

KOHTEIDEN LANNOITUSTARPEEN MÄÄRITTÄMINEN TUHKAHANKKEELLE

Laitostuhkan hyötykäyttö lannoitteena -hanke

Mikael Palosaari

Opinnäytetyö
Luonnonvara-ala
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

2014

Luonnonvara-ala
Metsätalouden koulutusohjelma

Tekijä	Mikael Palosaari	Vuosi	2015
Ohjaaja	Oiva Hiltunen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattiopisto		
Työn nimi	Kohteiden lannoitustarpeen määrittäminen tuhkahankkeelle		
Sivu- ja liitemäärä	33		

Opinnäytetyöni käsittelee turvemaiden tuhkalannoitusta. Työssä tarkastellaan Laitostuhkan hyötykäyttö lannoitteena -hankkeeseen kuuluvia kohteita sekä tuhkalannoitetta. Kyseessä on tapaustutkimus, jonka tavoitteena on saada selville, minkälaisista ravinnepuutoksista lannoitettavat kohteet kärsivät ja soveltuuko Suosiolan voimalaitoksen rakeistettu tuhka näiden kohteiden lannoitukseen.

Opinnäytetyötä varten otettiin neulasnäytteet lannoitettavilta kohteilta sekä näytteet tuhkalannoitteesta. Viljavuuspalvelu Oy tutki näytteet, ja opinnäytetyön tutkimusosio käsittelee näiden tulosten analysointia.

Tutkimustulosten perusteella lannoitettavat kohteet kärsivät ravinnepuutoksista useiden ravinteiden osalta. Käytetty tuhkalannoite ei kuitenkaan kaikkien ravinteiden osalta kyennyt näihin puutteisiin vastaamaan, vaikka lannoitetta levitettiin yhtä kohdetta lukuun ottamatta ohjeellinen määrä. Pääravinteiden osalta päästiin parhaillaankin vain 71 prosenttiin tavoitellusta ravinnemäärästä.

Tutkimustulosten perusteella vaikuttaa siltä, että käytetty lannoitustuhka oli liian turvetuhkavoittoista. Tämä johtaa lannoitteen matalampiin ravinnemääriin. Jatkossa tulisi panostaa kohteiden ennakkosuunnitteluun, jotta löydettäisiin lannoitukseen soveltuvia kohteita, sekä tuhkalannoitukseen tarkoitettua tuhkaerän valintaan. Mahdollisuuksien mukaan tuhkalannoitukseen tulisi pyrkiä saamaan mahdollisimman puutuhkapitoista materiaalia.

Avainsanat Tuhkalannoitus, rakeistettu tuhka, tuhkan ravinteet, ravinnepuutosten määrittely

School of forestry and Rural industries
Forestry programme

Author	Mikael Palosaari	Year	2015
Supervisor(s)	Oiva Hiltunen		
Commissioned by	Lapland Vocational College		
Subject of thesis	Specifying the need of fertilization for the ash project		
Number of pages	33		

This thesis is a study of the use of ash in forest fertilization. The aim of the thesis is to find out how well the ash from Suosiola power plant responds to the need of nutrients in fertilization areas. It is a case analysis and the aim is to find out what kind of nutrient lack the fertilization areas are suffering of and does ash fertiliser contain enough nutrients to answer to the need.

Samples from the pine needles and from the ash were sent to Viljavuuspalvelu Oy where the samples were analysed. In addition the results of the analysis are examined in the thesis.

The fertilization areas suffered from the lack of nutrients. The results showed there was not a sufficient amount of nutrients in the ash fertiliser. The amount of ash was big enough almost in every area. No more than 71% of the aimed amount of main nutrients were acquired even on the best area.

Based on the results the ash seems to contain too much peat ash which is not as nutrient rich as the wood ash. In the future it would be good to invest in finding good areas for fertilization and also for choosing the right set of ash to be granulated into the fertiliser. If possible it would be good to use ash that contains as much wood ash as possible.

Key words

Ash fertilization, granulated ash, specifying the lack of nutrients

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	5
1 JOHDANTO	6
2 TUHKA.....	8
2.1 Tuhkan saatavuus ja ominaisuudet	8
2.2 Tuhkan käyttö.....	9
2.2.1 Tuhkan käytön ympäristönäkökulma	10
2.2.2 Säädökset tuhkalannoitteen käytöstä.....	12
2.3 Tuhkalannoitteen vaikutukset	12
2.3.1 Vaikutukset maaperään.....	12
2.3.2 Vaikutukset puustoon	13
2.3.3 Vaikutukset kasvistoon	15
2.3.4 Vaikutukset vesistöihin	15
2.4. Tuhkan levitys	16
2.4.1 Levitystavat	16
3. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	18
3.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusmenetelmät.....	18
3.2 Aineiston keruu.....	18
3.3 Tutkimusmenetelmät	19
4. TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	21
4.1 Kohteet.....	21
4.1.2 Kohde yksi	21
4.1.3 Kohde kaksi.....	22
4.1.4 Kohde kolme	23
4.2 Lannoitteen ravinteet	24
4.3 Kohteiden ravinnepuutokset ravinteittain.....	24
4.3.1 Typpi.....	25
4.3.2 Fosfori	25
4.3.3 Kalium	26
4.3.4 Boori	27
4.4 Tutkimustulosten tarkastelu.....	28
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
LÄHTEET	32

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIO 1. RAKEISTETTUA TUHKALANNOITETTA LEVITYSKONEEN KYYDISSÄ.....	11
KUVIO 2. TUHKAA HANKKEEN LEVITYSKOYTEELLA YKSI.....	10
TAULUKKO 1. LANNOITUKSEN RAVINEMÄÄRIEN YLEISOHJEET TURVEMAILLA.....	16
KUVIO 3. TUHKAN LEVITYSTÄ TUTKIMUSKOYTEELLA YKSI.....	17
KUVIO 4. AINEISTON KERUUSSA NEULASANALYYSIÄ VARTEN KÄYTETTY VÄLINEISTÖ.....	18
TAULUKKO 2. NEULASANALYYSIN MENETELMÄKUVAUS (VILJAVUUSPALVELU OY. 2014).....	19
TAULUKKO 3. TUHKALANNOITTEEN RAVINNEANALYYSIN MENETELMÄKUVAUS (VILJAVUUSPALVELU OY. 2014).....	20
KUVIO 5. ENSIMMÄINEN LANNOITUSKOHDE KUVIOKARTALLA (HIRVAAN OPETUSMETSÄN METSÄSUUNNITELMA 2001).....	22
KUVIO 6. TOINEN LANNOITUSKOHDE KUVIOKARTALLA (HIRVAAN OPETUSMETSÄN METSÄSUUNNITELMA 2001).....	23
KUVIO 7. KOLMAS KOHDE KUVIOKARTALLA. (ISOKUMMUN METSÄSUUNNITELMA. 2014).....	23
TAULUKKO 4. HIRVAAN OPETUSMETSÄN TUHKAERÄN RAVINNEPITOISUUDET.....	24
TAULUKKO 5. PERUNKAJÄRVEN TUHKAERÄN RAVINNEPITOISUUDET.....	24
KUVIO 8. KOHTEIDEN TYYPITILANNE NEULASANALYYSIN PERUSTEELLA.....	25
KUVIO 9. KOHTEIDEN FOSFORITILANNE NEULASANALYYSIN PERUSTEELLA.....	26
TAULUKKO 6. LANNOITTEESTA SAATU FOSFORIMÄÄRÄ.....	26
KUVIO 10. KOHTEIDEN KALIUMTILANNE NEULASANALYYSIN PERUSTEELLA.....	27
TAULUKKO 7. LANNOITTEESTA SAATU KALIUMMÄÄRÄ.....	27
KUVIO 11. KOHTEIDEN BOORITILANNE NEULASANALYYSIN PERUSTEELLA.....	28
TAULUKKO 8. LANNOITTEESTA SAATU BOORIMÄÄRÄ.....	28

1 JOHDANTO

Suomessa poltetaan energiantuotantoa varten jatkuvasti kasvavia määriä puuta ja turvetta, joista syntyy valtavat määrät emäksistä tuhkaa, jolle on hankaluuksia löytää järkevää loppusijoituspaikkaa. Tuhkaa käytetään jonkin verran esimerkiksi kaivostyömailla sideaineena, mutta usein tuhka toimitetaan jätteenkäsittelylaitoksille. Toimiva ja taloudellisesti järkevä tuhkan loppusijoitus vähentäisi myös polttolaitosten kustannuksia.

Tuhkan käyttöä metsän lannoitukseen on tutkittu Suomessa jo 80 vuotta. Ensimmäiset kokeet perustettiin Vilppulaan ja Muhokselle. Myöhemmin 1970-luvulla suoritettiin laajoja koesarjoja, joihin kuului noin 200 tutkimusmetsikköä pääasiassa turvemailloilla, tällöin tutkimuksen kohteena olivat erilaiset tuhkalaadut, sekä maaperä ja puustovaikutukset. (Moilanen 2011.)

