

Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä

Issakainen Jorma, Moilanen Mikko & Silfverberg Klaus



Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 499
Muhoksen tutkimusasema
1994

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Kansikuva: Turvetuhkan levitystä moottorikelkan ahkiosta lapiotyönä talvella 1981, koe 6. Valokuva Jorma Issakainen.

Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä

Issakainen Jorma, Moilanen Mikko & Silfverberg Klaus

Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 499

1994

SISÄLLYS

RESUME	1
1. JOHDANTO.....	2
2. AINEISTO.....	3
21. Tutkimuskohteet ja koejärjestelyt	3
22. Aineiston keruu ja käsittely	5
3. TULOKSET	7
31. Turvetuhkan vaikutus puuston ravinnetilaan ja kasvuun	7
32. Tuhkalajien vertailu	10
33. Turvetuhkan ja kauppalannoitteiden vertailu	12
4. TULOSTEN TARKASTELU.....	15
41. Aineisto ja tulosten yleistettävyys.....	15
42. Turvetuhka metsänlannoitteena	16
5. KIRJALLISUUS	17
LIITTEET	20

Issakainen Jorma, Moilanen Mikko & Silfverberg Klaus. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 499. 24 s. ISBN 951-40-1364-6, ISSN 0358-4283.

Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, FIN-91500 Muhos. Puh. 981 - 533 1404.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. Hanke 3081-0.
Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Eero Paavilainen 27.5.1994.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7,
FIN-91500 Muhos. Puh. 981 - 5331404.

Hinta: 50 mk

Oulu 1994
Mattilan kirjapaino

RESUME

Effects of peat-ash fertilization on drained pine mires

A significant part of Finnish peatland forests are on nutrient-poor sites and their growth can be improved by fertilization. Power plants burning peat as fuel produce considerable amounts of nutrient-containing waste, ash. Using this peat-ash as forest fertilizer could thus increase tree growth, reduce waste costs and promote recycling.

This study included 9 field experiments in young Scots pine stands located in northern Finland (64-65° N). The experiments were laid out in 1978-81 and included different treatments of peat ash and commercial fertilizers. The site types varied from drained cottongrass pine bog to tall-sedge fen. Total nitrogen content in surface (0-20 cm) peat was, with one exception, 1,8 - 2,6 % (Table 1). Measurements of tree growth and foliar sampling were mostly carried out in 1992.

Peat ash increased height growth of *Pinus sylvestris* with up to 21 % (Figure 2) during a 13-year period. The doses of peat-ash were in most experiments 4-10 t/ha containing 60-150 kg P/ha. Growth increment generally coincided with a rise of foliar P from deficiency level (Table 2, Figure 1) indicating that phosphorus was an important growth-limiting nutrient. The effect of dose remained, however, unclear. PK-fertiliser increased foliar P and particularly height growth more than peat-ash (Tables 3, 6). The effect of PK-fertilizer and peat ash seems to last long, over 10 years both for needles and growth.

It can be concluded that peat ash in the amounts used is an efficient P-fertilizer in young Scots pine stands. However, this probably demands nitrogen-rich (N in peat > 1,8 %) sites and provides the availability of potassium, due to its low amount in peat ash.

1. JOHDANTO

Suomessa on tehty metsäojituksia lähes 6 miljoonan hehtaarin alalla. Kuivastusten aiheuttama metsien tilavuuskasvun lisäys oli 1980-luvun alkupuolella noin 7 milj. m³/v (Paavilainen & Tiihonen 1988). Tällä hetkellä kasvunlisäys lienee jo 10 milj. m³ vuodessa. Ojitusalueista 10 - 17 % on eri tahoilla arvioitu virheojituksiksi, jotka suurelta osin jäänevät tulevaisuudessa metsätaloudellisen käytön ulkopuolelle (Keltikangas ym. 1986). Metsätalouden piirissä säilytettävillä ojitusalueilla on puolestaan huomattava määrä sellaisia suopuustoja, joiden kehityksen turvaaminen vaatisi fosfori- ja kaliumlannoitusta 1 - 2 kertaa puusukupolven aikana.

Tavanomaisten metsänlannoitteiden käyttö on vähentynyt jyrkästi 1970-luvun huippuvuosista (Aarne 1992). Eri yhteyksissä on pohdittu vaihtoehtoisten ravinnelähteiden käyttömahdollisuuksia metsien kasvun ja terveydentilan edistämiseksi (Kaunisto ym. 1993, Veijalainen ym. 1993, Yhdyskuntien ... 1994). Turvetuhkan soveltuvuutta turvemaiden ravinnelähteenä ovat tutkineet Kaunisto (1987), Lumme (1987, 1989) ja Silfverberg (1993).

Valtioneuvoston periaatepäätös vuodelta 1986 jätteen kierrätyksen tehostamisesta sekä jätehuollon kustannusten huomioonottaminen yleensäkin ovat osaltaan lisänneet tiedon tarvetta erilaisten ravinnelähteiden hyödyntämismahdollisuuksista. Turvetuhkankin kuljetus kaatopaikalle on kansan- ja liiketaloudellisesti tappiollista ja lisäksi ympäristölle haitallista. Tämän lisäksi menetetään tuhkan ravinnehyöty. Kotimaisten energiamuotojen suosiminen (esim. Hakkila 1992) lisäksi turpeen polttoa ja samalla myös turvetuhkan määrää. Esitettyjen seikkojen vuoksi turvetuhkan käyttömahdollisuudet metsätaloudessa olisi selvítettävä.

Lämpövoimaloissa tuhkaa syntyy vuosittain suuria määriä. Mm. Oulun Toppilan turvevoimala, joka käyttää turvetta vuosittain runsaat miljoona kuutiometriä, tuottaa tuhkaa 20 000 - 30 000 tonnia. Turvetuhkaa on käytetty metsänlannoituksen ohella (Silfverberg & Issakainen 1987) peltojen maanparannukseen, ruokamullan tekoon sekä betonin valmistukseen. Lannoituskäyttöä ajatellen turvetuhkan arvokkain komponentti on fosfori. Muita ravinteita siinä on niukalti. Turvetuhkan käyttö metsänlannoitteena saattaa edellyttää kaliumlannoitteen mukaanottoa, koska turvetuhkan kaliumpitoisuus on hyvin alhainen. Turvetuhkan neutralointikyky on puutuhkaan verrattuna vain noin viidesosa (Saarela 1991). Turvetuhkaa voidaan ensisijaisesti pitää suhteellisen hidasliukoisena fosforilannoitteena, joka soveltuisi parhaiten keski-tiljävillä turvemaidella. Hyvällä puutuhkalla saavutettavaan perusparannusvaikutukseen (Reinikainen 1980) turvetuhkalla tuskin kuitenkaan päästään.

Turvetuhkan biologinen vaikutus puulajeihin on todettu pääosin positiiviseksi niin kasvihuonekokeissa (Moilanen ym. 1987, Saarela 1991), entisillä turpeennostokentillä (Mikola 1975, Lehtonen & Tikkanen 1986, Lumme 1989, vrt. Kaunisto 1987) kuin käytännön metsäojitusalueillakin (Silfverberg & Issakainen 1987). Varsinaisilta lannoituskoekentiltä tuloksia on kuitenkin erittäin vähän, joten tiedot turvetuhkan vaikutuksista suopuustoihin ovat sangen puutteelliset.

Tuhkan lannoitus- ja maanparannuskäyttöä rajoittaa sen sisältämä kadmium. Pelloille ei ole lupa levittää puuntuhkaa, jossa kadmiumpitoisuus ylittää arvon 3,0 mg/kg (Lannoitelaki 232/1993). Turvetuhkassa em. raja-arvon ylittäviä pitoisuuksia esiintyy usein. Vuoden 1995 alusta raja-arvo tullee olemaan 1,5 mg/kg. Metsään levitettävän tuhkan kohdalla ei ole kadmiumia koskevia rajoituksia. Se ei kuitenkaan merkitse sitä, etteikö mahdollista kadmiumongelmaa tulisi selvittää myös tuhkan metsäkäyttöä harkittaessa.

Muhoksen tutkimusaseman toimesta perustettiin 1970 - 80 -lukujen vaihteessa Oulun läänin metsäojitusalueille turvetuhkakäsittelyjä sisältäviä kenttäkokeita. Alustavissa mittauksissa vuonna 1986 havaittiin turvetuhkan lisännen männyn kasvua (Silfverberg 1993). Tässä tutkimuksessa selvitetään turvetuhkalannoituksen vaikutusta ojitusalueiden rämemänniköiden puuston kasvuun ja ravinnetilaan. Lisäksi turvetuhkaa verrataan puu- ja kuoriturhkaan sekä Suometsien PK-lannokseen.

