

Jaakko Isomaa

Rae- ja irtotuhka suometsien lannoituksessa

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Maa- ja metsätalouden yksikkö



Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätaloustuotannon suuntautumisvaihtoehto

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Maa- ja metsätalouden yksikkö
Koulutusohjelma: Metsätalouden koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto: Metsätaloustuotanto

Tekijä: Jaakko Isomaa

Työn nimi: Rae- ja irtotuhka suometsien lannoituksessa

Ohjaajat: Seinäjoen ammattikorkeakoulu:
yliopettaja, MMT Dos. Risto Lauhanen

Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen toimintayksikkö:
erikoistutkija, Dos. Jyrki Hytönen
metsätalousteknikko Olavi Kohal

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä: 4

Tässä työssä käytettiin aineistona ennen julkaisematonta Metsäntutkimuslaitoksen aineistoa kahdelta tuhkalannoituskokeelta. Kokeet on alun perin perustettu havaintokohteiksi, ja ne sijaitsevat Kannuksen Jouhteneennevalla ja Sievin Nahkanevalla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää rae- ja irtotuhkalannoituksen alkuvaiikutuksia puuston kasvuun ja ravinnetalouteen suometsissä sekä vertailla niitä kaupalliseen PK-lannoitukseen. Jouhteneennevalla puusto jaettiin kolmeen kokoluokkaan, jolloin päästiin tarkastelemaan myös puuston koon merkitystä tuhkalannoituksen alkureaktioihin. Nahkanevan puusto oli kooltaan samanmittaista, joten siellä vastaavaa jakoa ei tehty. Lisäksi koemetsiköt erosivat turvekerroksen ominaisuuksiltaan - erityisesti typpipitoisuudeltaan - toisistaan, joten tässä tutkimuksessa päästiin myös vertailemaan kohteen kasvupaikan merkitystä tuhkalannoituksen vaikutuksiin. Tämän työn tulokset olivat samansuuntaisia aikaisempien tutkimusten kanssa. Irtotuhkalla saavutettiin yhtä hyvät tai jopa paremmat tulokset kuin kaupallisella PK-lannoitteella. Juuristokerroksen turpeen typpipitoisuudella ei kuitenkaan tässä työssä havaittu olevan suurta vaikutusta tuhkalannoituksen vaikutuksiin heti lannoituksen jälkeisinä vuosina.

Asiasanat: tuhkalannoitus, raetuhka, suometsät

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: Tuomarniemi School of Agriculture and Forestry
 Degree programme: Forestry
 Specialisation: Forestry Production

Author: Jaakko Isomaa

Title of thesis: Granulated and ungranulated ash in peatland fertilization

Supervisors: Seinäjoki University of Applied Sciences:
 senior lecturer, Dr. Risto Lauhanen

Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Unit:
 senior researcher, Dr.S. (Agr. & For.) Jyrki Hytönen
 Forestry Technician Olavi Kohal

Year: 2010 Number of pages: 49 Number of appendices: 4

The unreleased material used in this thesis is from two ash fertilization experiments established by the Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Unit. The experiments were originally set up as demonstrations and they are located in Jouhteneenneva, Kannus and Nahkaneva, Sievi in Central Ostrobothnia, Finland. Both experiments had unfertilized, granulated and ungranulated ash fertilization test sites. The Jouhteneenneva experiment also had a commercial PK-fertilizer test site. The aim of this thesis was to clarify the differences between the effects of granulated and ungranulated ash on the growth and nutrient status of peatland forests and to compare ash fertilization to commercial PK-fertilizers after the first few years of fertilization. The tree stand on the Jouhteneenneva experiment site was divided into three sections by timber volume (small, medium and large) so that it was possible to see if the formation of the tree stand had some influence on the effects of ash fertilization. The nitrogen level of the peat also varied between Jouhteneenneva and Nahkaneva, so the significance of the ash fertilization target could also be compared. Ungranulated ash gave the best results in both experiments and in all timber volume sections. PK-fertilizer gave almost as good results as the ungranulated ash. The granulated ash gave clearly the lowest results. The peat nitrogen level did not have any effect on the growth of the forest in these experiments.

Keywords: ash fertilization, granulated ash, peatland forests

SISÄLTÖ

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ.....	2
THESIS ABSTRACT	3
SISÄLTÖ.....	4
1. JOHDANTO	5
1.1 Tutkimuksen tausta	5
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	11
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	12
2.1 Koemetsiköt ja koejärjestelyt.....	12
2.2 Mittaukset.....	16
2.3 Puustotunnusten laskenta.....	18
2.4 Puuston jakaminen eri kokoluokkiin Jouhteneennevan kokeella.....	18
2.5 Maaperän ominaisuudet	19
2.6 Ravinnepuutosten tarkastelu.....	20
2.7 Aineiston tilastollinen käsittely.....	21
3. TULOKSET	22
3.1 Jouhteneenneva	22
3.1.1 Neulasten ravinnepitoisuudet	22
3.1.2. Puuston kasvu.....	29
3.2. Nahkaneva.....	34
3.2.1 Neulasten ravinnepitoisuudet	34
3.2.2 Puuston kasvu.....	37
3.3 Nahkanevan ja Jouhteneennevan pienen puuston väliset kasvuerot.....	39
4. TULOSTEN TARKASTELO	41
5. PÄÄTELMÄT	45
LÄHTEET	47
LIITTEET	

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomessa arvioitiin vuonna 2004 syntyvän erityyppisten lämpö- ja voimalaitosten sekä kemiallisen metsäteollisuuden energiantuotannon seurauksena noin 500 000 tonnia puu-, turve- ja peltobiomassojen tuhkaa. Tästä parhaiten metsälannoitteeksi soveltuvaa, puhdasta puuntuhkaa on noin 150 000 tonnia. Kansallisen metsäohjelman (KMO 2015) tavoitteena on nostaa energiantuotannossa käytettävän metsähakkeen määrä nykyisestä noin kolminkertaiseksi, 8-12 miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Tällöin myös metsälannoitteeksi soveltuvan puutuhkan määrä kolminkertaistuu, joten kiinnostus tuhkan hyötykäyttöön jätteenä käsittelyn sijaan on suurta (Makkonen 2008).

Hyvälaatuinen puutuhka sisältää juuri oikeassa suhteessa metsästä puunkorjuun yhteydessä poistuneita ravinteita, erityisesti fosforia (P) ja kaliumia (K) sekä muita hivenravinteita. Puutuhkan kokonaismäärästä käytetään tällä hetkellä metsälannoitteena vain noin 10%. Suurin osa syntyneestä puu-, turve- tai sekatumasta käsitellään jätteenä ja se päättyy kaatopaikoille tai on läjitettynä teollisuuslaitosten omilla tonteilla (Makkonen 2008). Tästä aiheutuu tuhkan tuottajalle kustannuksia kuljetuksen ja erilaisten kaatopaikka- ja jätemaksujen muodossa (Haapasaari 1997, 19 - 20).

Puutuhkan ravinnesisältöön vaikuttavat monet tekijät, kuten puulaji, kasvupaikka, mikä osa puusta on kyseessä, hakkuutapa, polttotekniikka ja jälkikäsitteilytapa. Tuhkan laatuun voidaan vaikuttaa myös esimerkiksi sen varastoinnissa. Polttoprosessissa puubiomassaan sitoutunut tyyppi menetetään, joten tuhka ei sisällä lainkaan tyypeä. Sen sijaan tuhka sisältää fosforia, kaliumia ja hivenravinteita, kuten booria, joiden puutoksesta erityisesti suometsät kärsivät.

Lisäksi puuntuhka sisältää runsaasti kalsiumia ja magnesiumia. Tuhka sisältää myös haitallisia raskasmetalleja, erityisesti kadmiumia (taulukko 1). Tuhkan lannoitekäyttöä suunniteltaessa onkin syytä analysoida sen ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet (Hytönen & Nurmi 1997, 4 - 5).

Taulukko 1. Eri tuhkalajien sisältämiä alkuainepitoisuuksia (Silfverberg 1993, 1996.)

Tuhkalaji	Ravinne						
	N kg/t	P kg/t	K kg/t	Ca kg/t	Mg g/t	B g/t	Cd g/t
Puun tuhka	-	15	50	189	35	206	1-30
Kuorituhka	-	4	12	126	37	226	1-30
Turvetuhka	-	17	3	62	10	15	1-20
Hiilituhka	-	1	20	59	29	440	1-4

Lannoitevalmistelaisissa (539/2006) ja sen perusteella annetuissa asetuksissa (12/07, 13/07 ja 09/08) säädellään tuhkan valmistusta, käyttöä ja kuljetusta. Lannoitteeksi tarkoitetulle tuhkalle on asetettu tiettyjä laatuvaatimuksia, joista raskasmetallipitoisuudet ovat tärkeimmät (taulukko 2). Erityisesti kadmiumpitoisuuden kanssa on oltava tarkkana. Metsätaloudessa kadmiumannos ei saa ylittää 60 grammaa hehtaarilla 40 vuoden aikana annettuna. Lain mukaan lannoitteeksi käytettävällä tuhkalla on oltava lannoitevalmistelain liitteessä 1A6 mainittu tyyppinimi. Muita lainsäädännössä tuhkanvalmistajille asetettuja vaatimuksia ovat tuhkalle tehtävä tuoteseloste sekä tuotannon omavalvonta. Tuoteselosteesta on käytävä ilmi muun muassa tuhkan sisältämät ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet. Valvonnasta vastaa Elintarvikevirasto Evira, joka vuonna 2007 kielsi noin viidenneksen valvomansa tuhkan käytöstä haitallisten raskasmetallipitoisuuksien vuoksi (Makkonen 2008).

Taulukko 2. Haitallisten raskasmetallien sallitut enimmäispitoisuudet metsälannoituksessa käytettävissä tuhkissa (MMM asetus 12/07).

Alkuaine	Enimmäispitoisuus mg/kg
Arseeni (As)	30
Elohopea (Hg)	1
Kadmium (Cd)	17,5
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	700
Lyijy (Pb)	150
Nikkeli (Ni)	150
Sinkki (Zn)	4500

Parhaimmat tulokset puuntuhan lannoitekäytöstä on saavutettu runsastyypisillä soilla ja metsitettävillä tai jo metsitetyillä turvemaapelloilla. Tuhka vähentää turpeen happamuutta ja parantaa siten mikrobitoimintaa erityisesti turpeen pintakerroksessa ja lisää siten edellytyksiä kasveille käyttökelpoisen typen vapautumiselle turpeesta (Hytönen & Nurmi 1997, 4 - 5). Karummilla suotyypeillä tuhkan vaikutus puuston kasvuun alkaa näkyä myöhemmin, mutta toisinaan hyvinkin voimakkaana (Moilanen ja Issakainen 2000). Oikein valituilla kohteilla puuston kasvun lisäys voi olla 2-4 m³ hehtaarilla vuodessa ja vaikutusaika 20 - 30, joillakin kohteilla jopa 50 vuotta (Makkonen 2008). Puuntuhan sisältämien hivenravinteiden ansiosta se soveltuu erinomaisesti myös ongelmallisiksi tiedetyille kohteille, kuten peltojen metsitykseen, jossa ravinneperäisiä kasvuhäiriöitä voidaan ehkäistä puuntuhalla (Hytönen & Nurmi 1997, 4 - 5). Puuntuha korjaa puiden kaliumpuutostilan 1 - 2 vuodessa ja fosforipuutostilan 3 - 4 vuodessa. Ulkoiset ravinnepuutosoireet häviävät jo levitysvuonna, ja neulasmassa sekä elävien neulasvuosikertojen määrä lisääntyvät. Parhaimmin sopivilla kohteilla puuston kasvu saattaa säilyä päätehakkuuseen asti lannoittamattoman vertailutason yläpuolella, mutta joillakin kohteilla ravinneoptimin säilyttämiseksi saatetaan tarvita kaksi lannoituskertaa (Moilanen 2009).

Puutuhkalannoituksen vaikutukset näkyvät turvemaidella kaupalliseen PK-lannoitukseen verrattuna hitaammin heti lannoituksen jälkeisinä vuosina. Kymmenen vuoden kuluttua tuhkalannoituksesta puut kuitenkin kasvavat jo yhtä hyvin tai jopa paremmin kuin PK-lannoituksessa. Lisäksi puuntuuhka näyttää parantavan puuston kasvua myös karuilla, niukkatyppisillä soilla, toisin kuin PK-lannoitus. Tämä vaikutus tosin ilmenee hitaasti. (Moilanen 2009.)

Kangasmetsissä puuntuuhkan ei ole todettu lisäävän puuston kasvua, koska siellä puuston kasvua rajoittava tekijä on typen puutos. Tuhkan levitys kangasmetsiin saattaa jopa kärjistää typen puutosta ja tällöin heikentää puuston kasvua (Makkonen 2008, Moilanen & Issakainen 2000). Tuhkan korkeasta pH-arvosta johtuen sillä on kuitenkin hyvä kalkitusvaikutus, jolla voidaan torjua maan luontaista tai saasteista johtuvaa happamoitumista kangasmaakohteilla (Hytönen & Nurmi 1997, 4 - 5). Tuhkalla voisi olla merkitystä myös viljavimpien, tyyppirikkojen kasvupaikkojen kuusikoiden boorin puutoksesta aiheutuvien kasvuhäiriöiden torjunnassa. Tällaisia kohteita ovat entiset kaski- ja laidunmaat (Moilanen 2009).

Tuhkalannoitus ei tutkimusten mukaan juurikaan lisää fosforin huuhtoutumista soilla. Fosforin huuhtoutumisen tarkastelu on erityisen tärkeää, koska sillä on merkittävin vaikutus vesistöjen rehevöitymiseen. Fosforia huuhtoutuu tuhkasta hyvin vähän. Kaliumia huuhtoutuu tuhkasta fosforia huomattavasti enemmän, mutta se ei ole vesistöjä rehevöittävä ravinne. Kaliumin huuhtoutumisen merkittävin haitta on puustolle aiheutuva ravinnetappio. Ravinteiden huuhtoutuminen on tuhkalannoituksessa vähäisempää kuin kaupallisissa PK-lannoitteissa. Ravinteet ovat tuhkassa kaupallisiin lannoitteisiin verrattuna vaikeammin liukenevassa muodossa, tämän vuoksi tuhkalannoituksen vaikutuksetkin näkyvät PK-lannoitteisiin verrattuna muutaman vuoden viiveellä (Silfverberg & Mertaniemi 1997, 27 - 34). Tuhka sisältää yleensä huomattavia määriä alumiini- ja rautayhdisteitä, jotka puolestaan sitovat hyvin fosforia ja

vähentävät sen huuhtoutumista vesistöihin. Muita tuhassa hyvin vaikealiukoisessa muodossa olevia ravinteita ovat alumiini, kadmium, nikkeli ja lyijy. Sen sijaan kalium, natrium, rikki ja boori ovat helppoliukoisemmassa muodossa (Nieminen 2003).

