

Matti Oikarinen ja Jorma Pasanen

Turpeentuhka kangasmaan lannoituksessa

Oikarinen, M. & Pasanen, J. 1994. Turpeentuhka kangasmaan lannoituksessa. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1994(2): 105–112.

Puuntuhkalla on tyypirikkailta turvemaiilla saatu aikaan voimakas ja pitkäaikainen maanparannusvaikutus. Puuntuhkan vaikutus johtuu sen tasapainoisesta ja monipuolisesta ravinnesisällöstä, joka samalla pienentää turpeen happamuutta, minkä tuloksena on turpeen omien ravinneverojen tehokas mobilisaatio vilkkaan pieneliöstötoiminnan seurauksena.

Turpeentuhka rinnastetaan yleensä läheisesti puuntuhkaan. Kokemukset siitä ovat paljon puuntuhkaa vähäisemmät ja lyhyemmältä aikaväliltä sekä viittaavat huomattavasti heikompaan maanparannusvaikutukseen. Selitys löytyy sen puuntuhkaa huomattavasti pienemmistä ravinnemääristä ja erilaisista ravinnesuhteista.

Tutkimuksessa selvitettiin turpeentuhkalannoituksen vaikutusta kangasmaan puuston kasvuun viiden kasvukauden ajalta. Koemetsiköt sijaitsevat asutuksen, liikenteen ja teollisuuden päästöjen vaikutuspiirissä, minkä vuoksi niillä seurataan tuhkalannoituksen pitkäaikaisvaikutuksia puuston kasvuun ja terveydentilaan sekä selvitetään mahdollisuuksia torjua ilman epäpuhtauksien haittavaikutuksia.

Varttuneissa metsiköissä turpeentuhkalannoituksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta puuston kasvuun. Sen sijaan nuorena kasvatusmetsikössä 12 tonnin tuhka-annos hehtaarille lisäsi männyn viiden vuoden tilavuuskasvua $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (21 %). Tulokset viittaavat siihen suuntaan, että turpeentuhka on happamoitumisen torjunnassa kalkkia parempi vaihtoehto.

Asiasanat: turpeentuhka, metsänparannus, kivennäismaat

Kirjoittajien osoite: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, 91500 Muhos. Faksi (981) 533 3044, sähköposti matti.oikarinen@metla.fi

Hyväksytty 24.11.1994

1 Johdanto

Puuntuhkan vaikutukset turvemaiilla tunnetaan pitkän ja perusteellisen tutkimustyön tuloksena hyvin. Puuntuhkalla saadaan aikaan suhteellisen hitaasti käynnistyvä, pitkäaikainen ja voima-

kas puuston kasvureaktio etenkin sellaisilla soilla, joiden turpeessa on runsaasti orgaaniseen ainekseen sitoutunutta tyypeä. Puuntuhkalannoituksessa turpeeseen lisätään fosforia, kaliumia ja hivenravinteita, ja tuhkan emäksiset aineet nostavat turpeen pH:ta niin, että vilkas pieneliöstötoiminta tulee mahdolliseksi. Tämän seurauksena kasvupai-

kan ravinnetalous saadaan puiden kasvulle suotuisaksi (Malmström 1952, Lukkala 1951, 1955, Huikari 1953, Karsisto 1979, Silfverberg ja Huikari 1985). Erityisen tarkasti puuston kasvureaktiota siihen vaikuttavine syineen on tutkittu Muhoksen Lepiniemessä v. 1947 puuntuhkalla lannoitetulla kokeella (Silfverberg ja Hotanen 1989). Tämän lisäksi puuntuhkalannoitusta on käytetty hyvällä menestyksellä ravinneperäisten kasvuhäiriöiden torjunnassa (Reinikainen 1980, Veijalainen ym. 1984).

Turpeentuhkan metsänparannusvaikutuksista on olemassa vähän ja lyhytaikaisia kokeita, mutta tähänastiset tulokset ovat samansuuntaisia puuntuhkalla saatujen kanssa. Turpeentuhkan soveltuvuutta metsänlannoitukseen heikentävät sen alhaiset ravinnepitoisuudet ja ravinteiden vaikealiukoisuus. Suurin puute on alhainen kaliumpitoisuus, joka jää usein alle kymmenesosaan hyvälaatuisen puuntuhkan kaliumpitoisuudesta. Myös ns. emäksisiä kationeja (Ca ja Mg) on turpeentuhkassa selvästi vähemmän kuin puuntuhkassa (Silfverberg 1988a).

