

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 186

ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA



AURASALUEEN HEIKKOKUNTOISTEN MÄNNYNTAIMIEN RAVINNETALOUDESTA POHJOIS-SUOMESSA

Eero Tikkanen

ABSTRACT

NUTRIENT METABOLISM OF WEAKENED SCOTS PINE SAPLINGS
ON A PLOUGHED SITE IN NORTHERN FINLAND

Rovaniemi 1985

Kansikuva: Tyypillinen heikkokuntoinen aurausalueen männyntaimi Pelkosenniemen Jauratsinselällä (vasemmalla). Poikkileikkaus 13 vuotta vanhasta palteesta Metsätutkimuslaitoksen Kivalon kokeilualueella Rovaniemen maalaiskunnassa (oikealla). (Kuvat E. Tikkanen)

Cover photo: A typical weakened pine sapling on a ploughed site in Pelkosenniemi, Jauratsinselkä (left). Cross section of a 13-year-old tilt at the Kivalo Experimental Forest in the Rovaniemi commune (right). (Photographs E. Tikkanen)

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 186
ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

AURASALUEEN HEIKKOKUNTOISTEN MÄNNYNTAIMIEN
RAVINNETALOUDESTA POHJOIS-SUOMESSA

Eero Tikkanen

ABSTRACT

NUTRIENT METABOLISM OF WEAKENED SCOTS PINE SAPLINGS
ON A PLOUGHED SITE IN NORTHERN FINLAND

Rovaniemi 1985

Metsäntutkimuslaitos
Rovaniemen tutkimusasema
The Finnish Forest Research Institute
Rovaniemi Research Station
Eteläranta 55
SF - 96300 Rovaniemi

ISBN 951-40-0919-3
ISSN 0358-4283

TIKKANEN, E. 1985. Aurasalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Abstract: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 186:1-23.

Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimissa on paikoin havaittu suotuisan alkukehityksen jälkeen, 10 - 15 vuoden kuluttua viljelystä mm. voimakasta pituuskasvun ja kunnan heikkenemistä sekä nopeaa kuolemista. Muodoltaan taimet ovat enimmäkseen normaaleja, mutta joissakin on latvakatoja ja kärki-dominanssin heikkenemistä. Luonteenomaisia piirteitä ovat rungon ja oksien lentous, mutkaisuus sekä heikko puutuneisuus. Tyypillistä on myös vuosikasvainten ja neulasten lyhyys sekä neulasvuosikertojen vähäisyys.

Oireiden ja neulasten alustavien ravinneanalyysitulosten perusteella männyntaimien epänormaalin kehityksen syystä on laadittu hypoteesi (Tikkanen & Raitio 1984). Syyksi oletetaan tynen ja etenkin fosforin puutos, jota ilmaston ankaruus tehostaa.

Hypoteesin kumoamiseen tähtäävä tutkimus on aloitettu fosforista analysoimalla Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkolamurista metsästä ja auraspalteilta 12 vuotta avohakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen kerättyjä maanäytteitä. Tulosten mukaan heikkokuntoisten männyntaimien oletettuun fosforin puutukseen perusteluna hypoteesissa esitetty tekijä "humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset" pitänee osittain paikkansa tutkitussa tapauksessa. Nimittäin orgaaninen ainesprosentti oli palteen alle jääneessä humuksessa, ns. "tuplahumuksessa", pienempi kuin metsän humuksessa sekä palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa pienempi kuin palteen alla olevassa ja metsän rikastumiskerroksessa. Humuksen kemiallisista muutoksista kertoi se, että helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli "tuplahumuksessa" pienempi kuin metsän humuksessa. Myös maassa olevan fosforin fraktiointi paljasti metsähumuksen ja "tuplahumuksen" välisiä eroja: helppoliukoista epäorgaanista fosforia ja orgaanista fosforia oli "tuplahumuksessa" vähemmän kuin metsän humuksessa.

Fosforin fraktiointi ja amorfisten metallien analysointi osoitti, että oletettuun ravinnepuutukseen perusteluna esitetty toinenkin tekijä "vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa" pitänee tutkitussa tapauksessa paikkansa. Amorfista rautaa sekä rautayhdisteisiin sitoutunutta vaikealiukoista fosfaattia oli eniten palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa.

After their good initial development pine saplings showed retarded height growth, weakening of condition and sudden death 10 - 15 years after planting in some ploughed areas in Northern Finland. The forms of saplings were mainly normal, although some had dieback and weakened apical dominance. Tender and curvy stems and branches and their poor lignification were characteristic features. Typical were also short leaders and needles and few annual needle crops.

The hypothesis of the causes for the abnormal development of pine saplings is based on the symptoms and preliminary results of the foliar nutrient analyses (Tikkanen & Raitio 1984). The presumed cause is nitrogen and particularly phosphorus shortage, which is further intensified by severe climatic conditions.

The first step towards the falsification of this hypothesis was to collect samples from the forest and ploughed tilts 12 years after clear-cutting and soil preparation at Kuusikkolamuri, Rovaniemi, and analyze the samples for their phosphorus contents. The findings at least partly support the notion that the first factor mentioned in the hypothesis, "a decrease in humus and chemical changes in it", caused hypothetical phosphorus deficiency in the weakened pine saplings. The organic matter percentage was lower in the so-called "double humus" under the tilt than in the forest humus and lower in the topmost enriched horizon of the tilt than under it and in the enriched horizon of forest soil. Chemical changes in humus were implied by the fact that the content of easily soluble phosphorus was lower in "double" than in forest humus. Similarly, the fractionation of soil phosphorus revealed differences between the forest humus and "double humus": the "double humus" contained less easily soluble inorganic phosphorus and organic phosphorus than the forest humus.

The fractionation of phosphorus and analysis of amorphous metals indicated that also the second factor in the hypothesis on nutritional shortages, "the increase of poorly soluble inorganic phosphorus compounds", was confirmed. Amorphous iron and poorly soluble phosphate fixed in iron compounds are mostly found in the topmost enriched horizon of the tilt.

SISÄLLYS

	sivu
1. JOHDANTO.....	5
2. AURAUKSEN JA FOSFORILANNOITUKSEN VAIKUTUKSIA.....	6
3. TULOKSIA.....	10
31. Typpi sekä helppoliukoiset ja vaihtuvat ravinteet..	11
32. Fosforin fraktiot.....	14
33. Amorfinen rauta, mangaani ja alumiini.....	17
4. PÄÄTELMIÄ.....	19
KIRJALLISUUS.....	21

1. JOHDANTO

Metsämaan muokkaustavoista auraus yleistyi Pohjois-Suomessa 1960-luvun lopulla. Männyntaimien alkukehitys aurasalueilla on yleensä ollut hyvä (Lähde & Pohjola 1975, Mutka & Lähde 1977, Pohtila 1977). Kuitenkin 10 - 15 vuoden kuluttua viljelystä taimissa on paikoin havaittu mm. voimakasta pituuskasvun ja kunnan heikkenemistä sekä nopeaa kuolemista. Muodoltaan taimet ovat enimmäkseen normaaleja, mutta joissakin on latvakatoja ja kärkidominanssin heikkenemistä. Luonteenomaisia piirteitä ovat rungon ja oksien hentous, mutkaisuus sekä heikko puutuneisuus. Tyypillistä on myös neulasten lyhyys ja neulasvuosikertojen vähyys - vain 2 - 3 vuosikertaa. Neulasten pituuskasvun muutos tapahtuu nopeasti ja usein samanaikaisesti taimien pituuskasvun hidastuessa. Neulasten muoto on normaali. Samanlaisia heikkokuntoisia männyntaimia kasvaa muillakin tavoin muokatuilla sekä muokkaamattomilla ja kulotetuilla avohakkuualueilla. Ilmiötä tavataan myös luonnonoloissa karuimmilla kasvupaikoilla (Tikkanen & Raitio 1984).

