

☞ Tuhkalannoituksen vaikutus aluskasvillisuuteen metsäojitetuilla rämeillä

Effect of ash fertilization on the understorey vegetation in drained Scots pine mires

Juha-Pekka Hotanen

Juha-Pekka Hotanen, Luonnonvarakeskus, Yliopistokatu 6B, 80100 Joensuu, email: ext.juha-pekka.hotanen@luke.fi

Tuhkan soveltuvuus metsäojitettujen turvemaiden ravinnetalouden hoitoon on tunnettu jo kauan. Tiedot tuhkalannoituksen vaikutuksista aluskasvillisuuden rakenteeseen eri kasvupaikoilla ovat kuitenkin puutteellisia. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli analysoida metsätaloudessa normaalisti käytettävien puutuhkamäärien vaikutuksia aluskasvillisuuteen tuhkalannoitukseen sopivilla kasvupaikoilla eli turvekankaiden kakkostyypeillä, jotka ovat kehittyneet avo- ja sekatyypin soista. Tuhkakoealat ($n=10$) ja niiden kontrollit ($n=10$) sijaitsivat seitsemällä alueella keskiboreaalaisella vyöhykkeellä. Tuhkalannoitusvuosi, käytetty tuhkamäärä ja turvekangastyyppi vaihtelivat. Tuhkalannoitus rehevöitti aluskasvillisuutta. Lannoitettujen koealojen turvekangastyyppi oli vähintään laitavariantin (+) ravinteikkaampi kuin kontrollien. Tuhkalannoitus edisti myös kuivumis- ja metsäsuikkessiota. Tämä näkyi mm. puuntaimien, lähinnä hieskoivun (*Betula pubescens*), ja karikemäärän runsastumisena. Se ilmeni myös karikkeella elävien suikerosamalten (*Brachythecium spp.*) hienoisena runsastumisena sekä useimpien rahkasammalien (*Sphagnum*) vähenemisenä. Tuhka lisäsi aluskasvillisuuden monimuotoisuutta, mikä näkyi kenttäkerroksessa. Kenttä- ja pohjakerroksen kokonaislajimäärä kasvoi tilastollisesti suuntaa antavasti ($p<0,1$). Tuhka-aloilla kasvoi yhteensä 63 lajia (osa ryhmälajeja), kontrolleilla vastaavasti 52 lajia. Tuhka-aloilla varvut vähenivät ryhmätasolla. Suokukka (*Andromeda polifolia*) väheni kaikilla turvekangastyypeillä. Puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) väheni varputurvekankailla, joilla taas mustikka (*Vaccinium myrtillus*) näytti runsastuvan, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Heinien ja sarojen peittävyyydet olivat koealoilla alhaisia, ja lajien runsausmuutokset pieniä. Korpikastikka (*Calamagrostis purpurea*) hyötyi selvimmin lannoituksesta. Myös ruohot kasvoivat melko niukkoina. Kuitenkin metsäalvejuuri (*Dryopteris carthusiana*), maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) ja metsätähti (*Trientalis euroaepaea*) runsastuivat tuhkalannoituksen seurauksena. Tuhkalannoitus ei juuri vaikuttanut lehtisamalten kokonaisrunsauteen. Suikerosammalet runsastuivat, mutta niitä oli niukasti lannoituksen jälkeenkin. Metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*) runsastui hienokseltaan, selvimmin puolukkaturvekankaan tuhka-aloilla. Rämekarhunsammal (*Polytrichum strictum*) kärsi selvimmin lannoituksesta. Myös rahkasammalet (*Sphagnum*) taantuivat selvästi lukuun ottamatta kangasrahkasammalta (*S. capillifolium*), joka hieman runsastui.

Avainsanat: kenttäkerros, pohjakerros, puuntaimet, puutuhka, t-testi, turvekangas

Keywords: bottom layer, field layer, peatland, tree seedlings, t-test, wood ash

Johdanto

Tuhkan, varsinkin puutuhkan soveltuvuus metsäojitettujen turvemaiden ravinnetalouden parantamiseen on tunnettu jo kauan (mm. Lukkala 1951; Huikari 1953; Reinikainen 1980; Silfverberg & Huikari 1985). Eri tuhkalaatujen ja -määrien vaikutuksista ojitettujen turvemaiden ekosysteemien rakenteeseen ja toimintaan onkin kertynyt monipuolista tutkimusta (esim. Silfverberg 1996; Moilanen 2000; Moilanen ym. 2002; Huotari ym. 2008; Silfverberg ym. 2010; Piirainen ym. 2013; Peltoniemi ym. 2016; Hökkä ym. 2024). Myös tuhkalannoituksen vaikutuksia turvemaiden kasvihuonekasujen päästöihin ja hiilitaseisiin on alettu laajasti selvittää (mm. Ernfors ym. 2010; Moilanen ym. 2012; Silvan & Hytönen 2016; Väänänen ym. 2024). On ilmeistä, että tuhkalannoituspinta-aloja pyritäänkin kasvattamaan (<https://forest.fi/fi/artikkeli/pelastaako-metsien-lannoitus-suomen-hiilinielut/>).

Tuhkalannoituksen aiheuttamat muutokset pintaturpeen mikrobiologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin ovat pitkäkestoisia (Silfverberg 1996). Tuhka vähentää pintaturpeen happamuutta 1–2 pH-yksikköä (Lukkala 1951; Huikari 1953; Moilanen 2000) sekä nostaa ja tasapainottaa kasvupaikan ravinnetilaa. Samalla kasvupaikan puuntuotoskyky eli boniteetti kasvaa (Silfverberg & Huikari 1985; Kaunisto 1996), jopa niukkaravinteisissa, varputurvekankaiksi luokitelluissa suometsissä (Hökkä ym. 2024). Tuhkalannoitusta kutsutaankin metsien terveyslannoitukseksi. Sillä on saatu jopa hankalasti kasvatettavat siniheinäiset avosuot tuottamaan puuta metsätalouden tarpeisiin (Silfverberg ym. 2011). Tuhkalannoituksen aiheuttamat muutokset heijastuvat myös aluskasvillisuuden rakenteeseen ja lajistosuhteisiin.

Tuhkalannoituksen aiheuttamia kasvillisuusmuutoksia on esitetty joiltakin kasvupaikoilta (Silfverberg & Huikari 1985; Silfverberg ym. 2010 viitteineen), osa niistä on lähinnä erikoistapauksia (Silfverberg & Hotanen 1989). Suuresta osasta tuhkalannoitukseen sopivista kohteista eli turvekankaiden kakkostyypeistä, jotka ovat kehittyneet avo- ja sekatyypin soista, tiedot puuttuvat. Toistaiseksi julkaistujen tulosten näkökulma on ollut muu kuin monimuotoisuus. Tosin kasvilaji-

taulukkoita on laadittu, ja niistä voidaan laskea ja on osin laskettukin (Silfverberg & Hotanen 1989; Silfverberg ym. 2010) yksinkertaisia monimuotoisuustunnuksia kuten lajimääriä.

Tuhkalannoitus muuttaa kasvillisuuden rakennetta niin metsäojitetuilla turvemaiden kuin turpeennostosta vapautuneiden suonpohjien metsityskokeillakin (Silfverberg & Huikari 1985; Huotari ym. 2007). Kasvillisuuden muutos on ollut voimakkainta ravinteisimmilla ja eniten tuhkaa saaneilla aloilla. Alun perin märillä, typpirikkailla avosoilla muutos on ollut erityisen huomattava (Silfverberg & Huikari 1985; Silfverberg & Hotanen 1989). Karuilla ja karuhkoilla rämeillä muutokset ovat olleet vähäisempiä niukkaravinteisuuden ja varpuvaltaisuuden vuoksi; tyypeä on ollut liian vähän pintaturpeessa (Silfverberg & Huikari 1985).

Tämän tutkimuksen tarkoitus on analysoida metsätaloudessa normaalisti käytettävien puutuhkamäärien vaikutuksia aluskasvillisuuden rakenteeseen tavanomaisilla, tuhkalannoitukseen sopivilla kasvupaikoilla eli turvekankaiden kakkostyypeillä.

Aineisto ja menetelmät

Tuhkakoealat ($n=10$) ja niiden viereiset kontrollit ($n=10$) sijaitsivat seitsemässä kohteessa keskiboreaalaisella vyöhykkeellä, Pohjanmaan aapasuoalueella (Taulukko 1). Tuhkalannoitusvuosi, käytetty tuhkamäärä ja turvekangastyyppi (MtkgII – PtkgII – VatkkgII; Laine ym. 2018) vaihtelivat (Taulukko 1).