Issakainen ym. (1994) saivat turpeentuhkalla selvän lannoitusreaktion ojitettujen turvemaiden kokeissa, mutta reaktio oli kuitenkin huomattavasti heikompi kuin puuntuhkalla. Turpeentuhka nosti merkittävästi neulasten fosforipitoisuutta, mutta vaikutus muihin ravinteisiin jäi hyvin pieneksi. Turpeentuhkan aiheuttaman kasvureaktion syynä oli pääasiassa fosfori, joten turpeentuhkaa on pidettävä ennen kaikkea fosforilannoitteena (Issakainen ym. 1994).

Turpeentuhkalla on tehty laaja-alaisia käytännön lannoituksia etupäässä turvemaidella mm. Oulun ja Kajaanin kaupunkien sekä Metsähallituksen Ilo-mantsin hoitoalueen mailla. Oulun kaupungin mailla turpeentuhkan vaikutus on ollut puustolle edullinen. Tuhkalannoitus on alkanut lisätä turvemaidella männynntaimikoiden pituuskasvua 3–4 vuoden kulluttua lannoituksesta. Varttuneissa metsiköissä vaikutus näkyi selvimmän korpikuusikoiden sädekasvussa. Myös turvemaiden kasvatusmänniköissä sädekasvu lisääntyi lyhytaikaisesti. Tuhkalannoitus lisäsi myös puiden neulasten fosfori- ja kalsiumpitoisuutta (Silfverberg ja Issakainen 1987).

Turvemaiden tuhkalannoituskokeista saadut tulokset eivät ole suoraan rinnastettavissa kangasmaille, koska niiden ravinnetalous on erilainen. On luonnollista, että tuhkalannoitus parantaa puuston

kasvua turvemaidella, sillä näillä on yleisesti puutetta kaliumista, fosforista ja monista hivenaineista, joita varsinkin puuntuhkassa on runsaasti tasapainoisessa ja kasveille käyttökelpoisessa muodossa (Malmström 1952, Muller 1983). Lisäksi turpeen pH:n kohoaminen tuhkalannoituksen seurauksena parantaa turpeen omien ravinnevarojen mobilisointia (Huikari 1953, Karsisto 1979).

Kangasmailla tuhkan sisältämiä ravinteita on yleensä riittävästi puuston tarpeisiin nähden. Tuhkalannoituksella saattaa kuitenkin olla välillinen kasvuoloja parantava vaikutus, koska sen sisältämät emäksiset aineet vähentävät maan happamuutta ja nopeuttavat täten hajotustoimintaa sekä parantavat ravinteiden saatavuutta (Lucas ja Davis 1961, Moore ja Moore 1976). Kangasmaiden tuhkalannoitusta onkin syytä tarkastella enemmän maanparannuksen ja maaperän biologisen aktiivisuuden kuin ravinteiden lisäyksen näkökulmasta. Tämä on viime aikoina tullut esille ns. terveyslannoituksissa, joissa lannoituksen keskeisin tarkoitus ei ole puuston kasvun suora lisääminen, vaan ympäristön epäpuhtauksien haittavaikutusten torjunta, mikä voi epäsuorasti vaikuttaa myönteisesti myös kasvuun.

Kangasmailla puuston kasvua eniten rajoittava tekijä on käyttökelpoisen tynen määrä. Vaikka metsämaan puiden juuristokerroksessa on yleensä tyyppiä 2–3 t ha⁻¹, on ongelmana orgaanisten tyyppiyhdisteiden hidas mineralisoituminen (Viro 1969). Liukoisien tynen ja kaliumin saatavuutta puille ei ole pystytty lisäämään alentamalla maan happamuutta kalkituksella (Derome 1990). Puuston kasvureaktio on ollut negatiivinen kalkituksen jälkeen (Popovic ja Andersson 1984, Derome ym. 1986). Kaikesta päätellen kalkitus on toimenpide, joka häiritsee puiden ravinnetaloutta ravinteiden kemiallisen ja biologisen sitoutumisen, antagonismin, liukoisuuden muutosten sekä pieneliöstön ja pintakasvillisuuden kilpailun lisääntymisen kautta (Nihlgård 1988, Persson 1988, Derome 1990, Lipas 1990). Tuhkalannoitus vaikuttaa todennäköisesti paremmin monipuolisen ravinnesisällön ansiosta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää turpeentuhkalannoituksen vaikutusta kangasmaan puuston kasvuun ja kehitykseen metsiköissä, jotka ovat olleet vuosikymmeniä ilman epäpuhtauksien vaikutusten alaisia. Lannoitusreaktiota tarkastellaan ensivaiheessa puuston pohjapinta-alan, valtapituu-

den ja tilavuuskasvun osalta. Myöhemmin on tarkoitus selvittää turpeentuhkalannoituksen vaikutusta mm. kasvupaikan puuston terveyteen, ravinnetalouteen ja pintakasvillisuuteen. Terveystilan seurantaan varten koealoilla on tehty harsuuntumismittauksia.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koealat ja puusto

