

**Tuhkalannoitusprojektin
kasvillisuus- ja maaperätutkimukset
Evolla 1997 - 1999**

Loppuraportti

**Mikael Pihlström
Pekka Rummukainen
Ahti Mäkinen**

**Metsätehon raportti 89
2.5.2000**

Tuhkalannoitusprojektin kasvillisuus- ja maaperätutkimukset Evolla 1997 - 1999

Loppuraportti

Mikael Pihlström
Pekka Rummukainen
Ahti Mäkinen

Metsätehon raportti 89
2.5.2000

Konsortiohanke: Fortum Power and Heat Oy, Metsähallitus,
Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry,
Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM Kymmene Oyj,
Vapo Timber Oy

Kirjoittajien yhteystiedot: Helsingin yliopisto
Ekologian ja systematiikan laitos
Systemaattisen biologian osasto
PL 7 (Unioninkatu 44)
00014 Helsingin yliopisto

Asiasanat: kadmium, raskasmetallit, tuhka

© Metsäteho Oy

Helsinki 2000

SISÄLLYS

ALKUSANAT	4
TIIVISTELMÄ	5
1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUSALUE	10
2.1 Alueen kuvaus ja kasvuolosuhteet	10
2.2 Maankäytön historia	11
3 AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	11
3.1 Näytealat	11
3.2 Kasvillisuus	12
3.3 Pituuskasvu, neulasten paino	13
3.4 Biomassanäytteet	13
3.5 Turvealueiden syvyyskartoitus	14
3.6 Maa- ja kasvinäytteet	14
4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	15
4.1 Valuma-alueilla esiintyvät kasvillisuuskuviot	15
4.1.1 Valuma-alueiden ja näytealojen kasvillisuus kesällä 1997: kokonaislajimäärät ja runsaimmat lajit	15
4.1.2 Kenttäkerroksen peittävyysmuutokset 1998 ja 1999	17
4.1.3 Pohjakerros	23
4.1.4 Tuhkan aiheuttamat kasvillisuusvauriot	26
4.2 Kasvun ja biomassan seuranta	31
4.2.1 Neulasten biomassamuutokset	31
4.2.2 Puuston pituuskasvu	31
4.2.3 Kenttäkerroksen biomassa	32
4.3 Maa- ja kasvinäytteiden kemialliset analyysit	34
4.3.1 Maaperän happamuus	34
4.3.2 Maaperän pääravinteet 1997 - 1999	36
4.3.3 Maaperän raskasmetallit 1997 - 1999	42
4.3.4 Kasvinäytteiden raskasmetallit	45
5 KIRJALLISUUS	49

ALKUSANAT

Metsäteollisuusyritykset pyysivät 1995 Metsätehoa selvittämään sitä, mitä tutkimuksia ja kehittämistoimia pitäisi tehdä, jotta luotaisiin edellytykset suurien voimalaitosten tuottaman etupäässä puuperäisen tuhkan laajamittaiselle metsäkäytölle. Selvitystyön johdosta käynnistettiin vuoden 1996 lopulla Metsätehon koordinoimana 3-vuotinen Biotuhkan hyödyntäminen metsänparannusaineena -hanke. Hankkeessa tutkittiin erityisesti tuhkan metsäkäytön ympäristövaikutuksia, kuten ravinteiden huuhtoutumista ja vaikutusta vesiin, tuhkan vaikutusta marjojen ja sienien raskasmetallipitoisuuksiin sekä maaperän mikro-organismeihin. Teknistaloudellisten tutkimusten ja kokeilujen tehtävänä puolestaan oli tuottaa tietoa mm. tuhkan esikäsittelystä ja hyödyntämisen tekniikoista ja taloudesta.

Hankkeen rahoittajat olivat Fortum Power and Heat Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja TEKES. Hankkeessa tutkimuksia suorittavat organisaatiot olivat Helsingin yliopisto, Kuopion yliopisto, Oulun yliopisto, Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho Oy, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Tässä raportissa esitetään Helsingin yliopiston ekologian ja systematiikan laitoksella tehdyt tutkimukset, joilla selvitettiin tuhkalannoituksen vaikutuksia kasvillisuuteen ja maaperään. Tutkimukset suoritti työryhmä FT Ahti Mäkinen, FK Mikael Pihlström ja FK Pekka Rummukainen Helsingin yliopiston ekologian ja systematiikan laitoksen systemaattisen biologian osastosta.

Helsinki 24.3.2000

Antti Korpilahti
tuhkahankkeen koordinaattori

TIIVISTELMÄ

Kasvillisuus- ja maaperätutkimuksissa etsittiin vastauksia mm. siihen, missä määrin tuhkalannoitus vaikuttaa aluskasvillisuuden monimuotoisuuteen, tuotokseen sekä puiden kasvuun, aiheuttaako tuhka äkillisiä muutoksia (emässhokin) kasvillisuudessa ja pintamaassa, ja rikastuuko raskasmetalleja maaperään ja kasveihin. Tutkimukset tehtiin Evon alueella vuosina 1997 - 1999. Lannoituskäsittelyt tehtiin vuonna 1998 talvella. Tutkimuksen päätulokset olivat:

Kasvien peittävyden muutokset

Aluskasvillisuudessa, varsinkin kenttäkerroksessa havaittiin ruohojen, varpujen ja heinien lievää peittävyden kasvua (enintään 5 - 10 %) heti tuhkalannoituksen jälkeisenä kesänä. Kesällä 1999 rehevöityminen jatkui edelleen varsinkin turvemaidella. Myös peittävydet kontrollialueilla lisääntyivät, ilmeisesti kesän 1988 suotuisan säätilan ansiosta.

Akuutit vauriot

Monet pohjakerroksen lajit, varsinkin rahkasammalet, kynsisammalet ja seinäsammal ruskettuivat ja kuolivat, paikallisesti suurinakin laikkuina äkillisen emäs- ja suolavaikutuksen seurauksena. Seuraavana kasvukautena ”palaneiden” sammallaikkujen laajuus pysyi kutakuinkin ennallaan, mutta joillakin näytealoilla toipumistakin oli havaittavissa. Muuraimen, suopursun ja mustikan lehdissä havaittiin myös värimuutoksia kesällä 1998. Seuraavana kesänä vauriot vakiintuivat lukuun ottamatta muuraimia, joiden lehtien violetit läiskät laajenivat entisestään.

Lajiston muutokset

Uustulokkaiden ilmaantuminen oli vähäistä kahden kesän tutkimusjakson aikana. Alkuaan paikalla olleesta lajistosta esim. suonihuopasammal ja korpikarhunsammal (pohjakerros) sekä metsäkastikka, sananjalka ja raate (kenttäkerros) yleistyivät. Tuhkakasoille ilmaantui kulosammalia sekä koi-vun- ja männyn sirkkataimia. Kasvillisuuden ja lajiston muutoksia pitkällä aikavälillä ei voida arvioida luotettavasti näin lyhyen seurannan perusteella.

pH:n muutokset

Humuksen ja turpeen pintakerroksen pH nousi melko nopeasti (17 kk) noin 1,5 pH-yksikköä. Vertailualueella ei havaittu vastaavia muutoksia.

Vaihtuvat ravinteet

Keskeisten ravinteiden (esim. kalsium, magnesium, kalium) vaihtuvat pitoisuudet maaperässä ja turpeessa kohosivat huomattavasti 1997-1999. Vaihtuva fraktio kuvaa maaveteen, kasveihin ja vesistöihin *lyhyellä aikavälillä* (1 - 5 v.) kohdistuvaa vaikutusta paremmin kuin totaalipitoisuudet. Lannoitetuilla turvemailla myös vesiliukoisen typen ja fosforin pitoisuudet nousivat.

Raskasmetallit

Monen haitallisen raskasmetallin, varsinkin kadmiumin, vaihtuvat pitoisuudet maaperässä nousivat selvästi lannoitetuilla näytealoilla 1997-1999. Eräiden kasvi-indikaattorien (haapa, maitohorsma, oksajäkälät) kadmiumpitoisuudet kohosivat myös merkittävästi 1997-1999. Tämä osoittaa, että tuhkalannoitus vaikuttaa jo raskasmetallien kiertoon tuhkalohkoilla, vaikkei valuma-alueiden vesistöissä vielä ole todettu muutoksia raskasmetallien osalta, ravinteiden osalta kylläkin (Tulonen ym. 1999). Kadmiumin mobilisoituminen maassa ja turpeessa lyhyellä aikavälillä näyttää ilmeiseltä. Poikkeuksellisen sateinen kesä 1998 sekä käytetyn tuhkan ominaisuudet saattoivat vaikuttaa tässä tutkimuksessa havaittuihin nopeisiin ja selviin muutoksiin.

1 JOHDANTO

Tämä tutkimus on osana Metsäteho Oy:n koordinoimaa laajaa biotuhkan metsäkäyttöä ja sen ympäristövaikutuksia koskevaa hanketta. Kyseisessä projektikokonaisuudessa Lammin biologinen asema vastasi tuhkalanhoituksen vesistövaikutusten tutkimuksesta. Kohteina olivat kaksi Evolla sijaitsevaa pientä ruskeavetistä järveä: Nimetön ja Tavilampi. Talvella 1998 osalle valuma-alueista (< 20 % pinta-alasta) levitettiin itsekovettunutta tuhkaa keskimäärin 6 400 kg hehtaarille (Tulonen, Ollila & Arvola 1999).

Tässä raportissa käsitellään Evon Nimettömän ja Tavilammen valuma-alueiden kangasmaa- ja suokoealoilla vuosina 1997 - 1999 tehtyjä kasvillisuus- ja maaperätutkimuksia. Tutkimuksiin on saatu rahoitusta myös Metsämiesten Säätiöltä vuosina 1998 - 1999.

Puuntuhkan ja muiden kasvua edistävien maanparannusaineiden ja lannoitteiden vaikutuksista puiden kasvuun, aluskasvillisuuteen ja maaperään on sinänsä paljon enemmän tietoa kuin niiden vesistövaikutuksista (Mälkönen ym. 1980, Derome ym. 1986, Paavilainen & Päivänen 1995 ja Silfverberg 1996). Tuhka muuttaa maaperän ja valumavesien pH:ta ja alkaliniteettia jo suhteellisen pieninä pitoisuuksina emäksiseen suuntaan. Puiden kasvun lisääntyminen pitkällä aikavälillä, sammalten ja jäkälien väheneminen, sekä heinien ja ruohojen voimakas runsastuminen ovat yleensä tuhkalanhoituksen aiheuttamat selvimmät muutokset kasvillisuudessa (esim. Silfverberg 1996).

Varsinkin tuhkan *ympäristövaikutusten* arvioiminen - mm. rehevöityminen ja raskasmetallikuormitus suometsissä - kaipaa lisää tutkimusta (Kaunisto 1996). Myös Ruotsissa tutkitaan intensiivisesti tuhkan metsäkäyttöä ja sen mahdollisia ympäristövaikutuksia (Lundborg & Nohrstedt 1995, Danielsson 1998, Egnell ym. 1998).

Luonnonvarojen kestävä käytön kannalta aineen (tuhkan) palauttaminen ekosysteemiin on hyväksyttävä tavoite. Käytännössä järjestelmällinen tuhkan palautus luontoon on suuren mittakaavan ekologinen muutos ja kokeilu, jonka ympäristövaikutuksia on arvioitava mahdollisimman kokonaisvaltaisesti:

Ravinteita ja haitta-aineita konsentroidussa muodossa ...

Kun käytetään puuston kasvua selvästi lisääviä tuhkamääriä (5 - 20 t/ha), niin alunperin suuremmalta metsäpinta-alalta peräisin olevat ravinteet ja raskasmetallit kasautuvat paikallisesti. Haittavaikutuksia voidaan säädellä ensisijaisesti muuttamalla annoksen suuruutta, ajallisesti myös muuttamalla tuhkan liukoisuutta. On todettu, että puuntuhkien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, mikä vaikeuttaa osaltaan niiden ympäristövaikutusten arvioimista.

Terveyslannoitus, myös kivennäismaalle?

Ruotsissa suunnitellaan tuhkan levittämistä myös kivennäismaille korvaamaan pitkällä aikavälillä happamoitumisen ja intensiivisen biomassakorjuun aiheuttamaa ravinteiden poistumaa. Tällöin tuhka-annos on pienempi, 1 - 3(5) t/ha (vrt. Mälkönen 1998) ja ravinne- sekä raskasmetallikuormitus vastaa paremmin hakkuun jälkeistä ”normaalia” tilannetta.

Laajamittainen neutralointi?

Laajamittaisen tuhkallevityksen tai kalkituksen tarpeellisuudesta Etelä-Ruotsissa ei olla yksimielisiä (Skogen 4/1999). Ravinnelisäys ei ehkä ole välttämätön kaikilla metsätyypeillä kestävä puutuotannon kannalta, mutta metsäekosysteemin happamoitumiselle herkimät osat (*kasvit, maaperän ja purojen eliöstö, alapuoliset vesistöt ym.*) saattavat vaatia happamuuden pikaista torjumista.

Suomessa...

ei ole todettu vastaavaa happamoitumista kuin Ruotsissa (Kauppi ym. 1990), ja metsiin jää enemmän hakkuutähteitä. Pitkällä aikavälillä metsämaan ravinnetila täytyy kuitenkin säilyä tasapainoisena.

Megatrendit: ilmastonmuutos...

Mikäli puun kiertoaika lyhenee oleellisesti ilmaston muuttuessa, niin ravinteita poistuu metsistä nykyistä nopeammassa tahdissa (Kuusisto ym. 1996). Ilmaston muutoksen vaikutukseen liittyy paljon epävarmuustekijöitä, mm. muutokset orgaanisen aineen hajoamisessa, rapautumisessa, huuhtoutumisessa, lehtipuiden osuudessa.

...ja typpilaskeuma

Monet tekijät vaikuttavat siihen, että valuma-alueet saattavat *lähitulevaisuudessa* kyllästyä typellä ja vesistöiden nitraattikuormitus lisääntyä (Forssius ym. 1997). Vaikka malleihin sisältyy epävarmuutta (vrt. ylempänä), niin kaikki toimenpiteet, jotka potentiaalisesti lisäävät typen liikkuvuutta, on arvioitava erityisen kriittisesti.

Ojitetuilla turvemaidilla...

olisi tuhkallevityksen puuntuotannollinen hyöty tällä hetkellä suurin. Osalla suometsistä tarvitaan pitkällä aikavälillä ravinteiden korvaamista ulkopuolelta. Ojitus on muuttanut valumia perusteellisesti ja geokemiallinen rapautuminen puuttuu. Huuhtoutumisriski (ravinteet, etenkin fosfori, raskasmetallit) on kuitenkin huomattava, etenkin karuilla turvemaidilla, verrattuna kivennäismaihin.

Tulevaisuudessa...

on myös mahdollinen tilanne, jossa lannoitettu suometsä ennallistetaan (Lappalainen toim.1998) tai ennallistuu, esimerkiksi kun kunnostusojitusta ei tehdä. Mitä tapahtuu ravinteiden ja raskasmetallien varastoille vesitalouden muuttuessa radikaalisesti?

Monimuotoisuuden vaaliminen...

on nykymetsätalouden tärkeimpiä luonnonhoidon tehtäviä. Oikein mitoitettun tuhkalannoituksen jälkeen *paikallinen* ja *lajistollinen* monimuotoisuus (diversiteetti) saattaa lisääntyä: vanhoja ja uusia lajeja esiintyy rinnakkain. Mutta monimuotoisuuteen kuuluu myös *kasvupaikkojen ja maiseman* monimuotoisuutta, jota on vaikeampi mitata mm. siksi, että muutokset ovat hitaita ja monisyisiä. Hyvänä esimerkkinä tästä on soiden laajamittainen ojitus: maisema- ja jopa valtakunnantason muutokset kasvi- ja eläinpopulaatioihin, paikallisilmastoon ym. ilmenevät viipeellä (Lappalainen 1998). Mikäli tuhkalannoituksen seurauksena karut kasvupaikat vähenevät ja pirstoutuvat maisematasolla monimuotoisuus saattaa olla uhattu, etenkin kun typpilaskeuma vaikuttaa samansuuntaisesti. Tosin tuhkalannoitus kohdistuu metsätalouskäytössä oleviin kasvullisiin metsiin, eikä karuille kasvupaikoille.

Terrestrisessä tutkimuksessa etsitään vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

Aiheuttaako itsekovettava tuhka äkillisiä muutoksia ("emässhokin") kasvillisuudessa ja pintamaassa?

Rikastuuko raskasmetalleja maaperään ja kasveihin?

Huuhtoutuuko raskasmetalleja ja ravinteita maasta puroihin* ja järviin*?

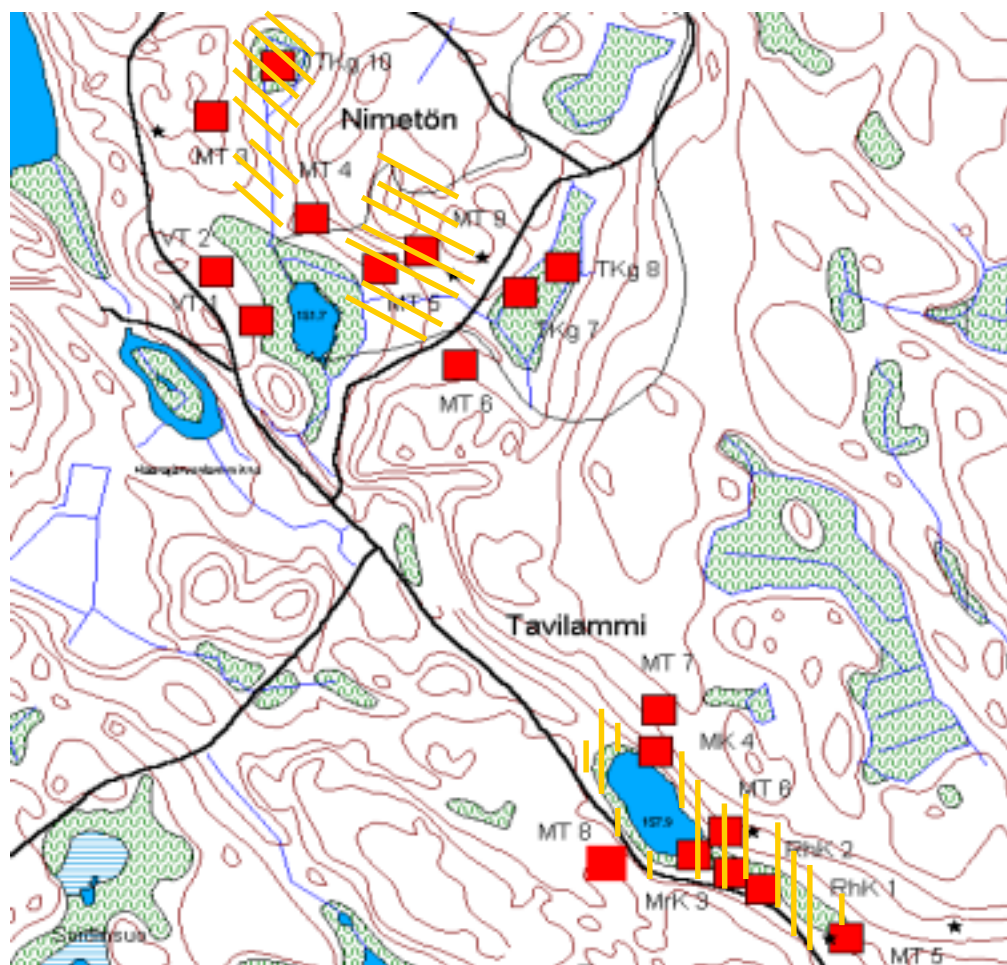
Missä määrin tuhkalannoitus vaikuttaa aluskasvillisuuden monimuotoisuuteen ja tuotokseen sekä puiden kasvuun?

