

Klaus Silfverberg



Noora Huotari



Anna-Maija Kokkonen

Klaus Silfverberg, Noora Huotari ja Anna-Maija Kokkonen

Puu- ja turvetuhkan vaikutukset kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen päätehakatulla turvekankaalla

Silfverberg, K., Huotari, N. & Kokkonen, A.-M. 2010. Puu- ja turvetuhkan vaikutukset kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen päätehakatulla turvekankaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 341–353.

Pohjois-Pohjanmaan Muhokselle perustettiin kesällä 1985 koe, jossa tutkittiin tuhkan vaikutusta samana keväänä päätehakatun turvekankaan kasvillisuuteen ja männyn (*Pinus sylvestris* L.) uudistumiseen. Kokeessa verrattiin puu- ja turvetuhkan vaikutuksia, kumpaakin määrällä 5 000 ja 20 000 kg/ha. Lisäksi kokeessa oli kolme erilaista männyn uudistamistapaa: luontainen, kylvö ja istutus. Kokeen kasvillisuus ja männyn taimet inventoitiin vuosina 1986 ja 1991.

Päätehakkuun jälkeen kasvillisuus muuttui voimakkaasti kaikilla käsittelyillä. Varjoa suosivat metsälajit taantuivat, kun taas avoimilla paikoilla viihtyvät pioneerilajit ilmestyivät paikalle uusina tulokkaina. Kasvilajien peittävydet muuttuivat voimakkaammin kuin lajikoostumus.

Pohjakerroksen kokonaispeittävyys pieneni huomattavasti turve- ja varsinkin puutuhkan seurauksena. Vaikutus lajikoostumukseen ja lajien lukumäärään oli tätä vähäisempi. Varttuneiden metsien lajit, kuten seinäsammal (*Pleurozium schreberi*), taantuivat voimakkaasti tai hävisivät kokonaan. Pioneerisammalet, ensin nuokkuvarstasammal (*Pohlia nutans*) ja myöhemmin kulosammal (*Ceratodon purpureus*), yleistyivät erityisesti puutuhkalannoituksen jälkeen.

Tuhkalannoituskäsittelyillä ei havaittu yhteyttä männyn taimien lukumäärään missään uudistamiskäsittelyssä. Taimimäärä ei myöskään riippunut kenttä- ja pohjakerroksen kokonaispeittävydestä.

Valtaosa puutuhkan kaliumista oli hävinnyt maan pintakerroksesta eikä siten enää ollut käytettävissä. Koska tuhkalannoitus ei myöskään ollut lisännyt männyn taimettumista, näyttäisi sekä puu- että turvetuhkan käyttö tarpeettomalta turvekankaiden uudistamisvaiheessa.

Asiasanat: lannoitus, ohutturpeisuus, pohjakerros, peittävyys, uudistamistapa

Yhteystiedot: Metla, Vantaan ja Muhoksen toimipaikat

Sähköposti klaus.silfverberg@metla.fi

Hyväksytty 7.9.2010

Saatavissa <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff104341.pdf>

I Johdanto

Suomen voimalaitoksissa syntyy energiantuotannon sivutuotteena noin 150 000 tonnia puutuhkaa ja 350 000 tonnia turve- ja sekatuhkaa vuosittain (Makkonen 2008). Kansainvälisten ilmastositoumusten myötä bioenergian käyttö yleistyy lisäten tuhkamääriä Suomessakin (Kansallinen metsäohjelma 2015). Tällä hetkellä noin 40 % tuhkasta käytetään kaatopaikkojen peitteinä, maanrakennuksessa ja lannoitteena, mutta suurin osa päätyy edelleen kaatopaikkojen ja teollisuuden läjitysalueille. Tuhkat ovatkin merkittävä kaatopaikkoja kuormittava jäte, joka pitäisi ohjata hyötykäyttöön. Tuhka ei sisällä tyypeä, mutta sen sijaan runsaasti kasveille tärkeitä kivennäisravinteita, joten ne soveltuvat hyvin runsastyyppisten turvemaiden lannoitukseen. Vuonna 2003 syntyneestä puutuhkasta noin 10 % eli 15 000 tonnia käytettiin metsien lannoitteeksi (Makkonen 2008).

Erityisesti puutuhka on osoittautunut kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi kauppalannoitteille metsäojitetuilla turvemailla. Positiivisen vaikutuksen on raportoitu kestävän jopa 50 vuoden ajan (Silfverberg 1996, Lauhanen ym. 1997, Moilanen ym. 2002). Puu- ja turvetuhkaa on käytetty myös vaikeasti metsitettävien alueiden ja nuorten suopuustojen lannoituksessa (Ferm ym. 1992, Hytönen ja Pietiläinen 1995, Hytönen 2003). Ojikoilla, joilla rahkasammalet (*Sphagnum* spp.) vielä hallitsevat aluskasvillisuutta, puutuhkan on todettu edistävän taimettumista (Silfverberg 1996, Moilanen ja Issakainen 2003, Moilanen 2005).

Turvekankaiden metsät ovat vaikeampia uudistaa kuin uudisojitetut alueet. Taimettumiseen on tavallisesti pyritty käyttämällä istutusta, kylvöä ja maanmuokkausta (Kaunisto ja Päivänen 1985, Saarinen 2005). Ohutturpeisimmilla alueilla muokkaus ulottuu kivennäismaahan saakka. Kiintoaineiden huuhtoutumisen on havaittu lisääntyvän selvästi hakkuun ja maan muokkauksen jälkeen (Joensuu ym. 1999, Nieminen ja Ahti 2005). Maanmuokkaukselle vaihtoehtoisena taimettumista edistävänä uudistamismenetelmänä voitaisiin käyttää tuhkalannoitusta, joko yksistään tai yhdistettynä kylvöön tai istutukseen. Tuhkalannoituksen vaikutukset hakkuun jälkeiseen turvekankaiden taimettumiseen tunnetaan

varsin puutteellisesti. Pintakasvillisuus saattaa rehevöityä voimakkaasti tuhkalannoituksen jälkeen viljavilla kasvupaikoilla (Silfverberg ja Hotanen 1989). Näistä syistä haluttiin tutkia tuhkien käyttöä metsän uudistamisessa turvekankailla, myös kasvillisuusmuutosten näkökulmasta (Saarinen 1997, 2002).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puu- ja turvetuhkan käyttömahdollisuuksia turvekankaiden uudistamisessa. Erityisesti tarkasteltiin tuhkalannoituksen aiheuttamia muutoksia pintakasvillisuudessa sekä niiden yhteyttä taimettumisen onnistumiseen. Lisäksi tutkittiin tuhkalajien vaikutusta männyn luontaiseen taimettumiseen sekä kylvön ja istutuksen onnistumiseen.

