

FOLIA FORESTALIA 313

METSÄNTUTKIMUSLAITOS·INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE·HELSINKI 1977

KIMMO KOLARI, EERO PAAVILAINEN
JA HANNU RAITIO

MÄNNYN JUURISTOSUHTEISTA KIVISUON
KASVUHÄIRIÖALUEELLA

PINE ROOT CONDITION AND GROWTH
DISTURBANCES

- No 235 Seppo Kaunisto: Jyrsintämuokkaus ja lannoitus männyn ja kuusen kylvön yhteydessä turvemaalla.
Rotavation and fertilization in connection with direct seeding of Scots pine and Norway spruce on peat. Greenhouse experiments.
- No 236 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Kuitupuupinon kiintotilavuuden määrittystä koskevia tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuun, järeä kuitupuun sekä likipituinen havukuitupuun. Studies on the determination of the solid volume of a pulpwood pile. Crooked broadleaved pulpwood, large-sized pulpwood and coniferous pulpwood of approximate length.
- No 237 Markku Mäkelä: Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus.
Bunching and transportation of branch raw material.
- No 238 Mirja Ruokonen: Lehtien kautta annetun fenoksiherbisidin käyttäytyminen kasvissa. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
The behaviour of leaf-applied phenoxy-herbicides in plants. A study based on literature.
- No 239 Eero Paavilainen: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa.
On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat.
- No 240 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä: Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna.
Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees.
- No 241 Victor Ipatiev ja Eero Paavilainen: Lannoituksen vaikutuksen kesto aika vanhassa tupasvillarämeen männikössä.
Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cuttongrass pine swamp.
- No 242 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen vyöhykekasausten menetelmää käytettäessä.
The effect of bunching into zones on productivity and strain of the worker cutting pulpwood.
- No 243 Paavo Valonen: Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä.
The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods.
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen.
Learning of grapple loading.
- No 245 Pentti Nisula: Kantoloukku.
Stump Crusher.
- No 246 Hans G. Gustavsen ja Erkki Lipas: Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä.
Effect of nitrogen dosage on fertilizer response.
- No 247 Yrjö Vuokila: Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana.
Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production.
- No 248 Timo Kurkela ja Yrjö Norokorpi: Kuusen lumikaristesienen (*Lophobacidium hyperboreum* Lagerb.) esiintyminen Suomessa.
Occurrence of spruce snow blight fungus, *Lophobacidium hyperboreum* Lagerb. in Finland.
- No 249 Pentti Hakkila ja Markku Mäkelä: Pallarin vesakkoharvesteri.
Pallari Bushharvester.
- No 250 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikonen: Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät.
Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it.
- No 251 Veijo Heiskanen: Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vuosina 1974—1975.
Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975.
- 1976 No 252 Jyrki Raulo ja Eino Mälkönen: Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla.
Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil.
- No 253 S.-E. Appelroth: Työntutkimus Lamu-kylvökoneesta.
Work Study of the Lamu Seeding Machine.
- No 254 Matti Kärkkäinen: Havutukkien kiintomittausmenetelmän seurantajärjestelmä.
A control method for the measurement of pine and spruce logs.
- No 255 Metsätalastollinen vuosikirja 1974.
Yearbook of forest statistics 1974.
- No 256 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Yrjö Schildt: Bobcat M-721 kaatokasauskone männikön ensiharvennuksessa.
Bobcat M-721 feller-buncher in early thinning of Scots pine.
- No 257 Pirkko Velling: Mänty- ja kuusiprovenienssien puuaineen vaihtelusta.
The wood basic density variation of pine and spruce provenances.
- No 258 Pentti Nisula: Muovihuoneen sadetus kone.
A sprinkler for a plastic greenhouse.
- No 259 Matti Uusitalo: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972 ja 1973.
Costs of timber production in Finland in 1972 and 1973.
- No 260 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen tehtäessä kuitupuuta liuku-puomikuormausta varten.
Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading.

FOLIA FORESTALIA 313

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1977

Kimmo Kolari, Eero Paavilainen ja Hannu Raitio

MÄNNYN JUURISTOSUHTEISTA KIVISUON KASVUHÄIRIÖALUEELLA

Pine root condition and growth disturbances

KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. 1977. Männyn juuristo-
suhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Abstract: Pine root condition and
growth disturbances. *Folia For.* 313: 1–16.

Metsäojitus ja -lannoitusalueilla on havaittu puiden kasvuhäiriöitä, joille on ominaista mm. latvasilmujen ja kasvainten kuoleminen. Kasvuhäiriön syiksi on epäilty yhden tai useamman hivenravinteen puutetta sekä patogeenien aiheuttamia tuhoja. Hyönteis- tai sienituhoja ei materiaalissa ole havaittu. Havupuilla tunnetut virusten tai rikketsioiden aiheuttamat oireet poikkeavat tutkituista kasvuhäiriöistä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko latvahäiriöisten ja kasvuhäiriöalueella normaalisti kasvavien mäntyjen juurten määrässä, anatomisessa rakenteessa ja ravinnepitoisuudessa eroja. Lisäksi pyrittiin selvittämään tutkittujen juuriston tunnusten suhdetta maan ravinnepitoisuuteen sekä puiden maanpäällisissä osissa todettuun kasvuhäiriön asteeseen. Aineisto kerättiin vuosina 1975 ja 1976 Leivonmäen kunnassa sijaitsevalta Kivisuon metsänlannoituskoekentältä.

Latvahäiriöisillä männyllä oli paitsi verson pituus ja pituuskasvu myös juurten kokonaismäärä jonkin verran pienempi kuin normaalisti kasvavilla puilla. Kasvuhäiriön asteen ja juurten määrän välinen korrelaatio ei kuitenkaan ollut merkittävä. Latvahäiriöisten mäntyjen juurissa havaittiin solukkohäiriöitä, muun muassa primäärisen nilan solujen hypertrofiaa sekä keskuslieriön solukkojen onteloitumista.

Regressioanalyysien mukaan puiden maanpäällisissä osissa todettu kasvuhäiriö oli sitä pahempi, mitä pienempi oli turpeen Zn/K-suhde sekä Cu-pitoisuus. Kasvuhäiriön asteen ja juurten ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiot eivät olleet merkittäviä. Turpeen ravinnepitoisuus selitti juurten N-, P-, K- ja Mn-pitoisuuksien varianssista 42,6 – 66,3 %.

Tulokset antoivat viitteitä siitä, että hivenaineiden puute saattaa vaikuttaa kasvuhäiriön esiintymiseen. Vastaava hypoteesi on esitetty aikaisemmissakin tutkimuksissa.