Tutkimukseen käytettyjen lannoituskokeiden koejärjestelyt laati Jorma Issakainen, joka myös vastasi aineiston keruusta ja laati alustavan käsikirjoituksen lukuun 2. Mittausaineiston laskenta ja testaus tehtiin Mikko Moilasan johdolla. Lisäksi Mikko Moilanen kirjoitti käsikirjoituksen luvun 3. Klaus Silfverberg vastasi luvuista 1 ja 4. Lopullinen käsikirjoitus laadittiin tekijöiden yhteistyönä. Muhoksen tutkimusaseman henkilökunnasta olivat työssä mukana lisäksi Kauko Kylmänen (aineiston keruu), Heikki Vesala (aineiston laskenta ja testaus), Timo Mikkonen ja Anna-Liisa Mertaniemi (ravinneanalyysit), Irene Murtovaara (kuvien viimeistely), Tuula Väärä ja Merja Moilanen (tekstin viimeistely). Käsikirjoituksen lukivat tutkimusjohtaja Eero Paavilainen, vs. prof. Seppo Kaunisto, LuK Heikki Veijalainen, MMK Anne-Marie Kurka ja Dipl. Forstw. Juha Rautanen antaen hyviä neuvoja aineiston käsittelyä ja käsikirjoituksen viimeistelyä varten. Kaikille edellämainituille sekä muille työn toteuttamisessa avustaneille esitämme parhaat kiitokset.

2. AINEISTO

21. Tutkimuskohteet ja koejärjestelyt

Tutkimuksen aineisto kerättiin yhdeksältä metsäojitetun rämeen lannoituskokeelta, joista kahdeksan sijaitsee METLAn Muhoksen tutkimusalueessa ja yksi Kajaani Oy:n maalla Paltamossa. Tutkimusalueilla kasvukauden keskimääräinen tehoisa lämpösumma on 978 - 1 035 d.d. -yksikköä. Kokeet perustettiin vuosina 1977 - 81 (taulukko 1).

Tutkimusalueet olivat ravinteisuudeltaan oligotrofisia tai oligomesotrofisia rämeitä. Osittain tai kokonaan suursaraiseksi kasvupaikoiksi luokiteltiin viisi ja tupasvilla - piensaraiseksi neljä kohdetta. Osalla kokeista ojitus oli tehty jo 1930-luvulla, yleensä kuitenkin 1960 - 1970-luvuilla. Kokeita perustettaessa suoritettiin useimmiten kunnostusojitus, jolloin sarkaleveydeksi tuli ko-

keesta riippuen 15 - 40 m. Tutkimuskohteiden ojitusteho oli erittäin hyvä koko tutkimusjakson ajan. Turvetta oli yleensä vähintään 0,5 metriä. Puusto oli luontaisesti syntynyttä lukuunottamatta koetta 1, jossa tehtiin männynistutus jyrsinojamurskeeseen vuonna 1967. Valtapuuston muodosti mänty, jonka pituus lannoitushetkellä vaihteli 2 - 9 metrin välillä. Sekapuuna esiintyi vaihtelevasti hieskoivua. Puuston metsänhoidollinen tila oli hyvä ja runkoluku koesta riippuen 1 500 - 4 000 kpl/ha.

Turvetuhka saatiin Oulun Toppilan lämpövoimalasta. Poltettu jyrshinturvetta oli peräisin Hirvinevan, Pelson, Piipsannevan ja Yli-lin turpeennostokentiltä. Polttovaiheessa käytettiin raskasta polttoöljyä tukipolttoaineena. Tuhka kuljetettiin kuorma-autolla ja varastoitettiin koemetsiköiden läheisyyteen muovin alle. Tuhka oli tasalaatuista ja hyvin palanutta lentotuhkaa. Levityshetkellä tuhkan kosteus oli 10 - 15 %. Fosforia ja rautaa oli runsaasti, kaliumia ja booria niukasti (liite 1).

Kuorituhka oli ns. arinatuhkaa Oulu Oy:n energialaitokselta. Polttoaine sisälsi 85 - 90 % koivun kuorta ja sahanpurua, seassa 10 - 15 % polttoturvetta ja hiukan polttoöljyä. Tuhkan ravinnepitoisuudet etenkin fosforin osalta olivat erittäin matalia. Tuhka oli yleensä vajaasti palanutta ja runsaalla vedellä sammutettua, joten ravinteita oli huuhtoutunut pois. Kuorituhkan kosteus levityksen aikaan oli keskimäärin n. 55 % (liite 1).

Koivuhalon tuhkaa saatiin Oulun Hiukkavaaran ja Kajaanin Hoikankankaan varuskuntien lämpökeskuksista sekä Muhoksen Saarelan koululta. Kuivien tuhkaerien kosteus nousi ulko-varastoinnin aikana 15 - 35 %:iin. Saarelan koulun koivuhalon tuhka oli hyvin runsasravinteista sisältäen fosforia 26 kg ja kaliumia 80 kg tonnissa kuivaa tuhkaa. Sinkin määrä (5,1 kg/t) oli korkea, myös kuparia ja booria oli runsaasti.

Taulukko 1. Perustietoja kokeista.

Koe	Lannoitus- hetken kas- vupaikka- tyyppi	Turve- kerros cm	Ojitus- vuosi	Turve- tuhkan levitys kk/v	Puuston keski- pituus m	Puus- ton ikä t 1.3	Puuston mittaus kk/v	Neulas- näyte kk/v	Turve- näyte kk/v	Koe- aloja/ tois- toja
1. Muhos 99	Ram RT mu	+100	1967, -80	5/78	2	12	11/92	3/84, 12/92	10/86	12/2
2. Muhos 171 A	TR-SsR mu	70 - +100	1932, -78	4/79	3	20	11/92	3/86, 12/92	12/92	18/3
3. Muhos 199	PsR oj	40 - 100	1967, -79	1/78	2	11	11/92	3/83, 12/92	10/86	13/2
4. Muhos 224	PsR oj-mu	20 - 60	1939, -79	4/80	3	15	11/92	3/84, 12/92	10/86	21/3
5. Muhos 225	Ram PsR oj	40 - 100	1967, -81	4/80	2	18	11/92	3/86, 12/92	10/86	16/2
6. Muhos 263	TR-SsR mu	100	1967, -89	1/81	3	19	3/88	3/88	12/92	10/5
7. Muhos 1/78	PsR-SsR oj	+100	1976, -82	5/78	3	15	11/92	3/86, 12/92	10/86	15/3
8. Muhos 3/78	PsR-SsR oj	+100	1976	4/80	3	14	11/92	3/84, 12/92	10/86	12/4
9. Paltamo 8/80	TR-SsR mu	+100	1954, -79	4/80	9	50	4/90	3/84, 12/92	12/92	12/3

Paltamon kokeessa (nro 9) käytettiin Kajaani Oy:n energialaitoksen sekatuhkaa. Polttoaine sisälsi puujätteen ja hakepuun lisäksi selluloosatehtaan jätelipeää sekä tiettävästi myös polttoturvetta. Tuhka oli ns. lentotuhkaa, joka ennen poiskuljetusta kasteltiin pölyämättömäksi. Tuhkavarastot imivät maastossa lisää vettä, joten kosteus levityshetkellä oli 40 - 50 %. Polttoainekoostumuksen monipuolisuudesta huolimatta sekatuhka oli yllättävän ravinnepöyhää, esim. kaliumia oli vain 5 - 9 kg/t. Ravinteita lienee huuhtoutunut tuhkan sammutuksessa. Kalsiumia oli kuitenkin verraten runsaasti, ehkä poltetun jätelipeän vuoksi (liite 1).

Kaikkiin kokeisiin sisältyi turvetuhkakäsittely. Eri tuhkalajeja kokeiltiin kolmessa metsikössä (liite 2). Tuhkan annostuskokeita oli kaksi, turvetuhkaa ja rakeista Suometsien PK-lannosta (P 8,7 %, K 16,6 %, B 0,2 %) vertailevia kokeita viisi. Kokeessa 5 turvetuhkaa käytettiin sekä yksin että yhdessä kalisuolan (K 50 %) kanssa.

Koe 1 oli peruslannoitettu vuonna 1967 kotkafosfaatilla (P 10 %) ja kalimagnesiolla (K 21,6 %) (liite 3). Muut olivat aiemmin lannoittamattomia. Turvetuhkan käyttömäärä vaihteli välillä 2 - 20 t/ha. Turvetuhkan sekä siihen kokeissa verrattavien muiden lannoitteiden ja tuhkien ravinnemääriä ei saatu keskenään aivan samoiksi edes fosforin tai kaliumin osalta johtuen mm. ravinneanalyysien saannin hitaudesta. Pienet tuhkamäärät kylvettiin vakasta, isommat kauhalla suoraan säkistä tai ahkiosta lapioiden. Useimmiten tuhka levitettiin hangelle. Kukin lannoitelaji levitettiin erikseen. Koejärjestelyinä olivat arvotut lohkot. Toistojen määrä vaihteli kokeittain kahdesta viiteen. Koealako vaihteli välillä 0,04 - 0,16 ha.

22. Aineiston keruu ja käsittely

Pääosa aineistosta kerättiin vuosina 1991 - 92. Puustomittaukset tehtiin syksyllä 1992. Sen lisäksi aineistoon otettiin mukaan aiempia 1980-luvun puustonmittaus- ja ravinneanalyysituloksia (taulukko 1). Lannoitusvaikutuksen ilmentäjänä käytettiin koepuiden kasvumuutoksia sekä neulasten ravinnepitoisuuden muutoksia. Tutkimusjakson pituus oli 8 - 15 vuotta.