Vanhoissa kokeissa levitettävä tuhkamäärä oli nykyiseen levitysmäärään verrattuna huomattavan suuri, jopa 16 000 kiloa hehtaarille. Tulokset olivat vakuuttavia, sillä puuston kasvu kohosi lannoituksen vaikutuksesta jopa yli kymmenkertaiseksi 60 vuoden tarkastelujakson aikana. (Moilanen 2011.)

Parhaiten puuston kasvuun tuhkalannoitus vaikuttaa runsastyypisillä turvemailloilla, sillä tuhka sisältää lähes kaikkia muita puuston kasvuun vaikuttavia ravinteita, tyypeä lukuun ottamatta. Runsastyypisillä kohteilla tuhkalannoitus nostaa puuston kasvua 2 – 6 kuutiometriä/hehtaari/vuosi ja niukkatyyppisilläkin kohteilla 1 – 3 kuutiometriä/hehtaari/vuosi. Tuhkaan voidaan myös lisätä ravinteita, kuten esimerkiksi booria, jotta saadaan aikaan toivotunlainen tuhkan ravinneoostumus. (Moilanen 2011.)

Opinnäytetyöni liittyy lannoitetuhkan käyttöön, sekä sen ravintoainepitoisuuksien analysointiin. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää tuhkalannoitteen ravinteiden ja lannoitettavien turvemaiden ravinnepuutosten vastaavuuksia. Lapin ammattiopiston tuhkahankkeeseen liittyen tarkastellaan neljän lannoitettavan kohteen ravinnepuutoksia ja tuhkalannoitteen ravinteita. Työtäni varten keräsin ravinneanalyysiä varten tarvittavat neulasnäytteet vuoden 2014 alussa, sekä

näytteet lannoitetuhkasta kohteiden lannoituksen yhteydessä keväällä 2014. Kohteiden ravinnetilaa, sekä lannoitetuhkasta saatavia ravinnemääriä ja näiden välistä vastaavuutta käsittelen työni tutkimustulokset osiossa.

Opinnäytetyöni tilaaja on Laitostuhkan hyötykäyttö lannoitteena -hanke. Kyseessä on Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) osittain rahoittama projekti. Hankkeen tarkoituksena on kehittää bioenergia-alan koulutusta. Tavoitteena on, että hankkeen jälkeen Rovaniemen koulutuskuntayhtymällä on valmiudet opettaa voimalaitostuhkan käsittelyketjua sekä vetää kursseja yritys-elämän edustajille aiheesta. Projektin päätoteuttajana toimi Rovaniemen koulutuskuntayhtymä ja projektipäällikkönä Kauko Jaukkuri. Projektin tiimoilta hankittiin tuhkan levittämiseen tarvittava työkone ja varusteet. (Lapin ammattiopisto 2012.)

2 TUHKA

2.1 Tuhkan saatavuus ja ominaisuudet

Suomessa syntyy noin 600 000 tonnia turve- ja puutuhkaa vuosittain, josta puutuhkaa on noin neljännes (Emilsson 2006, 18). Tästä tuhkamäärästä lannoitukseen käytettiin vuonna 2008 alle 25 %. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)

Puhdas puuntuhka olisi metsänlannoitukseen paras vaihtoehto, sillä turvetuhkassa kalsium-, kalium- ja booripitoisuudet ovat puutuhkaa matalampia. Puhdaan puutuhkan on tutkittu sisältävän käytetystä puuraaka-aineesta riippuen noin 0,2-3,0 % fosforia, 0,5-10,0 % kaliumia ja alle 0.1 % booria. Turvetuhka sisältää noin 0,5-2,0 % fosforia, 0,2-0,4 % kaliumia ja alle 0,01 % booria. (Huotari 2012, 6.)

Puhtaan puutuhkan saatavuus on kuitenkin vähäistä johtuen siitä, että yleensä energialaitoksissa poltetaan puu-turve seosta. Puu-turve sekoituksen suosimiseen on syynä sekä turpeen energiapuuhun verrattuna parempi saatavuus, sekä alhaisempi hinta (Kemin energia 2014). Lisäksi polttoteknisistä syistä turvepuu yhdistelmä on toimivampi, sillä pelkkää puuta poltettaessa kattila tervaantuu (Emilsson 2006, 16).

Ravinteiden lisäksi tuhkaan rikastuu käytettävän polttomateriaalin raskasmetalleja, kuten kadmiumia (Cd), arseenia (As), nikkeliä (Ni) ja kromia (Cr). Useat raskasmetallit ovat kuitenkin kasveille tarpeellisia hivenaineita, kuten magnaani (Mn), kupari (Cu) ja sinkki (Zn). Osa raskasmetalleista kuten kadmium ja lyijy (Pb) ovat kasvistolle myrkyllisiä. Haitallisten raskasmetallien vuoksi tuhkaerät täytyy tarkastaa etukäteen, jotta saadaan selvitettyä niiden soveltuvuus lannoitukseen. (Huotari 2012, 6 – 7.)

Tuhkan sisältämät ravinteet ja raskasmetallit riippuvat poltetun materiaalin ominaisuuksista. Kuten mainittu, turpeen ravinnepitoisuudet ovat puuta pienemmät, joten näiden polttosuhte vaikuttaa suoraan tuhkan laatuun (Emilsson 2006, 16 – 17). Puun ja turpeen tuhkaosuudet ovat myös erilaiset. Poltettaessa turvetta,

syntyy tämän painosta noin viisi prosenttia tuhkaa, kun puupolttainetta käytetään tuhkaa syntyy vain noin puoli prosenttia (Ojala 2010, 5).

2.2 Tuhkan käyttö

Tuhkan rakenne ja ravinneominaisuudet mahdollistavat tuhkan loppusijoituksen muuhunkin kuin kaatopaikoille. Tuhkaa on mahdollista käyttää metsälannoituksen lisäksi esimerkiksi maarakennuksessa tietynlaisena sideaineena mm. tien päällysrakenteessa ja täyttö- ja pengermateriaalina. (Kiviniemi ym. 2012, 6.)

Tuhkaa käytetään metsälannoitukseen turvemailla, erityisesti typpirikkailla turvemaatyypeillä tuhkalannoituksella on saatu hyviä tuloksia. Kivennäismailla tuhkalannoituksella ei saavuteta hyötyä, koska kivennäismailla kasvun avaintekijä on typpi, jota tuhka ei juurikaan sisällä. (Huotari 2012, 22 – 25.)

Ennen kuin tuhkaa voidaan käyttää lannoitteena, tulee se saattaa helpommin käsiteltävään muotoon. Muutoin tuhka pölyää liikaa, eikä sen levitys onnistu halutulla lailla. Käsittelyvaihtoehtoja ovat itsekovettaminen, rakeistus ja pelletointi. Kaikissa käsittelymenetelmissä tuhkaan lisätään vettä, jolloin kuivuessaan tuhka kovettuu. Itsekovettunut tuhka murskataan ennen levitystä. Rakeistettua tuhkaa sekoitetaan kuivumisen aikana, jolloin tuhka rakeistuu ennen kovettumistaan. Rakeistettu tuhka pölyää vähemmän ja on käsiteltävyydeltään itsekovettuvaa tuhkaa parempi vaihtoehto. (Emilsson 2006, 22.) Opinnäytetyössä käsiteltävässä hankkeessa on käytetty rakeistettua tuhkaa, joka on peräisin Rovaniemen energia Oy:n Suosiolan voimalaitokselta (Kuvio 1).

Tuhkaa voidaan myös terästää sekoittamalla siihen ravinteita tarpeen mukaan. Metsälannoituksessa käytettävään tuhkaan lisätään yleensä booripitoisia suoloja, tai boorihappoa booripitoisuuden lisäämiseksi. (Huotari 2012, 11)



Kuvio 1, Rakeistettua tuhkalannoitetta levityskoneen kyydissä

2.2.1 Tuhkan käytön ympäristönäkökulma

Suomi on osana Euroopan unionia sitoutunut vähentämään riippuvuuttaan fossiilista energianlähteistä hillitäkseen ilmastonmuutosta. Vuoteen 2020 mennessä on tavoitteena, että 20% Euroopassa käytetystä energiasta on peräisin uusiutuvista energianlähteistä. Suomen tavoite on vieläkin kunnianhimoisempi, 38%. (Työ ja elinkeinoministeriö 2013.)

Puun energiakäyttö on varsinkin Suomessa merkittävä osa tätä tavoitetta, kun mahdollisuudet lisätä esimerkiksi vesivoimaa ovat rajalliset ja tuulivoimaloille sopivia sijoituspaikkoja on hankala löytää.

Puuta on aina poltettu ja tulevaisuudessa poltetaan enemmänkin. On siis äärimmäisen järkevää kehittää palamistuotteelle jotakin hyödyllistä käyttöä. Tuhkan hyötykäyttö on järkevää sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta.