Energian puutteelta vaikuttava männyntaimien heikkous saattaa johtua niukasta nettofotosynteesistä. Metsästä avohakkuualueelle siirryttäessä tapahtuu fotosynteesiin vaikuttavissa ekologisisissa kasvu-tekijöissä muutoksia. Mm. lämpötila-, valaistus- ja tuuliolot sekä vesi- ja ravinnetekijä muuttuvat ääreviksi, ts. muutokset kasvutekijöissä voimistuvat ja nopeutuvat (Odin 1974, Vitousek 1983). Äärevissä oloissa kasvavien männyntaimien fotosynteesi voi heiketä ja sen seurauksena energian sidonta sekä kasvu vähentyä.

Pohjois-Suomen aurasalueiden heikkokuntoisista männyntaimista kerätyistä neulasista tehtyjen ravinneanalyyysien tulokset osoittivat mm. neulasten alhaisen typpi- ja etenkin fosforipitoisuuden. Tämä viittasi taimien energiatalouden muutoksiin, sillä fosfori on keskeinen ravinne kasveissa mm. fotosynteesissä sekä energian varastoisissa ja siirtämisessä. Fosforin riittävästä saannista riippuu, pystyvätkö kasvit käyttämään hyväkseen muita välttämättömiä ravinteita, kuten typpeä ja joitakin hivenravinteita (Borie & Barea 1981).

Siten aurasalueiden männyntaimien heikkous saattaa perimmältään johtua paitsi kasvutekijöiden muutosten ja fosforin puutoksen takia heikentyneestä nettofotosynteesistä ja energian sidonnasta myös fosforin puutoksen takia häiriytyneestä energian varastoimisesta ja siirtämisestä. Fosforin tärkeä merkitys mm. nukleiinihappojen ja lipidien rakenneosana on myös muistettava.

Oireiden ja neulasten alustavien ravinneanalyysitulosten perusteella männyntaimien epänormaalin kehityksen syystä on laadittu hypoteesi (Tikkanen & Raitio 1984). Syyksi oletetaan typen ja etenkin fosforin puutos, jota ilmaston ankaruus tehostaa. Tässä työssä esitetään muutamia analyysituloksia hypoteesin kumoamiseksi tutkituista neulas- ja maanäytteistä. Lisäksi tarkastellaan aurauksen ja fosforilannoituksen vaikutuksia selvitteleviä aikaisempia tutkimuksia. Työ on laajempi esitys Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimus- aseman tutkimuspäivillä 20.2.1985 pidetystä esitelmästä.

Tutkimus liittyy vuoden 1985 työohjelman aiheisiin MH010-005 Taimien elinympäristö ja MH060-030 Taimikoiden hoitomenetelmät. Analyysit on tehty Rovaniemen tutkimusasemalla.

Kiitän professori Erkki Lähdeettä, MMT Erkki Auraa, dosentti Helinä Hartikaista ja MMT Olavi Laihoa, jotka ovat lukeneet käsikirjoituksen ja tehneet siihen huomionarvoisia korjausehdotuksia. Kiitän myös valantehnyttä kielenkääntäjää FM Leena Kaunistoa englanninkielisten käännösten laatimisesta sekä merkonomi Maija-Liisa Kojoa työn konekirjoituksesta.

2. AURAUKSEN JA FOSFORILANNOITUKSEN VAIKUTUKSIA

Aurauksen vaikutusta maan ravinnetalouteen ja mikrobiologiseen aktiivisuuteen sekä taimien juuristokehitykseen on tutkittu Suomessa niukasti. Sama koskee fosforilannoituksen vaikutusta aurasalueilla.

Ravinnetalouden osalta Kubinin (1984) keräämästä aineistosta ilmenee, että Paltamon Kivesvaaralla sijaitsevalta muokatulta männyn-

viljelyalueelta keväisin purkautuneissa pintavesissä fosforipitoisuudet olivat kahdeksana vuotena avohakkuusta ja muokkauksesta selvästi korkeammat kuin kolmena sitä seuraavana vuotena. Myös ammonium- ja nitraattitypen huuhtoutuminen oli runsasta muutamien vuosien ajan maanmuokkauksen jälkeen. Pohjois-Karjalan vesipiirin vesitoimiston (Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksesta vesistöihin. 1984)selvityksen mukaan myös Nurmeksessa sijaitsevalta muokkaamatomalta avohakkuualueelta huuhtoutui pintavesien mukana ensimmäisenä keväänä hakkuun jälkeen erityisesti fosforia, mutta myös typpeä selvästi enemmän kuin luonnontilaiselta kontrollialueelta. Paltamon ja Nurmeksen tutkimuksissa ei selvitelty ravinteiden huuhtoutumista pohjaveteen.

Edellä mainitulta Kivesvaaran muokatulta koekentältä kerätyistä maanäytteistä Kubinin (1978) saamat analyysitulokset osoittavat, että avohakkuu ja auraus aiheutti nitraattitypen määrän huomattavaa sekä helppoliukoisten fosforivarojen lievää kasvua maassa kahtena muokkauksesta seuranneena kasvukautena. Palteessa ja palteen alla olevassa humuksessa typpeä ja fosforia oli eniten; nitraattityppeä oli noin kolme kertaa ja fosforia noin neljänneksen enemmän kuin metsän humuksessa. Starrin ym. (1982) tutkimusten mukaan Kurun ja Karkkilan koealueilta muokatuilta koealoilta mm. auraspalteista kerätyssä maavedessä typpi- ja fosforipitoisuus oli korkeampi kuin muokkaamattomilta koealoilta kerätyssä vedessä kahtena vuotena maanmuokkauksen jälkeen. Myös Mälkösen (1983) saamat tulokset osoittavat muokkauksoikeella Sotkamossa typpi- ja fosforipitoisuuden maavedessä kohonneen mm. muokkaamattomilla hakkuualoilla sekä etenkin aurattujen koealojen palteilla kahtena muokkauksesta seuranneena vuotena.