Maaperän ravinnetilan tasapainottamiseen ja ravinnepuutosoireiden korjaamiseen tähtäävää lannoitusta kutsutaan terveyslannoitukseksi, ja siihen on mahdollista saada Kestävän metsätalouden rahoituslain (KEMERA) mukaista tukea. Edellytyksenä tuen saamiselle on silminnähtävä tai neulasanalyysillä todennettu ravinnepuutos. Metsäpuiden tärkeimmät ravinteet ovat typpi, fosfori, kalium ja boori (Moilanen 2005).

Ravinteiden lisäksi tuhkan mukana palautuu metsään myös haitallisia raskasmetalleja, erityisesti kadmiumia, joka riistaeläimiin, sieniin ja marjoihin kertyessään muodostaisi ihmisellekin terveysriskin. Puuntuhkan kadmiumpitoisuudet vaihtelevat suuresti, muutamasta milligrammasta kiloa kohti aina 30 mg:aan kilossa asti. Lainsäädännössä kadmiumin enimmäispitoisuudeksi on määritelty 17,5 mg/kg kuiva-ainetta. Keskimääräisenä tuhkan kadmiumpitoisuutena pidetään Suomen olosuhteissa noin 10 mg/kg kuivaa tuhkaa. Tämän arvon perusteella laskettuna metsäluontoon palautuu tuhkalannoituksen myötä ainoastaan murto-osa metsämaassa jo valmiiksi olevasta kadmiumista. Turvemailla lisäys on jo varsin huomattava, mutta ei kuitenkaan lähelläkään kriittisiä rajoja (Kaunisto 1997, 21 - 26). Sienten ja marjojen osalta kadmiumpitoisuudet pysyvät ennallaan tai jopa alenevat hiukan, koska tuhkan kalkitusvaikutus alentaa raskasmetallien liukoisuutta maaperässä. Raskasmetallien pitoisuudet kohoavat kuitenkin tilapäisesti pintakasvillisuudessa heti lannoituksen jälkeisinä vuosina (Makkonen 2008).

Puuntuhkan laajamittaisempaa lannoitekäyttöä on rajoittanut irtotuhkan käsittelyn vaikeus. Tuhka on erittäin pölyävää ja pH-arvoltaan voimakkaasti emäksistä, 12 -

13, joten levittäjälle on muodostunut työturvallisuusriski ja levityslaitteisiin kohdistunut suurta räsitystä (Hakkila & Kalaja 1983). Lisäksi energiantuotantolaitoksilla syntyvästä tuhkasta on eroteltava lannoitteeksi soveltuva, puhdas puuntuuhka erilleen muista tuhkalajeista, koska polttoprosessissakin käytetään usein kerralla useampaa eri polttobiomassaa. Tuhkan käyttö lannoitteena on vielä kehitysvaiheessa kannattavaksi liiketoiminnaksi (Makkonen 2008). Markkinoilta puuttuu yrittäjiä kiinnostava ketju tuhkan syntyypaikalta metsän kasvua parantamaan.

Hienojakoisen, pölyävän irtotuhkan stabilointi eli rakeistaminen ratkaisee levitystekniset ongelmat ja levityksen tarkkuus ja tasaisuus paranee. Lisäksi rakeistaminen vähentää tuhkan pH-shokkivaikutusta pintakasvillisuudelle. Rakeistuksessa kostutettua irtotuhkaa sekoitetaan rummussa, lautasella tai muulla vastaavalla menetelmällä. Tuloksena on keskimäärin muutaman millimetrin kokoisia rakeita. Rakeistettua tuhkaa on hyvä varastoida muutamia viikkoja, jolloin se kovettuu ja liukeneminen maastoon hidastuu edelleen. Rakeistuksen yhteydessä tuhkaan voidaan myös sekoittaa esimerkiksi turkistarhojen sekä metsäteollisuuden biolietettä, jolloin sen ravinnesisältö paranee entisestään. Tuhkaa voidaan myös puristaa pelleteiksi, joka tosin kuluttaa erittäin voimakkaasti pelletöintimatriiseja. Pelletöinti sopiikin paremmin pienimuotoisempaan tuotantoon. (Hytönen & Takalo 1997, 44 – 50; Takalo 1997, 59 - 62). Suuremman mittakaavan rakeistamoja löytyy Suomesta tällä hetkellä kolme: Enocell Oy:n sellutehtaan yhteydessä Uimaharjulla, FA Forest Oy:n rakeistuslaitokset Liperissä ja Viitasaarella sekä Lannox Oy Koriolla (Rinne 2007).

Puuntuuhkalannoituksen kannattavuuteen vaikuttavat monet tekijät. Merkittävimpiä ovat kasvupaikka ja levitysmenetelmä. Puuntuuhka ja sen helikopterilevitys maksaa tällä hetkellä metsänomistajalle noin 350 - 450 euroa hehtaarilta, kun levitettävä tuhkamäärä on 4000 - 5000 kg/hehtaari. Tällä tuhkamäärällä saavutetaan tavoitellut ravinnelisäykset, fosforilla 40 - 50kg/hehtaari ja kaliumilla 80 - 100

kg/hehtaari. Maalevitys on tällä hetkellä hehtaarikohtaiselta hinnaltaan hieman lentolevitystä edullisempi (Makkonen 2008). Suuremman tuhkamäärän levitys lisää myös puuston kasvua enemmän, mutta suurempien levityskustannusten vuoksi saavutettu hyöty on suhteessa pienempi vähäisempään tuhkamäärään verrattuna (Lauhanen, Moilanen, Silfverberg, Takamaa & Issakainen 1997: 51 - 58). Lisäksi valtion terveyslannoituksiin maksama Kemera-tuki parantaa tuhkalannoituksen kannattavuutta. Luontevinta tuhkalannoitus on suorittaa muiden metsänhoitotoimenpiteiden yhteydessä harvennushakkuun ja kunnostusojituksen välissä (Makkonen 2008).

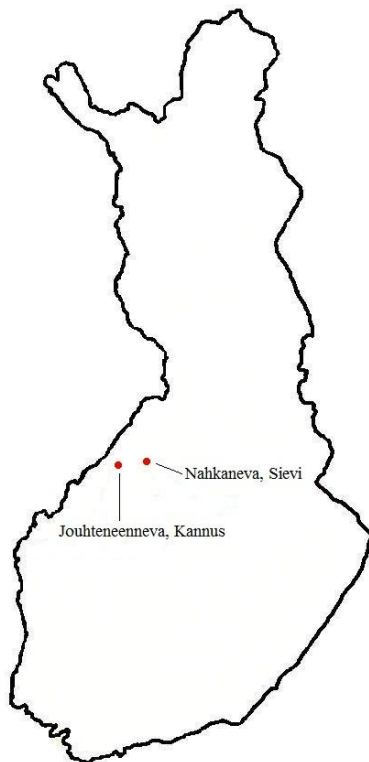
1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on vertailla rae- ja irtotuhkalannoitusta sekä kaupallisen PK-lannoituksen vaikutuksia suometsien lannoitteena. Irtotuhkasta on tuloksia jo pitkältä ajalta, mutta rakeistettua tuhkaa ei ole ollut saatavilla vielä pitkää aikaa. Siksi tässä voidaan tarkastella vain tuhkalannoituksen alkuvaikutuksia. Tarkastelu tehdään neulasanalyysin avulla, eli tarkastelemalla tuhkien ravinteiden käyttökelpoisuutta männylle. Lisäksi tarkastellaan puiden viiden vuoden pituuden, läpimitan ja tilavuuden kasvua. Kaksi tutkittua koetta sijaitsevat typpipitoisuudeltaan erilaisilla kasvupaikoilla, jolloin voidaan verrata myös lannoituskohteen ominaisuuksien merkitystä kasvureaktioon.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

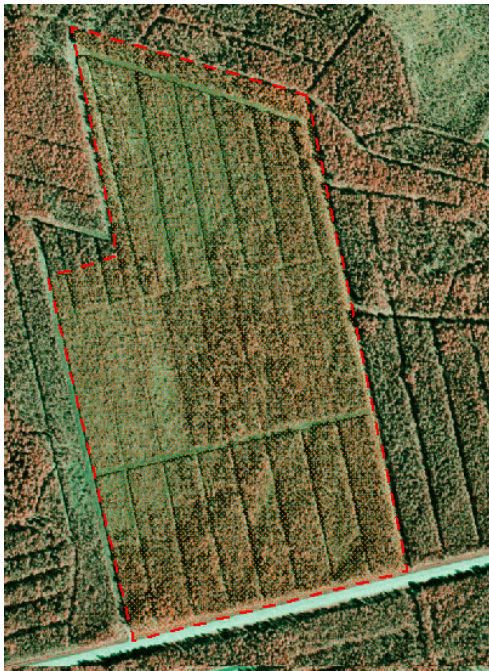
2.1 Koemetsiköt ja koejärjestelyt

Tämän työn toteutuksessa on käytetty ennen julkaisematonta Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusaineistoa kahdesta tuhkalannoituskokeesta, jotka alun perin on perustettu havaintokohteiksi. Havaintokohteet soveltuvat opetus- ja demonstraatiotarkoituksiin, ja niiden käyttäjinä ovat muun muassa metsäammattilaiset ja suuri yleisö. Tässä opinnäytetyössä käytettävät tutkimusmetsiköt sijaitsevat Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsissä Kannuksen Jouhteneenvealla ($63^{\circ}52.88'$, $23^{\circ}44.58'$) ja Sievin Nahkanevalla ($63^{\circ}53.61'$, $24^{\circ}26.96'$).



Piirros 1. Koemetsiköiden sijainti. Piirros: Jaakko Isomaa

Jouhteneennevan metsikkö on luontaisesti syntynyt rämemännikkö, jonne tehtiin ylispuuluontoinen hakkuu ja harvennus talvella 1998 – 1999 sekä ojien perkaus ja täydennysojitus kevättalvella 1999 – 2000. Uudisojitus on tehty 1980-luvun alkupuolella. Kasvupaikka on pääosin varsinainen isovarpurämemuuttuma (VIRmu) ja turvekerroksen pakuus 1-2 m. Puuston koko vaihtelee taimikosta varttuneeseen kasvatusmetsään (kuva 1).



Kuva 1. Ilmakuva Jouhteneennevan koemetsästä. Koemetsikkö on rajattu kuvaan punaisella katkoviivalla. Kuva: Metsähallitus.

Koealat jaettiin neljän käsittelyn lohkoihin lähinnä puuston kehitysluokan ja kasvupaikan mukaan (liite 1).

Käsittelyt Jouhteneennevalla:

A) ei lannoitusta

B) irtotuhkalannoitus 5000 kg kuivana/ha

C) rakeistettu tuhkalannoitus 5000 kg kuivana/ha

D) PK-lannoitus 500 kg/ha

Käsittelyt arvottiin lohkoittain. Irtotuhkan kosteus oli 0,8 % ja rakeistetun tuhkan kosteus oli 16,2 % levitysajankohtana. Yksi koeala muodostuu 40 m x sarkaleveys - kokoisesta suorakaiteesta ja on pinta-alaltaan noin 1600 m². Koealojen rajaus ja merkintä tehtiin syksyllä 2002. Tuhkalannoitukset tehtiin 15.1 – 22.2.2003. Koealakohtainen tuhkamäärä laskettiin ja punnittiin säkkeihin, jotka jaettiin tasaisesti koealoille moottorikelkalla ja ahkiolla. Tuhka levitettiin säkeistä lapiomalla maastoon. Levitysajankohtana lunta oli noin 50 cm ja pakkasta 10 - 15° C. PK- lannoitesäkit jaettiin koealoille samalla kertaa ja niiden levitys tehtiin 15 – 18.5 sulaan maahan vakasta käsin. Nahkanevan kokeelle ei levitetty PK - lannoitetta.

Taulukko 3. Kokeilla käytettyjen lannoitteiden levitysmäärät kg/ha ja niiden kautta maaperään päätyneiden ravinteiden määrät kg/ha.

Lannoite	Levitysmäärä kg/ha	Ravinteita kg/ha						
		N	P	K	Ca	Mg	B	Zn
Irtotuhka	5000	0	82	202	969	155	1,6	22
Raetuhka	5000	0	73	190	836	134	1,6	18
PK-lannoite	500	0	45	80	110	0	1,5	0

Nahkanevan metsikkö on 1974 ojitettu paksaturpeinen lyhytkorsineva (LkN), jonka puusto on luontaisesti syntynyt 0,5 – 4 m:n pituinen männyn taimikko (kuva 2).



Kuva 2. Ilmakuva Nahkanevan koemetsiköstä. Koemetsikkö on rajattu kuvaan punaisella katkoviivalla. Kuva: Metsähallitus

Puustossa oli lannoitushetkellä paikoin silmämääräisesti havaittavissa kaliumin ja typen puutosoireita. Koalueella on 3 lannoituskäsittelyä mukaanluettuna lannoittamaton vertailukäsittely (0-käsittely) kahtena toistona (liite 2).

Käsittelyt Nahkanevalla:

A) irtotuhkalannoitus 5000 kg kuivana/ha

B) rakeistettu tuhkalannoitus 5000 kg kuivana/ha

C) ei lannoitusta

Käsittelyt arvottiin lohkoittain. Irtotuhkan kosteus oli 0,8 % ja rakeistetun tuhkan kosteus oli 16,2 % levitysajankohtana. B ja C- käsittelyiden koalat olivat pinta-

alaltaan 1500 m² ja käsittelyn A koealat olivat 500 m². Kaikki koealat rajoituivat sarkaojiin. Koealojen rajaus ja merkintä tehtiin helmikuussa 2003. Tuhkalannoitus tehtiin samaan aikaan ja samalla menetelmällä kuin Jouhteneennevalla. Levitysajankohtana lunta oli noin 50 cm ja pakkasta -3° C. Tuhkanlevitysaikana jaetut PK - lannoitesäkit levitettiin toukokuun lopussa sulaan maahan vakasta käsin.