* Tulonen ym. 1999: Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset. Loppuraportti

2 TUTKIMUSALUE

2.1 Alueen kuvaus ja kasvuolosuhteet

Tutkimus tehtiin Lammin kunnan pohjoisosassa Evon metsäalueella (61° 14' N ja 25° 12' E). Tutkittava alue muodostui kahdesta erillisestä valuma-alueesta: *Nimettömän järven valuma-alueesta* (151.7 m m.p.y), *pinta-ala 34 ha* ja *Tavilammen valuma-alueesta* (157.7 m m.p.y.), *pinta-ala 11 ha* (kuva 1).



Kuva 1. Näytealojen sijainti ja niiden kuviotunnukset* Evon Nimettömän ja Tavilammen tutkimusalueilla. Tuhkalevityslohkot on viivoitettu keltaisella. Tähdet osoittavat biomassanäytealojen sijainnit.

* Kivennäismaa: MT = mustikkatyyppi, VT = puolukkatyyppi, Turvemaa: RhK = ruohokorpi, Mrk = muurainkorpi, MK = mustikkakorpi, TKg = turvekangas.

Evon metsäalue kuuluu eteläboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen (Ahti ym. 1968). Ilmasto on lievästi mantereinen. Kasvukauden keskimääräinen pituus vuosina 1931 - 1960 on ollut 165 vrk ja tehollinen lämpösumma 1 150 °C (Suomen kartasto 1987). Sadanta vaihteli varsin paljon tutkimusjakson aikana (1997 - 1999). Kasvukauden 1997 sadanta vastasi parhaiten pitkäaikaista trendiä, kesäkuukaudet 1998 olivat poikkeuksellisen sateisia (virtaama Nimettömän puroissa kaksinkertainen edelliseen vuoteen verrattuna! Tulonen ym. 1999) ja kesäkuukaudet 1999 tavallista kuivempia.

2.2 Maankäytön historia

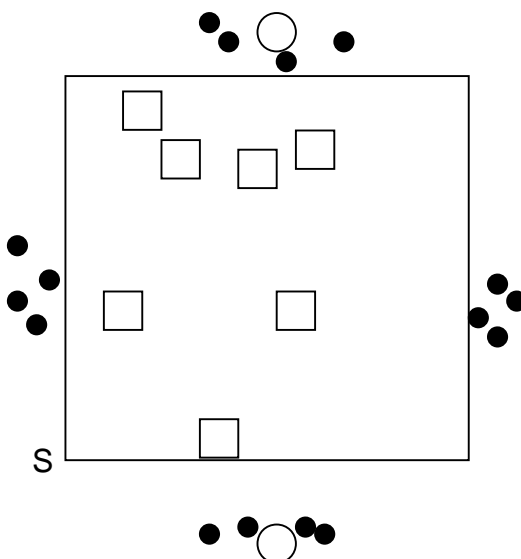
Nimettömän valuma-alueella suoritettiin lannoitus vuonna 1972 (5 000 kg typpeä, 800 kg kalsiumia ja 400 kg magnesiumia; pohjoiselle osavaluma-alueelle (TKg 10, kuva 2) lisäksi 270 kaliumia ja 1 400 kg fosforia). Valtaosaltaan mustikkatyyppin metsän (n. 200 - 300 m³/ha) päätehakkuu tehtiin talvella 1981 - 1982, lukuunottamatta järveä ympäröiviä turvemaita. Hakkuualue kulotettiin 1983, mutta kulotus ei ulottunut kosteikkoihin, eikä palaminen muuallakaan onnistunut täysin (Ruuhijärvi ym. 1985). Voimakkaaimmin palanneille alueille syntyi kulon jälkeen metsäkastikan ja maitohorsman dominoimaa aluskasvillisuutta ja varsin harvaa taimikkoa. Nimettömän turvekankaat on ojitettu ilmeisesti 1960-luvulla sekä ojat kunnostettu kerran sen jälkeen. Helmikuussa 1998 Nimettömän ja Tavilammen valuma-alueilla levitettiin miestyövoimin Äänekosken tehtaiden itsekovettunutta tuhkaa (kosteus n. 30 %), keskimäärin 6 400 kg hehtaarille.

3 AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Näytealat

Evon Nimettömän järven ja Tavilammen tutkimusalueille perustettiin alkukesästä 1997 18 yhden aarin kokoista näytealaa kasvillisuuden ja maaperän lyhytaikaisten muutosten seurantaan. Näytealat sijoitettiin etelä-pohjoisuuntaan bussolin avulla ja kulmapisteisiin laitettiin kepit ilmansuunta-merkintöineen. Näytealojen paikat maastossa (nurkan koordinaatit) määritettiin satunnaislukujen avulla (kuva 2). Karttapohjalle siirrossa hyödynnettiin GPS-satelliittipaikannusta.

Nimettömän mineraalimaan näytealoista kuusi (CT 1, VT 2, MT 3 - MT 6) paikannettiin kulotustutkimusten mukaisiin paikkoihin (Vuorinen 1984). Nimettömän uusista näytealoista kaksi sijoitettiin kontrolliturvemaalle (TKg 7 ja TKg 8), yksi lannoitettavalle mineraalimaalle (MT 9) ja yksi lannoitettavalle turvemaalle (TKg 10). Tavilammen näytealoista neljä sijoitettiin lannoitettavalle turvemaalle (RhK 1, RhK 2, MrK 3 ja MK 4), yksi lannoitettavalle mineraalimaalle (MT 6) ja kolme kontrollia mineraalimaalle: MT 5, MT 7 ja MT8 (kuva 2).



Kuva 2. Näytealajärjestelyt (10 x 10 m). S = satunnaistettu kulma. Myös kasvillisuusruutujen (pienet neliöt, 1x1m) vastaavat kulmat = S. Pienet ympyrät = humusosanäyte. Isot ympyrät = kivimaan näytekuopat

3.2 Kasvillisuus

Valuma-alueiden kasvillisuus esikuvioitiin ilmakuvioiden ja peruskarttalehden antaman taustatiedon avulla. Esikuvioidut alueet tyypitettiin maastossa ja lopulliset rajaukset piirrettiin karttapohjaan osin *GPS*-paikantimen antamien koordinaattien avulla. *Mapinfo*-karttaohjelmalla tehtiin tutkimusalueista kasvillisuuskuviokartta (kuvat 3 ja 4, s. 16 - 17). Kasvillisuuskuvioiden nimistö noudattaa Toivosen ja Leivon (1993) esittämää luokitusta. Kuvioista kirjattiin puuston ja pensaiden peittävyys 10 %:n tarkkuudella sekä kehitysluokat, maaperä, sijainti ja kaltevuus ja biotooppien erityispiirteitä.

Näytealojen kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuutta tutkittiin pienruutujen avulla. Yhden neliön ruutuja rajattiin seitsemän kutakin aarin näytealaa kohti. Niiden sijainti määriteltiin satunnaislukujen antamalla lukupareilla (x,y), etäisyys näytealan lounaisimmasta kulmapisteestä. Saadut ruudut merkittiin muoviputkilla näytealoille. Lajien peittävyys arvioitiin prosenttiaskeleilla: 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20... 90, 95 ja 100 %. Tutkituista ruuduista laskettiin kullekin lajille frekvenssi osa- ja koko tutkimusaluetta kohti ja pienruuduilla lajien keskimääräinen peittävyys. Pohjakerroksen peittävyksiä arvioitaessa saatiin samalla karikkekerroksen, tuhkalaikkujen ja vaurioituneen kasvillisuuden suhteellinen osuus.

Putkilokasvien nimistö noudattaa *Retkeilykasviota* (Hämet-Ahti 1986). Sammallajisto seuraa *Lehtisammalten määrittelysopasta* (Koponen 1994),

Maksasammalten määritysopasta (Piippo 1993) sekä rahkasammalkurssi-
monisteen nimistöä (Isoviita 1995). Jäkälien nimistöä selvitettiin *Pienestä
jäkäläoppaasta* (Kuusinen, Ahti & Lommi 1995) ja sienien *Suomen ja
Pohjolan sienet* kirjasta (Ryman & Holmåsén 1987).

Puu- ja pensaskerroksen peittävyudet arvioitiin 50 x 50 m näytealoilta, jotka
rajattiin aiempien aarin näytealojen ympärille pääilmansuuntien mukaisesti.
Näytealattomilta kuvioilta arviointi suoritettiin satunnaisnäytealoilta. Peittä-
vyudet arvioitiin asteikolla 10, 20, 30...90 ja 100 %. Puuston kuvaamiseksi
ja sen kehityksen seuraamiseksi samoilta aloilta mitattiin 3 - 5 puun valta-
puun pituus sekä rinnanympärysmitta. Puuston keskimääräinen tilavuus sel-
vitettiin relaskooppiarvioinnilla.

3.3 Pituuskasvu, neulasten paino

Satunnaisesti valituista kuusen- ja männyntaimista mitattiin kolmen viimei-
simmän vuosikasvaimen pituudet. Mittaus suoritettiin rullamitalla 0.5 cm
tarkkuudella. Mitattavia alle kahden metrin taimia valittiin kummankin tut-
kimusalueen mineraali- ja turvemaalta yhteensä 480. Nimettömän alueelta
mitattiin 240 tainta, 60 kuusta lannoitusturvemaalta ja 60 kontrolliturve-
maalta ja vastaavasti 120 (2 x 60) männyn tainta mineraalimaalta. Tavilam-
men alueelta mitattiin 240 kuusta (4 x 60), 120 lannoitetulta turve- ja mine-
raalimaalta ja vastaavilta kontrollialoilta myös 120.

Neulasten painon määrittämiseksi edellisten puiden alaoksilta kerättiin sa-
tunnaisotannalla kolmen viimeisimmän neulaskerran neulasia keskimäärin
viidestä eri puusta. Neulaskerroista laskettiin 100 neulasta ja niitä kuivattiin
lämpökaapissa (3 vrk 105 C°) ennen punnitusta.

3.4 Biomassanäytteet

Kasvukauden perustuotannon selvittämiseksi kerättiin biomassanäytteitä
aikajaksolla 1.8. – 21.8. vuosina 1997 - 1999, yhteensä kuuden näytealan
lähistöltä. Sekä Nimettömän että Tavilammen alueella kerättiin biomassa-
näytteitä kolmesta maastokohdasta (kuva 1, s. 10) siten, että kaksi kohdetta
sijaitsivat suunnitellulla lannoitusalueella ja kaksi sen ulkopuolella (= kont-
rolli). Nimettömän alueella biomassanäytealat sijoitettiin mahdollisimman
puhtaisiin maitohorsmakasvustoihin, Tavilammella mustikkakasvustoihin.
Nimettömän näytealoilta kerättiin haavanlehtiä ja Tavilammelta pihlajan-
lehtiä noin 2 – 3-metrisistä puuntaimista raskasmetallimäärityksiä varten.
Kenttäkerroksen putkilokasvien biomassa kerättiin tarkasti talteen neljältä
puukehikolla rajatulta 25 x 25 cm:n alalta, jotka sijoitettiin jonoon tai ke-
hään noin 50 cm etäisyydelle toisistaan. Kehikon sisälle juurtuneet kasvit
leikattiin saksilla yksi senttimetri maan- tai sammalpinnan yläpuolelta. Kah-
den pienruudun näytteet yhdistettiin maastossa, joten jokaiselta näytealalta
on kaksi rinnakkaisnäytettä.

Laboratoriossa biomassanäytteet eroteltiin (1) maitohorsmiin tai mustikoihin sekä (2) muihin ruohoihin ja heiniin. Kuivauksen jälkeen (3 vrk, 50 °C) näytteiden kuivapaino kirjattiin ja (1)-näytteet jauhettiin metallimäärityksiä varten (ks. maanäytteet). Kuivatut kasvinäytteet (maitohorsmat, mustikka-varvut, haavan ja pihlajan lehdet) puhdistettiin karikkeesta yms. ja jauhettiin. Noin 0,5 g jauhetta märkäpoltettiin 10 ml:aan typpihappoa ja analysoitiin (vrt. maanäytteet).

3.5 Turvealueiden syvyyskartoitus

Molempien tutkimusalueiden turvealueilta tehtiin turvepöytien syvyyskairauksia yhteensä viideltä kuviolta 9 metrin rassilla. Mittaukset suoritettiin turvekuvion länsireunasta alkavilta etelä-pohjoissuuntaisilta linjoilta. Linjat olivat yhdensuuntaisia, linjaväli 25 m ja pisteiden väli 5 m.

3.6 Maa- ja kasvinäytteet

Välittömästi kunkin näytealan ulkopuolelta otettiin näytteitä humuksesta ja mineraalimaan B-horisontista. Humusnäytteet otettiin 250 ml:n terässylinterillä 16 kohdasta pääilmansuuntiin (kuva 2, s. 12). Sammalet ja pintakarikke poistettiin ennen sylinterin painamista pintamaahan tai pintaturpeeseen. Humusnäytteissä (0 - 6 cm) ei ollut selvärajaisia poistettavia kivennäismaan kerroksia, mutta osa näytteistä oli mineraalimaasekoitteisia. Selviä tuhka-kasaumia vältettiin näytteenotossa. Kivennäismaan näytettä varten kaivettiin kaksi 30 - 40 cm syvää kuoppaa näytealan pohjois- ja eteläsivun tuntumassa 5 metrin kohdalla (kuva 2, s. 12). Kustakin kuopasta otettiin kaksi 250 ml:n näytettä terässylinterillä kuopan seinämästä 25 - 30 cm:n syvyydeltä.

Laboratoriossa osanäytteet yhdistettiin tarkastuksen jälkeen. Punnituksen jälkeen kokoomanäyte seulottiin 2 mm:n seulalla tai jauhettiin (turvenäytteet). Hienomaasta tai homogenisoidusta turpeesta tehtiin viisi näytesarjaa:

- Ensimmäisessä sarjassa 30 ml maata uutettiin 50 millilitraan tislattua vettä pH:n ja johtoluvun määrittämistä varten.
- Toisessa sarjassa 1 g maata uutettiin 60 millilitraan tislattua vettä ja vesiliukoinen fosfori sekä typpi määritettiin AKEA-laitteella (Lammin Biologinen asema) suodatuksen jälkeen.
- Kolmannessa sarjassa 5 g maata uutettiin 100 millilitraan ammonium-asetaattiliuosta (pH 4,65) vaihtuvien emäskationien määrittämiseen AAS-laitteella suodatuksen jälkeen (Ekologian laboratoriot Helsingissä).
- Neljännessä näytesarjassa näytteitä kuivattiin 3 vrk 50 °C:ssa vesipitoisuuden ja orgaanisen aineen määrän selvittämiseksi (hehikutushäviö, 3 h 450 °C).
- Viidennessä sarjassa 0,5 g kuivaa maata märkäpoltettiin 10 millilitraan typpihappoa (p.a. 65 %) mikroaaltouunissa tai Tecator-märkäpoltto-laitteella. Suodatuksen jälkeen happouutosta määritettiin lyijy-, kadmi-um-, kromi-, nikkeli-, rauta-, kupari-, alumiini- ja sinkkipitoisuudet AAS-laitteella liekki- tai grafiittiuunimenetelmällä

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.1 Valuma-alueilla esiintyvät kasvillisuuskuviot

Tavilammen ja Nimettömän valuma-alueilta rajattiin kesän 1997 maastokartoituksissa 29 kasvupaikkatyyppiä: Tavilampi 17 ja Nimetön 12. Turvemaan ja mineraalimaan kuvioiden suhde oli 17/12 turvemaiden ollessa valitsevia tutkimusalueilla. Kuvioiden keskeisten tunnuslukujen (taulukko 1) lisäksi arvioitiin kuvioiden sukkessioastetta ja luonnontilaisuutta.

Tavilammen lannoituskuvioilla (RhK 1, 2 ja MrK 3) turpeen keskisyvyudeksi saatiin kairauksilla noin 2,5 metriä. Nimettömän muuttumalla (TKg 10) oli keskimäärin 1,7 metriä turvetta. Turvemaat voidaan luokitella valtaosaltaan puurahkaturpeeksi (LS-t) (Laine & Vasander 1990).

TAULUKKO 1 Nimettömän ja Tavilammen valuma-alueiden keskimääräisiä piirteitä kesällä 1997. Latvuspeittävyys, valtapituus ja puuston tilavuus on laskettu ainoastaan puustoisten kuvioiden osalta.