Koealat olivat neliöitä tai suorakaiteen muotoisia. Koepuita otettiin 15 - 30 kpl/koeala saran poikki sijoitetuilta 1 - 3 mittauslinjalta määräväleihin. Mittauspisteen lähin ylimpään tai toiseksi ylimpään latvuskerrokseen kuulunut puu tuli koepuiksi. Näin koepuut jakautuivat tasaisesti koealan eri osiin. Koepuita ei otettu 5 m lähempää viereistä koealaa, ellei välissä ollut ojaa. Myös ojamaiden päällä tai välittömässä läheisyydessä kasvaneet puut jätettiin pois. Taimikko- ja riukuvaiheen metsiköissä koepuista mitattiin pituus, rinnankorkeusläpimitta ($d_{1,3}$) ja ikä sekä vuotuiset pituuskasvut taannehtivasti 2 - 5 vuotta turvetuhkalannoitusta edeltäneeseen ajankohtaan. Osa kokeista oli mitattu jo syksyllä 1986. Näiltä kokeilta selvitettiin koepuiden kehitys jaksolta 1987 - 1992 samaa mittausmenetelmää käyttäen. Kokeessa nro 9 oli aineiston varttunein puusto, josta lannoitusreaktio mitattiin tilavuuskasvun vuotuisena kehityksenä. Sitä varten kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta

ja kartoitettiin puiden sijainti koealalla. Koepuut määräytyivät puiden kartoituksessa systemaattisella otannalla isoimpia puita painottaen. Koepuista mitattiin pituus, läpimitat ($d_{1,3}$, $d_{6,0}$) ja pituuskasvut 5 vuoden jaksoina sekä otettiin kairalastu sädekasvun ja iän mittausta varten.

Käytetyistä tuhkalajeista otettiin näytteet ravinnekoostumuksen ja kosteuden määrittämiseksi. Näytteistä osa analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä ja osa METLAN Muhoksen tutkimusosaston laboratoriossa.

Koekohteiden ravinnetilan määrittämiseksi otettiin lannoittamattomilta koealoilta turvenäytteet 0 - 20 cm:n pintakerroksesta. Koealaa edusti yksi turvenäyte, joka koostui ruudun lävistäjien leikkauspisteestä ja lävistäjien puolikkaiden keskipisteistä otetuista viidestä osanäytteestä. Näytteenottolaitteen poikkileikkausala oli $23,4 \text{ cm}^2$ ($4,07 \text{ cm} \times 5,75 \text{ cm}$). Näyte otettiin suon tasapinnalta elävän kerroksen alta. Turvekerroksen paksuus mitattiin ruuduittain samoista kohdista. Neulasnäytteet otettiin kahtena ajankohtana kaikilta koealoilta (taulukko 1). Näyte kerättiin tasaisesti koealan eri osista 6 - 8:sta vallitsevan latvuserroksen puun nuorimman neulasvuosikerran neulasista. Ojamaiden päällä tai läheisyydessä kasvavia puita vältettiin. Näyte otettiin latvuksen eteläpuolelta, joko ylimmästä oksakiehkurasta tai kookkaassa puustossa elävän latvuksen ylimmästä kolmanneksesta.

Neulaset kuivattiin (24 h $105 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa) ja kuivapainosta analysoitiin N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B ja Cu totaalipitoisuuksina. Turvenäytteistä analysoitiin Muhoksen tutkimusosastolla johtoluku, pH ja pääravinteet N, P, K ja Ca totaalipitoisuuksina (Halonen ym. 1983). Kuivattujen ($+70 \text{ }^\circ\text{C}$) ja jauhettujen turvenäytteiden pH ja sähkönjohtavuus mitattiin vesiuutteesta tilavuussuhteessa turve/vesi = $1/2,5$. Turpeen ja neulasten tuhkapitoisuus ja kokonaisravinteet määritettiin kuivapoltetuista näytteistä. Ravinteet analysoitiin tuhkeutuksen jälkeen suolahappoliuoksesta (2 M - HCl). P määritettiin vanadomolybdaattimenetelmällä, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ja Cu AAS:illa. Boori määritettiin atsometiini-H- menetelmällä ja typpi Kjeldahl- menetelmällä.

Koepuista otetuista kairalastuista mitattiin lustomikroskoopilla vuotuiset sädekasvut $0,01 \text{ mm}$ tarkkuudella sekä luettiin lustoista rinnankorkeusikä. Puustonmittausaineiston peruslaskennassa käytettiin koealojen peruslaskentaohjelmistoa (KPL). Tilastolliset testaukset tehtiin BMDP- ja SAS-ohjelmistojen varianssi- tai kovarianssianalyysillä. Kovarianssianalyysia käytettiin puuston kasvun merkitsevien lähtötaserojen poistamiseksi eri lannoituskäsittelyjen väliltä. Kovariaattina oli puiden kasvun taso 2 - 3 vuoden aikana ennen lannoitusta. Ravinneanalyysi- ja puustodatojen tarkastelu tehtiin kaksisuuntaisena: selittävinä muuttujina olivat lannoituskäsittely ja koemet-sikkö. Kokeita ryhmiteltiin silloin, kun niiden ja käsittelyjen välillä ei ilmennyt yhdysvaikutuksia. Koeryhmää testattaessa mukana olivat vain ne lannoitusvaihtoehdot, joita oli tietyn asian tarkasteluun käytetty kaikissa ryhmän kokeissa.

3. TULOKSET

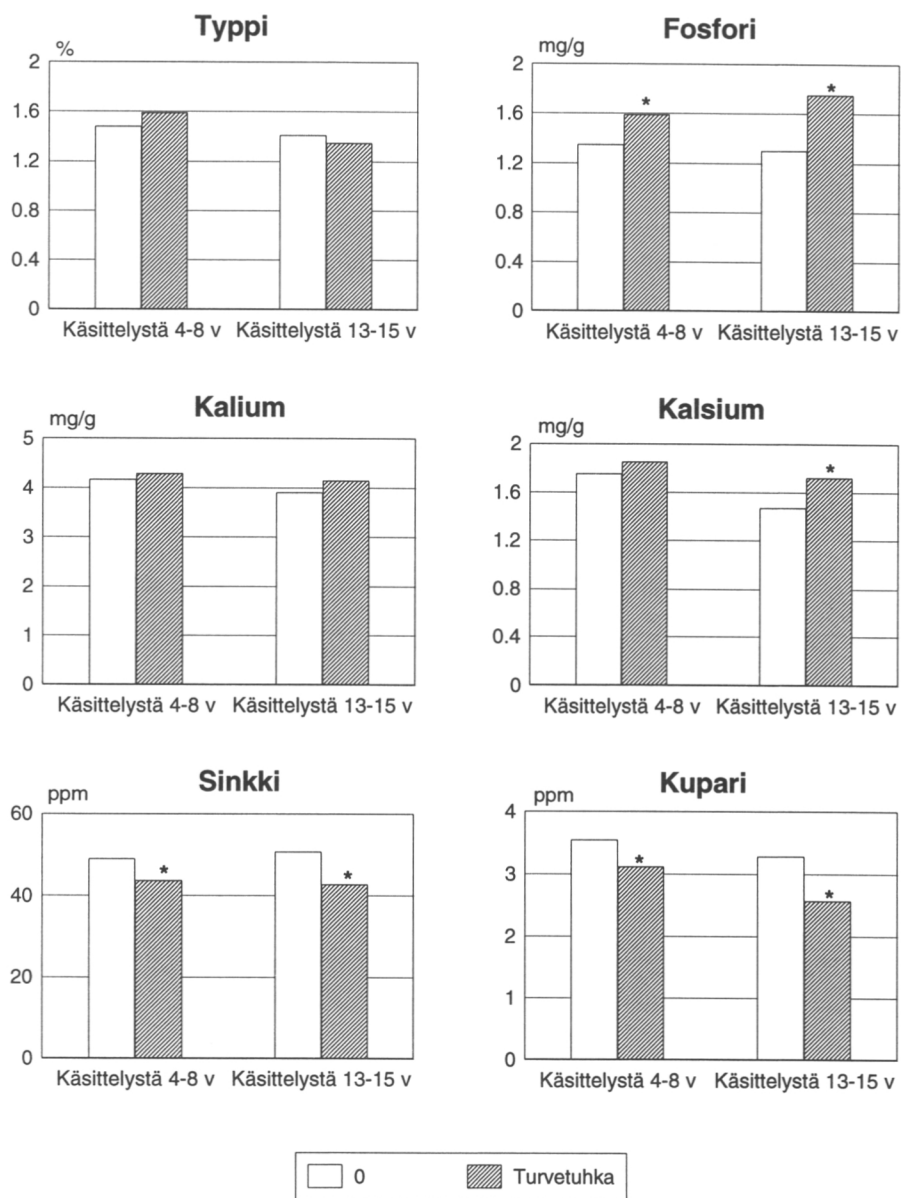
31. Turvetuhkan vaikutus puuston ravinnetilään ja kasvuun

Lannoittamattomien puiden tyypitila vaihteli neulasanalyysin perusteella tyydyttävästä hyvään (taulukko 2). Vain kokeissa 6 ja 7 neulasten typpipitoisuus jäi alle puutosrajan 1,2 % (Paarlahti ym. 1971). Koetta 6 lukuunottamatta myös kasvualustan (5 - 10 cm tai 0 - 20 cm) typpi-arvot olivat kohtalaisen korkeita. Kasvualustan ja neulasten korkea typpipitoisuus kokeessa 1 lienee seurausta jyrsinojituksen maanpintaan nostamasta syvempien kerrosten runsastyypisistä turpeesta. Lievää kaliumin puutosta (neulasten K-pitoisuus alle 4,0 mg/g) esiintyi noin puolella kohteista. Fosforipuutos oli voimakasta useimmissa metsiköissä. Neulasten booripitoisuus oli alhaisin kokeessa 9.