Ravinteiden lisääntynyt mobilisaatio heti avohakkuun ja muokkauksen jälkeen johtunee ainakin osittain maan mikrobiologisen aktiivisuuden vilkastumisesta. Voss-Lagerlundin (1976) mukaan auraus lisäsi huomattavasti bakteerien lukumäärää Kurussa ja Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon kokeilualueessa Rovaniemen maalaiskunnassa sijaitsevilla koealueilla kaksi vuotta maanmuokkauksesta tehtyjen mittausten perusteella. Voss-Lagerlund (1976) arvioi syyksi aurattujen koealojen edullisia aerobisia oloja ja orgaanisen aineksen tehokasta sekoittumista. Kivalossa keskikesän hellejakso kuvastui bakteeri-

en lukumäärän jyrkkänä laskuna, jolloin bakteerien hajotustoiminta maassa oli Voss-Lagerlundin (1976) mukaan todennäköisesti hidastunut, jopa keskeytynyt. Myös Tammelassa sijaitsevalta muokkauksoikeelta vuoden kuluttua muokkauksesta Palmgrenin (1984) saamat tulokset osoittavat bakteerien määrän lisääntyneen kivennäismaassa auruksen vaikutuksesta. Orgaanisen kerroksen ja kivennäismaan sekoittuminen keskenään auratuilla koealoilla lisäsi biologista aktiivisuutta 20 cm syvyyteen saakka. Lisäksi bakteerimäärien vaihtelut kasvukauden aikana olivat auratuilla koealoilla pienempiä kuin jyrskyillä ja muokkaamattomilla koealoilla.

Maanmuokkauksen vaikutusta männyn- ja juuristokehitykseen ovat tutkineet Mutka ja Lähde (1977) sekä Kinnunen ja Laurila (1983). Mutka ja Lähde (1977) mm. vertailivat Kivalon kokeilualueella auraspalteilla ja laikuissa sekä täysmuokatussa maassa kasvavien männyn- ja juuristojen kaksivuotista viljelyn jälkeen. Työssä tutkittiin juurten kuivapainoa, muotoa, pääjuuren kehitystä, mykoritsoja sekä juurten korkeutta ja tiheyttä. Tulosten mukaan auraspalteilla kasvavien taimien juuret olivat parhaita, mutta nekin olivat kehittyneet luontaisesti syntyneiden taimien juuristojen selvästi heikommin. Kinnunen ja Laurila (1983) vertailivat 6 - 7-vuotiaiden pientareeseen istutettujen paljasjuuristen, erilaisissa kennoissa kasvatettujen ja kylvään viljeltyjen männyn- ja juuristojen sekä luontaisesti syntyneiden taimien juuriston ja verson alkukehitystä Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman Alkkian kokeilualueella. Luontaisesti syntyneiden männyn- ja juuristojen juuristot olivat pientareeseen viljeltyjen taimien juuristojen suppeampia, mutta muodoltaan normaaleja. Sitä vastoin vain alle 1/5:lla pientareeseen viljeltyistä taimista tavattiin tyypillinen paalujuuri. Pientareeseen kylvään viljeltyillä ja istutetuilla männyn- ja juuristojen juuristot olivat epäsymmetrisiä suuntautuen aurasvaon suuntaisesti tai siitä poispäin. Istutettujen taimien juuristot olivat lisäksi yleisesti epämuodostuneita.

Pohtila (1972) tutki Sallan yhteismetsässä fosforilannoituksen vaikutusta mm. auraspalteeseen istutettujen männyn- ja kuusentaimien alkukehitykseen. Tulosten mukaan lannoitus paransi etenkin männyn- ja kuusentaimien elossa pysymistä ja kuntoa sekä lisäsi jonkin verran myös

taimien pituuskasvua. Myös Leikola ja Rikala (1974) tutkivat lannoituksen vaikutusta palteeseen istutettujen männyn- ja kuusentaimien alkukehitykseen kangasmailla eri puolilla Suomea neljänä vuotena viljelyn jälkeen. Erilaisten lannoitusten vaikutukset näkyivät selvinä taimien kuolleisuudessa. Fosforin vaikutus riippui paitsi käytetystä lannoittelajista myös muista fosforilannoituksen yhteydessä annetuista lannoitteista. Parhaimmillaankaan lannoitus ei lisännyt taimien eloonjäämistä merkitsevästi palteilla kasvaviin lannoittamattomiin taimiin verrattuna. Taimien pituuskasvua lannoitus joko heikensi vähän tai ei vaikuttanut siihen lainkaan. Lisäksi havaittiin, että männyn- ja kuusentaimet reagoivat lannoitukseen jokseenkin samalla tavalla. Myöskään Mutkan ja Lähteen (1977) tekemässä tutkimuksessa Kivalon kokeilualueella fosforilannoitus ei vaikuttanut auraspalteilla kasvavien männyntaimien eloonjäämiseen eikä kasvuun. Lannoituksella ei niin ikään ollut vaikutusta juuriston kuivapainoon eikä pääjuuren kehitykseen. Terveiden taimien osuutta fosforilannoitus sen sijaan lisäsi vähän ja pienensi samalla latvavaurioista kärsineiden taimien määrää kaksi vuotta viljelyn jälkeen tehtyjen mittausten perusteella. Huurin (1980) tutkimuksessa kasteltujen juurien peittäminen hienofosfaatilla ei vaikuttanut merkitsevästi kangasmailla kuoppaan istutettuihin männyn- ja kuusentaimiin kolmella paikkakunnalla Etelä-Suomessa. Koska juurten liotus vedessä ja fosforointi sekä pelkkä liotus antoi samanlaisen tuloksen, taimien kasvua saattoi rajoittaa enemmän kuivuus kuin fosforin puutos. Huurin (1980) tutkimusaineisto kerättiin neljänä vuotena istutuksen jälkeen. Voss-Lagerlund (1976) havaitsi Kurussa ja Kivalon kokeilualueella olleiden muokkaukokeiden maamikrobiologisissa tutkimuksissa tuomaskuonalannoituksen nostaneen bakteerien lukumäärää mm. aurattujen koeruutujen pintamaakerroksessa. Kalkitus sen sijaan ei aiheuttanut merkitseviä muutoksia bakteeripopulaatioissa kaksi vuotta maanmuokkauksesta tehtyjen mittausten mukaan. Vuoden kuluttua muokkauksesta tehdyissä tutkimuksissa Palmgren (1984) havaitsi myös Tammelassa sijainneella muokkaukokeella tuomaskuonalannoituksen lisänneen auratuilla koelaloilla bakteerien määrää maan pintakerroksessa. Aurauksen todettiin merkitsevästi lisänneen puiden pituuskasvua, mutta tuomaskuonalannoitus merkitsevästi hidasti sitä 11 vuotta viljelyn jälkeen tehdyn inventoinnin tulosten perusteella.

Edellä mainituissa auruksen vaikutusta selvittelevissä tutkimuksissa on tarkasteltu maaperän kasvutekijöissä tapahtuneita muutoksia sekä taimien juuristokehitystä muutamina vuosina muokkauksen ja viljelyn jälkeen. Tulosten mukaan helppoliukoisten ravinteiden pitoisuus maassa ja maavedessä kohosi muokkauksen seurauksena. Osaltaan siihen varmaankin vaikutti muokatussa maassa havaittu bakteerien lukumäärän kasvu. Mm. kohonneen mobilisaation seurauksena ravinteiden huuhtoutuminen kuitenkin lisääntyi. Muokattuun maahan viljeltyjen männyntaimien juuristot kehittyivät tutkimusten mukaan luontaisesti syntyneiden taimien juuristoja heikommin, eikä fosforilannoitus vaikuttanut juurten kasvuun ja kehitykseen. Muutenkin fosforilannoituksen vaikutus aurasalueilla jäi vähäiseksi muutamina vuosina maanmuokkauksesta sekä viljelystä ja lannoituksesta tehtyjen tutkimusten perusteella.