	Nimetön	Tavilampi
Kasvillisuuskuvioita	12	17
Latvuserrokset 1 / 3	2	2
Latvuspeittävyys, %		
- Puut	42	34
- Pensaat	37	20
Valtapituus, m	10	19
Puusto, m ³ /ha	45	110

4.1.1 Valuma-alueiden ja näytealojen kasvillisuus kesällä 1997: kokonaislajimäärät ja runsaimmat lajit

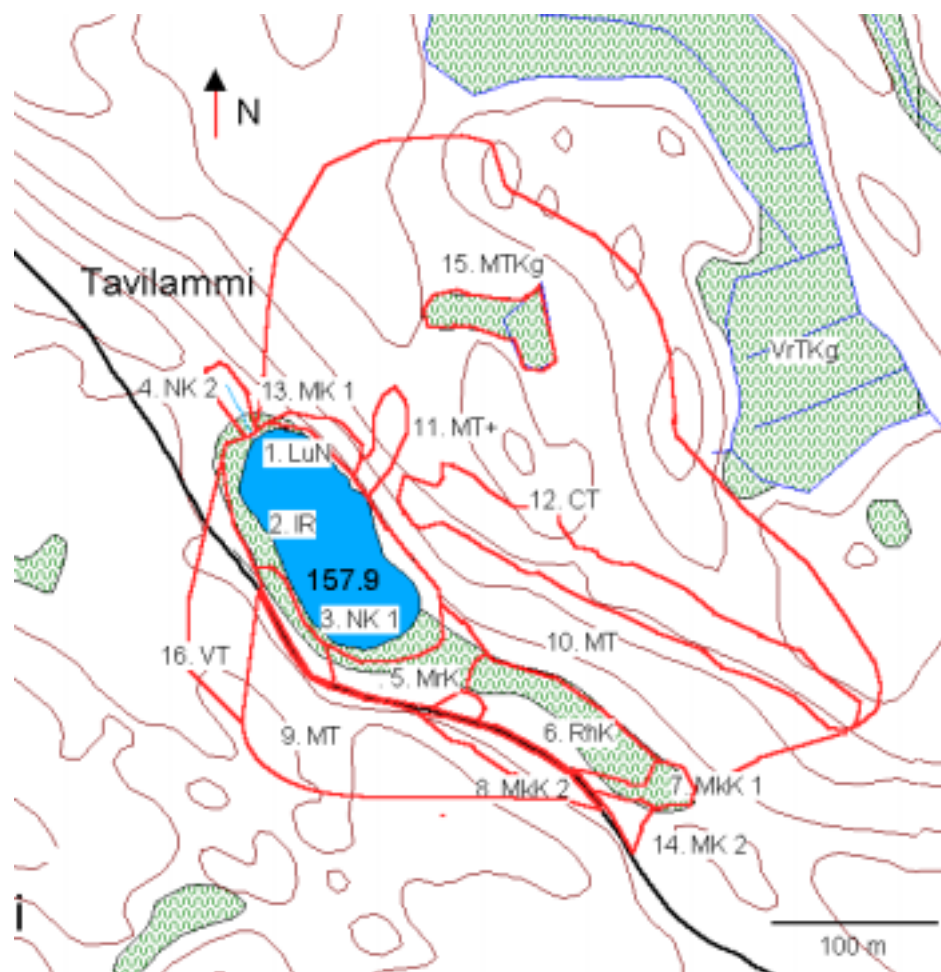
Valuma-alueiden 29 kasvillisuuskuvioilta löydettiin yhteensä 194 ja näytealojen ruuduilta (126 x 1 m²) 115 putkilo- ja itiökasvilajia:

	Valuma-alueilla	Näytealoilla
Puita ja pensaita	19	12
Muita putkilokasveja	131	65
Rahkasammalia	11	7
Muita lehtisammalia	18	18
Maksasammalia	4	3
Jäkälä		7

Konstantteja lajeja, jotka esiintyivät vähintään 50 %:lla kuvioista, havaittiin 19 kpl. Näistä kahdeksan oli puu- ja pensaskerroksen lajeja. Kenttäkerroksen suurimpia frekvenssipeittävyksiä (maks. 100 %) esiintyi mustikalla (*Vaccinium myrtillus*) 28 % ja metsäkastikalla (*Calamagrostis arundinacea*) 15 %. Pohjakerroksessa suurimmat peittävydet esiintyivät rahkasammalla (*Sphagnum* sp.) ja seinäsammalla (*Pleurozium schreberi*): korpirahkasammal (*Sphagnum girgensohnii*) 21 %, rämerahkasammal (*Sphagnum angustifolium*) 24 % ja seinäsammal 41 %.



Kuva 3. Nimettömän valuma-alueen kasvillisuuskuviot. Nimettömän järveä ympäröivät erilaiset suolaukut (luhtaneva, tupasvillaräme, isovarpuinen räme). Muut turvemaat valuma-alueella ovat 1960-luvulla ojitettuja kuusivaltaisia turvekankaita (MTkg). Kivennäismaat edustavat enimmäkseen mustikkatyyppin taimikkovaihetta. Puron varrella on rehevää OMT-tyyppiä ja rinteessä järven länsipuolella on kuivempaa VT-tyyppiä.



Kuva 4. Tavilammen valuma-alueen kasvillisuuskuviot. Järven reunoilla esiintyy pienialaisia suo- ja korpilaukkuja, joista muurain- ja mustikkakorpi (5. ja 13.) edustavat tämän tutkimuksen karumpia turvemaan näytealoja. Korpjuotti jatkuu itä-kaakkoon mesotrofisena ruohokorpena (kaksi näytealaa, kuva 2, s. 12). Ympäröivät metsät ovat pääosin MT-kuusikkoa, kalliolla esiintyy kanervatyyppeä (CT).

4.1.2 Kenttäkerroksen peittävyysmuutokset 1998 ja 1999

Seuraavissa luvuissa aluskasvillisuutta tarkastellaan erikseen kenttä- ja pohjakerroksen osalta mm. siksi, että lannoitus vaikuttaa eri kerroksiin eri lailla. Pitkäaikaisten kasvillisuusmuutosten voimakkuus turvemailla riippuu osaksi siitä, kuinka kehittynyt alkuperäinen kenttäkerros on (Silfverberg 1996).

Näytealojen lajipeittävydet arvioitiin pysyvillä ja merkityillä pienruuduilla (s. 11) ennen tuhkallevitystä kesällä 1997 ja uudelleen kesien 1998 ja 1999 aikana. Seitsemän ruudun ($n = 7 \times 1 \text{ m}^2$) lajipeittävyysistä laskettiin näytealakohtainen keskimääräinen peittävyysprosentti sekä ilmoitettiin muutosprosentti vertailuvuoteen 1997 nähden (taulukot 2 ja 3).

Lähes kaikilla näytealoilla kenttäkerroksen kokonaispeittävyys kasvoi 1997 - 1999, poikkeuksena varjoisat turvekangasalat (TKg 7 ja TKg 8) sekä eräät varjoisat mustikkatyypin näytealat (Nimetön MT 6 ja Tavilammen MT 8). Myös monilla kontrolli-näytealoilla kokonaispeittävyys kasvoi noin 10 %, ilmeisesti poikkeuksellisen suotuisan kasvukauden 1998 ansiosta. Suurimmat lisäykset tulivat kuitenkin *tuhkalannoitetuille* mineraalimaan näytealoille, Nimetön (MT 5) +35 % ja Tavilampi (MT 6) +17 %.

TAULUKKO 2. Kenttäkerroksen lajipeittävyysistä (%) laskettu keskiarvo eri näytealoille. **L= lannoitettu**

Näyteala	Lajipeittävyys, %			Muutos vuodesta 1997, %	
	1997	1998	1999	1998	1999
Nimetön					
CT 1	40	44	48	8,9	21,1
VT 2	52	67	72	29,2	38,8
MT 3	57	72	68	26,3	19,3
MT 4	59	71	70	20,3	18,6
MT 5 L	48	61	83	27,1	72,9
MT 6	66	69	69	4,5	5,0
TKg 7	60	61	63	1,7	5,0
TKg 8	65	65	62	-	-4,6
MT 9 L	57	71	72	24,6	26,3
TKg 10 L	63	79	72	25,4	14,3
Tavilampi					
RhK 1L	39	43	44	10,3	12,8
RhK 2 L	59	23	86	25,4	45,8
MrK 3 L	41	48	49	13,9	27,9
MK 4 L	45	48	53	6,7	17,8
MT 5	26	31	32	19,2	23,1
MT 6 L	15	26	33	73,3	120,0
MT 7	52	63	65	21,2	25,0
MT 8	37	42	38	13,5	2,7

Nimettömällä (MT 5) avainlajeja olivat tyypilliset kulotuksen jälkeiset sukkessiolajit: sananjalka (*Pteridium aquilinum*) ja metsäkastikka (*Calamagrostis arundinacea*) (kuva 5). Tavilammen näytealalla (MT 6) valtaosa lisäkasvusta tuli seuraaville lajeille: vanamo (*Linnaea borealis*), metsämaitikka (*Melampyrum sylvaticum*), kangasmaitikka (*Melampyrum pratense*) ja puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) (kuva 6, s. 20). Merkittävä lajistollinen ero johtuu näytealojen eri kehitysvaiheesta: Tavilampi MT 6 on sulkeutunut, vankkapuustoinen kuusikko, Nimetön MT 5 puolestaan kulon jälkeen huomosti metsittyvää taimikkoa.

Kasvillisuuden muutokset tuhkallevityksen seurauksena riippuvat suuresti lähtötilanteesta: olemassa oleva aluskasvillisuudesta, kokonaispeittävydestä, sukkessiovaiheesta, metsätyypistä, varsinkin kosteusolosuhteista, topografiasta ym. Seuraavassa eräitä esimerkkejä keskeisillä näytealoilla todetuista muutoksista 1997 - 1999:

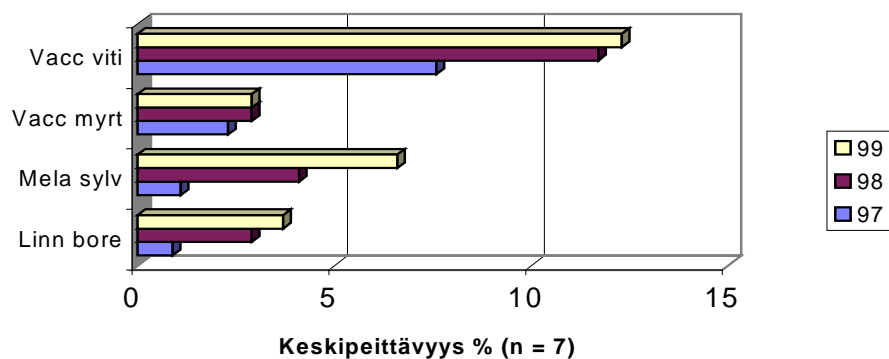
Lannoitettu sulkeutunut MT-kuusikko

Tavilammen näytealalla MT 6 suurimmat keskipeittävyyden lisäykset vuonna 1998 olivat (kuva 5):

- metsämaitikalla +3 %
- kangasmaitikalla +1,5 %
- puolukalla +4 %
- vanamolla +2 %

Myös lähimmällä kontrollinäytealalla (MT 5) vanamon peittävyys lisäys oli tuolloin +2 % ja metsämaitikan +3 %. Kesällä 1999 peittävyys kasvu jatkui lannoitusalueella (MT 6) varsinkin vanamon ja maitikoiden osalta. Kontrollialalla (MT 5), metsämaitikan kasvu jatkui (+2 %), mutta vanamo taantui (-1 %).

Metsäntutkimuslaitoksen kenttäkokeissa on havaittu puuntuhkan lisäyksen erityisesti puolukan painoa ja satoa lannoitusvuonna kivennäismaalla. Turvetuhka vaikutti samansuuntaisesti, mutta vähemmän (Silfverberg & Issakainen 1991). Kuoreveden Liesjärvellä kolmen lannoitteen erilliskokeissa kalilannoitus lisäsi metsämaitikan peittävyttä lievästi. Samaisissa lannoituskokeissa vanamon ja puolukan peittävyys lisääntyi fosforilannoituksella, mutta väheni kalilannoituksella (Mälkönen ym. 1980).

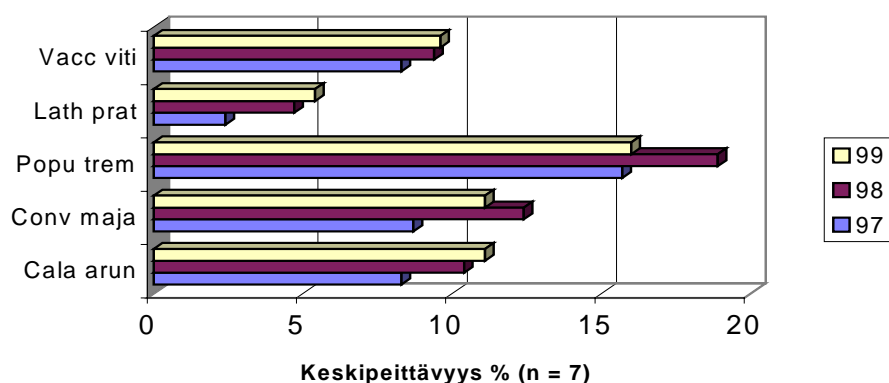


Kuva 5. Tavilammen lannoitetun mineraalimaan (MT6) avainlajien peittävyysmuutoksia 1997 - 1999.

Kaksi lannoitettua harvaa MT-mäntytaimikkoa

Nimettömän näytealalla (MT 9) havaittiin kesällä 1998 seuraavia muutoksia keskiarvopeittävyksissä:

- kielolla +4 % (*Convallaria majalis*)
- haavalla +3 % (*Populus tremula*)
- metsäkastikalla +2 % (*Calamagrostis arundinacea*)
- niittynätkelmällä +2 % (*Lathyrus pratensis*)
- puolukalla +1%



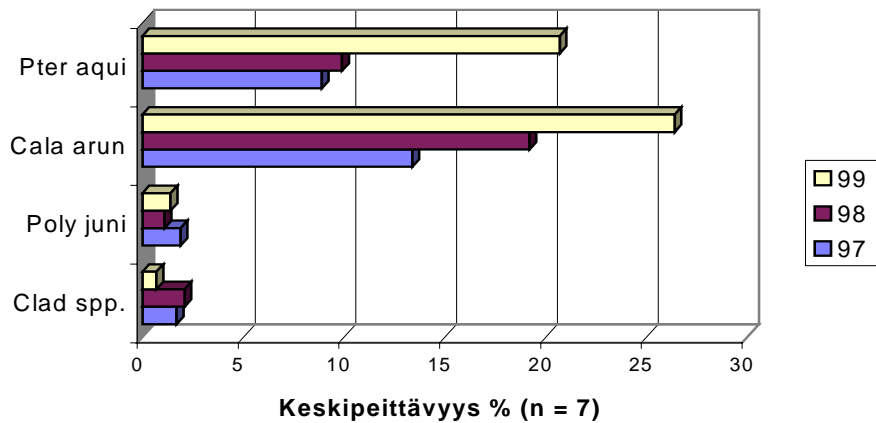
Kuva 6. Nimettömän lannoitetun mineraalimaan (MT9) avainlajien peittävyden muutoksia 1997 - 1999.

Seurantakesänä 1999 muutokset olivat enää ± 1 % luokkaa. Näyteala MT 9 sijaitsee korkean mäen rinteellä ja maaperä on altis kuivuudelle. Haavan selvä taantuminen 1999 selittyy ilmeisesti alkukesän kuivuudella sekä hirvituhoilla (kuva 7).

Alempana samassa rinteessä sijaitsevalla näytealalla MT5 kaksi selvää ”voittajaa” 1998 - 1999 olivat

- sananjalka +11 % (*Pteridium aquilinum*)
- metsäkastikka +8 % (*Calamagrostis arundinacea*).

Metsäkastikka runsastui jo kesällä 1998 (sateisuus?), sananjalan huomattava lisäys tuli seuraavana kesänä, 17 kk tuhkallevityksen jälkeen. Biomassassa näkyi osittain samanlainen muutos (s. 34).

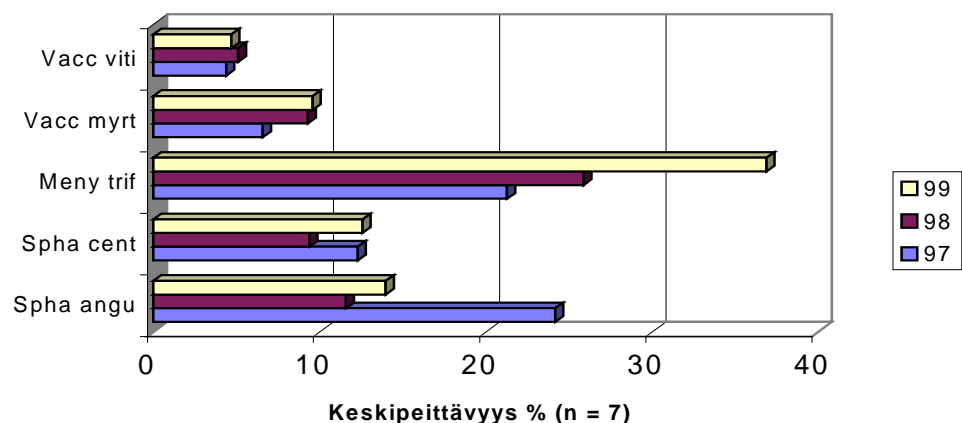


Kuva 7. Nimettömän lannoitetun mineraalimaan (MT5) avainlajien peittävyden muutoksia 1997 - 1999.

Nimettömän kivennäismaan kontrollinäytealoilla (MT 3 ja MT 4) kielon peittävyys kasvoi keskimäärin +2 % kesällä 1998, mutta kuivana kesänä 1999 ei juuri lainkaan. Kauempana lannoitetusta lohkoista sijaitsevilla kontrollialoilla (VT 2 ja MT 3) metsäkastikan lisäys oli kesällä 1998 huomattavaa, keskimäärin +3,5 %. Seuraavana kesänä lisäystä havaittiin edelleen +2,5 %.

Lannoitettu ravinteikas ruohokorpi

Tavilammen ruohokorvessa (RhK 2) todettiin noin 27 % kokonaispeittävyden lisäys, avainlajeina raate (*Menyanthes trifoliata*), mustikka (*Vaccinium myrtillus*) ja korpikastikka (*Calamagrostis purpurea*) (kuva 8). Ravintotalouden muutos näkyi selvimmin raatteen rehevöitymisinä: vuosi 1998 +5 % , vuosi 1999 +11 %. Korpikastikan peittävyys kasvoi molempina vuosina noin +1,7 % (kuva 8).



Kuva 8. Tavilammen lannoitetun ruohokorven avainlajien peittävyden muutoksia 1997 – 1999.

Näytealalla (MrK 3) suomuuraimen (*Rubus chamaemorus*) peittävyys kasvoi kumpanakin seurantavuotena noin 1,5 %. Kesällä 1998 mustikan peittävyys lisääntyi turvenäytealoilla (RhK 1, RhK 2 ja MrK 3) keskimäärin 3 %. Kesällä 1999 näytealalla (MrK 3) mustikan peittävyys oli kasvannut edelleen keskimäärin 2 %.

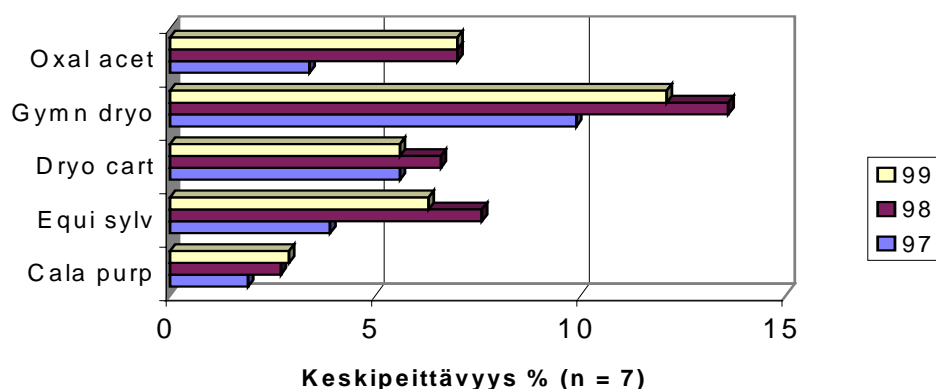
Aikaisemmin keinolannoitettu (1972) ravinteikas turvekangas:

Nimettömän TKg 10 näytealalla suurimmat muutokset vuonna 1998 olivat (kuva 7, s. 21):

- metsäkorte +4 % (*Equisetum sylvaticum*),
- metsäimarre +3,5 % (*Gymnocarpium dryopteris*)
- ketunleipä +3,5 % (*Oxalis acetocella*).
- metsäälvejuuri +1 % (*Dryopteris carthusiana*),.