Tree growth disturbance, characterised by death of the crown shoots and vegetation, have been observed on drained and fertilized forest areas. Suspected causes of this growth disturbance have been a possible deficiency of one or several micronutrients or damage by pathogens. No evidence of insectal or fungal damage was found in the material. Viruses and rickettsiae seem to be out of the question on basis of symptoms known. The aim of this study was to determine whether there are any differences in the amount of roots, anatomical structure and nutrient contents of the affected and non-affected trees growing in the same area. In addition, an attempt was made to determine the relationship between these root characteristics and the degree of growth disturbance found in the aboveground parts of the trees and the amounts of different nutrients in the soil. The material was collected in 1975 and 1976 from the forest fertilization experimental field at Kivisuo, (61° 53'N 25° 59'E).

In the case of pines with crown disturbance, shoot height and height growth, as well as the total amount of roots, were to some extent less than those of normal trees. However, the correlation between the degree of growth disturbance and the number of roots was not statistically significant. Abnormal cell tissue was found in the roots of damaged pines, for instance, hypertrophy of the primary phloem cells and cavitation of the cells of the vascular cylinder.

According to the results of regression analysis, the growth disturbance in the above ground parts of the trees were the worse, the smaller the Zn/K ratio and Cu content of the peat. Correlations between the degree of growth disturbance and the nutrient contents of the roots were not statistically significant. The nutrient contents of the peat explained 42,6 – 66,3 % of the variance in the N, P, K and Mn contents of the roots.

The results suggested that a lack of micronutrients may have some effect on the occurrence of growth disturbance. A similar hypothesis has been put forward in earlier studies.

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosasto on perustanut vuonna 1976 työryhmän selvittämään metsäojitusalueiden taimistoissa havaittujen kasvuhäiriöiden esiintymistä, syitä ja torjuntamahdollisuuksia. Tämä juuristotutkimus toteuttaa erään osan työryhmän laatimasta tutkimusohjelmasta. Tutkimus on rahoitettu osittain valtion tulo- ja menoarviossa myönnettyillä ns. suhdannepidätysvaroilla.

Tekijöistä MMT Eero Paavilainen on laatinut tutkimussuunnitelman, jonka mukaiset kenttä- ja laboratoriotyöt on tehnyt vuonna 1975 LuK Kimmo Kolari ja vuonna 1976 FK Hannu Raitio. Kaikki

tekijät ovat osallistuneet aineiston käsittelyyn ja tutkimusjulkaisun laadintaan, joskin juurten anatomiaa koskevasta osasta vastaa lähinnä FK Raitio.

Käsikirjoitukseen ovat tutustuneet prof. Olavi Huikari, prof. Tauno Kallio, FL Antti Reinikainen ja LuK Heikki Veijalainen. Aineiston tietokonekäsittelyn on ohjannut FK Riitta Heinonen. Konekirjoituksen on suorittanut yo Liisa Poutanen. Esitämme saamastamme avusta parhaat kiitokset.

Helsingissä toukokuun 7 päivänä 1977

Kimmo Kolari Eero Paavilainen Hannu Raitio

SISÄLLYS

	Sivu
1. JOHDANTO	5
2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	5
3. TULOKSET	7
31. Juurten määrä	7
32. Juurten anatominen rakenne	10
33. Maan ja juurten ravinnepitoisuus	10
4. TULOSTEN TARKASTELUA	12
KIRJALLISUUSLUETTELO	15

1. JOHDANTO

Vuime vuosina on kiinnitetty yhä lisääntyvää huomiota käytännön metsäojitus ja -lannoitus-alueilla sekä kenttäkokeissa havaittuihin puiden kasvuhäiriöihin. Niille on tyypillistä mm. latvasilmujen ja kasvainten tuhoutuminen puiden paksuuskasvun kuitenkin pysyessä ainakin alkuvuosina hyvänä. Vaikkakaan ilmiön laajuudesta ei ole vielä tarkkaa tietoa, on sen kuvaamiseksi sekä syiden ja torjuntamahdollisuuksien selvittämiseksi käynnistetty laajamittainen tutkimustoiminta.

Näihin saakka on tutkittu, miten kasvuhäiriö ilmenee puiden maanpäällisissä osissa sekä mitkä tekijät ovat mahdollisesti häiriön aiheuttaneet. Tutkimuksien tuloksista on laadittu useita jo julkaistuja tai käsikirjoitusvaiheessa olevia raportteja (Huikari 1974, Veijalainen 1974, 1975, 1977, Reinikainen 1976, Kosonen ja Silfverberg 1976, 1977, Kolari 1977, Raitio ja Rantala 1977). Huikarin (1974) esittämän hypoteesin mukaan kasvuhäiriön syynä on hivenravinteiden puute. Kyseessä ei näytä olevan minkään pääravinteiden puutosoire (vrt. Reinikainen 1976). Materiaalissa ei ole myöskään havaittu hyönteis- eikä sienituhoja. Hivenainehypoteesia tukevat myös mainitut julkaisut. Kasvuhäiriön syyksi on epäilty lisäksi viruksia ja rikketsioita, koska niiden on ilmoitettu aiheuttavan kasvitauteja myös paljassiemenisillä (kuusella Čech ym. 1961,

Scmelzer ym. 1966; lehtikuusella Nienhaus ym. 1976 ja männyllä Yarwood 1959). Kuitenkin näiden patogeenien aiheuttamat oireet (neulasten kloroosi, kloroositäpläisyys ja kääpiökasvu, oksien toispuolinen kasvu sekä taimien kääpiökasvu) poikkeavat tutkittavasta kasvuhäiriöstä (vrt. kuvaus Veijalainen 1975).

Tutkimustoiminnan edistyessä on käynyt tarpeelliseksi selvittää myös kysymystä, onko juuristonkin kasvu jollakin tavalla häiriintynyt edellä mainituilla alueilla ja mikäli näin on, minkälainen vuorosuhde vallitsee juuristoissa ja puiden maanpäällisissä osissa todetun häiriön välillä.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, onko kasvuhäiriöalueella normaalisti kasvavien ja toisaalta latvahäiriöisten mäntyjen juurten määrässä, anatomisessa rakenteessa ja ravinnepitoisuudessa eroja. Tutkittujen juuriston tunnusten suhde maan ravinnepitoisuuteen sekä puiden maanpäällisissä osissa todetun kasvuhäiriön asteeseen on myös selvityksen kohteena. Aineisto on kerätty Kivisuon metsänlannoituskoekentältä, missä on jo aikaisemmin tehty puiden ja pintakasvillisuuden juurisuhteita koskevia tutkimuksia (Paavilainen 1968, 1969). Niissä ei ole kuitenkaan käsitelty puiden kasvuhäiriöitä, jotka olivatkin tutkimuksia tehtäessä lähes tuntemattomia Kivisuolla.

2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus suoritettiin Leivonmäen kunnassa sijaitsevalla Kivisuon metsänlannoituskoekentällä (61°53' p.l., 25°59' i.p., n. 150 metriä m.p.y.). Vuoden keskilämpötila on tällä alueella +3°C ja sademäärä 550 mm. Koekentältä nostettiin vuosina 1947–1953 turvetta ns. hydroturvemenetelmällä. Ensimmäiset metsänlannoituskokeet perustettiin Kivisuolle vuonna 1957 (Huikari ja Paarlahti 1973).