2.2 Mittaukset

Jouhteneennevalla ensimmäinen puustonmittaus suoritettiin 22.4.2003 – 14.5.2003 eli tuhkan levityksen jälkeen ennen sen vaikutuksen näkymistä puustossa. Puut luettiin 10 m leveiltä kaistoilta koealojen keskeltä. Kaistat ulottuivat sarkaojasta toiseen. Puuston tilavuuden laskennassa käytettiin pinta-alaa, joka muodostui sarkaojan keskeltä toisen sarkaojan keskelle kerrottuna mittaускаistan leveydellä (10 m). Näin menetellen otannaksi tuli keskimäärin yli 25 % koealan pinta-alasta kaikilta koealoilta. Tällöin myös sarkaojituksen vaikutus tuli otetuksi huomioon. Lämpömittaus tapahtui rinnankorkeudelta (1,3 m) mm:n tarkkuudella kohtisuoraan kaistan keskellä olevaan konepisteeseen päin. Konepisteet merkittiin puupaaluilla siten, että ne pystytään paikantamaan jatkomittauksissa. Luettujen puiden määrä/koeala oli 20 – 60 kpl. Kaikki rinnankorkeudeltaan yli 50 mm paksut puut luettiin ja kartoitettiin (suunta ja etäisyys konepisteestä). Joka viides puu mitattiin koepuuna. Kuolleita tai vikaisia puita ei mitattu koepuuna. Koepuista mitattiin lukupuutunnusten lisäksi latvuskerros, rungon tekninen laatu, tuhot, pituus ja latvusraja (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Taimivaltaisilta koealoilta 2, 21, 22, 23, 24, 25 valittiin keskimäärin 25 seurantapuuta / koeala, jotka mitattiin samalla menetelmällä. Lisäksi taimikoealoilta laskettiin kaikkien yli 1,3 m pitkien kehityskelpoisten männyntaimien kappalemäärät ja mitattiin valtapituus. Toinen puuston mittaus suoritettiin Jouhteneennevalla elokuussa 2007. Edellisestä mittauksesta oli tuolloin

kulunut viisi kasvukautta. Kaikkien edellisellä mittauskerralla mitattujen puiden lisäksi mitattiin toisella mittauskerralla rinnankorkeusläpimitaltaan 50 mm:n raja-arvon ylittäneet puut lukupuina.

Nahkanevalla puusto mitattiin ensimmäisen kerran 4. – 5.11.2003. Koealojen 1 ja 5 keskelle perustettiin konepiste, josta luettiin 5,64 m:n säteellä kaikki yli 50 cm pitkät taimet. Isommat ruudut 2, 3, 4, 6 puolitettiin ja puoliruutujen keskipisteisiin perustettiin konepisteet, joista puut luettiin 3,99 m:n säteellä. Konepisteet merkittiin puupaaluilla seuraavia mittauksia varten. Lämpimittä ei mitattu koska koealojen puusto oli pientä taimikkoa. Kaikista lukupuista mitattiin pituus, sijaintitiedot sekä tuhohavainnot. Lannoituskäsittelyistä oli puustonmittauksen ajankohtana kulunut yksi kasvukausi, joten pituudesta vähennettiin vastaavasti yksi kasvukausi. Pienen taimiaineksen kpl-määrä ja keskipituus laskettiin kaikilta mittausympyröiltä. Toinen puuston mittaus suoritettiin Nahkanevalla helmikuussa 2010. Tuolloin mitattiin edellisellä mittauskerralla mitatuista puista viiden ja kuuden kasvukauden pituuskasvut kokeen perustamisesta sekä rinnankorkeusläpimitat ja tuhohavainnot.

Neulasnäytteitä kerättiin Jouhteneennevan kokeelta koealoittain 1, 2 ja 5 vuotta ja Nahkanevan kokeelta 1, 2 ja 6 vuotta lannoituksen jälkeen. Neulasnäytteet kerättiin 5 - 7 valtapuusta latvuksen yläosasta etelän puolelta. Turvenäytteet on kerätty Jouhteneennevalta ennen lannoitusta ja Nahkanevalta 0 - ruuduilta syksyllä 2009. Turvenäytteet kerättiin kokoomanäytteenä 5 pisteestä/ruutu 10 - 20 cm:n syvyydestä. Turvenäytteistä analysoitiin typpipitoisuus ja laskettiin typen määrä tilavuusyksikköä kohti. Kaikki näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen toimintayksikön laboratoriossa.

2.3 Puustotunnusten laskenta

Mittauksissa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen standardilomakkeita 20 ja 71 (liitteet 3 ja 4). Puustotunnukset on laskettu koealojen puu- ja puustotunnusten KP7 - laskentaohjelmalla (Heinonen 1994). Ohjelmassa koepuutiedot yhdistetään tasoitusfunktioiden avulla kuvaamaan koko runkolukusarjaa. Aineiston laskennassa käytettiin Näslundin pituuskäyrää $h = 1.3 + (d / (a_0 + a_1 * d))^{**E}$, missä h on puun pituus, d on rinnankorkeusläpimitta ja E on eksponentti, joka on tässä 2. Runkotilavuuden laskennassa käytetty tasoitusfunktio oli muotoa $v / (d * d) = a_0 + a_1 * d + a_2 * d * d$, missä a_0 , a_1 ja a_2 ovat kertoimia. Tasoitusfunktioiden ja mittausaineiston yhteensopivuus tarkistettiin KP7 - ohjelmiston PIC7P-grafiikkaohjelmalla.

Jouhteneennevan ruutukohtaisesta tiedostosta laskettiin seuraavat puustotunnukset: runkoluku, pohjapinta-ala, aritmeettinen keskiläpimitta, aritmeettinen keskipituus, valtaläpimitta (100 kpl/ha), valtapituus (100 kpl/ha), elävän latvuksen raja, kuorellinen runkotilavuus ja runkokuivamassa. Nahkanevan ruutukohtaisesta tiedostosta laskettiin vain runkoluku ja puuston pituutta kuvaavia tunnuksia. Puustotunnukset laskettiin kahtena mittausajankohtana. Jatkokäsittelyssä kasvutunnukset saatiin mittauskertojen erotuksena.

2.4 Puuston jakaminen eri kokoluokkiin Jouhteneennevan kokeella

Tulosten tarkastelun monipuolistamiseksi koeruudut jaettiin Jouhteneennevan kokeella lähtöpuuston tilavuuden mukaan pieniin, keskikokoisiin ja isopuustoisiin ruutuihin siten, että päästään vertailemaan eri käsittelyjen vaikutuksia erikokoisilla puustoilla. Ryhmittely tehtiin neljän ruudun ryhmissä, jotka sisälsivät kaikki käsittelyt ja sijaitsivat lähekkäin. Nämä muodostivat tutkimuksen lohkon, eli alkuperäistä lohkojakoa muutettiin. Pienipuustoisia ruutuja olivat ruudut 1, 2, 3, 7,

21, 22, 23 ja 24, puuston tilavuus keskimäärin 6,9 m³/ha. Puustoltaan keskikokoisia ruutuja olivat 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 25, 26, 28 ja 29, tilavuudeltaan keskimäärin 35,5 m³/ha. Puustoltaan isopuustoisia olivat ruudut 17, 18, 19, 20, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 35 ja 36, puuston tilavuus keskimäärin 71,1 m³/ha (liite 1).

Taulukko 4. Erikokoisten puustojen keskimääräisiä puustotunnuksia vuonna 2003.

Puuston koko	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m ³ /ha
Pieni	5,4	4,4	6,9
Keskikoko	9,6	7,3	35,5
Iso	12,5	10,2	71,1

2.5 Maaperän ominaisuudet

Jouhteneenevan ja Nahkanevan koemetsiköt poikkeavat maaperän ominaisuuksiltaan toisistaan. Nahkanevalla turvekerros on paksumpi ja turpeen tiheys sekä typpipitoisuus huomattavasti pienempi kuin Jouhteneenevalla (taulukko 5). Nahkaneva on myös kasvupaikkatyypiltään karumpi lyhytkorsineva. Jouhteneenevalla esiintyikin vähemmän puuston ravinnepuutoksireita.

Taulukko 5. Turvekerroksen paksuus metreinä, tiheys (g/l), typpipitoisuus (%) ja typen määrä kg/ha 20 cm:n turvekerroksessa Jouhteneenevan ja Nahkanevan kokeilla.

Alue	Turvekerroksen paksuus, m	Tiheys g/l	Typpipitoisuus %	Typen määrä kg/ha 20 cm kerroksessa
Jouhteneeneva	1-2	166,61	2,74	9130,23
Nahkaneva	yli 2	66,70	0,625	833,75

2.6 Ravinnepuutosten tarkastelu

Ravinnepuutosoireilla tarkoitetaan sellaisia kasvupaikan ravinne-ekologisia niukkuustekijöitä, jotka heijastuvat puiden ulkoasuun poikkeavuuksina. Näitä puutosoireita tarkkailtaessa on siis kiinnitettävä erityisesti huomiota lehtien ja neulasten värimuutoksiin. Tällaisia tuntomerkkejä ovat mm. kloroosi eli viherkato, joka ilmenee neulasten kellastumisena ja nekroosi eli solukoiden kuoleminen, joka puolestaan näkyy ruskettuvina neulasina (Reinikainen ym. 1998). Tässä tutkimuksessa Nahkanevalla tarkasteltiin mittausten yhteydessä neulasten silmävaraisia värimuutoksia, jotka voivat kuvata ravinnepuutoksia.

Tutkimuksessa tarkasteltiin ravinnepuutoksia myös vertaamalla eri tavoin lannoitettujen puiden neulasten ravinnearvoja ohjearvoihin (taulukko 6). Näin voitiin tarkastella puuston ravinnetilaa lannoittamattomissa metsiköissä. Tällä tavoin arvioitiin oliko metsiköissä ravinnepuutoksia ja mihin ravinteisiin ne kohdistuivat. Lisäksi tarkastelulla voitiin selvittää paransiko lannoitus ravinnepuutoksia. Koska neulasnäytteitä oli otettu 1, 2 ja 5 vuoden kuluttua lannoituksesta, saatiin myös käsitys lannoitusreaktion nopeudesta.

Taulukko 6. Männyn tärkeimpien ravinteiden ankaran puutoksen ja optimiravinnemäärän rajat turvemilla sekä ulkoasussa ilmenevät ravinnepuutosoireet (Reinikainen, Veijalainen & Nousiainen 1998).

Ravinne ja yksikkö	Ankara puutos	Optimi	Puutosoire
N %	< 1,2	1,3 - 1,8	Neulasten vaaleanvihreä väri
P g/kg	< 1,3	1,6 - 2,2	Heikko pituuskasvu, ohuet ja mutkaiset kasvaimet
K g/kg	< 3,5	4,5 - 6,5	Neulasten kellastuminen
B mg/kg	< 5,0	10 - 30	Latvan haaroittuminen, puun pensastuminen

2.7 Aineiston tilastollinen käsittely

Peruslaskennassa lasketut koerutukohtaiset tunnuksot sekä neulas- ja maa-analyysitulokset siirrettiin SPSS - tilasto-ohjelmistoon, jolla muuttujamuunnokset ja varsinaiset tilastolliset analyysit tehtiin. Lannoituskäsittelyjen tilastollista vaikutusta neulasten ravinnepitoisuuksiin tutkittiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa olivat mukana lannoituskäsittely ja lohko. Puustotunnusten tilastollisessa testauksessa käytettiin kovarianssianalyysiä. Kovariaatteina oli alkumittauksen puustotunnukset. Testattaessa pituuskasvua kovariaattina käytettiin alkupituutta ja testattaessa tilavuutta kovariaattina olivat alkutilavuudet. Havaintojen keskiarvoja verrattiin tilastoanalyysin jälkeen Tukey'n keskiarvotestillä. Tutkielman taulukoissa on testin tilastollinen merkitsevyytaso ilmoitettu p-arvona (taulukko 7).

Taulukko 7. Tutkimuksessa käytetyt riskirajat.

$p < 0,001$	***	Tilastollisesti erittäin merkitsevä
$0,001 \leq p < 0,01$	**	Tilastollisesti merkitsevä
$0,01 \leq p < 0,05$	*	Tilastollisesti melkein merkitsevä

3. TULOKSET

3.1 Jouhteneenneva

3.1.1 Neulasten ravinnepitoisuudet

Neulasten typpipitoisuus oli lannoittamattomissa puustoissa hyvällä tasolla, eikä typen puutosta esiintynyt koealueella. Kaikissa kokoluokissa oli lannoittamattomassa puustossa fosforin puutos ja lievä kaliumin puutos. Lannoittamattomassa puustossa neulasten booripitoisuudet olivat hyvällä tasolla lukuunottamatta pientä puustoa, jossa esiintyi jonkin verran lievää boorin puutosta kaksi vuotta kokeen alkamisesta (taulukot 8 - 10).

Irtotuhka ja PK-lannoite nostivat neulasten fosforipitoisuuksia tilastollisesti merkitsevästi kaikissa puuston kokoluokissa, mutta raetuhka ei vaikuttanut ensimmäisen viiden vuoden aikana. Irtotuhka ja PK-lannoite eivät kuitenkaan nostaneet neulasten fosforipitoisuuksia optimirajan yläpuolelle. Raetuhka paransi hieman neulasten fosforipitoisuutta keskikokoisessa puustossa, mutta arvot jäivät silti optimirajan alapuolelle. Isossa puustossa raetuhkakäsittely laski hieman neulasten fosforipitoisuutta tarkastelujaksolla. Neulasten fosforipitoisuudet laskivat lannoittamattomilla koeruuduilla, mutta tuhka- tai lannoituskäsittelyn saaneilla ruuduilla pitoisuudet kohosivat tai laskeminen pysähtyi. Irtotuhka ja PK-lannoite antoivat parhaimman tuloksen (kuvio 1).

Kaikki lannoituskäsittelyt nostivat neulasten kaliumpitoisuudet puutosrajan yläpuolelle jo yhdessä vuodessa. Lannoittamattomilla koeruuduilla neulasten kaliumpitoisuudet olivat laskeneet kaksi vuotta käsittelyjen jälkeen, mutta viisi vuotta käsittelyjen jälkeen arvot olivat hieman kohonneet edellisestä

neulasanalyyseistä. Kaliumpitoisuuksien osalta eri käsittelyillä ei ole merkittävää eroa (kuvio 2).