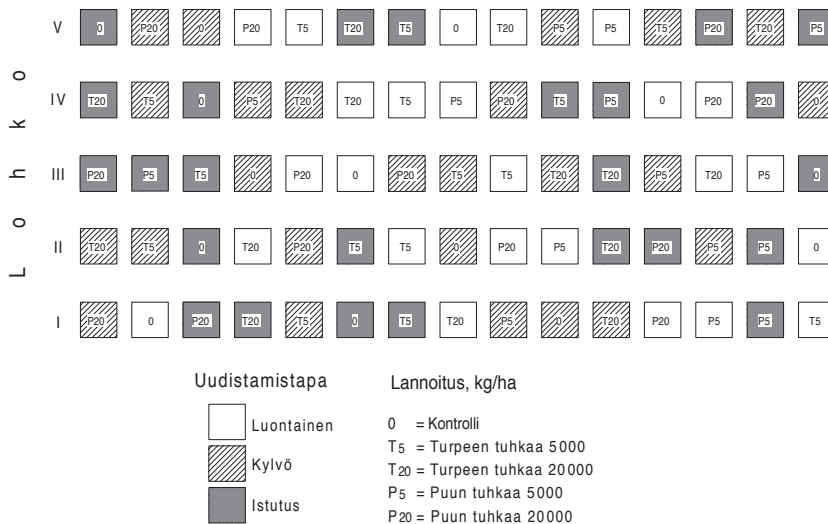
2 Kokeen perustaminen

Koe sijaitsee Muhoksella, Oulujoen eteläpuolella (7193,58 N ja 3459,28 E) alun perin puustoisella, ruohoisuus-suursaratazon rämeellä (Metsäntutkimuslaitoksen koerekisteri 2008). Kohde ojitettiin 1930-luvun alussa ja täydennysojitus suoritettiin vuonna 1972. Kuivattamisen jälkeen alue muuttui vähitellen mustikkaturvekankaaksi. Paikalle oli muodostunut mänty-koivuvaltainen (*Pinus sylvestris* L., *Betula* spp.), puustotilavuudeltaan alle 200 m³/ha sekametsä, joka avohakattiin keväällä 1985. Kuuksen taimia ei tavattu kummassakaan inventoinnissa vaikka kohde oli luokiteltu mustikkaturvekankaaksi. Hakkuutähteet poistettiin ennen kokeen perustamista. Turpeen paksuus koealueella oli 15–20 cm ja sarkaleveys noin 40 m. Kokonaistypen pitoisuus 0–10 cm turvekerroksessa oli keskimäärin 2,3 %. Syvemällä (10–20 cm), missä kivennäismaan osuus oli suurempi, typen pitoisuus oli 1,8 %.

Koe perustettiin kesäkuun puolivälissä vuonna 1985. Se muodostuu viidestä lohokosta, joista jokaisella on 15 ruutua (2 m × 2 m). Kaikkiaan kokeessa on 75 ruutua, joiden yhteispinta-ala on 300 m² (kuva 1). Lohkojen väli oli 5, ruutujen väli 2 m. Lohkotuksen perusteena käytettiin lohkojen etäisyyttä koetta kaikista suunnista ympäröivästä mänty- ja koivuvaltaisesta reunametsästä. Lähimmillään etäisyys reunametsästä oli 10–20 m. Kokeessa käytettiin kolmea erilaista männyn uudistamistapaa ja viittä erilaista lannoituskäsitelyä (taulukko 1). Nämä kä-

Taulukko 1. Koealojen (n=75) jakautuminen uudistamistavan ja lannoituskäsittelyjen välillä.

Uudistamistapa	Lannoitus (kg/ha)				
	Kontrolli 0 (0)	Turvetuhka 5000 (T ₅) 20000 (T ₂₀)		Puutuhka 5000 (P ₅) 20000 (P ₂₀)	
luontainen	5	5	5	5	5
kylvö	5	5	5	5	5
istutus	5	5	5	5	5

**Kuva 1.** Koejärjestely.

sittely-yhdistelmät arvottiin lohkoittain satunnaiseen järjestykseen. Uudistamistavat olivat: 1) luontainen, 2) kylvö ja 3) istutus. Lannoituskäsittelyt olivat: **1:** kontrolli, **2:** turvetuhka 5 000 kg/ha (T₅), **3:** turvetuhka 20 000 kg/ha (T₂₀), **4:** puutuhka 5 000 kg/ha (P₅) sekä **5:** puutuhka 20 000 kg/ha (P₂₀). Ruutujen välisiä alueita (vaipat) ei lannoitettu.

Männyn siemenet (tunnus M24-69-28 B4, alkupe-
rä Yli-Kiiminki, itävyys 73 %) kylvettiin ruuduille hajakylvönä (0,4 g/ruutu, 1 kg/ha) 14.–18.6.1985. Nelivuotiaat koulitut (2A+2A) männyn taimet (taimitunnus M24-70-41/B4, alkuperä Pudasjärvi) istutettiin 18.–19.6.1985 ruuduille hyvin tiheään (200 000 kpl/ha, 80 tainta /ruutu, istutusväli 22 cm).

Kokeessa käytetty turvetuhka oli peräisin Oulun Toppilan turvevoimalasta ja koivutuhka Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen toimintayksikön lämpökeskuksesta. Tuhkien ravinnekoostumus analysoitiin tutkimusaseman laboratoriossa (taulukko 2).

Taulukko 2. Käytettyjen tuhkien ravinnesisältö. Pitoisuudet on ilmaistu tuhkan kuivapainosta.

alkuaine, kg/tonni	puutuhka	turvetuhka
Fosfori	18	12
Kalium	120	2
Kalsium	212	56
Magnesium	42	8
Mangaani	26	2
Rauta	8	280
Sinkki	2,4	0,1
Boori	0,35	0,05

Levitettäessä molemmat tuhkaerät olivat hyvin kuivia: puutuhkassa oli 1 % vettä ja turvetuhkassa 5 %. Tuhkien levitys tehtiin samoina päivinä kuin kylvö ja istutus.

3 Aineiston keruu ja käsittely

Kasvillisuudesta määritettiin kaikkien kasvilajien peittävydet silmävaraisesti koko ruudulta kesäkuun alussa 1986 ja elokuussa 1991. Asteikko oli +, 0,5, 1, 2, ..., 10, 15, 20, 30, ..., 100 %. Lajit luokiteltiin kolmeen kasvilajiryhmään, kenttä- ja pohjakerrokseen sekä puun taimiin. Sekä männyn että koivun taimet laskettiin. Kylvötaimia ja luontaisia taimia ei eroteltu. Kasvillisuuden kerroksellisuuden vuoksi kenttäkerroksen lajien peittävyysien summa ylitti paikoin 100 %.

Kolmesta osanäytteestä koostetut *maanäytteet* otettiin kolmelta istutusalojen lannoituskäsittelyltä (kontrolli, T20 ja P20) turvekerroksista 0–10 ja 10–20 cm lokakuussa 1998. Ravinteiden horisontaalisen siirtymisen selvittämiseksi näytteet otettiin sekä ruutujen keskeltä että niiden ulkopuolelta: 25, 50 ja 100 cm etäisyydeltä ruudun reunasta maan kaltevuuden suuntaan. Kaikkiaan maanäytteitä oli 120 kpl: 3 (lannoitus) × 5 (toistot) × 4 (etäisyys) × 2 (syvyys). Näytteistä analysoitiin Muhoksen toimintayksikön laboratoriossa kokonaistyyppi Kjeldahl- ja kokonaisfosfori molybdeenisinimenetelmällä sekä kokonaiskalium atomiabsorptiospektrofotometriesti (AAS).

Tilastollinen käsittely. Kokeessa oli yhteensä 15 erilaista käsittelyä (käsittely-yhdistelmää) viidesti toistettuna. Havaintoyksikkönä oli kunkin lohkon yksittäinen ruutu. Jakauma- ja varianssien yhtäsuuruusoletukset eivät yleensä täyttyneet. Lannoituksen vaikutusta kasvillisuuteen analysoitiin Wilcoxonin testillä.

Männyn taimimääriä eri lannoituskäsittelyillä testattiin Kruskal-Wallis H testillä. Taimimäärän yhteyttä kenttä- ja pohjakerroksen kokonaispeittävyteen sekä niiden valtalajeihin tarkasteltiin Spearmanin korrelaatiokertoimella. Lohkojen väliset erot tärkeimpien vastemuuttujien kohdalla eivät olleet tilastollisesti merkitseviä tutkimuksen alussa 1986. Tutkimusvuosien 1986 ja 1991 välisiä eroja ei vertailtu tilastollisesti.