3. TULOKSIA

Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimien epänormaalin kehityksen syystä laadittu hypoteesi perustuu mm. Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkolamurista ($66^{\circ}20'N, 25^{\circ}40'E$, 210 m mpy) aurasalueella kasvavista männyntaimista kerätyistä neulasista tehtyjen ravinneanalyyysien tuloksiin. Kuusikkolamurin alkuperäinen kasvupaikkatyyppi oli kuivahko kangas, jossa kuusi oli valtapuuna. Alue on ylimmän rannan yläpuolella ja maalajiltaan hienoja aineksia sisältävää voimakkaasti podsoloitunutta moreenia. Ilmasto on vaaroille tyypillisen humidi. Vaaran lakea avohakattiin vuonna 1971 noin 50 ha ja aurattiin piennarauralla. Vuonna 1972 pientareisiin ja palteisiin istutettiin kennoissa ja turveruukuissa kasvatettuja männyntaimia. Kesään 1984 mennessä suurin osa taimista oli kuollut ja elävissä taimissa esiintyi hypoteesissa kuvattua heikkokuntoisuutta. Ravinneanalyyysitulosten mukaan neulasten (20 näytettä) typpipitoisuus oli keskimäärin 1,29 %; vaihtelu oli 1,10 %:sta 1,47 %:iin. Fosforipitoisuus vaihteli 1,16 %:sta 1,58 %:een ja keskiarvo oli 1,32 %.. Useimmissa tutkituista taimista etenkin neulasten fosforipitoisuudet olivat kirjallisuudessa esitettyjen puutosrajojen alapuolella (Paarlahti ym. 1971, Raitio 1978).

Vastausta kysymykseen, miksi neulasten typpi- ja etenkin fosforipitoisuus oli aurasalueiden männyntaimissa alhainen, alettiin etsiä maan ravinnetutkimuksien avulla. Samalla käynnistyi fosforin osalta hypoteesin kumoamiseen tähtäävä tutkimus. Siksi mm. Kuusikkolamurista sekä metsästä että auraspalteilta kesällä 1984 kerätyistä maanäytteistä on mitattu pH (H_2O) sekä määritetty orgaaninen ainesprosentti, helppoliukoisten ja vaihtuvien ravinteiden ja typen sekä amorfisen raudan, mangaanin ja alumiinin määrät. Samoista näyte-eristä on lisäksi fraktioitu fosfori. Ennen analysointia maanäytteet on kuivattu ilmakeiviksi ja seulottu ($\emptyset \leq 2$ mm). Humusnäytteet on lisäksi jauhettu. Typpipitoisuus on laskettu maan kokonaistyyppiprosenttina ja muiden ravinteiden pitoisuudet milligrammoina saattaa grammaa ilmakeivää maata kohti. Metsän humuksesta sekä palteen alle jääneestä humuksesta, ns. "tuplahumuksesta", määritettyjen helppoliukoisten ja vaihtuvien ravinteiden pitoisuudet sekä typpi-pitoisuus on lisäksi laskettu maan orgaanista ainesta kohti. Seuraavaksi tarkastellaan ravinteiden keskimääräisiä pitoisuuksia muutamista maanäytteistä.

31. Typpi sekä helppoliukoiset ja vaihtuvat ravinteet

Taulukossa 1 esitetään kokonaistyyppiprosentti sekä helppoliukoisten ja vaihtuvien ravinteiden pitoisuudet, pH ja orgaaninen ainesprosentti metsästä ja auraspalteilta Kuusikkolamurista 12 vuotta maanmuokkauksen jälkeen kerätyistä maanäytteistä. Havaitaan mm., että rikastumiskerroksessa pH oli palteen päällä vähän alempi kuin palteen alla ja metsässä. "Tuplahumuksessa" (A_0 -horisontti välissä) typen ja helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli selvästi pienempi kuin metsän humuksessa: typeä oli $1/2 - 1/3$ ja fosforia noin $1/6$. Myös kaliumin ja magnesiumin osalta tulokset olivat samansuuntaisia. Rikastumiskerroksessa typeä ja fosforia oli lähes saman verran sekä metsässä että palteen alla ja päällä. Pitoisuudet olivat kuitenkin metsän humuksesta ja "tuplahumuksesta" mitattuihin pitoisuuksiin verrattuina ratkaisevasti pienempiä. Kaliumpitoisuus oli rikastumiskerroksessa korkein palteen päällä ja magnesiumipitoisuus alla. Rautaa ja alumiinia oli eniten rikastumiskerroksessa. Palteen päällä rikastumiskerroksessa vaihtuvan raudan määrä oli suu-

TAULUKKO 1. Kokonaistyyppiäprosentti sekä helppoliukoiset ja vaihtuvat ravinteet (mg/100g ilmakuivaa maata), pH (H₂O) ja orgaaninen ainesprosentti metsässä ja aurauspallteilla Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkoliamurissa 12 vuotta maanmuokkauksen jälkeen. Suluissa ravinteiden pitoisuudet orgaanista ainesta kohti. Tulokset keskiarvoina viidestä keruupaikasta.

TABLE 1. Total nitrogen percentage, easily soluble and exchangeable nutrients (mg/100 g air-dry soil), pH (H₂O) and organic matter percentage in the forest and ploughed till 12 years after soil preparation at Kuusikkoliamuri, the Rovaniemi commune. Nutrient contents per organic matter in brackets. The results as means of five sampling sites.

Ravinne Maa- kerros Soil layer	pH	org. ain. %	N %	P mg/ 100g	K mg/ 100g	Ca mg/ 100g	Mg mg/ 100g	Mn mg/ 100g	Cu mg/ 100g	Zn mg/ 100g	Fe mg/ 100g	Al mg/ 100g
METSÄ/FOREST												
A ₀ -horisontti	4,4	75,8	1,06 (1,40)	29,30 (38,70)	82,50 (109,00)	169,00 (223,00)	24,40 (32,20)	44,80 (59,10)	0,04 (0,05)	2,59 (3,42)	0,31 (0,41)	2,76 (3,64)
A -horisontti	4,9	1,6	0,02	0,28	2,38	1,95	0,34	0,53	0,04	0,08	2,03	6,12
B -horisontti	5,6	5,6	0,07	0,22	1,73	1,61	0,41	1,67	0,05	0,15	5,97	144,00
C -horisontti	6,0	1,0	0,01	0,39	0,95	1,02	0,17	0,15	0,06	0,03	1,33	24,90
AURAUSPALLE/TILT												
B -horisontti päällä	5,3	4,2	0,06	0,20	3,12	2,98	0,53	1,88	0,05	0,12	7,15	67,10
A -horisontti päällä	4,9	1,9	0,03	0,22	1,86	7,03	1,48	1,07	0,03	0,16	3,16	8,74
A ₀ -horisontti välissä	4,5	24,5	0,37 (1,51)	5,31 (21,70)	17,00 (69,40)	142,00 (580,00)	8,52 (34,80)	19,30 (78,80)	0,05 (0,20)	1,75 (7,14)	1,67 (6,82)	6,30 (25,70)
A -horisontti alla	4,8	1,1	0,02	0,28	1,72	7,99	0,68	1,40	0,03	0,12	3,23	6,04
B -horisontti alla	5,4	7,2	0,09	0,19	2,15	5,97	0,97	1,98	0,04	0,13	7,14	140,00
C -horisontti alla	5,7	1,5	0,02	0,27	1,91	1,41	0,23	0,22	0,05	0,03	1,45	37,10

rempi kuin metsän rikastumiskerroksessa. Alumiinia oli palteen päällä sitä vastoin vähemmän kuin metsässä ja palteen alla olevassa rikastumiskerroksessa.