Kaikki lannoituskäsittelyt nostivat neulasten booripitoisuuksia jo yhden vuoden kuluttua käsittelyistä. Erityisen nopea ja voimakas vaikutus oli PK-lannoituksella. PK-lannoitus kohotti neulasten booripitoisuutta todella rajusti vuosi käsittelyn jälkeen, mutta pitoisuudet myös laskivat tämän jälkeen voimakkaasti. Viisi vuotta käsittelyjen jälkeen neulasten booripitoisuudet olivat PK-lannoitetuilla ruuduilla samaa tasoa tuhkakäsittelyjen kanssa. Keskikokoisessa puustossa PK-lannoite vaikutti neulasten booripitoisuuteen eri tavoin kuin pienessä ja isossa puustossa (kuvio 3).

Taulukko 8. Jouhteneennevan pienen puuston neulasten ravinnepitoisuudet 1, 2 ja 5 vuotta eri käsittelyjen jälkeen. Typen, fosforin, kaliumin ja boorin osalta punaisella korostetut arvot ovat ankan puutosrajan alapuolella, ruskealla korostetut puutosrajan alapuolella (taulukko 7). Taulukon alla varianssianalyysin F-arvot ja p-arvot. Keskiarvot, jotka eri vuosina eroavat toisistaan Tukey'n testin mukaan 5 %:n riskitasolla on merkitty eri kirjaimilla.

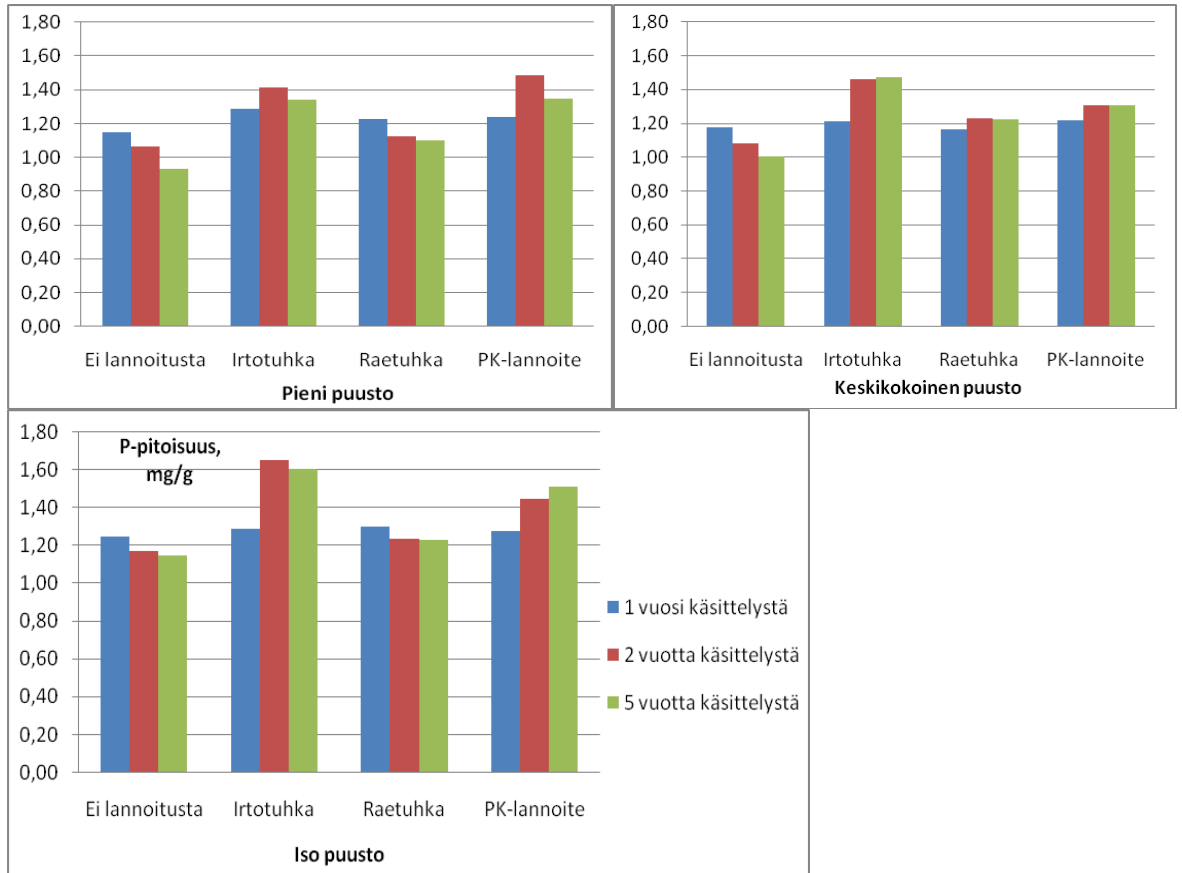
Käsittely	Vuotta käsittelystä	Ravinne								
		N %	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg
Ei lannoitusta	1	1,68	1,15	4,24	2,22	1,19	492,55	50,18	51,75	12,46
	2	1,52	1,06a	3,60a	1,51	1,09	426,40	27,10	70,20	8,45a
	5	1,55	0,93a	3,91	1,71	1,16	426,84	41,29	55,14	14,98
Irtotuhka	1	1,44	1,29	5,09	2,57	1,37	454,05	52,27	76,50	24,68
	2	1,26	1,41b	4,92b	1,99	1,06	455,17	32,55	83,90	22,04ab
	5	1,28	1,34b	4,77	2,18	1,22	253,35	41,54	49,70	21,86
Raetuhka	1	1,41	1,22	5,30	2,30	1,18	659,97	42,46	56,28	25,93
	2	1,36	1,13a	4,63b	2,04	0,90	472,61	37,46	80,70	21,00a
	5	1,21	1,10ab	4,84	2,00	1,04	297,50	43,44	52,34	28,76
PK-lannoite	1	1,60	1,24	4,54	2,07	1,11	381,01	39,80	56,18	84,41
	2	1,36	1,48b	4,91b	1,79	0,92	397,34	30,99	62,83	43,72b
	5	1,30	1,35b	4,47	2,15	1,02	304,23	41,63	44,62	27,68
F p	1	0,221	2,000	0,603	0,787	0,747	2,762	2,022	4,885	6,409
	1	0,585	0,292	0,656	0,576	0,592	0,213	0,289	0,113	0,081
F p	2	1,511	57,264	41,042	1,671	1,098	0,486	1,156	2,463	20,351
	2	0,371	0,004**	0,006**	0,342	0,470	0,716	0,454	0,239	0,017*
F p	5	2,945	23,148	1,682	2,796	1,981	7,397	0,550	3,683	7,591
	5	0,199	0,014*	0,340	0,210	0,294	0,067	0,682	0,156	0,065

Taulukko 9. Jouhteneennevan keskikokoisen puuston neulasten ravinnepitoisuudet 1, 2 ja 5 vuotta eri käsittelyjen jälkeen. Fosforin ja kaliumin osalta punaisella korostetut arvot ovat ankaran puutosrajan alapuolella, ruskealla korostetut puutosrajan alapuolella (taulukko 6). Taulukon alla varianssianalyysin F-arvot ja p-arvot. Keskiarvot, jotka eri vuosina eroavat toisistaan Tukey'n testin mukaan 5 %:n riskitasolla on merkitty eri kirjaimilla.

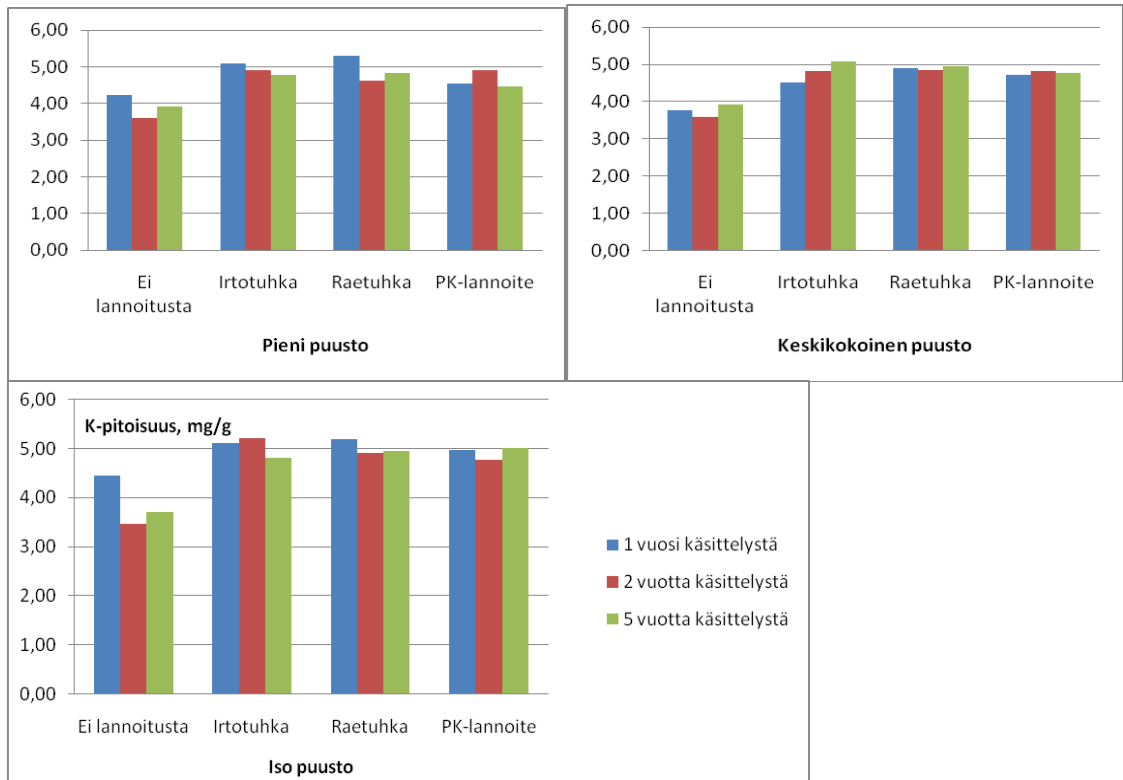
Käsittely	Vuotta käsittelystä	Ravinne								
		N %	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg
Ei lannoitusta	1	1,52	1,17	3,77	1,69	1,07	381,42	36,84	42,50	15,17a
	2	1,34	1,08a	3,58a	1,90ab	1,16	459,13	31,49	67,45	10,84a
	5	1,46	1,01a	3,91a	2,00	1,20	410,56	36,50	49,57	13,33a
Irtotuhka	1	1,44	1,21	4,51	2,27	1,34	514,11	44,43	55,38	24,64ab
	2	1,25	1,46c	4,82b	2,07b	1,04	462,54	29,67	74,18	20,32a
	5	1,31	1,48c	5,08b	2,24	1,16	293,42	39,76	44,50	24,84b
Raetuhka	1	1,55	1,17	4,91	2,05	1,23	350,47	37,40	53,05	19,97a
	2	1,39	1,23ab	4,84b	1,76ab	1,01	375,13	33,63	72,53	20,28a
	5	1,40	1,23ab	4,95b	2,20	1,04	278,09	39,74	48,48	22,32b
PK-lannoite	1	1,55	1,22	4,71	2,10	1,27	412,32	43,53	55,03	44,58b
	2	1,35	1,31bc	4,82b	1,69a	1,01	421,82	32,71	70,88	48,97b
	5	1,30	1,31bc	4,76ab	2,13	1,04	332,20	37,38	45,41	26,52b
F p	1	0,357	0,349	1,741	2,075	1,355	0,696	0,897	2,295	5,656
	1	0,786	0,791	0,228	0,174	0,317	0,578	0,480	0,147	0,019*
F p	2	1,315	14,596	14,943	4,414	3,249	1,110	1,446	0,511	19,551
	2	0,329	0,001**	0,001**	0,036*	0,074	0,395	0,293	0,685	0,000***
F p	5	2,693	13,613	6,929	0,603	2,469	2,331	0,682	0,637	12,721
	5	0,109	0,001**	0,010*	0,629	0,128	0,143	0,585	0,610	0,001**

Taulukko 10. Jouhteneennevan ison puuston neulasten ravinnepitoisuudet 1, 2 ja 5 vuotta eri käsittelyjen jälkeen. Fosforin ja kaliumin osalta punaisella korostetut arvot ovat ankaran puutosrajan alapuolella, ruskealla korostetut puutosrajan alapuolella (taulukko 6). Taulukon alla varianssianalyysin F-arvot ja p-arvot. Keskiarvot, jotka eri vuosina eroavat toisistaan Tukey'n testin mukaan 5 %:n riskitasolla on merkitty eri kirjaimilla.