Maanäytteiden ravinnepitoisuuksille tehtiin logaritminmuunnos. Ravinteiden horisontaalista ja vertikaalista sijaintia selvitettiin varianssianalyysimalliin III pohjautuvalla lineaarisella sekamallilla, jossa

luokittelijoista lohko oli riippumaton satunnaismuuttuja ja horisontaalinen etäisyys ruudusta sekä näytteenottoisyvyys vaikutukseltaan kiinteitä. Käytetty tilasto-ohjelma oli SPSS 16 (SPSS 2008).

4 Tulokset

4.1 Kenttäkerroksen kasvillisuus 1986 ja 1991

Kontrollialat: Vuodesta 1986 vuoteen 1991 kenttäkerroslajien yhteenlaskettu peittävyys oli laskenut lähes 7 prosenttiyksikköä (taulukko 3). Keskeiset valtalajit, kuten metsälauha (*Deschampsia flexuosa*) ja jokapaikansara (*Carex nigra*), ovat olleet indifferentejä hakkuun suhteen tai hyötyneet siitä. Yleistyneitä tai uusina ilmaantuneita lajeja olivat mm. maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) ja jousivihvilä (*Juncus filiformis*). Taantuneista lajeista varvut erottuvat selvästi: puolukan (*Vaccinium vitis-idaea*) ja mustikan (*Vaccinium myrtillus*) peittävyys oli laskenut viidessä vuodessa kymmenykseen. Suopursu (*Rhododendron tomentosum*) puuttui täysin vuonna 1991. Juolukka (*V. uliginosum*) oli taantunut muita varpuja vähemmän. Pallosara (*Carex globularis*) oli hävinnyt lähes kokonaan.

Turvetuhka 5000 kg/ha (T₅) Kokonaispeittävyys oli laskenut vuodesta 1986 vuoteen 1991 mennessä 25 %-yksikköä (taulukko 3). Vuonna 1986 runsaana esiintyneistä lajeista pallosara ja suopursu olivat hävinneet kokonaan vuoteen 1991 mennessä. Vain muutama laji, kuten korpikastikka (*Calamagrostis purpurea*), jokapaikansara, metsälauha, maitohorsma ja tupasvilla (*Eriophorum vaginatum*) runsastuivat. Uusina tulokkaina paikalle olivat ilmestyneet jouhivihvilä, kataja (*Juniperus communis*), kevätpiippo (*Luzula pilosa*), kangasmaitikka (*Melampyrum pratense*), tuhkapaju (*Salix cinerea*) ja pihlaja (*Sorbus aucuparia*), joskin peittävyydeltään vähäisinä.

Turvetuhka 20000 kg/ha (T₂₀) Kokonaispeittävyys oli ensimmäisessä inventoinnissa 63 % ja vuonna 1991 vain 7 prosenttiyksikköä pienempi (taulukko 3). Jo vuonna 1986 vallitsevana esiintynyt metsälauha oli lähes kaksinkertaistanut peittävyytensä vuoteen 1991 mennessä (kuva 2). Selvästi taantuneita tai hävinneitä lajeja olivat puolestaan

Taulukko 3. Kenttäkerroksen (putkilokasvilajit) peittävyys (%) lannoituskäsitellyittäin (n=15) vuosina 1986 ja 1991. Alle 1 % peittävyys on merkitty + -merkillä. Lannoituskäsitellyjen selitykset ovat taulukossa 1.

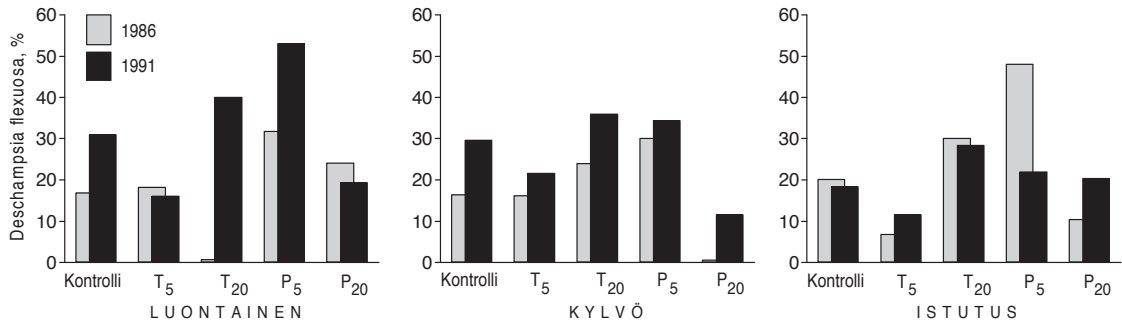
laji	1986					1991				
	0	T ₅	T ₂₀	P ₅	P ₂₀	0	T ₅	T ₂₀	P ₅	P ₂₀
<i>Agrostis capillaris</i>								+		+
<i>Betula nana</i>	+	+	+	+	+	+			+	+
<i>Betula</i> sp. (vesoja)	+	1,9	1,9	3,1	1,8	6,1	2,3	2,1	4,0	12,8
<i>Calamagrostis purpurea</i>	+	+	+	2,1	+	+	1,3	1,0	4,5	3,5
<i>Calluna vulgaris</i>		+	+	+	+	+	+	+		+
<i>Carex canescens</i>	+	+	+	+	+	1,2	+	+	1,1	+
<i>Carex globularis</i>	4,6	9,5	10,5	12,8	5,4	+		+		+
<i>Carex magellanica</i>						+				
<i>Carex nigra</i>	7,1	4,4	6,6	1,1	4,2	6,2	8,2	3,0	4,3	12,6
<i>Cerastium fontanum</i>										3,4
<i>Deschampsia flexuosa</i>	17,8	13,7	18,2	36,6	11,7	26,3	16,4	34,8	36,5	17,1
<i>Empetrum</i> sp.			1,3	+	+			+	+	+
<i>Epilobium angustifolium</i>	+	3,0	1,7	2,3	+	2,9	4,2	7,6	8,2	7,2
<i>Epilobium montanum</i>										+
<i>Eriophorum angustifolium</i>	+					+		1,3	+	+
<i>Eriophorum vaginatum</i>	3,2	2,7	1,1	+	1,6	3,0	3,5	2,9	+	+
<i>Hieracium</i> sp.					+				+	
<i>Juncus filiformis</i>					+	1,2	+	+	+	1,0
<i>Juniperus communis</i>							+	+		
<i>Luzula pilosa</i>					+	+	+	+	+	+
<i>Melampyrum pratense</i>						+	+	+	+	+
<i>Melampyrum</i> sp.	+	+	+							
<i>Poa</i> sp.		+								
<i>Ranunculus repens</i>								+		
<i>Rhododendron tomentosum</i>	2,0	7,3	6,1		4,7					+
<i>Rubus arcticus</i>	+	+				+	+		+	
<i>Rumex acetosa</i>									+	+
<i>Salix cinerea</i>							+	+		+
<i>Salix phyllicifolia</i>	+			+		+		+	+	+
<i>Salix repens</i>	+	4,4	+	+	+	+	2,1	+	1,2	1,4
<i>Salix</i> sp.	+	+			+					
<i>Sorbus aucuparia</i>							+			
<i>Taraxacum officinale</i>								+		+
<i>Trientalis europaea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Vaccinium myrtillus</i>	4,0	+	1,1	2,7	2,7	+	+	+	+	+
<i>Vaccinium uliginosum</i>	2,1	3,6	+	4,1	2,1	1,4	1,4	+	1,0	+
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	15,3	16,7	12,9	11,2	10,5	1,8	2,0	1,0	2,1	1,2
Peittävyys-%, Σ	58,9	68,6	63,3	78,0	46,4	52,1	43,2	56,3	67,1	64,6
Lajeja yhteensä	20	20	18	17	20	22	20	25	22	28

pallosara, suopursu ja puolukka. Lannoittamattomaan kontrollialaan nähden turvetuhkanlannoitus oli lisännyt erityisesti heinä- ja ruohokasvien, kuten korpikastikan, metsälauhan ja maitohorsman peittävyttä. Uusina tulokkaina vuoteen 1991 mennessä paikalle olivat ilmestyneet muun muassa nurmiröllä (*Agrostis capillaris*), rönsyleinikki (*Ranunculus repens*) ja voikukka (*Taraxacum officinale*).