Tutkimuksen aineisto koostuu kolmesta kokeesta, jotka sijaitsevat Kajaanin kaupungin maalla. Pölyvaaran koe ($64^{\circ}14'N$, $27^{\circ}44'E$) on kaupungin pohjoislaidalla, Isonkivenkankaan koe ($64^{\circ}10'N$, $27^{\circ}41'E$) sijaitsee n. 6 km:n ja Hankakankaan koe ($64^{\circ}8'N$, $27^{\circ}38'E$) n. 10 km:n etäisyydellä kaupungista lounaaseen. Lämpösumma kokeilla on keskimäärin 1 005–1 015 d.d. ja korkeus merenpinnasta on 175–180 m.

Pölyvaaran koe on metsätyypiltään VMT ja puustoltaan lähes puhdasta kuusikkoa. Sekapuuston tilavuusosuus oli keskimäärin 12 %, josta männyn osuus oli 86 % ja koivun 14 %. Puusto on luontaisesti syntynyt ja iältään se oli kokeiden perustamishetkellä 125–145 vuotta. Puuston runkotilavuus koealoilla oli 158–251 m³ ha⁻¹ ja runkoluku 408–716 kpl ha⁻¹.

Isonkivenkankaan kokeen metsätyyppi on EVT ja puusto oli 40 vuoden ikäistä kylväen perustettua männikköä. Sekapuuston tilavuusosuus oli keskimäärin 5,6 %, josta kuusta 84 % ja loput koivua. Puuston kuutiomäärä koealoilla oli 76–115 m³ ha⁻¹ ja runkoluku 850–1 313 kpl ha⁻¹.

Hankakankaan kokeen metsätyyppi on EVT ja 80 vuoden ikäinen puusto luontaisesti syntynyttä lähes puhdasta männikköä. Sekapuuston tilavuusosuus oli keskimäärin 5,4 %, josta koivua 96 % ja loput kuusta. Puuston kuutiomäärä koealoilla oli 104–203 m³ ha⁻¹ ja runkoluku 331–663 kpl ha⁻¹.

2.2 Tuhkalannoitus

Tuhkalannoitettuja koealoja on yhteensä 28 kpl ja lannoittamattomia vertailualoja 10 kpl. Koealat ovat

kooltaan 50 m × 50 m. Tuhka levitettiin käsityönä ahkiosta kevättalvella 1987. Toistoja Pölyvaarassa oli neljä ja Isonkivenkankaalla ja Hankakankaalla kolme. Tuhkan käyttötasot olivat 0, 2,5, 4, 8 ja 12 t ha⁻¹.

Turpeentuhka oli peräisin Kajaanin kaupungin omistamasta Palokankaan lämpökeskuksesta, joka käytti talvella 1986/1987 polttoaineenaan pala- ja jyrsinturvetta sekä hieman haketta. Hakkeesta peräisin olevan tuhkan osuus on n. 3 painoprosenttia.

Tuhka oli kuivaa lentotuhkaa, joka kerättiin lämpökeskuksesta kontteihin, jotka tyhjennettiin kasaan koemetsikön läheisyydessä olevalle välivarastoalueelle punnitusta ja koeruuduille levittämistä varten. Välivarastokasasta otettiin 10–12 tuhkanäytettä kasan eri osista mahdollisimman hyvän edustavuuden takaamiseksi. Näytteet analysoitiin Muhoksen tutkimusaseman laboratorioissa. Tuhkan sisältämät ravinnepitoisuudet ilmaistaan osanäytteiden keskiarvoina (taulukko 1). Osanäytteiden ravinnepitoisuuksien variaatiokerroimet olivat keskimäärin 8,9, mikä osoittaa, että kussakin metsikössä käytetty tuhka oli suhteellisen tasalaatuista. Taulukkoon 1 on vertailun vuoksi otettu tutkimusaseman lämpökeskuksesta poltetun koivuhalon tuhkan vastaavat ravinnepitoisuudet kahden tuhkaerän keskiarvoina.