Energialaitosten tuottama tuhka on erittäin emäksistä ja se luokitellaan ongelmajätteeksi, joka tulee hävittää asianmukaisesti. Syynä tuhkan luokitteluun ongelmajätteeksi on pääasiassa kadmiumin ja arseenin raja-arvojen ylitys. Myös tuotevastuu voi osaltaan vähentää polttolaitosten innostusta tuhkan jatkojalostukseen lannoitteeksi. (Ojala 2010, 12.) Tutkimukset ovat osoittaneet, että puhdas polttolaitosten tuhka on hyvinkin käyttökelpoista metsälannoitteena ehkäisemään maaperän happamoitumista ja parantamaan ravinnekiertoa ilman merkittäviä negatiivisia ympäristövaikutuksia. Happamuus ja heikko ravinnekierto ovat ongelmia varsinkin turvemailla (Emilsson 2006, 6 – 7).

Monet nykyiset ympäristöongelmat ovat kytköksissä ihmisen toimintaan. Ihmiset siirtävät luonnon elementtejä paikasta toiseen aiheuttaen luonnotonta epätasapainoa. Palauttamalla metsästä korjatun puutavaran mukana poistuneet ravinteet metsälannoitteena (Kuvio 2) vähennetään metsien ravinnehävikkiä. (Emilsson 2006, 5 – 7.)



Kuvio 2, Tuhkaa hankkeen levityskohteella yksi

2.2.2 Säädökset tuhkalannoitteen käytöstä

Lannoitevalmistelaki säätelee tuhkan valmistusta ja käyttöä. Laissa ja sen perusteella annetuissa asetuksissa määritellään tuhkalannoitteen laatuvaatimuksia, esimerkiksi sisällön ja tuoteselosteen suhteen. (Makkonen 2008, 6.)

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista määrää mm. seuraavaa: Tuhkalannoitteen on sisällettävä fosforia ja kaliumia yhteensä vähintään kaksi prosenttia ja kalsiumia kuusi prosenttia (Asetus lannoitevalmisteista 24/11, liite 1A6). Lannoite ei saa sisältää orgaanisia aineita. Tuhkalannoitteen tuoteselosteessa tulee ilmoittaa tuhkan sisältämät kokonaispitoisuudet fosforille, kaliumille sekä kalsiumille. Lisäksi tulee ilmoittaa vesiliukoisen fosforin osuus, lisätystä boorista tulee myös olla merkintä tuoteselosteessa. (Asetus lannoitevalmisteista 24/11, liite 1A.) Kadmiumia tuhkalannoitteen mukana saa metsään tulla maksimissaan 100 grammaa hehtaaria kohden 60 vuoden ajanjaksolla (Asetus lannoitevalmisteista 24/11, 5 a§).

Lakien ja asetusten tarkoituksena on, että lannoitevalmisteiden käyttö on turvallista ja lannoitteet laadukkaita. Näitä asetuksia valvoo Elintarviketurvallisuusvirasto (Lannoitevalmistelaki 539/2006 4:17§).

2.3 Tuhkalannoitteen vaikutukset

2.3.1 Vaikutukset maaperään

Tuhka vaikuttaa maaperään kahdella tavalla. Emäksisenä aineena (ph 10 – 13) se neutralisoi maaperän happamuutta hyvinkin pitkällä aikavälillä, tämä parantaa luonnollista ravinnekiertoa eli ravinteet vapautuvat hajoavasta orgaanisesta aineesta nopeammin kiihtyvän mikrobitoiminnan ansiosta. Lisäksi tuhkan mukana maahan tulee lisää ravinteita kasvien käytettäväksi. Tärkeimpiä puun kasvuun vaikuttavia ravinteita tuhkalannoitteessa ovat fosfori, kalium ja kalsium. (Emilsson 2006, 33.)

Lannoitussuosittelujen mukaisilla tuhkalannoitelmäärillä (3000 – 5000 kg/ha) on vuosikymmenten mittaiset vaikutukset maan pintakerroksen happamuuteen. Vaikka tuhkalannoituksesta saatava ravinnelisyys on suuri, merkittävä puuston kasvulle on se, kuinka paljon ja millä aikavälillä ravinteita tuhkasta vapautuu. (Huotari 2012, 14.)

Osa helposti liukenevista ravinteista, kuten kalium ja boori voivat huuhtoutua maaperän pintakerroksista juuriston ulottumattomiin, mikäli niitä on puuston tarpeisiin nähden huomattavan paljon. Tuhkan sisältämä fosfori on puolestaan tuhkan pääravinteista hidasliukoisin. Fosforin liukenemiseen vaikuttavat turpeen ja tuhkan sisältämät rauta- ja alumiiniyhdisteet, jotka sitovat vapautuvaa fosforia. (Huotari 2012, 14.)

Tuhkan maaperän happamuutta neutralisoiva vaikutus vaikuttaa maaperäeliöihin, kuten mikrobeihin, mykorrhizasieniin ja maaperäeläimiin. Tuhkalannoitus muuttaa mikrobiyhteisöjen rakennetta ja lajistoa. Samalla niiden hajotustoiminta tehostuu. Nämä eliöt ovat keskeisessä osassa metsän luonnollisessa ravinnekierron säätelyssä. Kiihtynyt mikrobitoiminta nopeuttaa karikkeeseen sitoutuneiden ravinteiden vapautumista kasvillisuuden käyttöön. (Huotari 2012, 15 – 16.)

2.3.2 Vaikutukset puustoon

Tuhkalannoituksen vaikutukset puuston kasvuun riippuvat maaperän ravinteisuudesta. Tuhkalannoite sisältää oikeassa suhteessa puuston tarvitsemat ravinteet tyyppiä lukuun ottamatta, joten tyyppiä on oltava saatavissa maaperästä. Tuhkalannoite tuottaakin parhaan tuloksen runsastyyppisillä kohteilla. (Huotari 2012, 22.)

Fosfori ja kalium ovat turvemaidella yleensä puuston kasvuun vaikuttavia avainkijöitä (Mielikäinen 2008, 201). Ravinnepuutoksista kärsivä puusto on huonokasvuista. Nähtävissä on heikon kasvun lisäksi usein myös kasvuhäiriöitä (Ruotsalainen 2007, 33 – 34).

Typen puutos aiheuttaa kasvun alenemista, sekä neulasten ja lehtien vaaleaa väritystä, mutta varsinaisia kasvuhäiriöitä se ei aiheuta. Fosforin puutteesta kärsivän puuston pituuskasvu on heikkoa ja vuosikasvaimet ovat usein ohuita ja mutkaisia. Neulaset ovat lyhyitä ja kärsivät usein huonosta kylmänkestävyydestä ja ovat siksi ruskeita. Äärimmäisissä tapauksissa kärkisilmut voivat kuolla. Kaliumin puutteesta kärsivien puiden toissakesäiset neulaset syyskesällä ovat usein keltaisia tai ruskeita. Puutos on havaittavissa myös syksyllä uusien neulasten kellertyessä kärjistään. Boorin puutos aiheuttaa merkittäviä kasvuhäiriöitä. Kasvupisteitä kuolee ja neulasista tulee käyrystyneitä sekä päätesilmuja kuolee. Tämä johtaa latvan haarautumiseen ja jopa puun pensastumiseen. (Ruotsalainen 2007, 33 – 34.) Lannoitustoimiin on syytä ryhtyä, kun puuston ravinnepuutokset ovat silmin havaittavissa ja neulasanalyysi osoittaa ravinnepuutosten olemassaolon (Mielikäinen 2008, 201).

Näkyviä muutoksia puustossa tapahtuu jo tuhkalannoitteen levitysvuonna. Havupuiden neulasmassa kasvaa ja neulasten kalsium- ja booripitoisuudet nousevat. Puiden fosforitila paranee myöhemmin, noin 2 – 3 vuoden kuluessa johtuen fosforin hitaammasta vapautumisesta. Vaikutukset ovat esimerkiksi fosforin osalta nähtävissä jopa 40 vuotta, mutta nopeampiliukoiset ravinteet, kuten kalium, häviävät nopeammin. Tästä syystä puuston hyvän ravinnetilan ylläpitäminen vaatisi kaksi lannoituskertaa kiertoaikaa kohti. (Moilanen 2011.)

Tuhkalannoituksella on todistettu saavutettavan hitaasti käynnistyvä, mutta pitkävaikutteinen ja merkittävä kasvunlisäys turvemailla. Puuston kasvun on tutkittu lisääntyvän runsastyyppisillä turvemaatyypeillä jo 2 – 3 vuoden kuluttua levityksestä ja niukkatyyppisillä turvemaatyypeillä 5 – 7 vuoden päästä levityksestä. Saavutettu kasvunlisäys on sitä voimakkaampi mitä runsastyyppisempi suotyyppi on kyseessä. Runsastyyppisillä kohteilla kasvunlisäys on tutkimuksissa ollut keskimäärin 2 – 6 kuutiometriä hehtaaria kohden vuodessa ja niukkatyyppisillä kohteilla 1 – 3 kuutiometriä hehtaaria kohden vuodessa. (Huotari 2012, 22 – 23.)

