

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 165

ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA



POHJOIS-SUOMEN AURASALUEIDEN MÄNNYNTAIMIEN EPÄNORMAALI KEHITYS JA OLETTAMUS SEN SYYSTÄ

Eero Tikkanen ja Hannu Raitio

SUMMARY

A HYPOTHESIS ON THE CAUSE OF ABNORMAL DEVELOPMENT
OF SCOTS PINE SAPPLINGS ON PLOUGHED SITES
IN NORTHERN FINLAND

Rovaniemi 1984

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Kansikuva: Tyypillinen heikkokuntoinen aurasalueen männyntaimi Pelkosenniemen Jauratsinselällä.
(Kuva E. Tikkanen)

Cover photo: A typical weakened pine sapling on a ploughed site of Jauratsinselkä in Pelkosenniemi.
(Photo by E. Tikkanen)

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 165
ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

POHJOIS-SUOMEN AURASALUEIDEN MÄNNYNTAIMIEN
EPÄNORMAALI KEHITYS JA OLETTAMUS SEN SYYSTÄ

Eero Tikkanen ja Hannu Raitio

SUMMARY

A HYPOTHESIS ON THE CAUSE OF ABNORMAL DEVELOPMENT
OF SCOTS PINE SAPLINGS ON PLOUGHED SITES
IN NORTHERN FINLAND

Rovaniemi 1984

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

THE BORDER LINES OF OBJECTIVE KNOWLEDGE

According to Popper (1972), objective knowledge is gained in three steps:

1. Formation of a hypothesis on the base of all knowledge, data and observations available
2. Attempts to falsify this hypothesis by collecting observations and data and by making experiments
3. If the falsification fails and no further observation, measurement or experiment can be thought of to falsify the hypothesis, the hypothesis is accepted as a theory

OBJEKTIIVISEN TIEDON RAJAVIIIVAT

Popperin (1972) mukaan objektiivista tietoa saadaan kolmessa vaiheessa:

1. Muodostetaan hypoteesi kaiken saatavissa olevan tiedon, tieteellisen materiaalin ja havaintojen pohjalta
2. Yritetään kumota tämä hypoteesi keräämällä havaintoja ja tieteellistä materiaalia sekä tekemällä kokeita
3. Jollei hypoteesin kumoaminen onnistu eikä minkään lisähavainnon, mittauksen tai kokeen voida ajatella kumoavan hypoteesia, hypoteesi hyväksytään teorian

TIKKANEN, E. & RAITIO, H. 1984. Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettaus sen syystä.

Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland.

Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimissa on paikoin havaittu suotuisan alkukehityksen jälkeen, 10 - 15 vuoden kuluttua viljelystä voimakasta pituuskasvun ja kunnan heikkenemistä sekä nopeaa kuolemissa etenkin talvisin. Luonteenomaisia piirteitä taimissa ovat rungon ja oksien hentous, mutkaisuus sekä heikko puutuneisuus. Tyypillistä on myös neulasten lyhyys ja neulasvuosikertojen vähyys. Lisäksi taimissa on runsaasti lumen aiheuttamia mekaanisia vaurioita sekä erilaisia tauteja, mm. versosyöpää, versoruostetta ja karistetatauteja.

Oireiden ja neulasten alustavien ravinneanalyysitulosten perusteella taimien epänormaalin kehityksen syyksi oletetaan typen ja etenkin fosforin puutos. Ravinteiden puutosta tehostaa ilmaston ankaruus.

Männyntaimien fosforitaloutta ovat voineet heikentää mm. humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset, vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa, maan mikrobiologisen aktiivisuuden heikkeneminen, juuristojen huono kunto sekä ravinteiden huuhtoutuminen ja niiden sitoutuminen maata happamoittavaan pintakasvillisuuteen.

After their good initial development, pine saplings showed retarded height growth and weakening condition here and there on ploughed areas in Northern Finland 10-15 years after planting. This has led to rapid death especially in the winter. The saplings were characterized by tender and curvy stems and branches and poor lignification. Typical were also short needles and few annual needle crops. Saplings also suffered from mechanical snow damage and various diseases such as dieback and canker fungus of pines, pine twisting rust and pine needle cast fungus.

Preliminary foliar nutrient analyses and symptoms suggest that nitrogen and particularly phosphorus deficiency damaged pine saplings. Severe climatic conditions intensify the deficiency.

Some of the most important factors causing phosphorus deficiency in saplings are perhaps a decrease in humus and chemical changes in it, an increase in poorly soluble phosphorus compounds in soil, the weakening of soil microbiological activity, the poor condition of roots and nutrient leaching and fixation to the soil acidifying ground vegetation.

SISÄLLYS

	sivu
1. Johdanto.....	6
2. Ilmiön kuvaus	6
3. Taimien kuoleminen 1960-luvulla	7
4. Olettamus ilmiön syystä	8
5. Fosfori kasviravinteena	13
6. Perustelut fosforin puutokseen.....	14
61. Humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset....	14
62. Vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa.....	15
63. Maan mikrobiologisen aktiivisuuden heikkeneminen.....	16
64. Juuristojen huono kunto.....	17
65. Ravinteiden sitoutuminen maata happamoittavaan pintakasvillisuuteen.....	17
66. Ravinteiden huuhtoutuminen.....	19
7. Kooste.....	19
Summary	21
Kirjallisuus - Literature	23

1. JOHDANTO

Pohjois-Suomen metsiä on uudistettu 1950-luvulta lähtien viljelemällä avohakkuun jälkeen aluksi kulotusta ja myöhemmin maanmuokkausta hyväksi käyttäen. Muokkaustavoista auras yleistyi 1960-luvulla (Pohjola & Pohjola 1983). 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 voimakasta pituuskasvun heikkenemistä ja nopeaa kuolemista. Tässä työssä kuvataan mainittua ilmiötä ja esitetään olettamus sen syystä. Huomattakoon, että saman näköisiä heikkokuntoisia männyntaimia on muillakin tavoin muokatuilla sekä muokkaamattomilla ja kuletetuilla avohakkuualoilla. Ilmiötä tavataan myös luonnon oloissa karsuimmilla kasvupaikoilla.

Tämä tutkimus liittyy vuoden 1984 työohjelman aiheisiin MH010-005, MH060-030 ja MH040-051.