Taulukko 1 osoittaa, että tuhkaerien ravinnepitoisuudet vaihtelivat suuresti useiden ravinteiden osalta. Suuri vaihtelu selittyy sillä, että koemetsiköiden tuhka oli peräisin eri soiden turpeesta ja että hakkeen määrä vaihteli erästä toiseen. Koska metsikön sisällä ravinnemäärien vaihtelu jäi pieneksi, eivät metsiköiden väliset erot häiritse koejärjestelyjä.

Koivuhalon tuhka sisältää paljon enemmän ravinteita kuin turpeen tuhka. Suurimmillaan ero on kaliumin kohdalla 15–50 kertainen. Myös booria ja sinkkiä on koivuhalon tuhkassa runsaasti turpeentuhkaan verrattuna. Fosforia turpeentuhkassa on parhaimmillaan lähes yhtä paljon kuin puuntuuhkassa ja rautaa huomattavasti enemmän.

Taulukossa 2 on laskettu tuhka-annoksia vastaavat kalium- ja fosforimäärät sekä puhtaan kalkkikiven (CaCO₃) ja tuhkan kalkkivaikutusta (CaCO₃ + K₂CO₃ + MgCO₃) osoittavat ainemäärät taulukon 1 pitoisuuksien mukaisesti.

Käytetyt fosforimäärät peittävät reilusti kangas-

Taulukko 1. Turpeentuhkaerien ravinnepitoisuudet ja vertailuna koivuhalon tuhka.

Koe	Tuhkaa	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%									
Pölyvaara	85,5	19,7	6,6	62	9,8	177	2,4	150	90	161
Isonkivenkangas	91,6	4,6	2	58	9,7	190	8,1	82	92	16
Hankakangas	80,5	17,3	3,9	52	6,8	162	2,2	97	100	48
Koivuhalon tuhka	95,6	23,6	102	222	42,5	7,7	21,8	2165	190	542

Taulukko 2. Tuhka- ja ravinnemäärät käsittelyittäin.

Koe	Tuhkaa	K	P	CaCO ₃	Kalkki-
					vaikutus
kg ha ⁻¹					
Pölyvaara	8000	53	157	1240	1450
Isonkivenkangas	2500	5	12	362	379
	4000	8	19	580	607
	8000	16	37	1160	1213
	12000	24	56	1740	1820
Hankakangas	2500	10	43	325	378
	4000	16	69	520	605
	8000	31	138	1040	1209
	12000	47	207	1560	1813

maiden lannoitusuusositusten ohjeavot 33–44 kg ha⁻¹ (Paavilainen 1979) tai 15–24 kg ha⁻¹ (Metsänterveysopas 1988). Kaliummäärät ovat pieniä, mutta sen puutettakaan ei ole todettu kangasmailla (Viro 1972, Mälkönen 1979). Kalkkivaikutus puolestaan lähentelee suurimmillaan 2 000 kg ha⁻¹, mikä on usein kalkituskokeiden pienin kalkkimäärä (Dero-me ym. 1986).

2.3 Mittaukset ja analyysit

Kokeiden puustot mitattiin ensi kerran keväällä 1987 tuhkalannoituksen jälkeen. Kaikista puista ($d_{1,3} > 45$ mm) mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja koe-puista lisäksi $d_{6,0}$ ja puun pituus. Koepuut valittiin puiden luvun yhteydessä Kupo-summaina käytäen ja numeroitiin pysyvästi. Koepuita valittiin vähintään 50 kpl metsikön jokaista käsittelyä koh-

ti. Lisäksi koepuista määritettiin latvuserkos, tek-ninen laatu ja terveydentila (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Puustot mitattiin toisen ker-ran syksyllä 1991, jolloin tuhkalannoitus oli vai-kuttanut 5 kasvukautta. Metsikkötunnusten laske-minen mittaustulosten tapahtui Metsäntutkimus-laitoksen KPL-ohjelmistoa käyttäen.