Huolimatta tuhkan sisältämästä raskasmetallista, ei ole havaittu merkittäviä muutoksia puuston raskasmetallipitoisuuksissa lannoitetuilla kohteilla. Pitoisuudet voivat aluksi hieman kasvaa, mutta muutokset ovat kuitenkin pysyneet luon-

taisen vaihtelun rajoissa. Toisaalta vaikutuksia ei tunneta vielä kovin hyvin. (Huotari 2012, 15.)

2.3.3 Vaikutukset kasvistoon

Tuhkalannoituksen vaikutukset turvemaiden kasvillisuuteen ovat selvät. Lannoitusta seuraavana kesänä sammaleet ja jäkälät kärsivät. On havaittu sammaleiden ja jäkälien kuivettumista ja ruskettumista ja jopa kuolemista, joka aiheutuu tuhkan korkeasta emäksisyydestä. Suosammalet ovat useissa tapauksissa korvaantuneet metsäsammalilla ja usein on myös esiintynyt pioneerilajeja jotka valtaavat vapaata kasvutilaa. Vaikutukset kasvillisuuteen ovat pitkäkestoisia, vaikkakin alkuvaiheessa taantuneet sammallajit elpyvät hieman pitemmällä aikavälillä. Runsastyyppisillä kohteilla vaikutukset kasvillisuuteen ovat voimakkaampia ja pitempikestoisia kuin niukkatyyppisillä kohteilla. Runsastyyppisillä kohteilla muutokset ovat olleet jopa niin pitkäkestoisia, että voidaan puhua pysyvästä muutoksesta. (Huotari 2012, 30.)

Muutokset kenttäkerroksen kasvillisuuden raskasmetallipitoisuuksissa ovat tutkimuksissa olleet vähäisiä ja ohimeneviä. Marjojen ja sienten poimimista tuhkalannoituksen jälkeisenä kesänä tulee kuitenkin välttää johtuen niiden pintaan kertyneestä tuhkasta. (Huotari 2012, 31.)

2.3.4 Vaikutukset vesistöihin

Mikäli tuhkalannoite levitetään noudattaen ohjeita levityksestä ja levitysmääristä, ei tuhkalannoituksella ole todettu olevan haitallisia vesistövaikutuksia. Vaikka lannoitus nostaakin turvemaan pintakerroksen ravinnemääriä, huuhtoumat ovat hyvin vähäisiä. Tähän on luultavimmin syynä fosforin tiukka sitoutuminen tuhkan rauta- ja alumiiniyhdisteisiin. Myös raskasmetalleja huuhtoutuu lannoitealoilta, mutta vain vähäisissä määrin. Talvilevityksen ei ole todettu lisäävän ravinne- ja raskasmetallihuuhtoumia. Suurimmat riskit huuhtoumille syntyvät, jos lannoitetta pääsee levityksen aikana suoraan ojiin tai vesistöihin. (Makkonen 2008, 16.)

2.4. Tuhkan levitys

Tuhkalannoitteen levitysmäärät riippuvat tuhkan ravinnepitoisuudesta sekä levityskohteen ravinteisuustasosta. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion viitteelliset lannoitemäärät ovat noin 3000kg/ha-5000kg/ha (Mielikäinen 2008, 206). Tällä määrällä pitäisi päästä taulukon 1 osoittamiin ravinnemääriin.

Taulukko 1, Lannoituksen ravinnemäärien yleisohjeet turvemaille (Mielikäinen 2008, 200.)

Lannoituksen ravinnemäärien yleisohjeet turvemaille Kg/ha				
Kasvupaikkatyyppi	Ravinnemäärä			
	N(Typpi)	P(Fosfori)	K(Kalium)	B(Boori)
Ruohoturvekangas	-	40-45	80-100	1.2-1.8
Mustikka- ja puolukkaturvekangas	-	40-45	80-100	1.2-1.8
Puolukka- ja varputurvekangas	-	40-45	80-100	1.2-1.8

2.4.1 Levitystavat

Tuhkalannoitetta voidaan levittää joko maakonelevityksellä tai helikopterilevityksellä. Helikopterilevityksen etuna on huomattavasti suurempi tuntiteho maakonelevitykseen verrattuna. Maakonelevitys puolestaan on edullisempi levitysmenetelmä (Ojala 2010, 10). Kustannuksien minimoimiseksi tuhkalannoitus on järkevää toteuttaa useamman tilan yhteishankkeena, mikäli kohteiden välinen etäisyys pysyy järkevänä (Makkonen 2008, 21).

Maakonelevityksen suurin haaste on maanpinnan kantavuus. Huonon kantavuuden vuoksi etenkin turvemaille joudutaan maakonelevitys suorittamaan talvella jäätyneen maan aikaan (Kuvio 3). Levitystä helpottaa, mikäli harvennushakkuu on juuri tehty, jolloin päästään operoimaan valmiiksi tiivistetyiltä ja pakkasen kovettamilta selkeiltä ajourilta. Jos lannoitettavan kohteen ojat kunnostetaan ennen levitystä, ei kaivumaita kasata ajourille. Lisäksi suurimpiin ojiin tehdään luiskat ojien ylitysten helpottamiseksi. (Makkonen 2008, 23.)



Kuvio 3, Tuhkan levitystä tutkimuskohteella yksi

Lentolevitys onnistuu myös sulan maan aikaan. Lentolevityksen heikkona puoleena on sen korkea hinta. Jotta hehtaarikustannukset eivät nousisi liian korkeiksi, tulisi lannoitettavan alueen olla yhteensä 30 – 40 hehtaaria. Kun pisin suositeltava matka tuhkan varastopaikalle on noin kaksi kilometriä, on hankala löytää tarpeeksi lannoituskohteita sopivalta etäisyydeltä edes yhteishankkeissa. Lentolevitys edellyttää rakeistetun tuhkan käyttöä. Mikäli toimitaan vesistöjen läheisyydessä, tulee huomioida suojaväyhykkeet. Levityssuunta on sarkojen myötäisesti, jotta tuhkaa ei mene ojiin. (Huotari 2012, 44.)

3. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössäni tutkin lannoitettavien kohteiden ravinnetilaa sekä lannoituksessa käytetyn tuhkalannoitteen sisältämiä ravinteita vertaillen näiden vastavuuksia toisiinsa nähden. Tutkimus toteutettiin tuhkahankkeen kolmella lannoituskohteella, joista kaksi sijaitsi opetusmetsässä ja kolmas yksityismetsässä.

Tämä opinnäytetyö on tapaustutkimus, joka on tehty kehittämistyön periaatteella tilaajalta tulleiden tarpeiden mukaisesti. Työ sisältää kuitenkin myös empiirisen tutkimuksen piirteitä. Aineisto on kerätty sekä kohteiden ravinnetilasta että tuhkalannoitteesta. Aineiston on tutkittu Viljavuuspalvelu Oy:n toimesta ja näiden tulosten analysointi on tämän opinnäytetyön tarkoitus. Analyysin tavoitteena on saada selville, kuinka hyvin Suosiolan voimalaitokselta tulleen tuhkalannoitteen ravinnepitoisuudet kykenevät vastaamaan projektin tiimoilta lannoitettujen kohteiden ravinnepuutoksia. Tarkoituksena ei siis ole saada yleistettäviä tuloksia vaan tietoa, joka osaltaan vaikuttaa hankkeen onnistumisen yleisvaikutelmaan.

3.2 Aineiston keruu

Aineisto kerättiin kevättalvella 2014. Neulasanalyysiä varten keräsin jokaiselta lannoituskohteelta noin puoli litraa neulasia ja kärkisilmuja. Näytteet tuli kerätä marraskuun ja maaliskuun välisenä aikana kuvion 7 – 10 valtapuusta ylimpien oksakiehkuroiden viimeisistä vuosikasvuista. Näytteet voidaan ottaa joko samana talvena kaadetusta puusta tai ampua alas. Tutkimuksessani käytin haulikolla ampumista, koska kuvioilla ei oltu hakattu kyseisenä talvena. Koepuut on merkitty maastoon oranssilla maalirenkaalla rinnankorkeudella. (Kuvio 4)



Kuvio 4, Aineiston keruussa neulasanalyysiä varten käytetty välineistö.

Tuhkalannoitteesta otettiin näytteet kahdesta tuhkaerästä. Opetusmetsän tuhkaerästä ja Perunkajärven kohteesta yksi näyte. Näytteeseen tuli saada vähintään kaksi litraa lannoitetuhkaa. Tasaisuuden parantamiseksi näytteet otettiin lannoitteen ollessa jo levittimen kyydissä eri kohdista ja eri syvyyksiltä. Sekä neulasanalyysin että tuhkalannoitteen ravinneanalyysin suoritti Viljavuuspalvelu Oy.