Orgaaninen ainesprosentti oli "tuplahumuksessa" noin 2/3 metsän humuksesta määritettyä pienempi. Myös palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa orgaaninen ainesprosentti oli pienempi kuin palteen alla olevassa ja metsän rikastumiskerroksessa. Orgaanista ainesta kohti laskettuna tyypipitoisuus oli "tuplahumuksessa" suurempi kuin metsän humuksessa. Helppoliukoisen fosforin pitoisuus orgaanista ainesta kohti laskettuna oli sen sijaan metsän humuksessa selvästi suurempi kuin "tuplahumuksessa". Jos mikrobiologinen aktiivisuus on "tuplahumuksessa" heikompi kuin metsän humuksessa, sillä voi olla osuutta helppoliukoisen fosforin alhaiseen pitoisuuteen.

Kuusikkolamurin analyysitulokset eroavat typen ja fosforin sekä kaliumin ja magnesiumin osalta Kubinin (1978) kahtena vuotena maanmuokkauksesta Paltamon Kivesvaaran koekentältä saamista tuloksista. Kivesvaaralla palteessa olevassa mineraalimaassa pH oli korkeampi kuin metsän huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksessa. Palteessa ja palteen alla olevassa humuksessa fosfori- ja magnesiumipitoisuus oli suurempi kuin metsän humuksessa. Kaliumipitoisuus oli kaikissa jokseenkin samansuuruinen. Mineraalimaassa palteen päällä helppoliukoista fosforia oli vähän enemmän kuin metsän huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksessa. Pitoisuudet olivat metsän humuksesta sekä palteessa ja palteen alla olevasta humuksesta mitattuihin pitoisuuksiin verrattuina vain neljänneksen verran pienempiä. Kaliumia ja magnesiumia oli Kivesvaaralla palteessa olevassa mineraalimaassa selvästi enemmän kuin metsän mineraalimaassa. Kubinin (1978) tutkimuksessa maanäytteistä ei määritetty kokonaistyyppiä prosenttia eikä raudan ja alumiinin pitoisuutta, mutta helppoliukoisen nitraattityypen määrää mitattiin. Nitraattityypen tilanne oli saman suuntainen kuin helppoliukoisen fosforin, sillä palteessa ja palteen alla olevassa kangashumuksessa nitraattityppeä oli selvästi enemmän kuin metsän humuksessa. Lisäksi palteessa olevassa mineraalimaassa nitraattityppeä oli enemmän kuin metsän huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksessa. Huomattakoon, että Kivesvaaran maanäytteistä ravinnepitoisuudet on laskettu milligrammoina tuoremaalittraa kohti.

Kubin (1978), Starrin ym. (1982) sekä Mälkösen (1983) saamat analyysitulokset kahtena muokkausta seuraavana vuotena kerätyistä näytteistä osoittavat, että metsämaan aeraus johti ravinnemäärien kasvuun maassa ja maavedessä. Kuusikkolamurin neulas- ja maa-analyysitulokset viittaavat siihen, että aurauksen edullinen vaikutus ravinnetalouteen saattaa kuitenkin jäädä lyhytaikaiseksi. Ainakin typen sekä helppoliukoisten ja vaihtuvien pääravinteiden määrä maassa voi vuosien kuluessa vähentyä johtaen ravinteiden puutokseen sekä kunnan heikkenemiseen aerausalueilla kasvavissa männyntaimissa.

32. Fosforin fraktiot

Taulukossa 2 esitetään fosforin pitoisuudet fraktioittain Kuusikkolamurista kerätyistä maanäytteistä. Havaitaan mm., että "tuplahumuksessa" helppoliukoisen, kasveille käyttökelpoisen epäorgaanisen fosforin pitoisuus oli metsän humuksesta määritettyyn pitoisuuteen verrattuna vain noin 1/6. Tämä tulos tukee helppoliukoisten ja vaihtuvien ravinteiden analyysissä saatua tulosta, jonka mukaan helppoliukoista fosforia oli "tuplahumuksessa" samaten noin 1/6 metsän humuksessa olleesta fosforipitoisuudesta. Laskettujen tulosten mukaan orgaanisestikin sitoutunutta fosforia oli "tuplahumuksessa" selvästi vähemmän kuin metsän humuksessa. Helppoliukoisen fosforin suuren määrän ansiosta epäorgaanista fosforia oli Kuusikkolamurissa eniten metsän humuksessa. Palteen alla olevassa perusmaassa sekä metsässä että palteen päällä ja alla olevassa rikastumiskerroksessa helppoliukoista epäorgaanista fosforia oli vähiten. Myös orgaanisesti sitoutuneen fosforin määrä niissä oli selvästi pienempi kuin palteen alle jääneessä ja metsän humuksessa.

Primäärisistä fosforimineraaleista, kuten apatiitista vapautunut fosfaatti sitoutuu maassa tiukasti etenkin alumiiniin sekä rautaan ja on vaikeasti kasvien käytettävissä. Kuusikkolamurissa epäorgaanista alumiini- ja rautayhdisteiden sitomaa fosfaattia, ns. sekundääristä fosforia, oli eniten rikastumiskerroksessa ja perusmaassa. Palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa alumiiniyh-

TAULUKKO 2. Fosforin fraktiot (mg/100 g ilmakeiväa maata) metsässä ja aurauspaiteella Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkolamurissa 12 vuotta maanmuokkauksen jälkeen. Tulokset keskisarvoina viidestä keruupaikasta.

TABLE 2. Phosphorus fractions (mg/100 g air-dry soil) in the forest and ploughed till 12 years after soil preparation at Kuusikkolamuri, the Rovaniemi commune. The results as means of five sampling sites.

P-fraktio Maa-P-fraction kerros Soil layer	1. mg/100g		2. mg/100g		3. mg/100g		4. mg/100g		5. mg/100g					
	helppo- liuk.-P	kok.-P	AL-P	org.-P	Fe-P	org.-P	apa- tiit- ti-P	org.-P	kok.-P	okklud.-P	∑ P kok.			
METSÄ/FOREST														
A ₀ -horisontti	15,80	6,40	22,20	3,67	7,23	10,90	2,33	22,30	24,60	0,37	0,78	1,15	0,21	59,10
A -horisontti	0,16	0,12	0,28	0,61	0,34	0,95	1,34	1,05	2,39	0,34	0,05	0,39	0,13	4,14
B -horisontti	0,02	0,03	0,05	5,29	2,33	7,62	7,57	2,73	10,30	5,62	0,78	6,40	0,47	24,90
C -horisontti	0,17	0,03	0,20	10,00	0,90	10,90	3,00	0,91	3,91	11,60	0,50	12,10	0,23	27,30
AURAUSPALLE/TILT														
B -horisontti pällä	0,04	0,03	0,07	4,70	1,22	5,92	10,10	2,80	12,90	3,42	0,35	3,77	0,56	23,20
A -horisontti pällä	0,09	0,11	0,20	0,90	0,43	1,33	3,78	1,74	5,52	0,60	0,13	0,73	0,23	8,01
A ₀ välissä	2,52	0,99	3,51	2,32	3,60	5,92	1,63	9,77	11,40	0,34	0,22	0,56	0,09	21,50
A -horisontti alla	0,12	0,07	0,19	0,89	0,41	1,30	2,11	1,72	3,83	0,36	0,10	0,46	0,19	5,97
B -horisontti alla	0,01	0,04	0,05	6,30	2,15	8,45	6,64	2,55	9,19	7,56	0,78	8,34	0,46	26,50
C -horisontti alla	0,02	0,02	0,04	13,00	0,70	13,70	5,03	1,34	6,37	2,18	0,24	2,42	0,22	22,80

