

**MAANPARANNUSTOIMENPITEIDEN VAIKUTUKSISTA ORGAANISTA
AINETTA HAJOTTAVIEN MIKROBIEN AKTIIVISUUTEEN SUOMETSISSÄ
OSA II
TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUS**

**EFFECT OF FOREST IMPROVEMENT MEASURES ON ACTIVITY OF
ORGANIC MATTER DECOMPOSING MICRO-ORGANISMS IN FORESTED
PEATLANDS
PART II
EFFECT OF ASH FERTILIZATION**

1. JOHDANTO

Puun tuhkan soveltuvuutta suometsien lannoitteeksi on Suomessa kokeiltu jo vuodesta 1937 lähtien. Ruotsissa vanhimmat kokeet perustettiin vuonna 1918. Nämä kokeet ovat osoittaneet puuntuhkan soveltuvan erittäin hyvin metsänlannoitteeksi.

Lannoitteiden hinta on viime aikoina ollut voimakkaassa nousussa. Öljyn hinnan nousu edelleen tulee vaikuttamaan lannoitteiden hintaan. Samanaikaisesti Suomessa syntyy kuitenkin puun ja kuoren tuhkaa noin 50—60 tonnia vuodessa. Tämä jätetuhka voitaisiin käyttää metsänlannoitukseen ja palauttaa tuhkan sisältämät ravinteet takaisin luontoon.

Tuhkalannoituksen positiivisen vaikutuksen syitä ei ole pystytty kokonaan selvittämään. Vanhoilta tuhkalannoitusruuduilta tehdyt ravinneanalyytit ovat osoittaneet, että tuhka lisää etenkin fosforin ja kalsiumin sekä hivenaineiden määrää turpeessa. On todettu myös, että tuhkalannoitus vähentää turpeen happamuutta. Malmströmin (1952) perustamissa pohjoismaiden vanhimmissa tuhkalannoituskokeissa vähensi tuhkalannoitus turpeen happamuutta vain runsaasti tuhkaa (12.500 kg/ha) saaneella alueella. Reaktio oli suurin 0—10 cm:n pintakerroksessa, jossa pH vuonna

1949 oli tuhkaruudulla 4,9 ja vertailu-alueella 3,8.

Malmström (1952) tutki myös tuhkalannoituksen vaikutusta turpeen ravinnepitoisuuksiin. Ravinteiden kokonaismäärät olivat puuntuhkalla lannoitetulla ruudulla huomattavasti korkeammat kuin lannoittamattomalla. Ainoan poikkeuksen teki kokonaistyyppi, joka oli lannoitetulla ruudulla 0—5 cm:n pintakerroksessa 1,59 % ja lannoittamattomalla 1,84 %. Hän oletti tuhkalannoituksen aiheuttavan voimistuneen tyypin kulutuksen maaperässä, mikä oli seurauksena puiden parantuneesta kasvusta tuhkalannoituksen jälkeen. Malmström totesi myös, että luontaisesti typpirikkaalla kasvualustalla puuntuhkalla saadaan voimakkaampi kasvureaktio kuin typpiköyhällä. Tämä on luonnollista, koska tuhka ei sisällä typpeä.

Suomen vanhimmat puuntuhkakokeet on perustettu v. 1937 Vilppulan Jaakkoin-suolle ja Kaakkosuolle (Lukkala 1951).

Huikari (1951) on havainnut Vilppulan Kaakkosuolla rimpinevan muuttuneen selvästi tuhkalannoituksen jälkeen sekä kasvilisuudeltaan että turpeen rakenteen osalta. Runsaassa kymmenessä vuodessa kasvoi alueelle täystiheä koivikko ja rehevä aluskasvillisuus. Turpeen pintakerros (0—10 cm) muuttui ilmakekseksi ja mureaksi. Tuhkalannoitetulla koealalla oli bakteereja, hiivoja ja sädesieniä huomattavasti vähemmän kuin lannoittamattomalla. Sitä vastoin tuh-

kalannoitus lisäsi voimakkaasti homeiden määrää pintaturpeessa.

Huikari (1953) on tutkinut myös ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksia soiden pieneliöstöön Vilppulan Jaakkoinosuolla isovarpuisella rämeellä. Toisin kuin Kaakosuolla lisäsi tuhkalannoitus Jaakkoinosuolla aerobisten bakteerien ja hiivojen lukumääriä turpeen pintakerroksessa (5 cm). Homeiden määrä tuhkalannoitusruudulla oli lisääntynyt etenkin 10 cm:n syvyydessä. Huikarin (1953) tutkimuksessa tuhkalannoituksen vaikutus ilmeni toistakymmentä vuotta lannoituksen jälkeen ravinnepitouksuksissa ja pieneliöstön selvinä muutoksina vain 10 cm:n paksuisessa pintakerroksessa. Malmströmin (1952) Ruotsissa vuonna 1918 perustamalla kokeella esiintyi kolmenkymmenen vuoden kuluttua mykoritsasieniä tuhkaruudulla runsaasti. Vuonna 1926 perustetulla Norra Hällmyrenillä lisääntyi mykoritsasienten määrä tuhkaruudulla vasta kun pintaturve muuttui multamaisesta raakahumusmaiseksi.

Vaikka tuhkalannoitetuilta alueilta on olemassa sekä kemiallisia että mikrobiologisia tutkimustuloksia, ei kuitenkaan tiedetä, mitä kaikkea maaperässä todella tapahtuu tuhkalannoituksen jälkeen. Huikarin (1953) tutkimustulokset kertovat maaperän mikrobien lukumäärästä 12–13 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen. Kuitenkin tuhkalannoituksen puiden kasvua edistävä vaikutus kestää huomattavasti pitemmän aikaa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten vanhoilla tuhkalannoitusalueilla maan mikrobisto ja orgaanisen aineen hajotusaktiiviteetti on muuttunut pidemmän ajan kuluessa.

2. AINEISTO

21. Koekentät

Lukkalan toimesta puuntuhkalannoituskoe nevalle, joka on silloin määritetty kalvakkanevaksi (*Scirpus caespitosus*). Turvekerroksen paksuus oli tällöin 4,9 m. Puun tuhkaa levitettiin 10 000 kg hehtaarille. Alue on ojitettu vuosina 1929 ja 1939 siten, että lopulliseksi sarkaleveydeksi tuli 50 m. Mänyn hajakylvö suoritettiin vuonna 1939 tuhkalannoituksen jälkeen. Mikrobiologiset tutkimukset suoritettiin kesällä 1977.