Kiitämme professori Erkki Lähdeä, dosentti Helinä Hartikaista, MMT Olavi Laihoa, professori Matti Leikolaa, MMT Yrjö Norokorpea, MMT Eljas Pohtilaa, vt. apulaisprofessori Helvi Heinonen-Tanskia sekä MML Jukka Valtasta, jotka ovat lukeneet käsikirjoituksen ja tehneet siihen huomioon otettuja korjausehdotuksia. Kiitämme myös valantehnyttä kielenkääntäjää FM Leena Kaunistoa englanninkielisten tekstinosien tarkastamisesta sekä yo-merkonomi Tuire Kilposta työn konekirjoituksesta.

2. ILMIÖN KUVAUS

Ilmiölle on ominaista suotuisan alkukehityksen jälkeen taimien voimakas pituuskasvun ja kunnan heikkeneminen sekä nopea kuoleminen, etenkin talvisin. Pahimmillaan kuolema seuraa 2-3 vuodessa oireiden ilmaantumisesta. Tilanne on kriittinen pian sen jälkeen kun taimet ovat kasvaneet hankirajan yläpuolelle. Muodoltaan taimet ovat enimmäkseen normaaleja, mutta paikoin niissä on todettavissa latvakatoja ja apikaalidominanssin heikkenemistä. Luonteenomaisia piirteitä ovat rungon ja oksien hentous, mutkaisuus sekä heikko puutuneisuus. Tyypillistä on myös neulasten lyhyys ja neulasvuosikertojen vähyys - vain 2-3 vuosikertaa (kansikuva). Neulasten pituuskasvun muutos tapahtuu nopeasti ja usein samanaikaisesti taimien pituuskasvun hidastuessa.

Muodoltaan neulasen neulasen ovat normaaleja, mutta värinmuutoksia niissä voi havaita vuodenaikasta riippuen. Lisäksi taimissa on runsaasti lumen aiheuttamia mekaanisia vaurioita sekä erilaisia tauteja, mm. versosyöpää, versoruostetta ja karistetauteja. Korostettakoon, että Pohjois-Suomen metsänviljelyalueiden männyntaimissa on muunkin tyyppisiä häiriöitä, jotka muistuttavat Raition ja Rantalan (1977) sekä Raition (1983a) kuvaamia kasvuhäiriöitä.

3. TAIMIEN KUOLEMINEN 1960-LUVULLA

Kulutus oli vallitseva metsänviljelyalueiden maankäsittelymenetelmä 1950-luvulla. Kylvöä ja istutusta edeltävä maanpinnan rikkominen yleistyi nopeasti 1950- ja 1960-luvun vaihteesta lähtien. Maanpintaa rikottiin aluksi laikuttamalla. Laikutuksella haluttiin valmistaa sopiva itämisalusta ja sen uskottiin varsinkin hyvin vettä läpäisevillä mailla parantavan uudistumisen onnistumista (Mälkönen 1976).

Avohakatuilla ja kulotetuilla tai laikutetuilla 1950-luvun viljelyalueilla havaittiin Pohjois-Suomessa 1960-luvun loppupuolella männyn- taimien kuolemista. Erityisesti tiiviillä ja kosteilla, kuusta kasvaneilla moreenimailla 1-2 metrin pituisissa männyntaimissa ja niiden neulasissa ilmeni voimakasta pituuskasvun heikkenemistä ja neulasissa värinmuutoksia, jotka alkoivat kärkien kellertymisenä ja johtivat neulasten ruskettumiseen sekä taimien nopeaan kuolemaan. Pääasiallisiksi tuhojen aiheuttajaksi silloin arveltiin männynversosyöpää (Valtanen 1970). Norokorpi (1971) päätteli mm. Eichen (1966) tutkimusten perusteella lumen ja pakkasen aiheuttamien mekaanisten vaurioiden altistaneen heikkokuntoiset taimet männynversosyöväälle. Merkittävimiksi syiksi taimien heikkouteen katsottiin juuristojen huono kunto ja siihen liittyen maan tiiviys sekä heikko vesi- ja happitalous (Lähde 1971, 1973). Huomattakoon vielä, että tuolloin usein käytettiin pohjoisiin oloihin sopimattomia taimialkuperiä.

Parempien viljelytulosten saamiseksi metsäaurauksen käyttö maankäsittelymenetelmänä yleistyi 1960-luvun loppupuolella. Mäntyä viljeltiin aluksi lähinnä vain aurasjälkiin syntyneille pientareille. Koska taimien kasvu pientareilla ei ollut tyydyttävää, alettiin viljely tehdä palteisiin siellä, missä palteet olivat riittävän hyviä.

Myös auran rakennetta muutettiin siten, että saatiin paremmat palteet - kehitettiin ns. palleaura (Valtanen 1984).

Nyt, kun 1960-luvun loppupuolella ja 1970-luvun alkupuolella tehdyistä viljelyistä on kulunut 10-15 vuotta ja aurasalueiden männyntaimet ovat kasvaneet 1-3 metrin pituisiksi, niissä on paikoin havaittu aiemmin mainittua voimakasta pituuskasvun ja kunnon heikkenemistä sekä nopeaa kuolemista. Ko. ilmiössä on yhtäläisyyttä Valtasen (1970) kuvaamaan viljellyissä männyntaimissa 1960-luvulla havaittuun ilmiöön (kuvat 1 ja 2).

4. OLETTAMUS ILMIÖN SYYSTÄ

Ilmiön oireisto viittaa typen ja etenkin fosforin puutokseen. Koska fosfori on tärkeä kasvien energia-aineenvaihduntaan vaikuttava alkua-aine, sen puute yleensä johtaa kasvien kunnon ja kasvun heikkenemiseen sekä pahimmillaan nopeaan kuolemaan varsinkin ankarissa ilmasto-oloissa. Tyypillisiä fosforin puutosoireita havupuilla ovat kääpiökasvuisuus sekä rungon ja oksien hentous ja siihen liittyvä mutkaisuus. Muiksi oireiksi mainitaan poikkeuksellisen lyhyet neulaset ja 1-vuotiaiden neulasten kärjistä alkava kuivuminen, joka ilmestyy taimiin useimmiten keväällä ja näyttää alkavan neulasten kärkien punertumisena. Pahimmissa tapauksissa nekroosi käsittää edellisen vuoden koko latvakasvaimen ja uudet silmut, jolloin seurauksena on ns. latvakato. Ilmiön on osoitettu johtuvan taimien kevät-paleltumisesta (Baule & Fricker 1967, Reinikainen 1967, 1968, 1983, Binns ym. 1980, Raitio 1981). Meikäläisillä puulajeilla fosforin puute ilmenee Reinikaisen (1983) mukaan varsinaisina oireina vasta, kun puutetila hyvin selvästi rajoittaa kasvua.