Turvetuhkan (5 - 10 t/ha) vaikutus näkyi selvästi männyn neulasten fosforipitoisuudessa. Vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ja näytti ajan mittaan jopa voimistuvan (kuva 1). Lannoittamattomaan käsittelyyn nähden fosforipitoisuudet kohosivat 4 - 8 vuodessa 0,12 - 0,58 mg/g. Yhdistetyssä aineistossa (kokeet 2 - 5) neulasten fosforipitoisuus nousi tutkimusjakson aikana tyydyttävälle tasolle (1,7 mg/g). Tutkimusjakson lopussa myös kalsiumpitoisuudet olivat tuhkalannoitetuilla puilla korkeammat kuin lannoittamattomilla. Neulasten sinkki- ja kupariarvot vastaavasti alenivat merkitsevästi. Muiden ravinteiden pitoisuuksissa muutokset olivat vähäisiä.

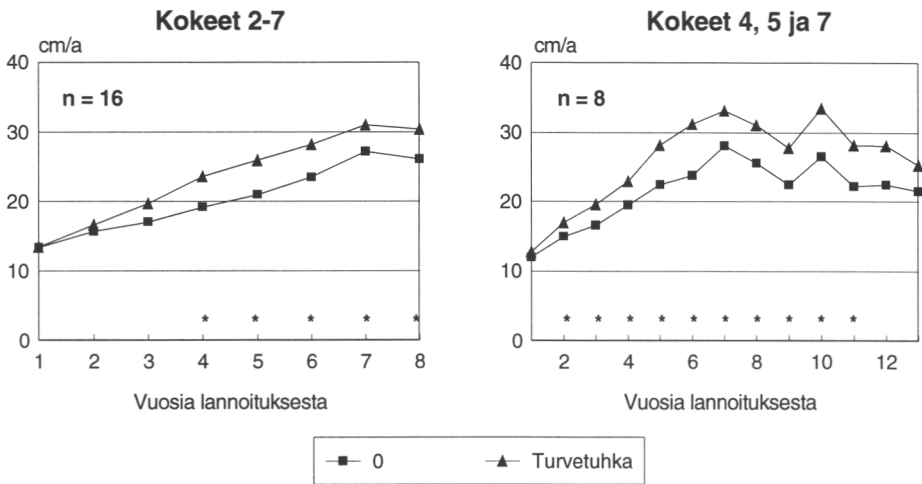
Taulukko 2. Kasvualustan ja männynneulasten ravinnepitoisuudet tutkimuskohteiden lannoittamattomilla koealoilla. Neulasnäytteet otettu joulukuussa 1992 (kokeelta 6 maaliskuussa 1988).

Koe nro	Turve (0-20 cm)			Neulaset			
	N %	P mg/g	K mg/g	N %	P mg/g	K mg/g	B ppm
1	2,55	0,72	0,16	1,61	1,08	3,54	13,5
2	2,10	1,05	0,33	1,61	1,43	3,86	12,8
3	1,85	0,98	0,32	1,38	1,25	4,22	17,7
4	1,85	0,91	0,33	1,57	1,35	4,42	9,2
5	2,15	1,16	0,35	1,30	1,12	3,46	9,8
6	0,96	0,55	0,48	1,17	1,51	5,04	20,1
7	2,04	1,35	0,38	1,14	1,23	3,72	9,8
8	2,80	0,85	0,28	1,45	0,98	3,47	9,4
9	2,00	0,98	0,36	1,37	1,44	4,51	5,4



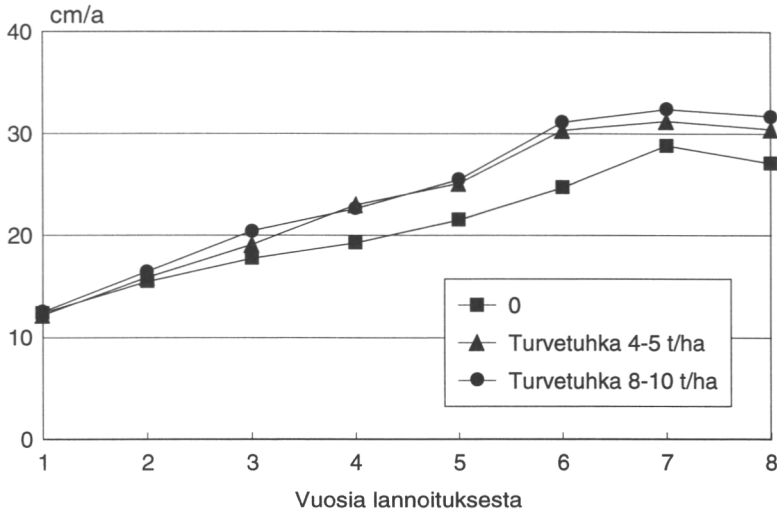
Kuva 1. Turvetuhkan vaikutus männynneulasten ravinnepitoisuuksiin kahden eri ajankohtana lannoituksen jälkeen. Kokeet 2 - 5. Toistoja 10. Mukana lähinnä vain ne ravinteet, joiden pitoisuuksissa tapahtui muutoksia. * = ero lannoittamattomaan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$).

Puuston pituuskasvu voimistui turvetuhkalannoituksen seurauksena (kuva 2). Vaikutus näkyi kaikissa kokeissa. Pituuskasvun paraneminen alkoi yleensä noin 2 - 3 vuoden kuluessa ja oli suurimmillaan 4 - 6 vuoden kuluttua lannoituksesta, jolloin kasvunlisäys lannoittamattomaan verrattuna oli noin 5 cm vuodessa. Tuhkan vaikutus jatkui yli 10 vuotta, mutta heikkeni hieman tutkimusjakson lopussa. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin mukaan kasvureaktio kohosi merkitseväksi kahden vuoden kuluttua lannoituksesta ja säilyi merkitsevänä 11 vuoden ajan. Suhteellinen lisäkasvu oli levitystä seuranneiden 8- ja 13-vuotisjaksojen aikana 13,7 ja 21,1% (kuva 2).



Kuva 2. Turvetuhkan vaikutus männyn vuotuiseseen pituuskasvuun koeryhmittäin. Toistoja 8 - 16. * = ero lannoittamattomaan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$).

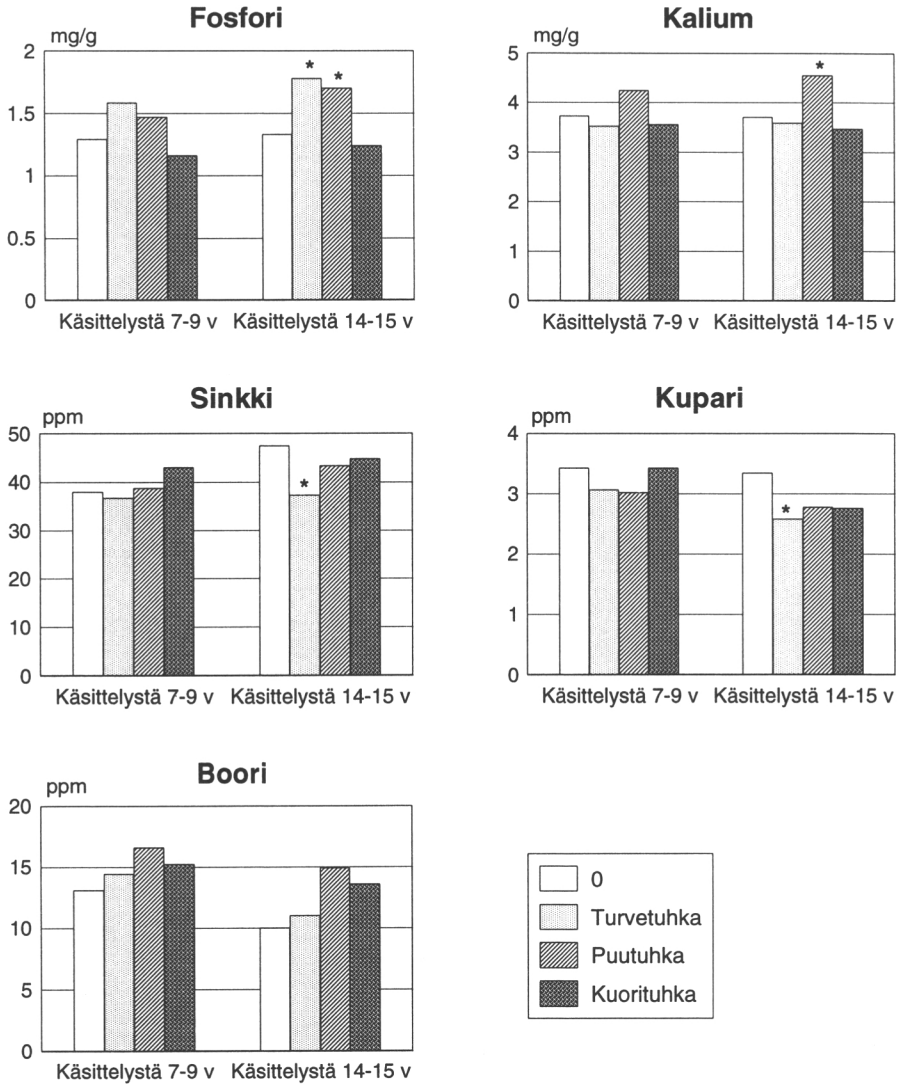
Turvetuhkan käyttömääriä verrattiin kokeissa 3 ja 4. Suuret annokset (8 - 10 t/ha) näyttivät vaikuttavan neulasten fosforipitoisuuteen tutkimusjakson lopulla voimakkaammin (P 1,75 mg/g) kuin pienemmät (4 - 5 t/ha) annokset (P 1,56). Molemmat käyttötasot erosivat merkitsevästi lannoittamattomasta mutta eivät toisistaan. Suurin turvetuhkataso (20 t/ha kokeessa 4) ei myöskään poikennut muista kokeissa käytetyistä tuhkamääristä enempää neulasten ravinnepitoisuuksien kuin puuston kasvureaktionkaan osalta. Tuhkan määrän merkitystä puuston kasvuun selvitettiin myös yhdistetyllä aineistolla (kokeet 2 - 5 ja 7), jossa kokeet jaettiin kahteen ryhmään: 4 - 5 t/ha ja 8 - 10 t/ha saaneet metsiköt. Puuston kasvunlisäys oli riippumaton tuhkan käyttömäärästä (kuva 3). Käsittelyjen ja metsiköiden yhdysvaikutusta ei kuitenkaan voitu testata, joten tulosta on pidettävä ainoastaan suuntaa-antavana.