Pohjoismaiden vanhimmat puuntuhkalannoituskokeet sijaitsevat Ruotsissa Hällmyrenillä lähellä Uumajaa. Alkuperäinen

suotyyppe on ollut lyhytkortista nevaa. Alueiden ojitus suoritettiin v. 1919, mutta se ei edistänyt alueen metsittymistä (Malmström 1952). Tuhkalannoitus suoritettiin Norra Hällmyrenillä v. 1926 (12 500 kg/ha). Näytteet mikrobiologisia analyysejä varten Hällmyreniltä otettiin elokuussa 1979.

22. Puuston kasvu

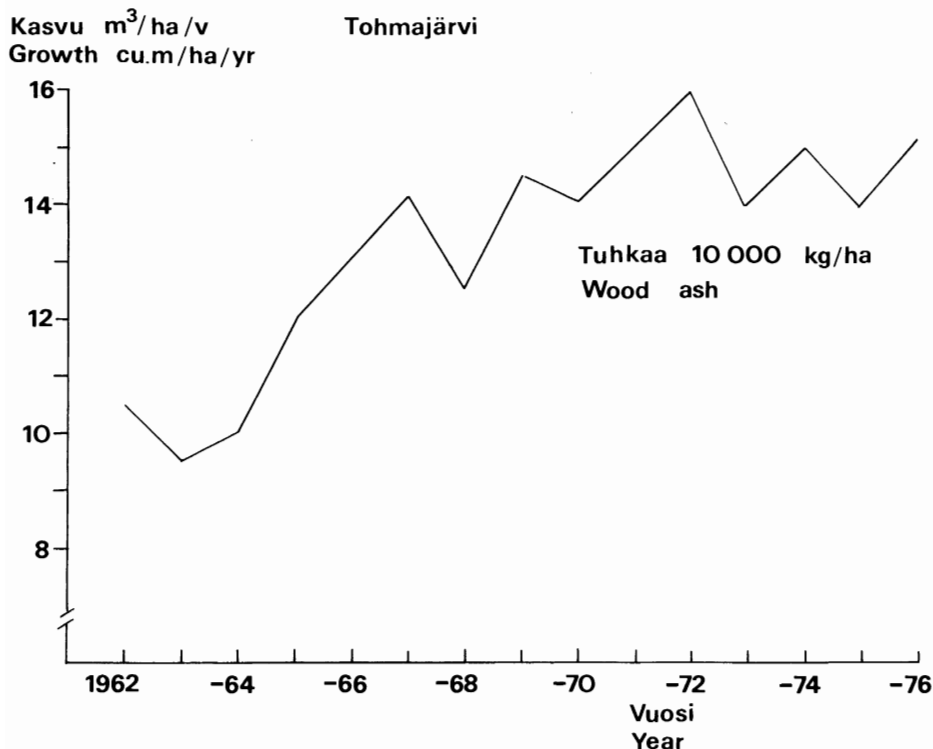
Tohmajärven koe oli lannoitushetkellä täysin puuton. Lannoituksen jälkeinen puuston kokonaistuotos on vuoteen 1977 mennessä ollut noin 300 k-m³/ha. Lannoituksen jälkeen on keskimääräinen vuotuinen kasvu ollut yli 7 k-m³/ha. Kuvassa 1 on esitetty Tohmajärven tuhkaruudun puuston kasvun viimeaikainen kehitys. Kokeen vieressä olevalla vertailualueella kasvaa mäntyjä vain mänttäillä ja jänteillä. Kasvuksi on arvioitu alle 1 k-m³/ha/v.

Norra Hällmyrenin alueelle kehittyi tuhkalannoituksen vaikutuksesta vuosikymmenien kuluessa koivikko, jossa oli sekapuuna mäntyä ja kuusta. Vuonna 1949 olivat pisimmät koivut 11 m:n mittaisia (Malmström 1952). Vuosien 1949 ja 1973 välisenä aikana on puuston vuotuinen kasvu vaihdellut välillä 3 m³/ha—7,4 m³/ha. Puuston kokonaistuotos vuoteen 1973 oli n. 200 k-m³/ha (Holmen 1979). Lannoittamattomalla vertailualueella ei ole lainkaan puustoa. Alue on nykyisellään tehottomasti ojitettu. Pohjaveden pinta on alle kymmenen sentin etäisyydellä turpeen pinnasta (kirjoittajan havainto vuosilta 1978 ja 1979).

23. Menetelmät

Tohmajärven kokeelta otettiin turvenäytteet analyysejä varten 9. 8. 1977 ja Norra Hällmyreniltä 23. 8. 1979. Kummallekin alueelle oli perustettu aikoinaan vain yksi tuhkalannoitusruutu, joten mikrobiologisissa analyyseissä jouduttiin toistoina käyttämään lannoitusruudun sisälle merkittyjä pikkuruutuja. Tohmajärven näytteistä määritettiin mikrobiologisten analyyssien lisäksi totaalitypen, vaihtuvan kalsiumin, kaliumin, magnesiumin ja mangaanin määrät sekä helppoliukoinen fosfori ja pH.

Mikrobimääritykset tehtiin Tohmajärven näytteistä samana päivänä, kun näytteet oli otettu maasta, koska näytteet muuttuvat nopeasti säilytyksessä. Paarlahti ja Hanioja (1962) ovat todenneet, ettei maljauksessa käytettävissä laimennusvesissä bakteerien lukumäärä muutu sanottavasti ainakaan



Kuva 1. Puuston kasvu (m³/ha/v) Tohmajärven tuhkalannoituskokeella.

Fig. 1. Stand growth (m³/ha/yr) in the ash fertilization experiment at Tohmajärvi.

vielä neljässä tunnissa. Hällmyreniltä otetut näytteet pakastettiin heti näytteiden oton jälkeen. Tutkitut syvyyskerrokset Tohmajärvellä olivat 0—5 cm, 5—10 cm ja 10—20 cm. Koska Tohmajärvellä tuhka oli vaikuttanut vielä 10—20 cm:n kerroksessa, tutkittiin Hällmyreniltä myös syvemmät kerrokset. Tutkitut syvyyskerrokset olivat 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm ja 30—40 cm.