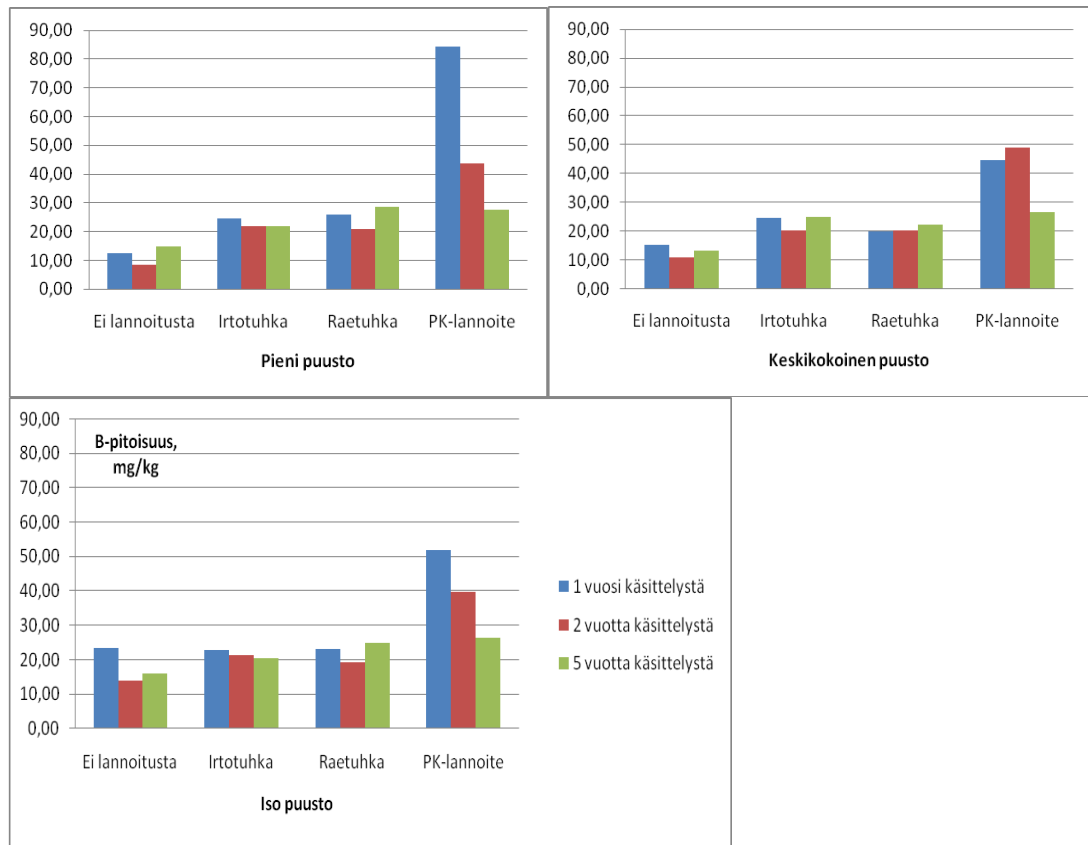
Käsittely	Vuotta käsittelystä	Ravinne								
		N %	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg
Ei lannoitusta	1	1,54	1,25	4,44	1,98	1,29	412,05	41,81	51,06	23,45a
	2	1,30	1,17a	3,47a	1,82a	1,18	492,27	30,74	59,71	13,93a
	5	1,37	1,14a	3,70a	2,05	1,25b	478,65b	36,74	54,04	15,98a
Irtotuhka	1	1,65	1,29	5,10	2,34	1,22	538,38	39,60	52,34	22,65a
	2	1,44	1,65b	5,22b	2,35b	1,10	500,21	39,25	62,69	21,24a
	5	1,37	1,61b	4,82b	2,12	1,08ab	287,23a	39,47	41,96	20,49ab
Raetuhka	1	1,62	1,30	5,19	2,17	1,20	580,41	43,53	59,99	23,03a
	2	1,31	1,23a	4,90b	1,61a	0,94	448,61	32,42	68,62	19,26a
	5	1,26	1,23a	4,95b	1,68	0,98a	312,26a	42,72	53,46	24,73b
PK-lannoite	1	1,64	1,28	4,97	2,09	1,30	548,03	38,88	54,91	51,86b
	2	1,43	1,45ab	4,77b	1,82a	1,12	452,75	35,01	59,22	39,69b
	5	1,33	1,51b	5,01b	1,96	1,19b	412,72ab	40,12	50,08	26,46b
F p	1	0,706	1,199	3,643	0,994	0,494	1,733	1,950	0,697	21,782
	1	0,582	0,387	0,083	0,457	0,699	0,259	0,223	0,587	0,001**
F p	2	2,107	14,110	20,923	25,689	3,673	0,288	4,266	0,360	17,947
	2	0,201	0,004**	0,001**	0,001**	0,082	0,833	0,062	0,785	0,002**
F p	5	1,028	35,469	18,683	1,282	10,493	7,736	1,241	2,372	12,067
	5	0,444	0,000***	0,002**	0,363	0,008**	0,017*	0,374	0,169	0,006**



Kuvio 1. Jouhteneennevan pienen, kesikokoisen ja ison puuston neulasten fosforipitoisuudet 1, 2 ja 5 vuotta eri käsittelyjen jälkeen.



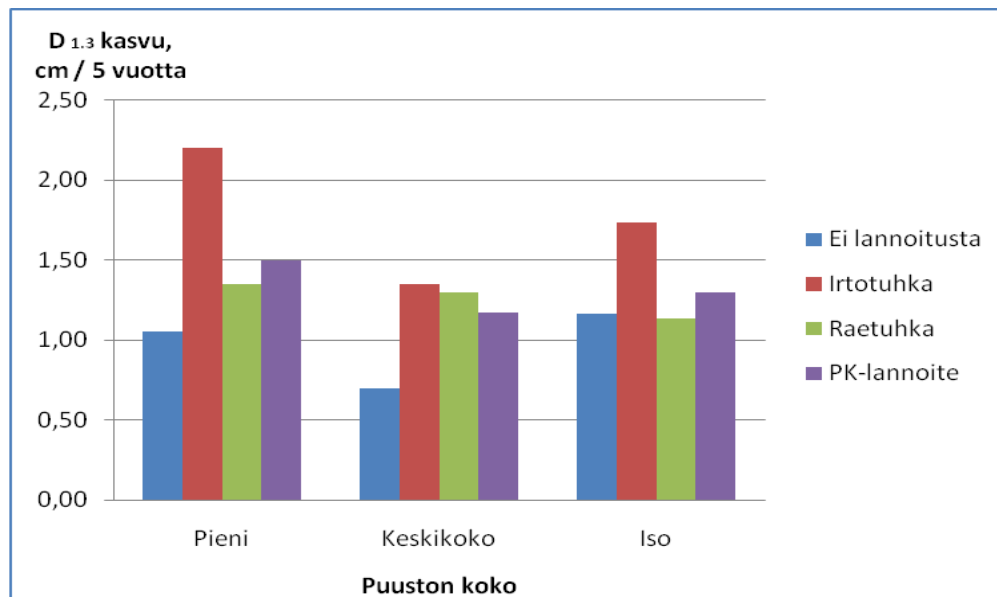
Kuvio 2. Jouhteneennevan pienen, keskipikoinen ja ison puuston neulasten kaliumpitoisuudet 1, 2 ja 5 vuotta eri käsittelyjen jälkeen.



Kuvio 3. Jouhteneennevan pienen, keskikokoisen ja ison puuston neulasten booripitoisuudet 1, 2 ja 5 vuotta eri käsittelyjen jälkeen.

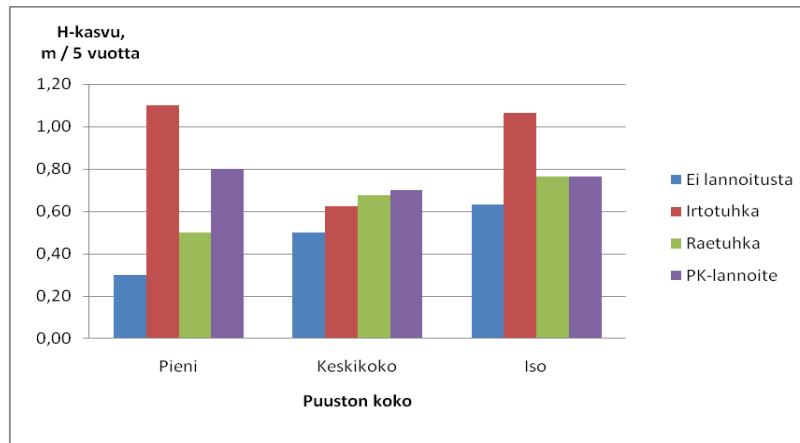
3.1.2. Puuston kasvu

Keskikokoisessa puustossa kaikki lannoituskäsittelyt lisäsivät rinnankorkeusläpimittaa lähes yhtä hyvin, mutta pienessä ja isossa puustossa irtotuhka oli selkeästi muita parempi. Pienessä puustossa rinnankorkeusläpimitan kasvu oli irtotuhkalla yli kaksinkertainen ja isossa puustossa lähes 1,5-kertainen lannoittamattomiin koeruutuihin verrattuna. Raetuhkalla saatiin merkittävä kasvunlisäys ainoastaan keskikokoisessa puustossa (kuvio 4).



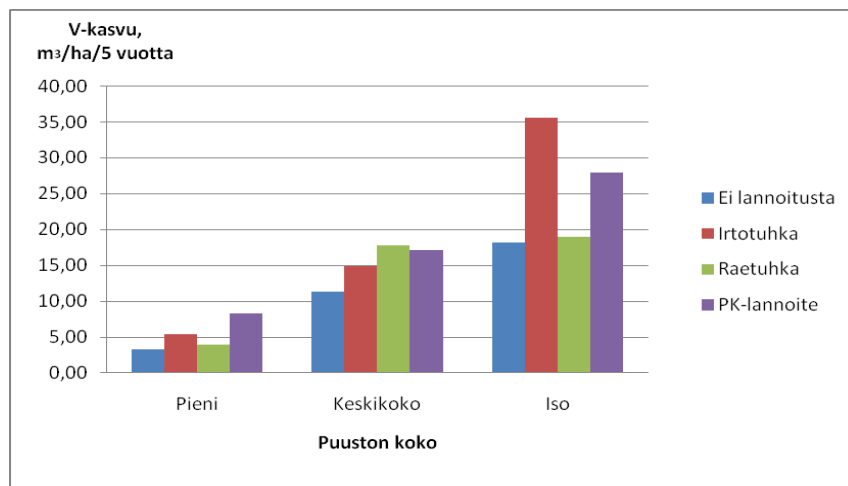
Kuvio 4. Lannoituskäsittelyjen vaikutus rinnankorkeuslähimittan kasvuun Jouhteneennevalla eri kokoisissa puustoissa viiden vuoden aikana. Pienessä puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 18,883$, $p = 0,056$, keskikokoisessa puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 0,687$, $p = 0,585$, isossa puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 1,583$, $p = 0,304$.

Irtotuhka lisäsi selkeimmin puiden pituuskasvua pienessä ja isossa puustossa. Keskikokoisessa puustossa erot eri käsittelyjen välillä olivat vähäisempiä mutta kaikki lisäsivät kuitenkin pituuskasvua jonkin verran. Raetuhka lisäsi puiden pituuskasvua keskikokoisessa ja isossa puustossa yhtä hyvin kuin PK-lannoite, mutta pienessä puustossa PK-lannoite oli selkeästi parempi. Raetuhkan antama kasvunlisäys oli pienessä puustossa kuitenkin lähes kaksinkertainen lannoittamattomaan verrattuna (kuviokuva 5).



Kuvio 5. Lannoituskäsittelyjen vaikutus pituuskasvuun Jouhteneennevalla eri kokoisissa puustoissa viiden vuoden aikana. Pienessä puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 18,883$, $p = 0,056$, keskikokoisessa puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 0,687$, $p = 0,585$, isossa puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 1,583$, $p = 0,304$.

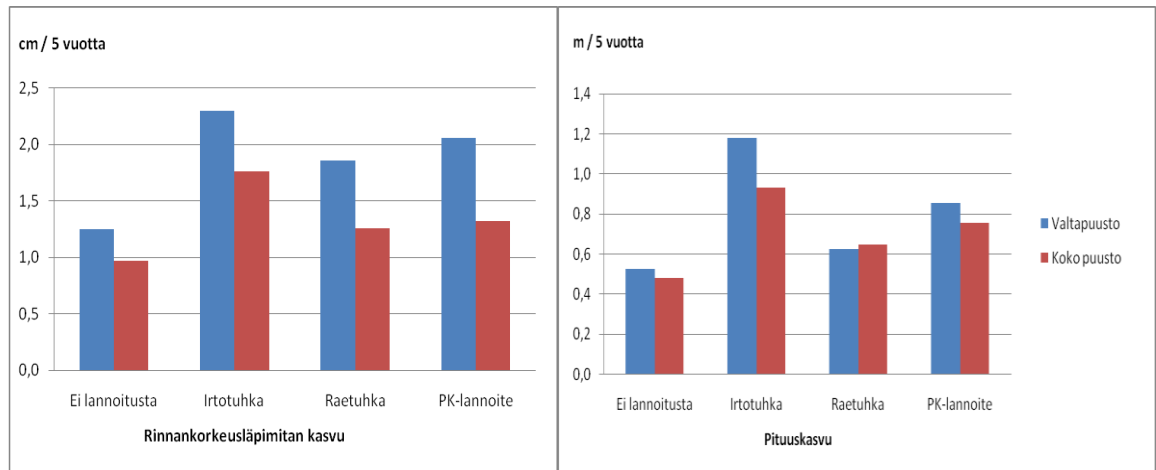
Irtotuhka lisäsi puuston tilavuuskasvua isossa puustossa kaksinkertaiseksi ja PK-lannoitus noin 1,5-kertaiseksi verrattuna lannoittamattomaan käsittelyyn. Pienessä puustossa PK-lannoitus kaksinkertaisti puuston tilavuuskasvun lannoittamattomaan verrattuna muiden käsittelyjen vaikutusten jäädessä pienemmiksi. Keskikokoisessa puustossa kaikki käsittelyt lisäsivät tilavuuskasvua, vaikka erot eri käsittelyjen välillä olivat vähäisemmät (kuvio 6).



Kuvio 6. Lannoituskäsittelyjen vaikutus tilavuuskasvuun Jouhteneennevalla eri kokoisissa puustoissa viiden vuoden aikana. Pienessä puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 4,215$, $p = 0,198$, keskikokosessa puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 7,107$, $p = 0,012^*$, isossa puustossa $F_{\text{lannoitus}} = 4,598$, $p = 0,067$.

Kaikki puuston kokoluokat huomioiden puuston keskimääräiset tilavuuskasvut eri käsittelyillä olivat irtotuhkalla parhaimmat, $7,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ viidessä vuodessa, eli $1,56 \text{ m}^3/\text{ha}$ vuodessa. PK-lannoituksen kasvunlisäys oli $6,9 \text{ m}^3/\text{ha}$ viidessä vuodessa, eli $1,38 \text{ m}^3/\text{ha}$ vuodessa. Raetuhkalannoituksen vaikutus tilavuuskasvuun oli ensimmäisen viiden vuoden aikana suhteellisen vaatimaton, $2,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ viidessä vuodessa eli $0,54 \text{ m}^3/\text{ha}$ vuodessa. Isossa puustossa, joka käytännön metsätaloudessa on tuhkalannoituskohteena, irtotuhka lisäsi puuston tilavuuskasvua ensimmäisen viiden vuoden aikana $3,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ vuodessa, PK-lannoite $2,0 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja raetuhka $0,2 \text{ m}^3/\text{ha}$ vuodessa.