3.3 Tutkimusmenetelmät

Minimoidakseni virheet tutkimusmenetelmiä luetellessani, ilmoitan ravinneanalyseissä käytetyt tutkimusmenetelmät suoraan, kuten Viljavuuspalvelu Oy on ne minulle ilmoittanut seuraavissa kuvioissa. Luotettavuus tutkimuksessa on tärkeimpien ravinteiden osalta hyvä ja riittävä. Boorin osalta pienimmissä pitoisuuksissa luotettavuus heikkenee (Taulukko2).

Taulukko 2, Neulasanalyysin menetelmäkuvaus (Viljavuuspalvelu Oy 2014.)

Määrittäminen	Menetelmäkuvaus	Luotettavuus 95 % varmuudella
Typpi (N) g/kg ka a)	YMRRV_RN.DOC. Kjeldahl-menetelmä, ISO 1871:1975 ja ISO 937:1978 tai Dumas-menetelmä, modifioitu EN 13654-2:2002.	10 %
Fosfori (P) g/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	10 %
Kalium (K) g/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	15 %
Kalsium (Ca) g/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	25 %
Magnesium (Mg) g/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	15 %
Boori (B) mg/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	2-13 mg/kg 40 % 13 mg/kg 20 %
Kupari (Cu) mg/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	35 %
Mangaani (Mn) mg/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	25 %
Sinkki (Zn) mg/kg ka a)	YMKIVENN.DOC. Kuivapoltto 550°C, HCl-uutto, mittaus ICP-AES:llä. ISO 5516:1978	30 %

a) -Merkityt määritykset on tehty FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä. Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.

Huomionarvoista tuhkalannoitteen ravinneanalyysissä on fosforin jakaminen kokonaispitoisuuteen, sekä siitä eriteltyyn liukoisen fosforin osuuteen. Fosforin liukoisuudella on merkitystä lannoituksen vaikuttavuuteen, sillä liukoinen fosfori

on vaarassa huuhtoutua puuston juurien ulottumattomiin, kun taas hidasliukoisempi fosfori vaikuttaa maaperässä pitemmällä aikajänteellä. Myös lannoitteen ravinneanalyysi tuottaa käyttökelpoiset ja luotettavuudeltaan riittävät tulokset tärkeimpien ravinteiden osalta (Taulukko3).

Taulukko 3, tuhkalannoitteen ravinneanalyysin menetelmäkuvaus (Viljavuuspalvelu Oy 2014.)

Määrittys	Menetelmäkuvaus	Luotettavuus 95 % varmuudella
Fosfori (P), liukoinen mg/kg ka	ISO- EN 13652:2001. Vesiuutto suhteessa 1:5. Mittaus ICP-AES:llä.	
Fosfori (P), kokonaispit. g/kg ka a)	Sisäinen menetelmä YMTRASKA, perustuu SFS 3044:1980 ja SFS 3047:1980, typpihappouutto ja AAS- ja ICP -mittaus	25 %
Kalium (K), kokonaispit. g/kg ka a)	Sisäinen menetelmä YMTRASKA, perustuu SFS 3044:1980 ja SFS 3047:1980, typpihappouutto ja AAS- ja ICP -mittaus	30 %
Kalsium (Ca), kokonaispit. g/kg ka	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä. SFS 3044:1980 ja SFS 3047:1980	Ei määritelty.
Magnesium (Mg), kokonaispit. g/kg ka	Sisäinen menetelmä YMTRASKA, perustuu SFS 3044:1980 ja SFS 3047:1980, typpihappouutto ja AAS- ja ICP -mittaus	
Kupari (Cu), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä; Perustuu SFS-EN 13650:2002 ja EPA 3051 A	20 %
Sinkki (Zn), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä; Perustuu SFS-EN 13650:2002 ja EPA 3051 A	20 %
Boori (B), kokonaispit. mg/kg ka	Sisäinen menetelmä YMTRASKA, perustuu SFS-EN 13650:2002;EPA 3051 A	
Arseeni (As), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. SFS-EN 13650:2002;EPA 3051 A	Mittausalue > 3,4 25 % (ICP-AES mittaus)
Kadmium (Cd), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä; Perustuu SFS-EN 13650:2002 ja EPA 3051 A	30 %
Kromi (Cr), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä; Perustuu SFS-EN 13650:2002 ja EPA 3051 A	30 %
Elohopea (Hg), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC HNO ₃ -uutto, mittaus FIAS:llä. SFS 3044:1980 ja SFS 3047:1980	65 %
Nikkeli (Ni), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä; Perustuu SFS-EN 13650:2002 ja EPA 3051 A	30 %
Lyijy (Pb), kokonaispit. mg/kg ka a)	YMTRASKA.DOC. HNO ₃ -uutto, mittaus ICP-AES:llä; Perustuu SFS-EN 13650:2002 ja EPA 3051 A	35 %
Neutralointikyky % Ca	YMTNEUT.DOC. Titrimetrinen määrittys.SFS-EN 12945	
Tilavuuspaino kg/m ³	Gravimetrinen määrittys.	
Kuiva-aine %	YMTKA.DOC. Gravimetrinen määrittys, kuivaus 105oC yli yön. Modifioitu menetelmästä SFS 3008 (1990).	
Kosteus %	YMTKA.DOC. Gravimetrinen määrittys, kuivaus 105oC yli yön. Modifioitu menetelmästä SFS 3008 (1990).	

a) -Merkityt määritykset on tehty FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä. Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.



Viljavuuspalvelu Oy:ltä saatuja neulas- ja lannoiteanalyysituloksia vertailtiin tutkijoiden yleisesti hyväksymiin raja-arvoihin ja suosituksiin.

4. TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

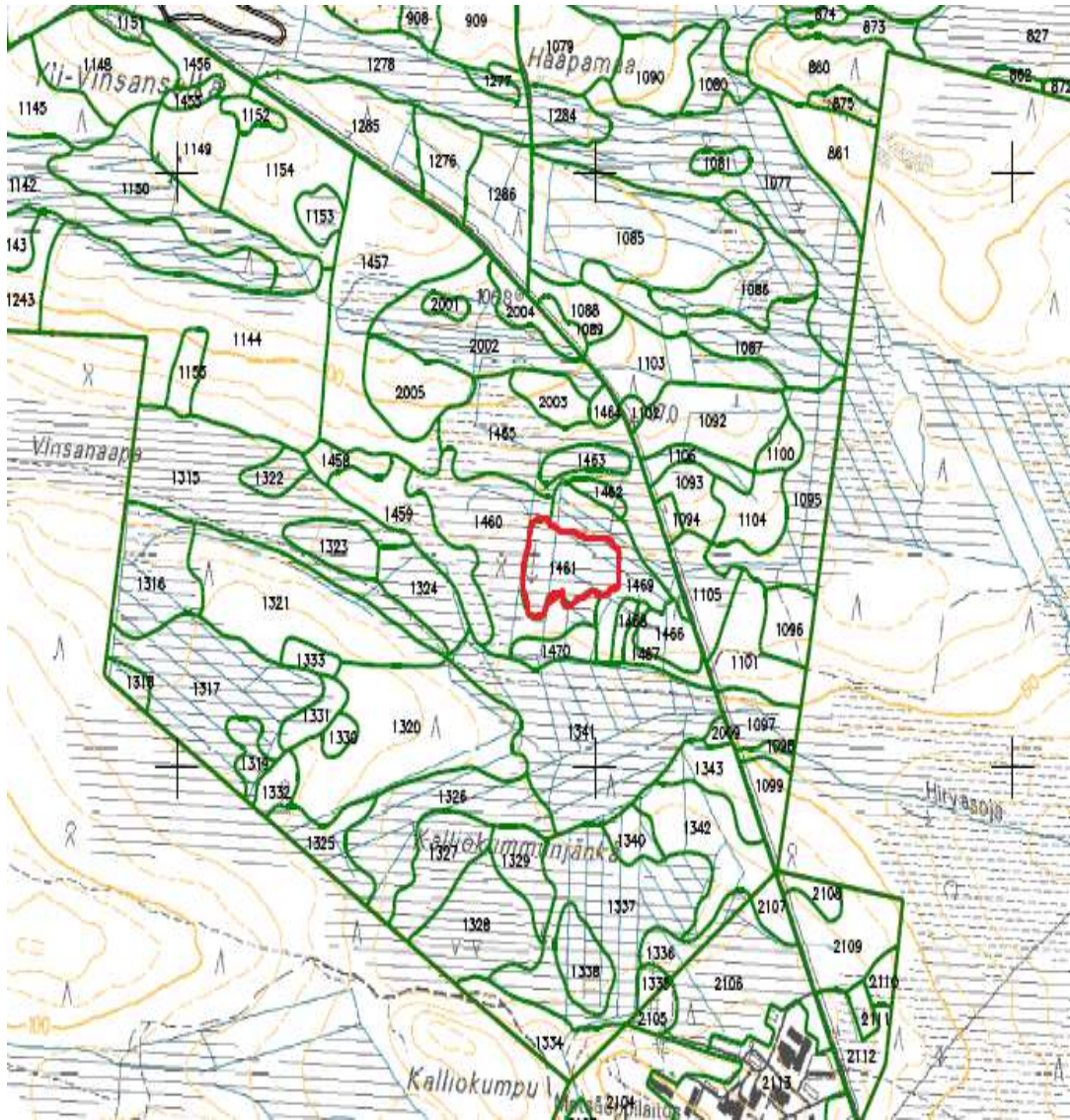
4.1 Kohteet

Kohteet on numeroitu järjestyksessä, jossa neulasnäytteet on otettu. Ensimmäinen ja toinen neulasnäyte ovat kohteelta yksi. Ensimmäinen kohde oli jaettu lannoitettavaan ruutuun sekä nollaruutuun. Koska molemmista on teetetty neulasanalyysit, on niiden jatkoseuranta helpompaa. Neulasnäyte yksi on otettu lannoitusruudusta ja neulasnäyte kaksi on otettu nollaruudusta. Tulokset tosin ovat lähes samat. Kohde numero kaksi on opetusmetsästä Väinönpolun varrelta ja kohde numero kolme on yksityismetsästä Perunkajärveltä.