Molemmilta alueilta määritettiin maljalaimennusmenetelmällä bakteerien kokonaismäärä, valkuaisaineita sekä tarkkelystä hajottavien bakteerien määrä ja putkitesteillä MPN-menetelmällä (Most Probable Number) ammonifioivien sekä ureolyyttisten bakteerien määrä. Lisäksi määritettiin Hällmyrenin näytteistä tyypeä sitovien *Clostridium*-bakteerien ja denitrifikaatiobakteerien määrä MPN menetelmällä. Tohmajärven näytteistä laskettiin lisäksi glukosia fermentoivat bakteerit ja maljalaimennusmenetelmällä lipolyyttiset bakteerit.

Orgaanisen aineen hajoamisen selvittämiseksi laitettiin maahan puhdasta selluloosaa sisältäviä liuskoja sekä kariketta sisältäviä nailonpusseja. Testimateriaalien

painonvähennystä seurattiin Tohmajärvellä tuhka- ja vertailuruudulla.

Bakteerien määrien analysoimismenetelmiä ja selluloosan hajotustestiä on kuvattu aiemmin (Karsisto, M. 1979).

Normaalisti maaperässä on hyvin erikäistä kariketta. Tässä tutkimuksessa haluttiin käyttää mahdollisimman homogeenista materiaalia karikkeen hajoamiskokeessa. Tohmajärvelle laitetut karikepussit sisälsivät nuoria saman vuoden männynneulasia, jotka oli kerätty tuoreina puusta ja kuivattu tämän jälkeen 80°C:ssa.

3. TURPEIDEN KEMIAALLISTEN ANALYYSIEN TULOKSET

Tohmajärven tulokset on esitetty taulukossa 1. Turpeen happamuus on vähäisempi tuhkalannoitusruudulla kuin lannoittamattomalla. Ero on kuitenkin niin vähäinen, ettei puiden hyvä kasvu voi johtua ainoastaan happamuuden muutoksesta.

Vaihtuvien ravinteiden määrät kalsiumin ja kaliumin osalta ovat korkeammat tuhkalannoitusruudulla kuin vertailulla. Tuhkalannoitus on lisännyt 0—5 cm:n pintaker-

Taulukko 1. Turpeen eri syvyyskerrosten ravinnepitoisuudet Tohmajärvellä v. 1977.

Table 1. Nutrient contents in different peat layers, Tohmajärvi 1977.

Kemialliset analysit Chemical analyses	Lannoittamaton <i>Unfertilized</i>			Tuhkalannoitus <i>Wood ash fertilization</i>		
	Syvyydet, cm — <i>Depths, cm</i>			Syvyydet, cm — <i>Depths, cm</i>		
	0—5	5—10	10—20	0—5	5—10	10—20
pH	3,3	3,5	3,5	3,8	3,7	3,6
N %	1,49	1,26	0,87	1,43	0,96	0,96
Vaihtuva <i>Exchangeable</i> Mg mg/l	195	195	120	170	168	155
Vaihtuva <i>Exchangeable</i> Ca mg/l	388	575	263	825	775	413
Vaihtuva <i>Exchangeable</i> K mg/l	124	80	40	163	55	225
Vaihtuva <i>Exchangeable</i> Mn mg/l	10,8	32,1	9,0	127,7	28,6	10,3
Helppoliukoinen <i>Soluble</i> P mg/l	37	48	14,5	27,5	20,5	15

roksessa selvästi vaihtuvan mangaanin määrää. Ammoniumasetattiin (pH 4,65) liukenevaa eli ns. helppoliukoista fosforia ei tuhkaruudulla ollut enempää kuin lannoittamattomalla ruudulla, vaikka tuhkalannoituksen mukana on tullut maahan runsaasti fosforia. Totaalitypen pitoisuus tuhkalannoitusruudulla on pienempi kuin lannoittamattomalla etenkin 0—5 cm:n syvyyskerroksessa.

Holmen (1979) on esittänyt ravinteiden totaolimäärät Norra Hällmyreniltä syyskuulta 1975. Pintakerros (0—10 cm) sisälsi lannoittamattomalla alueella tyypeä noin 2700 kg/ha ja tuhkalannoitetulla ruudulla 2200 kg/ha. Syvemässä (10—20 cm:n) kerroksessa lannoittamattomalla ruudulla oli tyypeä 2600 kg/ha ja tuhkalannoitusruudulla 1800 kg/ha. Samoin kuin Tohmajärven tuhkalannoitusruudulla, Hällmyrenilläkin tuhkalannoitus on aiheuttanut totaalitypen määrän vähenemistä. Hällmyrenillä totaalitypen määrä on kuitenkin vähentynyt selvimmin 10—20 cm:n kerroksessa. Muiden ravinteiden (fosfori, kalsium, magnesium, mangaani, kupari, sinkki) totaolimäärät olivat tuhkaruudulla 0—10 cm:n pintakerroksessa selvästi suuremmat kuin lannoittamattomalla ruudulla. Kalsiumin ja kaliumin määrät olivat tuhkalannoitusruudulla vielä 40—50 cm:n syvyydessä huomattavasti suuremmat kuin lannoittamattomalla ruudulla.

Holmenin (1979) mukaan on tuhkalan-

noitus vaikuttanut pH-lukemaa nostavasti vain 0—10 cm:n pintakerroksessa. Lannoittamattomalla ruudulla on tämän kerroksen pH 3,6 ja tuhkalannoitusruudulla 4,6.