Paitsi oireisto, niin myös neulasten alustavat ravinneanalyysitulokset tukevat olettamusta ravinteiden puutoksesta. Taulukossa 1 esitetään ravinneanalyysien tulokset Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkolamurista ja Tuiskukivalosta aurasalueiden männyntaimista syksyllä 1983 kerätyistä nuorimmista neulasista. Suurin osa Kuusikkolamuriin viljelyistä kennoissa ja turveruukuissa kasvatetuista männyntaimista on kuollut, ja elävissä taimissa esiintyy tässä työssä kuvattua ilmiötä. Tuiskukivaloon viljellyistä paljasjuurisista männyntaimista on kuollut vähemmän, ja osalla elävistä taimista kasvu on epänormaalia. Taulukossa 1 esitetään neulasten ravinneanalyysien tulokset lisäksi



Kuva 1. Vuonna 1958 Posion Susivaaraan laikkuihin istutettuja mäntyntaimia syksyllä 1968. (Kuva J. Valtanen)

Figure 1. Pine saplings planted on spots in 1958 on Susivaara Hill in Posio in the autumn of 1968. (Photo by J. Valtanen)



Kuva 2. Vuonna 1975 Rovaniemen maalaiskunnan Tuuskivaloon palteille istutettuja mäntyntaimia heikkokuntoisina syksyllä 1984. (Kuva E.Tikkanen)

Figure 2. Pine saplings planted on ridges at Tuuskivalo in the Rovaniemi Rural Commune in 1975. Photo dates back to the autumn of 1984 when some of the saplings were in poor condition. (Photo by E. Tikkanen)

Rovaniemen maalaiskunnan Palolamurista kuusikon ja metsäautotien välisellä kapealla kaistaleavoalalla muokkaamattomassa maassa kasvavista luontaisista, normaalin näköisistä männyntaimista. Paikka on noin kahdeksan kilometriä Kuusikkolamurista länteen.

Taulukko 1. Rovaniemen maalaiskunnan Kuusikkolamurista (20 näytettä) ja Tuiskukivalosta (7 näytettä) sekä Palolamurista (6 näytettä) syksyllä 1983 kerättyjen nuorimpien neulasten ravinnepitoisuudet.

Table 1. Nutrient content of the youngest needles collected at Kuusikkolamuri (20 samples), Tuiskukivalo (7 samples) and Palolamuri (6 samples) in the Rovaniemi Rural Commune in the autumn of 1983.

Analysoitu ravinne Analysed nutrient Näytealue Area	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	B ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Al ppm
Kuusikkolamuri \bar{x}	1,29	1,32	4,74	2,32	0,89	41,0	16,0	4,39	40,6	644	349
min	1,10	1,16	3,80	1,69	0,71	30,6	9,8	3,07	29,6	340	242
max	1,47	1,58	5,98	3,26	1,17	51,0	28,2	6,46	55,0	848	527
Tuiskukivalo \bar{x}	1,08	1,23	5,53	1,93	0,73	25,9	12,1	3,55	43,5	396	242
min	0,98	1,08	4,62	1,18	0,55	20,5	6,5	2,39	36,9	308	171
max	1,20	1,39	7,17	2,76	0,99	30,8	18,7	5,45	48,0	512	474
Palolamuri \bar{x}	1,21	1,64	5,30	1,90	0,83	48,8	12,7	4,71	47,3	613	264
min	1,05	1,38	4,41	1,43	0,75	40,8	10,6	3,75	32,8	441	123
max	1,38	1,93	6,11	2,39	0,89	61,1	15,5	5,77	56,6	883	442

Riittävän näytemäärän saamiseksi jouduttiin neulasia keräämään eritoten Kuusikkolamurista parhaista puista, sillä neulasten ravinteet analysoitiin puuyksilöittäin. Mainittakoon, että Kuusikkolamurista kevättalvella 1984 kerätyissä neulasissa ravinnepitoisuudet olivat lähes samaa tasoa kuin syksyllä 1983 kerätyissä.

Taulukossa 2 esitetään Kuusikkolamurin ja Tuiskukivalon viljelyalueiden sekä Palolamurin sijainti, alkuperäinen metsätyyppi, maalaji, hakkuuvuosi, avoalan koko, maankäsittelymenetelmä, viljelytapa, viljelyvuosi sekä taimilaji ja alkuperä.

Taulukko 2. Viljelyalueiden ja Palolamurin tärkeimpiä tunnuksia.

Table 2. The most important characteristics of the cultivation areas and Palolamuri.

Näytealue Area Tunnus Characteristic	Kuusikkolamuri	Tuiskukivalo	Palolamuri
Paikkakunta Location	Rovaniemen maalaiskunta The Rovaniemi Rural Commune	Rovaniemen maalaiskunta The Rovaniemi Rural Commune	Rovaniemen maalaiskunta The Rovaniemi Rural Commune
Koordinaatit Coordinates	N 66 ⁰ 20' E 25 ⁰ 40'	N 66 ⁰ 12' E 26 ⁰ 00'	N 66 ⁰ 20' E 25 ⁰ 30'
Korkeus m mpy Altitude m	210	195	165
Metsätyyppi Forest site type	EMT	EMT	EMT
Maalaji Soil type	hietamoreeni fine sand moraine	hiekkamoreeni sand moraine	hietamoreeni fine sand moraine
Hakkuuvuosi Felling year	1971	1972-73	-
Avoalan koko ha Area clear- felled ha	50	50	-
Maankäsittely- menetelmä Soil preparation method	piennarauraus shoulder ploughing	palleauraus tilt ploughing	muokkaamaton unprepared
Viljelytapa Cultivation method	istutus planting	istutus planting	-
Viljelyvuosi Cultivation year	1972	1975-77	-
Taimilaji Sapling type	kennoissa ja turveruu- kuissa kasvatettu taimi paper and peat-pot seedlings	paljasjuurinen taimi bare-rooted seedling	-
Alkuperä Provenance	Meltaus	Kemijoki	-