Koealat olivat paksuturpeisia (turvekerroksen paksuus > 30 cm) ja mäntyvaltaisia. Ne oli lannoitettu vähintään 9 vuotta aikaisemmin nykyosuusituksiin (3000 – 6000 kg/ha) verrattavissa olevilla määrillä puutuhkaa (Väänänen ym. 2024). Lestijärven kokeessa oli kuitenkin käytetty vähäravinteista kuorituhkaa, jota oli vastaavasti levitetty suurempi määrä. Tästä huolimatta Lestijärvellä annetut ravinnemäärät jäivät nykyosuusituksia pienemmiksi. Myös Vaalassa ravinnemäärät olivat suosituksia hieman pienemmät. Keminmaalla alkuperäinen lannoitus oli tehty huonolaatuisella tuhalla vuonna 1978, joten käsittely oli toistettu vuonna 2002 parempi-laatuisella tuhalla (Taulukko 1).

Kasvillisuuskuvaukset tehtiin elokuussa 2023. Jokaisella koealalla oli kahdella linjalla yhteensä 10 systemaattisesti sijoitettua 1 m²:n kasviruutua. Kenttä- ja pohjakerroslajien peittävydet arvioitiin asteikolla 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25.....90, 93, 95, 97, 98 ja 99 %. Puulajeista arvioitiin alle 50 cm mittaisten taimien peittävyys. Kullekin lajille (tai ryhmälajille) laskettiin koealakohtaiset keskipeittävydet, joita käytettiin itse kasvillisuusanalyysissä. Myös kasviruutujen ulkopuoliset lajit otettiin huomioon merkitsemällä niiden keskipeittävydeksi 0,01 %.

Runsauserot kontrollien ja lannoitettujen alojen välillä testattiin t-testillä Excel-ohjelmistolla. Testi on kahden riippumattoman otoksen keskiarvotesti, ja jos vertailtavien populaatioiden (kontrollit vs. lannoitetut) keskiarvot eroavat, se havaitaan t-testin avulla muita testejä varmemmin (Ranta ym. 2002). Ennen testejä peittävyysarvoille tehtiin jakaumien korjaamiseksi log₁₀(x+1) transformaatio. Lajiston tieteellisissä nimissä noudatettiin putkilokasveilla Hämet-Ahti ym. (1998) ja sammalilla Ulvinen ym. (2002) nimityksiä.

Tuloksista on pääteltävissä lähinnä vain yleiskäsitys lannoituksen vaikutuksista aluskasvillisuuden rakenteeseen, koska lannoitusvuodet ja -määrät vaihtelivat ja koska kasvillisuusanalyysit on tehty vain vuonna 2023, eikä koealoilta ole tehty muita lannoituksen jälkeisiä kasvillisuuden seurantamittauksia.

Tulokset

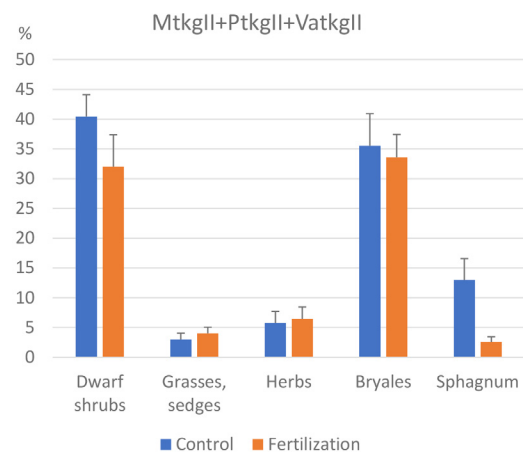
Tuhkalannoitus oli rehevöittänyt aluskasvillisuutta kaikilla koealoilla. Lannoitettujen alojen turvekangastyypin oli vähintään laitavariantin (+) verran ravinteikkaampi kuin kontrollien. Keminmaalla ja Siikajoella turvekangastyypin oli vaihtunut ravinteisempaan ravinteisuusluokkaan eli rehevämpään kasvupaikkatyyppiin (Taulukko 1).

Tuhkalannoitus edisti kuivumis- ja metsäsuksesiota eli turvekangassukessiota. Tämä näkyi mm. puuntaimien, lähinnä hieskoivun (*Betula pubescens*) runsastumisena sekä karikepeittävyden kasvuna ja karikkeella elävien suikerosamalten (*Brachythecium spp.*) hienoisena runsastumisena sekä useimpien rahkasammalien (*Sphagnum*) vähenemisenä (Liite 1).

Tuhka lisäsi hienokseltaan aluskasvillisuuden monimuotoisuutta, mikä näkyi kenttäkerroksessa. Kenttä- ja pohjakerroksen kokonaislajimäärä kasvoi suuntaa antavasti ($p < 0,1$) koealojen yhdistetyssä aineistossa, jossa oli mukana kaikki kasvupaikat yhdessä (Liite 1). Tuhka-aloilla kasvoi yhteensä 63 lajia (osaksi ryhmälajeja *spp.*), joista 39 lajia kenttäkerroksessa ja 24 lajia pohjakerroksessa. Vastaavasti kontrolleilla kasvoi 52 lajia, joista 28 kenttäkerroksessa ja 24 pohjakerroksessa.

Kontrolleihin verrattuna tuhka-aloilta oli hävinnyt kuusi kasvilajia, joista viisi oli samalia ja yksi sara. Vastaavasti tuhka-aloille oli kolonisoitunut 17 lajia, joita ei ollut kontrolleilla (Liite 1). Eniten uusia lajeja (6 kpl) oli ilmestynyt ruohojen ryhmään.

Tuhka-aloilla varvut vähenivät ryhmätasolla (Kuva 1, Liite 1). Suokukka (*Andromeda polifolia*) väheni kaikilla kasvupaikkatyypeillä (Kuva 2, Liite 1). Puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) väheni varputurvekankailla (Liite 1). Juolukka (*Vaccinium uliginosum*) näytti vähenevän kaikilla tyypeillä ja mustikka taas runsastuvan varputurvekankailla, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (Liite 1). Riidenlieko (*Lycopodium annotinum*) oli ilmestynyt muutamalle puolukka-turvekankaan tuhka-alalle.



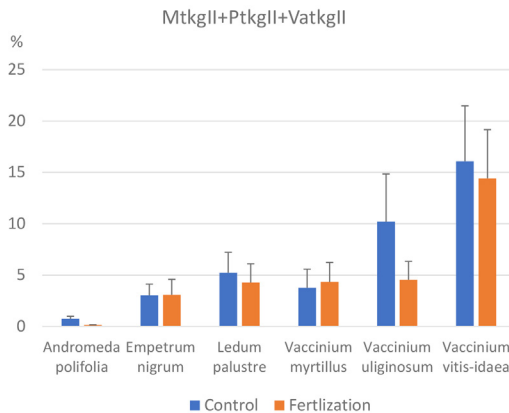
Kuva 1. Varpujen, heinien ja sarojen, ruohojen, lehtisammalien ja rahkasammalien keskimääräinen runsaus (ja keskiarvon keskivirhe, S.E.) kontrolli- ja tuhkakoealoilla turvekangastyypit yhdistettynä.

Figure 1. Mean percentage coverage (%) (+ standard error, S.E.) of the species groups on the control and ash fertilized sample plots, the site types combined.

Taulukko 1. Tuhkakokeiden koealatiemat. Kasvupaikkatyypin (turvekangastyypin) laitivariantit (+ -) merkitty. MtkgII = MustikkaturvekangasII, PtkgII = PuolukkaturvekangasII, VatkgII = VarputurvekangasII (Laine ym. 2018), P = fosfori, K = kalium, Ca = kalsium.

Table 1. Information for the sample plots. Border variants (+ -) of the site types indicated. MtkgII = *Vaccinium myrtillus* drained peatland forest type II, PtkgII = *Vaccinium vitis-idaea* drained peatland forest type II, VatkgII = Dwarf shrub drained peatland forest type II (Laine et al. 2018). Rakeistamaton kuorituikka = non-granulated tree bark ash, rakeistamaton puutuikka = non-granulated wood ash, rakeistettu puutuikka = granulated wood ash. P = phosphorus, K = potassium, Ca = calcium.