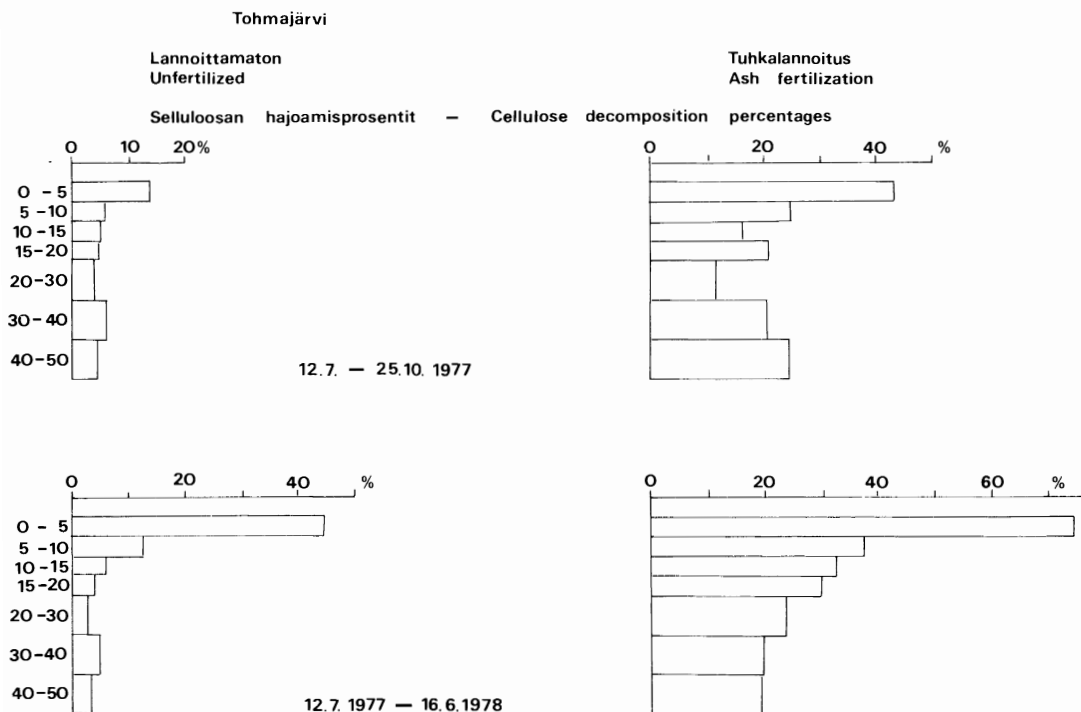
4. HAJOTUSAKTIVITEETIN MITTAUS

4.1. Selluloosan hajoaminen

Tohmajärven koalueelle upotettiin selluloosaliuskoja pystysuoraan asentoon 20 kpl/ruutu 12. 7. 1977. Puolet niistä otettiin maasta 25. 10. 1977, jolloin liuskat olivat olleet maassa runsaat kolme kuukautta. Loput liuskoista otettiin maasta seuraavana kesänä 16. 6. 1978, jolloin ne olivat olleet maassa lähes vuoden.

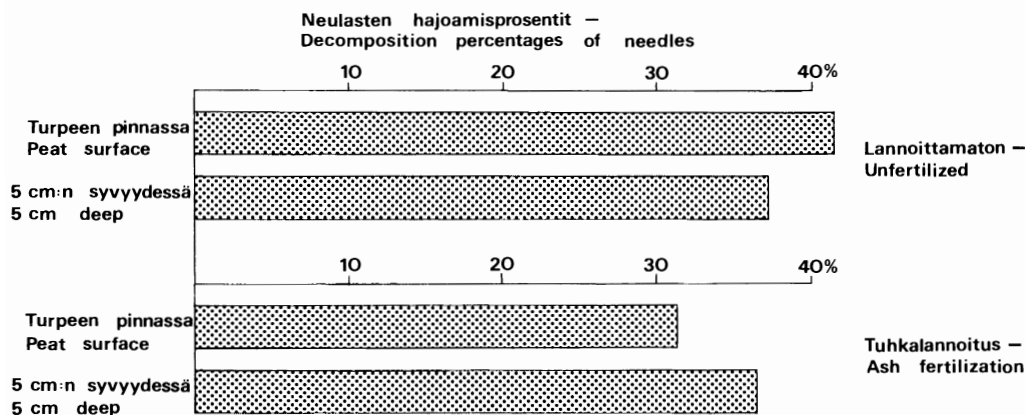
Kuvassa 2 on esitetty selluloosan hajoamisprosentit v. 1977—78. Lannoittamattomalla ruudulla selluloosan hajotus on merkittävää vain 0—5 cm:n pintakerroksessa ja tätä syvemmissä kerroksissa erittäin vähäistä. Tuhkalannoitetulla ruudulla sitävästoin selluloosan hajotusta on tapahtunut kaikissa tutkituissa syvyyskerroksissa pinnasta aina 50 cm:n syvyyteen asti. Tuhkalannoitusruudulla selluloosan hajotus jopa 40—50 cm:n syvyydessä on ollut nopeampaa kuin lannoittamattoman ruudun 5—10 cm:n kerroksessa.

Kauan vaikuttaneen tuhkalannoituksen voidaankin todeta edistäneen turpeessa mikrobien hajotustoimintaa ainakin 50



Kuva 2. Selluloosan hajoamisprosentit turpeen eri syvyyskerroksissa Tohmajärvellä vv. 1977—1978.

Fig. 2. Percentage of cellulose decomposed in different peat layers, Tohmajärvi 1977—78.



Kuva 3. Neulasten hajoamisprosentit Tohmajärvellä v. 1977.

Fig. 3. Percentage of needles decomposed, Tohmajärvi 1977.

cm:n syvyydelle asti.

Huikari (1951) on todennut tuhkalannoituksen vaikuttaneen turpeen rakenteeseen 10 cm:n syvyydelle asti tuhkalannoituksen kestänyt yli 10 vuotta. Tohmajärven kokeella on tuhkalannoituksesta kulunut jo 40 vuotta ja turpeen ominaisuudet ovat muuttuneet vastaavasti 40—50 cm:n syvy-

teen saakka.

Kun verrataan maassa eri pituisen ajan olleiden selluloosaliuskojen hajoamisprosentteja, voidaan todeta, että 15 cm:ä syvemmissä kerroksissa on selluloosa hajonnut jo kolmen kuukauden aikana syyskesästä yhtä paljon kuin yhteensä 11 kuukauden aikana. Vain 0—15 cm:n pintaker-

roksessa on tapahtunut talven ja seuraavan kevään ja alkukesän aikana lisähajoamista.

42. Neulasten hajoaminen

Kuivattuja neulasia sisältävät nailonkangaspussit laitettiin maahan (luontaisella karikkeella ohuesti peitettyinä paikalla pysymisen varmistamiseksi) 12. 7. 1977 ja otettiin pois seuraavana kesänä 17. 6. 1978. Neulasten painonvähenneminen on esitetty kuvassa 3.

Neulaset hajosivat turpeen pinnalla hieman nopeammin lannoittamattomalla kuin tuhkaruudulla. Karikepussit, jotka olivat 5 cm:n syvyydessä, hajosivat kummallakin ruudulla lähes samalla nopeudella, kuitenkin hieman tehokkaammin lannoittamattomalla ruudulla.

Neulasten hajoaminen kestää useita vuosia. Tässä kokeessa käytettiin puista tuoreina otettuja neulasia, jotka kuivatettiin ennen pussitusta. Jo vajaassa vuodessa olivat neulaset hajonneet yllättävän paljon.