Tätä tutkimusta varten valittiin yhteensä 20 koepuuta kokeen n:o I toiston II koeloilta 120, 124, 130, 134 ja 135. Koe I perustettiin touko-kesäkuussa 1959 istuttamalla koulimattomia kaksivuotiaita (2+0) männyn taimia 2 m:n välein sekä suorittamalla hajalannoitus. Käytettyjen siementen kotipaikka oli Itä-Uusimaa (Huikari ja Paarlahti emt.).

Lannoitteena käytettiin kalkkiammonsalpietaria

(Nos; 25 % N, josta puolet on nitraatti- ja puolet ammoniumtyyppiä), hienofosfaattia (Phf; 33 % P₂O₅) ja kalisuolaa (K₅₀; 50 % K₂O) seuraavasti:

koevalle 120:	Nos	400	Phf	400	K ₅₀	100 kg/ha
124		400		400		200
130		400		600		100
134		400		600		200
135		800		600		200

Kokeen II-toisto sai vuonna 1968 lisäksi jatkolannoituksena suometsien PK-lannosta (0–17–15), siten että koevalle jaettiin kolmeen osaan a, b ja c, missä a on hajalannoitettu (500 kg/ha), b laikkulannoitettu (500 kg/ha vastaava määrä laikun pinta-alan ollessa 1 m²) ja c jatkolannoittamaton. Tämän tutkimuksen koepuut valittiin koeruutujen a-osasta.

Koepuiksi merkittiin syyskuussa 1975 jokaisesta edellä mainitusta ruudusta kaksi tervelatvaista ja kaksi latvahäiriöistä puuta näihin tyypeihin kuuluvien puuryhmien keskeltä. Kasvuhäiriön aste määritettiin silmävaraisesti käyttämällä Veijalaisen esittämää 10-luokitusta (ks. Paavilainen 1976, s. 7). Koepuiden kokonaispituus ja pituuskasvu vuosina 1970–1975 mitattiin. Vuoden 1976 syksyllä otettiin koepuiden ylimmästä oksakiehkurasta näytteet neulasten anatomiseen rakenteeseen perustuvaa puun kasvuhäiriötilan määrittämistä varten. Häiriöasteen mikroskooppinen määrittäminen tapahtui neulasten transfuusiisolukkuun muodostuneen ontelon koon, epämuodostuneiden solujen määrän sekä sklerenkyymien määrän perusteella (ks. Rautio ja Rantala 1977).

Neulasten anatomian tutkiminen osoitti kasvuhäiriöitä olleen myös sellaisissa puissa, jotka näyttivät latvusten silmävaraisen tarkastelun perusteella terveiltä. Tämän johdosta tuloksia esitettäessä käytetään kasvuhäiriön asteen tunnuksena kvantitatiivis-anatomista häiriöastetta (ks. Rautio ja Rantala emt.). Keskiarvojen laskentaa varten aineisto on jaettu kolmeen ryhmään (taulukko 1). Kuvasta 1 nähdään, miten kasvuhäiriö ilmenee kuhunkin ryhmään kuuluvien puiden neulassa.

Juuristotutkimuksia varten otettiin syyskuussa 1975 kunkin koepuun etelä- ja pohjoispuolelta 20x20x

20 cm:n suuruinen turvenäyte. Näytteenottoaikat valittiin juurtenkärkien kohdalta siten, että kuhunkin näytteeseen tulleista männynjuurista valtaosa oli varmasti tutkittavan koepuun juuria.

Näytteenoton jälkeen sijoitettiin (arvannon mukaisesti) toiseen syntyneistä kuopista lannoittamatonta ja toiseen täyslannoitettua kasvuturvetta. Lannoittamaton kasvuturve oli hyvin ravinneköyhää Satorurve Oy:n B 0 -rahkaturvetta, jonka maatumisaste oli H 1–3 ja pH-arvo 3–4. Lannoitettu kasvuturve (Satorurve Oy:n B 6 -turvetta, pH 4,5–5,5) sisältää kaikkien puiden kasvun kannalta tärkeät pää- ja hivenravinteet.

Juuristonäytteiden oton yhteydessä vuoden 1975 syyskuussa otettiin lisäksi jokaisen näytteenottoaikain vierestä 4x5 cm:n suuruinen ja 20 cm:n syvyyteen asti ulottunut turvenäyte ravinneanalyysejä varten.

Vuoden 1975 turvenäytteistä ja seuraavan vuoden kasvuturvenäytteistä eroteltiin männyn juuret. Jokaisesta näytteestä mitattiin männyn juurten kokonaispituus (v. 1976 näytteistä myös paino) sekä laskettiin lyhytjuurien ja mykoritsojen (A- ja B-tyypin, ks. esim. Mikola ja Leihola 1962) lukumäärä. Juurista tehtiin myös ravinneanalyysi. Vuoden 1975 näytteiden osalta lyhytjuurien ja mykoritsojen lukumäärän laskenta perustui otantaan, joka käsitti 10 % ko. näytteen juurista (kuitenkin vähintään 150 cm). Vuoden 1976 näytteistä laskettiin lyhytjuuret ja mykoritsat kaikista juurista.

Jokaisesta juurinäytteestä tutkittiin vähintään neljän juuren anatominen rakenne. Mikroskooppista tarkastelua varten tehtiin käsivaraisesti partakoneen terällä poikkileikkauksia juuren meristemaattisesta kärjestä sekä noin kahden, neljän ja kymmenen senttimetrin päästä juuren tai juuren haaran kärjestä. Lisäksi muutamista näytteistä tehtiin myös mykoritsojen poikkileikkauksia. Leikkeet värjättiin metyleenisinillä.

Kasvuhäiriöpuiden mykoritsan rakenteen samoin kuin juuren sekundäärisen paksuuskasvun lähempää tarkastelua varten kerättiin Kivisuon materiaalin lisäksi 27.10.1976 kuusi kasvuhäiriöpuiden juurinäytettä Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman Alkkiassa sijaitsevalta kokeelta no. 36. Koe no. 36 on perustettu vanhalle suopellolle toukokuussa 1967. Näytteet kerättiin ruudulta, joka oli saanut vuonna

Taulukko 1. Koepuut.

Table 1. Sample trees.

Kasvuhäiriön aste 1) Degree of growth disturbance 1)		Koepuut – Sample trees			
Mikroskooppinen Microscopic	Makroskooppinen Macroscopic	Kpl Number	Pituus v. 1975, m Height in 1975, m	Pituuskasvu, cm Height growth, cm	
				1970–1975	1975
<5	2,3	10	4,9	35	29
5–10	2,8	6	4,4	32	28
>10	5,0	4	3,6	16	19

1) Mikroskooppinen määrittäminen – microscopic determination; ks. – see Rautio ja Rantala (1977), makroskooppinen määrittäminen Veijalaisen mukaan – macroscopic determination according to Veijalainen; ks. – see Paavilainen (1976).