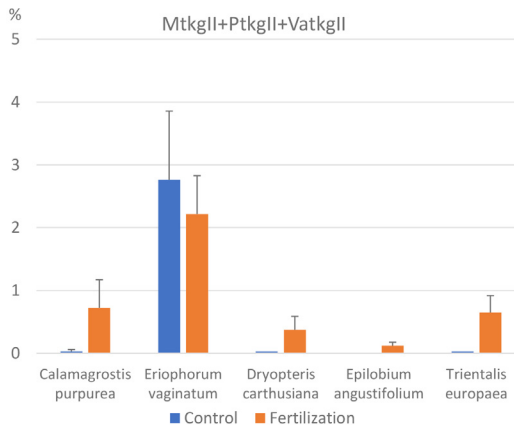
Paikkakunta – Municipality	Kohde – Location	Koeala – Sample plot	Kasvupaikka- tyyppi – Site type	Ojitusvuodet – Drainage years	Lannoitusvuodet – Fertilization years	Tuhkaa kg/ha – Ash	Tuhkatiedot – Ash information	P-annos kg/ha – P amount	K-annos kg/ha – K amount	Ca-annos kg/ha – Ca amount
LESTIJÄRVI	Vehkaräme	K 2	VatkgII	1977						
LESTIJÄRVI	Vehkaräme	L 3	VatkgII+	1977	1979	10 000	Rakeistamaton kuorituikka	15	42	441
SIEVI	Nevajärvi	K1	PtkgII-	1926, 2006						
SIEVI	Nevajärvi	K2	PtkgII-	1926, 2006						
SIEVI	Nevajärvi	L1	PtkgII+	1926, 2006	2014	5 000	Rakeistamaton puutuikka	45	117	698
SIEVI	Nevajärvi	L2	PtkgII	1926, 2006	2014	5 000	Rakeistamaton puutuikka	45	117	698
ROVANIEMI	Ropsajoki	K8	MtkgII-	1961						
ROVANIEMI	Ropsajoki	L9	MtkgII	1961	1980	5 000	Rakeistettu puutuikka	135	224	1414
KEMINMAA	Ala-Akkunus	K1 9	PtkgII-	1977						
KEMINMAA	Ala-Akkunus	K2 9	PtkgII-	1977						
KEMINMAA	Ala-Akkunus	L4/2	MtkgII	1977	1978, 2002	5 000 + 5 000	Rakeistamaton puutuikka	43	171	1386
KEMINMAA	Ala-Akkunus	L11/2	MtkgII	1977	1978, 2002	5 000 + 5 000	Rakeistamaton puutuikka	43	171	1386
MUHO	Ansasaari	K1	PtkgII-	1969, 2007						
MUHO	Ansasaari	K2	PtkgII-	1969, 2007						
MUHO	Ansasaari	L1	PtkgII	1969, 2007	2014	5 000	Rakeistettu puutuikka	45	117	698
MUHO	Ansasaari	L2	PtkgII	1969, 2007	2014	5 000	Rakeistettu puutuikka	45	117	698
SIIKAJOKI	Ruukki	K 26	VatkgII+	1929, 1981	1985					
SIIKAJOKI	Ruukki	L 29	MtkgII-	1929, 1981	1985	5 000	Rakeistamaton puutuikka	135	225	1440
VAALA	Pelso	K 16	VatkgII	1930, 1994						
VAALA	Pelso	L 15	VatkgII+	1930, 1994	1997	5 000	Rakeistettu puutuikka	25	85	465



Kuva 2. Suokukan, variksenmarjan, suopursun, mustikan, juolukan ja puolukan keskimääräinen runsaus (+ S.E.) kontrolli- ja tuhkakoealoilla turvekangastyypit yhdistettynä.

Figure 2. Mean percentage coverage (%) (+ S.E.) of selected dwarf shrub species on the control and ash fertilized sample plots, the site types combined.

Heinien ja sarojen peittävyys olivat koealoilla alhaisia, ja lajien runsausmuutokset pieniä. Korpikastikka (*Calamagrostis purpurea*) hyötyi selvimmin lannoituksesta (Kuva 3). Pallosara (*Carex globularis*) oli runsas MtkgII:n tuhkaruudulla (Liite 1). Tupasvilla (*Eriophorum vaginatum*) hieman väheni ja etenkin varputurvekankailla.



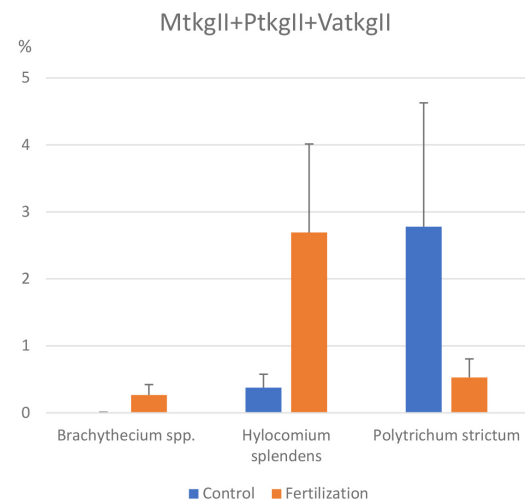
Kuva 3. Korpikastikan, tupasvillan, metsäalvejuuren, maitohorsman ja metsätähden keskimääräinen runsaus (+ S.E.) kontrolli- ja tuhkakoealoilla turvekangastyypit yhdistettynä.

Figure 3. Mean percentage coverage (%) (+ S.E.) of selected species on the control and ash fertilized sample plots, the site types combined.

Myös ruohot kasvoivat melko niukkoina. Kuitenkin metsäalvejuuri (*Dryopteris carthusiana*), maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) ja metsätähti (*Trientalis europaea*) hyötyivät tuhkalannoituksesta (Kuva 3). Muun muassa nuokku- ja pikkutalvikki (*Orthilia secunda*, *Pyrola minor*) sekä kangasmaitikka (*Melampyrum pratense*) olivat ilmestyneet puolukkaturvekankaan tuhkaaloille, kontroleilta ne puuttuivat (Liite 1).

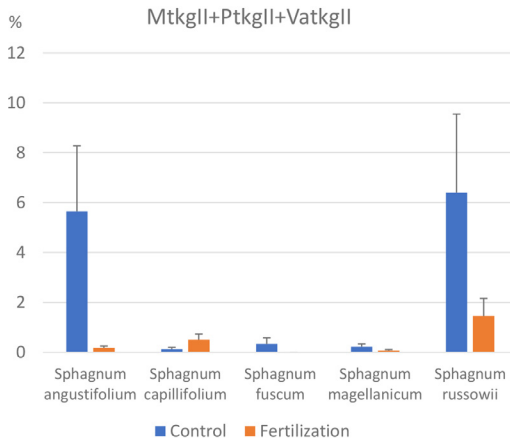
Suikerosammalet runsastuivat tuhkaaloilla, mutta niitä oli niukasti lannoituksen jälkeenkin. Metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*) runsastui hienokseltaan, selvimmin puolukkaturvekankaan tuhkaaloilla. Rämekarhunsammal (*Polytrichum strictum*) kärsi tuhkalannoituksesta (Kuva 4, Liite 1). Korpikarhunsammalta (*P. commune*) oli vähän, ja se näytti hiukan runsastuvan puolukkaturvekankailla, mutta muutos ei ollut merkitsevä. Tuhkalannoitus ei juuri vaikuttanut lehtisammalten kokonaisrunsauteen.

Rämerahkasammal (*S. angustifolium*) ja varvikorahkasammal (*S. russowii*) olivat selvästi niukempia tuhkalannoitetuilla aloilla kuin kontroleilla (Kuva 5). Ruskorahkasammalta (*Sphagnum fuscum*) ei esiintynyt lannoitetuilla aloilla.



Kuva 4. Suikerosammalien, metsäkerrossammalien ja rämekarhunsammalien keskimääräinen runsaus (+ S.E.) kontrolli- ja tuhkakoealoilla turvekangastyypit yhdistettynä.

Figure 4. Mean percentage coverage (%) (+ S.E.) of selected bryales on the control and ash fertilized sample plots, the site types combined.



Kuva 5. Räme-, kangas, rusko-, puna- ja varvikkorahkasammalen keskimääräinen runsaus (+ S.E.) kontrolli- ja tuhkakoealoilla turvekangastyypit yhdistettynä.

Figure 5. Mean percentage coverage (%) (+ S.E.) of selected *Sphagnum* species on the control and ash fertilized sample plots, the site types combined.

Niukka punarahkasammal (*S. magellanicum*) väheni merkittävästi puolukkaturvekankailla. Sitä vastoin myös niukka kangasrahkasammal (*S. capillifolium*) oli hieman runsastunut (Liite 1). Korpilahkasammal (*S. girgensohnii*) oli mustikkaturvekankaan tuhka-alalla runsaampi kuin kontrollilla, ja se oli ilmestynyt hyvin niukkana kahdelle puolukkaturvekankaan tuhka-alalle.