Puutuhka 5000 kg/ha (P₅) Kokonaispeittävyys oli laskenut viiden vuoden aikana noin 10 prosenttiyksikköä (taulukko 3). Erityisesti varpujen, kuten mustikan, juolukan ja puolukan, peittävyys oli vähentynyt huomattavasti. Vuonna 1986 vielä runsaana esiintynyt pallosara oli puolestaan hävinnyt kokonaan vuoteen 1991 mennessä. Vuonna 1986 peittävyydeltään vallitsevana esiintynyt metsälauha

Taulukko 4. Männen taimien, kasvillisuuskerrosten ja valtalajien eri lannoituskäsittelyjä koskevien parittaisten vertailujen Wilcoxonin W testisuureen arvot vuosina 1986 ja 1991. Asymptoottinen, Bonferroni-korjattu 2-suuntainen merkitsevyys 5% luotettavuustasolla on lihavoitu. Lannoituskäsittelyjen selitykset ovat taulukossa 1. Toistoja 15.

Laji/ryhmä	vuosi	0-T5	0-T20	0-P5	0-P20	T5-T20	T5-P5	T5-P20	P5-T20	T20-P20	P5-P20
<i>männyn taimi</i>	1991	202	216	220	229	223	188	217	201	222	215
<i>kenttäkerros</i>	1986	218	227	190	212	204	206	196	187	212	189
<i>kenttäkerros</i>	1991	197	217	186	191	185	165	150	198	197	217
<i>Deschampsia flexuosa</i>	1986	227	226	204	216	227	202	208	195	209	184
<i>Deschampsia flexuosa</i>	1991	207	205	209	207	165	175	232	228	169	177
<i>pohjakerros</i>	1986	228	214	157	128	197	140	121	166	124	149
<i>pohjakerros</i>	1991	179	225	187	163	170	146	133	185	142	208
<i>Pleurozium schreberi</i>	1986	167	217	199	172	193	149	137	190	166	198
<i>Pleurozium schreberi</i>	1991	158	205	185	146	169	133	120	156	124	190
<i>Polytrichum commune</i>	1986	215	206	166	126	225	184	132	184	125	149
<i>Polytrichum commune</i>	1991	227	219	214	168	202	207	155	229	167	180



Kuva 2. Metsälauhan peittävyys lannoituskäsittelyittäin eri uudistamistavoilla.

oli puolestaan säilyttänyt asemansa viiden vuoden aikana kun taas jokapaikansara, maitohorsma sekä koivu ja paju (*Salix* spp.) olivat runsastuneet. Muutamia uusia ruohokasvilajeja, kuten niittysuolaheinä (*Rumex acetosa*) ja keltano (*Hieracium* sp.), oli ilmaantunut myös alueelle.

Puutuhka 20000 kg/ha (P₂₀) Suuren puutuhka-annoksen saaneilla koaloilla putkilokasvien kokonaispeittävyys oli kasvanut lähes 18 prosenttiyksikköä vuodesta 1986 vuoteen 1991 mennessä (taulukko 3). Peittävyydeltään runsastuneita lajeja olivat koivu, korpikastikka, jokapaikansara, metsälauha, maitohorsma, jousivihvilä sekä hanhenpaju (*Salix repens*). Lajien kokonaismäärä oli lisääntynyt. Tulokkaiden joukossa oli useita ruohokasveja, kuten nurmihärkki (*Cerastium fontanum*), letohorsma (*Epilobium montanum*), niittysuolaheinä ja voikukka. Varpukasvien peittävyys oli vähentynyt viidessä vuodessa.

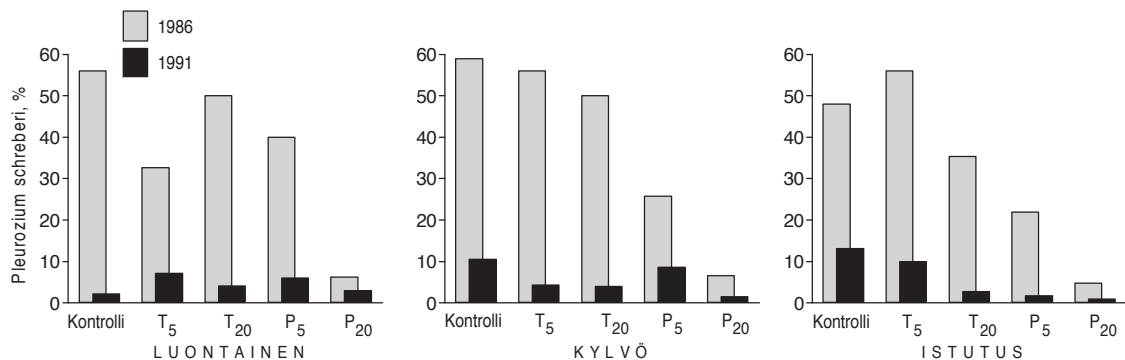
Ensimmäisessä inventoinnissa eri lannoituskäsittelyillä oli 17–20 lajia. Lajimäärä pysyi joko ennallaan (T₅) tai se oli runsastunut tutkimusjakson lopussa, erityisesti käsittelyillä T₂₀ ja P₂₀. Metsälauhaa tavattiin kuitenkin niukasti eikä lajin peittävyydellä juuri todettu olevan tilastollista eroavuutta vertailtaessa eri käsittelypareja keskenään (taulukko 4).

4.2 Pohjakerroksen kasvillisuus 1986 ja 1991

Kontrollialat: Pohjakerroksen peittävyys laski 55 prosenttiyksikköä viiden vuoden aikana (taulukko 5). Erityisesti vuonna 1986 vallitsevana esiintyneen seinäsammalen (*Pleurozium schreberi*) peittävyys oli romahtanut (kuva 3). Myös kynsisammalet (*Dicranum* spp.), metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*), kangasrahkasammal (*Sphagnum nemoreum*)

Taulukko 5. Pohjakerroksen (sammat ja jäkälät) peittävyys (%) lannoituskäsittelyittäin (n=15) vuosina 1986 ja 1991. Alle 1 % peittävyys on merkitty + -merkillä. Lannoituskäsittelyjen selitykset ovat taulukossa 1.