Kesällä 1999 kaikki edellä mainitut lajit, paitsi ketunleipä, taantuivat jääden kuitenkin samalle tai korkeammalle tasolle kuin kesällä 1997 (kuva 9). Ilmeisesti tuhkan tuoma ravinnelisyys ei pystynyt lisäämään kasvua kesän 1999 kuivissa olosuhteissa.

Kontrolliturvekankaalla (TKg 7) muutokset rajoittuivat ensimmäisenä kesänä (1998) oravanmarjan (+2 %) ja puolukan (+1 %) runsastumiseen. Kontrollikesä 1999 pudotti oravanmarjaa -0,5 % ja puolukkaa -1 %. Rinnakkaisella lannoittamattomalla kontrollialalla (TKg 8) mustikka väheni -1 %. Näytealat (TKg 7 ja TKg 8) olivat osittain sopimattomia kontrollinäytealoiksi, koska molemmilla esiintyi voimakkaampaa varjostusta verrattuna lannoitettuun näytealaan (TKg 10).



Kuva 9. Nimettömän lannoitetun turvekankaan avainlajien peittävyuden muutoksia 1997 - 1999.

Useimmissa mineraalimaan keinolannoituskokeissa (NPK, PK) mustikan peittävyys on taantunut *pitkällä aikavälillä* (Mälkönen ym.1980, Nohrstedt 1994). Vanhoilla tuhka-alueilla (n. 10 vuotta lannoituksesta) ainakin mustikan *marjasato* on vähentynyt puoleen (Moilanen & Issakainen 1999). Metsä- ja suovarpujen taantumisen yhtenä syynä kivennäismailla pidetään varjostuksen lisääntymistä (Raatikainen 1989), kenttäkerroksen kasvillisuuden kehittyessä ruoho- ja heinävaltaiseen suuntaan (Malmström 1952, Reinikainen 1980). Tuhkalannoitus saattaa karuimmissa olosuhteissa suosia suomuurainta, joka on vahva kilpailija (Silfverberg 1996).

Silfverberg ja Huikari (1985) ovat todenneet ainakin metsäalvejuuren ja puolukan yleistyneen vanhoilla ojitetuilla tuhkalannoitusaloilla verrattuna lannoittamattomiin. Sananjalka on eräässä kokeessa todettu indifferentiksi suhteessa kalkki-, tuhka- ja ammoniumtyppilisäykseen (Dolling 1996). Samassa kokeessa sekä kalkki että tuhka edisti haavan taimikehitystä.

4.1.3 Pohjakerros

Lannoituksen aiheuttamat muutokset pohjakerroksen peittävyyksissä havaittiin selvimmin Tavilammen turvemaan näytealoilla: keskipeittävyys oli vähentynyt keskimäärin 30 % 1997 - 1999 (taulukko 3). Myös eräällä lannoitetulla kivennäismaan näytealalla (MT5) on selvä lasku, johon vaikuttaa osaltaan pohjakerroksen alhainen peittävyys lähtötilanteessa, osaltaan torvijäkälän taantuminen (vrt. kuva 7, s. 21).

Kesällä 1998, noin viisi kuukautta tuhkalannoituksen jälkeen havaittiin pohjakerroksen peittävyysuhteissa ratkaiseva muutos Tavilammen suonäytealoilla (RhK 1, RhK 2, MrK 3 ja MK 4). Rahkasammalten lajikohtaiset keskipeittävyydet pienenevät keskimäärin seuraavasti: rämerahkasammal (*Sphagnum angustifolium*) -8,4 %, korpilahkasammal (*Sphagnum girgensohnii*) -6 % ja vaalearahkasammal (*Sphagnum centrale*) -1,9 %. Lajikohtaiset vauriot noudattivat ennen lannoitusta edeltäneitä peittävyysuhteita.

Yksittäisten pienruutujen kohdalla muutokset olivat myös suurimmillaan lannoituksen jälkeisenä kesänä 1998: räme- ja korpilahkasammal noin -70 % ja vaalearahkasammal -25 % (taulukko 4, s. 25).

Kesällä 1999 rahkasammalet ja metsäsammalet alkoivat toipua ”emässhokista”, tosin vastakkaistakin ilmiötä esiintyi pienruutukohtaisesti tarkasteltuna. Tavilammen ruohokorven näytealoilla (RhK 1 ja RhK 2) rämerahkasammalten keskipeittävyys (n = 7) oli lisääntynyt noin +1,4 %. Näytealalla (RhK1) vaalearahkasammaleen värimuutokset lisääntyivät vielä -3,1 %, mutta muutaman kymmenen metrin päässä sijaitsevalla näytealalla (RhK 2) lajin peittävyys oli kääntynyt 1,6 %:n nousuun. Vaalearahkasammal edustaa ravinteikkaampien kasvualustojen lajistoa (Laine & Vasander 1990), mikä selittäisi alkavaa toipumista.

TAULUKKO 3 Pohjakerroksen lajipeittävyksistä (%) laskettu keskiarvo eri näytealoille. **L = lannoitettu ala.**

Näyteala	Lajipeittävyys, %			Muutos vuodesta 1997, %	
	1997	1998	1999	1998	1999
Nimetön					
CT 1	67	61	63	9,0	6,0
VT 2	33	31	31	6,5	6,5
MT 3	6	6	6	-	-
MT 4	31	32	32	3,2	3,2
MT 5 L	6	5	4	-17,0	-33,3
MT 6	7	7	7	-	-
TKg 7	15	16	16	6,7	6,7
TKg 8	10	10	8	-	-20,0
MT 9 L	12	13	12	8,3	-
TKg 10 L	4	4	5	-	25,0
Tavilampi					
RhK 1L	69	36	44	-48,0	-36,5
RhK 2 L	46	40	42	-13,0	-8,7
MrK 3 L	37	29	29	-21,6	-21,6
MK 4 L	63	31	28	-50,8	-55,6
MT 5	49	50	57	2,0	16,3
MT 6 L	55	52	57	-6,1	3,6
MT 7	27	27	28	-	3,7
MT 8	36	35	36	-2,7	-

Voittajat /Häviäjät

Lajistovaikutukset olivat kaksisuuntaisia. Rahkasammalet (*Sphagnum* spp.) ja kynsisammalet (*Dicranum* sp.) olivat monilla lannoitusruuduilla vaurioituneet silmännähtävästi. Torvijäkälät (*Cladonia* sp.) taantuivat selvästi tuhkalannoituksesta. Suikerosammalet (*Brachythecium* sp.), korpikarhunsammal (*Polytrichum commune*) ja suonihuopasammal (*Aulacomnium palustre*) hyötyivät sen sijaan selvästi lannoituksesta ja sen seurannaisvaikutuksista.

Tavilammen muurainkorvessa (MrK 3) havaittiin suonihuopasammaleella +1,4 % ja suikerosammaleella +0,9 % keskipeittävyuden lisäys. Ruovedelle vuonna 1948 perustetuilla tuhkalannoituskoealoilla karhunsammalet ja suonihuopasammal runsastuivat myös ensimmäisinä vuosina (Sarasto 1963).

Lisäksi havaittiin pioneerilajiston invaasiota paljaille tuhkakasoille. Itiökasvitulokkaita löydettiin seuraavasti: kulosammal (*Ceratodon purpureus*), nuotiosammal (*Funaria hygrometrica*), palokeuhkosammal (*Marchantia polymorpha*), maksamaljakas (*Peziza badia*) ja tiemaljakas (*Melastiza chateri*).

TAULUKKO 4 Rämehakasammalen (*Sphagnum angustifolium*) ja korpilahkasammalen (*Sphagnum girgensohnii*) peittävyysmuutoksia (%) Tavilammen **lannoitetuilla näytealoilla** RhK 1 ja MK 4 seurantakesinä 1997 - 1998. Keskiarvo on laskettu ruuduista, joilla lajia on esiintynyt.

Näyteala	RhK 1	<i>Sphagnum angustifolium</i>							\bar{X}
Ruutu	14	18	19	25	31	57	78		
1997	15	20	40	40	70	-	5	27	
1998	5	20	40	10	3	-	3	12	
Muutos	-10	0	0	-30	-67		-2	-15	
Näyteala	MK 4	<i>Sphagnum angustifolium</i>							\bar{X}
Ruutu	9	34	52	66	84	86	94		
1997	30	1	60	5	80	10	5	30	
1998	30	1	7	25	10	5	5	12	
Muutos	0	0	-53	+20	-70	-5	0	-18	
Näyteala	RhK 1	<i>Sphagnum girgensohnii</i>							\bar{X}
Ruutu	14	18	19	25	31	57	78		
1997	3	25	15	-	-	80	-	31	
1998	-	20	10	-	-	10	-	10	
Muutos	-3	-5	-5	0	0	-70	0	-21	
Näyteala	MK 4	<i>Sphagnum girgensohnii</i>							\bar{X}
Ruutu	9	34	52	66	84	86	94		
1997	40	-	-	25	-	5	80	38	
1998	40	-	-	25	-	15	10	23	
Muutos	0	0	0	20	0	+10	-70	-15	

Karike

Karikepeittävydessä havaittiin Tavilammella 15 % lisäys lannoitusaloilla ja 11 % lisäys koko tutkimusalueella kesällä 1998. Vuonna 1999 saatiin 10 % lisäys vielä lannoitusaloilla ja 8 % lisäys koko alueen karikepeittävyksiin. Tavilammen viidestä lannoitetusta näyte-alasta neljä sijaitsi turvemaalla, joilla lannoitus lisäsi tuntuvasti pohjakerroksen sammalten vaurioita ja samalla karikkeen määrää. Nimettömän tutkimusalueella havaitut eroavaisuudet eri vuosien välillä olivat niin pieniä, että muutokset saattavat selittyä arviointivirheillä. Kariketutkimuksissa tuhkalannoitus on yleensä lisännyt karikkeen määrää ja ravinteisuutta pitkällä aikavälillä parantaen näin maaperän hajotustoimintaa (Paavilainen 1987).

Pohjakerroksen keskimääräiset karikepeittävydet vaihtelivat näytealoilla 27 - 97 %:n välillä. Karikeosuuksissa ei havaittu selviä muutoksia kolmen vuoden seurannassa. Korkeat karikepeittävydet ovat tyypillisiä kuusivaltaisilla eri-ikäisillä turve- ja mineraalimaan näytealoilla.

Tuhkakasat

Tuhkan epätasaisesta leviämisestä johtuen näytealoille jäi tuhkakasoja. Lannoitettujen ruutujen pohjapinta-alasta oli Nimettömällä 1998 keskimäärin 1,4 % tuhkan peitossa ja Tavilammella vastaavasti 1,0 %. Vuotta myöhemmin tilanne oli seuraava: Nimetön 0,9 % ja Tavilampi 0,5 %. Kesällä 1999 tuhkalaikut liukenivat tai jäivät uudistuvan kasvillisuuden alle, supistuen Nimettömällä noin 30 % ja Tavilammella noin 50 % vuodessa. Turve- ja mineraalimaan välillä ei havaittu merkittäviä eroja (taulukko 5, s. 28).

Kesän 1999 inventoinnissa putkilokasvien kolonisaatio oli selvimmin havaittavissa tuhkakasoilla. Tuhkalaikuilta löydettiin runsaasti koivujen (*Betula* sp.) ja männyn (*Pinus sylvestris*) sirkkataimia. Kasvihuonekokeissa puutuhkan on todettu edistävän männyn ja hieskoivun itämistä, mutta korkea tuhkapitoisuus (10 000 kg / ha) saattaa myös haitata hieskoivun alkukehitystä (Silfverberg 1996, Moilanen, Ferm & Issakainen 1987). Lannoitusaloille jääneet pienet tuhkakasat toimivat itämisalustana myös muille siemen- ja itiökasveille.

Pioneerisammalten kolonisaatiota tuhkalannoitetuille turvealoille on todettu useissa Pohjoismaisissa lannoituskokeissa (Lukkala 1955, Malmström 1952, Sarasto 1963 ja Silfverberg 1996). On paljolti kyse samoista lajeista, jotka ilmaantuvat kulotusaloille, kuten kulosammal, nuotiosammal, palokeuhkosammal (katso s. 24) ja kangaskarhunsammal (*Polytrichum juniperinum*). Lajit ovat heikkoja kilpailijoita ja tarvitsevat sukkession alkuvaiheen tilanetta, jossa pohjakerroksesta vielä puuttuvat muut kilpailijat.

4.1.4 Tuhkan aiheuttamat kasvillisuusvauriot

Voimakkaasti emäksisen lannoitteen aiheuttamia violetinruskeina näkyviä vaurioita havaittiin mustikan, muuraimen ja suopursun lehdillä. Mustikan lehdissä esiintyi ensimmäisenä lannoitusta seuranneena kasvukautena violetinvärisiä laikkuvaurioita. Muuraimien lehtien värimuutokset olivat saman tyyppisiä, mutta pinta-alaltaan suurempia: 1 - 5 cm² (kuva 10) Vauriot näyttivät alkaneen useimmiten lehtisuonien ympäriltä. Muuraimien värimuutokset olivat kesällä 1999 edelleen lisääntyneet, osasyynä oli mahdollisesti kuivuus. Suopursujen lehdistä osa oli kokonaan ruskettunut, tuhkanäytealoilla minkään muotoista värilaikkuisuutta ei havaittu välimuotona.

Rahkasammalten ja metsäsammalten ”palamista” on usein havaittu lannoituskokeiden yhteydessä, niin karuilla kuin ravinteikkailta kasvualustoilla (esim. Tamm 1965). Lannoitteiden myrkytysvaikutuksia voi esiintyä, koska useimmat sammalet ovat sopeutuneet vain pieniin sadeveden mukana tuleviin ravinnelisäyksiin (Mäkinen & Pakarinen 1977). Sammalet kituvat, ruskettuvat ja usein lopulta kuolevat. Jälkimmäisessä tapauksessa vapautuu ravinteita ja kasvutilaa uustulokkaille ja puuntaimille.



Kuva 10. Tuhkalannoituksen aiheuttamia vaurioita aluskasvillisuudessa (kesäkuu 1999). Ylhäällä: vaurioita suomuraimen lehdissä Tavilammen näytealalla MrK 3. Alhaalla: suurin osa pohjakerroksen rahkasammalista ruskettui kesällä 1998, 5kk tuhkallevityksen jälkeen. Kesällä 1999 karike peitti jo osan kuolevista sammalista.

Pohjakerroksen vaurioastetta arvioitiin pysyvien pienruutujen tuhkalohkoilla peittävyysarviointien yhteydessä. Kasvukautena 1998 vaurioalueet olivat *keskimäärin*: Nimetön 1,4 % ja Tavilampi 18,5 %. Seuraavana kesänä (1999) vaurioalat olivat pienentyneet: Nimetön 1,2 % ja Tavilampi 13,3 % ruutujen kokonaispinta-alasta (taulukko 4, s. 25). Valuma-alueiden välistä eroa voidaan selittää Tavilammen näytealojen rahkasammalvaltaisuudella (taulukko 5). Tavilammen turvealoilla pohjakerroksen vaurioalueet olivat siis vuodessa supistuneet noin kolmanneksen.

Näytealakohtaisesti tarkasteltuna vaurioitumisen paikallinen ja melko satumanvarainen vaihtelu korostuu. Näytealojen (RhK 1 ja MK 4) pienruuduilla rämerahkasammalista oli kuollut jopa 15 -18 % ja korpirahkasammalista 15 - 21 % (taulukko 5).

TAULUKKO 5 Tuhkalaikkujen ja vaurioalojen laajuuksia lannoitetuilla näytealoilla 1998 - 1999. Tuhka- ja vaurioprocentit on laskettu näytealan seitsemän pienruudun keskiarvoina.

	Tuhkalaikut %		Vaurio %	
	1998	1999	1998	1999
Nimetön				
MT 5 L	2	1,7	1,6	1,6
MT 9 L	1,6	1,0	2,1	1,6
TKg 10 L	0,6	0,1	0,4	0,4
Keskiarvo	1,4	0,9	1,4	1,2
Tavilampi				
RhK 1 L	1,4	1,4	33,6	30,7
RhK 2 L	1,6	-	4,2	3,0
MrK 3 L	1,4	0,7	13,9	18,1
MK 4 L	0,1	0,1	35,7	11,7
MT 6 L	0,6	0,3	4,9	3,0
Keskiarvo	1,0	0,5	18,5	13,3

4.1.5. Aluskasvillisuudessa todettujen muutosten tulkinta

Pitkän aikavälin (10 - 40 vuotta) seurannassa tuhkalannoitusalueilla on todettu mullistavia muutoksia aluskasvillisuudessa, varsinkin turvemaiilla. Muutosten voimakkuus riippuu keskeisesti kasvupaikan *alkuperäisestä ravinteisuudesta* ja *tuhka-annoksesta*: typpirikkailla turvemaiilla suuret tuhkamäärät (esim. 10 - 20 t/ha) muuttavat täysin aluskasvillisuuden luonnetta. Kenttäkerroksessa tiheä ruoho- ja heinäkasvusto syrjäyttää jäkälät, varvut, metsä- ja rahkasammalet. Puukerroksissa varsinkin koivu runsastuu ja kenttäkerrokseen ilmestyy kasvupaikalle normaalisti vieraita lajeja: horsma, voikukka, näsiä ym.

Muutokset ovat ilmeisesti suurempia, mikäli kenttäkerros on heikosti kehittynyt lähtötilanteessa. Karuilla turvemaidella, joissa on sulkeutunut puusto, *näkyvät* vaikutukset saattavat toisaalta olla melko pieniä. Koska vaikutukset alkuperäiseen kasvillisuuteen vaihtelevat tapauskohtaisesti, on tarvetta jakaa havaitut vaikutukset voimakkuuden mukaan kolmeen tasoon (taulukko 6).

TAULUKKO 6 Aluskasvillisuuden muutokset jaoteltuna voimakkuuden ja ekologisen merkityksen mukaan. Oikealla arviointiperusteet.