1967 lannoituksena suometsien PK-lannosta (0–17–15) 100 g/m taimirivin kohdalle 0,5 metrin levyiselle kaistalle (Kaunisto 1976). Näytteenottoruudulle puusto on istutettu toukokuussa 1967 yhden metrin välein.

Eri tunnusten välisten riippuvuussuhteiden tilastollisen merkitsevyyden selvittelyssä käytettiin korrelaati-

tioanalyysia ja askeltavaa regressioanalyysia. Tunnukset olivat muuntamattomia kasvuhäiriön astetta lukuunottamatta, jolle tehtiin logaritminen transformatio. Juurten ja turvenäytteiden ravinnepitoisuutta koskeneet analyysit tehtiin Viljavuuspalvelu Oy:n laboratoriossa.

3. TULOKSET

31. Juurten määrä

Juurten kokonaismäärän sekä lyhytjuurten ja mykorrhizojen lukumäärän keskiarvot kasvuhäiriön asteen mukaan erotelluissa osa-aineistoissa nähdään taulukosta 2. Siihen, kuten myöhemminkin esitettäviin taulukoihin, on merkitty näkyviin kasvuhäiriön asteen (log) ja eri tunnusten väliset korrelaatiokertoimet.

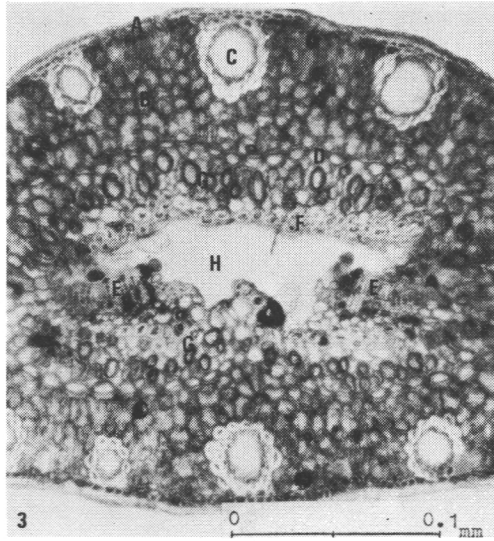
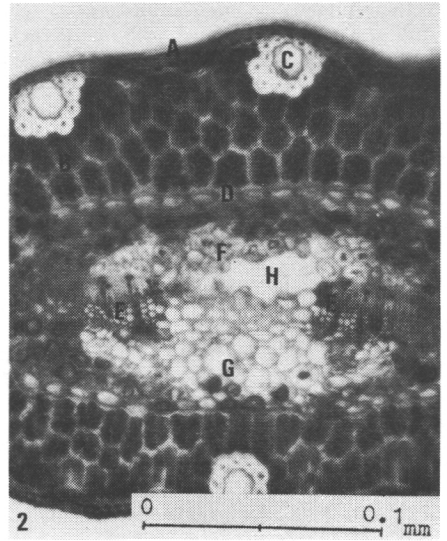
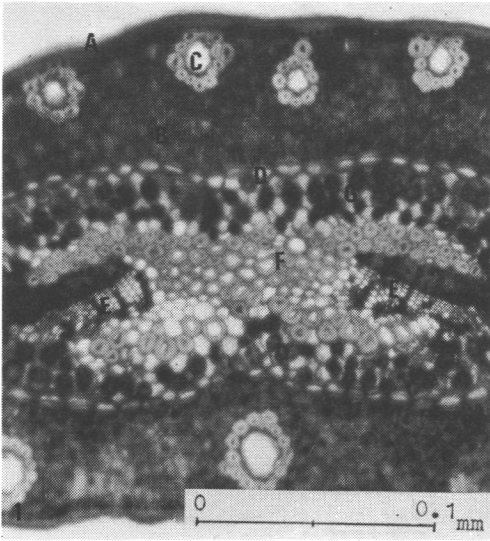
Juurten kuivapaino ja pituus sekä lyhytjuurten tiheys olivat lannoitetuissa kasvuturvenäytteissä merkittävästi suuremmat kuin lannoittamattomissa. Sen sijaan kasvuhäiriön asteen ja juurten määrää koskevien tunnusten välillä ei

ollut merkittävää korrelaatiota sen paremmin Kivisuon alkuperäisessä turpeessa, kuin kasvuturvenäytteissäkään. Tulosten yleisen suunnan mukaan näyttää juuria kuitenkin olleen – varsinkin lannoittamattomassa kasvuturpeessa – sitä vähemmän, mitä pahempi oli kasvuhäiriö. Lyhytjuurten muodostusta koskevat tulokset olivat ristisiitaisia. Kivisuon turpeessa oli lyhytjuurten tiheyden (kpl/juuri-dm) ja kasvuhäiriön asteen välillä negatiivinen, mutta kasvuturvenäytteissä positiivinen korrelaatio.

Tässä tutkimuksessa saatiin männyn juurten määräksi Kivisuon turpeessa keskimäärin 200 m/m². Ohuita juuria (< 1 mm) oli 69,6 %

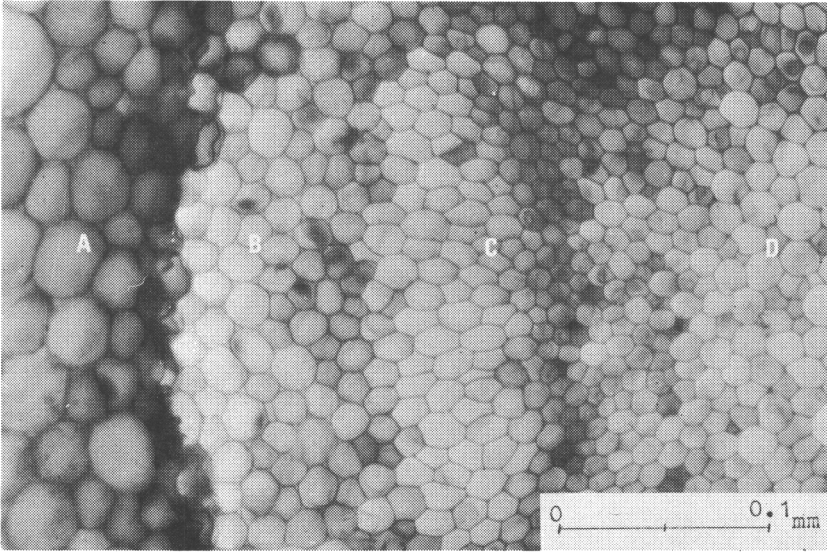
Taulukko 2. Juurten määrä.
Table 2. The amount of roots.