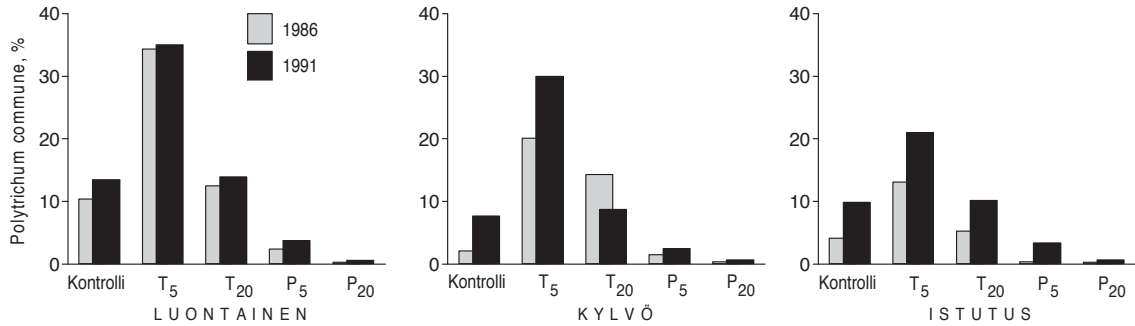
laji	1986					1991				
	0	T ₅	T ₂₀	P ₅	P ₂₀	0	T ₅	T ₂₀	P ₅	P ₂₀
<i>Aulacomnium palustre</i>	+	3,5	2,9	1,4	+	+	+	+	+	+
<i>Brachythecium</i> sp.	+	+	1,9	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ceratodon purpureus</i>						+	+	+	+	4,2
<i>Cladonia deformis</i>						+	+	+	+	+
<i>Cladonia rangiferina</i>	+					+		+		
<i>Dicranum polysetum</i>	5,0	1,2	3,8	+	+	+	+	+	+	+
<i>Dicranum scoparium</i>	+	+		+						
<i>Dicranum undulatum</i>	3,2	2,2	2,9	2,0	+	+	+	+	+	+
<i>Hylocomium splendens</i>	2,5	2,7		1,9						
<i>Pleurozium schreberi</i>	54,3	48,2	45,1	29,3	5,8	8,6	7,2	3,6	5,4	1,8
<i>Pohlia nutans</i>	1,3	+	1,9	+	4,1					
<i>Polytrichum commune</i>	5,6	22,5	10,7	1,4	+	10,3	28,7	11,0	3,2	+
<i>Polytrichum strictum</i>	+	1,4	+	+		+				
<i>Ptilium crista-castrensis</i>		+			+					
<i>Sphagnum angustifolium</i>						+			+	+
<i>Sphagnum nemoreum</i>	1,2		+			+		+		
<i>Sphagnum russowi</i>	+									
Peittävyys-%, Σ	74,7	82,5	69,5	38,8	10,7	20,2	36,2	15,1	9,4	7,1
Lajeja yhteensä	13	11	9	10	8	13	8	10	9	9



Kuva 3. Seinäsammalen peittävyys lannoituskäsittelyittäin eri uudistamistavoilla.

ja nuokkuvarstasammal (*Pohlia nutans*) olivat taantuneet tai hävinneet kokonaan. Korpikarhunsammal (*Polytrichum commune*) oli sitä vastoin lisääntynyt (kuva 4). Vaikka pohjakerroksen kokonaispeittävyys oli pienentynyt huomattavasti, lajien lukumäärä pysyi kuitenkin havainnointijakson aikana lähes muuttumattomana. Tulokkaina esiintyivät kulosammal (*Ceratodon purpureus*), harmaatorvijäkälä (*Cladonia deformis*) sekä jokasuonraikasammal (*Sphagnum angustifolium*).

Turvetuhka 5000 kg/ha (T₅) Kokonaispeittävyys oli vuonna 1991 alle puolet viiden vuoden takaisesta (taulukko 3). Seinäsammalen peittävyys oli supistunut seitsemänteen osaan. Myös suonihuopasammal (*Aulacomnium palustre*), kynsisammat, metsäkerrossammal ja rämekarhunsammal (*Polytrichum strictum*) olivat taantuneet erittäin selvästi. Korpikarhunsammal oli sitä vastoin yleistynyt ilmeisen nopeasti, ollen 1991 peittävyydeltään selvästi runsain laji. Sen peittävyys oli vuonna 1986 jo nelinkertainen kontrolliin verrattuna (kuva 4).



Kuva 4. Korpikarhunsammalen peittävyys lannoituskäsittelyittäin eri uudistamistavoilla.

Turvetuhka 20 000 kg/ha (T₂₀) Kokonaispeittävyys pieni 54 prosenttiyksikköä vuodesta 1986 vuoteen 1991 (taulukko 5). Erityisesti seinäsammalen peittävyys oli vähentynyt huomattavasti. Myös suonihuopasammal, suikerosammalet (*Brachythecium* sp.), kynsisammalet sekä nuokkuvarstasammal olivat taantuneet. Uusien lajien, kuten poronjäkälien (*Cladonia* spp.) ja kulosammalen, osuudet olivat vähämerkityksellisiä. Korpikarhunsammal oli runsain laji vuonna 1991, joskin sen peittävyys oli huomattavasti vähäisempi kuin käsittelyllä T₅.

Puutuhka 5 000 kg/ha (P₅) Kokonaispeittävyys oli vuoden 1986 alkukesällä 39%, mutta vuoteen 1991 mennessä peittävyys oli laskenut huomattavasti, ollen vain 9% (taulukko 5). Seinäsammalen taantuminen oli nopeaa. Myös suonihuopasammal, kynsisammalet ja metsäkerrossammal taantuivat tai hävisivät kokonaan. Korpikarhunsammalen peittävyys sen sijaan oli hieman lisääntynyt vuodesta 1986. Pioneerisammaliiniin kuuluvaa nuokkuvarstasammalta tavattiin vain vuonna 1986 ja kulosammalta vuonna 1991.

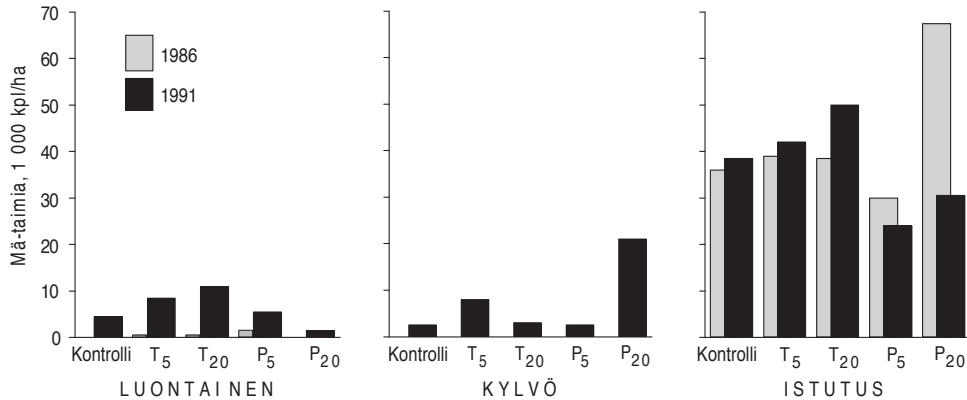
Puutuhka 20 000 kg/ha (P₂₀) Kokonaispeittävyys oli jo vuonna 1986 muihin käsittelyihin verrattuna huomattavan alhainen ja vuoteen 1991 mennessä se oli pienentynyt entisestään (taulukko 5). Vuonna 1986 seinäsammal ja nuokkuvarstasammal olivat vallitsevia lajeja, mutta viiden vuoden kuluessa ne olivat taantuneet. Kulosammal oli peittävydeltään runsain. Muiden sammal- ja jäkälälajien esiintyminen oli vähäistä. Kontrolliin verrattuna erityisesti seinä- ja korpikarhunsammalen peittävyys oli vuonna 1991 huomattavan alhainen ja kulosammalen puolestaan runsas.