	<i>Tunnus:</i>
I. Lajien väliset runsaussuhteet muuttuvat	peittävyys-, frekvenssi- ja biomassamuutokset
II. Uusia lajeja ilmantuu, vanhoja häviää	lajimäärät, monimuotoisuustarkastelu (+/-)
III. Alkuperäinen lajisto taantuu tai/ja häviää myös maisematasolla	taksonominen tai painotettu monimuotoisuustarkastelu, uhanalaisuusarviointi *

* vrt. Virkkala & Toivonen 1999

Tässä tutkimuksessa todetut muutokset kuuluvat toistaiseksi lähinnä *tasoon I* - lajien runsaussuhteissa on tapahtunut muutoksia (1997 - 1999) sekä turve- että kivennäismailla. Muutokset ovat toistaiseksi melko pieniä (vrt. taulukko 7), ja niiden tulkintaa vaikeuttaa todennäköisesti säävaihtelusta johtuva samansuuntainen trendi kontrollinäytealoilla 1997 - 1999. Poikkeuksellisen sateinen kesä 1998 edisti yleisesti aluskasvillisuuden kasvua (peittävyys ja biomassa), varsinkin taimikkovaiheen valoisilla näytealoilla (vrt. s. 20 - 21). Etenkin yksivuotiset kasvit, esim. maitikat reagoivat nopeasti kasvuolosuhteiden muutoksiin (Paalamo 1995). Tässä tutkimuksessa periaatteessa hitaammin reagoivat puolukka ja mustikka runsastuivat kuitenkin samassa määrin ja yhtä nopeasti kuin maitikat (s.19).

Perättäisten vuosien vaihtelut selittyvät osittain myöskin kasvipopulaatioiden sisäisellä kasvudynamiikalla, jonka merkitys on korostunut uusimmissa aluskasvillisuuden seurantatutkimuksissa (vrt. Paalamo 1995). Tämä tekijä - kuten myös arviointisijan virheet - tasaantuvat laajassa aineistossa (*tässä*: 126 kasvillisuusruutua).

Taulukosta 7 ilmenee, että lajistosta noin 60 - 70 % ei ole reagoinut muuttuneisiin olosuhteisiin merkittävästi lannoitus- eikä kontrollialoilla. Peittävyysarvioinnin subjektiivisuuden vuoksi kaikki alle yhden prosentin muutoksen omaavat lajit on toistaiseksi ryhmitelty luokkaan *indifferentit* (= eivät reagoi suuntaan tai toiseen).

Ainoastaan suurimmat peittävyden muutokset (luokassa 5 - 10 %) viittaavat tuhkalannoituksen vaikutukseen. Lannoitetuilla turvemailla rahkasammalten taantumukset selittävät kolmen lajin selkeästi vähentyneitä peittävyitä. Kontrolliturvemaalla muutoksen aiheuttaja on kuusitaimien lisääntyminen kenttäkerroksessa (+ muutos, 1 laji). Kivennäismaalla sananjalan ja metsäkastikan rehevöityminen selittää todettua positiivista muutosta (vrt. s. 20).

Eräitä tulokkaita on jo todettu tuhkanäytealoilla (*taso II*). Kasvillisuuden monimuotoisuustasetta ei vielä voi arvioida, vaikka todennäköiset *voittajat ja häviäjät* kyseisillä tuhkalohkoilla alkavat erottua jo kolmen vuoden aineistossa.

TAULUKKO 7 Lajien jakautuminen eri peittävyysmuutosluokkiin turve- ja mineraalimaalla. **LT = lannoitettu turvema** (n = 5). **KT = kontrolli turvema** (n = 2). **LM = lannoitettu mineraalima** (n = 3). **KM = kontrolli mineraalima** (n = 8).

	LT	KT	LM	KM
Indifferentit: muutos < 1 %	22	24	24	25
Differentit: muutos 1 - 2.5 %	5	4	5	5
Differentit: muutos 2,5 - 5 %	2	2	2	2
Differentit: muutos 5 - 10 %	3	1	2	0

Toistaiseksi tuhkasta eniten hyötyvät lajit ovat pitkälti samat kuin ne, jotka on mainittu ”voittajina” aikaisemmissa pidemmän aikavälin tutkimuksissa (esim. *metsäkastikka, karhunsammalet, koivun- ja männyntaimet*). Uutta on ehkä *sananjalan* ja *raatteen* voimakas positiivinen reaktio ja mm. *nurmi-lauhan* puuttuminen listalta tässä aineistossa. Tämä heijastaa osaltaan sitä seikkaa, että tutkimusalueemme on luontaisesti ravinnerikkaampi kuin useimmat kirjallisuuden vertailukohteet (varsinkin Tavilammen ruohokorvet, Nimetön MT5 - MT9 ja TKg 10).

Eräät rahkasammal- ja jäkälälajit ovat jo taantuneet (s. 23 ja 28) Lisäksi on huomioitava, että *karuimpien kasvupaikkojen lajisto* on vajavaisesti edustettuna tutkimusalueella. Näiden joukossa on ilmeisesti herkkiä lajeja, joiden pH- ja ravinteisuusalue (amplitudi) on kapea verrattuna metsien ja soiden laajan amplitudin yleislajeihin (esim. *seinäsammal* kasvaa suoraan tuhkan päällä Muhoksen koekentällä, retkeily 20.9.1999). Kyseiset karun kasvupaikan lajit (sammalia, maksasammalia, jäkäliä ym.) ovat suhteelliseen usein melko huomaamattomia ja vaikeita tunnistaa. Valtalajeihin keskittyvä kasvillisuuden inventointi ja tarkastelu saattaa näin ollen aliarvioida lajistollisessa monimuotoisuudessa tapahtuneita negatiivisia muutoksia. Karuilla turvemailla on tällä hetkellä suhteellisen vähän uhanalaisia lajeja, verrattuna esim. lettoihin (Lappalainen toim. 1998).

Kokonaisekologisesti vakavin skenaario (*taso III*) toteutuisi mikäli tuhkalannoituksen yleistymisen johtaisi alueellisiin tai maisematason muutoksiin karujen kasvupaikkojen sekä niille ominaisen eliöstön esiintymisessä. On muistettava, että nykyinen typpilaskeumataso vaikuttaa jo tähän suuntaan. Tuhkalannoitusalueilla tyypilliset maitohorsmat, kastikat ja lauhat ovat VMI-aineistojen perusteella runsastuneet koko maassa viime vuosikymmeninä.

4.2 Kasvun ja biomassan seuranta

4.2.1 Neulasten biomassamuutokset

Kesällä 1999 mitatuista puista kerättiin kolmen viimeisimmän vuosikerran neulasia (taulukko 8). Neulasten biomassa kasvaa iän myötä. Lähtötilanteessa (1997) kontrollialueen neulaset olivat yleensä painavampia kuin lannoituslohkoilla (taulukko 8). Tuhkan vaikutus näkyy siinä, että alueelliset erot tasaantuivat levityksen jälkeen, vuodesta 1998 eteenpäin. Tavilammen turvemaalla lähtötilanne (kontrolli/lannoitus) oli vertailukelpoinen ja lannoitettujen puiden neulaset noin 40 % painavampia kuin kontrollipuiden vuonna 1999. Pyhännän ja Lestijärven lannoituskokeissa vuosina 1978 - 1981 puutuhka lisäsi sadan neulasen keskipainoa merkittävästi (Silfverberg & Issakainen 1987).

TAULUKKO 8 Tavilammen ja Nimettömän alueilta kerättyjen neulasten kuivapainoja, g / 100 neulasta.

	Tavilampi		Turvema	Nimetön	
	Kontrolli	Lannoitus		Kontrolli	Lannoitus
	Kuusi		Kuusi		
1997	0,200	0,201	0,205	0,167	
1998	0,119	0,163	0,179	0,183	
1999	0,088	0,121	0,139	0,118	
	Kuusi		Mänty		
1997	0,197	0,146			
1998	0,147	0,085	1,045	0,806	
1999	0,137	0,141	0,689	0,695	

4.2.2 Puuston pituuskasvu

Tutkimusalueilta mitattiin kesällä 1997-1999 satunnaisotannalla noin 480 taimikkovaiheen tai alikasvospuuta, 360 kuusta ja 120 mäntyä (vrt. s. 13).

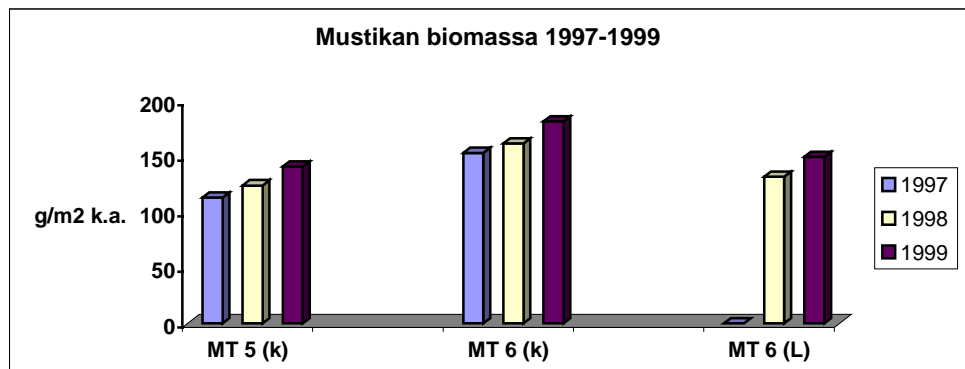
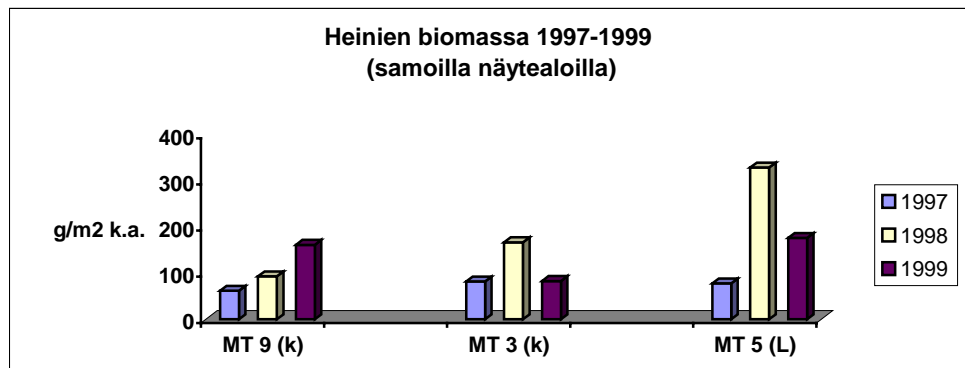
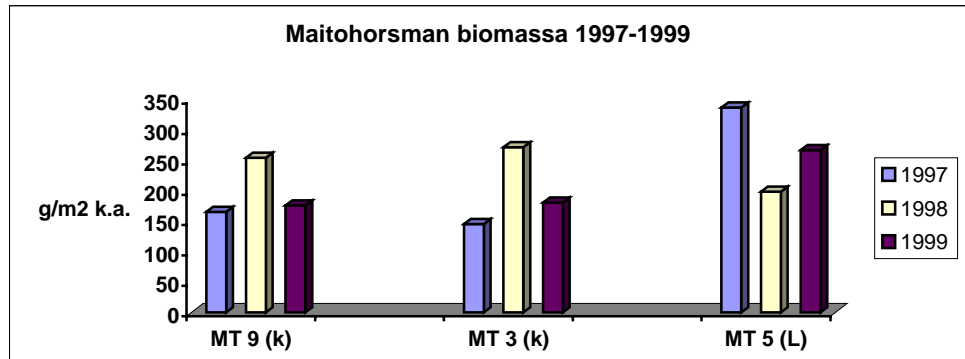
Vuosikasvaimien keskimääräisistä pituuksista oli ilmeisesti havaittavissa kesän 1998 sateisuus, sillä myös kontrollinäytealoilla kasvu oli lisääntynyt. Tavilammen puiden keskinäiset erot ovat pienempiä kuin Nimettömän paremmissa valo-olosuhteissa kasvavien puiden erot. Nimettömän männyissä tapahtui keskimäärin 60 %:n vuosikasvun lisäys kesällä 1998. Lannoitettujen mäntyjen vuosikasvu erosi vain hieman kontrollimäntyjen kasvusta (taulukko 9).

TAULUKKO 9 Nimettömän ja Tavilammen nuorten puiden vuosikasvaimien keskimääräiset pituudet ja keskihajonta 1996-1999. N = 60 puuta / kuvio. **L = lannoitusalue.** K = kuusi. M = mänty. Kasvupaikkanimikkeet (s. 10).

Kuvio	laji	\bar{X} / cm				SD / cm			
		99	98	97	96	99	98	97	96
<u>Tavilampi</u>									
MK	K	3.9	5.5	5.8	6.1	3.9	2.5	2.4	2.7
Mrk (L)	K	6.1	5.6	5.4	5.1	3.4	3.0	2.8	2.8
MT	K	11.3	7.0	6.8	6.3	5.8	4.8	4.0	4.1
MT (L)	K		5.0	5.1	5.5		3.9	3.5	3.3
<u>Nimetön</u>									
TKg	K	9.8	8.0	7.9	9.2	3.8	3.9	3.9	4.2
TKg (L)	K	16.5	13.7	13.0	12.6	5.8	6.4	5.8	5.1
MT	M	44.0	49.9	30.0	28.2	6.6	7.5	6.8	6.4
MT (L)	M	42.0	52.2	34.3	32.1	11.0	13.9	12.3	12.4

4.2.3 Kenttäkerroksen biomassa

Kenttäkerroksen biomassa mitattiin kolmen näytealan läheisyydessä kullakin valuma-alueella. Neljän pienruudun muodostama biomassanäyteala sijoitettiin subjektiivisesti mahdollisimman puhtaan kasvuston keskelle. Nimettömän alueella riittävän kokoisia puhtaita maitohorsmakasvustoja oli vaikeata löytää, Tavilammen mustikkakasvustoissa subjektiivisella valinnalla oli suurempi merkitys.



Kuva 11. Kenttäkerroksen biomassa Nimettömän (maitohorsma ja heinät) sekä Tavilammen (mustikka) alueilla 1997 - 1999. Neljän pienruudun keskiarvo/näyteala.

Kenttäkerroksen biomassassa on selkeästi suurempi maitohorsma ym. ruohojen ja heinien vallitsemisissa näyteruuduissa Nimettömän harvapuustoisilla näytealoilla. Keskimääräinen biomassassa: n.100 g mustikkaa, n. 200 - 300 g horsmaa ym. /1 m² vastaa 1 200 – 2 400 / 3 600 kg/ha. Vuonna 1981 kenttäkerroksen biomassassa Nimettömän varttuneen kuusikon (s. 11) mustikkavaltaisimmalla näytealalla oli 1 200 kg/ ha (Vuorinen 1984).

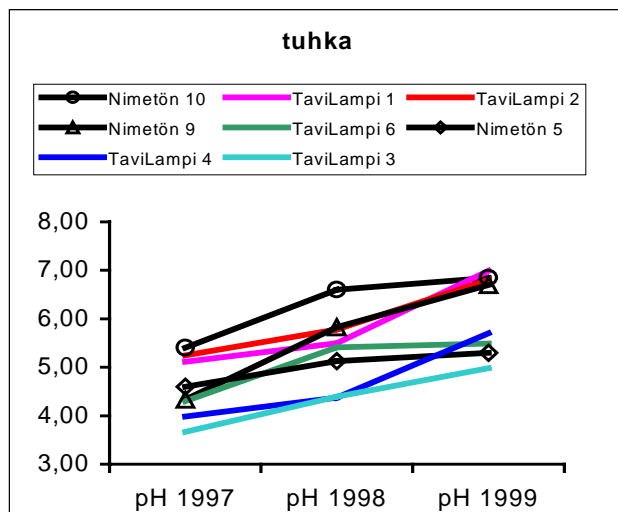
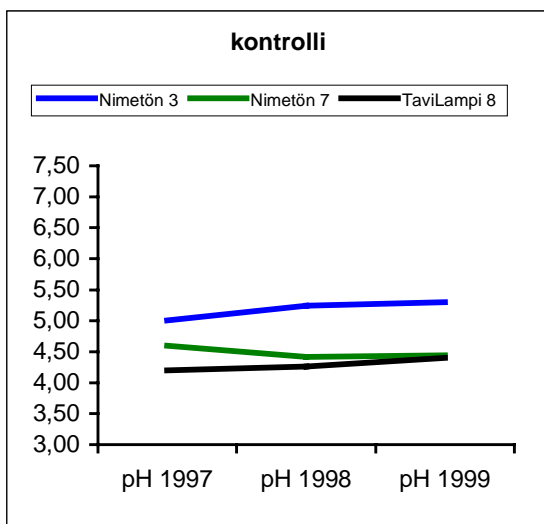
Kenttäkerroksen biomassassa näkyy osittain sama muutos 1997 - 1999 kuin aluskasvillisuuden peittävyksissä läheisillä näytealoilla. Metsäkastikka runsastui ja syrjäytti horsman sateisena kesänä 1998 Nimettömän lannoitettulla taimikkoalalla (MT5). Kesällä (1999) horsmat valtasivat vuorostaan elintilaa metsäkastikalta (kuva 11). Molemmat kasvit hyötyvät sinänsä tuhkalannoituksesta. Viitisen vuotta runsaan pölytuhkalannoituksen jälkeen metsäkastikkakasvustot saattavat olla varsin reheviä (Äänekosken retkeily 20.9.1999). Mustikan keskimääräinen biomassassa (g/m²) tutkimusalueella kasvoi 1997 - 1999. Lannoituksen vaikutus mustikan biomassaan ei erotu taustasta (kuva 11).

4.3 Maa- ja kasvinäytteiden kemialliset analyysit

4.3.1 Maaperän happamuus

Nopea muutos

Ensimmäisenä kasvukautena, jo n. 5 kuukautta tuhkallevityksen jälkeen, happamuus oli vähentynyt keskimäärin 0,5 pH-yksikköä turvemailla ja 1,0 yksikköä kivennäismailla. Seuraavaan vuoden kesäkuun loppuun mennessä (17 kk) kaikkien lannoitettujen näytealojen pH-muutos oli keskimäärin 1,5 yksikköä (taulukko 10, s. 35). Erilaisesta lähtötilanteesta huolimatta trendi oli varsin yhtenevä lannoitetuilla aloilla. Kontrollialoilla esiintyi pientä vaihtelua 1997 - 1999. Muutoksen suuruus kivennäismailla vastaa lähinnä käsittelemättömällä tuhalla tehtyjä kokeita (Egnell ym. 1998).



Kuva 12. Humuskerroksen ja pintaturpeen pH-muutos 1997 - 1999.