Kasvuhäiriön aste <i>Degree of growth disturbance</i>	Juuria – <i>Roots</i>		Lyhytjuuria, kpl/juuri-dm <i>Number of short roots per dm of long root</i>	Mykorrhizoja, kpl/juuri-dm <i>Number of mycorrhizae per dm of long root</i>
	g/m ²	m/m ²		
<i>Kivisuon turve – Peat at Kivisuo</i>				
< 5	–	197,0	58,0	40,6
5–10	–	232,6	60,6	42,1
>10	–	160,3	49,0	37,5
r	–	–0,155	–0,198	–0,178
<i>Lannoittamaton kasvuturve – Unfertilized garden peat</i>				
< 5	16,50	101,8	12,8	3,4
5–10	13,05	105,5	16,1	3,5
>10	7,53	57,0	16,1	3,7
r	–0,184	–0,120	0,298	0,279
<i>Lannoitettu kasvuturve – Fertilized garden peat</i>				
< 5	21,83	146,8	15,1	2,6
5–10	12,65	122,3	16,1	4,4
>10	19,70	146,6	18,1	2,9
r	–0,122	–0,054	0,104	–0,016



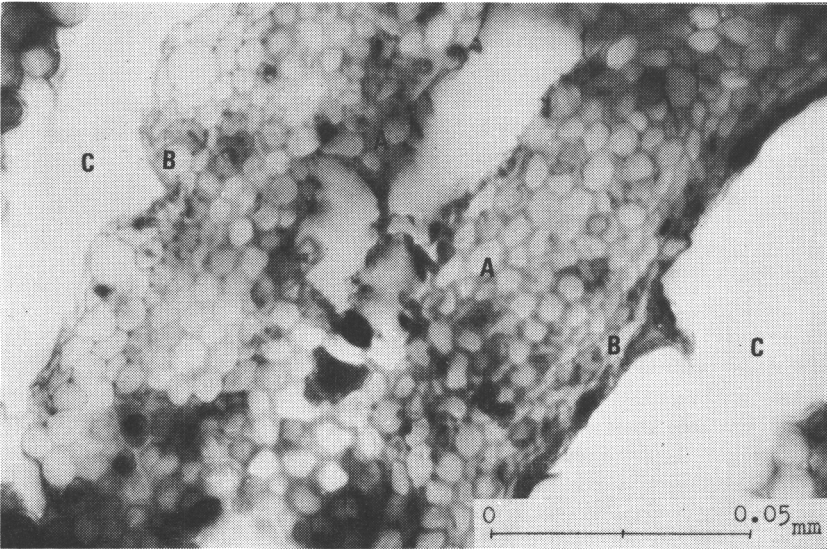
Kuva 1. Eri kasvuhäiriöstettä edustavien neulasten poikkileikkauksia. 1) Häiriöaste 0–5, 2) häiriöaste 5–10, 3) häiriöaste 10–. A) Epidermi, B) mesofylli, C) pihkatiehyt, D) endodermi, E) johtojänne, F) sklerenkyymi, G) transfuusiosolukko ja H) ontelo. (Kuva Hannu Raitio. Lokakuu 1976).

Fig. 1. Cross-sections of needles representing different types of growth disturbances. 1) Degree of disturbance 0–5, 2) degree of disturbance 5–10, 3) degree of disturbance 10–. A) Epidermis, B) mesophyll, C) resin duct, D) endodermis, E) vascular bundle, F) sclerenchyma, G) transfusion tissue and H) cavity. (Foto Hannu Raitio, October 1976).



Kuva 2. Poikkileikkaus kasvuhäiriöpuun juuren keskuslieriöstä. A) Metaksyleemi, B) yhdyssolukko, C) primäärinen nila ja D) lieriöketto. (Kuva Hannu Raitio, lokakuu 1976).

Fig. 2. Cross-section of stele of root taken from tree with growth disturbances. A) Meta-xylem, B) connective tissue, C) primary phloem, D) pericycle. (Foto Hannu Raitio, October 1976).



Kuva 3. Poikkileikkaus kasvuhäiriöpuun juuren keskuslieriöstä. A—C: kuten kuvassa 2. (Kuva Hannu Raitio, lokakuu 1976).

Fig. 3. Cross-section of stele of root taken from tree with growth disturbances. A—C: see fig. 2. (Foto Hannu Raitio, October 1976).

kaikista juurista. Kivisuolle tehdyn aikaisemman tutkimuksen mukaan männyn juuria oli NPK:lla lannoitetuilla koealoilla keskimäärin 381 m/m² (P a a v i l a i n e n 1968, s. 12).

Kasvuturvenäytteiden perusteella voidaan tarkastella, miten uudet juuret ovat kasvaneet Kivisuon männikössä. Tulosten mukaan männyn juurten kuivapaino lisääntyi yhden vuoden aikana keskimäärin 135,2 (lannoittamaton kasvuturve) — 186,5 kg/ha (lannoitettu kasvuturve). Lyhytjuuria ja mykoritsoja muodostui uusiin kasvuturvejuuriin ensimmäisenä vuotena seuraavasti: Lyhytjuurten tiheys oli keskimäärin vain 15,2 ja mykoritsojen 3,4 kpl/juuri-dm, eli huomattavasti vähemmän kuin Kivisuon alkuperäisessä turpeessa, jossa lyhytjuuria oli keskimäärin 57,0 ja mykoritsoja 40,1 kpl/juuri-dm. Kivisuolla tehdyn aikaisemman tutkimuksen mukaan lyhytjuurten tiheyden keskiarvoksi saatiin NPK:lla lannoitetuilla koealoilla 34,9 kpl/juuri-dm (P a a v i l a i n e n 1968, s. 17).

Todettakoon, että uusien juurten kasvu saattaa olla Kivisuon alkuperäisessä turpeessa juuristokilpailun vuoksi heikompaa kuin kasvuturvenäytteissä. Kivisuon turpeessahan on ennestään runsaasti puiden ja pintakasvillisuuden juuria, kun taas tutkituissa kasvuturvenäytteissä ei ollut koetta aloitettaessa juuria lainkaan.

Tutkittaessa Kivisuon turvenäytteistä askeltaava regressioanalyysia käyttäen lyhytjuurten ja mykoritsojen tiheyden riippuvuutta maan ravinnepitoisuudesta ei minkään ravinteen tai ravinnesuhteen vaikutus tullut merkitseväksi.

32. Juurten anatominen rakenne

Kivisuon materiaalissa juurten anatominen rakenne oli samanlainen eriasteisissa juurenharoissa. Myöskään lannoittamattomassa ja lannoitetussa kasvuturpeessa kasvaneitten juurten anatomia ei havaittu selviä eroja.