Analyysitulosten mukaan aurasalueiden männyntaimien neulasten pää-ravinnepitoisuudet, erityisesti fosforipitoisuudet ovat kirjallisuudessa esitettyjen puutosrajojen alapuolella. Esimerkiksi Paarlahti ym. (1971) ovat esittäneet puutosrajoiksi turvemaille typelle 1,3 %, fosforille 1,4 ‰ ja kaliumille 3,5 ‰. Myös Raitio (1978) on esittänyt samansuuntaiset raja-arvot. Aaltonen (1950) on tutkinut eri puulajien neulasten ja lehtien pää-ravinnepitoisuuksia puolukka- ja mustikkatyypin metsissä. Hänen analyysitulostensa mukaan männyn neulasten typpipitoisuus vaihteli keskimäärin 1,33-1,39 %:iin, fosforipitoisuus 1,57-1,61 ‰:een, kaliumpitoisuus 5,8-6,1 ‰:een, kalsiumpitoisuus 2,36-2,43 ‰:een ja magnesiumpitoisuus 1,33-1,50 ‰:een. Norokorpi (1977) on esittänyt ravinneanalyysituloksia muutamista Pohjois-Suomen typpilannoitetuista kivennäismaiden männiköistä. Terveissä puissa neulasten ravinnepitoisuudet vaihtelivat seuraavasti: typpi 1,48-1,83 %:iin, fosfori 1,5-1,8 ‰:een ja kalium 5,0-6,4 ‰:een. Viron (1955) keräämässä aineistossa neulasten ravinnepitoisuudet olivat seuraavat: typpi 1,64 %, fosfori 1,8 ‰, kalium 4,5 ‰, kalsium 3,2 ‰ ja magnesium 1,77 ‰. Edellä esitetyt kivennäismaiden mäntyjen neulasten typpi- ja eritoten fosforipitoisuudet ovat selvästi Kuusikkolamurin ja Tuiskukivalon arvoja korkeammat. Sen sijaan Palolamurissa kasvavissa luonnontaimissa neulasten fosforiarvot ovat kivennäismaiden normaalitasoa, mikä samalla tukee esitettyä olettamusta. Huomattakoon, että häiriöalueiden taimissa neulasten magnesiumpitoisuudet ovat kirjallisuudessa mainittuja arvoja alhaisemmat. Kuitenkin ne ovat samaa suuruusluokkaa kuin Palolamurin taimissa.

Tämän työn ravinneanalyysit on tehty Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla.

5. FOSFORI KASVIRAVINTEENA

Fosforia on kaikissa kasvisoluissa nukleiinihappojen ja lipidien sekä joidenkin hiilihydraattien rakenneosana. Nukleiinihappojen lisäksi fosforin suuri merkitys korostuu energian varastointiin ja siirtämiseen liittyvissä tapahtumissa. Fotosynteettinen fosforylaatio tuottaa runsasenergisiä yhdisteitä, joista merkittävin on adensiinitrifosfaatti (ATP). Kasveilla ATP toimii välittömänä energian siirtäjänä.

Siksi fosforin puute heijastuu kasvien koko aineenvaihduntaan (Halstead ja McKercher 1975).

Maassa fosforia on sekä epäorgaanisessa että orgaanisessa muodossa. Orgaanisen fosforin määrä vaihtelee 15-80 %:iin maan kokonaisfosforista. Suurin osa maan orgaanisesta fosforista on inositolifosfaatteina, osa on fytiininä, osa nukleiinihappoina ja vähän fosfatideina. Orgaaninen fosfori on kasvien käytettävissä mikro-organismien välityksellä. Epäorgaanisen fosforin muotoja ovat primäärinen apatiitin fosfori sekä pääosaksi rauta- ja alumiiniyhdisteisiin sitoutunut sekundäärinen fosfori. Epäorgaanisten fosforimuotojen mobilisoituminen kasvien käyttöön edellyttää sekin mikro-organismien toimintaa (Alexander 1977, Amberger 1979, Mengel 1979, Mengel & Kirkby 1979). Kasvit ottavat fosforin maasta fosfaatti-anionina. Otto on aktiivista, energiaa vaativaa (Raitio 1983b).

6. PERUSTELUT FOSFORIN PUUTOKSEEN

Auraisalueiden männyntaimien fosforitaloutta ovat voineet heikentää mm. seuraavat tekijät:

- (1) humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset,
- (2) vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa,
- (3) maan mikrobiologisen aktiivisuuden heikkeneminen,
- (4) juuristojen huono kunto,
- (5) ravinteiden sitoutuminen maata happamoittavaan pintakasvillisuuteen ja
- (6) ravinteiden huuhtoutuminen.

61. Humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset

Pohjois-Suomen kuivilla ja kuivahkoilla kankailla humuksen muodostuminen ja hajoaminen on luonnontilaisissa oloissa hidasta. Jo pelkkä avohakkuu, mutta eritoten voimaperäinen muokkaus mahdollisesti kiihdyttää ainakin alussa humuksen hajoamista. Tämä johtanee fosforin ja typen, mutta myös muiden ravinteiden orgaanisten varastojen vähenemiseen. Tilannetta voi pahentaa aurattujen avohakkuualueiden tärkeimpien ravinteita sitovien ja

hyvälaatuista kariketta sekä humusta muodostavien kasvilajien - lähinnä koivun - torjuminen. Humuksen väheneminen ja siinä mahdollisesti tapahtuvat kemialliset muutokset saattavat vaikuttaa aurasalueilla kasvavien taimien elossaoloon. Tätä käsitystä tukee se, että 1970-luvun alussa männyn viljelytaimikoissa humuskerros oli kuolleiden taimien kasvupaikoilla ohuempi kuin huono- ja hyväkuntoisten taimien kasvupaikoilla (Lähde & Siltanen 1973). Käsitystä tukee sekin, että pientareilla, mistä humus puuttuu lähes kokonaan, taimet menestyivät heikommin kuin palteilla (Valtinen 1970). Myös palteiden alla oleva humus - ns. "tuplahumus" - todennäköisesti hajoaa, painuu kasaan ja muuttuu kemiallisesti verraten nopeasti. Humuksen väheneminen ja muuttuminen aurasalueilla johtanee moniin taimien ravinnetalouden häiriöihin. Alussa fosforin puutos näyttäisi korostuvan mm. fosfaatti-anionin kemiallisten ominaisuuksien sekä ravinteen keskeisen energiataloudellisen merkityksen vuoksi.

62. Vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa

Kailan (1963) tutkimuksen mukaan epäorgaanista fosforia oli eniten podsoliprofiilin rikastumiskerroksessa ja perusmaassa, huomattavasti vähemmän humuskerroksessa ja vähiten huuhtoutumiskerroksessa. Pääosa rikastumiskerroksen fosforista oli rauta- ja alumiiniyhdisteisiin sitoutuneena fosfaattina ja perusmaan fosforista kalsiumfosfaattina. Samoissa tutkimuksissa rikastumiskerroksesta mitattiin selvästi korkeimmat liukoisen raudan ja alumiinin pitoisuudet.

Auraspalteilla rikastumiskerros on päällimmäisenä ja huuhtoutumiskerros sen alla. Kerrokset voivat myös olla sekoittuneina keskenään. Rikastumis- ja huuhtoutumiskerroksen alla ovat "tuplahumus" sekä alkuperäinen podsoli. Palteilla kasvavien taimien juuret ovat aluksi rikastumiskerroksessa, jossa Kailan (1963) tuloksista päätellen suurin osa epäorgaanisesta fosforista on vaikealiukoista rauta- ja alumiiniyhdisteiden sitomaa fosfaattia. Tutkimuksessa ei määritetty maakerrosten liukoista epäorgaanista eikä orgaanista fosforia. Kubinin (1983) HMT-kuusikosta tekemät mittaukset osoittavat liukoisen fosforin osuuden kokonaisfosforista olleen suurin humuksessa. Siitä päätellen avohakkuun ja

aurauksen jälkeen liukoista fosforia riittänee ainakin alkuvaiheessa, mutta myöhemmin aurasjälkien välipinnoilla olevan humuksen ja "tuplahumuksen" mahdollisesti hajotessa ja muuttuessa kemiallisesti kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä saattaa vähentyä. Huomattakoon vielä, että aurasalueilla varsinkin palteiden päällimmäisessä rikastumiskerroksessa olevat metalli-ionit voivat maan happamoituessa sitoa orgaanisesta aineksesta mobilisoituvaa fosforia vaikealiukoiseen muotoon (Troedsson & Nykvist 1973). Näin ollen, vaikkei fosforin kokonaismäärä maassa avohakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen vähenisikään, niin vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen ja liukoisten epäorgaanisten sekä orgaanisten fosforiyhdisteiden väheneminen saattaa rajoittaa taimien fosforin saantia.

63. Maan mikrobiologisen aktiivisuuden heikkeneminen

Mykoritsat ottavat maasta mm. vaikealiukoisia epäorgaanisia fosforiyhdisteitä sekä orgaanista fosforia, jota ne mineralisoivat isäntäkasvien käyttöön (Alexander 1977, Kelly ym. 1983). Muutkin etenkin juurten pinnoilla elävät mikro-organismit käyttävät epäorgaanista fosforia ravintonaan, jolloin epäorgaaninen fosfori muuttuu orgaaniseen muotoon. Osan ylijäävästä vaikealiukoisesta epäorgaanisesta fosforista ne vapauttavat fosfaattina. Kuvatunlainen mikro-organismien toiminta koskee ainakin trikalsiumfosfaattia eli apatiitin fosforia sekä rauta-, alumiini-, magnesium- ja mangaanifosfaattia (Alexander 1977, Amberger 1979). Tähän liuotustoimintaansa useat mikro-organismit tarvitsivat orgaanisia aineita. Daltonin ym. (1952) sekä Bradleyyn ja Sielingin (1953) mukaan mikro-organismit hajottavat siten maassa olevia hiilihydraatteja, jolloin vapautuu mm. sokereita ja orgaanisia happoja. Monet sokerit, esim. glukoosi, fruktoosi, galaktoosi ja maltoosi sekä orgaaniset hapot, esim. sitruunahappo, viinihappo, oksaalihappo ja askorbiinihappo reagoivat mm. raudan ja alumiinin kanssa muodostaen organometallimolekyylejä tai -ioneja. Tällöin metallien sitoma fosfaatti vapautuu. Dalton ym. (1952) pitivät tätä kasvien keinona turvata käyttökelpoisen fosforin saanti.

Ilmaston ja maaperän kasvutekijöiden äärevöityminen, humuksen mahdollinen väheneminen ja muuttuminen, maan tiivistyminen aurasjäljissä sekä muut vastaavat muutokset voivat ajan myötä heikentää

maan mikrobiologista aktiivisuutta aurasalueilla. Tämän seurauksena fosforin mobilisoituminen saattaa hidastua ja männyntaimien fosforitalous heikentyä.

64. Juuristojen huono kunto

Jollei aurasalueiden männyntaimilla ole käytettävissä riittävästi runsasenergisiä yhdisteitä, ne eivät kykene tuottamaan kylliksi hiilihydraatteja juurten eikä etenkin mykoritsojen kasvuun. Tällöin juuristojen kunto heikkenee ja sen seurauksena fosforin saaminen kuin muidenkin ravinteiden otto vaikeutuu. Yksistään juurten fosforin tarve tiedetään kaikilla kasveilla varsin suureksi (Mengel & Kirkby 1979).

Avohakkuun, aurauksen ja maan pH-muutosten seurauksena metallien liukoisuus maassa voi kasvaa. Sekin saattaa rajoittaa männyntaimien ravinteiden ottoa, sillä suurina pitoisuuksina metalli-ionit vaurioittavat etenkin juurten kärkien meristemaattisia soluja (Clarkson 1969, Abrahamsen & Tveite 1983). Esimerkiksi alumiinin myrkyllisyys ilmenee ensin kasvien juurissa ja muistuttaa maanpäällisissä osissa fosforin puutosoireita (Foy 1974, Bergmann & Neubert 1976, Woolhouse 1983).

Maan tiivistyminen esim. orgaanisen aineksen hajotessa, suuri kosteus-kuivuusvaihtelu, suuri lämpötilavaihtelu ym. muutokset maan fysikaalisissa kasvutekijöissä voivat myös heikentää aurasalueilla kasvavien taimien juuristoja. Kennoissa kasvatetuilla taimilla saattaa lisäksi hitaasti hajoava kennojen seinämateriaali ja moinen samassa kennossa kasvavien taimien keskinäinen kilpailu vaikuttaa juuristoihin ja ravinteiden ottoon haitallisesti.