Vilppulan ja Kivalon kokeella (Karsisto M. 1979) käytettiin nailonpussissa todellisesta karikkeesta erotettuja neulasia. Näiden hajoaminen oli paljon hitaampaa kuin Tohmajärven tuoreista neulasista kuivattujen näytteiden hajoaminen. Ensimmäisenä vuotena hajoaa neulasista helposti hajoava osa materiaalista, jonka jälkeen hajotustoiminta hidastuu.

Tohmajärven lannoittamattomalla ruudulla havaittu nopeampi neulasten alkuvaiheen hajoaminen saattaa johtua siitä, että kariketta ensin hajottava sienien ryhmä on lannoittamattomalla ruudulla dominoivampi kuin tuhkaruudulla. Tuhkaruudulla ilmeisesti tapahtunut sienirihmojen määrän vähentyminen on saattanut johtua tuhkaruudun pintakerroksen ”pienympäristöjen” muuttumisesta vähemmän happamiksi (sienet viihtyvät happamassa bakteereja paremmin).

Voidaan todeta, ettei tuhkalannoitus edistänyt neulasten hajoamisnopeutta maassa. Tutkitut neulaset olivat maassa vain vajaan vuoden. Neulasten hajottua pitemmälle, saattaa bakteerien suorittama hajotustoiminta tuhkaruuduilla nopeuttaa neulasten lopullista hajoamista. Tämän selvittäminen vaatii lisätutkimuksia.

43. Bakteerien määrät

Tohmajärvi

Bakteerimääritykset Tohmajärven kokeelta tehtiin 9. 8. 1977. Tulokset on esitetty kuvassa 4. Bakteerien lukumäärät on ilmoitettu muunnettuina samaan potenssiin 10^4 , ts. kaikki pylväinä esitetyt arvot on kerrottava $10\ 000$:lla, jolloin saadaan bakteerien määrä kpl/cm³ turvetta. On muistettava, että bakteerien määrät vaihtelevat eri ajankohtina. Tässä esitetyt tulokset ovat vain yhdeltä näytteenotokerralta.

Sekä lannoittamattomalla että tuhkalannoituksen saaneella ruudulla bakteerien määrä vähenee turpeen pinnasta syvemmillä mentäessä.

Tuhkalannoitetulla ruudulla bakteerien määrä on kaikissa tutkituissa syvyyskerroksissa moninkertainen lannoittamattoman ruudun arvoihin verrattuna.

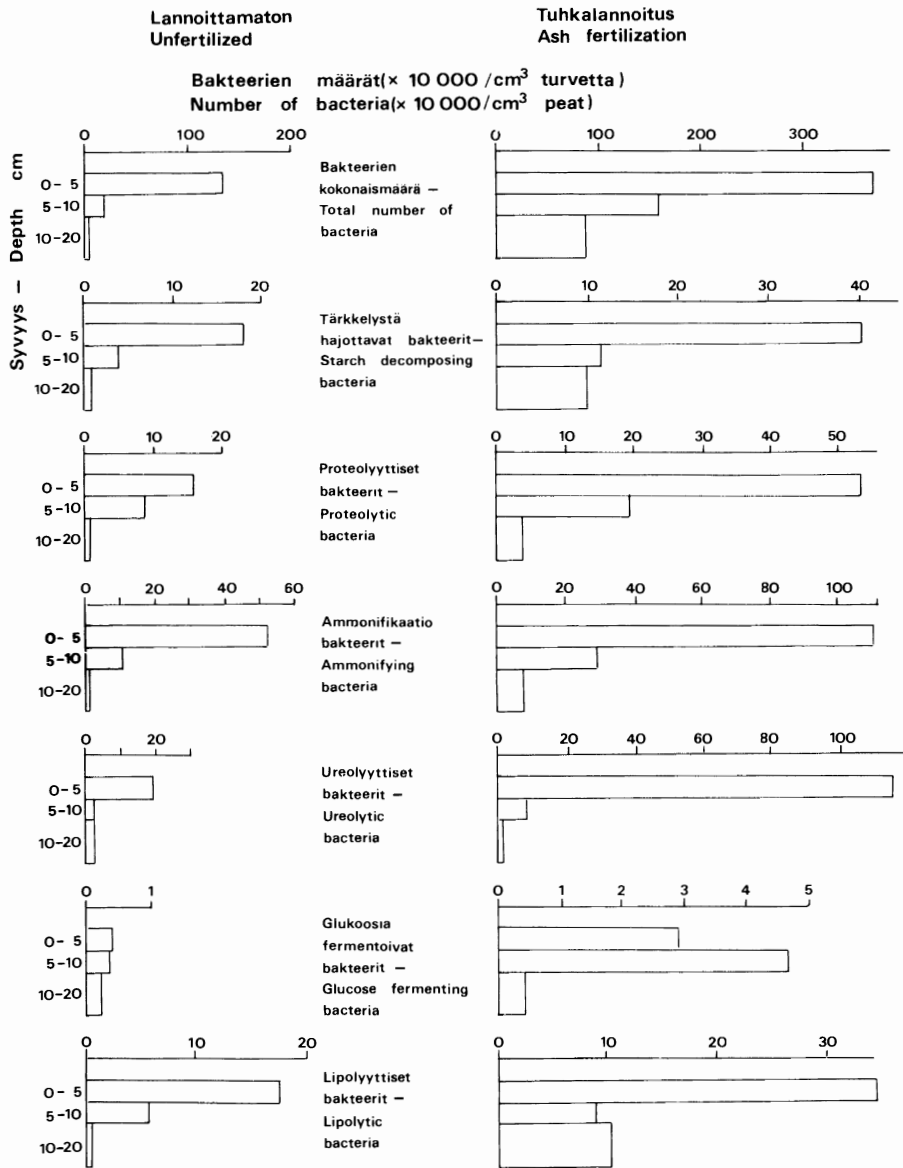
Tuhkalannoituksen vaikutus bakteerien määriin näkyy suhteellisesti selvimmin 10—20 cm:n turvekerroksessa. Monien tutkittujen bakteerien määrät ovat yli kymmenkertaiset verrattuna lannoittamattomaan ruutuun.

Merkittävää on, että orgaanisesta aineesta ammonium-tyyppä muodostavien bakteerien määrä on tuhkaruudulla paljon suurempi kaikissa tutkituissa syvyyskerroksissa.