Pohjakerroksen lajimäärä pysyi lähes tulkoon samana sekä kontrollialoilla (13 lajia) että lannoitetuilla käsittelyillä (8–11 lajia). Valtasammalten ja pohjakerroksen peittävyksillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja, erityisesti verrattaessa kontrollia ja turvetuhkaa puutuhkakäsittelyihin. Lannoituskäsittelyjen parittaisessa vertailussa käsittely T₅ ja P₂₀ erosivat yleensä toisistaan (taulukko 4). Jo lannoitusta seuraavana vuonna pohjakerroksen kokonaispeittävydessä ilmeni käsittelyjen välillä tilastollisesti merkitseviä eroja.

4.3 Taimettuminen

Uudistamiskäsittelyn vaikutus. Kesäkuussa 1986 luontaisen uudistamisen ruuduissa oli keskimäärin 500 männyn tainta/ha. Kylvöruuduissa männyn taimia ei ollut lainkaan. Istutusruuduissa taimia tavattiin 42 200 kpl/ha. Vuonna 1991 luontaisen uudistamisen ruuduissa oli 6 200, kylvöruuduissa 7 400 ja istutusruuduissa 37 000 tainta/ha (kuva 5). Uudistamistapa vaikutti taimettumiseen odotetusti merkitsevästi ($F = 73,3$, $p < 0,001$).

Lannoituksen vaikutus taimimäärään (1991). Luontaisen uudistamisen ruuduissa turvetuhka (T₅ ja T₂₀) oli lisännyt männyn taimien määrää enemmän kuin puutuhka (kuva 5). Huomionarvoista on, että kontrolliruuduissa männyn taimia oli lähes yhtä paljon kuin käsittelyllä P₅ ja jopa neljä kertaa enemmän kuin käsittelyllä P₂₀. Kylvöruuduissa pieni turvetuhka-annos (T₅) oli lisännyt hieman taimien määrää, mutta käsittelyillä T₂₀ ja P₅ taimia oli saman verran kuin lannoittamattomalla kontrollilla.



Kuva 5. Männyn taimien lukumäärä eri lannoituskäsittelyillä ja kolmella eri uudistamistavalla.

Selvästi eniten taimia oli käsittelyllä P₂₀, joskin 3/4 taimista löytyi yhdestä ruudusta. *Istutusruuduissa* taimia oli eniten turvetuhkaa saaneissa ruuduissa. Puutuhkaa saaneissa ruuduissa taimien lukumäärä oli jopa pienempi kuin kontrolliruuduissa.

Yksikään lannoituskäsittelyistä ei lisännyt tilastollisesti merkitsevästi taimien määrää. Käsittelyparivertailu ei antanut myöskään viitteitä siitä, että männyn taimien määrässä olisi tilastollista eroavuutta (taulukko 4). Lannoituksen ja uudistamistavan välillä ei myöskään havaittu yhdysvaikutuksia ($F=1,275$, $p=0,275$). Ruutuja, joista kaikki taimet olivat kuolleet, oli tutkimusjakson lopussa vähiten (2 kpl) käsittelyllä T₅, eniten (5 kpl) käsittelyllä P₅. Taimimäärien painotukset mediaanin suhteen eivät poikenneet merkitsevästi eri lannoitustavoilla ($\chi^2=5,6$, $p=0,133$). Taimimäärän vaihtelu selittyi vain osittain valtalaji- tai kasvillisuusryhmän peittävyksillä. Kenttäkerroksen ja metsälauhan peittävydet korreloivat negatiivisesti taimimäärän kanssa ($r = -0,331$ ja $r = -0,246$). *Koivun* taimia oli vuonna 1991 selvästi eniten (46 648 kpl/ha) käsittelyllä T₂₀. Muilla lannoituskäsittelyillä koivun taimia tavattiin vähemmän.

4.4 Maaperän fosfori- ja kaliumpitoisuus 1998

Kontrolliruuduilla pintakerroksen (0–10 cm) fosforipitoisuus oli 1 422–1 668 mg/kg. Syvemmillä pitoisuudet olivat kauttaaltaan hieman alemmat. Sivusuunnassa (25, 50 ja 100 cm) erot olivat vähäisiä kummassakin kerroksessa (taulukko 6). *Turvetuhkakäsittelyllä* T₂₀ ruudun pintakerroksessa fosforipitoisuus oli noussut noin 1,5-kertaiseksi kontrolliin nähden, mutta sivusuunnassa pitoisuudet olivat hieman alemmat kuin kontrollilla. Kerroksessa 10–20 cm pitoisuudet olivat kauttaaltaan selvästi alemmat kuin vastaavalla kontrollilla. *Puutuhkakäsittelyllä* P₂₀ pintakerroksen fosforipitoisuudet olivat ruudussa kaksinkertaiset kontrolliin nähden, mutta sivusuunnassa kontrollin tasolla. Syvemmillä pitoisuudet olivat kauttaaltaan jonkin verran kontrolliarvoja korkeammat.

Sekä lannoituksella että etäisyydellä ruudusta (cm) oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus pintakerroksen fosforipitoisuuksiin. Lannoituksen ja etäisyyden välillä vallitsi merkitsevä yhdysvaikutus. Syvemmillä ei todettu tilastollisesti merkitseviä eroja (taulukko 7).

Kaliumin pitoisuudet olivat lannoittamattoman kontrolliruudun pintakerroksessa 448–395 mg/kg. Syvemmillä (10–20 cm) pitoisuudet olivat selvästi alemmat. Sivusuuntaiset erot olivat molemmissa maakerroksissa erittäin pienet (taulukko 6). *Turvetuhkakäsittelyllä* T₂₀ kaliumin pitoisuus ruudun

Taulukko 6. Fosforin ja kaliumin pitoisuudet (mg/kg) ruudussa ja sen ulkopuolella (cm) maakerroksittain vuonna 1998. Lannoituskäsittelyjen selitykset ovat taulukossa 1.Toistoja 5.

lannoitus	ruutu	Fosfori Kerros, 0–10 cm			ruutu	Kalium Kerros, 0–10 cm		
		25 cm	50 cm	100 cm		25 cm	50 cm	100 cm
kontrolli	1 422	1 482	1 668	1 363	448	373	416	395
T ₂₀	2 232	1 447	1 366	1 250	536	397	444	411
P ₂₀	3 072	1 448	1 474	1 544	1 079	693	689	614
		Kerros, 10–20 cm			Kerros, 10–20 cm			
kontrolli	1 248	1472	1 221	1 308	197	201	199	200
T ₂₀	1 009	994	888	700	189	209	200	175
P ₂₀	1 455	1 326	1 552	1 564	493	270	254	254

Taulukko 7. Kiinteiden selittävien muuttujien varianssianalyysin (III tyyppi) sekamallilla lasketut lannoituksen ja näytteenottoetäisyyden (cm) vaikutukset logaritmi-muunnetun kaliumin ja fosforin pitoisuuksiin maakerroksissa 0–10 ja 10–20 cm vuonna 1998. Lannoituskäsittelyjen selitykset ovat taulukossa 1.Toistoja 5.