65. Ravinteiden sitoutuminen maata happamoittavaan pintakasvillisuuteen

Peräpohjolan ja Metsälapin kuivien ja kuivahkojen kankaiden metsätyyppien kasvilajistoon kuuluu mm. kanerva. Muita kenttäkerroksen lajeja ovat mustikka, variksenmarja, juolukka ja puolukka. Puiden tapaan mainitut lajit pystyvät mykoritsansa avulla turvaamaan kyseisillä metsätyypeillä ravinteiden riittävän saannin.

Uudistettaessa metsiä viljellen avohakkuuta ja aurausta hyväksi käyttäen äärevöitetään maaperän ja ilmaston kasvutekijöitä sitä voimakkaammin mitä karummilla kasvupaikoilla ja mitä ankarammissa ilmasto-oloissa toimitaan. Mahdollinen humuksen väheneminen ja muuttuminen, maan happamoituminen sekä ravinteiden sitoutuminen vaikealiukoiseen muotoon tai huuhtoutuminen köyhdyttää kasvupaikoja. Mm. Vaccinium-suvun lajien peittävyys näyttää pienenevän ja rakenteeltaan niitä kseromorfisemmat sekä tehokkaaman "ericoidea"-tyyppisen endomykoritsan omaavat lajit, lähinnä kanerva ja variksenmarja, näyttävät usein leviävän. Readin (1983) mukaan kanerva tulee mykoritsansa ansiosta toimeen happamassa maassa ja pystyy tehokkaasti käyttämään hyväkseen siinä olevia orgaanisia typpi- ja fosforivaroja. Näin kanerva sitoo etenkin maanalaisiin osiinsa runsaasti ravinteita.

Kanerva ja variksenmarja muodostavat hapanta ja niukkaravinteista kariketta. Maan happamoitumisen seurauksena mm. metallien liukoisuus maassa lisääntyy ja fosforin sitoutumislujuus kasvaa. Hapan-sateen vaikutukset on oletettu samansuuntaisiksi (Ulrich 1983). Metalleihin ja maata happamoittavaan pintakasvillisuuteen, etenkin kaneraan, sitoutunut fosfori voi heikentää aurausalueilla männyn-taimien fosforitaloutta. Metallien liukoisuuden lisääntyminen maassa ei kuitenkaan rajoittane kanervan kasvua, koska se toisaalta on tehokas fosforin otossaan ja saanee sitä näin ollen riittävästi ja toisaalta sen on tutkimuksissa todettu sitovan mykoritsallaan maasta ainakin alumiinia, kuparia sekä sinkkiä ja suojaavan siten versoa ko. metallien myrkyllisiltä vaikutuksilta (Bradley ym. 1981, 1982, Read 1983). Aurasjälkien pientareet ja palteet valtaa karhunsammal (Ferm & Sepponen 1981). Kanervan ja variksenmarjan tavoin senkin maata muokkaava ja humusta muodostava vaikutus näyttää vähäiseltä.

Uudistettaessa metsiä viljellen Pohjois-Suomen karuimmilla metsätyypeillä, äärevissä ilmasto-oloissa avohakkuuta ja aurausta hyväksi käyttäen kasvupaikkojen heikkeneminen voi metsänkasvua ajatellen olla pitkäaikaista mm. kanervoittumisen eli ns. "nummettumisen" seurauksena.

66. Ravinteiden huuhtoutuminen

Avohakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen ravinteiden mobilisaatio mutta myös niiden huuhtoutuminen lisääntyy. Fosfaatti-anionit sitoutuvat tehokkaasti metalleihin, mistä johtuen fosforin huuhtoutumisalttius on muihin ravinteisiin esim. typpeen verrattuna pienempi (Antikainen 1977). Kuitenkin kylmässä humidissa ilmassa myös fosforin kohdalla ravinnetappioiden merkitys avohakkuilla ja muokatuilla viljelyalueilla korostuu. Kubinin (1984) Paltamon Kivesvaaralta keräämästä aineistosta käy ilmi, että muokatulta männynviljelyalueelta keväisin purkautuvien pintavesien fosforipitoisuudet ovat olleet kahdeksana vuotena avohakkuusta ja muokkauksesta selvästi korkeammat kuin kolmena sitä seuraavana vuotena. Siksi myös huuhtoutuminen omalta osaltaan saattaa heikentää auratuilla männynviljelyalueilla puiden fosforitaloutta.

Fosfaatti- ja molybdaatti-anioni muistuttavat kemiallisilta ominaisuuksiltaan toisiaan. Siksi aurasalueiden männyntaimissa saattaa esiintyä myös molybdeenin puutosta. Molybdeeni on välttämätön alkuaine kasvien typpi- ja fosforitaloudessa.

7. KOOSTE

Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimissa on paikoin havaittu suotuisan alkukehityksen jälkeen, 10 - 15 vuoden kuluttua viljelystä voimakasta pituuskasvun ja kunnan heikkenemistä sekä nopeaa kuolemista etenkin talvisin. Luonteenomaisia piirteitä taimissa ovat rungon ja oksien hentous, mutkaisuus sekä heikko puutuneisuus. Tyypillistä on myös neulasten lyhyys ja neulasvuosikertojen vähyyys.

Männyntaimien tuhoutumista aiheuttavan ilmiön syyksi oletetaan oireiden ja neulasten alustavien ravinneanalyysitulosten perusteella typen ja etenkin fosforin puutos (vrt. Pohtila ja Pohjola 1983). Pohjois-Suomen ilmaston ankuruus tehostaa puutosta monella tavalla. Ilmastollinen stressi kohdistuu taimiin voimakkaimmin niiden kasvaessa hankirajan yläpuolelle. Silloin taimien energiatalous joutuu erityisen suurelle koetukselle. Ravinteiden puutoksen seurauksena energiataloudeltaan heikkojen taimien tuhoutumista usein nopeuttavat lumen aiheuttamat mekaaniset vauriot ja erilaiset taudit.