Myös tärkkelystä sekä valkuaisaineita hajottavien ja ureolyyttisten, lipolyyttisten sekä glukoosia fermentoivien (glukoosia anaerobisesti käyttävien) bakteerien määrät tuhkaruudulla ovat suuremmat kuin lannoittamattomalla.

Hällmyren

Hällmyrenin lannoituskokeelta tehtiin bakteerimääritykset 23. 8. 1979 otetuista näytteistä. Tulokset on esitetty kuvassa 5. Hällmyrenin alueella bakteerien lukumäärät pienenevät erittäin nopeasti syvempiin turvekerroksiin mentäessä. Lannoittamattomalla ruudulla on 0—10 cm:n pintaturpeessa moninkertainen määrä bakteereja verrattuna 10—20 cm:n syvyyskerrokseen. Bakteerien lukumäärä vähenee 20—30 cm:n ja 30—40 cm:n syvyyskerroksessa suhteellisesti vieläkin nopeammin. Ammonifikatiobakteerien määrä vähenee erittäin selvästi syvyyden lisääntyessä. Pintakerroksessa on monta tuhatta kertaa enemmän ammonifikatiobakteereita kuin 30—40 cm:n



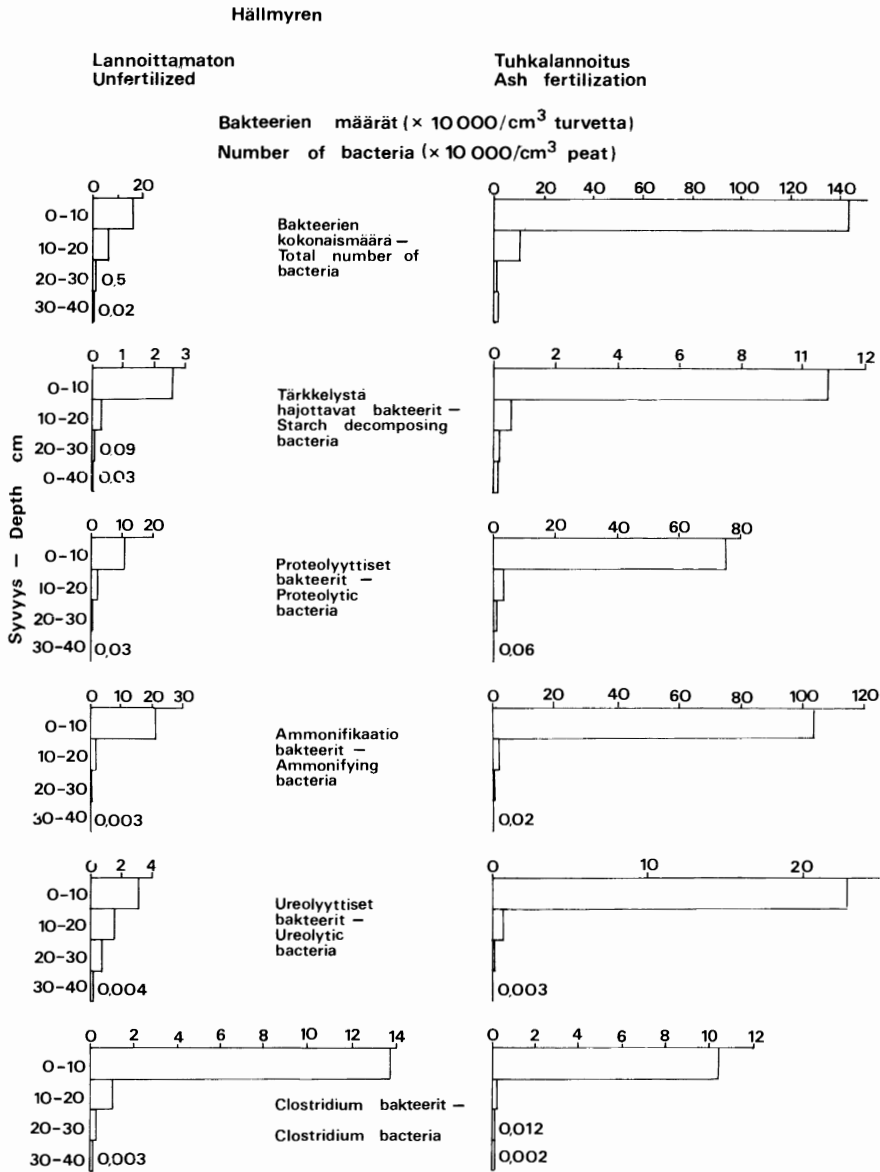
Kuva 4. Bakteerien määrät ($\times 10\,000/\text{cm}^3$ turvetta) turpeen eri syvyyskerroksissa Tohmajärvellä 9. 8. 1977.
 Fig. 4. Numbers ($\times 10^4/\text{cm}^3$) of different types of bacteria in different peat layers, Tohmajärvi 9. 8. 1977.

kerroksessa. Suhteellisesti vähiten pienenee tärkkelystä hajottavien mikrobin määrä syvyyden lisääntyessä.

Tuhkalannoitus on vaikuttanut selvästi bakteerien määriä lisäävästi vain 0–10 cm:n pintakerroksessa. Seuraavassa kerroksessa (10–20 cm) ei ole havaittavissa mainittavaa bakteerien määrien nousua. Tähän täytyy olla syynä se, että Norra Hällmyrenin alue on hyvin tehottomasti ojitettu. Tuhka-

ruudulla olevassa pohjavesikaivossa oli veden pinta elokuussa 1978 ja 1979 vain muutaman senttimetrin syvyydellä. Sama tilanne on jatkunut ilmeisesti jo kauan.

Pohjaveden korkeuden säännöstely on todettu vaikuttavan bakteerien määriin sekä lannoittamattomilla että NPK-lannoitetuilla aloilla (vrt. Karsisto, M. 1979, Paavilainen ja Norlamo, nyk. Karsisto, M. 1975). Tehokas ojitus lisää bakteerien lukumääriä ja hajotustoimintaa.



Kuva 5. Bakteerien määrät ($\times 10\,000/\text{cm}^3$ turvetta) turpeen eri syvyyskerroksissa Norra Hällmyrenillä 23. 8. 1979.
Fig. 5. Numbers ($\times 10\,000/\text{cm}^3$) of different types of bacteria in different peat layers, Hällmyren 23. 8. 1977.