disteiden sitomaa fosfaattia oli jonkin verran vähemmän kuin palteen alla olevassa ja metsän rikastumiskerroksessa. Sen sijaan rautayhdisteiden sitomaa fosfaattia oli palteen päällä eniten. Epäorgaanista apatiittifosforia oli Kuusikkolamurissa rikastumiskerroksessa metsässä ja palteen alla enemmän kuin palteen päällä. Lienee mahdollista, että apatiittifosforista sekä alumiiniyhdisteistä vapautunutta fosfaattia on sitoutunut palteella uudelleen lähinnä rautaoksiidiin.

Okkludoitunut fosfori on erittäin vaikealiukoista rauta- ja alumiinioksidien sisäänsä sulkemaa epäorgaanista fosforia. Kuusikkolamurin humustyyppisessä podsolissa sen pitoisuus oli melko pieni. Eniten okkludoitunutta fosforia oli rikastumiskerroksessa palteen päällä.

Myös Kaila (1963) on saanut samansuuntaisia fraktiointituloksia metsämaasta. Hän ei tutkinut orgaanisen, helppoliukoisen epäorgaanisen eikä okkludoituneen fosforin määrää. Siksi epäorgaanista fosforia oli eniten podsoliprofiilin rikastumiskerroksessa ja perusmaassa, huomattavasti vähemmän humuskerroksessa ja vähiten huuhtoutumiskerroksessa. Rikastumiskerroksessa pääosa fosforista oli Kailan (1963) tulosten mukaan rauta- ja alumiiniyhdisteisiin sitoutuneena fosfaattina. Lisäksi rikastumiskerroksesta mitattiin selvästi korkeimmat raudan ja alumiinin pitoisuudet samoin kuin tässä Kuusikkolamurin tutkimuksessa.

Fraktiointitulosten mukaan fosforin kokonaismäärä oli Kuusikkolamurissa suurin metsän humuksessa. "Tuplahumuksessa" fosforia oli siitä vain noin 1/3, koska helppoliukoisen epäorgaanisen sekä orgaanisen fosforin määrä oli paljon pienempi. Metsän humuksesta laskettuun määrään verrattuna fosforin kokonaismäärä oli palteen päällä sekä metsässä että palteen alla olevassa rikastumiskerroksessa yli puolet pienempi. Suurin osa rikastumiskerroksen fosforista oli vaikealiukoisena rauta- ja alumiiniyhdisteisiin sitoutuneena fosfaattina. Helppoliukoisen epäorgaanisen fosforin määrä oli rikastumiskerroksessa pieni. Orgaanisestikin sitoutunutta fosforia siinä oli huomattavasti vähemmän kuin metsän humuksessa. Rikastumiskerroksen fosforimäärien suhteen metsänäytteet eivät

poikenneet aurasalueen palteiden päällisistä ja alapuolisista näytteistä. Sen sijaan laadullisia eroja oli: palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa rautayhdisteiden sitomaa fosfaattia oli enemmän ja alumiiniyhdisteiden sitomaa fosfaattia sekä apatiittifosforia vähemmän kuin palteen alla olevassa ja metsän rikastumiskerroksessa.

Huomattakoon vielä, että helppoliukoisten ja vaihtuvien ravinteiden analyysissä saadut helppoliukoisen fosforin pitoisuudet olivat humusnäytteissä noin puolet ja rikastumiskerroksista kerätyissä näytteissä monta kertaa suurempia kuin samoista näyte-eristä fraktioinnissa saadut helppoliukoisen epäorgaanisen fosforin pitoisuudet. Niin ollen ensin mainitussa analyysissä maanäytteistä saattaa uutua helppoliukoisen fosforin lisäksi myös epäorgaanista, vaikealiukoista sekundääristä fosforia.

33. Amorfinen rauta, mangaani ja alumiini

Kiteytymätöntä raudan, mangaanin ja alumiinin oksidia sanotaan amorfiseksi. Maassa oleva amorfinen rauta ja alumiini ovat tärkeitä fosforia sitovia yhdisteitä. Taulukossa 3 esitetään amorfisen raudan, mangaanin ja alumiinin pitoisuudet Kuusikkolamurista kerätyistä maanäytteistä. Havaitaan mm., että aktiivista amorfista rautaa ja alumiinia oli eniten rikastumiskerroksessa ja perusmaassa sekä mangaania humuksessa. Palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa rautaa oli paljon enemmän kuin palteen alla olevassa ja metsän rikastumiskerroksessa. Tämä tulos tukee fosforin fraktioinnissa saatua tulosta, jonka mukaan rautayhdisteiden sitomaa fosfaattia oli eniten palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa. On luultavaa, että aurattaessa palteen päälle joutuneessa rikastumiskerroksessa rautaoksidin aktiivisuus lisääntyy pH:n laskiessa. Amorfisen alumiinin määrä oli suurin palteen alla ja metsässä olevassa rikastumiskerroksessa. Palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa alumiinia oli noin kolmanneksen vähemmän. Tämäkin tulos tukee fosforin fraktioinnissa saatua tulosta, sillä alumiiniyhdisteiden sitomaa fosfaattia oli palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa vähemmän kuin palteen alla olevassa ja metsän

TAULUKKO 3. Amorfinen rauta, mangaani ja alumiini(mg/100 g ilmakuivaa maata) metsässä ja auraspalteella Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkolamurissa 12 vuotta maanmuokkauksen jälkeen. Tulokset keskiarvoina viidestä keruupaikasta.

TABLE 3. Amorphous iron, manganese and aluminium (mg/100 g air-dry soil) in the forest and ploughed tilt 12 years after soil preparation at Kuusikkolamuri, in Rovaniemi commune. The results as means of five sampling sites.