Maksasammalia (*Hepaticae spp.*) oli hyvin vähän ja vain mustikkaturvekankaan tuhka-alalla (Liite 1).

Jäkälät olivat yleisesti ottaen vähentyneet tuhkalannoituksen seurauksena. Tosin isohirvenjäkäliä (*Cetraria islandica*) oli ilmestynyt niukkana yhdelle varputurvekankaan tuhka-alalle ja pilkkunahkäjäkäliä (*Peltigera aphthosa*) mustikkaturvekankaan tuhka-alalle (Liite 1).

Tulosten tarkastelu

Lajimäärä

Tuhkalannoitetuilla koealoilla kasvilajien määrä oli keskimäärin hieman korkeampi kuin kontroleilla. Julkaistujen kasvillisuustaulukoiden (Silfverberg & Huikari 1985; Silfverberg & Hotanen 1989; Silfverberg ym. 2010) mukaan tuhkalannoituksen vaikutus lajimääriin on vaihteleva.

Kenttäkerroksen lajimäärä on joko pysynyt ennallaan tai lievästi kasvanut, ainoastaan Muhoksen kokeen suuremmalla tuhkamäärällä (16 tn/ha) se oli vähän laskenut (Silfverberg & Hotanen 1989). Pohjakerroksen lajimäärä oli Muhoksen kokeella laskenut molemmilla tuhkakäsittelyillä (8 tn/ha ja 16 tn/ha), kuitenkin enemmän voimakkaammalla lannoituksella. Silfverbergin ym. (2010) mukaan pohjakerroksen lajimäärä pysyi lähes samana kaikilla käsittelyillä. Käsillä olevassa aineistosakin pohjakerroksen kokonaislajimäärä pysyi samana, lajimäärän nousu oli kenttäkerroksessa. Silfverbergin & Huikarin (1985) aineistossa, joka sisältää pääasiassa karuja suotyyppisiä, lajimäärä on pysynyt samana tai hieman kasvanut (minerotrofisista avosoista ei esitetä kontrollialojen tilannetta).

Kenttäkerros

Hieskoivun taimet runsastuivat tuhkalannoituksen seurauksena, mutta esimerkiksi männyn taimet eivät. Silfverbergin (1996) tutkimuksessa tuhkalannoitus edisti sekä koivujen (*Betula spp.*) että männyn taimettumista ja taimien kehitystä. Myös Silfverberg & Huikari (1985) päättelivät, että tuhkalannoitus edisti metsien uudistumista erittelemättä tarkemmin koivujen ja männyn tilannetta. Heidän tutkimuksensa sisälsi pääosin mäntyvaltaisia metsiä, joukossa muutama koivuvaltainenkin. Sen sijaan Silfverberg ym. (2010) eivät todeneet tuhkalannoituksella olevan yhteyttä mäntyjen taimettumiseen (joskin turvetuhkakäsittelyillä oli enemmän taimia kuin kontrollilla). Heidän mukaansa suurikaan puutuhkamäärä ei kuitenkaan ollut ehkäissyt männyn taimien syntyä ja kasvua. Puutuhkan on raportoitu edistävän esimerkiksi hieskoivun itämistä ja alkukehitystä (Huotari ym. 2008), mutta männyn siementen itämiseen tuhalla ei ole havaittu olevan vastaavaa vaikutusta (Reyes & Casal 2004). Nämä tulokset vastaavat myös käsillä olevan työn tuloksia.

Tuhkalannoituksen jälkeen syntyvä kenttäkerros on usein ruoho- tai heinävaltaista tai näitä molempia, riippuen kasvupaikasta ja tuhkan määrästä (Reinikainen 1980; Silfverberg & Huikari 1985; Silfverberg & Hotanen 1989). Tässä tutkimuksessa heinien, sarojen ja ruohojen peittävyys jäivät kuitenkin melko pieniksi,

vaikka selviä runsastumisiakin tuhka-aloilla oli havaittavissa (mm. korpikastikka, metsäalvejuuri, maitohorsma, metsätähti). Käytetyt tuhka- ja ravinnemäärät jäivät osalla koealoista (Lestijärvi, Vaala) normaalia pienemmiksi.

Korpikastikan on myös aiemmin todettu runsastuvan tuhkalannoituksen seurauksena (Silfverberg & Hotanen 1989; Silfverberg ym. 2010). Runsastuminen on ollut tätä tutkimusta voimakkaampaa, varsinkin, kun on käytetty suuria tuhkamääriä, ja pintaturve on ollut hyvin tyypipitoinen (esim. Silfverberg & Hotanen 1989). Metsäalvejuuren esiintyminen varsinkin karuhkoilla ojitetuilla rämeillä on varmimpia merkkejä suoritetuista lannoituksista (Reinikainen 1975; Nousiainen 2001a). Turvemailla se ehkä kuuluukin harvoin lannoituksesta pysyvän lisähyödyn saaneisiin kasvilajeihin. Samaan suuntaan vaikuttanevat Suomen vanhojen ojitusalueiden mobilisoituvat typpivarat sekä varsinkin Etelä-Suomessa laskeumat (Nousiainen 2001a).

Nitrofiilinä tunnettu maitohorsma on tyypillinen tuhkalannoitetuilla koealoilla varsinkin valoisilla runsastyyppisillä kasvupaikoilla, joilla se voi olla vallitseva (Silfverberg & Huikari 1985; Silfverberg 1988). Tässä tutkimuksessa maitohorsma ei tullut vallitsevaksi, mutta runsastui kuitenkin vähän ja tilastollisesti merkitsevästi. Kasvupaikkatyypijakauma olikin melko karu. Tuhkalannoitus on aiheuttanut pintaturpeen typpivarojen mobilisaation kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Metsätähti hyötyi myös tuhkalannoituksesta, joskaan ei sekään tullut kovin runsaaksi. Aiemmin sen on todettu runsastuvan, kun on käytetty suuria tuhkamääriä (Silfverberg & Hotanen 1989). Metsätähti runsastuu myös pelkän ojituksen seurauksena (Tonteri 2001). Se runsastuu ruoho- ja mustikkaturvekankaiden ojitusaloilla nopeasti ainakin joksikin aikaa harvennushakkuiden jälkeen hyödyntäen kasvaneen valon määrän ja hakkuutähteistä vapauneen ravinnelisan (Haapakoski ym. 2021).

Varvut olivat sitä vastoin niukentuneet, selvimmin suokukka. Suokukan runsaus rämeillä kääntyy ojikkovaiheen jälkeen jyrkkenevään laskuun. Suokukan vähenemistä jouduttavat mm. kasvupaikan ravinteisuus ja kenttäkerroksen korkeampien kasvien kilpailu (Reinikainen 2001). Ilmeisesti tuhkan ravinnelissä ja kilpailu vähen-

sivät tässäkin aineistossa paitsi suokukan myös monien muiden karujen varpujen (esim. kanerva, juolukka) peittävyyttä (joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi). Muuttunut kilpailutilanne ravinnelisan vuoksi todennäköisesti suosi mustikkaa ja vähensi puolukkaa varputurvekankailla (Salemaa 2001a,b). Todennäköisesti sama syy mahdollisti riidenlie'on kolonisaation muutamalle puolukaturvekankaan tuhka-alalle (Salemaa 2001c).

Tupasvilla väheni kontrolleihin verrattuna, vastaava tulos on saatu aiemminkin (esim. Silfverberg & Hotanen 1989; Silfverberg ym. 2010). Suokasvien tapaan tupasvilla vähenee ojitus-sukcession edetessä, tosin sen vaste suometsien hoidon toimenpiteisiin vesitaloudellisesti labiileilla kasvupaikoilla ei ole aina yksisuuntainen. Tupasvilla voi vallata monenlaisia turvemaan kasvupaikkoja, jos ojat alkavat tukkeutua ja turve on sopivan hapanta. Tupasvilla hyötyy valosta ja siten myös suopuustojen harvennuksista. Se voi saada etua esimerkiksi (N)PK-lannoituksista, jos vain valoa riittää (Reinikainen 1965, 1975) eikä suoveden pinta ole liian syvällä. Käsillä olevassa tutkimuksessa turvekangaskehitys oli tavanomaista, mitä tuhkalannoitus vielä edisti.