Ammonifikaatiobakteereita (muuttavat orgaanisia typpiyhdisteitä ammoniummuotoon) sekä proteolyttisiä bakteereita (muuttavat valkuaisaineita ammoniummuotoon) on Hällmyrenillä analyysin mukaan ollut hyvin runsaasti verrattuna bakteerien kokonaismäärään.

Useat mikrobilajit pystyvät muodostamaan ammoniummuotoista typpiä orgaanisista typpiyhdisteistä. Huonosta ojituksesta johtuen Hällmyrenin alueella tapahtuu nä-

tävästi myös anaerobista typpiyhdisteiden hajoamista.

Typpiä sitovien *Clostridium*-bakteerien määrä 0–10 cm:n pintakerroksessa sekä vertailu- että tuhkaruudulla on melko suuri verrattuna esimerkiksi bakteerien kokonaismäärään. Tämä johtuu nähtävästi alueen ojituksen tehottomuudesta, jolloin jo 0–10 cm:n kerroksessa on syntynyt *Clostridium*-bakteerien edellyttämät anaerobiset olosuhteet. Ilmakehän typpiä sitoville baktee-

reille ovat hivenaineet tärkeitä. Tältä pohjalta voisi odottaa, että tuhkalannoitus olisi lisännyt tyyppiä sitovien *Clostridium*-bakteerien määrää, mutta näin ei kuitenkaan tapahtunut.

Mahdollisuutta, että heikosti ojitetulla alueella tuhkalannoitus lisäisi ilmakehän typen sitomista, tukee Hällmyrenin läheisyydessä sijaitsevan vuonna 1945 perustetun Tvarutjärnmyrenin kokeen tulos (Skogsårdsstyrelsen 1979). Siellä lähtökohtana on ollut tutkia mahdollisuuksia parantaa suopuustojen kasvua tuhkalannoituksella ilman ojitusta. Koekentältä ei ole tehty mikrobiologisia määrittäksiä. Kemiaaliset analyysitulokset olivat hyvin mielenkiintoiset. Kun lannoittamattomalla ruudulla pintaturpeessa (0—20 cm) kokonaistyyppiä oli 1,16 %, tuhkalannoitetulla ruudulla (10 000 kg tuhkaa/ha) tyyppiä oli pintakerroksessa 1,86 %. Tuhka ei sisällä tyyppiä, joten tuhkalannoitus ei voi lisätä turpeen typpi-varoja. Eräs selitys voisi olla se, että usein lähelle maanpintaa nouseva pohjavesi on luonut suotuisat olosuhteet typensidonalle. Tuhkalannoitusruudulla kasvoi sekametsä, jossa oli koivua, mäntyä ja leppää. Lepän symbioottien suorittama typen yhteyttäminen saattaisi olla eräs selitys tuhkaruudun kohonneelle typen pitoisuudelle.

Denitrifikaatiobakteereita (määritetty typpikaasun muodostumisena putkistestillä) ei esiintynyt lainkaan Hällmyreniltä otetuissa näytteissä. Denitrifikaatiobakteerien puuttuminen johtuu mahdollisesti Hällmyrenin ravinneköyhyydestä.

5. YHTEENVETO

Pelkkä totaalitypen analysoiminen viittaa siihen, että tuhkalannoitus aiheuttaa orgaanisten typpiyhdisteiden hajoamista kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Koska maaperän totaalitypen määrä on vähentynyt kummallakin tutkitulla tuhkalannoitusruudulla, merkitsee se sitä, että rehevöitynyt kasvillisuus ja puusto ovat käyttäneet mobilisointunutta tyyppiä.

Tohmajärvellä suoritettu selluloosan hajoamistesti osoitti, että mikrobien suorittama hajotustoiminta oli tuhkalannoitusruudulla vielä 40—50 cm:n syvyydessäkin tehokkaampi kuin lannoittamattoman ruudun 5—10 cm:n kerroksessa.

Tohmajärvellä bakteerien lukumäärät analysoitiin vain aktiivisimmasta pintakerroksesta (0—5 cm, 5—10 cm ja 10—20 cm). Tuhkalannoitusruudulla bakteerien

määrät olivat vielä 10—20 cm:n syvyydessä selvästi korkeammat kuin lannoittamattoman ruudun vastaavassa ja 5—10 cm:n kerroksessa. Bakteerimääritykset osoittavat tuhkalannoituksen vaikuttaneen ainakin 20 cm:n syvyyteen asti.

Tuhkalannoitus on vaikuttanut Tohmajärvellä erittäin vähän turpeen happamuuteen, joten bakteerien lukumäärän nousua ei voida selittää paljoakaan tuhkan neutraloivalla vaikutuksella. Sekä kasvit että mikrobit ovat hyötäneet siitä, että tuhkalannoitus on lisännyt käyttökelpoisen kaliumin ja kalsiumin määriä.

Hällmyrenin alueella tuhkan aiheuttama neutraloiva vaikutus on suurempi kuin Tohmajärvellä. Hällmyrenin alueella on pH-lukema noussut yhdellä yksiköllä emäksisemmäksi vain 0—10 cm:n pintakerroksessa.

Samassa kerroksessa ovat bakteerien lukumäärät selvästi suuremmat tuhkalannoitusruudulla kuin lannoittamattomalla, mutta syvemmissä kerroksissa tuhkalannoitus ei ole enää vaikuttanut. Tohmajärven alueella tuhkalannoitus on vaikuttanut ainakin 50 cm:iin asti, mutta Hällmyrenin alueella vain turpeen pintakerrokseen. Tämä johtuu nähtävästi siitä, että Hällmyrenin alue on luontaisesti ravinneköyhempi ja ennen muuta tehottomammin ojitettu kuin Tohmajärven alue.

Hällmyrenin alueelta analysoitiin myöskin denitrifikaatiobakteerien määrät. Tuhkaruudullakaan ei esiintynyt denitrifikaatiobakteereita, joten typen katoa kaasumaisessa muodossa ei tältä alueelta nähtävästi tapahdu huolimatta tuhkan aiheuttamasta happamuuden vähenemisestä.

Hällmyrenin alueella on tuhkalannoitus 0—10 cm:n pintakerroksessa vaikuttanut suhteellisesti enemmän mikrobien lukumääriä lisäävästi kuin Tohmajärvellä, kun taas Tohmajärvellä tuhkalannoitus vaikutti myös syvemmissä kerroksissa. Tohmajärvellä kunnollisesta ojituksesta johtuen on hajotustoiminta nähtävästi ollut kohtalaisen tehokasta hyvin pitkänä ajanjaksona, joten on mahdollista, että pintakerrokset ovat jo köyhtyneet mikrobeille sopivasta ravinnoista, minkä takia niiden lukumäärä on saattanut jo pienentyä pintaturpeessa.