Yhteisenä piirteenä koko Kivisuon juurimateriaalille oli keskuslieriön, varsinkin primäärisen nilan solujen erittäin ohuet seinät (kuva 2). Selvimpiä anatomisia häiriöitä juurissa olivat erilaiset ontelot keskuslieriössä. Ontelonmuodostus alkoi tavallisesti muutaman senttimetrin päästä juuren kärjestä. Ennen onteloitumista oli usein havaittavissa solujen liikakasvua (hypertrofiaa). Ontelot ovat todennäköisesti syntyneet juuri epämuodostuneiden solujen rikkoutuessa. Onteloituminen alkoi lähes kaikissa tapauksissa primäärisen nilan ja osin nilan läheisen lieriö-

keton kohdalta jo ennen, kuin sekundääristä nilaa oli muodostunut tai sitä oli muodostunut 1—2 solukerrosta. Normaalisissa juuressa sekundäärisen paksuuskasvun seurauksena primäärisen nila painuu vähitellen kasaan. Tällöin primäärisen nilan tilalle muodostuu vähitellen sekundäärinen nila. Kasvuhäiriöpuiden juurissa primäärisen nilan onteloitumisesta ennen sekundäärisen nilan muodostumista aiheutuu näin ollen aineiden kuljetusvaikeuksia. Muutamissa tapauksissa onteloituminen alkoi metaksylemin kohdalta. Yleisesti oli havaittavissa, että onteloiden koko kasvoi juuren ikääntyessä. Pahimmassa tapauksessa suurin osa keskuslieriöstä oli onteloitunut (kuva 3).

Primäärisen nilan onteloituessa protoksyylemin putkiloista ainoastaan muutamat pihkatiehyiden ympärillä olevat putkilot olivat puutuneet. Sekundäärinen paksuuskasvu oli Kivisuon juurimateriaalissa erittäin vähäistä.

Kivisuon materiaalissa neulasten anatomian perusteella määritetyn häiriöasteen kasvaessa keskuslieriön solukkojen hypertrofia ja onteloituminen lisääntyivät. Sen sijaan juurten meristematisessa kärjessä ei havaittu selviä muutoksia häiriöasteen kasvaessa.

Parkanosta kerätty juurimateriaali viittasi siihen, että sellaisia keskuslieriön solukkojen häiriöitä kuin Kivisuon materiaalissa, esiintyisi myös kasvuhäiriöisten mäntyjen mykoritsan rakenteessa. Samassa materiaalissa oli havaittavissa sekundäärisen puun soluissa ohuempia ja osittain heikommin puutuneita soluseiniä kuin terveissä juurissa.

33. Maan ja juurten ravinnepitoisuus

Kasvuhäiriön asteen ja Kivisuon turpeen ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiot eivät olleet merkitseviä, vaikkakin keskiarvojen perusteella eräiden ravinteiden (mm. fosfori) pitoisuus näyttää lisääntyvän, toisten (mm. mangaani ja sinkki) taas vähenevän kasvuhäiriön asteen noustessa (taulukko 3). Regressioanalyysissa kasvuhäiriön astetta selittivät merkitsevästi Zn/K-suhde sekä kuparipitoisuus. Mitä suurempi oli maan sinkkipitoisuus (suhteessa kaliumin määrään) sekä kuparipitoisuus, sitä pienempi oli kasvuhäiriö. Yhtälön selitysaste oli kuitenkin alhainen ($100 \cdot R^2 = 29,2 \%$). Havaintoja oli 40 kpl.

Myöskään Kivisuon turpeessa kasvaneiden juurten ravinnepitoisuuden ja kasvuhäiriön as-

teen välinen korrelaatio ei ollut merkitsevä (taulukko 4). Voidaan kuitenkin todeta, että kasvuhäiriön asteen noustessa juurten sisältämän fosforin, kaliumin ja boorin pitoisuus kasvoi ja muiden tutkittujen ravinteiden pitoisuus pieneni.

Regressioanalyysi antoi tulokseksi useita merkitseviä riippuvuussuhteita juurten ravinnepitoisuuden ja Kivisuon turpeen ravinnepitoisuuden välille (taulukko 5). Juurten fosfori-, kalium- ja sinkkipitoisuuden riippuvuussuhde

maan Mn/K-suhteesta sekä booripitoisuudesta oli suunnaltaan negatiivinen. Muut riippuvuussuhteet olivat positiivisia. Maan Zn/K-suhde selitti parhaiten juurten typpipitoisuutta sekä maan Cu/K-suhde ja sinkkipitoisuus juurten mangaanipitoisuutta.

Kasvuturpeessa kasvaneiden juurien säilytykseen käytetyssä formaliinissa oli niin runsaasti sivuaineita ja epäpuhtauksia, etteivät saadut analyysitulokset anna oikeaa kuvaa juurten todellisesta ravinnepitoisuudesta. Tulosten pe-

Taulukko 3. Kivisuon turpeen ravinnepitoisuus.
Table 3. Nutrient contents of the peat at Kivisuo.

Kasvuhäiriön aste – Degree of growth disturbance	N,%	P,mg/l	K,mg/l	B,mg/l	Cu,mg/l	Mn,mg/l	Zn,mg/l
< 5	1,44	20,1	35,3	1,8	0,7	4,7	2,6
5–10	1,47	21,5	38,6	1,9	0,6	4,1	2,1
>10	1,42	27,0	35,5	1,8	0,6	3,5	1,6
r	0,011	0,250	0,281	-0,069	-0,248	-0,187	-0,234

Taulukko 4. Kivisuon turpeessa kasvaneiden juurien ravinnepitoisuus.
Table 4. Nutrient content of the roots growing in the peat at Kivisuo.

Kasvuhäiriön aste – Degree of growth disturbance	N,%	P,mg/g	K,mg/g	B,ppm	Cu,ppm	Mn,ppm	Zn,ppm
< 5	1,26	1,00	0,21	7,23	5,39	122	178
5–10	1,23	1,05	0,24	6,58	5,44	104	149
>10	1,15	1,07	0,28	8,10	4,58	105	159
r	-0,310	0,138	0,435	0,133	-0,250	-0,367	-0,072

Taulukko 5. Juurten ravinnepitoisuuden riippuvuus turpeen ravinnepitoisuudesta askeltavan regressioanalyysin mukaan.

Table 5. Dependence of root nutrient content on soil nutrient content determined by means of step-wise regression analysis.

Selitettävä muuttuja = Juurten ravinnepitoisuus Dependent variable = Nutrient content in roots	Selittävä muuttuja = Turpeen ravinnepitoisuus Independent variable = Nutrient content in peat				Selitysaste Percentage of variance explained 100 · R ²
	I		II		
	Muuttuja Variable	t-arvo t-value	Muuttuja Variable	t-arvo t-value	
N	Zn/K	3,88	–	–	42,6
P	Mn/K	-3,21	B	-2,43	43,3
K	Mn/K	-3,85	B	-4,89	66,3
B	–	–	–	–	–
Cu	–	–	–	–	–
Mn	Cu/K	5,08	Zn	2,05	56,0
Zn	B	-2,17	–	–	16,4

Taulukko 6. Kasvuturpeessa kasvaneiden juurien ravinnepitoisuus.
Table 6. Nutrient content of roots growing in garden peat at Kivisuon.