Pohjakerros

Pohjakerroksen (lehtisammalet + rahkasammalet + jäkälät) kokonaispeittävyys oli tuhka-aloilla kontrolleja pienempi. Silfverbergin ym. (2010) mukaan tyypillistä on pohjakerroksen peittävyysden nopea lasku puutuhkalannoituksen jälkeen, erityisesti suuren tuhkamäärän saaneissa ruuduisa (Silfverberg ym. 2010). Tuhkan on havaittu myös voimistavan päätehakkuun aiheuttamia vaikutuksia sekä kenttä- että pohjakerroksessa (Silfverberg ym. 2010). Tuhkalannoitus vahvistaa päätehakkuun jälkeen alkanutta vallitsevien metsäsamallajien taantumista entisestään: mitä suurempi tuhkalannoitusmäärä, sitä alhaisempi pohjakerroksen peittävyys.

Monet lehtisammalet näyttivät kärsivän tuhkalannoituksesta, mutta runsausmuutokset eivät olleet yleensä tilastollisesti merkitseviä. Ombro-oligotrofinen rämekarhunsammal oli varputurvekankaan tuhka-aloilla vain hieman niukempi kuin kontrolleilla, mutta se väheni suuntaa antavasti puolukaturvekankailla (ja

katosi mustikkaturvekankailta). Se ei ole kestänyt suoraan tuhkalannoitusta tai ojitussukcession loppuvaihetta, turvekangasta, jonka kehitystä lannoitus on edistänyt (Korpela 2001).

Sammalilla ei ole juuria, vaan ne ottavat ravinteita suoraan sadevedestä ja ilmassa olevasta pölystä lehdistään sekä varrellaan. Tämä tekee niistä myös alttiita elinympäristön muutoksille (Jäppinen & 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 raskasmetalleja. Alkuperäisten sammalten taantuminen tuhkalannoituksen seurauksena antaa puolestaan elintilaa uusille lajeille. Pioneerisammat, kuten nuokkuvarstasammal (*Pohlia nutans*) ja kulosammal (*Ceratodon purpureus*), jotka ilmestyvät kasvupaikalle häiriön, esimerkiksi maanmuokkauksen jälkeen, ovatkin hyötäneet tuhkan levityksestä (Silfverberg & Hotanen 1989; Moilanen ym. 2002; Moilanen & Issakainen 2003, 2007; Moilanen & Silfverberg 2004; Silfverberg ym. 2010). Tässä tutkimuksessa nuokkuvarstasammalta oli hyvin niukasti puolukkaturvekankaan kontrollilla, tuhka-aloilla sitä ei ollut. Laji on heikko kilpailija, eikä se menesty lannoituksen vauhdittamassa turvekangassukcessiossa, varsinkaan, kun maanpintaa ei ollut muokkauksin rikottu (Mäkipää 2001a). Tuhkalannoituksella on havaittu olevan suotuisa vaikutus erityisesti palopaikkoja suosivien pioneerisammalten peittävyyyteen (Silfverberg ym. 2010), myös ennestään kasvipeitteettömillä suopohjilla (Huotari ym. 2007).

Korpikarhunsammalta esiintyi vähän, ja se oli hiukan runsaampi puolukkaturvekankaan tuhka-aloilla kuin kontrolleilla (joskaan ei tilastollisesti edes suuntaa antavasti). Korpikarhunsammalen on havaittu hyötävän pienehköstä määrästä turvetuhkaa, mutta suuresta määrästä puutuhkaa (20 000 kg/ha) se kärsii (Silfverberg ym. 2010). Korpikarhunsammal on pienikokoisten pioneerilajien tapaan tyypillinen laji palaneella humuksella (Ulvinen ym. 2002). Karhunsammat tiedetään myös kaliumin puutosta sietäviksi (Ferm ym. 1992). Ravinnetaloudeltaan epätasapainoisilla kasvupaikoilla, kuten rimpisillä ojitusalueilla, karhunsammat ovat usein pohjakerroksen valtalajeja (Veijalainen 1999). Runsasfosforinen,

mutta niukkakalinen turvetuhka saattaa siten olla yksi syy korpikarhunsammalen runsastumiseen. Myös suonpohjilla tehdyissä tutkimuksissa turvetuhkaa sisältäneiden lannoitteiden havaittiin lisäävän karhunsammalten peittävyyttä enemmän kuin puutuhkan (Huotari ym. 2007; Issakainen ja Huotari 2007).

Ilmeisesti karikemäärän kasvu lannoituksen ja metsittymisen seurauksena mahdollisti suikerosammalien hienoisen runsastumisen (Mäkipää 2001b, Haapakoski ym. 2021). Metsäkerrossammal oli etenkin puolukkaturvekankaan tuhka-aloilla runsaampi kuin kontrolleilla ($p=0,060$). Metsäkerrossammal reagoi erilaisiin metsänhoitotoimenpiteisiin vaihtelevilla tavoilla, monessa tutkimuksessa sen on havaittu taantuvan ainakin tilapäisesti lannoitusten seurauksena (Mäkipää 2001c viitteineen). Toisaalta sen on todettu kestävän esimerkiksi kangaskynsisammalta (*Dicranum polysetum*) ja seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) paremmin kalkitusta ja juuri tuhkalannoitusta, jotka nostavat pH:ta (Mäkipää 2001c). Maksasammalia oli vähän ja vain mustikkaturvekankaan tuhka-alalla. Suomessa kasvaa yli 200 maksasammallajaa (Mäkipää 2001d), ja ne painottuvatkin maanpinnalla ravinteikkaisiin kasvupaikkoihin.

Ojitus ja lannoitus vaikuttavat yleensä negatiivisesti rahkasammaliin lajien reagoidessa kuitenkin eri lailla riippuen niiden ravinteisuus-, kosteus- ja valoisuusvaateista (mm. Vasander 1982). Ruskorahkasammalta ei kasvanut tuhka-aloilla. Se sietää kuivatusta, mutta ei kestä ojituksen ja lannoituksen aiheuttamaa puuston varjostusta ja ravinnelisiä (Hotanen 2001a). Punarahkasammal ei kestäne kuivatusta aivan yhtä hyvin, mutta varjostusta hieman paremmin (Hotanen 2001b). Rämerahkasammal ja varvikkorahkasammal kestävät kuivatusta ja varjostusta melko hyvin, mutta taantuvat lopulta turvekangasvaiheessa, jota on lannoituksin edistetty (Hotanen 2001c,d).

Kangasrahkasammal ei ole niin vähäravinteisuuteen sopeutunut laji kuin esimerkiksi ruskorahkasammal, ja niinpä hyvin kuivuutta sietävänä se näytti hienokseltaan jopa hyötävän tuhkalannoituksista puolukka- ja varputurvekankailla (mustikkaturvekankailla sitä ei kasvanut). Tehokkaasti leviävänä lajina kangasrahkasammal saattaa ilmestyä ojitusalueelle vasta ojituksen

jälkeen ja se kestää ojitusalueiden sukkessioyhteisöissä pitkään ollen tavallinen sukkession loppuvaiheissa, turvekankaillakin (Hotanen 2001e). Korpilahkasammal näytti hienokseltaan hyötyvän tuhkalannoituksesta. Metsävyöhykkeillä se karttaa aukeita kasvupaikkoja, ja sen optimikasvupaikkoja ovatkin mustikkaisuussuursaraisuus -tason (ravinteisuusluokan III) turvemaat, erityisesti korvet ja korpilähtöiset kasvupaikat (Hotanen 2001f).

Jäkälät olivat odotetusti niukentuneet ravinnelisan seurauksena (Nousiainen 2001b). Pilkkunahkajäkälä oli ilmestynyt mustikkaturvekankaan tuhka-alalle hyvin niukkana. Se sietääkin ravinteisuutta (jopa voi hyötyä siitä) selvästi paremmin kuin tavalliset poron- ja torvijäkälät (*Cladina*, *Cladonia*) (Nousiainen 2001c).

