**MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET**

Määrittäjä	Yksikkö	25522
pH *		4,0
Sähkönjohtavuus 25 °C *	mS/m	11
Kokonaistyyppi*	mg/l	2,7
Kokonaistofoni*	mg/l	0,040
Arseeni *	µg/l	4,3
Kadmium *	µg/l	0,094
Kromi *	µg/l	2,5
Kupari *	µg/l	2,0
Lyijy *	µg/l	1,1
Nikkeli *	µg/l	19
Sinkki *	µg/l	14
Elohopea*	µg/l	0,011
Rauta*	µg/l	6500

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäjä kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

Menetelmätiedot viimeisellä sivulla, \* = akkreditoitu menetelmä, (A) = alihankintamäärittäjä

**LAUSUNTO**

Ojavesitutkimus



Sauli Schroderus  
tutkija

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei huomioida valintasäännöissä.

Katuosoite	Postiosoite	Puhelin	Sähköposti	Y-tunnus
Yrittäjätie 24	Yrittäjätie 24			1869466-1
70150 KUOPIO	70150 KUOPIO	*017-2647200	toimisto@ymparistotutkimus.fi	

**MENETELMÄTIEDOT**

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
pH *	SFS 3021:1979 (TL30)
Sähkönjohtavuus 25 °C *	SFS-EN 27888:1994 (TL30)
Kokonaistyyppi*	SFS-ISO 29441:2018, CFA-analysaattori (TL30)
Kokonaisfosfori*	ISO 15681-2:2018, CFA-analysaattori (TL30)
Arseeni *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kadmium *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kromi *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kupari *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Lyijy *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Nikkeli *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Sinkki *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Elohopea*	SFS-EN ISO 17852 (2008) (TL30)
Rauta*	ICP-OES, SFS-EN ISO 11885 (2009) (TL30)

**TUTKIMUSLAITOSTIEDOT**

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL30	SKYT Oy, Kuopion laboratorio

**MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT**

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittäispvm.
pH *	2020/25522	±0,2 yks.	29.9.2020
Sähkönjohtavuus 25 °C *	2020/25522	±5%	29.9.2020
Kokonaistyyppi*	2020/25522	±10%	29.9.2020
Kokonaisfosfori*	2020/25522	±15%	29.9.2020
Arseeni *	2020/25522	±10%	1.10.2020
Kadmium *	2020/25522	±20%	1.10.2020
Kromi *	2020/25522	±10%	1.10.2020
Kupari *	2020/25522	±15%	1.10.2020
Lyijy *	2020/25522	±12%	1.10.2020
Nikkeli *	2020/25522	±10%	1.10.2020
Sinkki *	2020/25522	±12%	1.10.2020
Elohopea*	2020/25522	±15%	6.10.2020
Rauta*	2020/25522	±10%	12.10.2020

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettäessä. Mittausepävarmuutta ei huomioida valintasäännöissä.

Atte Saastamoinen  
 Turjankatu 7 a  
 80200 JOENSUU


Tilausnro 272280 (5353/VESINÄYT), saapunut 23.10.2020, näytteet otettu 22.10.2020 (12:40)

**NÄYTTEET**


Lab.nro	Näytteen kuvaus
28264	Metsäpuro, liksenvaara

**MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET**

Määrittäjä	Yksikkö	28264
pH *		4,0
Sähkönjohtavuus 25 °C *	mS/m	12
Kokonaistyyppi*	mg/l	2,7
Kokonaisfosfori *	mg/l	0,040
Arseeni *	µg/l	3,2
Kadmium *	µg/l	0,10
Kromi *	µg/l	2,3
Kupari *	µg/l	3,5
Lyijy *	µg/l	1,0
Nikkeli *	µg/l	19
Sinkki *	µg/l	13
Elohopea*	µg/l	0,011
Rauta*	µg/l	4300

Merkitöjen selityksiä: P = määrittäjä kesken, E = ei tehty, ~ = noin, &lt; = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, &gt; = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

Menetelmätiedot viimeisellä sivulla, \* = akkreditoitu menetelmä, (A) = alihankintamäärittäjä

  
 Minna Kukkonen  
 tutkimuspäällikkö

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyäessä. Mittausepävarmuutta ei huomioida valintasäännöissä.