Kerros	Mallin tekijä	Tekijätaso	Fosfori		Kalium	
			F	Merkitsevyys	F	Merkitsevyys
0–10	vakio	1	32628,54	< 0,001	16747,59	< 0,001
	lannoitus	3	6,74	0,006	45,72	< 0,001
	cm (etäisyys)	4	10,91	< 0,001	11,16	< 0,001
	lannoitus*cm	12	4,03	0,004	1,35	0,260
10–20	vakio	1	688,76	< 0,001	4119,79	< 0,001
	lannoitus	3	1,04	0,380	17,47	< 0,001
	cm (etäisyys)	4	0,11	0,953	1,99	0,14
	lannoitus*cm	12	0,83	0,551	2,76	0,03

pintakerroksessa oli kontrolliin nähden noin 1,2-kertainen. Kerroksessa 10–20 cm pitoisuudet olivat samansuuruiset kuin kontrollilla. Sivusuunnassa pitoisuudet olivat kontrollin tasoa eikä kaliumin suurempaa sivusuuntaista siirtymistä siten ollut havaittavissa (taulukko 6). *Puutuhkakäsittelyllä P₂₀* ruudun pintakerroksessa kaliumpitoisuudet olivat kaksinkertaiset kontrolliin nähden. Myös syvemmällä kaliumin pitoisuus oli yli kaksinkertainen kontrolliin nähden. Samoin sivusuunnassa pitoisuudet olivat kummassakin kerroksessa kontrollia selvästi korkeammat.

Lannoituskäsittelyn ja etäisyyden vaikutus kaliumin pitoisuuksiin oli pintakerroksessa tilastollisesti erittäin merkitsevä. Yhdysvaikutusta ei sen sijaan todettu. Myös syvemmällä lannoituskäsittelyn vaikutus pysyi merkitseväenä (taulukko 7).

5 Tulosten tarkastelu

Koejärjestelyksi valittiin satunnaistetut lohkot, jossa kussakin lohossa kukin käsittely-yhdistelmä esiintyi kerran. Alkuinventointien (hakkuuta edeltävä sekä kokeen perustamishetken tilanne) puuttuminen hankaloittaa tulosten arviointia. Jonkinasteisena puutteena voidaan myös pitää inventointiajankohtien fenologista erilaisuutta. Lajiston runsausjakauma ei ollut tasainen; aineistolle oli tyypillistä runsas nollahavaintojen määrä sekä joidenkin lajien suuri peittävyys. Valtalajien sekä kenttä- ja pohjakerroksen keskiyeittävytydet olivat lähes poikkeuksetta selvästi korkeammat kuin vastaavat mediaaniarvot.

Vuoden 1985 päätehakkuuta seuranneella valaistus- ja ravinneolosuhteiden muutoksella oli voimakas vaikutus turvekankaan kasvillisuuteen. Varjoisissa paikoissa viihtyvät lajit, kuten puolukka, mustikka, seinäsammal ja metsäkerrossammal,

taantuivat voimakkaasti havainnointijakson aikana. Avointen paikkojen pioneerilajeja, kuten maitohorsma ja nuokkuvarstasammal, puolestaan ilmestyi paikalle uusina tulokkaina. Tutkimusjakson lopussa kenttäkerroksen peittävyys oli pienempi kuin sen alussa, käsittelyä P₂₀ lukuun ottamatta. Erityisesti istutusruuduissa kenttäkerroksen lajien peittävyys on saattanut supistua myös männyn taimien kasvun myötä. Toinen inventointi tehtiin kun kokeen perustamisesta oli jo kuusi kasvukautta.

Tuhka useimmiten voimisti hakkuun aiheuttamia vaikutuksia. Sekä hakkuu että tuhkalannoitus lisäsivät kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrää. Tuhkalannoituksista olivat kenttäkerroksessa selvimmin hyötynneet ruohovartistet kasvit, kuten korpikastikka, osittain myös metsälauha sekä palopaikoilla viihtyvä maitohorsma. Näiden peittävyys oli lisääntynyt lannoittamattomaan kontrolliin verrattuna. Tulokset olivat samansuuntaisia kuin aikaisempien, metsäojitetuilla turvemailla tehtyjen tutkimusten tulokset. Tuhkalannoituksen jälkeen syntyvä kenttäkerros on ruoho- tai heinävaltaista tai näitä molempia (Silfverberg ja Hotanen 1989).

Pohjakerroksessa tuhkalannoitus vahvisti hakkuun jälkeen alkanutta vallitsevien metsäsammallajien taantumista entisestään: mitä suurempi tuhkalannoitusmäärä, sitä alhaisempi pohjakerroksen peittävyys. Merkille pantavaa on pohjakerroksen peittävyuden nopea lasku puutuhkalannoituksen jälkeen, erityisesti suuren tuhkamäärän saaneissa ruuduissa.

Sammalilla ei ole juuria, vaan ne ottavat ravinteita tehokkaasti suoraan sadevedestä ja ilmassa olevasta pölystä lehdillään sekä varrellaan. Tämä tekee niistä myös erityisen alttiita elinympäristön muutoksille (Jäppinen ja Hotanen 1990, Potter ym. 1995, Ulvinen ym. 2002). Varsinkin puutuhkalannoituksessa sammat altistuvat korkean pH:n lisäksi suurille määrille alkuaineita, joista huomattava osa (esim. Mn ja Zn) on raskasmetalleiksi luokiteltuja. Alkuperäisten sammalten taantuminen ja häviäminen antoi puolestaan elintilaa uusille lajeille. Pioneerisammalet, jotka ilmestyvät kasvupaikalle häiriön jälkeen, olivatkin hyötynneet tuhkan levityksestä. Tuhkalannoituksella on havaittu olevan samankaltaisia vaikutuksia pohjakasvillisuuteen myös muissa metsäojitetuilla turvemailla tehdyissä tutkimuksissa. Alkuperäiset suo- ja metsäsammalet ovat vähentyneet voimakkaasti. Pioneerilajit, kuten

nuokkuvarstasammal ja kulosammal, ovat runsastuneet (Silfverberg ja Hotanen 1989, Moilanen ym. 2002, Moilanen ja Issakainen 2003, 2007, Moilanen ja Silfverberg 2004). Tuhkalannoituksella on havaittu olevan suotuisa vaikutus erityisesti palopaikkoja suosivien pioneerisammalten peittävyyyteen, myös ennestään kasvipeitteettömällä suopohjilla (Huotari ym. 2007). Puutuhkan pH on noin 13 ja turvetuhkan noin 9 (Moilanen ja Issakainen 2003).

Pieni määrä turvetuhkaa oli jonkin verran vähemmän haitallinen pohjakerrokselle kuin muut tuhkakäsittelyt. Korpikarhunsammalten peittävyuden kasvun seurauksena pohjakerroksen kokonaispeittävyys oli suurin käsittelyllä T₅. Korpikarhunsammal on pienikokoisten pioneerilajien (esim. *Pohlia* ja *Ceratodon*) tapaan tyypillinen laji palaneella humuksella (Koponen 1994). Karhunsammalet tiedetään myös kaliumin puutosta sietäviksi (Ferm ym. 1992, Korpela 2000). Ravinnetaloudeltaan (P:K) epätasapainoisilla kasvupaikoilla, kuten rimpisillä ojitusalueilla, karhunsammalet ovat usein pohjakerroksen valtalajeja (Veijalainen 1999, Korpela 2000). Runsasfosforinen, mutta niukkakalinen turvetuhka saattaa siten olla yksi syy korpikarhunsammalten runsastumiseen. Myös suonpohjilla tehdyissä tutkimuksissa turvetuhkaa sisältäneiden lannoitteiden havaittiin lisäävän karhunsammalten peittävyyttä enemmän kuin puutuhkan (Huotari ym. 2007, Issakainen ja Huotari 2007).

Istutusruutujen taimimäärä (200 000 kpl/ha) oli epätavallisen korkea. Tällä haluttiin varmistaa kuitenkin riittävä taimimäärä lannoitusvaikutusten tutkimiseksi. Myöhäinen istutusajankohta saattoi heikentää taimien elossapysymistä.