Maa- kerros Soil layer	Ravinne Nutrient	Fe mg/ 100 g	Mn mg/ 100 g	Al mg/ 100 g
METSÄ/FOREST				
A _c -horisontti		30,8	41,2	34,4
A -horisontti		22,3	0,9	21,6
B -horisontti		149,0	4,0	908,0
C -horisontti		118,0	0,7	269,0
AURASPALLE/TILT				
B -horisontti päällä		314,0	9,1	651,0
A -horisontti päällä		87,2	2,8	44,4
A ₀ -horisontti välissä		47,2	22,2	51,6
A -horisontti alla		44,8	1,4	24,4
B -horisontti alla		117,0	3,7	956,0
C -horisontti alla		120,0	0,6	394,0

rikastumiskerroksessa. Osa alumiinista on voinut muuttua liukoiseksi ja huuhtoutua palteelta orgaanisen aineksen kanssa. Sekä alumiinin että raudan liukoisuus maassa kasvaa pH:n laskiessa. Ne ovat vähän liukoisia pH:n ollessa yli 5, melkoisia liukoisia pH:n ollessa 4 - 5 ja erittäin liukoisia alle pH 4:ssä (Kinzel 1983). Huomionarvoista on se, että alumiiniyhdisteiden sitomaa fosfaattia oli eniten perusmaassa eikä rikastumiskerroksessa, jossa amorfista alumiinia samoin kuin vaihtuvaa alumiinia (s.12) oli eniten. Rautayhdisteiden sitomaa fosfaattia oli eniten sitä vastoin rikastumiskerroksessa, vaikka amorfista rautaa oli perusmaassa ja rikastumiskerroksessa lähes yhtä paljon. Vaihtuvan raudan pitoisuus oli ri-

kastumiskerroksessa kuitenkin selvästi suurempi kuin perusmaassa. Amorfista mangaania oli "tuplahumuksessa" melkein puolet vähemmän kuin metsän humuksessa. Palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa mangaania oli selvästi enemmän kuin metsässä ja palteen alla olevassa rikastumiskerroksessa.

On mahdollista, että palteella oleva rauta, mangaani ja alumiini vaikuttaa myrkyllisesti männynntaimiin. Esimerkiksi Clarksonin (1969) mukaan alumiini haittaa kalsiumin ottoa ja kuljetusta, sitoo fosfaattia juurissa niiden pinnoille, soluväleihin ja soluihin aiheuttaen kasveissa fosforinpuutosoireita sekä häiritsee juurten solujen jakautumista ja glukoosin fosforylaatiota soluissa. Rauta ja mangaani ovat kasveille välttämättömiä hivenravinteita. Suurina pitoisuuksina niistäkin voi olla haittaa.

4. PÄÄTELMIÄ

Pohjois-Suomen aurasalueiden heikkokuntoisten männynntaimien oletettuun fosforin puutokseen perusteluna hypoteesissa esitetty tekijä "humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset" pitänee osittain paikkansa Kuusikkolamurissa. Nimittäin orgaaninen ainesprosentti oli "tuplahumuksessa" pienempi kuin metsän humuksessa. Paitsi humuksen väheneminen syynä saattoi olla myös aurattaessa humukseen sekoittunut hiekka. Lisäksi palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa orgaaninen ainesprosentti oli pienempi kuin palteen alla olevassa ja metsän rikastumiskerroksessa. Humuksen kemiallisista muutoksista kertoi se, että helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli palteen alle jääneessä humuksessa pienempi kuin metsän humuksessa. Myös maassa olevan fosforin fraktiointi paljasti metsähumuksen ja "tuplahumuksen" välisiä eroja: helppoliukoista epäorgaanista fosforia sekä orgaanista fosforia oli "tuplahumuksessa" vähemmän kuin metsän humuksessa.

Fosforin fraktiointi osoitti, että rikastumiskerroksessa oleva vaikealiukoinen rauta- ja alumiiniyhdisteisiin sitoutunut fosfaatti, ns. sekundäärinen fosfori, sekä apatiittifosfori joutuu aurattaessa pintamaahan palteen päälle. Lisäksi fraktioinnissa

ja amorfisten metallien analysoinnissa saatiin viitteitä siitä, että oletettuun ravinnepuutokseen perusteluna esitetty toinenkin tekijä "vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa" pitänee tutkitussa tapauksessa paikkansa. Amorfista rautaa sekä rautayhdisteisiin sitoutunutta vaikealiukoista fosfaattia oli eniten palteen päällimmäisessä rikastumiskerroksessa.

Muutamit analyysitulokset Kuusikkolamurista kerätyistä maanäytteistä eivät riitä perusteluiksi heikkokuntoisten männynntaimien oletettuun ravinnepuutokseen. On mahdollista, että esimerkiksi aktiivisen maan mikrobiologisen toiminnan ja mykoritsojen ansiosta auras-palteilta kasvavat männynntaimet saavat sittenkin riittävästi fosfaattia mm. vaikealiukoisista epäorgaanisista fosforiyhdisteistä. Tutkimusta Pohjois-Suomen aurasalueiden männynntaimien epänormaalien kehityksen syistä on siksi laajennettava sekä alueellisesti että menetelmällisesti. On tutkittava kaikkia oletettuun fosforin puutokseen perusteluina hypoteesissa esitettyjä tekijöitä sekä niiden vaikutusta männynntaimien typpitalouteen. Lisäksi on selvitettävä ankaran ilmaston osuutta oletettuun ravinteiden puutokseen. Huomiota tulisi kiinnittää edellä mainittujen tekijöiden ohella muidenkin avohakkuun ja maanmuokkauksen seurauksena muuttuneiden kasvutekijöiden merkitykseen havaitussa ilmiössä. Vasta sitten selviää onnistuuko hypoteesin kumoaminen, vai onko hypoteesi hyväksyttävä teoriana.

KIRJALLISUUS

- BOLIN, B. & COOK, R.B. (eds.) 1983. The major biogeochemical cycles and their interactions. 532 s. Scope 21. John Wiley & Sons.
- BORIE, F. & BAREA, J.M. 1981. Ciclo del fosforo: I. Formas del elemento en los suelos y su disponibilidad para plantas y microorganismos. Summary: Phosphorus cycle: I. Forms of the element in soils and its availability to plants and microorganisms. Anal. Edaf. XL. 11-12:1855-2006.
- BYLUND, E., LINDERHOLM, H. & RUNE, O. (eds.) 1974. Ecological problems of the circumpolar area. 339 s. Luleå.
- CLARKSON, D.T. 1969. Metabolic aspects of aluminium toxicity and some possible mechanisms for resistance. Teoksessa Rorison, I. H. (ed.) 1969. Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Symp. Brit. Ecol. Soc. 9. ss. 381-397.
- HUURI, O. 1980. Juurten hienofosfaattikäsittelyn vaikutus männyn ja kuusen istutustaimien alkukehitykseen kivennäismailla. Summary: Effect of milled rock phosphate root coating on the initial development of Scots pine and Norway spruce transplants on mineral soils. Folia For. 445:1-25.
- KAILA, A. 1963. Phosphorus conditions at various depths in some mineral soils. J. Scient. Agric. Soc. Finl. 35:69-79.
- KINNUNEN, K. & LAURILA, I. 1983. Erilaisten männyntaimien juuriston ja verson alkukehitys karuhkolla moreenimaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 108:1-30.
- KINZEL, H. 1983. Influence of limestone silicates and soil pH on vegetation. Teoksessa Lange, O.L. ym. (eds.) 1983. Physiological plant ecology III. Responses to the chemical and biological environment. ss. 201-244.
- KUBIN, E. 1978. Intensiivisestä metsänkäsittelystä mahdollisesti aiheutuvat ravinnekierron häiriöt. Teoksessa Tahvanainen, J. (toim.) 1978. Seminaari modernin metsänkäsittelyn ja luonnon-talouden välisistä suhteista Mekrijärvellä 14.-16.6.1977. ss. 12-15.
- 1984. Työretkeilyn moniste. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusasema.