TAULUKKO 10 Humuskerroksen (0 - 7 cm) ja pintaturpeen (0 - 7 cm) pH(H₂O) 1997 - 1999

Kontrolli				Tuhkaleivitys			
Mineraalimaa							
				pH			
				1997	1998	1999	
Nimetön 1	4,38	4,70		Nimetön 5	4,60	5,13	5,30
Nimetön 2	4,43	4,05		Nimetön 9	4,33	5,83	6,70
Nimetön 3	5,01	5,24	5,30	Tavilampi 6	4,30	5,41	5,49
Nimetön 4	4,80	4,93		Keskiarvo	4,41	5,46	5,83
Nimetön 6	4,92	4,45					
Tavilampi 5	4,01	3,97	4,15				
Tavilampi 7	4,44	4,26					
Tavilampi 8	4,20	4,26	4,40				
Keskiarvo	4,52	4,48	4,62				
Turvemaa							
Nimetön 7	4,60	4,42	4,44	Nimetön 10	5,40	6,60	6,85
Nimetön 8	4,94	4,25		Tavilampi 1	5,11	5,50	6,99
Keskiarvo	4,77	4,34	4,44	Tavilampi 2	5,25	5,78	6,80
				Tavilampi 3	3,67	4,39	4,98
				Tavilampi 4	3,98	4,38	5,70
				Keskiarvo	4,50	5,01	6,12

Humuskerroksen pH (H₂O) mineraalimaan näytealoilla vaihteli 4,0 – 5,0 (mediaani 4,43) ennen tuhkallevitystä kesällä 1997 (taulukko 10). Taso oli korkeampi kuin esim. Evon yhdenntyn seurannan alueella 1990-luvun alussa (3,84 – 4,09, Integrated monitoring 1995), tai Etelä-Suomessa keskimäärin (mediaani 4.17, Tamminen & Starr 1990). Ero johtunee Nimettömän alueella 1970 ja 1980-luvulla suoritettusta lannoituksesta ja kulotuksesta, jonka vaikutusalueella humuksen pH vaihteli 4,60 – 5,01 kesällä 1997 (taulukko 10). Ennen kulotusta ylimmän mineraalimaan pH(KCl) oli 3,8 – 4,0 (Vuorinen 1984), eli korkeampi kuin Valkea-Kotisella 1990-luvun alussa: 3,3 – 3,5 (Integrated monitoring 1995).

Pintaturpeen pH (H₂O) vaihteli 3,67 – 5,40 ennen tuhkallevitystä kesällä 1997 (taulukko 10). Ainoastaan Tavilammen muurain- ja mustikkakorvet vastaavat esim. Valkea-Kotisen turvemaiden tai yleisimmin kohtalaisen karujen suotyypin vertailulukuja (Westman 1981, Integrated monitoring 1995). Tavilammen ruohokorvet ja Nimettömän aikaisemmin keinolannoitettu muuttuma (TKg10) edustavat selkeästi korkeampaa ravinteisuustasoa (pH 5,11 – 5,40).

4.3.2 Maaperän pääravinteet 1997 - 1999

Koska biotuhka sisältää alkuaineita konsentroidussa muodossa, useiden aineiden *totaalipitoisuudet* maassa ja turpeessa nousevat tuhkallevityksen jälkeen (esim. Moilanen & Issakainen 1999). Kun seurataan ympäristövaikutuksia *lyhyellä aikavälillä* totaalimääriin sisältyvät *liikkuvat fraktiot* ovat erityisen tärkeitä. Valuma-alueiden puroissa ja järvissä on jo todettu kalium-, kloridi-, sulfaatti-, osittain rauta- ja kalsiumpitoisuuksien nousua (Tulonen ym. 1999).

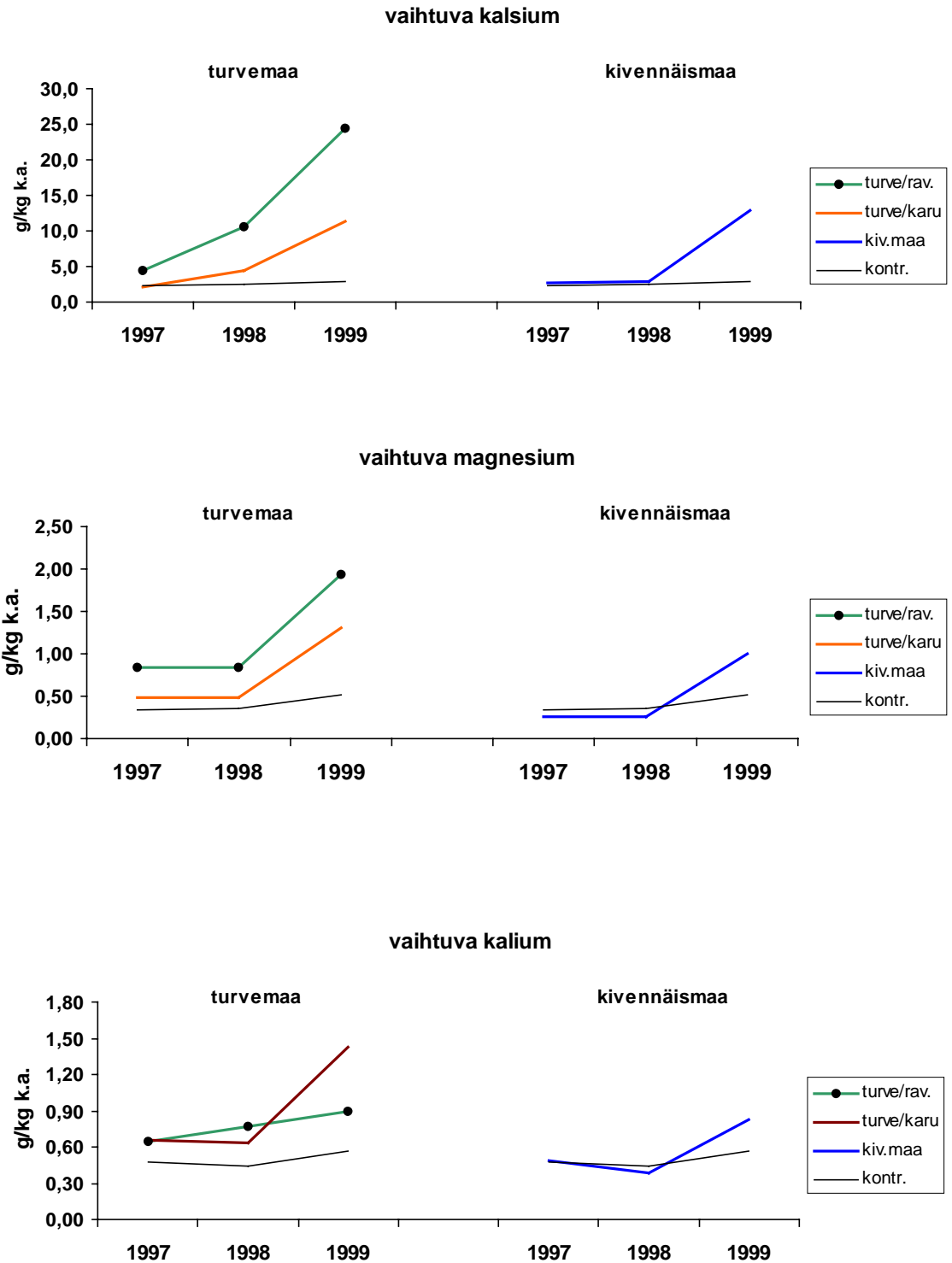
Siksi seuraavassa keskitytään ravinteiden ja raskasmetallien *vaihtuviin pitoisuuksiin* maassa. Tyypestä ja fosforista on analysoitu vesiliukoista fraktiota, muista pääravinteista ammoniumasetaattiutolla vaihtuva fraktiota. Vaihtuvaan fraktioon sisältyy sekä vesiliukoisia että ionivaihdon kautta maahiukkasista vapautuvia ravinteita, joiden katsotaan kuvaavan kasvien saatavissa olevia ravinteita. Tässä yhteydessä *vaihtuvien pitoisuuksien* suurin merkitys on, että ne kuvaavat tuhkasta ja maasta vuodessa tai kahdessa vapautuvien alkuaineiden määriä ekologisesti realistisella pH-tasolla (vrt. Nihlgård 1997).

Vertailtavuuden vuoksi pitoisuudet kuvissa 13 - 17 on laskettu kuivaainetta kohti. Tämä korostaa muutoksia turvemaan pitoisuuksissa verrattuna kivennäismaan vastaaviin muutoksiin. Märkäpaino- tai tilavuuspohjaisesti laskettuna kivennäismaan pitoisuudet olisivat 3 - 5 kertaa suurempia suhteessa turvemaan pitoisuuksiin.

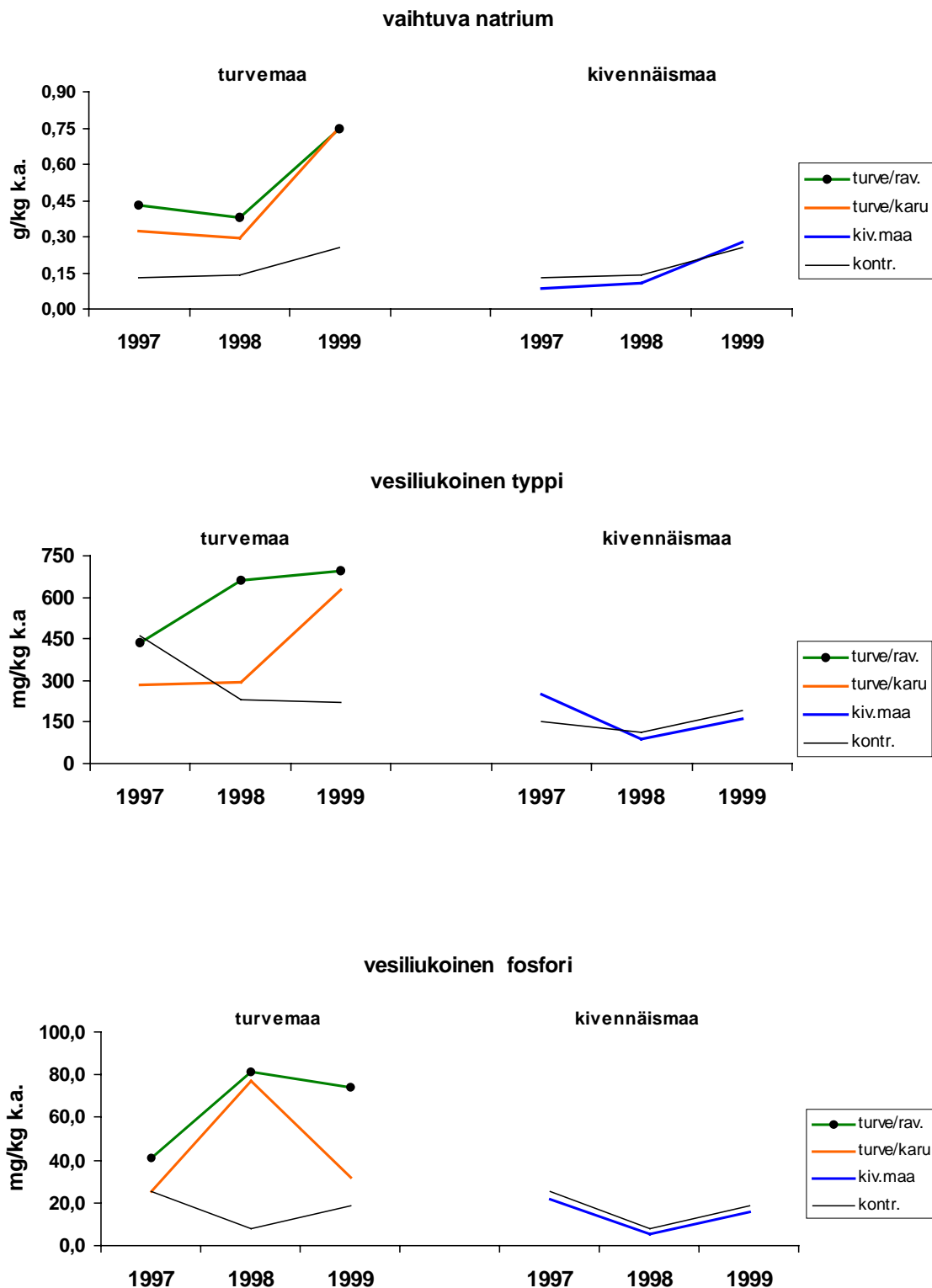
Kuvista 13 - 14 ilmenee, että useimpien tutkittujen ravinteiden pitoisuudet nousivat selvästi lannoitetuilla näytealoilla, varsinkin kesällä 1999. Vaihtuvan kalsiumin pitoisuudet olivat noin 5 kertaa, vaihtuvan magnesiumin ja natriumin 2 - 4, vaihtuvan kaliumin 1,5 - 2 kertaa suurempia 17 kuukautta tuhkalevityksen jälkeen. Ainoastaan vesiliukoisen typen ja fosforin pitoisuuksissa *kivennäismailla* oli havaittavissa laskua (noin 30 %). Lannoitetuilla turvemailla vesiliukoisen typen ja fosforin pitoisuudet nousivat noin 1,5 - 2-kertaisesti.

Kontrollinäytealoilla muutokset 1997 - 1999 olivat selvästi pienempiä. Runssateinen kesä 1998 näyttäisi aiheuttaneen helppoliukoisimman typen ja fosforin mobilisaatiota sekä pinta- että syväkerroksista (kuva 14). Syvemmällä maassa ja turpeessa ainakin vaihtuvaa kalsiumia oli selvästi vähemmän kuin kesällä 1997 (kuva 16). Kesäkuussa 1999 sääololtaan lähempänä normaalia olevan alkukesän jälkeen, kontrollinäytealojen vesiliukoiset typpi- ja fosforipitoisuudet olivat palautuneet samalle tasolle ja vaihtuvien kationien pitoisuudet asettuneet korkeammalle tasolle kuin kesällä 1997 (kuvat 13 - 15).

Aikaisemmissa kivennäismaan tutkimuksissa ravinnepitoisuuksien muutokset ovat vaihdelleet mm. kasvupaikan, tutkimusajankohdan, tuhkan laadun ja määrän mukaan (Egnell ym. 1998). Yleisin havainto on kalsiumpitoisuuden selvä kohoaminen (2 - 10-kertaisesti). Joissakin tapauksissa kalium- ja/tai magnesiumipitoisuuksissa ei ole todettu muutosta, toisissa tutkimuksissa muutos on suuruusluokkaa +50 - 200 %, kuten tässä tutkimuksessa molempien ravinteiden osalta. Turvemailla on todettu vaihtuvan kalsiumin ja kaliumin (muttei fosforin) kohonneita pitoisuuksia (Egnell ym. 1998). Vaikuttaa yleisesti ottaen siltä, että Evolla levitetty Äänekosken itsekovettunut tuhka vastaa lähemmin käsittelemätöntä tuhkaa kuin hitaasti liukenevia tuhkia.



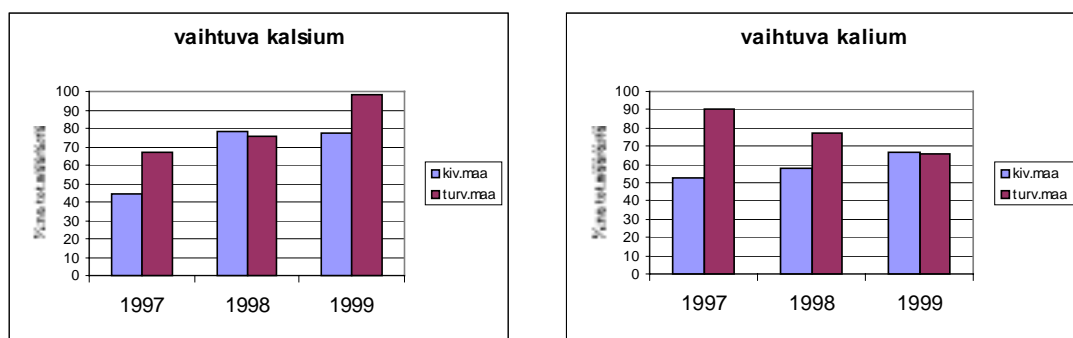
Kuva 13. Pintaturpeen ja humuksen (0 - 7 cm) vaihtuvat kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet näytealoilla 1997 - 1999 (n = 12). Esitystapa korostaa turvemajaan näytealoilla tapahtuneita muutoksia (s. 36).



Kuva 14. Pintaturpeen ja humuskerroksen (0 - 7 cm) vaihtuva natrium sekä vesiliukoinen typpi ja fosfori näytealoilla 1997 - 1999 (n = 12). Esitystapa korostaa turvemaan näytealoilla tapahtuneita muutoksia (s. 36).

Pistekoemaisesti otettu maa/turvenäyte kuvaa huonosti liikkuvien fraktioiden dynamiikkaa: näennäisesti vakaa pitoisuus ei sulje pois huomattavaa huuhtoutumista, sillä maaveteen liukenee tai vaihtuu korvaavia määriä samaa ravinnetta kunnes tasapainotila on saavutettu. Esimerkiksi kaliumin huuhtoutuminen turveprofiilista tiedetään alkavan melko nopeasti lannoituksen ja kastelun jälkeen (Silfverberg 1998). Nimettömän lannoitetulta turvekankaalta laskevassa purossa kaliumpitoisuudet nousivat noin kolminkertaisiksi jo kasvukaudella 1998 (Tulonen ym. 1999), osittain varmasti pintavalunnan takia. Kesäkuun lopulla läheisellä näytealalla (TKg 10) pintaturpeen kaliumpitoisuus oli noussut, mutta syvemmillä pitoisuus oli laskenut huomattavasti edelliseen kesäkuuhun verrattuna.

Lannoitetuilla näytealoilla suurimmat muutokset näkyvät viipeellä, mikä viittaisi tuhkan hidastuuteen. Totaalipitoisuuksissa on kuitenkin sama trendi; kalsium- ja kaliumpitoisuudet nousevat selvimmin vasta kesällä 1999. Vaihtuvan kalsiumin prosentiosuus totaalimäärästä nousee tasaisesti tuhka-levityksen jälkeen. Turvemaalla kaliumin vaihtuvan fraktion suhteellinen lasku viittaa huuhtoutumiseen (kuva 15).