Kuva 3. Turvetuhkan käyttömäärän vaikutus männyn vuotuiseseen pituuskasvuun kokeissa 2 - 5 ja 7. Toistoja 6 - 7.

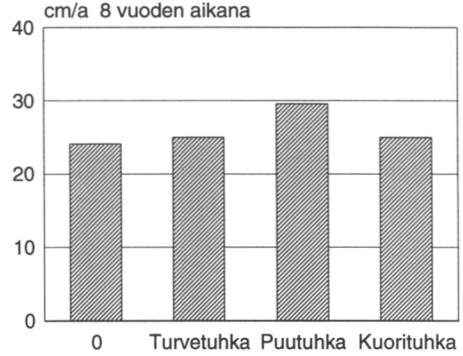
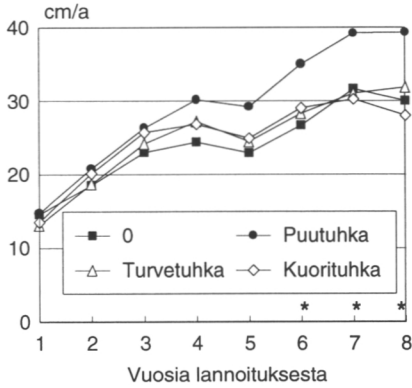
32. Tuhkalajien vertailu

Eri tuhkalajit vaikuttivat männynneulasten ravinnepitoisuuteen toisistaan poikkeavasti. Kokeiden 1 - 2 yhteisanalysissä sekä turve- että puutuhka kohottivat neulasten fosforipitoisuutta merkittävästi, kuorituhka ei lainkaan (kuva 4). Kaliumpitoisuus nousi tyydyttävälle tasolle (yli 4,0 mg/g) vain puutuhkaa saaneilla puilla, mutta absoluuttinen vaikutus jäi puutuhkallakin vähäiseksi. Turvetuhka alensi neulasten sinkki- ja kuparipitoisuutta merkittävästi ja enemmän kuin muut tuhkalajit. Puu- tai kuorituhkaa saaneilla puilla neulasten booriarvot kohosivat, joskaan eivät merkittävästi. Puutuhka lisäsi männyn kasvua kokeissa 1 ja 2 selvästi enemmän kuin turve- tai kuorituhka (kuva 5). Näissä kokeissa turvetuhkan vaikutus oli heikointa koko koesarjassa. Kokeessa 9 puusto reagoi seka- ja turvetuhkaan samalla tavoin: vuotuinen tilavuuskasvu näytti lisääntyneen n. 0,5 m³/ha. Kuorituhkan vaikutus jäi vähäiseksi.

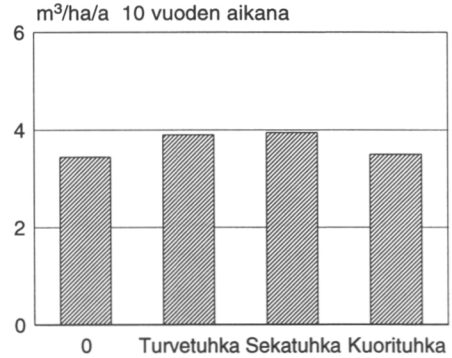
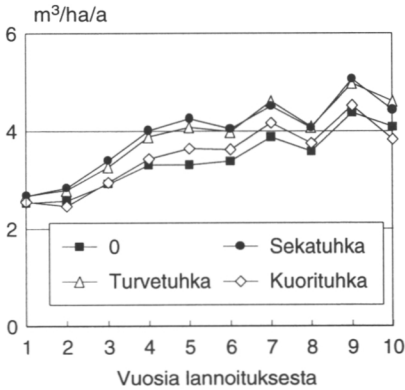


Kuva 4. Eri tuhkalajien vaikutus männynneulasten ravinnepitoisuuksiin kahden eri ajankohtana lannoituksen jälkeen. Kokeet 1 ja 2. Toistoja 5. * = ero lannoittamattomaan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$).

Kokeet 1-2



Koe 9



Kuva 5. Puuston kasvu erilaisten tuhkalajien levityksen jälkeen. Kokeet 1, 2 ja 9. Toistoja 3 - 5. * = puutuhkan vaikutus tilastollisesti merkitsevä lannoittamattomaan verrattuna ao. vuonna.

33. Turvetuhkan ja kauppalannoitteiden vertailu

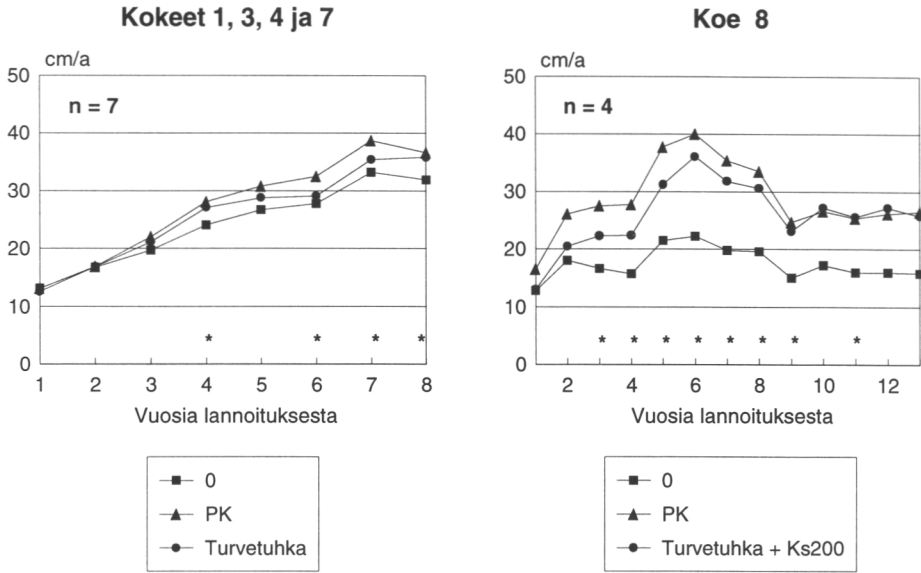
Viidessä kokeessa (1, 3, 4, 7 ja 8) turvetuhkan vertailuna käytettiin Suomensien PK-lannosta. Vertailua vaikeutti se, että kokeessa 3 turvetuhkäsäilytyksessä oli mukana tyyppiä, kokeessa 7 hiukan puutuhkaa ja kokeessa 8 kalisuolaa. Turvetuhkan ja PK-lannoksen vaikutus neulasten fosforipitoisuuteen oli samansuuntainen eli pitoisuudet nousivat lannoituksen jälkeen (taulukko 3). PK-lannos kohotti ilmeisesti myös kaliumpitoisuutta.