Päätelmät

Tuhkalannoitus nopeuttaa kuivumis- ja metsäsuukessiota eli suokasvillisuus vaihtuu nopeammin metsäkasvillisuuteen (ks. myös Hotanen ym. 2015). Tämä johtuu siitä, että tuhkalannoitus lisää ravinteisuuden ohella pintaturpeen mikrobiaktiivisuutta ja vauhdittaa ojitetun suoekosysteemin ravinteiden käyttöä ja kiertoa lisäten samalla puuston kasvua ja sen haihduttavaa vaikutusta. Tuhkalannoitus rehevöittää aluskasvillisuutta, mikä on todettavissa, vaikka tuhkan sisältämiä ravinteita olisi levitetty metsätaloudessa normaalisti käytettäviä määriä vähemmän. Tuhka lisää metsäkasvillisuuden lajimäärää kenttäkerroksessa. Pohjakerroksen monimuotoisuuteen sillä ei tämän ja monen muunkaan tutkimuksen perusteella näyttäisi olevan juuri vaikutusta: karikemäärä kasvaa ja suolajit vaihtuvat kivennäismaiden lajeihin. Tuhkan ravinnelisiä muuttaa kasvillisuuden kilpailuolosuhteita. Se lisää myös typen mobilisaatiota pintaturpeessa. Tällöin monet ruoho- ja heinälajit runsastuvat ja moni niukkaravinteisuuteen sopeutunut soiden varpu-laji taantuu. Tuhkalannoituksen ravinnelisan ja nopeutuneen kuivumis- ja metsäsuukession seurauksena rahkasammalet taantuvat merkitsevästi. Kuitenkin kangasrahkasammalen selviytymisstrategia on hyvä: mätäspintalajina se sietää ajoittaista kuivumista erinomaisesti, käyttää sateen sekä kevät- ja syyskosteuden nopeasti hyväkseen ja

leviää tehokkaasti myös itiöiden avulla; lisäksi se kestää ravinnelisiä paremmin kuin karuimmat rahkasammalet.

Kiitokset

Tutkimus on osa MMM:n rahoittamaa hanketta ”Hiilitase ja siihen vaikuttavat tekijät tuhkalannoitetuissa suometsissä (SuoHiTu)”, jota koordinoi Päivi Väänänen. Hänelle ja hankkeen muille tutkijoille kiitos kokeiden taustatiedoista. Leila Korpela osallistui ammattitaidolla kasvipeitekuvausten tekoon osalla koealoja. Anne Nylander auttoi aineiston käsittelyssä. Kiitokset Mari Könöselle ja anonymille tarkastajalle arvokkaista kommentteista käsikirjoitukseen.

Kirjallisuus

- Ernfors, M., Sikström, Nilsson, M. & Klemedtsson, L. 2010. Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests. *Science of The Total Environment* 408(20): 4580–4590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.024>
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Isakainen, 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. <https://doi.org/10.1007/BF00029082>
- Haapakoski, J., Hotanen, J.-P., Miina, J., Korpela, L. & Mäkipää, R. 2021. Eirakenteishakuiden vaikutus aluskasvillisuuden rakenteeseen metsäojitetuissa korvissa. Summary: Short-term effects of selection harvesting on the structure of understorey vegetation in drained *Picea abies* mires. *Suo – Mires and peat* 72(1): 1–27. <https://www.suo.fi/volume/72>
- Hotanen, J.-P. 2001a. *Sphagnum fuscum*, Ruskorahkasammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. s. 270–271. Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Hotanen, J.-P. 2001b. *Sphagnum magellanicum*, Punarahkasammal. Teoksessa: Reinikainen,

- A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. s. 274–275 Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Hotanen, J.-P. 2001c. *Sphagnum recurvum* coll. – ryhmälaji. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Jyväskylä. s. 278–279. Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Hotanen, J.-P. 2001d. *Sphagnum russowii*, Varvikorahkasammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Jyväskylä. s. 280–281. Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Hotanen, J.-P. 2001e. *Sphagnum capillifolium*, Kangasrahkasammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Jyväskylä. s. 268–269. Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Hotanen, J.-P. 2001f. *Sphagnum girgensohnii*, Korpilahkasammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Jyväskylä. s. 272–273. Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Hotanen, J.-P., Saarinen, M. & Nousiainen, H. 2015. Avosuo- ja sekatyypien turvekangaskehitys. Summary: Secondary succession of treeless and composite mire site types after drainage. Suo 66(1): 13–32. <https://www.suo.fi/volume/66>
- Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of the drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 42(2). 18 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:metla-201207171074>
- 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. <https://doi.org/10.1139/X06-292>
- Huotari, N., 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.062>
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. & Vuokko, S. 1998. Retkeilykasvio. 4. painos, Suomen Luonnontieteellinen Museo, Kasvimuseo, Helsinki. 656 s.
- Hökkä, H., Ahtikoski, A., Sarkkola, S. & Väänänen, P. 2024. Ash fertilization increases long-term timber production in drained nitrogen-poor Scots pine peatlands. Canadian Journal of Forests Research 54(10): 1142–1154. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2024-0003>
- Issakainen, J. & Huotari, N. 2007. Suonpohjien metsittäminen. Metla, Vapo. 11 s.
- 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.
- Kaunisto, S. 1996. Tuhka metsälannoitteena turvemilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 599: 14–20.
- Korpela, L. 2001. *Polytrichum strictum*, Rämekarhunsammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Jyväskylä. s. 260–261. Tammi, Helsinki. ISBN 951-31-1963-7.
- Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Saarinen, M. & Penttilä, T. 2018. Suotyypit ja turvekankaat – kasvupaikkaopas. Luke. Helsingin yliopisto. Metsäkustannus. 160 s.
- Lukkala, O.J. 1951. Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoin suon experimental drainage area. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(6). 53 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:metla-201207171071>
- Moilanen, M. 2000. Tuhkan ravinteet ja raskasmetallit puustossa, marjoissa ja sienissä. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. Puu- ja turvetuhkien vaikutukset metsäluonnossa. Metsäntutkimuspäivä Muhoksella 21.9.2000. Esitelmien tiivistelmät, retkeilykohteet.

- Moilanen, M., 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. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00789-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00789-7)
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. *Metsätieteen raportti* 162. 91 s.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2007. Metsäntutkimusta Pelsonsuolla. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen yksikkö. 41 s.
- Moilanen, M. & 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.
- Moilanen, M., Hytönen, J. & Leppälä, M. 2012. Application of wood ash accelerates soil respiration and tree growth on drained peatland. *European Journal of Soil Science* 63(4): 467–475. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01467.x>
- Mäkipää, R. 2001a. *Pohlia nutans*, Nuokkuvarstasammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 254. ISBN 951-31-1963-7.
- Mäkipää, R. 2001b. *Brachythecium-suku*, Suikerosammalet. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 238–239. ISBN 951-31-1963-7.
- Mäkipää, R. 2001c. *Hylocomium splendens*, Metsäkerrossammal. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 248–250. ISBN 951-31-1963-7.
- Mäkipää, R. 2001d. Sammalet. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 232. ISBN 951-31-1963-7.
- Nousiainen, H. 2001a. *Dryopteris carthusiana*, Metsäalvejuuri. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 186–188. ISBN 951-31-1963-7.
- Nousiainen, H. 2001b. Jäkälät. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 282–285. ISBN 951-31-1963-7.
- Nousiainen, H. 2001c. *Peltigera aphthosa*, Pilkkunahkajäkälä. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Tammi, Helsinki, s. 300–301. ISBN 951-31-1963-7.
- Peltoniemi, K., Pyrhönen, M., Laiho, R., Moilanen, M. & Fritze, H. 2016. Microbial communities after wood ash fertilization in a boreal drained peatland forest. *European Journal of Soil Biology* 76: 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.08.004>
- Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M. & Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.014>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb03089.x>
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 2002. *Biometria. Tilastotiedettä ekologeille*. 8. painos. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s.
- Reinikainen, A. 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59(5). 62 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171091>
- Reinikainen, A. 1975. Lannoituksen vaikutuksesta metsäekosysteemiin. *Suomen Luonto* 34: 319–322.
- Reinikainen, A. 1980. Tuhkalannoituksen ekologiaa. Muhoksen tutkimusaseman