Lannoituskäsittelyt paransivat valtapuuston kasvua koko puustoon nähden jonkin verran paremmin lannoittamattomien ruutujen kasvuihin verrattuna, tosin 5 vuoden pituuskasvussa valtapuuston kasvu jäi raetuhkalla aavistuksen verran pienemmäksi (kuvio 7).



Kuvio 7. Valtapuuston ja koko puuston 5 vuoden rinnankorkeusläpimitan ja pituuden kasvut eri käsittelyillä.



Kuva 3. Tuhkalannoituksen vaikutuksia Jouhteneennevalla. Kuvassa näkyvän ojan oikealla puolella irtotuhkalla käsitelty, vasemmalla lannoittamaton koeruutu. Kuva: Jaakko Isomaa

3.2. Nahkaneva

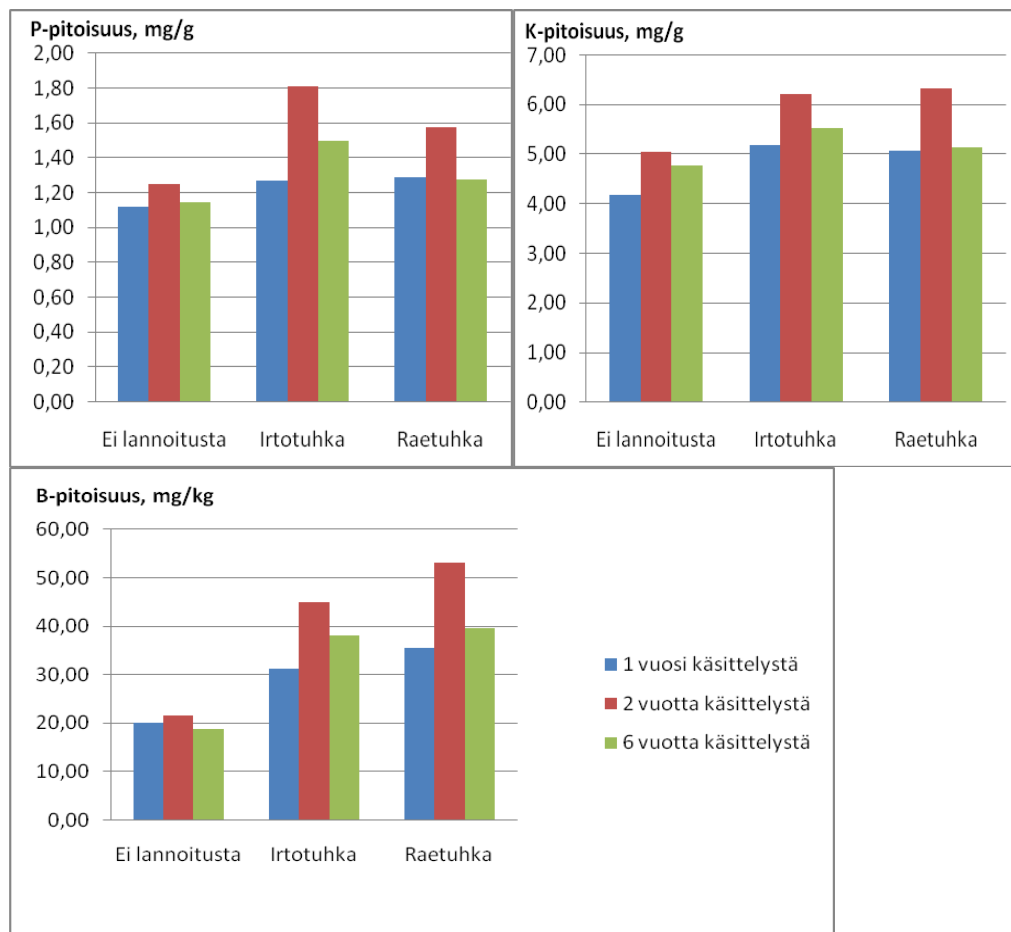
3.2.1 Neulasten ravinnepitoisuudet

Nahkanevalla puusto kärsi ankarasta typen puutoksesta. Tässä Nahkaneva erosi selvästi Jouhteneennevasta, jossa typpipitoisuus oli hyvällä tasolla. Nahkanevalla puusto kärsi lisäksi ankarasta fosforin puutoksesta. Vuosi käsittelyjen jälkeen raetuhka oli kohottanut typpi-, fosfori- ja booripitoisuuksia enemmän kuin irtotuhka. Kaksi vuotta käsittelyjen jälkeen irtotuhka oli kuitenkin jo kohottanut ravinnepitoisuuksia enemmän kuin raetuhka. Kuusi vuotta käsittelyjen jälkeen ravinnepitoisuudet olivat laskeneet alun nousemisen jälkeen kaikilla käsittelyillä, raetuhkalla irtotuhkaa enemmän. Typpi- ja fosforipitoisuudet olivat kohoamisesta huolimatta vielä yksi vuosi käsittelyjen jälkeen ankaran puutosrajan alapuolella, mutta kuusi vuotta käsittelyjen jälkeen typpi- ja fosforipitoisuudet olivat jälleen laskeneet puutosrajojen alapuolelle, raetuhkalla irtotuhkaa selkeämmin. Kaliumin puutos korjaantui kummallakin lannoituskäsittelyllä jo yhden vuoden jälkeen (taulukko 11.)

Taulukko 11. Neulasten ravinnepitoisuudet Nahkanevalla 1, 2 ja 6 vuotta käsittelyjen jälkeen. Typen, fosforin ja kaliumin osalta punaisella korostetut arvot ovat ankaran puutosrajan alapuolella ja ruskealla korostetut arvot puutosrajan alapuolella (taulukko 6). Taulukon alla varianssianalyysin F-arvot ja p-arvot. Keskiarvot, jotka eroavat toisistaan Tukey'n testin mukaan 5 %:n riskitasolla on merkitty eri kirjaimilla.

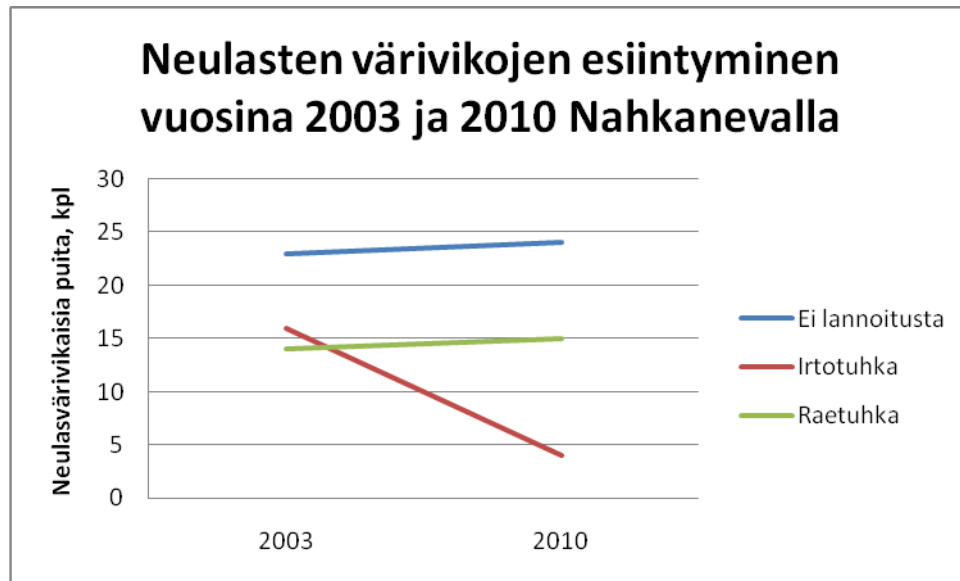
Käsittely	Vuotta käsittelystä	Ravinne								
		N %	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	B mg/kg
Ei lannoitusta	1	1,02	1,12	4,19	2,64	1,33	741,51	42,38	50,78	20,14
	2	1,20	1,25	5,05	3,26	1,33	651,13	32,19	71,33	21,45
	6	1,09	1,14	4,78	2,09	1,09	660,86	30,30	58,45	18,82
Irtotuhka	1	1,12	1,27	5,18	2,70	1,47	503,17	41,63	57,28	31,17
	2	1,29	1,81	6,22	3,47	1,29	605,04	29,88	71,86	44,89
	6	1,15	1,50	5,52	2,30	1,07	419,71	26,21	58,83	38,13
Raetuhka	1	1,13	1,29	5,07	2,90	1,18	614,07	40,70	52,39	35,58
	2	1,31	1,57	6,32	3,16	1,25	464,41	31,02	73,10	53,14
	6	1,12	1,27	5,13	2,32	1,03	403,86	28,54	53,32	39,49
F	1	0,512	0,887	16,858	0,659	0,761	2,163	0,032	1,098	45,17
	p	0,662	0,530	0,056	0,603	0,568	0,316	0,969	0,477	0,022*
F	2	0,760	13,273	94,333	0,044	0,225	2,639	0,521	0,03	7,085
	p	0,568	0,070	0,01*	0,958	0,816	0,275	0,657	0,971	0,124
F	6	5,225	37,777	3,842	0,729	0,346	1,763	1,243	5,981	48,33
	p	0,161	0,026*	0,207	0,578	0,743	0,362	0,446	0,143	0,02*

Ravinnepitoisuudet kohosivat kummallankin lannoituskäsittelyllä selkeästi kaksi vuotta käsittelyjen jälkeen, mutta kuusi vuotta käsittelyjen jälkeen fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat laskeneet ensimmäisen vuoden tasolle. Booripitoisuus oli vielä kuudenkin vuoden jälkeen selkeästi korkeammalla lannoittamattomaan verrattuna. Raetuhka kohotti neulasten booripitoisuutta irtotuhkaa enemmän, irtotuhkakäsittelyn fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat kuuden vuoden jälkeen raetuhkaa korkeammalla (kuvio 8.)



Kuvio 8. Neulasten fosfori-, kalium- ja booripitoisuudet 1, 2 ja 6 vuotta eri käsittelyjen jälkeen.

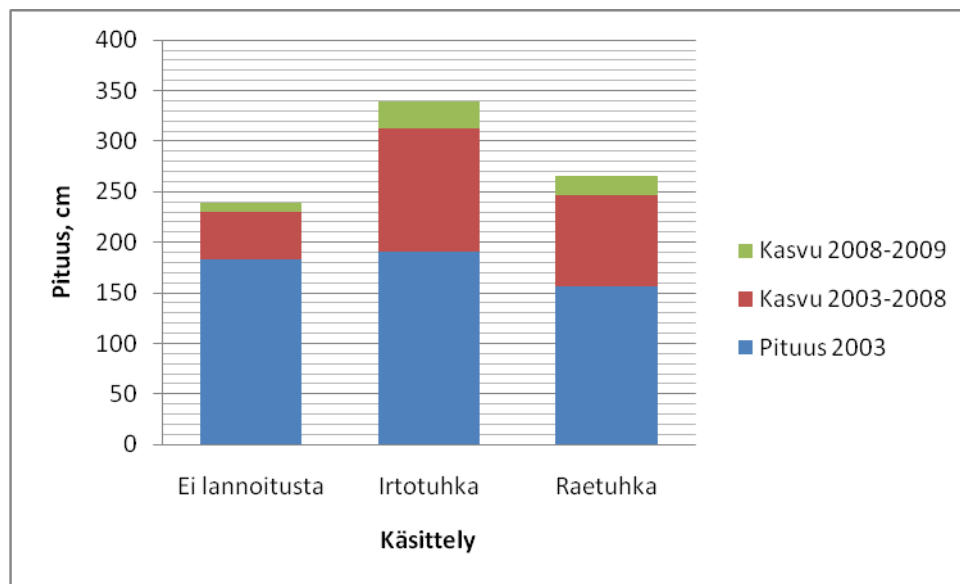
Neulasten väriviat, esimerkiksi niiden kellastuminen, ilmentävät ravinteiden niukkuutta kasvupaikalla ja siten puiden ravinnepuutosta (taulukko 6). Nahkanevalla irtotuhkakäsittely vähensi merkittävästi neulasten värivikojen esiintymistä tarkastelujakson aikana.



Kuvio 9. Neulasten värivikojen esiintyminen Nahkanevan kokeella vuonna 2003 ja eri käsittelyjen jälkeen vuonna 2010.

3.2.2 Puuston kasvu

Irtotuhka tuotti selkeästi parhaimman kasvunlisäyksen Nahkanevan kokeella. Viiden vuoden pituuskasvu oli irtotuhkalla kolminkertainen ja raetuhkallakin kaksinkertainen lannoittamattomaan verrattuna. Suunta näyttäisi jatkuvan samanlaisena kuudennen vuoden kasvujen perusteella.



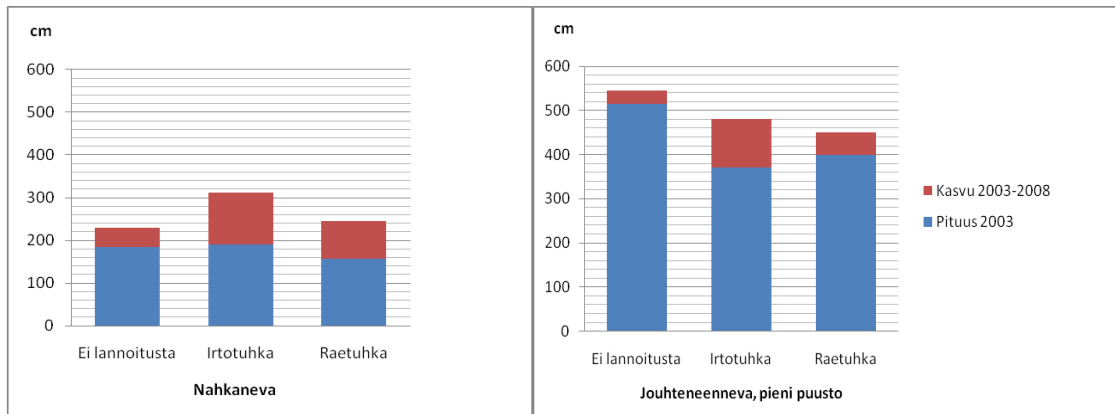
Kuvio 10. Puuston pituuskasvu Nahkanevalla eri käsittelyillä. Varianssianalyysin ensimmäisen 5 vuoden vuoden pituuskasvulle kovarianssianalyysin (kovariaattina alkupituus) mukainen F-arvo 15,693 ja p-arvo 0,176. Kuudennen vuoden kasvulle kovarianssianalyysin mukainen pituuskasvun F-arvo 44,245 ja p-arvo 0,106.