Kasvuhäiriön aste – Degree of growth disturbance	Ravinteita, % kuiva-aineesta Nutrients, per cent of dry weight				Ravinteita, kg/ha Nutrients, kg/ha			
	N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
	Lannoittamaton kasvuturve – <i>Unfertilized garden peat</i>							
< 5	1,67	0,205	0,84	0,416	2,76	0,34	1,39	0,69
5–10	2,13	0,278	1,01	0,425	2,78	0,36	1,32	0,55
>10	1,90	0,419	1,17	0,649	1,43	0,32	0,88	0,49
	Lannoitettu kasvuturve – <i>Fertilized garden peat</i>							
< 5	2,06	0,224	0,82	0,364	4,50	0,49	1,79	0,79
5–10	2,02	0,285	0,95	0,462	2,56	0,36	1,20	0,58
>10	1,49	0,227	0,86	0,526	2,94	0,45	1,69	1,04

rusteella voidaan kuitenkin pääravinteiden osalta vertailla kasvuhäiriön asteen ja juurten ravinnepitoisuuden välistä suhdetta, koska näytteen säilytystapa on ollut kauttaaltaan sama.

On merkitsevä pantavaa, että lannoittamattomassa kasvuturpeessa kasvaneiden juurten ravinnepitoisuus oli tyypeä lukuunottamatta sitä suurempi, mitä pahempi oli kasvuhäiriö (taulukko 6). Verrattaessa analyysitulosten perusteella juurien ravinteiden kokonaismääriä eri kasvuhäiriöasteiden väliset erot kuitenkin tasoittuvat, eikä niitä ole fosforin osalta enää todettavissa. Lannoitetussa turpeessa kasvaneilla juuril-

la vain kalsiumpitoisuus näyttää lisääntyvän kasvuhäiriön asteen noustessa. Juurten ravinnemäärät olivat lannoitetussa turpeessa selvästi suuremmat kuin lannoittamattomassa.

Kivisuolla oli puiden ja pintakasvillisuuden ohuiden juurien tyypin määrä aikaisemman tutkimuksen mukaan 2,6–14,2 kg N/ha, fosforin 0,2–2,0 kg P/ha ja kaliumin 0,3–4,5 kg K/ha (P a a v i l a i n e n 1968). Hivenravinteiden pitoisuudet olivat juurissa täyslannoitetuilla (NPK + hivenravinteet) koaloilla: 7,1 ppm B, 19,7 ppm Cu, 173 ppm Mn ja 367 ppm Zn (P a a v i l a i n e n 1969).

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Varttuneiden puiden juuristojen tutkiminen vaatii runsaasti työtä ja on myös metodisesti vaikeaa. Suurehkosta työmäärästä huolimatta aineisto jäi tässäkin tutkimuksessa suppeammaksi kuin olisi ollut toivottavaa ja vain harvat tulokset olivat tilastomatemattisen tarkastelun mukaan merkitseviä. Saatuja tuloksia voidaan näin ollen pitää lähinnä suuntaa antavina sekä pohjana tuleville jatkotutkimuksille.

Tutkimustulokset osoittavat, ettei Kivisuon kasvuhäiriöalueella normaalisti kasvavien ja toisaalta latvahäiriöisten mäntyjen juurten määrässä ja anatomisessa rakenteessa ollut kovin suuria eroja. Latvahäiriöisillä puilla oli paitsi verson pituus ja pituuskasvu myös juurten

kokonaismäärä jonkin verran pienempi kuin normaaleilla puilla. Vastaava positiivinen korrelaatio männyn maanpäällisten osien ja juurten kasvun välillä on todettu jo aikaisemmassa tutkimuksessa Kivisuolla (P a a v i l a i n e n 1968).

Anatomian tutkiminen paljasti juurissa primäärisen nilan solujen hypertrofiaa ja ohutseinäisyyttä sekä keskusherion onteloitumista. Ontelonmuodostus näytti lisääntyvän kasvuhäiriön pahetessa.

Kivisuon metsänlannoituskoekentällä havaitun kasvuhäiriön ensimmäisessä kartoituksessa todettiin, että suon alkuperäinen pienreliefi näytti vaikuttavan häiriön esiintymiseen ja että fosforin ja kaliumin korkeimmat käyttö-

määrät lisäsivät häiriöfrekvenssiä (Veijalainen 1975). Kun kasvuhäiriötä ei havaittu juuri lainkaan pääravinteiden lisäksi monipuolisen hivenlannoituksen saaneilla koealoilla, häiriön syyksi epäiltiin hivenravinteiden puutetta. Tätä hypoteesia tukevat myös muualla tehtyjen tutkimusten tulokset (mm. Huikari 1974, Veijalainen 1975, Raitio ja Rantala 1977).

Käsillä olevassa aineistossa turpeen fosforin ja kaliumin pitoisuus oli sitä suurempi ja hivenravinteiden pitoisuus sitä pienempi, mitä pahempi oli kasvuhäiriö. Edelleen askeltavan regressioanalyysin mukaan kasvuhäiriön aste oli sitä suurempi, mitä pienempi oli turpeen Zn/K-suhte sekä Cu-pitoisuus. Näin ollen myös tässä tutkimuksessa saadut tulokset viittaavat siihen, että turpeessa olevien hivenaineiden alhainen pitoisuus fosforin ja kaliumin määrään verrattuna saattaa vaikuttaa kasvuhäiriötä lisäävästi.

Juurten sisältämän fosforin ja kaliumin määrä oli sitä suurempi, mitä pahempi oli kasvuhäiriö. Eräiden muiden ravinteiden (N, Cu, Mn) osalta korrelaatio oli päinvastainen. Regressioanalyysin mukaan edellisessä tapauksessa maan mikroravinteiden pitoisuus pieni juurten pitoisuuden kasvaessa, kun taas jälkimmäisessä tapauksessa juurten ravinnepitoisuuden ja maan mikroravinteiden pitoisuuden välinen korrelaatio oli suunnaltaan positiivinen. Tämänkin vertailu tukee käsitystä, jonka mukaan kasvuhäiriön esiintymiseen voi vaikuttaa hivenravinteiden määrä kasvualustassa.

Edellä esitetyn perusteella on tarpeen tarkastella myös kysymystä voidaanko juurten anatomisessa rakenteessa havaittujen solukkohäiriöiden olettaa johtuneen mikroravinteiden puutteesta. Kirjallisuudessa on esitetty eräitä tutkimustuloksia mm. boorin ja sinkin vaikutuksesta havupuiden juuristoon (mm. Smith ja Bayliss 1942, Blaser ym. 1967). Muiden kasvien osalta tätä kysymystä on tutkittu verraten paljon (esim. Warington 1926, Eltinge ja Reed 1940, Alexander 1941, Carlton 1954, Neales 1960).