- tiedonantoja 20: 24–27. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0482-5>
- Reinikainen, A. 2001. *Andromeda polifolia*, Suokukka. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki, s. 104–105. ISBN 951-31-1963-7.
- Reyes, O. & Casal, M. 2004. Effects of forest fire ash on germination and early growth of four *pinus* species. *Plant Ecology* 175: 81–89. <https://www.jstor.org/stable/20146673>
- Salemaa, M. 2001a. *Vaccinium vitis-idaea*, Puolukka. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki, s. 136–138. ISBN 951-31-1963-7.
- Salemaa, M. 2001b. *Vaccinium myrtillus*, Mustikka. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki, s. 128–130. ISBN 951-31-1963-7.
- Salemaa, M. 2001c. *Lycopodium annotinum*, Riidenlieko. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki, s. 122–123. ISBN 951-31-1963-7.
- Silfverberg, K. 1988. Tuhkalannoitus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 106–115. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1014-0>
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588: 1–27. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1496-0>
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0716-6>
- Silfverberg, K. & Hotanen, J.-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742. 23 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1082-5>
- Silfverberg, K., Huotari, N. & Kokkonen, A.-M. 2010. Puu- ja turvetuhkan vaikutukset kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen päätehakatulla turvekankaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 341–353. <https://doi.org/10.14214/ma.6938>
- Silfverberg, K., Issakainen, J. & Moilanen, M. 2011. Growth and nutrition of Scots pine on drained and fertilized purple moor grass fens in Central Finland. *Baltic Forestry* 17(1): 91–101.
- Silvan, N. and Hytönen, J. 2016. Impact of ash-fertilization and soil preparation on soil respiration and vegetation colonization on cut-away peatlands. *American Journal of Climate Change* 5: 178–192. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2016.52017>
- Tonteri, T. 2001. *Trientalis europaea*, Metsätähti. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki, s. 226–227. ISBN 951-31-1963-7.
- Ulvinen, T., Syrjänen, K. & Anttila, S. (toim.). 2002. Suomen sammalet – levinneisyys, ekologia, uhanalaisuus. Suomen ympäristö 560. Edita Publishing Oy. 354 s.
- Vasander, H. 1982. Plant biomass and production in virgin, drained and fertilized sites in a raised bog in southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 119(2): 103–125.
- Veijalainen, H. 1999. (toim.). Kaakkosuon koeojitusalueen lannoituskokeita. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Moniste. 7 s + liitteet.
- Väänänen, P., Rinne-Garmston, K., Hultman, J., Hotanen, J.-P., Hökkä, H., Kattilakoski, M., Laurén, A., Lehtonen, A., Mäkiranta, P., Nieminen, M., Ojanen, P., Palvi, A., Peltoniemi, K., Sarkkola, S., Stenberg, L., Viitasaari, T. & Laiho, R. 2024. Hiilitase ja siihen vaikuttavat tekijät tuhkalannoitetuissa suometsissä (SuoHiTu). Loppuraportti. Luonnonvarakeskus. 27 s. [https://mmm.fi/documents/1410837/147048451/Loppuraportti+Hiilitase+ja+siihen+vaikuttavat+tekij%C3%A4+tuhkalannoitetuissa+suometsiss%C3%A4+\(SuoHiTu\).pdf/a3e4f4a2-0736-c695-f48f-87214f20cf3e/](https://mmm.fi/documents/1410837/147048451/Loppuraportti+Hiilitase+ja+siihen+vaikuttavat+tekij%C3%A4+tuhkalannoitetuissa+suometsiss%C3%A4+(SuoHiTu).pdf/a3e4f4a2-0736-c695-f48f-87214f20cf3e/)

Summary: Effect of ash fertilization on the understorey vegetation in drained Scots pine mires

The suitability of ash for managing the nutrient ecology of forest-drained peatlands has been known for a long time (e.g. Lukkala 1951; Huikari 1953; Silfverberg & Huikari 1985). Extensive research has been conducted on the effects of different types and amounts of ash on the structure and functioning of drained peatland ecosystems (e.g. Silfverberg 1996; Moilanen et al. 2002; Huotari et al. 2008; Silfverberg et al. 2010; Piirainen et al. 2013; Peltoniemi et al. 2016; Hökkä et al. 2024). The effects of ash fertilization on greenhouse gas emissions and carbon balances of peatlands have also begun to be widely investigated (e.g. Ernfors et al. 2010; Moilanen et al. 2012; Silvan & Hytönen 2016; Väänänen et al. 2024). Efforts are being made to increase the areas of ash fertilization. However, the effects of ash fertilization on the structure of understorey vegetation in different habitats are poorly understood. The purpose of this study was to analyze the effects of wood ash amounts normally used in forestry on the structure of understorey vegetation in suitable habitats for ash fertilization, i.e. second-type peatlands that have developed from open and mixed-type mires (Laine et al. 2018).

The ash treatment plots ($n = 10$) and their controls ($n = 10$) were located in seven sites in the middle boreal zone, in the aapa mire region of Ostrobothnia. The year of ash fertilization, the amount of ash used, and the type of peatland varied. Ash fertilization enriched the undergrowth. The site type of peatland in the fertilized plots was at least one variant (+) higher (slightly more nutrient-rich type) than that of the controls (see also e.g. Silfverberg & Huikari 1985; Silfverberg & Hotanen 1989; Moilanen et al. 2002; Silfverberg et al. 2010, 2011). Ash fertilization also promoted drying and forest succession, meaning that mire vegetation changes more rapidly to forest vegetation. This was evident in the increased number of tree seedlings, mainly *Betula pubescens* (see also Huotari et al. 2008), as well as the increase in litter. This was also evident in the slight increase in *Brachythecium* spp. mosses living on the litter, and the decrease in most *Sphagnum* mosses. Ash fertilization increases microbial activity in the surface peat along with nutrient levels, speeding up the use and cycling of nutrients in the drained peatland ecosystem while simultaneously increasing tree growth and its evaporative effect.

Ash slightly increased the diversity of the undergrowth, i.e. the number of forest vegetation species, which was visible in the field layer. The total number of field and bottom layer species increased statistically suggestively ($p < 0.1$). A total of 63 species (partly group species) grew in the ash plots, compared to 52 species in the controls, respectively. The Dwarf shrubs decreased at the group level in the ash plots. *Andromeda polifolia* decreased in all drained peatland forest types studied (*Vaccinium myrtillus* type, MtkgII; *Vaccinium vitis-idaea* type, PtkgII; Dwarf shrub type, VatkII, see e.g. Laine et al. 2018). *Vaccinium vitis-idaea* decreased in Dwarf shrub type, while *Vaccinium myrtillus* seemed to increase, but the change was not statistically significant. The cover of grasses and sedges was low in the plots, and the changes in species abundance were small. *Calamagrostis purpurea* benefited the most from the fertilization. Herbs also grew rather sparsely. However, the coverage of *Dryopteris carthusiana*, *Epilobium angustifolium* and *Trientalis europaea* increased because of ash fertilization. The nutrient addition from ash changes the competitive conditions of the vegetation. It also increases nitrogen mobilization in the surface peat. As a result, many grass and herb species become more abundant, while many bog dwarf shrub species adapted to low nutrient levels decline.

Ash fertilization did not significantly affect the overall abundance of Bryales. *Brachythecium* mosses increased, but they were still quite sparse after fertilization. *Hylocomium splendens* increased slightly, most notably in the *V. vitis-idaea* type ash plots. *Polytrichum strictum* suffered the most from ash fertilization. Due to the nutrient addition from ash fertilization and accelerated drying and forest succession, *Sphagnum* mosses also clearly declined, except for *S. capillifolium*, which increased slightly. The survival strategy of *S. capillifolium* is good: as a hummock surface species, it tolerates occasional drying excellently, quickly utilizes rain and spring and autumn moisture, and spreads effectively through spores; additionally, it withstands nutrient addition better than the most barren sphagnum mosses.

Liite 1. Lajiryhmien ja lajien keskimääräiset peittävyyydet sekä t-testin todennäköisyysarvo p yhdistetyssä aineistossa ja turvekangastyypeittäin. Kasvupaikkojen luokittelu tämänhekisten kontrollialojen turvekangastyypin mukaan. Sininen väri: ryhmä tai laji runsastunut ($p < 0,1$). Punainen väri: ryhmä tai laji vähentynyt ($p < 0,1$). Lajin tai lajiryhmän arvo $0,00 < 0,005$.

Appendix 1. Mean coverages of plant species groups and species as well as p values of the t-test in the whole material and by site types. The classification is according to the actual vegetation on the control plots in 2023. MtkgII = *Vaccinium myrtillus drained peatland forest type II*, PtkgII = *Vaccinium vitis-idaea drained peatland forest type II*, VatkgII = *Dwarf shrub drained peatland forest type II* (Laine et al. 2018). Blue colour: species group or species has increased ($p < 0,1$). Red colour: species group or species has decreased ($p < 0,1$). Value of species groups or species $0,00 < 0,005$.