Kuva 4. Irtotuhkalannoituksen vaikutuksia Nahkanevalla. Kuvan ottohetkellä käsittelystä kulunut kuusi kasvukautta. Kuva: Jaakko Isomaa

3.3 Nahkanevan ja Jouhteneenevan pienen puuston väliset kasvuerot

Nahkanevalla lannoituskäsittelyt antoivat paremman kasvunlisäyksen kuin Jouhteneenevan pienellä puustolla. Tulokset ovat kuitenkin samansuuntaisia, irtotuhkalla saavutettu kasvunlisäys viidessä vuodessa oli noin kolminkertainen ja raetuhkalla noin kaksinkertainen lannoittamattomaan verrattuna kummallakin alueella.



Kuvio 11. Nahkanevan ja Jouhteneennevan pienen puuston pituudet vuonna 2003 ja 5 vuoden pituuskasvut eri käsittelyillä.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tämän tutkimuksen tulokset vahvistavat aikaisempien tutkimusten tuloksia tuhkalannoituksesta turvemailla. Yleensä tuhkalannoituksen vaikutukset näkyvät turvemailla kaupallisiin PK-lannoitteisiin verrattuna hitaammin, mutta jatkuvat pidempään. Selvä puuston kasvun parantuminen alkaa näkyä 3 - 4 vuoden kuluttua tuhkalannoituksesta, kun PK-lannoituksen tuoma kasvunlisäys alkaa näkyä jo 1 - 2 vuodessa. Tuhkalannoituksen vaikutukset kuitenkin jatkuvat jopa 50 vuotta, kun PK-lannoituksen vaikutus hiipuu 10 - 15 vuodessa. Neulasanalyysien perusteella tuhkalannoitus korjaa yleensä puuston ravinnepuutoksia 1 - 2 vuodessa. Rakeistetun tuhkan vaikutusten näkymisessä kestää hieman kauemmin hitaamman liukoisuuden takia (Ferm, Hokkanen, Moilanen & Issakainen 1992; Moilanen & Issakainen 2000; Silfverberg 1996; Silfverberg & Huikari 1985).

Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI 10) mukaan Keski-Pohjanmaan maakunnan alueella on ojitettuja soita yhteensä 151 000 hehtaaria, joten pelkästään Keski-Pohjanmaan alueelta löytyy tuhkalannoituskohteita huomattavasti. (Metsävarat maakunnittain – VMI 10:n tuloksia).

Tässä tutkimuksessa irtotuhkalla saavutettiin sekä neulasten ravinnepitoisuuksien että puuston kasvun tarkastelussa yhtä hyvät tai jopa paremmat tulokset kuin kaupallisella PK-lannoitteella. Yleensä tuhkalannoituksen vaikutukset turvemailla ovat heti lannoituksen jälkeisinä vuosina PK-lannoitteita heikompia (Moilanen 2009). Vaikutukset neulasten ravinnepitoisuuksissa näkyivät Jouhteneenvevalla kaikissa puuston kokoluokissa erityisesti fosforin ja kaliumin osalta (taulukot 8 - 10). Nahkanevalla raetuhka kohotti neulasten ravinnepitoisuuksia hieman irtotuhkaa enemmän, mutta puusto kärsi vielä 1 vuosi käsittelyjen jälkeen typen ja fosforin osalta ankarasta puutoksesta (taulukko 11). Irtotuhka vähensi selvästi

neulasten värivikojen esiintymistä (kuvio 9). Raetuhka ei vähentänyt tarkastelujakson aikana neulasten värivikoja, vaikka kohottikin neulasten typpi- ja kaliumpitoisuuksia, joiden puutos aiheuttaa värivikoja (taulukko 6). Vaikka irtotuhkalla saavutetaan raetuhkaan verrattuna nopeampia ja selkeämpiä tuloksia, kaupallisesti metsien lannoitekäytössä hyödynnettävä tuhka on poikkeuksetta rakeistettua sen helpomman kuljetuksen ja käsittelyn vuoksi.

Rinnankorkeusläpimitta kasvoi Jouhteneenevalla viidessä vuodessa pienessä ja keskikokoisessa puustossa irtotuhkaa käytettäessä noin kaksinkertaisen määrän lannoittamattomiin koeruutuihin verrattuna. Keskikokoisessa puustossa myös muut käsittelyt ylsivät lähes yhtä hyvään tulokseen irtotuhkan kanssa, mutta isossa ja pienessä puustossa irtotuhka oli selkeästi paras. Isossa puustossa raetuhka ja PK-lannoite eivät lisänneet rinnankorkeusläpimitan kasvua viidessä vuodessa juuri ollenkaan (kuvio 4).

Irtotuhka lisäsi pienen puuston pituuskasvun Jouhteneenevalla lähes 4 - kertaiseksi ja PK-lannoituskin noin 2,5 - kertaiseksi lannoittamattomaan verrattuna. Myös isossa puustossa parhaimman pituuskasvun lisäyksen antoi irtotuhka, mutta raetuhkan ja PK-lannoitteen vaikutus jäi huomattavasti vähäisemmäksi eikä niillä ollut keskinäistä eroa. Keskikokoisessa puustossa paras pituuskasvun lisäys tuli PK-lannoitteella, mutta eri lannoituskäsittelyjen väliset erot muihin kokoluokkiin verrattuna olivat paljon vähäisemmät (kuvio 5).

Irtotuhkalla saavutettiin myös Nahkanevalla selkeästi parhain tulos puuston pituuskasvussa. Vaikka lähtöpuuston keskipituus oli lähes sama, irtotuhkalla saavutettiin 5 vuodessa kolminkertainen pituuskasvu lannoittamattomaan verrattuna. Raetuhkallakin kasvu oli kaksinkertainen. Kehitys näyttäisi kuudennen vuoden kasvujen perusteella jatkuvan samanlaisena, mutta odotettavissa on, että rae- ja irtotuhkan välinen ero supistuu ja kääntyy lopulta raetuhkan hyväksi (kuvio 10).

Jouhteneennevalla puuston tilavuuskasvussa lannoituskäsittelyjen vaikutus näkyi keskikokoisessa puustossa eri tavoin kuin isossa ja pienessä puustossa. Keskikokoisessa puustossa raetuhkalla saavutettiin paras tulos, mutta myös muut käsittelyt lisäsivät puuston tilavuuskasvua selkeästi. Isossa ja pienessä puustossa irtotuhka ja PK-lannoite antoivat parhaimman tuloksen. Isossa puustossa irtotuhkalla saatiin viidessä vuodessa kaksinkertainen ja PK-lannoitteella noin 1,5 -kertainen kasvunlisäys. Raetuhka ei isossa puustossa vielä viidessä vuodessa juurikaan lisännyt tilavuuskasvua. Pienessä puustossa PK-lannoitus lisäsi tilavuuskasvun yli kaksinkertaiseksi ja irtotuhka noin 1,5-kertaiseksi (kuvio 6).

Irtotuhka antoi parhaimman tuloksen myös vertailtaessa Jouhteneennevan puustojen valtaläpimitan ja –pituuden kasvua keskiläpimitan ja –pituuden kasvuihin (kuvio 7). Rinnankorkeusläpimitan kasvuissa ero oli selkeä valtapuuston ja koko puuston välillä kaikilla käsittelyillä, mutta pituuskasvussa valtapuuston kasvu oli selkeästi parempaa ainoastaan irtotuhkalla. Raetuhkan ja PK-lannoitteen vaikutukset jäivät vähäisemmiksi. Pituuskasvun tarkastelussa on tosin muistettava, että kasvuerot olivat vähäisiä valtapuuston ja koko puuston välillä myös lannoittamattomalla käsittelyllä.

Nahkaneva on niukkatyppisempi ja karumpi kasvupaikka kuin Jouhteneenneva. Esimerkiksi puiden juuristokerroksen (0 - 20 cm) typpimäärä Jouhteneenevalla oli yli 9000 kg/ha, kun se Nahkanevalla oli vain 830 kg/ha (taulukko 5). Turpeen typpimäärä näkyi myös lannoittamattomien puiden neulasten typpipitoisuuksissa. Nahkanevalla puusto kärsi ankarasta typen puutteesta, kun Jouhteneennevalla typpipitoisuus oli hyvällä tasolla. Sen sijaan muiden tärkeiden ravinteiden, fosforin, kaliumin ja boorin pitoisuudet olivat Nahkanevalla Jouhteneennevaa paremmat. Fosforipitoisuus oli kuitenkin myös Nahkanevalla alle ankaran puutoksen rajan (taulukko 11).

Nahkanevan puuston ja Jouhteneennevan pienen puuston pituuskasvuja tarkasteltaessa huomataan, että tulokset olivat Nahkanevalla paremmat (kuvio 11) ilmeisesti lähtötilanteen parempien fosfori-, kalium- ja booripitoisuuksien johdosta. Jouhteneennevan pieni puusto oli myös keskipituudeltaan Nahkanevan puustoa pitempää. Lannoituksen vaikutukset ovat kuitenkin kummallakin kohteella samansuuntaiset; irtotuhka antaa viiden vuoden tarkastelujaksolla 3 - 4 -kertaisen pituuskasvun ja raetuhka 2 - 3 -kertaisen lannoittamattomaan verrattuna.

Tuhkalannoitus näyttäisi alkureaktioiden perusteella olevan tässäkin tutkimuksessa turvemailla kannattava sijoitus. Lauhanen ym. (1997) laskivat tuhkalannoitukselle Jouhteneennevan kaltaisilla, Vilppulan vanhoilla tuhkakokeilla 5,1 - 9,3 %:n sisäisen koron puuston koko kiertoajalle tuhkamäärällä 5 t/ha.

5. PÄÄTELMÄT

Puuntuhkalannoitus korjaa kaupallisten PK-lannoitteiden tavoin ravinnepuutoksia, erityisesti fosforin ja kaliumin puutoksia nopeasti. Raetuhkan vaikutus on irtotuhkaa hitaampi, mutta toisaalta vaikutusajaltaan todennäköisesti pidempi. Lisäksi rakeistetun tuhkan käsittely on helpompaa ja ravinteiden huuhtoutuminen on vähäisempää.



Kuva 5. FA Forest Oy:n raetuhkan maalevityslaitteistoa Sievissä tammikuussa 2010. Kuva: Jaakko Isomaa

Tässä tutkimuksessa irtotuhka ja PK-lannoite lisäsivät huomattavasti puuston kasvua jo viidessä vuodessa. Oletettavaa on, että ainakin typpirikkaalla Jouhteneennevalla kasvureaktio jatkuu vielä vuosikymmeniä. Siten myös

raetuhkalannoituksella saatu puuston kasvunlisäys tulisi olemaan merkittävä. Ainakin Jouhteneennevan kaltaisten soiden tuhkalannoitus näyttäisi olevan kannattava sijoitus.

Myös typpiköyhällä Nahkanevalla saatiin yllättävän hyvä alkutulos, kasvu lisääntyi huomattavasti ensimmäisen viiden vuoden aikana. Yleisesti typpipitoisuudeltaan alhaisia kohteita pidetään huonoina tuhkalannoituskohteina. Tämän tutkimuksen pohjalta ei kuitenkaan vielä voida suositella karujen suotyyppeiden tuhkalannoitusta.

LÄHTEET

Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147, 305 – 316.

Haapasaari, J. 1997. Tuhka kiinteänpolttoaineen kaukolämpö- ja voimalaitosten kannalta. Julkaisussa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). *Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660, 19 - 20.

Hakkila, P. & Kalaja, H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. *Folia Forestalia* 552.

Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL käyttöohje. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 504.

Hytönen, J. & Nurmi, J. 1997. Energiapuun ja puutuhkan käyttö ajankohtaista. Julkaisussa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). *Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660, 4 - 5.

Hytönen, J. & Takalo, T. 1997. Tuhkapellettien kestävyys maastossa ja varastoinnissa. Julkaisussa: Nurmi, J., Hytönen, J., & Polet, K. (toim.). *Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660, 44 - 50.

Kaunisto, S. 1997. Suometsien ravinnetalouden erityispiirteet ja puutuhkan käyttömahdollisuudet. Julkaisussa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). *Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660, 21 - 26.

Lannoitevalmistelaki. 539/2006. Naantali.

Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Tuhkalannoituksen erilliskannattavuus. Julkaisussa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). *Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 660, 51 - 58.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. 2007. Asetus nro 12/07. Helsinki.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta. 2007. Asetus nro 13/07. Helsinki.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen liitteen I muuttamisesta. 2008. Asetus nro 09/08. Helsinki.

Makkonen, T. (toim.). 2008. Tuhkalannoitus. Hyvän metsänhoidon opassarja. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Porvoo: Metsäkustannus Oy. Tt-urex.

Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257, 194 - 195 ja 225 - 227.

Metsävarat maakunnittain – VMI 10:n tuloksia. [Verkkosivusto]. Metsäntutkimuslaitos: Metinfo - verkkopalvelu. [Viitattu: 27.4.2010]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/vmi/index.htm>

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. Metsätehon raportti 93. Helsinki: Metsäteho Oy.

Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. ja Murtovaara, I. (toim.). 2005. Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947, 134 - 166.

Moilanen, M. 2009. Tuhkien loppusijoitus – metsään vai kaatopaikalle? Julkaisussa: Metsäntutkimus. Metlan asiakaslehti 4/2009, 26 - 28. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy.

Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon raportti 155. Helsinki: Metsäteho Oy.

Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688, 1 - 44.

Rinne, S. 2007. Biopolttoaineiden tuhkaa metsälannoitteeksi. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Motiva Oy. Lönnberg Print, Helsinki. Saatavana: http://www.motiva.fi/files/243/UE_Tuhkalannoitus_esite_s.pdf [18.1.2010]

Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidilla. Folia Forestalia 633.

Silfverberg, K. & Mertaniemi, A-L. 1997. Ravinteiden huuhtoutuminen tuhkalannoitetusta turpeesta. Julkaisussa: Nurmi, J. Hytönen, J., & Polet, K. (toim.). Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 660, 27 - 34.