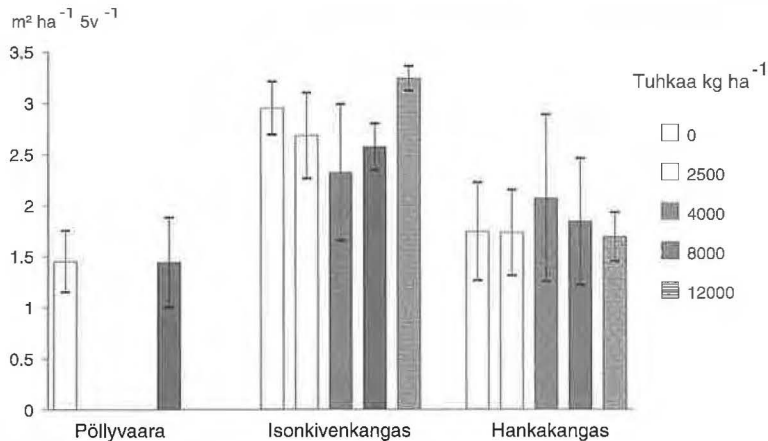
Käsittelyjen välisten erojen tilastollista merkitse-vyyttä tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Mikäli varianssianalyysi osoitti merkitseviä eroja käsittelyjen välillä, jatkettiin analyysiä Stu-dent-Newman-Keulsin monivertailutestillä erojen paikallistamiseksi. Student-Newman-Keulsin tes-tiin päädyttiin sen vuoksi, että se on harhaton myös tapauksissa, joissa toistojen määrä vaihtelee käsit-telystä toiseen. Tämä testi mahdollisti luotettavat analyysit silloin, kun aineistosta poistettiin vaiheit-tain poikkeavia koealoja.

Kokeiden perustamismittausten yhteydessä suo-ritettu varianssianalyysi osoitti, että eri lannoitus-käsittelyjä saaneiden koealojen puuston pohjapin-ta-alassa, valtapituudessa tai tilavuudessa ei lähtö-tilanteessa ollut merkitseviä eroja. Jatkoanalyysit lannoitusreaktioiden selvittämiseksi olivat siten pe-rusteltuja.

3 Tulokset

3.1 Pohjapinta-alan kasvu

Eri käsittelyillä ei ollut varianssianalyysin mukaan merkitsevää vaikutusta puuston pohjapinta-alan kasvuun missään koemetsikössä (kuva 1).



Kuva 1. Pohjapinta-alan kasvu kokeittain eri käsittelyillä 5 kasvuvuoden aikana (jano kuvaa keskihajontaa).

Pölyvaarassa pohjapinta-alan viiden vuoden kasvu oli molemmilla käsittelyillä sama eli $1,4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Isonkivenkankaalla, jossa kaikki käsittelyt olivat edustettuina, suurin viiden vuoden pohjapinta-alan kasvu, $3,2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, oli $12\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa saaneella käsittelyllä, mutta lähes samansuuruinen, $2,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, oli lannoittamattoman puuston kasvu. Muilla käsittelyillä pohjapinta-alan kasvu oli edellisiä pienempi vaihdellen välillä $2,3\text{--}2,7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Hankakankaalla viiden vuoden suurin pohjapinta-alan lisäys $2,1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ oli käsittelyllä $4\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa, joskin erot eri käsittelyjen välillä olivat pieniä. Muiden käsittelyjen vastaavat arvot vaihtelivat välillä $1,7\text{--}1,8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (kuva 1).

3.2 Valtapituuden kasvu

Varianssianalyysin mukaan käsittelyt eivät eronneet toisistaan puuston viiden vuoden valtapituuden kasvun osalta (kuva 2).

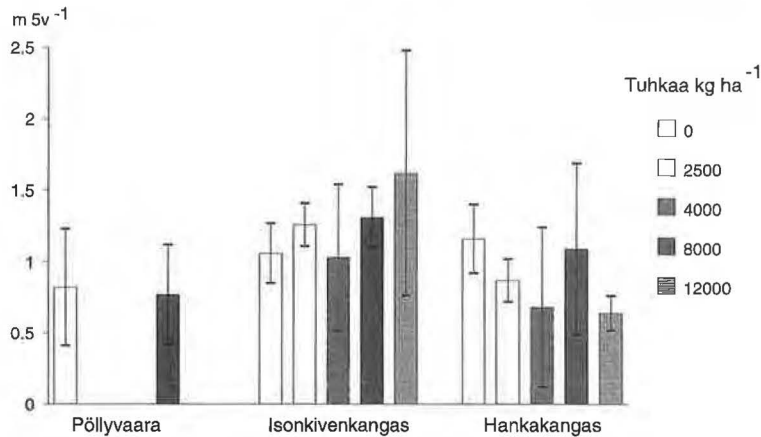
Valtapituuden kasvu oli Pölyvaarassa $0,8 \text{ m}$ molemmilla käsittelyillä. Isonkivenkankaalla viiden vuoden valtapituuden suurin lisäys, $1,6 \text{ m}$, oli käsittelyllä $12\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa, toiseksi suurin, $1,3 \text{ m}$, oli käsittelyllä $8\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa, josta ei paljon poikennut $2\,500 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa saanut käsittely. Lannoittamaton ja tuhkalannoitus $4\,000 \text{ kg}$