	MtkgII				PtkgII				VatkgII			
	n = 10		n = 10		n = 1		n = 6		n = 3		n = 3	
	Kontrollit	Tuhka	Ash	p-arvo	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka
	Controls			p-value	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash
Puut ja pensaat												
<i>Trees & shrubs</i>												
<i>Betula pendula</i>												
<i>Betula pubescens</i>												
<i>Picea abies</i>												
<i>Pinus sylvestris</i>												
<i>Rubus idaeus</i>												
<i>Salix caprea</i>												
<i>Salix phylicifolia</i>												
<i>Sorbus aucuparia</i>												
Varvut												
<i>Dwarf-shrubs</i>												
<i>Andromeda polyfolia</i>												
<i>Betula nana</i>												
<i>Calluna vulgaris</i>												
<i>Chamaedaphne calyculata</i>												
<i>Empetrum nigrum</i>												
<i>Ledum palustre</i>												
<i>Lycopodium annotinum</i>												
<i>Vaccinium microcarpum</i>												
<i>Vaccinium myrtillus</i>												
<i>Vaccinium oxycoccos</i>												
<i>Vaccinium uliginosum</i>												
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>												
	0,09	0,29		0,019	0,19	0,54	0,11	0,25	0,094	0,29	0,01	0,167
rauduskoivu		0,00		0,172				0,00	0,182			
hieskoivu	0,03	0,16		0,022	0,01	0,25	0,04	0,20	0,057	0,04	0,01	0,223
kuusi	0,05	0,04		0,381	0,15	0,18	0,06	0,03	0,328			
mänty	0,01	0,01		0,302	0,02		0,01	0,02	0,285	0,01	0,00	0,292
vadelma		0,07		0,172						0,23		0,211
raita	0,00	0,01		0,172	0,01	0,10		0,00	0,182			
kiiltopaju		0,00		0,172		0,01						
pihlaja	0,00	0,01		0,247			0,00	0,00	0,500	0,01	0,00	0,269
	40,45	32,04		0,07	26,65	18,41	45,23	38,35	0,131	23,97	35,51	0,194
suokukka	0,75	0,12		0,011	0,10		0,98	0,17	0,037	0,06	0,50	0,095
vaivaiskoivu	0,55	0,47		0,31	1,23		0,65	0,76	0,489	0,05	0,12	0,315
kanerva	0,34	0,06		0,156			0,25	0,05	0,260	0,10	0,63	0,267
vaivero	0,08	0,01		0,179						0,04	0,26	0,199
variksenmarja	3,01	3,07		0,28	3,59		3,65	4,64	0,455	0,95	1,53	0,223
suopursu	5,23	4,25		0,26	0,60	0,03	2,94	3,42	0,442	7,33	11,33	0,231
riidenlieko		0,50		0,172				0,84	0,182			
pikkukarpalo	0,01	0,00		0,109			0,01	0,00	0,191		0,01	0,211
mustikka	3,75	4,33		0,471	4,20	0,30	4,07	3,61	0,424	7,10	2,95	0,388
isokarpalo	0,49	0,26		0,2	1,46		0,40	0,42	0,414	0,03	0,34	0,151
juolukka	10,18	4,54		0,24	5,02	0,48	12,37	5,88	0,486	3,23	7,52	0,151
puolukka	16,08	14,42		0,438	10,45	17,60	19,90	18,56	0,341	5,08	10,32	0,011

Liite 1 jatkuu.

Appendix 1 continued.

	MtkgII				PtkgII				VatkgII			
	n = 10		n = 1		n = 6		n = 3		n = 3			
	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka	Kontrollit	Tuhka	p	p
	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	p	p
Heinät ja sarat												
<i>Grasses & sedges</i>												
<i>Calamagrostis purpurea</i>	2,97	4,03	1,81	9,01	3,82	4,68	1,64	1,06	0,252	0,220		
<i>Carex globularis</i>	0,03	0,73	0,074	0,01	0,05	1,11		0,20	0,112	0,211		
<i>Carex magellanica</i>	0,17	0,90	0,298	9,00				0,01		0,211		
<i>Carex magellanica</i>	0,00		0,172				0,01			0,211		
<i>Deschampsia cespitosa</i>		0,00	0,172					0,00		0,211		
<i>Deschampsia flexuosa</i>		0,06	0,172					0,20		0,211		
<i>Eriophorum vaginatum</i>	2,76	2,22	0,427	0,16	3,77	3,37	1,63	0,65	0,372	0,068		
<i>Luzula pilosa</i>	0,00	0,02	0,187		0,00	0,03			0,200			
<i>Molinia caerulea</i>	0,00	0,10	0,174		0,00	0,17			0,184			
Ruohot												
<i>Herbs</i>												
<i>Angelica sylvestris</i>	5,75	6,45	12,34	2,62	6,88	8,73	1,30	3,15	0,353	0,203		
<i>Dryopteris carthusiana</i>		0,00	0,172			0,00			0,182			
<i>Epilobium angustifolium</i>	0,00	0,38	0,053	0,10	0,00	0,29		0,63	0,126	0,211		
<i>Equisetum palustre</i>	0,01	0,12	0,031	0,01		0,20			0,028			
<i>Equisetum sylvaticum</i>	0,23	0,17	0,449	1,70	0,01	0,01			0,500			
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>		0,00	0,172									
<i>Metampyrum pratense</i>	0,00	0,00	0,278	0,02		0,01			0,087			
<i>Orthilia secunda</i>		0,26	0,108			0,43			0,114			
<i>Pyrrola minor</i>		0,01	0,172			0,02			0,182			
<i>Rubus chamaemorus</i>	5,51	4,85	0,341	0,80	6,87	7,11	1,30	1,68	0,499	0,465		
<i>Trientalis europaea</i>	0,00	0,65	0,021	0,02		0,66		0,83	0,039	0,211		
<i>Viola palustris</i>		0,01	0,172			0,01			0,182			

Liite 1 jatkuu.
Appendix 1 continued.

	n = 10				p-arvo				MtkgII				PtkgII				VatkgII			
	Kontrollit		Tuhka		p-value		n = 1		n = 1		n = 6		n = 6		n = 3		n = 3		p	
	Controls	Ash	Controls	Ash			Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	Controls	Ash	p	p
Lehtisammalet																				
<i>Bryales</i>																				
<i>Aulacomnium palustre</i>	35,55	33,59			0,500		12,19	32,57			32,25	29,71			49,92	41,68			0,433	0,272
<i>Brachythecium spp.</i>	0,35	0,35			0,474		0,23	1,66			0,46	0,26			0,19	0,10			0,362	0,267
<i>Dicranum bergerii</i>	0,01	0,27			0,057		0,03	1,57			0,01	0,05				0,27			0,027	0,206
<i>Dicranum majus</i>	0,00				0,172										0,00					0,211
<i>Dicranum polysetum</i>	0,02	0,09			0,107		0,04	0,13			0,03	0,13				0,00			0,145	0,211
<i>Dicranum scoparium</i>	3,16	1,74			0,220		0,05	0,50			3,12	2,06			4,28	1,50			0,368	0,100
<i>Hylacomium splendens</i>	0,4	0,21			0,344		0,01	0,08			0,67	0,32				0,02			0,31	0,159
<i>Plagiothecium spp.</i>	0,38	2,69			0,040		2,00	3,52			0,17	3,48			0,24	0,85			0,060	0,319
<i>Pleurozium schreberi</i>		0,00			0,172			0,01												
<i>Pohlia nutans</i>	28,41	26,75			0,422		9,05	24,90			23,58	21,32			44,50	38,23			0,439	0,292
<i>Polytrichum commune</i>	0,02				0,172						0,03								0,182	
<i>Polytrichum juniperinum</i>	0,02	0,56			0,140		0,01	0,01			0,04	0,93							0,146	
<i>Polytrichum strictum</i>		0,01			0,172			0,10												
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	2,78	0,53			0,081		0,77				4,15	0,55			0,71	0,67			0,094	0,491
	0,01	0,39			0,151			0,09			0,01	0,62				0,03			0,189	0,211
Rahkasammalet																				
<i>Sphagnum</i>	13,00	2,57			0,012		35,72	5,82			10,12	1,27			11,17	4,08			0,055	0,116
<i>Sphagnum angustifolium</i>	5,65	0,18			0,032		3,62	0,42			6,06	0,09			5,53	0,28			0,103	0,227
<i>Sphagnum capillifolium</i>	0,13	0,51			0,092						0,07	0,41			0,30	0,87			0,171	0,193
<i>Sphagnum compactum</i>	0,02				0,172						0,03								0,182	
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	0,04	0,33			0,222		0,40	3,20				0,01							0,099	
<i>Sphagnum fuscum</i>	0,33				0,098						0,42				0,27				0,182	0,201
<i>Sphagnum magellanicum</i>	0,23	0,07			0,101						0,25	0,00			0,27	0,23			0,096	0,433
<i>Sphagnum papillosum</i>	0,18	0,04			0,161						0,30	0,06							0,160	
<i>Sphagnum rubellum</i>	0,00				0,172						0,00								0,182	
<i>Sphagnum russowii</i>	6,41	1,45			0,072		31,70	2,20			2,99	0,71			4,81	2,70			0,100	0,387