4.1.2 Kohde yksi

Kohde yksi sijaitsee Hirvaan opetusmetsässä lohkolla yksi. Lannoitettu kuvio oli kuvio nro. 1461 (Kuvio 5). Kasvupaikaltaan kuvio on kuviotietojen perusteella varputurvekangas I muuttuma. Puustoltaan kuvio on puhdas männikkö, noin 60 m³/ha. Kuviotietojen perusteella kasvu on noin 1m³/vuosi. Lannoitettu ruutu sijoittuu kuvion keskelle ja on merkitty maastoon oranssilla maalilla. Kohde oli harvennettu muutama vuosi sitten ja tuhkalannoitteen levitys tapahtui ajourilta.

Kohteen lannoitetuksi pinta-alaksi muodostui 1,94 hehtaaria, jolle levitettiin 7 320 kilogrammaa tuhkalannoitetta, eli 3 773 kilogrammaa hehtaarille.

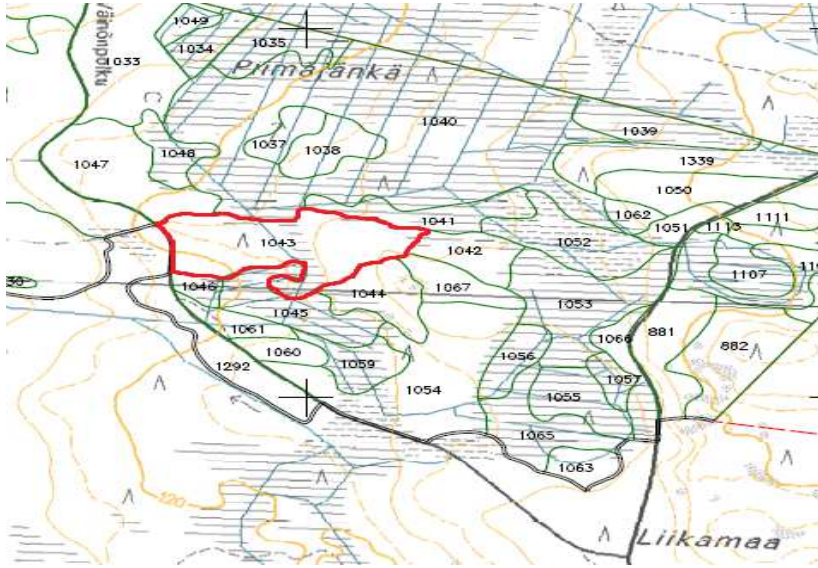


Kuvio 5, Ensimmäinen lannoituskohde kuviokartalla (Rovaniemen ammattikorkeakoulu 2001.)

4.1.3 Kohde kaksi

Kohde kaksi sijaitsee Hirvaan opetusmetsässä lohkolla kolme, kuvionumero 1043 (Kuvio 6). Kohde on soistunut tuore kangas, joka rajoittuu turvemaakuviin.

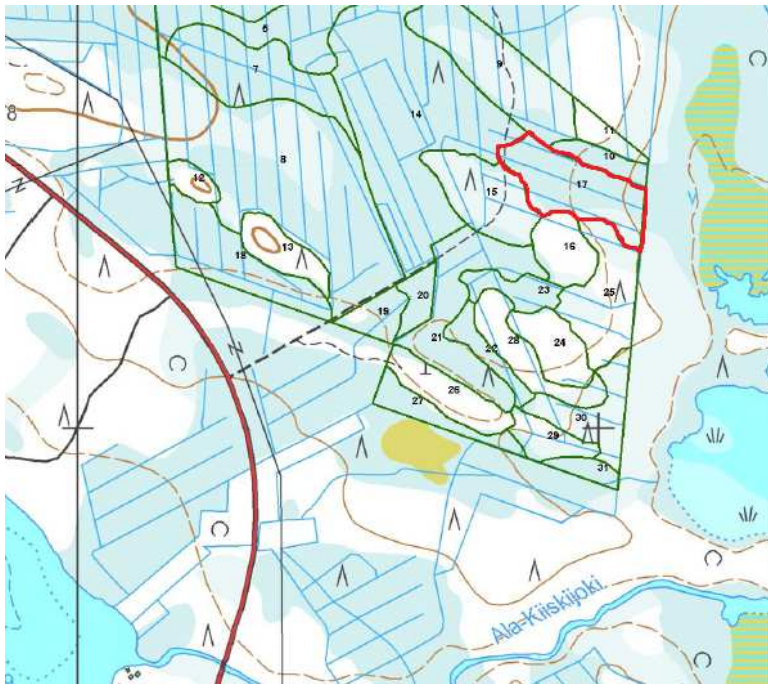
Kuviota ei lannoitettu kokonaan vaan lannoituspinta-alaksi tuli 2,5 hehtaaria. Lannoitettu osuus on kuvion länsiosassa rajoittuen Väinönpolkuun. Lannoitettu osuus on merkitty maastoon oranssilla maalilla. Tuhkaa levitettiin 10 050kg, eli 4 036kg hehtaarille.



Kuvio 6, Kohde 2 kuviokartalla (Rovaniemen ammattikorkeakoulu 2001.)

4.1.4 Kohde kolme

Kolmas kohde sijaitsee Perunkajärvellä yksityismailla. Kuviotietojen perusteella lannoitettava kuvio (kuvio 7) on puolukkaturvekangas 2. Kuviosta lannoitettiin 2,5 hehtaaria, mutta tuhkalannoitetta levitettiin vain 5 300kg eli vain 2 120kg hehtaarille.



Kuvio 7, Kolmas kohde kuviokartalla (Metsäsuunnitelma Isokumpu. 2014)

4.2 Lannoitteen ravinteet

Tuhkalannoitteesta otettujen näytteiden perusteella kohteille yksi ja kaksi levitetty tuhka sisälsi tärkeimpiä ravinteita taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4, Hirvaan opetusmetsän tuhkaerän ravinnepitoisuudet

	Ravinteita tonnissa	Yksikkö
Fosfori (P), kokonaispit.	7,1	kg/tn
Kalium (K), kokonaispit.	5,5	kg/tn
Kalsium (Ca), kokonaispit.	70	kg/tn
Magnesium (Mg), kokonaispit.	11	kg/tn
Kupari (Cu), kokonaispit.	67	g/tn
Sinkki (Zn), kokonaispit.	190	g/tn
Boori (B), kokonaispit.	31	g/tn
Fosfori (P), liukoinen	< 8,6	g/tn

Kolmannen kohteen tuhkalannoite sisälsi ravinteita taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5, Perunkajärven tuhkaerän ravinnepitoisuudet

	Ravinteita tonnissa	Yksikkö
Fosfori (P), kokonaispit.	6,6	kg/tn
Kalium (K), kokonaispit.	5,3	kg/tn
Kalsium (Ca), kokonaispit.	82	kg/tn
Magnesium (Mg), kokonaispit.	18	kg/tn
Kupari (Cu), kokonaispit.	62	g/tn
Sinkki (Zn), kokonaispit.	180	g/tn
Boori (B), kokonaispit.	32	g/tn
Fosfori (P), liukoinen	< 8,5	g/tn

Voimalaitoksella käytetty polttosuhte tuhkaerän tuotantoaikaan puun ja turpeen välillä on ollut noin 60-70% turvetta. Lisäksi puupolttoaineen tuhkapitoisuus on pienempi kuin turpeen, eli tuhkasta puutuhkaa on ollut hyvinkin pieni osa tuhkalannoitteesta.