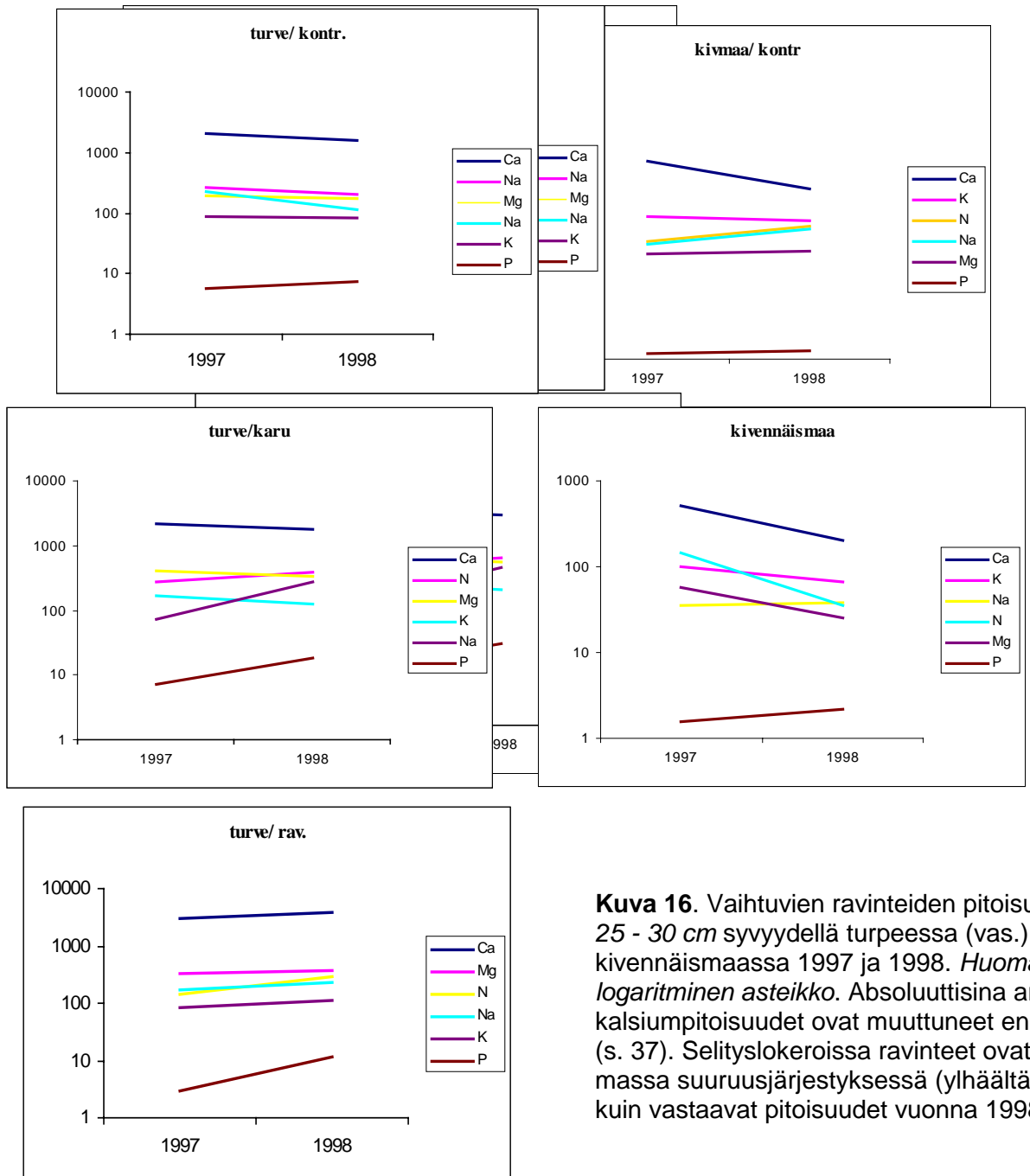
Kuva 15. Ammoniumasetaatilla (pH 4,65) uutetun vaihtuvan fraktion osuus kalsiumin ja kaliumin totaalipitoisuuksista (= 100 %) lannoitetuilla näytealoilla 1997 - 1999.

Pintakerroksen totaalipitoisuuksissa tuhkan aiheuttama nettolisäys pitäisi periaatteessa näkyä heti levityksen jälkeisenä kesänä. Havaittu viive johtuu:

- Todennäköisesti siitä, että pintakariketta ja sammalta poistettiin ennen pintamaan näytteenottoa ja huomattava osa talvella levitetystä tuhkasta ei sisälly näytteeseen kesällä 1998. Kesällä 1999 tuhka oli jo suuremmassa määrin karissut ja liuennut varsinaiseen pintahumukseen.
- Tuhka on saattanut levitä myös vertikaalisuunnassa tasaisemmaksi kerrokseksi aikavälillä 1998-1999. Varsinkin suonäytealoilla esiintyi laajoja tuhkan leviämistä edesauttavia vesilätäköitä myöhemmin kesällä 1998.
- Typpihappokäsittely ei uuttanut tehokkaasti totaalimääriä *tuoreesta tuhkasta*. Tuhka-analyysien perusteella kyseisen uutun tehokkuus verrattuna

litiumtetraboraattikäsittelyyn on kuitenkin suuruusluokkaa 90 % kalsiumista ja 80 % kaliumista (Nihlgård 1997). Väkevän typpihappouuden on todettu antavan yhtä hyvän tai paremman kalsiumin saannin kuin vaihtoehtoiset väkeväuutot (fluorivety + typpi, kuningasvesi, suolahappo) sekä röntgenfluoresenssimenetelmä; kaliumin osalta röntgenfluoresenssi ja fluorivety + typpihappouutto antoivat n. 30 % suuremman saannin (tulokset perustuvat GTK:ssa tehtyyn kuusen kuorituhkan analyysiin).

- On huomioitava että maa- ja turvenäytteet on otettu *kesäkuun 20 - 25 päivän tienoilla*. Myöhemmin kesällä 1998 tilanne on saattanut muuttua enemmän kesäkuuta 1999 vastaavaksi, mihin elokuussa 1998 kerättyjen kasvinäytteiden analyysitulokset osaltaan viittaavat (s. 46).



Kuva 16. Vaihtuvien ravinteiden pitoisuudet 25 - 30 cm syvyydellä turpeessa (vas.) ja kivennäismaassa 1997 ja 1998. *Huomaa: logaritminen asteikko.* Absoluuttisina arvoina kalsiumpitoisuudet ovat muuttuneet eniten (s. 37). Selityslokeroissa ravinteet ovat samassa suuruusjärjestyksessä (ylhäältä alaspäin) kuin vastaavat pitoisuudet vuonna 1998.

4.3.2 Maaperän raskasmetallit 1997-1999

Raskasmetalleihin kuuluu sekä kasveille välttämättömiä hivenravinteita (esim. rauta, sinkki ja kupari) että ympäristömyrkyiksi luokiteltavia alkuaineita (kadmium ja lyijy). Rajanveto on suhteellinen, sillä monet hivenaineet ovat toksisia tai haitallisia korkeina pitoisuuksina. Tämä koskee erityisesti kromia, nikkeliä ja vanadiinia, joita kasvit tarvitsevat ilmeisesti hyvin pieniä määriä, jos lainkaan.

Kuvista 17 - 18 ilmenee, että tutkittujen raskasmetallien *vaihtuvan fraktion* (vrt. s. 36) pitoisuudet, lyijyä ja rautaa lukuun ottamatta, olivat selvästi korkeammalla tasolla lannoitetuilla näytealoilla kesäkuussa 1999 verrattuna sekä kontrollivuoteen 1997, että kontrollinäytealoihin vuonna 1999.

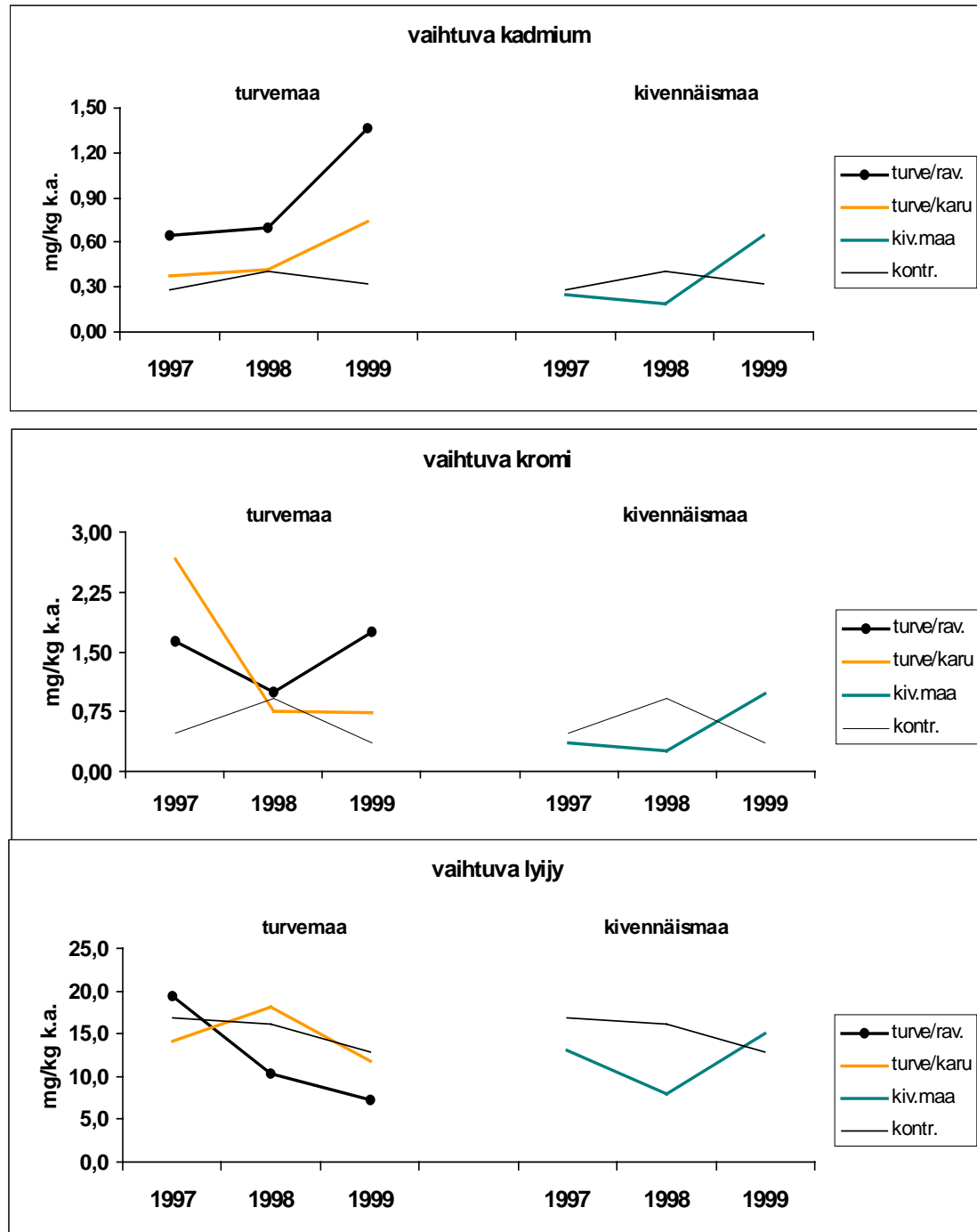
Kadmiumin ja sinkin vaihtuvat pitoisuudet sekä kuparin ja kadmiumin totaalipitoisuudet kohosivat n. 100 - 200 % ja 65 - 100 %. Muutokset ovat tilastollisesti merkitseviä (taulukko 11). Tuhkalannoituskokeissa on usein havaittu kadmium- ja sinkkipitoisuuksien nousua, mutta vertailukelpoisilla tuhka-annoksilla suhteellinen muutos on yleensä ollut n. 25 - 50 %, (vrt. Egnell ym. 1998). Ero johtuu osittain siitä, että tässä tutkimuksessa on monta turvemaan näytealaa. Tuhkalannoitetun pintaturpeen sinkkipitoisuus saattaa olla 2 - 3 kertaa suurempi (kuivapainona) kuin vastaavalla tuhka-annoksella humuksessa (Silfverberg & Issakainen 1991). Turvemaan tuhkakokeilta on yleisesti ottaen julkaistu aika vähän raskasmetallituloksia.

Vaihtuvan raudan ja lyijyn pitoisuudet 1999 olivat suunnilleen samalla tasolla kuin lähtötilanteessa paitsi lannoitetun turvemaan näytealoilla, joilla lyijy- ja kromipitoisuus oli alentunut tuhkallevityksen jälkeen (kuva 17). Tämä viittaa siihen, että lyijyä ja kromia on sitoutunut turpeeseen pH:n noustessa, sillä kyseisten metallien totaalimäärissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia. Aikaisemmissa kivennäismaan tuhkakokeissa vaihtuvan lyijyn pitoisuudet eivät yleensä ole kohonneet, kromin osalta tilanne on vaihtelevampi ja alumiinipitoisuus on yleensä laskenut, päinvastoin kuin tässä aineistossa (kuva 18, vrt. Lundborg & Nohrstedt 1995).

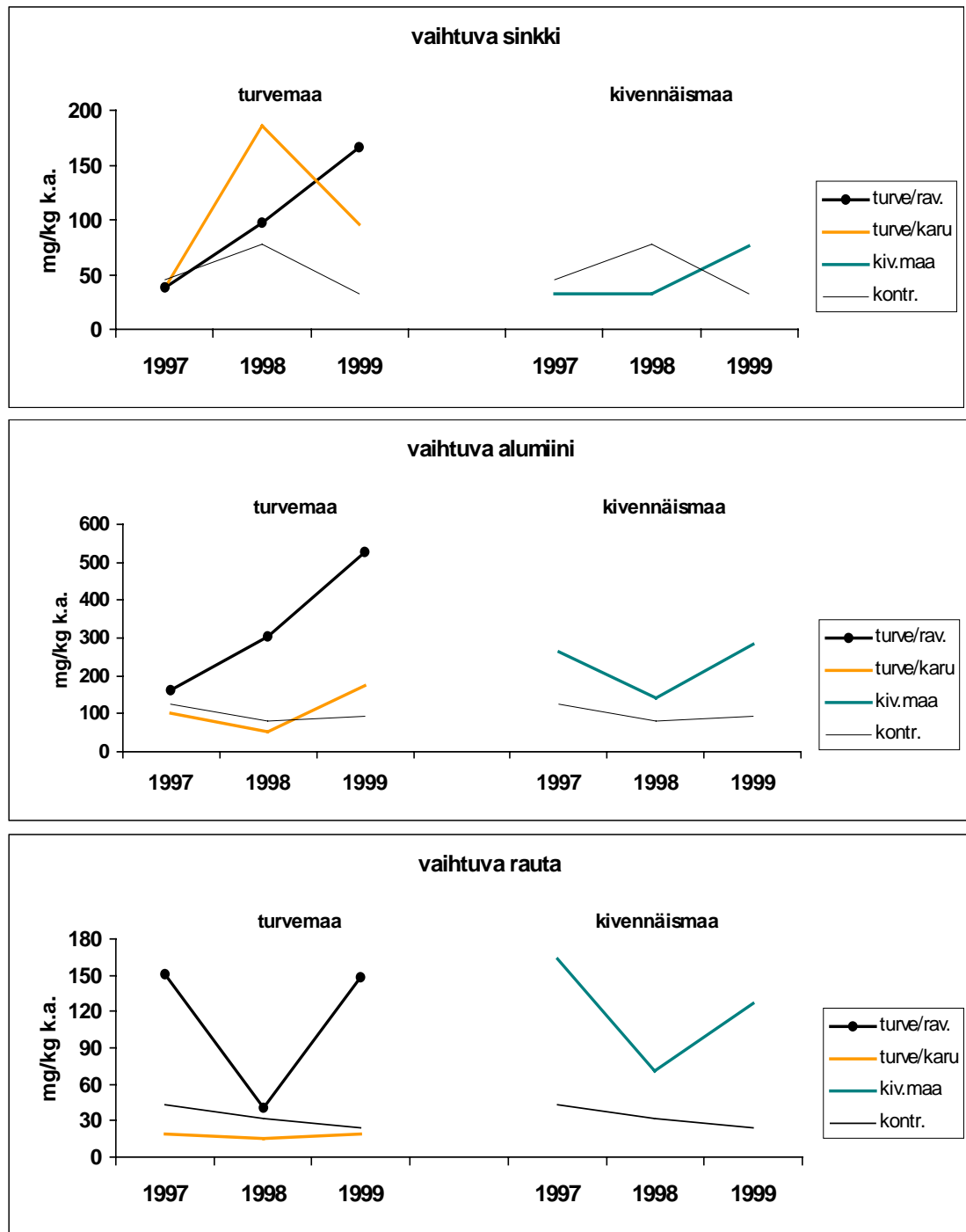
TAULUKKO 11. Lannoitettujen näytealojen raskasmetallipitoisuudet 1999 (keskiarvot, n = 8) sekä muutoksen 1997-1999 tilastollinen merkitsevyys (ANOVA), *** = p < 0.001, ** = p < 0.01, * = p < 0.5, ° = p noin 0.1

	Vaihtuva	Totaali
Alumiini	347 mg/kg °	1,13 mg/kg***
Kadmium	0,94 mg/kg***	9,3 mg/kg
Kromi	1,21 mg/kg	28,7 mg/kg
Lyijy	11,2 mg/kg	
Rauta	108 mg/kg*	
Sinkki	114 mg/kg**	
Kupari (vain tot.)		1.4 10,9
Nikkeli (vain tot.)		mg/kg***

Poikkeukselliset sääolot 1998 - 1999 saattoivat merkittävästi lisätä sekä ravinteiden että raskasmetallien liikkuvuutta tutkimusjakson aikana. Kontrollinäytealoilla ei todettu suuria muutoksia raskasmetallipitoisuuksissa samalla ajanjaksolla (kuvat 17 - 18).



Kuva 17. Pintaturpeen ja humuskerroksen (0 - 7 cm) vaihtuva raskasmetallit (Cd, Cr, Pb) näytealoilla 1997 - 1999 (n = 12). Esitystapa korostaa turvemaan näytealoilla tapahtuneita muutoksia (s. 36)



Kuva 18. Pintaturpeen ja humuskerroksen (0 - 7 cm) vaihtuva raskasmetallit (Fe, Zn, Al) näytealoilla 1997 - 1999 (n = 12). Esitystapa korostaa turvemajaan näytealoilla tapahtuneita muutoksia (s. 36)

On huomattava, että liikkuva kadmium- tai sinkkifraktio saattaa olla peräisin sekä maasta/turpeesta että tuhkasta. Tuhkan aiheuttama välitön pH:n nousu ja kilpailu kationivaihtopaikoista saattavat johtaa maan/turpeen alkuperäisten metallien syrjäytymiseen ja vapautumiseen, vaikkei itse tuhkasta olisi vielä vapautunut huomattavia metallimääriä.

Monien raskasmetallien liukoisuus maassa lisääntyy pH:n alentuessa (Stevenson & Cole 1999). Tästä syystä maaperän happamoitumisen potentiaalisen seurauksena on raskasmetallien liukeneminen maaveteen ja huuhtoutuminen ekosysteemistä (Kauppi ym.1990). Maan tai turpeen happamuutta vähentävät tapahtumat (kuten tuhkalannoitus) ovat periaatteessa omiaan torjumaan raskasmetallien liukenemistä.

Käsitys, että kaikki tuhkan raskasmetallit sitoutuvat pitkäksi aikaa maahan nousevan pH:n myötä on ilmeisen väärä. Varsinkin tuhkan aiheuttama huomattava kadmiumin nettolisäys kumoaa helposti em. pH-vaikutusta. Seurantatutkimuksissa on useimmiten todettu kadmiumpitoisuuksien kohoaamista, ainakin lyhytaikaisesti, 1 - 5 vuotta tuhkalisäyksen jälkeen. Evolla, vajaat kaksi vuotta lannoituksen jälkeen todetut kadmiumpitoisuudet ovat suurempia kuin esim. Helsingin taajamametsissä (Pihlström ym. 1994, Salla 1999) – ne ylittävät likaantuneen maan ohjearvon (0,5 mg/kg), muttei saastuneen maan raja-arvoa (10 mg/kg), joka edellyttää maapohjan kunnostusta (Puolanne ym.1994, Salla 1999).