Silfverberg, K. 1993. Restprodukter som gödselmedel i skogen. Julkaisussa: Karlsson, K. (toim.). Skogsforskningsdag i Vörå 1992 – Metsäntutkimuspäivä Vöyrissä 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 457, 15 - 21.

Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588.

Takalo, S. 1997. Tuhka ja jätteet pelleteiksi lieriöpuristimella. Julkaisussa: Nurmi, J., Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Energiapuusta puutuhkaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 660, 59 - 62.

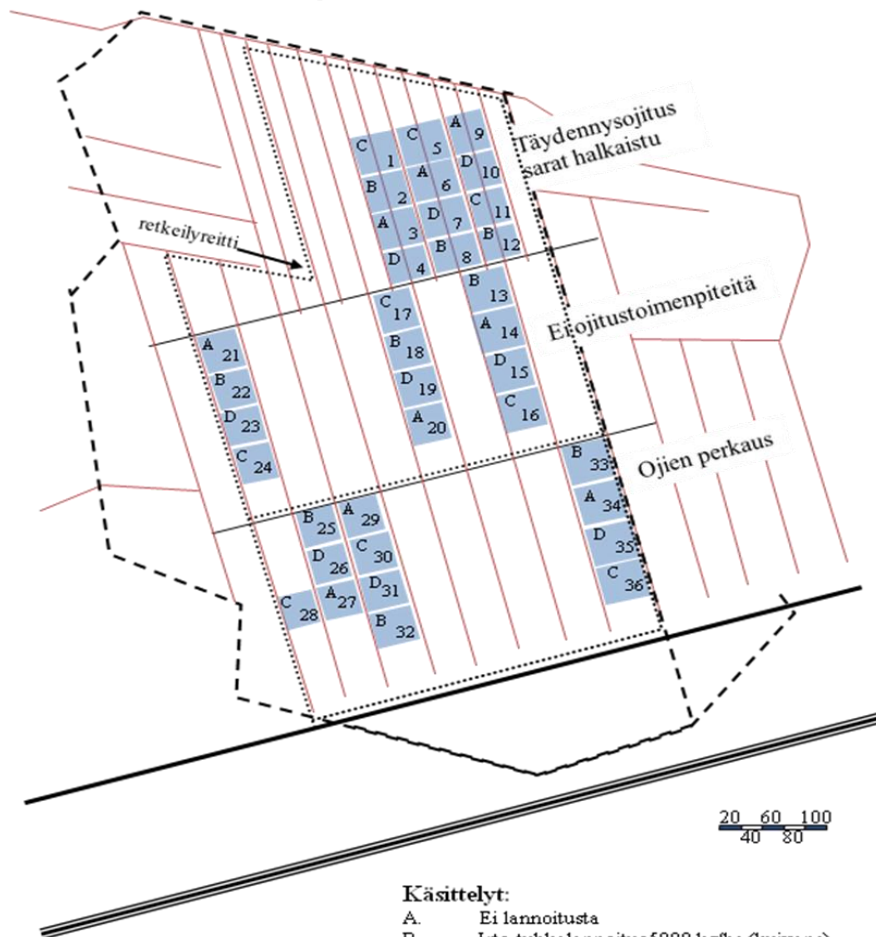
LIITTEET

LIITE 1

ERIOJITUS- JA LANNOITUS VAIHTOEHTOJA
HAVAINNOLLISTAVAKOE

ka. 9936

Kannus, Jouhteneenjärvi 1:25
 Tutkimusalue: Kannus, toimintapiiri 4, kuvat 32-39
 VIRmu, puustoma-vahtainen makuu- ja ylispuu-
 luontoinen hakkuu ja harvennus 98-99 n. 1000 r/ha.
 Ojien perkaus/täydennysojitus 99-00.
 Ruutukoko 1600 m². Kokonaispinta-ala 5,80 ha.



Käsittelyt:

- A. Ei lannoitusta
- B. Irto-tuhalannoitus 5000 kg/ha (kuivana)
- C. Rakeistettu-tuhalannoitus 5000 kg/ha (kuivana)
- D. PK-lannoitus (käytännön suositus 500 kg/ha)

Irto-tuhkan kosteus 0,76% = 5039 kg/ha

Rakeistetun " 16,19% = 5966 kg/ha

jos ruutukoko 1600 m², niin irto-tuhkaa 806 kg/ruutu,
 rakeistettua tuhkaa 955 kg/ruutu

LIITE 2

TUHKALANNOITUSKOE

Perustettu 02.2003

Seuranta-ala (ei havaintokoesarjassa)

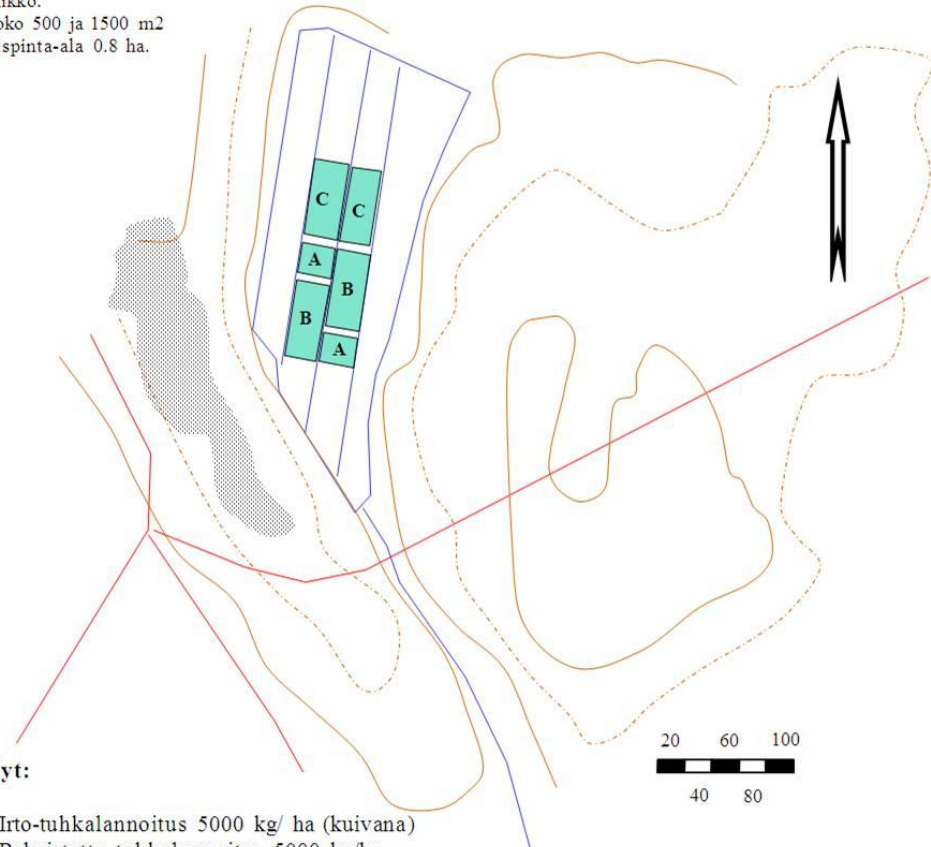
Sievi, Etelä-Sydänmaan valtionpuisto 10:2

Tutkimusalue: Kannus, toimintapiiri 9, kuvio 202

LkNmu, sarkaojitusojitus 1974

Puusto keskisarvilla n. 2 m pitkä ravinnepuutosoireinen
mä-taimikko.Ruutukoko 500 ja 1500 m²

Kokonaispinta-ala 0.8 ha.

**Käsittelyt:**

- A. Irto-tuhalannoitus 5000 kg/ ha (kuivana)
- B. Rakeistettu-tuhalannoitus 5000 kg/ha
- C. Lannoittamaton

LIITE 3 (1/2)

194

KOEALALOMAKE 20
Muuttujaluettelo

N:o	Sarakkeet	Nimi, määritelmä
1	1-2	Tietuetunnus (20)
2	3-5	Kokeen numero
3	6-7	Mittauskerta
4	8-10	Koealan numero
5	11-12	Rivin numero
6	13-17	Koealan pinta-ala, m ²
7	18	Pääpuulaji
8	19	Puulajien erittely 1 = kaikki puulajit yhdessä 2 = pääpuulaji erotettu sekapuustosta 3 = kaikki puulajit erikseen
9	20	Jaksojen erittely 1 = jaksot yhdessä tai yksijaksoinen metsikkö 2 = kaikki jaksot erikseen
10	21-22	Maanpinnan kaltevuus, astetta (1/360 ympyrä)
11	23	Kaltevuuden suunta 1 = koillinen 2 = itä 3 = kaakko 4 = etelä 5 = lounas 6 = länsi 7 = luode 8 = pohjoinen 9 = kaltevuuden suunta vaihteleva
12	24-25	Mittausvuosi; vuosiluvun kaksi viimeistä numeroa
13	26-27	Mittauskuukausi
14	28-29	Mittauspäivä
15	30-31	1. kasvunlaskentajakson pituus, a viimeksi kulunut jakso, esim. 1982-86
16	32-33	2. kasvunlaskentajakson pituus, a 1. jaksoa edeltävä jakso, esim. 1976-81
17	34-35	3. kasvunlaskentajakson pituus, a 2. jaksoa edeltävä jakso, esim. 1971-75
18	49-53	Tutkimuskohtaiset luokitukset, esim. lan- noituksen voimakkuus, ojatiheys). Luoki- tuksia ei käytetä puustotunnusten lasken- nassa, vaan ne on tarkoitettu aineiston jatkokäsittelyä varten.
	54-80	Vapaamuotoinen tekstiosa, joka kopioituu sellaisenaan KPL:n tulostamaan tiedostoon. Jos teksti ei mahdu yhdelle riville, voi- daan sitä jatkaa seuraaville riveille sa- rakkeelta 13 lähtien. Jatkorivin alkuosa pysyy samana rivin numeroa lukuunottamatta.

LIITE 4 (1/3)

225

PERUSLOMAKE 71
Muuttujaluettelo

N:o	Sarakkeet	Nimi, määritelmä
1	1-2	Tietuetunnus (71)
2	3-5	Kokeen numero
3	6-7	Mittauskerta
4	8-10	Koealan numero
5	11-12	Rivin numero
6	13-15	Puun numero
7	16-18	Konepiste Konepisteen järjestysnumero koealalla: -5 = koealan ensimmäinen konepiste -6 = koealan toinen konepiste -7 = koealan kolmas konepiste -8 = koealan neljäs konepiste -9 = koealan viides konepiste -10 = koealan kuudes konepiste
8	19-22	Suunta (säteittäinen menetelmä) tai x-koordinaatti (mittanauhamenetelmä)
9	23-26	Etäisyys konepisteestä (säteittäinen menetelmä) tai y-koordinaatti (mittanauhamenetelmä) Oletetaan, että suunnan mittayksikkönä on aste (kulmajako 360) ja etäisyyden mittayksikkönä senttimetri. Jos käytetään muita mittayksiköitä, ilmoitetaan siitä lomakkeella 23.
10	27-28	Puulaji
11	29	Puujakso
12	30	Puustoryhmä
13	31-33	Puun läpimitta perusmittauskorkeudella, mm Mitataan tutkimuskohtaisesti sovitusta suunnasta, esim. rinnankorkeusmerkin suunnasta.
14	34-36	Puun läpimitta edellistä vastaan kohtisuorassa suunnassa, mm
15	37-38	Kaksinkertainen kuorenpaksuus perusmittauskorkeudella, mm Puun vastakkaisilta puolilta mitattujen kuorenpaksuuksien summa. Mitataan kohtisuoraan ensimmäisen läpimitan mittaussuuntaa vastaan.
		Läpimitat ja kuorenpaksuus mitataan myös muilla korkeuksilla samoista suunnista kuin perusmittauskorkeudella.
16	39	Tukkivähennys
17	40	Latvuserros
18	41	Tekninen laatu
		Terveydentila:
19	42-43	Tuhon ilmiasu
20	44-45	Tuhon syy
21	46	Tuhon aste

LIITE 4 (2/3)

226

22	47	<p>Koepuukoodi 0 (tai tyhjä) = ei koepuu 1 = koepuu, jonka tietoja käytetään tasoitusmallien parametrien laskennassa 2 = koepuu, jonka tietoja ei käytetä tasoitusmallien parametrien laskennassa 3 = koepuu, joka ei kuulu koealan puujoukkoon</p>
23	48-50	<p>Puun ikä. Oletetaan, että ikä on määritetty biologisena ikänä. Jos on kyseessä muu ikä, ilmoitetaan siitä lomakkeella 23.</p>
24	51-53	<p>Puun pituus, dm Mittausten lähtötason (useimmiten maanpinnan taso) ja latvan huipun välinen etäisyys puun rungon keskiviivan mukaan mitattuna.</p>
25	54-56	<p>Latvusraja, dm Mittausten lähtötason (useimmiten maanpinnan taso) ja alimman elävän oksan tyven välinen etäisyys puun rungon keskiviivan mukaan mitattuna. Yksinäistä elävää oksaa, jonka yläpuolella on vähintään kaksi luontaisesti kuivunutta oksakiehkuraa ennen yhtenäisen latvuksen alkua, ei oteta huomioon.</p>
26	57-60	<p>Mittauskorkeus Korkeus, jolta sarakkeilla 61-68 olevat läpimitat ja kuorenpaksuus on mitattu. Jos tässä mittauskorkeutena on 6 m, ei sitä tarvitse merkitä.</p>
27	61-63	Puun läpimitta em. korkeudella, mm
28	64-66	Puun läpimitta edellistä vastaan kohtisuorassa suunnassa, mm
29	67-68	Kaksinkertainen kuorenpaksuus em. korkeudella, mm
	69-80	<p>Vapaasti käytettävissä olevaa tilaa Jos lomakkeella 23 ilmoitetaan, että KPL:n sallitaan lukea myös lomakkeen 71 sarakkeet 69-80, KPL tulkitsee ne kolmannelta mittauskorkeudelta mitatuiksi tiedoiksi:</p>
	69-72	<p>Mittauskorkeus, cm Korkeus, jolta sarakkeilla 73-80 olevat läpimitat ja kuorenpaksuus on mitattu</p>
	73-75	Puun läpimitta em. korkeudella, mm
	76-78	Puun läpimitta edellistä vastaan kohtisuorassa suunnassa, mm
	79-80	Kaksinkertainen kuorenpaksuus em. korkeudella, mm