Taimien heikko fosforitalous johtunee useista eri tekijöistä, jotka ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Tärkeimpiä niistä lienevät humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset, vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa, maan mikrobiologisen aktiivisuuden heikkeneminen, taimien juuristojen huono kunto sekä ravinteiden huuhtoutuminen ja niiden sitoutuminen maata happamoittavaan pintakasvillisuuteen.

Kuusikkolamurin aurasalueen 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. Tuiskukivalon aurasalue on maaperän ja ilmaston puolesta edellisen kaltainen. Molemmilla vaaroilla avohakkuualat ovat suuria. Kuusikkolamuriin viljellyistä kennoissa ja turveruukuissa kasvatetuista taimista suurin osa on kuollut, ja elävissä taimissa esiintyy tässä työssä kuvattua ilmiötä. Tuiskukivaloon viljellyistä paljasjuurisista männyntaimista on kuollut vähemmän, ja osalla elävistä taimista kasvu on epänormaalia. On muistettava, että Tuiskukivalon taimikko on 3-5 vuotta Kuusikkolamurin taimikkoa nuorempi. Kuusikkolamurin tavoin Palolamurissakin kasvupaikkatyyppi on kuusivaltainen kuivahko kangas. Siellä luontaisesti syntyneet männyntaimet kasvavat muokkaamattomassa maassa kapealla kaistaleavoalalla metsäautotien ja kuusikon välissä. Alue on merenpinnasta noin 45 m Kuusikkolamuria alempana. Todennäköisesti lähinnä em. tekijöistä johtuen Palolamurin männyntaimissa neulasten fosforipitoisuudet ovat korkeammat kuin Kuusikkolamurin ja Tuiskukivalon aurasalueiden taimissa. Myös 1960-luvun loppupuolen taimituho esiintyi alunperin kuusta kasvaneilla tiiviillä moreeni- mailla (Lähde 1971, Norokorpi 1971).

SUMMARY

After their good initial development, pine saplings showed retarded height growth and weakening condition here and there on ploughed areas in Northern Finland 10-15 years after planting. This has led to rapid death especially in the winter. The saplings were characterized by tender and curvy stems and branches and poor lignification. Typical were also short needles and few annual needle crops.

Preliminary foliar nutrient analyses and symptoms suggest that nitrogen and particularly phosphorus deficiency damaged pine saplings (cf. Pohtila and Pohjola 1983). Severe climatic conditions in Northern Finland have intensified the deficiency in many ways. The climatic stress is greatest in the above-snow parts of saplings, where the energy conditions are put to a severe test. Several diseases speed the destruction of saplings that have already grown weak as a result of nutrient deficiencies.

Several interacting factors probably cause phosphorus shortage in saplings. Some of the most important are perhaps a decrease in humus and chemical changes in it, an increase in poorly soluble phosphorus compounds in soil, the weakening of soil microbiological activity, the poor condition of roots and nutrient leaching and fixation to the soil-acidifying ground vegetation.

The original site type of the ploughed area at Kuusikkolamuri was a moderately dry upland forest dominated by spruce. The area was supra-aquatic after the ice age and the soil type is podzol moraine mixed with fine soil fractions. Typical of arctic hills, the climate is humid. The soil and climate of the ploughed area at Tuiskukivalo are similar. Both hills have large clearcut areas. The paper and peat-pot seedlings planted at Kuusikkolamuri have died and the surviving saplings suffer from disorders discussed in this paper. The bare-rooted seedlings planted at Tuiskukivalo have lower mortality and some saplings display abnormal growth. One should bear in mind, however, that the sapling stand at Tuiskukivalo is 3-5 years younger than that at Kuusikkolamuri. The site type at Palolamuri is also a moderately dry upland forest dominated by spruce. There the naturally regenerated pine saplings grow in unprepared soil on

a narrow strip between a forest truck road and spruce stand. The area is about 45 metres less elevated than Kuusikkolamuri. The above-mentioned factors probably contribute to the fact that the foliar phosphorus contents of pine saplings at Palolamuri are higher than that at Kuusikkolamuri and Tuiskukivalo. The seedling damage in the late 1960s also occurred on compact moraine soils originally dominated by spruce (Lähde 1971, Norokorpi 1971).

KIRJALLISUUS - LITERATURE

- AALTONEN, V.T. 1950. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens. Selostus: Lehtianalyysi metsämaan hyvyysluokituksen perusteena. Commun. Inst. For. Fenn. 37.8:1-31.
- ABRAHAMSEN, G. & TVEITE, B. 1983. Effects of air pollutants on forest and forest growth. Ecological effects of acid deposition. National Swedish Environment Protection Board - Report PM 1636: 199-219.
- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 467 s. New York, Chichester, Brisbane, Toronto. John Wiley & Sons.
- AMBERGER, A. 1979. Pflanzenernährung. 237 s. Stuttgart. Verlag Eugen Ulmer.
- ANTIKAINEN, P.J. 1977. Epäorgaaninen kvalitatiivinen analyysi. 383 s. Porvoo, Helsinki, Juva. WSOY.
- BAULE, H. & FRICKER, C. 1967. Die Düngung von Waldbäumen. 259 s. München, Basel, Wien. BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH.
- BERGMANN, W. & NEUBERT, P. 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. Zur Ermittlung von Ernährungsstörungen und des Ernährungszustandes der Kulturpflanzen. 711 s. Jena. VEB Gustav Fischer Verlag.
- BINNS, W.O., MAYHEAD, G.J. & MACKENZIE, J.M. 1980. Nutrient deficiencies of conifers in British forests. An illustrated guide. Forestry Commission Leaflet 76:1-23.
- BRADLEY, D.B. & SIELING, D.H. 1953. Effect of organic anions and sugars on phosphate precipitation by iron and aluminum as influenced by pH. Soil Sci. 76:175-179.
- BRADLEY, R., BURT, A.J. & READ, D.J. 1981. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in *Calluna vulgaris*. Nature 292.23:335-337.
- BURT, A.J. & READ, D.J. 1982. The biology of mycorrhiza in the Ericaceae. VIII. The role of mycorrhizal infection in heavy metal resistance. New Phytol. 91:197-209.
- CARSON, E.W. (ed.) 1974. The plant root and its environment. 691 s. Charlottesville. University Press of Virginia.
- 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.