*Taulukko 3. Männynneulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet turvetuhkaa (Tutu) ja Suometsien PK-lannosta saaneilla puilla tutkimusjakson kahtena ajankohtana. Kokeet 1, 3 ja 4 yhdistetty (n = 7). * = lannoitusvaikutus merkitsevä (p < 0,05).*

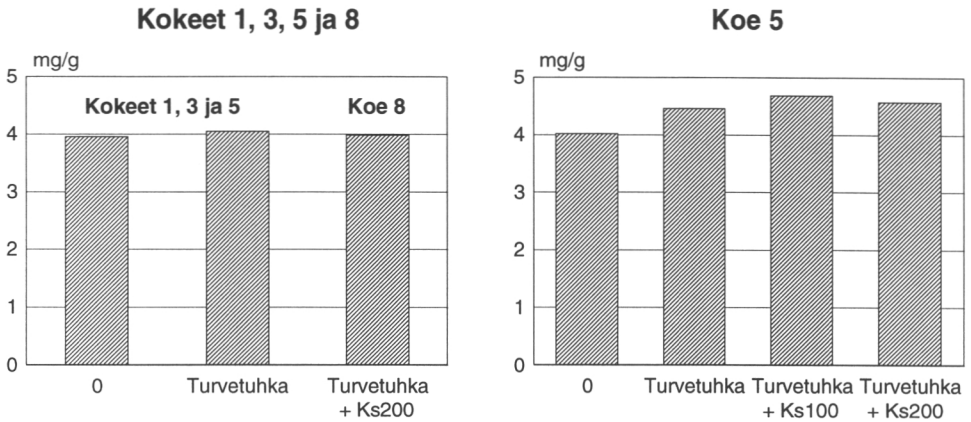
	4 - 9		ja		13 - 15	
	0	Tutu	PK	0	Tutu	PK
P	1,28	1,48*	1,53*	1,29	1,60*	1,77*
K	4,17	4,09	4,56	4,19	4,21	4,68

Suometsien PK-lannos aiheutti suuremman kasvunlisäyksen kuin turvetuhka (kuva 6). Suhteellinen pituuskasvun lisäys 8 vuoden aikana oli PK-lannoksella 13,8 % ja turvetuhkalla 7,1 %. PK-lannoituksen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Näissä kokeissa turvetuhka lisäsi puuston kasvua vähemmän kuin koko koesarjassa keskimäärin, mikä hankaloitti tuloksen yleistämistä.

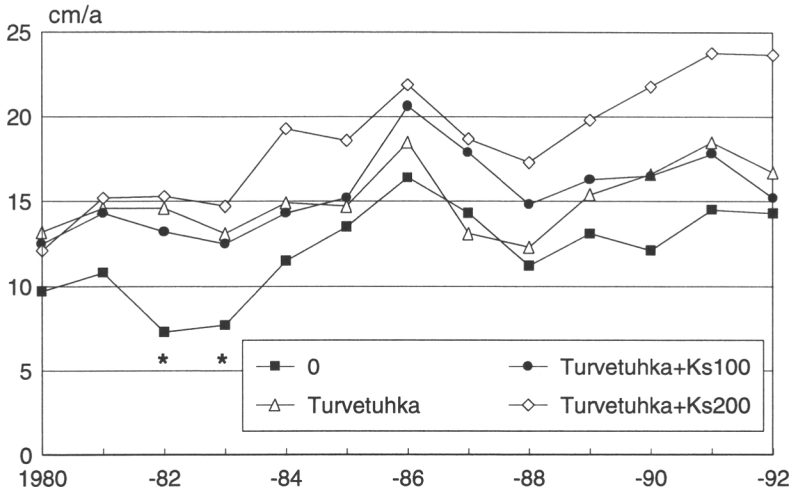
Kokeessa 8 männyn pituuskasvu lisääntyi PK-lannoitetuilla koealoilla alkuvuosina enemmän kuin turvetuhka-kalisuola -yhdistelmän saaneilla koealoilla (kuva 6). 5 - 6 vuoden kuluttua lannoituksesta käsittelyt eivät enää eronneet toisistaan; molemmat poikkesivat lannoittamattomasta tilastollisesti merkitsevästi. Myös kokeessa 5 osalla koealoista käytettiin turvetuhkan yhteydessä kalisuolaa. Kalisuolalisäyksen vaikutus puiden ravinnetilaan jäi vähäiseksi (kuva 7). 6 - 7 vuoden kuluttua käsittelystä kalisuolaa saaneiden puiden neulasten kaliumpitoisuudet olivat kokeissa 5 ja 8 samaa suuruusluokkaa kuin pelkän turvetuhkakäsittelyn saaneilla puilla. Puut näyttivät kuitenkin hyötyvän turvetuhkan ohessa käytetystä kalisuolasta kokeessa 5 (kuva 8). Pituuskasvun lisäys oli suurin turvetuhkan lisäksi 100 kg/ha kaliumia saaneilla puilla. Vaikutus näytti jatkuvan pitempään kuin pelkän turvetuhkan saaneilla puilla.



Kuva 6. Turvetuhkan ja Suometsien PK-lannoksen vaikutus männyn vuotuisen pituuskasvuun. Toistoja 4 - 7.



Kuva 7. Neulasten kaliumpitoisuuden muutokset turvetuhka- ja kalisuola-lannoituksen jälkeen. Turvetuhkan vaikutusta kokeilla 1, 3 ja 5 verrattu kokeen 8 turvetuhkan ja kalisuolan vaikutukseen (vasemmalla), kokeessa 5 turvetuhkan ja turvetuhka-kalisuolan vertailu (oikealla).



Kuva 8. Männyn vuotuisen pituuskasvun kehitys turvetuhka- ja kalisuolakäsittelyn jälkeen kokeessa 5. * = lannoituskäsittelyjen vaikutus tilastollisesti merkitsevä ao. vuonna.

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1. Aineisto ja tulosten yleistettävyys

Geologisilta ja ilmastollisilta olosuhteiltaan tutkimuskohteet sijaitsivat jokseenkin yhtenäisellä alueella. Vaikka kokeiden välinen kasvupaikkavaihtelu kattoi alueen tupasvillaisesta suursaraiseen, todettiin esimerkiksi selvää tyyppien niukkuutta neulasanalyyysien mukaan vain kahdessa kokeessa. Suon viljavuudella tai kasvualustan tyyppitoisuudella ei havaittu olevan suurta merkitystä turvetuhkalla saatavaan tulokseen, joskaan sitä ei voitu tässä tutkimuksessa tarkemmin arvioida. Sama koski puuston kokoa ja kehitysluokkaa. Saaduista tuloksista luotettavimpia ovat tarkastelut, joissa verrataan keskenään lannoittamattoman ja pelkkää turvetuhkaa saaneen puuston ravinnetaloutta ja kasvua. Toistojen määrää voi pitää riittävänä ja yksittäisten kokeiden antamia tuloksia yhdensuuntaisina.

Tulokset tuhkamäärän vaikutuksesta puiden kehitykseen ja ravinnetilään sensijaan ovat korkeintaan suuntaa-antavia, sillä vertailtavien ryhmien sisällä tuhkamäärät vaihtelivat suuresti. Kokeita yhdistettiin niin, että toisen ryhmän muodostivat 4-5 tonnia hehtaarille saaneet metsiköt, ja toisen ryhmän 8 ja 10 tonnin hehtaariannostuksen saaneet kokeet. Näin muodostettujen koealaryhmien oletettiin olevan mm. kasvupaikkatyyppiltään

vertailukelpoisia. Ainoastaan kahdessa kokeessa oli mukana sekä pieniä että isoja tuhka-annoksia.

Neulasten fosforipitoisuudet sekä tutkimusjakson alku- että loppuvaiheissa olivat tuhka-aloilla merkitsevästi korkeammat kuin vertailuilla. Turvetuhkan kasvua lisäävä vaikutus perustunee siten fosforiin. Tuhkan korkea rautapitoisuus (noin 20 %) ei estänyt neulasten fosforiarvojen nousua. Muiden pääravinteiden muutokset olivat vähäisiä. Kaliumin kohdalla tämä oli odotettavissa turvetuhkan niukan kaliumsisällön (2 - 3 kg/t) vuoksi. Männynneulasten sinkki- ja kuparipitoisuudet olivat turvetuhka-aloilla tilastollisesti merkitsevästi alemmat kuin vertailukoaloilla. Fosforin ja sinkin välinen negatiivinen interaktio sekä hivenravinteiden oheneminen on tuotu esiin aiemminkin (esim. Paarlahti ym. 1971).

Turvetuhkan vertaaminen puuperäisiin tuhkiin ja kauppalannoitteisiin jäi puutteelliseksi, sillä turvetuhkan vaikutus tässä osa-aineistossa oli heikompi kuin keskimäärin koko aineistossa. Varsinaiset puutuhkat, jotka sisälsivät runsaimmin ravinteita, lisäsivät tuhkalajeista eniten puuston pituuskasvua. Kuori- ja sekatuhkan heikon vaikutuksen todennäköisenä syynä oli niiden alhainen fosfori- ja kaliumpitoisuus. Neulasanalyysien tulokset viittaavat fosforin merkitykseen tässäkin osa-aineistossa: fosforipitoisuudet olivat korkeimmat puutuhkaa ja turvetuhkaa saaneilla koaloilla. Boorin lähteenä kuoriturhka oli sitävastoin turvetuhkaa parempi (vrt. liite 1).