- LANGE, O.L., NOBEL, P.S., OSMOND, C.B. & ZIEGLER, H. (eds.) 1983. Physiological plant ecology III. Responses to the chemical and biological environment. Encyclopedia of plant physiology. New Series 12 c:1-799.
- LEIKOLA, M. & RIKALA, R. 1974. Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmaalla. Summary: The effect of fertilization on the initial development of pine and spruce in mineral soils. Folia For. 201:1-19.
- LÄHDE, E. & POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8:1-11.
- Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksesta vesistöihin. 1984. Pohjois-Karjalan vesipiirin vesitoimisto. 11 s. Joensuu. Moniste.
- MUTKA, K. & LÄHDE, E. 1977. Effect of soil treatment, liming and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 91.3:1-57.
- MÄLKÖNEN, E. 1983. Maan kunnostaminen metsänuudistamisessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 124:6-16.
- ODIN, H. 1974. Effects of clear cutting on climate factors. Teoksessa Bylund, E., Linderholm, H. & Rune, O. (eds.) 1974. Ecological problems of the circumpolar area. ss. 91-101.
- PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Commun. Inst. For. Fenn. 74.5:1-5.
- PALMGREN, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming. Folia For. 603:1-27.
- POHTILA, E. 1972. Istutuskuoppaan annetun kuparihienofosfaatin vaikutus männyn ja kuusen taimien elossapysymiseen ja pituuskasvuun eräällä kulotetulla ja auratulla uudistusalueella Koillis-Suomessa. Summary: Effect of fine-ground copper rock phosphate placed in the planting hole on the survival and height growth of Scots pine and Norway spruce in a burnt and furrowed reforestation area in North-East Finland. Silva Fenn. 6.1:14-24.

- POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91.4:1-98.
- RAITIO, H. 1978. Pääravinnelannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin karulla avosuolla. Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 7:1-8.
- RORISON, I.H. (ed.) 1969. Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. 484 s. Symp. Brit. Ecol. Soc. 9. London, Colchester. Spottiswoode, Ballantyne and Co. Ltd.
- STARR, M., LEVULA, T. & HEIKKILÄ, R. 1982. Männyn ja kuusen taimien alkukehitys muokkaus- ja lannoituskokeilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 51:1-16.
- TAHVANAINEN, J. (toim.) 1978. Seminaari modernin metsänkäsittelyn ja luonnontalouden välisistä suhteista Mekrijärvellä 14.-16.6. 1977. Joensuun korkeakoulu. Karjalan tutkimuslaitoksen julkaisuja 29:1-24.
- TIKKANEN, E. & RAITIO, H. 1984. Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja oletamus sen syystä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 165:1-27.
- VITOUSEK, P.M. 1983. The effects of deforestation on air, soil and water. Teoksessa Bolin, B. & Cook, R.B. (eds.) 1983. The major biogeochemical cycles and their interactions. ss. 223-245.
- VOSS-LAGERLUND, K. 1976. Effects of soil preparation on the bacterial population in forest soil. Seloste: Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus metsämaan mikrobistoon. Commun. Inst. For. Fenn. 86.7: 1-35.

Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot:

- N:o 1. Metsänviljelytutkimuksen työryhmän retkeily Pohjois-Suomessa. 1970.
- N:o 2. Rovaniemen tutkimusaseman alustus- ja keskustelupäivillä pidetyt esitelmät. 1971.
- N:o 3. Tiedotustilaisuuden esitykset v. 1972.
- N:o 4. Kullervo Etholén ja Erkki Lähde. "Lapin männyn" kävyn koko. 1972.
- N:o 5. Tiedotustilaisuuden esitykset v. 1973. 1973.
- N:o 6. Tiedotustilaisuuden esitykset v. 1974. 1974.
- N:o 7. Erkki Lähde. Männyn taimistojen kunto ja maan lajitekoostumus. 1974.
- N:o 8. Erkki Lähde ja Tapani Pohjola. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen alkukehitykseen. 1975.
- N:o 9. Kullervo Etholén. Kulotustekniikka. 1975.
- N:o 10. Eljas Pohtila. Alustavia tuloksia taimistonhoitokeista. 1975.
- N:o 11. Timo Helle. Porojen talvilaitumista havumetsävyöhykkeessä. Olli Saastamoinen. Hakkuutyömais-ta porojen ravintolähteenä vuoden 1974 kevättalvella. 1975.
- N:o 12. Timo Helle ja Olli Saastamoinen. Porojen laitumet ja lisäruokinta talvella 1974—1975. 1976.
- N:o 13. Teuvo Levula. Urean levitysjankohdasta Pohjois-Suomessa. 1976.
- N:o 14. Kullervo Etholén. Vaahtokäsittelyn käyttömahdollisuudet ja vesakkojen paljasversoruiskutus. 1976.
- N:o 15. Olli Saastamoinen. Näkökohtia Saariselän puuntuotannollisesta merkityksestä. 1976.
- N:o 16. Olli Saastamoinen. Havaintoja marjastuksen ja sienestyksen taloudesta. 1978.
- N:o 17. Jyrki Raulo ja Erkki Lähde. Rauduskoivun suojakylvö Lapissa. 1979.
- N:o 18. Teuvo Levula ja Risto Heikkilä. Maankäsittelyn vaikutus männyntaimien alkukehitykseen Lapissa. 1979.
- N:o 19. Mikko Hyppönen. Harvennuksen voimakkuuden vaikutus kasvatuksen liiketaloudelliseen edulli-suuteen peräpohjolisessa männikössä. 1979.
- N:o 20. Leevi Lohi, Erkki Lähde ja Pentti Roiko-Jokela. Pintakasvillisuuden, maan ja puuston välisistä suh-teista Ounasvaaralla. 1979.
- N:o 21. Olli Saastamoinen (toim.). Soiden marjatalous. 1979.
- N:o 22. Erkki Lähde ja Tapani Vartiainen. Männyn hajakylvökoe helikopterilla. 1980.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot:

- N:o 6. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1981.
- N:o 35. Päivi Hänninen. Sammalen kemiallinen torjunta taimitarhalla. 1982.
- N:o 58. Pohjois-Lapin metsät. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1982.
- N:o 65. Yrjö Norokorpi ja Pentti Sepponen (toim.). Kilpisjärven alueen maankäytön yleissuunnitelma. 1982.
- N:o 71. Päivi Hänninen. Alustavia päätelmiä kiviviillan käytöstä männyntaimen kasvualustana muovihuo-neessa. 1982.
- N:o 77. Pohjois-Lapin metsien uudistaminen. 1982.
- N:o 95. Jarmo Nieminen. Varttuneet kontortametsiköt Kivalon kokeilualueella. 1983.
- N:o 105. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983.
- N:o 148. Pentti Sepponen, Vuokko Pitkänen ja Helena Poikajärvi (toim.). Metsien kasvupaikkaluokitus. Met-säntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984.
- N:o 157. Erkki Kaila ja Markku Taipale. TUTKA-tiedonhallinta ohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.
- N:o 165. Eero Tikkanen ja Hannu Raitio. Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimien epänormaali ke-hitys ja oletamus sen syystä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland. 1984.

ISBN 951-40-0919-3
ISSN 0358-4283