- DALTON, J.S., RUSSELL, G.C. & SIELING, D.H. 1952. Effect of organic matter on phosphate availability. *Soil. Sci.* 73:173-181.
- EICHE, V. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental provenance plantations with Scots pine in Northern Sweden. *Kölskadorna och plantdöd i proveniensförsök med tall i Norrland. Stud. For. Suec.* 36:1-218.
- FERM, A. & SEPPONEN, P. 1981. Aurasjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusalajoilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. *Folia For.* 493:1-19.
- FOY, C.D. 1974. Effects of aluminium on plant growth. Teoksessa Carson, E.W. (ed.) 1974. *The plant root and its environment.* ss. 601-642.
- HALSTEAD, R.L. & MCKERCHER, R.B. 1975. Biochemistry and cycling of phosphorus. Teoksessa Paul, E.A. & McLaren, A.D. (eds.) 1975. *Soil biochemistry.* ss. 31-63.
- JAMALAINEN, E.A. 1968. *Kasvien puutostaudit.* 128 s. Helsinki. Kirjayhtymä.
- KAILA, A. 1963. Phosphorus conditions at various depths in some mineral soils. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 35:69-79.
- KELLY, J., LAMBERT, M.J. & TURNER, J. 1983. Available phosphorus forms in forest soils and their possible ecological significance. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14.12:1217-1234.
- KUBIN, E. 1983. Nutrients in the soil, ground vegetations and tree layer in an old spruce forest in Northern Finland. *Ann. Bot. Fenn.* 20:361-390.
- 1984. Työretkeilyn moniste. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusasema.
- LANGE, L.O., 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.
- LÄHDE, E. 1971. Maan fysikaaliset ominaisuudet ja männyn taimistojen kehitys Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2:16-26.
- 1973. Metsämaan ominaisuudet ja männyn taimistojen kunto Pohjois-Suomessa. Summary: The qualities of forest soil and the condition of pine plantations in Northern Finland. *Lapin tutkimusseura. Vuosikirja XIV:*5-10.

- LÄHDE, E. & POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8:1-11.
- & SILTANEN, S. 1973. Männyn taimien kunto ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of the root system and the condition of the pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings in Northern Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 78.7:1-31.
- MENGEL, K. 1979. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 466 s. Stuttgart, New York. Gustav Fischer Verlag.
- & KIRKBY, E.A. 1979. Principles of plant nutrition. 593 s. Bern. International Potash Institute Berne. Switzerland.
- 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. 1976. Metsämaatieteen perusteita. 106 s. Helsinki. Luentomoniste.
- NOROKORPI, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhoista Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2:37-49.
- 1977. Epätasainen lannoitus ja männiköiden pakkasvauriot. *Metsä ja puu* 4:15-17.
- 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.* 74.5:1-58.
- PAUL, E.A. & McLAREN, A.D. (eds.) 1975. Soil biochemistry. New York. Marcel Dekker, Inc. Vol. 4:1-277.
- POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91.4:1-98.
- & POHJOLA, T. 1983. Vuosina 1970-72 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970-72. *Silva Fenn.* 17.3:201-224.
- POPPER, K.R. 1972. Objective knowledge. 380 s. Oxford. Clarendon Press.
- RAITIO, H. 1978. Pääravinlannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin karulla avosuolla.

- Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 7:1-8.
- RAITIO, H. 1981. Pääravinlannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla. Summary: Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog. *Folia For.* 456:1-10.
- 1983a. Hypoteesi männyntaimien kasvuhäiriöiden synnystä taimitarhoilla ja kivennäismailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 116:1-15.
 - 1983b. Ravinteiden fysiologinen merkitys. Teoksessa Raitio, H. (toim.) 1983. Metsäpuiden fysiologiaa I. Ravinnetalouden perusteita. ss. 78-118.
 - (toim.) 1983c. Metsäpuiden fysiologiaa I. Ravinnetalouden perusteita. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 39:1-200.
 - & RANTALA, E.-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makros- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Summary: Macroscopic and microscopic symptoms of a growth disturbance in Scots pine. Description and interpretation. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91.1: 1-32.
- READ, D.J. 1983. The biology of mycorrhiza in the Ericales. *Can. J. Bot.* 61:985-1004.
- REINIKAINEN, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area of forest fertilization at Kivisuo. Proceedings of the Colloquium on Forest Fertilization, Jyväskylä/Finland 1967:345-361. International Potash Institute, Berne/Switzerland.
- 1968. Ravinteiden puutosoireita puulajeilla. Teoksessa Jamalainen, E.A. 1968. Kasvien puutostaudit. ss. 101-109.
 - 1983. Pääravinteiden puutosoireista puulajeilla. Teoksessa Raitio, H. (toim.) 1983. Metsäpuiden fysiologiaa I. Ravinnetalouden perusteita. ss. 132-135.
- 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.
- TROEDSSON, T. & NYKVIST, N. 1973. Markklära och markvård. 402 s. Stockholm. Almqvist & Wiksell.
- ULRICH, B. 1983. Soil acidity and its relations to acid deposition.

- Teoksessa Ulrich, B. & Pankrath, J. (eds.) 1983. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. ss. 127-146.
- ULRICH, B. & PANKRATH, J. (eds.) 1983. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. 389 s. Dordrecht, Holland; Boston, U.S.A.; London, England. D. Reidel Publishing Company.
- VALTANEN, J. 1970. Versosyöpä Lapin taimistojen kimpussa. Metsä ja puu 4:7-10.
- 1984. Suullinen tiedonanto. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusasema.
- VIRO, P.J. 1955. Investigations on forest litter. Selostus: Metsäkariketutkimuksia. Commun. Inst. For. Fenn. 45.6:1-65.
- WOOLHOUSE, H.W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. Teoksessa Lange, L.O. ym. (eds.) 1983. Physiological plant ecology III. Responses to the chemical and biological environment. ss. 245-300.

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 taimistonhoitokokeista. 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 levitysajankohdasta 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. Havainnot 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 edullisuuteen peräpohjolisessa männikössä. 1979.
- N:o 20. Leevi Lohi, Erkki Lähde ja Pentti Roiko-Jokela. Pintakasvillisuuden, maan ja puuston välisistä suhteista 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 kivivillan käytöstä männyntaimen kasvualustana muovihuoneessa. 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. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984.
- N:o 157. Erkki Kaila ja Markku Taipale. TUTKA-tiedonhallinta ohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.

ISBN 951-40-0937-1
ISSN 0358-4283