Katuosoite	Postiosoite	Puhelin	Sähköposti	Y-tunnus
Yrittäjätie 24	Yrittäjätie 24			1869466-1
70150 KUOPIO	70150 KUOPIO	*017-2647200	minna.kukkonen@ymparistotutkimus.fi	

**MENETELMÄTIEDOT**

Määritys	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
pH *	SFS 3021:1979 (TL30)
Sähkönjohtavuus 25 °C *	SFS-EN 27888:1994 (TL30)
Kokonaistyyppi*	SFS-ISO 29441:2018, CFA-analysaattori (TL30)
Kokonaisfosfori *	Sis. menetelmä LA65, kolorimetrinen, FIA-analysaattori (TL30)
Arseeni *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kadmium *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kromi *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kupari *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Lyijy *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Nikkeli *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Sinkki *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Elohopea*	SFS-EN ISO 17852 (2008) (TL30)
Rauta*	ICP-OES, SFS-EN ISO 11885 (2009) (TL30)

**TUTKIMUSLAITOSTIEDOT**

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL30	SKYT Oy, Kuopion laboratorio

**MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT**

Määritys	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrityspvm.
pH *	2020/28264	±0,2 yks.	23.10.2020
Sähkönjohtavuus 25 °C *	2020/28264	±5%	23.10.2020
Kokonaistyyppi*	2020/28264	±10%	23.10.2020
Kokonaisfosfori *	2020/28264	±12%	26.10.2020
Arseeni *	2020/28264	±10%	28.10.2020
Kadmium *	2020/28264	±20%	28.10.2020
Kromi *	2020/28264	±10%	28.10.2020
Kupari *	2020/28264	±10%	28.10.2020
Lyijy *	2020/28264	±12%	28.10.2020
Nikkeli *	2020/28264	±10%	28.10.2020
Sinkki *	2020/28264	±12%	28.10.2020
Elohopea*	2020/28264	±15%	27.10.2020
Rauta*	2020/28264	±10%	9.11.2020

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittauserävarmuudet ilmoitetaan pyydettyäessä. Mittauserävarmuutta ei huomioida valintasäännöissä.



Karelia Ammattikorkeakoulu  
 Atte Saastamoinen

 Tilausnro 278260 (5621J/VESINÄYT), saapunut 5.5.2021, näytteet otettu 3.5.2021 (18:20)  
 Näytteenottaja: Atte Saaastamoinen
**NÄYTTEET**


Lab.nro	Näytteen kuvaus
10490	Metsäpuro, Iksenvaara

**MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET**

Määritys	Yksikkö	10490
pH *		3,9
Sähkönjohtavuus 25 °C *	mS/m	11
Kokonaistyyppi *	mg/l	3,5
Kokonaistyyppi *	mg/l	0,035
Arseeni *	µg/l	3,0
Kadmium *	µg/l	0,082
Kromi *	µg/l	1,5
Kupari *	µg/l	3,5
Lyijy *	µg/l	0,58
Nikkeli *	µg/l	9,4
Sinkki *	µg/l	6,4
Elohopea*	µg/l	0,014
Rauta*	µg/l	2300

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, &lt; = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, &gt; = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

Menetelmätiedot viimeisellä sivulla, \* = akkreditoitu menetelmä, (A) = alihankintamääritys

  
 Minna Kukkonen  
 tutkimuspäällikkö

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettäessä. Mittausepävarmuutta ei huomioida valintasäännöissä.

Katuosoite	Postiosoite	Puhelin	Sähköposti	Y-tunnus
Yrittäjätie 24	Yrittäjätie 24			1869466-1
70150 KUOPIO	70150 KUOPIO	*044 7647203	minna.kukkonen@ymparistotutkimus.fi	

**MENETELMÄTIEDOT**

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
pH *	SFS 3021:1979 (TL30)
Sähkönjohtavuus 25 °C *	SFS-EN 27888:1994 (TL30)
Kokonaistyyppi *	Sis. menetelmä LA60, kolorimetrisen, FIA-analysaattori (TL30)
Kokonaistyyppi *	Sis. menetelmä LA65, kolorimetrisen, FIA-analysaattori (TL30)
Arseeni *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kadmium *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kromi *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kupari *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Lyijy *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Nikkeli *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Sinkki *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Elohopea*	SFS-EN ISO 17852 (2008) (TL30)
Rauta*	ICP-OES, SFS-EN ISO 11885 (2009) (TL30)

**TUTKIMUSLAITOSTIEDOT**

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL30	SKYT Oy, Kuopion laboratorio

**MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT**

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisspvm.
pH *	2021/10490	±0,2 yks.	5.5.2021
Sähkönjohtavuus 25 °C *	2021/10490	±5%	5.5.2021
Kokonaistyyppi *	2021/10490	±10%	14.5.2021
Kokonaistyyppi *	2021/10490	±12%	10.5.2021
Arseeni *	2021/10490	±10%	24.5.2021
Kadmium *	2021/10490	±20%	26.5.2021
Kromi *	2021/10490	±10%	24.5.2021
Kupari *	2021/10490	±10%	24.5.2021
Lyijy *	2021/10490	±12%	24.5.2021
Nikkeli *	2021/10490	±10%	24.5.2021
Sinkki *	2021/10490	±12%	26.5.2021
Elohopea*	2021/10490	±15%	21.5.2021
Rauta*	2021/10490	±10%	12.5.2021

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyinä. Mittausepävarmuutta ei huomioida valintasäännöissä.