Tuhkalannoituksella ei todettu olevan yhteyttä mäntyjen taimettumiseen (vrt. Silfverberg 1995), joskin turvetuhkakäsittelyillä oli enemmän taimia kuin kontrollilla. Huomionarvoista on, ettei suuriakaan puutuhkamäärä ollut ehkäissyt männyn taimien syntyä ja kasvua. Puutuhkalla on havaittu olevan erilainen vaikutus eri puulajien itämiseen ja alkukehitykseen. Tuhkan on raportoitu edistävän esimerkiksi hieskoivun itämistä ja alkukehitystä (Huotari ym. 2008). Sen sijaan männyn siementen itämiseen tuhalla ei ole havaittu olevan vastaavaa vaikutusta (Reyes ja Casal 2004).

Kylvöruutujen taimettomuus saattoi ainakin osittain johtua myöhäisestä kylvöajankohdasta. Turve-

kankaan pintaturpeen ajoittainen kuivuus (Saarinen 2005) selittänee osaltaan, miksi lähes kasvuton alusta on taimettunut huonosti. Keskeinen taimettumista vaikeuttava tekijä on myös kunta eli kangasturve ja siitä aiheutuva heikko kapillaariyhteys maaperään. Toisaalta päätehakkuun jälkeen tapahtuvan pohjaveden nousun voisi olettaa helpottavan taimettumista. Metsälauhan ja korpikarhunsammalen runsastuminen on vähentänyt männyn siemenille itämälustaksi sopivaa alaa, mikä on paikoin saattanut heikentää männyn uudistumista (Reinikainen ym. 2000, Saarinen 2005).

Kun tavoitteena on pitkäaikainen lannoitusvaikutus, on puuston kaliumin saannin turvaaminen tärkeää (Kaunisto 1992, Laiho ym. 2005). Käsittelyllä P₂₀ kaliumin lisäys oli ollut noin 50-kertainen sekä turvetuhkakäsittelyyn että myös pintaturpeen luontaiseen kaliummäärään nähden (ks. Laiho ja Alm 2005). Kuitenkin turpeen kaliumpitoisuus oli vain kaksi kertaa suurempi kuin turvetuhkaruudulla ja kontrollilla.

Tämän tutkimuksen tulokset eivät puolla tuhkan, etenkin puutuhkan, käyttöä turvekankaiden taimettumisen edistämiseksi. Ei ole mielekää levittää suuria määriä ravinteita, jotka eivät edistä taimettumista eivätkä myöskään pysy (kalium) riittävän kauan maaperässä täyttääkseen puuston myöhempiä ravinteiden tarvetta. Vastaavien puutuhkamäärien käyttö ojikkovaiheessa on kuitenkin parantanut puuston kasvua kymmeniä vuosia (Silfverberg ja Hotanen 1989). Suurten puutuhkamäärien lannoituskäyttö ei ole perusteltua myöskään ympäristönäkökohtien vuoksi (Lannoitevalmisteasetus 2007, Ruotsalainen 2007).

Kirjallisuus

- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147: 305–316.
- Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Kauppi, A. & Kubin, E. 2007. Fertilization ensures rapid formation of ground vegetation on cut-away peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 874–883.
- , Tillman-Sutela, E., Pasanen, J. & Kubin, E. 2008. Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cut away peatland. *Forest Ecology and Management* 255: 2870–2875.
- Hytönen, J. 2003. Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural fields. *Silva Fennica* 37(2): 219–234.
- & Pietiläinen, P. 1995. Turvepeltojen lannoitus ravinne-epätasapainon korjaamiseksi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 581: 149–164.
- Issakainen, J. & Huotari, N. 2007. Suonpohjien metsittäminen. *Metla*, Vapo. 11 s.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effect of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Environmental Research* 4: 343–355.
- Jäppinen, J.-P. & Hotanen, J.-P. 1990. Effect of fertilization on the abundance of bryophytes in two drained peatland forests in Eastern Finland. *Annales Botanici Fennici* 27: 93–108.
- Kansallinen metsäohjelma 2015 (KMO). 2008. Lisää hyvinvointia monimuotoisista metsistä – Valtioneuvoston periaatepäätös. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008. 46 s.
- Kaunisto, S. 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. *Suo* 43: 45–62.
- & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemaidella. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. *Folia Forestalia* 625. 75 s.
- Koponen, T. 1994. Lehtisammalten määrittäminen. Kolmas uusittu painos. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 139. 119 s.
- Korpela, L. 2000. *Polytrichum commune*. Korpikarhunsammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Kustannusosakeyhtiö Tammi. s. 255–257.
- Laiho, R. & Alm, J. 2005. Turvemaiden ravinnevarat ja niiden riittävyys. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi, *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 40–45.
- , Kaunisto, S. & Alm, J. 2005. Suometsien ravinnetilan kehitys ojituksen jälkeen. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi, *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947:

- 46–60.
- Lannoitevalmisteasetus. 2007. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. DNo 656/01/2007. 12/07.
- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. & Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalue metsäkoissa. The profitability of wood ash-fertilizing of drained peatland Scots pine stands. *Suo – Mire and Peat* 48(3): 71–82.
- Makkonen, T. (toim.). 2008. Tuhkalannoitus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 31 s.
- Metsäntutkimuslaitoksen koerekisteri 5.11.2008.
- Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). *Suosta metsäksi*, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 134–166.
- & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkan vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuairepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. *Metsätehon raportti* 162. 91 s.
- & Issakainen, J. 2007. Metsäntutkimusta Pelsonsuolla. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen yksikkö. 41 s.
- & Silfverberg, K. 2004. Short-term effects of wood-ash on two drained mires in central Finland. Teoksessa: Päivänen, J. (toim.): *Proceedings of the 12th International Peat Congress: Wise use of peatlands, 6–11 June 2004, Tampere, Finland*. International Peat Society. s. 464–471.
- , Silfverberg, K. & Hokkanen, T. 2002. Effects of wood-ash on tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: case study. *Forest Ecology and Management* 171: 321–338.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2005. Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus huuhtoutumiin. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). *Suosta metsäksi*. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947. s. 254–258.
- Potter, J.A., Press, M.C., Callaghan, T.V. & Lee, J.A. 1995. Growth responses of *Polytrichum commune* and *Hylocomium splendens* to simulated environmental change in sub-arctic. *New Phytologist* 131: 533–541.
- Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). 2000. *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Kustannusosakeyhtiö Tammi. 384 s.
- Reyes, O. & Casal, M. 2004. Effects of forest fire ash on germination and early growth of four *pinus* species. *Plant Ecology* 175: 81–89.
- Ruotsalainen, M. (toim.). 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 51 s.
- Saarinen, M. 1997. Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Effect of site factors on restocking of old drainage areas. A literature review. *Suo* 48(3): 61–70.
- 2002. Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukaturvekankailla. *Suo* 53(2): 41–60.
- 2005. Metsänuudistaminen turvemaille. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). *Suosta metsäksi*, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 177–193.
- Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. *Silva Fennica* 29(3): 205–215.
- 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized, drained peatlands in Finland. (Väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588. 27 s. + 5 liitejulkaisua.
- & Hotanen, J.-P. 1989. Puutuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. *Folia Forestalia* 742. 23 s.
- SPSS Inc. (Chicago, USA). 2008. SPSS 16.0.2.
- Ulvinen, T., Syrjänen, K. & Anttila, S. (toim.). 2002. *Suomen sammalet – levinneisyys, ekologia, uhanalaisuus*. Suomen ympäristö 560. Edita Publishing Oy. 354 s.
- Veijalainen, H. 1999. (toim.). *Kaakkosuon koeojitusalueen lannoituskokeita*. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Moniste. 7 s + liitteet.

38 viitettä