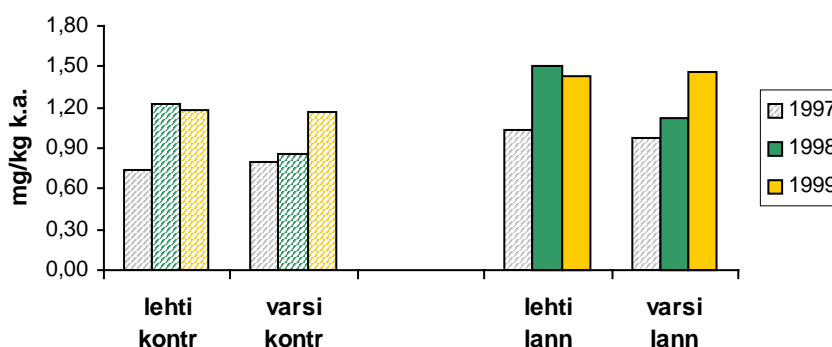
Mitä lisätylle kadmiumille tapahtuu pitkällä aikavälillä on epäselvempää. Tuhkalannoitus muuttaa myös alkuaineiden välisiä vuorovaikutuksia kasvu- alustassa. Esimerkiksi tuhkan sisältämä runsas *kalsium* saattaa teoreettisesti arvioiden aiheuttaa kadmiumin ns. spesifistä sitoutumista rauta- ja mangaanioksideihin tai toisaalta kadmiumin saostumista vaikealiukoisina karbonaattina, sulfaattina tai fosfaattina (Stevenson & Cole 1999). Koska tuhkan vaikutus on suurinta maan ja turpeen pintakerroksissa, niin orgaaniseen ainekseen sitoutuneen fraktion käyttäytyminen tulee olemaan keskeinen tekijä pitkällä aikavälillä. Kyseisessä fraktiossa esiintyy sekä heikkoja että vahvoja sidoksia, sekä helppo- että vaikealiukoisia komplekseja (vrt. Bringmark 1989).

4.3.4 Kasvinäytteiden raskasmetallit

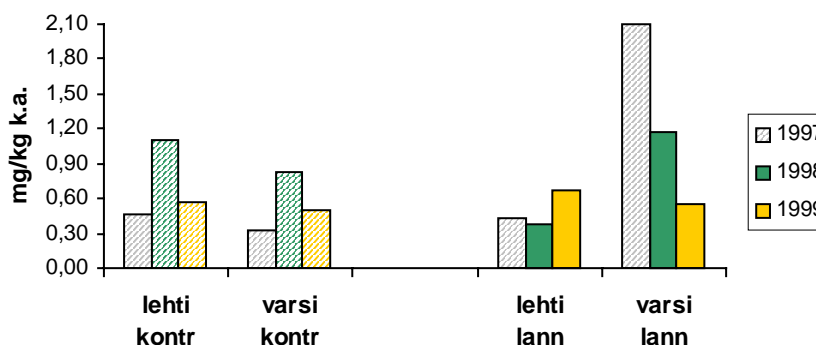
Tutkittavien kasvilajien valinnassa on huomioitu seuraavia kriteereitä: (1) kohdelajit ovat aluskasvillisuuden ja pensaskerroksen valtalajeja valuma-alueilla, (2) ne keräävät raskasmetalleja suhteellisen tehokkaasti (esim. Nuorteva ym.1986). Tämä siksi, että tavoitteena on seurata raskasmetallien määrällistä kulkeutumista kasvillisuuteen. On mahdollista, että moni vähemmän raskasmetalleja keräävä laji on itse asiassa herkempi raskasmetallien fysiologisille haittavaikutuksille.

Taustapitoisuuksissa on huomattavia lajienvälisiä eroja kadmium- ja kromipitoisuuksissa (taulukko 12 ja kuva 19). Haapa kerää luontaisesti eniten kadmiumia. Haavan lehtien ja oksien (kuorineen) kadmiumpitoisuudet nousivat selvästi jaksolla 1997 - 1999. Tulkintaa haittaa se seikka, että kontrollialalla oli alempi taso jo ennen lannoitusta vuonna 1997. Ero saattoi johtua pienestä otoksesta, joten näytealojen määrä lisättiin vuonna 1998. Kesällä 1998 kadmiumpitoisuudet nousivat selvästi sekä kontrolli- että tuhkanäytealoilla. Tämä johtunee runsaiden sateiden vaikutuksesta kasvien aineenvaihduntaan. Kesällä 1999 kadmiumpitoisuudet lannoitetuilla aloilla olivat merkitsevästi ($p < 0.05$) suuremmat verrattuna kontrollialoihin 1999, mutta vertailukelpoisuusongelman takia tuhkan vaikutusta ei voida yksiselitteisesti osoittaa. Näyttäisi siltä, että lehtien kadmiumpitoisuudet nousevat ensin, oksien hieman viipeellä (kuva 19).

Haavan kadmiumpitoisuudet



Haavan kromipitoisuudet 1997-1999



Kuva 19. Haavan (*Populus tremula*) kadmium- ja kromipitoisuudet 1997 - 1999. Ero vuoden 1999 kadmiumpitoisuuksissa kontrollinäytealojen ja lannoitettujen näytealojen välillä on merkitsevä (Kruskall-Wallis, $p < 0.05$). Vuosien välillä (1997 - 99) on suuntaa osoittavia eroja (Friedman, $p =$ noin 0.1), myös kontrollialoilla.

Haavan kromipitoisuuksissa ei ole selvää trendiä; yksittäiset korkeat pitoisuudet, varsinkin kontrollivuonna 1997, vaikeuttavat tulosten tulkintaa. Myös muissa kasvilajeissa esiintyy kromipiikkejä, jotka eivät selity tuhkallevityksellä (taulukko 12). Kromi on yleinen maaperän alkuaine ja saattaa näin ollen levitä pölynä tarttuen kasvien ulkopintoihin.

Pihlajan kromipitoisuudet ovat samalla tai korkeammalla tasolla kuin haavalla, mutta kadmiumpitoisuudet 5 - 10 kertaa matalampia (taulukko 12). Lannoitetulla kuusikkonäytealalla (Tavi MT6) pihlajan kadmiumpitoisuus ei ole noussut, mustikan varsissa on sen sijaan viitteitä noususta vuonna 1999 (taulukko 12). Harvapuustoista taimikkovaihetta edustavalla näytealalla (Nim. MT5) myös maitohorsman kadmiumpitoisuudessa on todettavissa erittäin selvä nousu v. 1999 alun perin matalasta tasosta.

TAULUKKO 12

Eräiden kasvilajien kadmium- ja kromipitoisuudet 1997 - 1999.

L = lannoitettu. Selvästi kontrollia tai lähtötilannetta (= 1997)

korkeammat pitoisuudet on lihavoitu.

Haapa			1997	1998	1999	1997	1998	1999	
n.ala			Cd	Cd	Cd	Cr	Cr	Cr	
Nim	3	lehti		1,16	1,15		0,51	0,18	
Nim	3	varsi		0,86	0,99		0,80	0,6	
Nim	9	lehti	0,74	1,28	1,22	0,47	2,69	0,95	
Nim	9	varsi	0,80	0,85	1,35	0,34	0,86	0,39	
L	Nim	5	lehti	1,04	1,20	1,44	0,44	0,35	0,37
L	Nim	5	varsi	0,98	1,07	1,43	3,10	1,92	0,52
L	Nim	9b	lehti		1,80	1,42	0,41	0,961	
L	Nim	9b	varsi		1,17	1,49	0,42	0,58	
Pihlaja			1997	1998	1999	1997	1998	1999	
n.ala			Cd	Cd	Cd	Cr	Cr	Cr	
Tavi	0	lehti	0,12	0,20	0,06	0,64	0,57	0,40	
Tavi	0	varsi	0,25	0,25	0,10	0,65	3,35	0,22	
Tavi	5	lehti	0,06	0,12	0,05	0,54	0,41	0,36	
Tavi	5	varsi	0,12	0,18	0,21	0,55	0,22	0,41	
L	Tavi	6	lehti	0,10	0,07	0,08	0,42	0,38	0,41
L	Tavi		varsi		0,12	0,19	0,35	0,22	
Mus- tikka			1997	1998	1999	1997	1998	1999	
n.ala			Cd	Cd	Cd	Cr	Cr	Cr	
Tavi	0	lehti	0,05	0,04	0,05	0,36	0,29	0,22	
Tavi	0	varsi	0,07	0,11	0,11	2,90	0,41	0,56	
Tavi	5	lehti	0,05	0,04	0,05	0,93	0,41	0,42	
Tavi	5	varsi	0,15	0,11	0,07	4,56	0,64	0,54	
Tavi	6	lehti	0,03	0,07		0,27	0,52		
Tavi	6	varsi	0,08	0,15		0,62	1,39		
L	Tavi	6b	lehti		0,11	0,08	0,96	0,37	
L	Tavi	6b	varsi		0,13	0,19	1,17	0,71	
Maitohorsma			1997	1998	1999	1997	1998	1999	
n.ala			Cd	Cd	Cd	Cr	Cr	Cr	
Nim	3	lehti	0,02	0,06	0,11	0,65	0,43	0,69	
Nim	3	varsi	0,02	0,05	0,04	0,57	0,55	0,23	
Nim	9	lehti	0,02	0,09	0,04	1,29	0,72	0,80	
Nim	9	varsi	0,03	0,05	0,03	1,82	0,33	0,74	
L	Nim	5	lehti	0,03	0,03	0,27	0,29	0,54	0,38
L	Nim	5	varsi	0,02	0,06	0,20	0,25	0,32	1,30

5 KIRJALLISUUS

- Ahti, T., Hämet-Ahti, L. & Jalas, J.** 1968: Vegetation zones and their sections in Northwestern Europe. - *Annales Botanici Fennici* 5:119-221.
- Bringmark, L.** 1989: Methods of soil chemistry in integrated monitoring. – In: Methods for integrated monitoring in the Nordic countries. Miljörapport 1989:11. Nordic Council of Ministers 1989.
- Danielsson, B.O.** 1998: Askåterföring i Sverige. – Tuhkahankkeen väliseminaari 1998. (Anttila & Korpilahti toim). Metsätehon raportti 52. 51 s.
- Derome, J., Kukkola, M., & Mälkönen, E.** 1986: Forest liming on mineral soil. – National Swedish environment protection board. Report 3084.
- Dolling, A.** 1996: Changes in *Pteridium aquilinum* growth and phytotoxicity following treatments with lime, sulphuric acid, wood ash, glyphosate and ammonium nitrate. – *Weed Research* (1996) 36:293-301.
- Egnell, G., Nohrstedt, H-Ö, Weslien, J., Westling, O, Örlander, G.** 1998: Miljökonsekvens- beskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. – Skogsstyrelsen. Rapport 1 1998.
- Forssius, M., Johannsson, M., Posch, M., Holmberg, M., Kämäri, J., Lepistö, J., Roos, J., Syri, S. & Starr, M.** 1997: Modelling the effects of climate change, acidic deposition and forest harvesting on the biogeochemistry of a boreal forested in Finland. – *Boreal environment research* 2: 129-143.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. & Vuokko, S.** (toim.) 1986: Retkeilykasvio. – 598 s. 3. painos. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. Helsinki.
- Integrated monitoring programme in Finland. First national report. – Ministry of Environment. report 1 1995. 138 p
- Isoviita, P.** 1995: Rahkasammalkurssi. Moniste, 44 s.
- Kaunisto, S.** 1996: Tuhka metsälannoitteena turvemaidilla. – Teoksessa: Puun ravinteet tuhkan takaisin metsään. Finer, L. ym. (toim.). – Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 599:14– 20.

- Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K.** (eds.) 1990: Acidification in Finland. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990. 1237 pp.
- Koponen, T.** 1994: Lehtisammalten määritysopas. Kolmas korjattu painos. – Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 139: 1–119. Yliopistopaino.
- Kuusinen, M., Ahti, T. & Lommi, S.** 1995: Pieni jäkäläopas. – Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 140: 1 – 53. Yliopistopaino.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P.** (toim.) 1996: Ilmastonmuutos ja Suomi. – Yliopistopaino. Helsinki 1996. 265 s.
- Laine, J. & Vasander, H.** 1990: Suotyypit. Kirjayhtymä Oy. Helsinki. 80 s.
- Lappalainen, I.** (toim.) 1998: Suomen luonnon monimuotoisuus. – Suomen ympäristökeskus. Oy Edita Ab 1998. 304 s.
- Lukkala, O.** 1955: Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. – *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(6): 1 – 53.
- Lundborg, A. & Nohrstedt, H.** 1995: Effekter av askspridning i skogen. NUTEK-rapport 1996:13 ISSN 1102-2574. 38 s.
- Malmström, C.** 1952: Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. – *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(17): 1 – 27.
- Moilanen, M. Ferm, A. & Issakainen, J.** 1987: Kasvihuonekokeita erilaisten jätteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. – Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 281. 36 s.
- Moilanen, M. & Issakainen, J.** 1999: Tuhkan metsävaikutukset. Loppuraportti. – Muhos 1999. 20s. + liitteet.
- Mäkinen, A., & Pakarinen, P.** 1977: Raskasmetallilaskeumien seuranta sammalten ja jäkälien avulla. – *Ympäristö ja Terveys* 8(2): 170-180.
- Mälkönen, E., Kellomäki, S. & Holm, J.** 1980: Typpi-, fosfori-, ja kalilannoituksen vaikutus kuusikon pintakasvillisuuteen. – *Comm. Instituti Forestalis Fenniae* 98(3): 1 – 35.
- Mälkönen, E.** 1998: Tuhkan merkitys kivennäismailla. – Tuhkahankkeen väliseminaari 1998. (Anttila & Korpilahti toim). Metsätehon raportti 52. 51 s.

- Nihlgård, B.** 1997: Vedaskors näringsvärden- en test av analysmetoder. – (Ramprogrammet askåterföring till skogsmark). Lunds Universitet. 27 s.
- Nohrstedt, H-Ö.** 1994: Effect on field- and bottom-layer species in an experiment with repeated PK- and NPK-fertilization. – The Forestry Research Institute of Sweden. Rep. No: 1, 1994.
- Nuorteva, P., Autio, S., Lehtonen, J., Lepistö, A., Ojala, S., Seppänen, A., Tulisalo, E., Veide, P., Viipuri, J. & Willamo, R.** 1986: Levels of iron, aluminium, zinc, cadmium and mercury in plants growing in the surroundings of an acidified and a non-acidified lake in Espoo, Finland. – *Annales Botanici Fennici*. Vol 23(4): 325-340.
- Paalamo, P.** 1995: Pintakasvillisuuden lajimäärät. Teoksessa: Raivio, S. (toim.), *Talousmetsien luonnonsuojelu - yhteistutkimushankeen toinen väliraportti*. – Metsähallituksen luonnon-suojelujulkaisuja. Sarja A No 87: 26 – 30.
- Paavilainen, E.** 1987: Effect of fertilization on the litterfall of *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens* on drained peatland. – *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 59 – 75.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J.** 1995: Peatland forestry. Ecology and principles. – *Ecological studies* 111. Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. 248 s.
- Pihlström, M., Mäkinen, A., Hämekoski, K., Ruuhijärvi, R.** 1994: Pääkaupunkiseudun bioindikaattoriseuranta 1988-1993. – Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1994:9. 135s. Helsinki 1994.
- Piippo, S.** 1993: Maksasammalten määrittäminen. Kolmas uusittu painos. – Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita. 137: 1 – 71. Yliopistopaino.
- Puolanne, J., Pyy, O & Jeltsch U.** 1994: Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. – Ympäristöministeriö, muistio 5. Helsinki 1994.
- Raatikainen, M.** 1989: Metsälannoituksen vaikutus keräilytuotteisiin. – Keskusmetsälautakunta Tapio. 1 – 8
- Reinikainen, A.** 1980: Tuhkalannoituksen ekologiaa. – Muhoksen tutkimuskeskuksen tiedonantoja. 20: 24 – 27.
- Ruuhijärvi, R., Lindholm, T. & Vasander, H.** 1985: Mustikkatyypin metsän ravinnetalouden ja kasvillisuuden rakenteen kehitys kulotuksen jälkeen. Loppuraportti. – Helsingin yliopisto. Kasvitieteen laitos 75 s.

- Ryman, S. & Holmåsén, I.** 1987: Suomen ja Pohjolan sienet. – 718 s. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo - Helsinki - Juva.
- Salla, A.** 1999: Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet Helsingissä. – Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 15/99 25 s. + liitteet.
- Sarasto, J.** 1963: Ruskosammalia lyhytkortisilla nevoilla. – Suo 14(3): 44 – 45.
- Silfverberg, K. & Huikari, O.** 1985: Woodash fertilization on drained peatlands. - Folia Forestalia 633. 25 s.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J.** 1987: Tuhkan määrän ja laadun vaikutus neulasten ravinne-pitoisuuksiin ja painoon rämemänniköissä. – Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 271: 1 – 25.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J.** 1991: Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin. – Folia Forestalia 769. 23 s.
- Silfverberg, K.** 1996: Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. – Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588.
- Silfverberg, K.** 1998: The leaching of nutrients from ash- and PK-fertilised peat. – Suo 49(4): 115-123.
- Skogen 1999: Tre fel om kalkning. - Nr. 4/1999. Stockholm
- Stevenson, F.J., & Cole, M.A.** 1999: Cycles of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. – John Wiley & Sons inc. New York. 427 s.
- Suomen kartasto 1987: Ilmasto. Vihko 131. Helsinki 1987.
- Tamm, C. O.** 1965: Some experiences from forest fertilization trials in Sweden. – Silva Fennica 117(3): 1– 24.
- Tamminen, P. & Starr, M.** 1990: A survey of soil properties related to soil acidification in southern Finland. In: – Kauppi & al (eds.) 1990: Acidification in Finland. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990. 1237 pp.
- Toivonen, H. & Leivo, A.** 1993: Kasvillisuuskartoituksessa käytettävä kasvillisuus- ja kasvupaikka luokitus. Kokeiluversio. – Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A:14. 96 s.

- Tulonen, T. , Ollila, S. & Arvola, L.** 1999: Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset. Loppuraportti. – Lammin biologisen aseman julkaisuja. 25 s. Helsingin yliopisto
- Virkkala, R. & Toivonen, H.** 1999: Maintaining biological diversity in finnish forests. – The Finnish Environment 278.
- Vuorinen, V. 1984:** Kasvillisuus ja ravinteet eteläsuomalaisessa mustikkatyypin metsässä (Lammin Evo). Pro Gradu. – Helsingin yliopisto. Kasvitieteen laitos 91 s.
- Westman, C.J.** 1981: Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. – Acta Forestalia Fennica 172. 77 p.