Suometsien PK-lannoksella saavutettiin merkitsevästi suurempi kasvunlisäys kuin turvetuhkalla. Fosforin määrä PK-lannoitteessa oli noin 66 kg/ha, mikä vastasi melko hyvin turvetuhkakäsittelyn (4 - 5 t/ha) fosforiannostusta. Turvetuhkan lannoitusvaikutuksen kesto lienee samaa luokkaa kuin Suometsien PK-lannoksella (Moilanen & Issakainen 1990), mutta ongelmaksi jatkossa voi tulla kaliumin niukkuus. Tosin tässä aineistossa turvetuhkan käytöstä ei seurannut neulasten kaliumpitoisuuden alentumista. Turvetuhkalannoituksen täydentäminen kalisuolalla näytti kuitenkin lisäävän puuston kasvua enemmän kuin pelkkä turvetuhka ja lähes yhtä paljon kuin PK-lannos.

42. Turvetuhka metsänlannoitteena

Turvetuhka on ensisijaisesti fosforilannoite, jonka muu ravinnesisältö ja maaperän neutralisointikyky jää vähäiseksi (Hartikainen 1984, Saarela 1991). Se osoittautui selvästi puutuhkaa ja Suometsien PK-lannosta heikomaksi sekä ravinnesisällöltään että vaikutukseltaan puustoon. Ravinteiden vähäisyys esim. puutuhkaan verrattuna ilmeni melko selvästi myös neulasanalyyseissä. Käytettäessä niukkaravinteista tai vain joitain ravinteita runsaasti sisältävää tuhkaa olisi varmistauduttava puuston ravinnetarpeen ja tuhkan ravinnesisällön yhteensopivuudesta. Turvetuhka soveltunee parhaiten fosforinpuutosalueille. Runsaskalkkisella Kajaani Oy:n sekaturhalla ei saavutettu kasvunlisäystä, mikä yhdessä turvemaiden kalkituskokeilta saatujen tulosten kanssa vahvistaa käsitystä kalsiumin vähäisestä merkityksestä suojuustojen kasvunlisääjänä (myös Nieminen & Pätilä 1994).

Tämä tutkimus vahvistaa myös aiempia erilaisilla kasvupaikoilla ja tuhkamäärillä saatuja tuloksia (Häkkinen 1958, Silfverberg & Issakainen 1987, Lumme 1989, vrt. Kaunisto 1987). Kolmessa viimeksimainitussa työssä käytettiin Oulun Toppilan lämpövoimalan lentotuhkaa kuten tässäkin työssä. Nyt mitatut kasvunlisäykset saavutettiin melko pienillä määrillä turvetuhkaa; määräkysymys jää kuitenkin edelleen auki. Jos annostelun perustana on fosforimäärä, turvetuhkaa tarvitaan vähemmän kuin keskiravinteista puutuhkaa. Käytännön lannoituskohteille (Silfverberg & Issakainen 1987) turvetuhkaa on levitetty 20 t/ha, mikä saattaa sisältää tarpeettoman paljon fosforia.

Ravinnesisällöltään turvetuhka on jopa parempaa kuin (kasteltu) kuorituruhka, mikä ilmeni myös tämän tutkimuksen tuloksista. Turvetuhkan etuina ovat sen helppo saatavuus, alhainen kosteus sekä ravinnepitoisuuksien vähäinen vaihtelu (Silfverberg & Issakainen 1987). Taloudellisista syistä käytännössä joudutaan kuitenkin tyytymään kohtalaisen pieniin annoksiin - biologinen ja taloudellinen optimi eivät käy yhteen turvetuhkankaan kohdalla. Pelkän turvetuhkan tekninen parantaminen rakeistamalla tuskin tulee kysymykseen, ellei sen ravinnesisältöä mm. kaliumin osalta täydennetä. Varteenotettavampana vaihtoehtona voidaan pitää kaliumin antamista erikseen turvetuhkan lisänä. Kyseeseen voisivat tulla esim. kaliumkloridi tai flogopiitti (Kaunisto ym. 1993).

Tutkimuksen päähypoteesina oli, että turvetuhka parantaa nuorten rämännikköiden kasvua ja ravinnetilaa. Hypoteesi osoittautui oikeaksi - mentyjen pituuskasvu ojitetulla suolla parani useaksi vuodeksi turvetuhkalannoituksen jälkeen. Vaikutus sekä kasvuun että neulasiin oli kuitenkin heikompi kuin Suometsien PK-lannoksen ja puutuhkan. Kasvunlisäys selittyi parhaiten fosforilla, jonka alunperin puutosrajan alapuolella ollut pitoisuus neulasissa kohosi tyydyttävälle tasolle. Hivenravinnepuutosten poistamiseen turvetuhka ei tuonut merkittävää lisätietoa.

5. KIRJALLISUUS

- Aarne, M. (toim.- ed.). 1992. Metsätilastollinen vuosikirja 1990 - 91. Yearbook of forest statistics 1990-91. SVT Maa- ja metsätalous 1992:3. Folia Forestalia 790. 281 p.
- Hakkila, P. (toim.) 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Hartikainen, H. 1984. Peat ash and basic slag as substitutes for lime with reference to phosphorus uptake by turnip rape. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 56:291-298.
- Häkkinen, K. 1958. Kokeita ojitettujen soiden tuhkalannoituksella. Metsä-taloudellinen aikakauslehti 11: 388-389.

- Kaunisto, S. 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. *Folia Forestalia* 681. 23 p.
- , Moilanen, M. & Issakainen, J. 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä. Summary: Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests. *Folia Forestalia* 810. 30 p.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930-1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 p.
- Lannoitelaki 232/93.
- Lehtonen, E.-M. & Tikkanen, E. 1986. Turvetuhkan vaikutus maahan sekä vesipajun ravinnetalouteen ja kasvuun turpeentuotannosta vapautuneella suolla. Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. C 69.
- Lumme, I. 1987. Early effects of peat ash on growth and mineral nutrition of the silver birch (*Betula pendula*) on a mined peatland. Seloste: Turvetuhkan alkuvaiikutuksesta rauduskoivun kasvuun ja ravinnetalouteen turvetuotannosta poistuneella suolla. *Silva Fennica* 22(2): 99-112.
- 1989. On the clone selection, ectomycorrhizal inoculation of short-rotation willows (*Salix* spp.) and on the effects of some nutrient sources on soil properties and plant nutrition. *Biol. Res. Rep. Univ. Jyväskylä* 14. 55 p.
- Mikola, P. 1975. Turvetuotannosta vapautuneen maan metsittäminen. Summary: Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. *Silva Fennica* 9(2): 101-115.
- , Ferm, A. & Issakainen, J. 1987. Kasvihuonekokeita erilaisten jätteen aineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281. 36 s.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1990. Suometsien PK-lannos ja typpi-lannoitelajit karuhkojen ojitettujen rämeiden lannoituksessa. Summary: PK fertilizer and different types of N fertilizer in the fertilization of infertile drained bogs. *Folia Forestalia* 754. 20 s.
- Nieminen, M. & Pätilä, A. 1994. Puuston kasvu ja ravinteiden saatavuus turvemaiden vanhoilla kalkituskokeilla. (Summary: The growth of tree stands (*Pinus sylvestris*) and the availability of nutrients in old Finnish liming experiments on drained peatlands.) Käsikirjoitus, METLA, metsäekologian tutkimusosasto.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5). 58 s.
- Paavilainen, E. & Tiihonen, P. 1988. Suomen suometsät vuosina 1951-1984. Summary: Peatland forests in Finland in 1951-1984. *Folia Forestalia* 714. 29 p.
- Reinikainen, A. 1980. Tuhkalannoituksen ekologiaa. Muhoksen tutkimusseuran tiedonantoja 20: 24-27.

- Saarela, I. 1991. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. *Ann. Agric. Fenn.* 30: 375-388.
- Silfverberg, K. 1993. Restprodukter som gödselmedel i skogen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 457: 15-21.
- & Issakainen, J. 1987. Kokemuksia turpeentuhkasta käytännön lannoitustyömailla. Summary: Growth and foliar nutrients in peat-ash fertilized stands. *Suo* 38(3-4): 53-62.
- Veijalainen, H., Silfverberg, K. & Hytönen, J. 1993. Metsäteollisuuden bioliete ja kivihiilen tuhka rauduskoivun taimien ravinnelähteenä. Summary: Pulp biosludge and coal ash as nutrient sources for silver birch seedlings. *Suo* 44: 63-73.
- Yhdyskuntien orgaanisten jätteiden käsittely, hyötykäyttö ja loppusijoitus. Ympäristö- ja biotekniikan koulutus. Forssa, 19-20.1.1994.

Liite 1. Käytettyjen tuhkien ravinnekoostumus kuivapainosta.