ha^{-1} olivat vastaavasti arvoltaan $1,1 \text{ m}$ ja $1,0 \text{ m}$. Valtapituuden kasvu näytti siis lisääntyvän tuhkamäärän kasvaessa. Hankakankaalla viiden vuoden valtapituuden kasvu, $1,2 \text{ m}$, oli suurin 0 -käsittelyllä ja muilla käsittelyillä kasvu pieniä lähes suoraviivaisesti tuhkamäärän kasvaessa. Poikkeuksen teki kuitenkin $8\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa saanut käsittely $1,1 \text{ m}$ kasvulla (kuva 2).

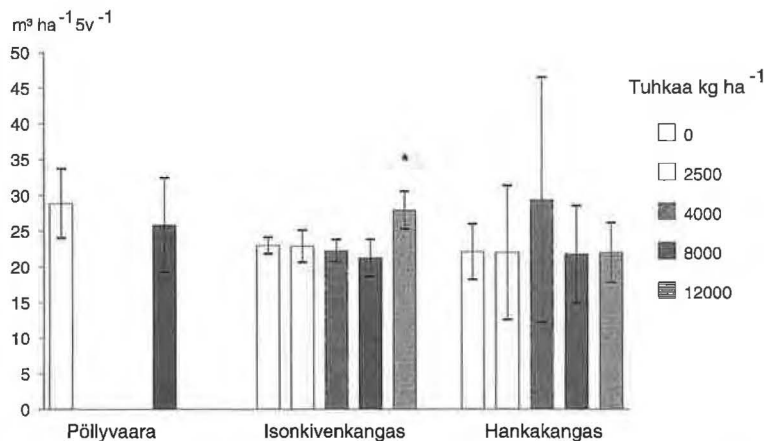
3.3 Tilavuuden kasvu

Varianssianalyysin mukaan tuhkalannoituskäsittelyllä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus puuston tilavuuskasvuun Isonkivenkankaan kokeella ($p = 0,0256$). Student-Newman-Keulsin monivertailutesti osoitti tuhkakäsittelyn $12\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ olevan merkitsevästi muita käsittelyjä paremman (kuva 2).

Pölyvaarassa suurin viiden vuoden tilavuuskasvu, $28,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, oli 0 -käsittelyllä, ja tuhkaa $8\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ saaneella käsittelyllä $25,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Isonkivenkankaalla käsittelyt $0\text{--}8\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa olivat viiden vuoden kasvultaan keskenään lähes samaa suuruusluokkaa kasvun ollessa $21,2\text{--}22,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Näistä poikkesi $12\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ tuhkaa saanut käsittely, jonka kasvu, $27,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, oli merkitsevästi muita parempi. Hankakankaalla suurin kasvu, $29,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, oli käsittelyllä, joka sai tuhkaa $4\,000 \text{ kg ha}^{-1}$. Muilla käsittelyillä kasvu oli heikompa,



Kuva 2. Valtapituuden kasvu kokeittain eri käsittelyillä 5 kasvukauden aikana.



Kuva 3. Tilavuuden kasvu kokeittain eri käsittelyillä 5 kasvukauden aikana (* = ero merkitsevä 5 %:n riskillä).

mutta tasaista vaihdellen 21,7–22,1 m³ ha⁻¹ (kuva 3).

Sekapuuston mahdollista vaikutusta koalojen kasvureaktioon tutkittiin korrelaatioanalyysillä ja todettiin, että sekapuuston tilavuuden osuudella kokonaispuustosta ei ollut korrelaatiota runkotila-

vuuden tai viiden vuoden kasvun kanssa. Myöskään koalojen puuston kunnossa tai terveydentilassa ei todettu mitään tavallisesta poikkeavaa, mikä olisi voinut vaikuttaa kasvureaktioon. Tällä perusteella havaittuja kasvureaktioita on luontevaa pitää tuhkakäsittelyjen seurauksena.