4.3 Kohteiden ravinnepuutokset ravinteittain

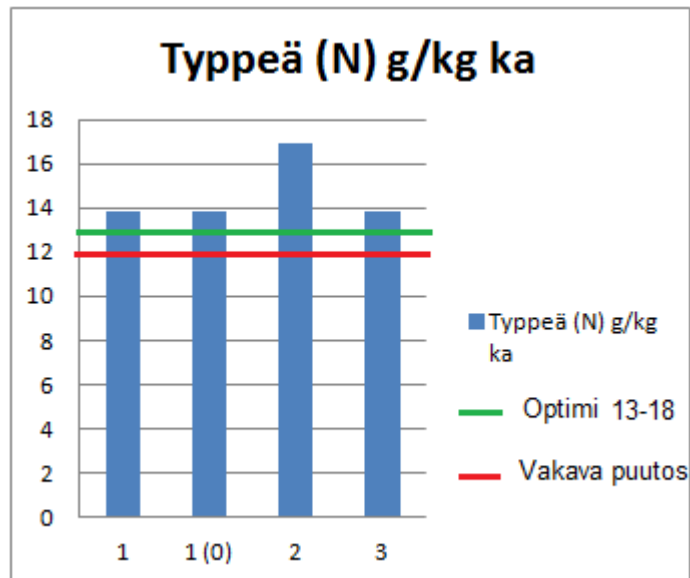
Tutkimuksessani tarkastelen metsänkasvullisesti tärkeimpiä tuhkalannoitteen sisältämiä ravinteita eli fosforia ja kaliumia. Lisäksi esitän kohteiden typpitilan, koska se vaikuttaa lannoituksen vaikuttavuuden odotuksiin. Huomiota on kiinnitetty myös booriin, sillä tutkimuksessa havaittiin merkittäviä puutteita boorin

osalta. Muiden ravinteiden osalta (kalsium, magnesium, kupari, magnaani ja sinkki) oltiin jo valmiiksi tyydyttävällä tasolla.

Neulasnäytteet on analysoitu Metsäntutkimuslaitoksen tulkintaohjeiden mukaan (Ahti, Kaunisto, Moilanen & Murtovaara 2005, 90).

4.3.1 Typpi

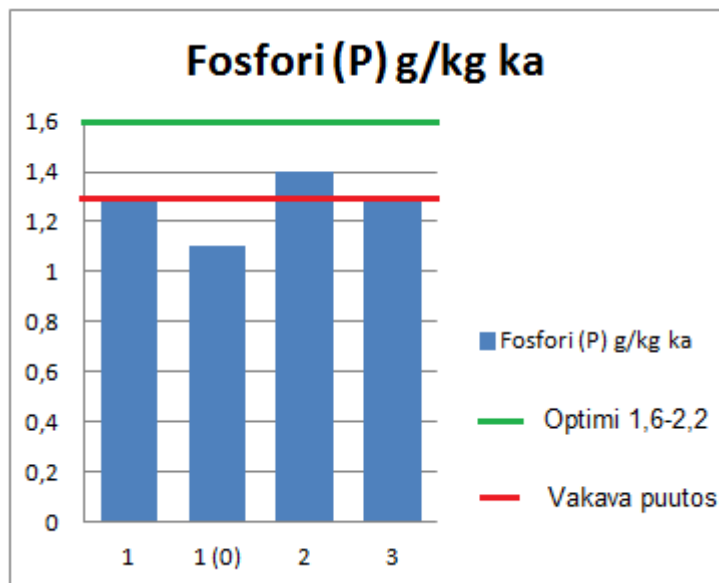
Tuhkalannoite ei sisällä typpeä, mutta typellä on myös merkityksensä puuston kasvuun. Turvemaidella typpitilanne on usein kivennäismaita parempi, mutta tutkimustulosten perusteella lannoituskohteita ei voida sanoa runsastyppisiksi. Tämä pienentää lannoituksen vaikuttavuutta puuston kasvuun. Runsastyppisillä kohteilla voidaan odottaa suurempaa kasvunlisäystä tuhkalannoituksen jälkeen. Kuten kuvio 13 osoittaa, varsinaisia puutoksia typen suhteen ei tosin ole.



Kuvio 13, Kohteiden typpitilanne neulasanalyysin perusteella

4.3.2 Fosfori

Fosfori on kaliumin ohella turvemaiden puuston kasvun avaintekijä. Tästä syystä olisi äärimmäisen tärkeää päästä lannoitetaivoitteisiin fosforin osalta. Fosforista oli puutetta jokaisella kohteella ja kohteella yksi ja kolme voidaan jopa puhua ankarasta puutoksesta (Kuvio 9).



Kuvio 9, Kohteiden fosforitilanne neulasanalyysin perusteella

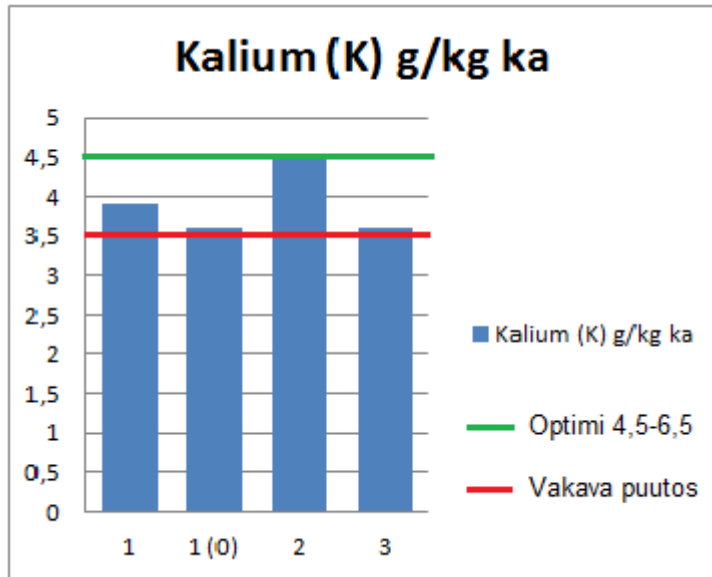
Verratessa kohteiden fosforipuutoksia tuhkalannoituksessa saavutettuihin tavoitteisiin (Taulukko 6), näyttäisi siltä että kohteiden yksi ja kaksi fosforitila saadaan lannoituksella kuntoon, mutta kohteen kolme osalta jäädyään tavoitteesta niin paljon, että optimiarvoja tuskin saavutetaan.

Taulukko 6, Lannoitteesta saatu fosforimäärä/ha

Fosfori (P) Tavoite 40-45 Kg/ha		
Kohde	kg/ha	%/tavoitteesta
1	26,8	67,0
2	28,7	71,6
3	14,0	35,0

4.3.3 Kalium

Kalium on toinen tärkeimmistä puuston kasvuun vaikuttavista ravinteista tuhkalannoitteessa. Kuten fosforinkin kohdalla, myös kaliumin puute on vakavin kohteilla yksi ja kolme. Kohteen kaksi tilanne on kaliumin osalta tyydyttävä (Kuvio 10).



Kuvio 10, Kohteiden kaliumtilanne neulasanalyysin perusteella

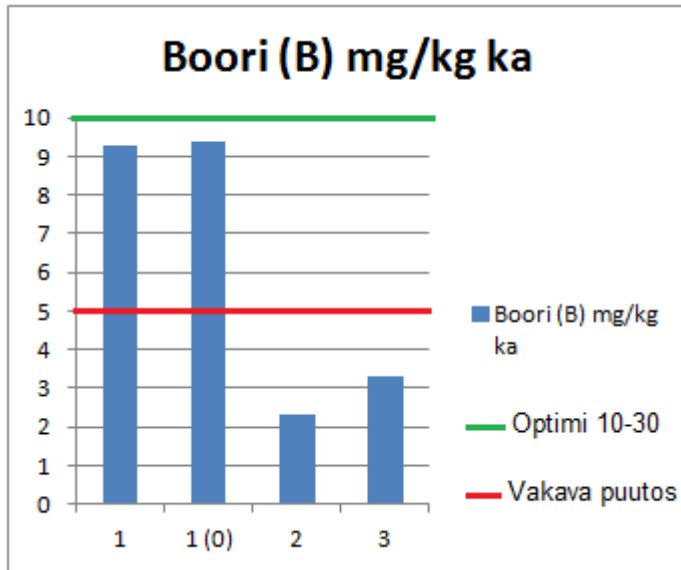
Vaikka kahdella ensimmäisellä kohteella päästiin tuhkalannoitteen määrässä tavoiteltuun n.4000 kilogrammaan hehtaarille, ei näidenkään levityskohteiden kalium tavoitteesta saavutettu kuin noin neljännes (Taulukko 7). Kohteella kolme jäätin merkittävästi ohjeellisesta kaliummäärästä, johtuen vähäisemmästä tuhkalannoite annoksesta.

Taulukko 7, Lannoitteesta saatu kaliummäärä/ha

Kalium (K) Tavoite 80-100 Kg/ha		
Kohde	kg/ha	%/tavoitteesta
1	20,8	25,9
2	22,2	27,7
3	11,2	14,0

4.3.4 Boori

Booritila kohteella kaksi oli jo näytteitä otettaessa silminnähdn huono. Kohteen yksi booritila oli kohtalainen. Kohteella kaksi oli havaittavissa selviä kasvuhäiriöitä. Puuston kasvu oli selvästikin tyrehtynyt ja puiden latvukset alkoivat olla tasaisia kärkisilmujen tuhoutumisen johdosta. Kohteet kaksi ja kolme kärsivät ankarasta boorin puutoksesta (Kuvio 11).