Koe	Lämpölaitos	Poltto- aine	Ana- lyysi	Kos- teus- %	Alkuaine								
					P	K	kg/t		Fe	Mn	Zn	g/t B	Cu
3	Toppila	T	V	15	14,5	1,7	n.d.	5	n.d.	1,2	272	18	76
2, 5	Toppila	T	M	10	15,8	2,3	54	8	217	1,3	418	9	60
1	Toppila	T	M	15	14,3	2,3	55	9	172	1,4	202	13	65
7 ja 8	Toppila	T	M	15	14,0	2,6	54	9	169	1,2	394	8	57
6	Toppila	T	M	10	17,2	2,2	52	9	230	1,9	128	17	64
4 ja 9	Toppila	T	V	10	11,9	2,6	82	10	n.d.	3,1	208	49	57
1	Hoikankangas	P	V	30	13,0	53,3	168	n.d.	n.d.	17,8	179	125	138
2	Hiukkavaara	P	V	15	15,0	63,4	240	n.d.	n.d.	22,8	n.d.	87	37
7	Saarelan koulu	P	M	20	26,1	80,1	181	37	19	18,8	5093	535	239
1, 2 ja 9	Oulu Oy	K	V	55	1,8	4,5	47	n.d.	16	n.d.	n.d.	46	20
9	Kajaani Oy	S	M	40	4,1	5,4	145	5	19	1,6	265	40	28

T = turve P = koivuhalko M = Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema n.d. = ei analysoitu
K = kuori S = sekalainen V = Viljavuuspalvelu Oy

Liite 2. Turvetuhkakokeiden lannoituskäsittelyt. Tuhkan käyttömäärä ilmaistu tuorepainona (kg/ha). Ttu = turpeen tuhka, Ptü = puutuhka, Ktu = kuorituhka, Stü = sekätuhka, PK = Suometsien PK-lannos, Ks = kalisuola.

Koe	Perustamisaika	Käsittely	Ttu	Ptü	Ktu	Stü	PK	Ks
1	1978-1980	1	-	-	-	-	-	-
		2	5000	-	-	-	-	-
		3	-	-	-	-	400	-
		4	-	2500	-	-	-	-
		5	-	-	5000	-	-	-
2	1979	1	-	-	-	-	-	-
		2	-	3000	-	-	-	-
		3	-	-	6000	-	-	-
		4	8000	-	-	-	-	-
		5	-	400	-	-	400	-
3	1978-1979	1	-	-	-	-	-	-
		2	-	-	-	-	400	-
		3	4000	-	-	-	-	-
		4	8000	-	-	-	-	-
		5	4000	-	-	-	400	-
		6	8000	-	-	-	400	-
4	1980	1	-	-	-	-	-	-
		2	2000	-	-	-	-	-
		3	5000	-	-	-	-	-
		4	10000	-	-	-	-	-
		5	20000	-	-	-	-	-
		6	2000	-	-	-	500	-
		7	-	-	-	-	500	-
5	1980	1	-	-	-	-	-	-
		2	5000	-	-	-	-	-
		3	5000	-	-	-	-	100
		4	5000	-	-	-	-	200
6	1981	1	-	-	-	-	-	-
		2	10000	-	-	-	-	-
7	1978-1979	1	-	-	-	-	-	-
		2	-	250	-	-	400	-
		3	5000	250	-	-	-	-
8	1980	1	-	-	-	-	-	-
		2	-	-	-	-	400	-
		3	5000	-	-	-	-	200
9	1980	1	-	-	-	-	-	-
		2	-	-	-	3000	-	-
		3	-	-	6000	-	-	-
		4	6000	-	-	-	-	-

Liite 3. Käytetyt kauppalannoitteet.

Lannoite	N %	P %	K %	Käytetty kokeella
Kotkafosfaatti	-	10	-	1
Kalisuola	-	-	50	5, 8
Kalimagnesia ¹⁾	-	-	21,6	1
Suometsien PK ²⁾	-	8,7	16,6	1, 2, 3, 4, 7, 8

1) Mg 23 %, 2) B 0,2 %

Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot:

- Nro 1. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1971.
- Nro 2. Tutkimuspäivän alustukset 1972.
- Nro 3. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1972.
- Nro 4. Kalevi Karsisto. Esituloksia suometsien fosforilannoitelajikoikeista. 1973.
- Nro 5. Kalevi Karsisto. Lannoitteiden levitystasaisuudesta moottorikelkkaa käytettäessä. 1973.
- Nro 6. Kalevi Karsisto. Kokeita typpilannoitteiden häviämisestä säkeistä. 1973.
- Nro 7. Kalevi Karsisto. Isorakeisen typpilannoitteen uppoamisesta lumeen. 1975.
- Nro 8. Markku Turtiainen ja Jukka Valtanen. Metsänviljelytutkimuksen välituloksia Pohjanmaan ja Kainuun metsäaurausalueilta. 1974.
- Nro 9. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1974.
- Nro 10. Esteri Ohenoja ja Niilo Takkunen. Alustavia tietoja lannoituksen vaikutuksesta kangasmetsien sienisatoon. 1974.
- Nro 11. Kalevi Karsisto ja Jorma Issakainen. Riistan tuottaminen metsänparannusalueilla. 1974.
- Nro 12. Kalevi Karsisto. Peatland forestry experiments in Pyhäkoski experimental area. 1974.
- Nro 13. Kalevi Karsisto. Ojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus vesien saastumiseen. 1974.
- Nro 14. Tutkimuspäivän esitykset 1975.
- Nro 15. Metsäntutkimuspäivä Haapavedellä 1976.
- Nro 16. Metsäntutkimuspäivä Sotkamossa ja Ämmänsaaressa 1977.
- Nro 17. Metsäntutkimuspäivä Haukiputaalla ja Muhoksella 1978.
- Nro 18. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1980.
- Nro 19. Mikko Moilanen ja Matti Oikarinen. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmaalla. 1980.
- Nro 20. Tuhka metsänlannoitteena. Toimittaneet Pekka Pietiläinen ja Markku Tervonen. 1980.
- Nro 21. Metsäntutkimuspäivä Muhoksella 1980.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot (Muhoksen tutkimusasema):

- Nro 3. Jussi Saramäki. Hieskoivun kasvu ja kasvatusta Pohjanmaalla ja Kainuussa. 1981.
- Nro 17. Jorma Issakainen ja Mikko Moilanen. Lentolannoituksen levitystasaisuudesta ja työpöytävalvontamenetelmän kehittämisestä. 1981.
- Nro 24. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1981.
- Nro 29. Mikko Moilanen ja Kalevi Karsisto. Lannoitteen levitystasaisuuden vaikutuksesta nuoren suomännikön pituuskasvuun. 1981.
- Nro 70. Metsäntutkimuspäivä Oulaisissa 1982.

- Nro 70. Metsäntutkimuspäivä Oulaisissa 1982.
- Nro 101. Jarmo Poikolainen ja Eero Kubin. Tuloksia kapealatvaisen kuusen juurruttamisesta. 1983.
- Nro 119. Metsäntutkimuspäivä Suomussalmella ja Sotkamossa 1983.
- Nro 133. Mikko Moilanen ja Jorma Issakainen. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. 1984.
- Nro 158. Metsäntutkimuspäivä Oulussa 1984.
- Nro 198. Eero Kubin ja Hannu Raitio. Puustovauriot keväällä 1985 Suomessa. Metsäammattimiehille osoitetun kyselyn tulokset.
- Nro 199. Mikko Moilanen. Runkokäyrämallien tarkkuus lannoitetussa rämemännikössä. 1985.
- Nro 204. Mikko Moilanen ja Jorma Issakainen. Lannoitusvaikutuksen riippuvuus levitysajankohdasta nuorissa rämemänniköissä. 1985.
- Nro 206. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1985. Kannuksen ja Muhoksen tutkimusasemien yhteinen julkaisu.
- Nro 222. Matti Oikarinen ja Yrjö Norokorpi. Vuosina 1956-65 viljeltyjen männynntaimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. 1986.
- Nro 255. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1986.
- Nro 281. Mikko Moilanen, Ari Ferm ja Jorma Issakainen. Kasvihuonekokeita erilaisten jäteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. 1987.
- Nro 290. Pentti Niemistö. KTP-84 tiedonkeruupäätteen metsässä kerättävän tiedon tallennusvälineenä. 1988.
- Nro 295. Metsäntutkimuspäivä Kärsämäellä 1987. 1988.
- Nro 299. Eero Kubin ja Jarmo Poikolainen (toim.). Ekologisten ja ekofysiologisten tutkimusten painopistealueet ja mittausvälineiden tarve metsänhoidon tutkimusosastolla. 1988.
- Nro 327. Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1988. 1989.
- Nro 361. Metsäntutkimuspäivät Oulussa 1989. 1990.
- Nro 381. Jukka Valtanen. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. 1991.
- Nro 387. Metsäntutkimuspäivät Haapajärvellä 1990. 1991.
- Nro 388. Jukka Valtanen ja Aarne Lehtosaari. Männyn uudistumiseen vaikuttavat tekijät Siikalatvan alueella. 1991.
- Nro 389. Matti Oikarinen. Suomussalmen männynviljelyinventointi. 1991.
- Nro 419. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. 1992.
- Nro 432. Pentti Niemistö. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. 1992.
- Nro 461. Eero Kubin. Metsäekologisen havaintoverkoston kehittäminen. 1993.
- Nro 464. Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. 1993.
- Nro 499. Jorma Issakainen, Mikko Moilanen & Klaus Silfverberg. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. 1994.