4 Tulosten tarkastelu

Pölyvaarassa (VMT) ja Hankakankaalla (EVT), joissa puusto on järeää ja iäkästä, turpeentuhkalannoituksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta puuston kasvuun. Sen sijaan Isonkivenkankaalla (EVT), jossa puusto on nuorta kasvatusmännikköä, turpeentuhkalannoitus $12\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ lisäsi puuston tilavuuskasvua $5\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$ (21 %) viiden kasvukauden aikana lannoittamattomaan verrattuna.

Tuhkalannoituksen vaikutukset puuston kasvuun olivat ensimmäisellä 5-vuotiskaudella vähäisiä. Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että kangasmaiden lannoituksissa saadaan positiivinen reaktio vain tyypellä lukuunottamatta OMT-tyyppin ja sitä parempia hyvässä kasvukunnossa olevia kuusikoita (Viro 1967, 1972, Tamm 1977, Mälkönen 1979). Positiivinen kasvureaktio Isonkivenkankaan nuorena kasvatusmetsässä on ilmeisesti seurausta kasvupaikan biologisen aktiivisuuden kohoamisesta, mikä puolestaan parantaa maan tyyppiyhdisteiden mineralisoitumista, ilmakehän typen sitoutumista ja yleistä ravinteiden saatavuutta (Uomala 1979, Raudaskoski 1984, Niemi 1986, Setälä ja Huhta 1991). Tässä suhteessa viiden vuoden seurantajakso on lyhyt ja antaa vasta alustavia tuloksia.

Isonkivenkankaalla käytetty suurin tuhkamäärä $12\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ sisälsi fosforia 56 kg, mikä on enemmän kuin tämän hetken lannoitussuositus. Kaliumia oli vastaavasti 24 kg ja kalsiumia 696 kg, mikä vastaa $1\ 740\ \text{kg}$ kalsiumkarbonaattia CaCO_3 . Tuhka-annoksen kalkitusvaikutus, jossa on laskettu yhteen kalsiumin, kaliumin ja magnesiumin määrät karbonaateina ($\text{CaCO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{MgCO}_3$) ja jonka vaikutus on identtinen vastaavan dolomiittikalkkiannoksen kanssa, on vastaavasti $1\ 820\ \text{kg}$. Se on puolestaan samaa suuruusluokkaa Deromen ym. (1986) kalkituskokeissa käyttämien kalkkimäärien kanssa, minkä vuoksi tuloksia voidaan verrata toisiinsa. Kun Deromen ym. tutkimuksessa kalkitus aiheutti männiköissä lievän (3 %), mutta kuusikoissa huomattavan (10 %) kasvutappion, saatiin tässä tutkimuksessa vastaavan kalkitusvaikutuksen antavalla tuhka-annoksella nuorena Isonkivenkankaan mäntymetsässä 21 %:n lisäys tilavuuskasvuun.

Pienemmillä annoksilla ei ollut kasvuun merkitsevää vaikutusta. Tulos on vaikeasti tulkittavissa, koska kahden muun kokeen, Hankakankaan ja Pölyvaaran, antamat tulokset ovat poikkeavia. Hankakankaan järeässä männikössä tuhalla ei saatu minikäänlaista tilavuuskasvureaktiota aikaan. Pölyvaaran vanhassa kuusikossa tilavuuskasvu taantui keskimäärin 10 %, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tulosten vaikeaselkoisuutta voi selittää vanhojen koemetsiköiden suuri sisäinen vaihtelu, mikä varsinkin Pölyvaarassa oli ilmeisen ratkaiseva. Kun Pölyvaaran analyysistä poistettiin vaihteittain kaikkein poikkeuksellisimpia havaintoja, keskiarvot muuttuivat jopa päinvastaiseen suuruusjärjestykseen. Tämän vuoksi Pölyvaaran tulosta ei voida pitää luotettavana.

Tulokset viittaavat siihen suuntaan, että kangasmaiden happamoitumisen torjunnassa turpeentuhka ei aiheuta kalkituksen tapaista kasvun taantumista kalkkia monipuolisemman ravinnesisältönsä vuoksi. Nuorissa metsissä kasvureaktio voi olla selvästi positiivinen. Jatkomittaukset tulevat osoittamaan, mikä on turpeentuhkan vaikutus pitkällä aikavälillä kangasmaan tuotoskykyyn, ravinnetalouteen sekä puiden terveydentilaan olosuhteissa, joita leimaa jatkuva ilman epäpuhtauksien aiheuttama happamoituminen yhdessä muiden haittavaikutusten kanssa.