Tohmajärven ja Hällmyrenin alueilla sekä puiden kasvu että mikrobiologisten analyysien tulokset todistavat sitä, että tuhkalannoituksella pystytään aikaansaamaan pysyvä perusparannusvaikutus. Näillä alueil-

la, joilla tuhkalannoituksesta on kulunut jo 30 ja yli 40 vuotta, on puiden kasvu edelleen hyvä ja mikrobin lukumäärät edelleen huomattavasti korkeammat kuin lannoittamattomilla vertailuruuduilla. Hällmyrenillä on saavutettu kuitenkin huonompi puiden kasvu kuin Tohmajärvellä. Tämä saattaa johtua siitä, että Hällmyrenillä mikrobin suorittama orgaanisten aineiden ha-

jotus on syvemmissä kerroksissa huomattavasti tehottomampaa kuin Tohmajärvellä. Tämä puolestaan on seurauksena siitä, että Hällmyrenin alue on ravinneköyhempi ja huonommin ojitettu kuin Tohmajärven. Mikäli aiotaan käyttää tuhkaa metsänlannoitukseen, on siis huolehdittava tehokkaasta ojituksesta.

KIRJALLISUUS

- Holmen, H. 1979. Askgödslingsförsöken på Hällmyren vid Robertsfors. Preliminärt, opublicerad material. Skogshögskolan, avdelning för skogseko-logi. Sverige.
- Huikari, O. 1951. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkäisevistä tekijöistä. Suo 1/1951.
- Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Comm. Inst. For. Fenn. 42.2.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobin aktiivisuuteen suometsissä. I Pohjaveden etäisyyden ja NPK-lannoituksen vaikutus Vilppulan ja Kivalon rämeellä ja korvessa. Suo 30 (3).

- Lukkala, O. J. 1951. Kokemuksia Jaakkoin suon koe-
ojitusalueelta. Comm. Inst. For. Fenn. 39.6.
- Malmström, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för
belysande av de näringsekologiska villkoren för
skogsväxt på torvmark. Comm. Inst. For. Fenn.
40.17.
- Paarilahti, K. & Hanioja, P. 1962. Methodological
studies on the colony counts of soil microbes.
Comm. Inst. For. Fenn. 55.29.
- Paavilainen, E. & Norlamo, M. 1975. Effect of
various nitrogen fertilizers on the initial develop-
ment of birch, spruce and pine. Comm. Inst.
For. Fenn. 86.2.
- Skogsvårdsstyrelsen i Västerbottens län 1979. Göds-
lingsförsök, Tvarutjärnmyran Berttjärn 1¹¹ i
Umeå kommun. SVS-information.

SUMMARY:

EFFECT OF FOREST IMPROVEMENT MEASURES ON ACTIVITY OF ORGANIC MATTER DECOMPOSING MICRO-ORGANISMS IN FORESTED PEATLANDS PART II EFFECT OF ASH FERTILIZATION

The results obtained from old ash fertilization experiments established in Finland in the 1930's have shown that wood ash is ideally suited for forest fertilization. The aim of this study is to determine the changes which have taken place in the microbial population and decomposition of organic-matter in the peat of old ash fertilization plots.

The area of Tohmajärvi, where the ash fertilization experiment was established in 1939, completely lacked tree cover at the time of fertilization. The total production of the tree stand which has developed

since fertilization is about 300 m³/ha. The oldest ash fertilization experiment in the Nordic countries is located in Sweden. The total production of the tree stand growing in the Norra Hällmyren area (fertilized 1926) was about 200 m³/ha until the year 1973 (Holmén 1979). The annual growth of the tree stand on the corresponding unfertilized areas is below 1 m³/ha.

The results of chemical analyses carried out on the peat from Tohmajärvi are shown in Table 1. The ash fertilization has decreased the acidity by such a small

amount only that this alone could not account for the good growth rate of the trees. The total amount of nitrogen has decreased in the surface layer of the peat in the plots which have got ash fertilization. This indicates that ash fertilization has brought about the conversion of nitrogenous compounds in the peat into a form that can be utilized by the plants.

Organic matter decomposition at Tohmajärvi has been studied by observing the decomposition of cellulose strips placed at different depths in the peat (Fig. 2). Decomposition was more effective at a depth of 40—50 cm on the fertilized plots than at a depth of 5—10 cm on the unfertilized plot.

Bacterial determinations were carried out on peat samples taken from Tohmajärvi on the 9th August 1977. The results are shown in Fig. 4. The numbers of different types of bacteria at all depths studied were many times greater on the plot given ash fertilization than at corresponding depths in the unfertilized plot. Ash fertilization has had the clearest effect on the number of bacteria in the 10—20 cm deep peat layer.

Bacterial determinations were carried out

on samples taken from the Hällmyren ash fertilization plots on the 23rd August 1979. The results are presented in Fig. 5. Ash fertilization has had an increasing effect on the number of bacteria only in the 0—10 cm surface layer. The numbers of different types of bacteria decrease very steeply on passing deeper down into the peat. Ash fertilization has increased the pH in the Hällmyren peat by one pH unit, but only in the 0—10 cm surface layer.

Both tree growth in Tohmajärvi and Hällmyren areas and the microbiological analyses which were carried out show that ash fertilization brings about a permanent ameliorative effect. In the study areas where ash fertilization is already over 30 and 40 years-old, tree growth is still good and the numbers of different types of bacteria higher than in the unfertilized plots. However, the tree growth in the Hällmyren area is not as good as that at Tohmajärvi. This may be due to the fact that the natural nutrient status at Hällmyren is not as good as at Tohmajärvi and drainage is clearly less effective. It should be born in mind that if ash is to be used for forest fertilization, then efficient drainage is also necessary.

Korjaus: Osa I:ssä (edellisessä numerossa) olisi taulukko I:ssä teksti Kivalo, räme kuulunut olla oikealla puolella taulukkoa ja Kivalo, korpi vasemmalla. Muulta osin taulukko on oikein.

Corrigenda: In part I (previous edition), Table 1, headings are incorrect. Kivalo, pine swamp should be at top of right hand column and Kivalo, spruce swamp, at top of left hand column. Table is otherwise correct.