Kuvio 11, Kohteiden booritilanne neulasanalyysin perusteella

Tuhkalannoite ei ole kovin booririkasta. Levitetty tuhkalannoite sisältää booria vain noin 30 g/tonni. Jotta saavutettaisiin ohjeellinen booriannos, tulisi levittää hehtaarille moninkertainen määrä tuhkalannoitetta. Tämä ei ole mahdollista, mutta kohteille kaksi ja kolme olisi saatava lisää booria lisälannoituksella jotta puuston kasvu lähtisi elpymään. Koska boorin puute kohteilla on niin ankara, voi lannoitukseen uhrattu panos valua hukkaan ilman boorilisäystä. Tuhkalannoituksella päästiin parhaimmallakin kohteella vain kymmeneen prosenttiin ohjeellisista boorimääristä (Taulukko 8).

Taulukko 8, Lannoitteesta saatu boorimäärä/ha

Boori (B) Tavoite 1.2-1.8 Kg/ha		
Kohde	kg/ha	%/tavoitteesta
1	0,12	9,7
2	0,13	10,4
3	0,07	5,7

4.4 Tutkimustulosten tarkastelu

Tutkimustuloksia tarkasteltaessa merkittävänä asiana nousee esille se, että yhdelläkään lannoituskohteella ei päästy tärkeimpien ravinteiden osalta metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ohjeellisiin lannoituksen ravinnetavoitteisiin.

Kohteille yksi ja kaksi levitettiin suunniteltu määrä eli noin 4000 kilogrammaa tuhkalannoitetta ja silti jäätii esimerkiksi kaliumin osalta neljännekseen ohjeellisista ravinnemääristä. Fosforin osalta päästiin jo lähelle tavoitteita, levitettyllä tuhkalannoitemäärällä saavutettiin n.70% tavoitellusta fosforimäärästä.

Kohteella kolme jäätii suunnitellusta lannoitteen levitysmäärästä noin puoleen, se näkyy selkeästi ravinnemäärissä. Kohde kolme oli lisäksi kokonaisuudessaan tarkastelluista kohteista heikoin ravinnetilaltaan.

Kokonaisuudessaan kohteet kärsivät eniten fosforin puutteesta, johon levitetty tuhkalannoite vastasi hyvin. Kohteiden yksi ja kaksi ravinnetilanne paranee lannoituksen seurauksena tyydyttävälle tasolle, mikäli kohteelle kaksi saadaan sen tarvitsema boorilisäys. Kaliumin osalta lannoituksen tulokset näyttävät siltä, että kaliumin määrät jäävät niin vähäisiksi, että kaliumin nopealiukoisuuden vuoksi on tarpeen pitää silmällä kohteiden tilannetta jatkossa. Toinen lannoituskerta kiertoajalle voi olla tarpeen juurikin kaliumin vuoksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimustulosten perusteella voidaan sanoa, ettei lannoituksella päästy aivan toivottuihin tuloksiin johtuen tuhkalannoitteen ravinnepitoisuuksista ja varsinkin kohteella kolme, liian pienestä lannoitemäärästä.

Tuhkalannoitteen valmistaja Rovaniemen Energia Oy ilmoittaa tuhkalannoitteen maksimi levitysmääräksi 6 000 kilogrammaa hehtaaria kohden, johtuen tuhkan sisältämistä raskasmetalleista. Tällä määrällä päästäisiin Tapion tavoitteisiin fosforin osalta, mutta kaliumin määrässä jäätäisiin yhä kolmannekseen ja boorin määrässä noin kuudennekseen.

Tuhkalannoitteen ravinnemääriin vaikuttaa eniten voimalaitoksella käytetty puun ja turpeen polttosuhte. Tutkimustulosten valossa näyttäisi siltä, että käytetty polttosuhte on ollut liiaksi turvevoittoinen, jotta päästäisiin tyydyttäviin tuloksiin käytettäessä voimalaitoksen tuhkaa metsälannoitteena. Kaliumin ja boorin osalta puu- ja turvetuhkan erot ovat ravinteellisesti merkittävät. Puutuhka sisältää jopa yli 20-kertaisesti enemmän kaliumia ja jopa kymmenen kertaa enemmän booria kuin turvetuhka.

Lannoituksesta ei varmasti ole haittaa metsän kasvulle vaikka kaikkien ravinteiden osalta ei tavoitteisiin päästy, mutta mikäli lannoitus ei paranna puuston kasvua toivotulla tavalla johtuen kaliumin tai boorin puutteen jatkumisena, vaikuttaa se negatiivisesti investoinnin kannattavuuteen. Puustovaikutuksia pitkällä aikavälillä on vaikea ennustaa, mutta ensimmäiset merkit ravinnetilan kohoamisesta pitäisi olla nähtävissä 2 – 3 vuoden kuluessa neulasanalyysissä.

Tuhkalannoitetta valmistettaessa kannattaisi käyttää vain hyviä tuhkaeria ravinteiden suhteen. Mikäli joskus on saatavilla puutuhkavoittoista tuhkamateriaalia, kannattaisi tämä rakeistaa ja käyttää lannoitukseen sen sijaan että rakeistetaan tuhkaa, joka ei ravinnekoostumukseltaan täytä tavoitteita. Tässä on selkeä kehityksen paikka voimalaitoksen päässä.

Kohteiden ravinneanalyysit kannattaisi tehdä aikaisemmin, jotta niiden tuloksien perusteella voitaisiin valita optimaalisimmat lannoituskohteet ja mahdollisesti jopa valita lannoite-erä, joka parhaiten vastaisi kohteen ravinnepuutoksiin.

Jotta hankkeesta saataisiin mahdollisimman suuri hyöty irti, kannattaisi lannoituskohteiden neulasanalyysit uusia n.10 vuoden kuluttua. Näin saadaan selville, kuinka tyydyttävälle tasolle päästiin niiden ravinteiden osalta, jotka tämän tutkimuksen perusteella näyttäisivät jäävän liian alhaiselle tasolle.

Opinnäytetyöni käsittelee niin pientä aineistoa, etteivät tulokset ole mitenkään yleistettävissä. Aineistoni on ammattilaisten tekemiä analyyskejä, joten pidän virheen mahdollisuutta tuloksissa varsin pienenä.

Omalta osaltani opinnäytetyöni oli antoisa. Lannoitusta ei ole koulussamme opetettu, joten pääsin lisäämään ammattitaitoani uudelle alueelle. Uskon että oppimistani asioista liittyen turvemaiden ravinteisuuteen ja lannoitukseen on minulle hyötyä jatkossa työelämässä.

LÄHTEET

- Aarnio, J. Kukkola, M. Moilanen, M. & Saarnisalmi, A. 2008. Metsälannoitus. Tapion taskukirja. 25. painos. Hämeenlinna. Metsäkustannus Oy.
- Ahti, E. Kaunisto, S. Moilanen, M. Murtovaara, I. (toim). 2005. Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti kestävä käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja osa 947. Vantaa. Metsäntutkimuslaitos.
- Asetus lannoitevalmisteista 1.9.2011/nro 24/11
- Emilsson, S. 2006. International Handbook From Extraction of Forest Fuels to Ash recycling. Swedish Forest Agency. Viitattu 25.2.2015 http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=Recash_International_Handbook_Final2006_EN.pdf
- Huotari N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. 2.painos. Vammalan kirjapaino Oy.
- Kemin energia Oy 2014. Opintokäynti. 1.3.2014.
- Kiviniemi, O. Sikiö, J. Jyrävä, H. Ollila, S. Autiola, M. Ronkainen, M. Lindroos, N. & Lahtinen, P. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Viitattu 12.1.2015 http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf
- Lannoitevalmistelaki 29.6.2006 /539
- Lapin ammattiopisto 2012. Laitostuhkan hyötykäyttö lannoitteena –hanke. Projektisuunnitelma. 1.10.2012.
- Makkonen, T. 2008. Metsälannoitus. Metsäkustannus Oy.
- Metsäntutkimuslaitos. 2013. Tuhkan rakeistus Pohjois-Pohjanmaalla. Viitattu 2.12.2014. <http://www.metla.fi/hanke/7464/>
- Moilanen, M. 2011. Tuhkalannoitus nykytiedon valossa. Suometsätaloustususeminaari. Vantaa 12.4.2011.
- Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Motiva. Energiatoteellisuus. Viitattu 14.1.2015 http://energia.fi/sites/default/files/tuhkaselvitys_eo_final.pdf
- Ruotsalainen, M. 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Helsinki. Metsäkustannus Oy
- Työ ja elinkeinoministeriö. 2013. EU:n energiayhteistyö. Viitattu 31.10.2013. https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö

Viljavuuspalvelu Oy. 2014. Analyysitulokset. Mikkeli.