Kirjallisuus

- Derome, J. 1990. Effects of forest liming on the nutrient status of podzolic soils in Finland. *Julkaisussa: Sottl, H.W. & Huttl, R.F. (toim.). Management of nutrition in forests under stress. Proc. IUFRO Symposium held at Albert Ludwigs University, Freiburg, Germany, Sept. 18–21, 1989. Water, Air and Soil Pollution 54: 337–375.*
- , Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environmental Protection Board, Report 3084. 107 s.
- Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 42(2)*. 18 s.

- Issakainen, J., Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaa ojitetuilla rämeillä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 499. 22 s. ISBN 951-40-1364-6.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa 2. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on the activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatland. Part 2. Effect of ash fertilisation. *Suo* 30(4-5): 81-91.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorin puute kangasmaan kuusikossa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352. 22 s.
- Lucas, R.E. & Davis, J.F. 1961. Relationships between pH-values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science* 92: 177-182.
- Lukkala, O.J. 1951. Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(6). 53 s.
- 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilisers as an aid to forest drainage. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 6-7: 189-191, 8: 273-276.
- Malmström, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(17). 26 s.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 257. 237 s.
- Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. 1988. Samerka Oy, Helsinki. 168 s. ISBN 951-9176-34-9.
- Moore, J.W. & Moore, E.A. 1976. *Environmental chemistry*. Academic Press, New York. 499 s.
- Müller, M. 1983. Puuntuhkan vaikutus puna-apilanurmen typpitalouteen. Teoksessa: Biologinen typensidonta peltokasvien viljelyssä. Suomen Akatemian sopimus-tutkimuksen nro 383 loppuraportti. s. 294-313.
- Mälkönen, E. 1979. Kangasmaiden lannoitustutkimus. Summary: Research on forest fertilization on mineral soils. *Folia Forestalia* 400: 20-28.
- Niemi, M. 1986. Hyödylliset juuristomikrobit. *Luonnon Tutkija* 90(1): 53-57.
- Nihlgård, B. 1988. Kalken-marken-trädet. Summary: Liming-soil-tree. *Kungl. skogs- och lantbruksakademiens tidskrift. Suppl. 22*: 19-26. ISSN 0075-7233.
- Paavilainen, E. 1979. *Metsänlannoitusopas*. Kirjayhtymä, Helsinki. 112 s.
- Persson, T. 1988. Kalken, markbiologin och markens kväveutbud. Summary: Liming, soil biology and nitrogen mineralisation. *Kungl. skogs- och lantbruksakademiens tidskrift. Suppl. 22*: 37-46. ISSN 0075-7233.
- Pietiläinen, P. & Tervonen, M. (toim.). 1980. Tuhka metsänlannoitteena. Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20. 44 s.
- Popovic, B. & Andersson, F. 1984. Markkalkning och skogsproduktion. National Swedish Environmental Protection Board, Report 1792. 107 s.
- Raudaskoski, M. 1984. Ritsosfääri. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 40: 83-95.
- Reinikainen, A. 1980. Tuhkalannoituksen ekologiaa. Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 20: 24-27.
- Setälä, H. & Huhta, V. 1991. Soil fauna increase Betula pendula growth: laboratory experiments with coniferous forest floor. *Ecological Publications. Ecological Society of America* 72(2): 665-671.
- Silfverberg, K. 1988a. Erilaisten tuhkien ominaisuuksista ja käyttökelpoisuudesta suometsien lannoituksessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 295: 56-62.
- 1988b. Soiden käyttö metsänkasvatukseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 308: 106-115.
- & Hotanen, J.P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic Shpagnum papillosum fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742. 23 s.
- & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- & Issakainen, J. 1987. Turpeentuhkan vaikutuksesta puuston kasvuun ja ravinnetilaa käytännön lannoitusyömaalla. Summary: Growth and foliar nutrients in peat-ash fertilized stands. *Suo* 38(3-4): 53-62.
- Tamm, C.O. 1977. Skogsekosystemets reaktion på växt-näringstillförsel. *Julkaisussa: Skogsgödsling nu och i framtiden - en lägesorientering*. Kungl. skogs- och lantbruksakademiens tidskrift. Suppl. 11: 7-15.
- Uomala, P. 1979. Mikrobit metsien typpilannoittajina. *Medisiinari* 4: 51-53.
- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- Viro, P.J. 1967. Forest manuring on mineral soils. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsöksvesen* 85, Bind 23: 113-136.
- 1969. Prescribed burning in forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(7). 49 s.
- 1972. Die Waldüngung auf finnischen Mineralböden. *Folia Forestalia* 138. 19 s.