Ensimmäiset anatomiset häiriöt ilmenevät yleensä juurten kärkien meristemaattisissa solukoissa (esim. Sommer ja Sorokin 1928). Pahassa puutostilassa juurten meristemaattiset kärjet paisuvat, ruskettuvat tai kuolevat kokonaan (Odhnoff 1957, Albert ja Wilson 1961, Blaser ym. 1967). Selvimmin boorin puute ilmenee erilaisina juurten solujen rakenteen erilaistumishäiriöinä (Warington 1926,

Löhnis 1940, Reed 1947, Neales 1960, Blaser ym. 1967). Warington (1926) havaitsi boorin puutteesta kärsivien papujen (*Vicia faba*) juurten nilan, jäljen ja parenkyymin ohuet solun seinät, lieriöketon solujen epäsäännölliset jakautumiset sekä heikosti kehittyneen ksyleemin. Boorin puutteen on havaittu aiheuttaneen myös juurissa solujen hypertrofiaa (Sommer ja Sorokin 1928) sekä solukkojen heikkoa puutumista (Neales 1960). Reed (1947), Bussler (1964) ja Blaser ym. (1967) ovat lisäksi havainneet boorin puutteesta kärsivillä kasveilla juurten solukoissa halkeamia.

Carlton (1954) on havainnut myös sinkin puutteesta kärsivillä tomaateilla juuren kuoren skitso-lysigeenisia onteloita, samoin kuin metakksyleemin putkiloiden heikon puutumisen.

Aikaisemmissa tutkimuksissa esitetyt tulokset mikroravinteiden puutteen kasvien juurissa aiheuttamista muutoksista eivät ole kaikilta osin kovin yksiselitteisiä ja selkeitä. Kuitenkin kirjallisuudessa esitettyjen tietojen vertailu tässä tutkimuksessa saatuihin tuloksiin osoittaa, että eräät Kivisuolla kasvaneiden mäntyjen juurissa havaitut solukkohäiriöt, varsinkin ontelon muodostus, ovat voineet johtua hivenravinteiden puutteesta. Tämän kysymyksen tarkempaan selvittelyyn onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota jatkotutkimuksissa.

Tulokset antoivat viitteitä siitä, että fosforin ja kaliumin pitoisuus on lisääntynyt kasvuhäiriöiden puiden juurissa ja toisaalta eräiden muiden ravinteiden pitoisuus on pienentynyt normaalisti kasvaviin puihin verrattuna. Tämä juuriston ravinnesuhteiden muuttuminen on voinut johtua voimakkaasta lannoituksesta. Kivisuolla tehdyn aikaisemman tutkimuksen mukaan NPK-lannoitus lisäsi männyn ja pintakasvillisuuden juurten fosfori- ja kaliumpitoisuutta, mutta ei vaikuttanut sanottavasti juurten typpi-pitoisuuteen (Paavilainen 1968). NPK + hivenravinteet käsittänyt lannoitus lisäsi puolestaan juurten kupari- ja sinkkipitoisuutta, kun taas juurten boori- ja mangaanipitoisuudet olivat lannoitetuilla koealoilla pienemmät kuin lannoittamattomilla (Paavilainen 1969). Tämä viittaisi siihen, että kuparia ja sinkkiä olisi kasautunut juuristoon ja mangaania sekä booria versoon ja lehtiin, kuten eräissä muisakin tutkimuksissa on esitetty (esim. Smilde 1973, Safford 1976).

Smilden (1973) mukaan fosforimäärän lisäys (0...375 ppm) astiakokeissa (podsolimaa,

pH 3,8) kohotti douglaskuusen ja männyn juurten fosforipitoisuutta, mutta alensi niiden sinkki-, kupari-, mangaani- ja rautapitoisuutta. Männyllä myös juurten typpi- ja alumiinipitoisuudet laskivat fosforimäärän kasvaessa. Tosin kokeessa esiintyi ilmeisesti vallitsevana ns. ohenusilmiö (lannoituksen aiheuttaman voimakkaan kasvun seurauksena juurten ravinnepitoisuudet pienenevät kuivapainoyksikköä kohden) estäen fosforin suoran (esto)vaikutuksen havaitsemista hivenravinteiden ottoon. Safford (1974) sai tulokseksi, että useiden eri ravinteiden – myös sellaisten, joita ei käytetty lannoituksessa – pitoisuus lisääntyi NPK-lannoituksen vaikutuksesta.

Koealoille sijoitettujen lannoitettujen ja lannoittamattomien kasvuturvenäytteiden avulla tutkittiin, paljonko ravinteita sitoutuu männyn ohuiden juurien kasvuun yhden vuoden aikana. Turpeen ollessa lannoittamaton latvahäiriöiset puut käyttivät selvästi enemmän fosforia, kalsiumia ja kaliumia samaa juurten kuivapainoyksikköä kohden kuin normaalisti kasvavat

puut. Lannoitetussa turpeessa kasvaneilla juurilla vain kalsiumpitoisuus lisääntyi kasvuhäiriön noustessa. Kun otetaan huomioon juurten erilainen kasvu, on havaittujen ravinnepitoisuuksien eräänä syynä myös pidettävä aiemmin mainittua ohennusvaikutusta. Lisäksi saattaa tuloksiin pää- ja hivenravinteiden osalta vaikuttaa myös muita tekijöitä, kuten eri aineiden väliset (negatiiviset) vuorovaikutukset maaperässä, juurissa ja versossa (ks. Olsen 1972).

Metsänlannoitus vaikuttaa edellä esitetyn mukaan paitsi puiden maanpäällisten osien myös niiden juuristojen ravinnesuhteisiin. Tällä saattaa olla merkittävä vaikutus puiden myöhemmän kehitykseen ja mm. kasvuhäiriöiden esiintymiseen. Onhan esimerkiksi mahdollista, että jonkin ravinteen – kuten boorin (ks. taulukko 4) – kasautuminen juuristoon aiheuttaa sen puutetta puiden maanpäällisissä osissa, tai on sinänsä osoituksena ravinnetasapainon häiriöstä. Tutkimuksia jatkettaessa olisi kiinnitettävä huomiota myös tähän kysymyksen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALBERT, L. S. & WILSON, C. M. 1961. Effect of boron on elongation at tomato root tips. *Plant physiol.* 26: 244–251.
- ALEXANDER, T. R. 1942. Anatomical and physiological responses of squash to various levels of boron supply. *Bot. Gaz.* 103: 475–491.
- BLASER, W., MARR, C. & TAKAHASHI, D. 1967. Anatomy of boron deficient *Thuja plicata*. *Amer. J. Bot.* 54(9):1107–1113.
- BUSSLER, W. 1964. Die Bormangelsymptome und ihre Entwicklung. *Z. Pfl. Ernähr. Bodenk.* 105(2): 113–136.
- CARLTON, W. M. 1954. Some effects of zinc deficiency on the anatomy of the tomato. *Bot. Gaz.* 116:52–64.
- ČECH, M., KRÁLÍK, O. & BLATTNY, C. 1961. Rod-shaped particles associated with virosis of spruce. *Phytopathology* 51:183–185.
- ELTINGE, E. T. & REED, H. S. 1940. The effect of zinc deficiency upon the root of *Lycopersicum esculentum*. *Amer. J. Bot.* 27:331–335.
- HUIKARI, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. *Metsä ja Puu* 11:24–25.
- & PAARLAHTI, K. 1973. Kivisuon metsänlannoituskokeet. *Kenttäopas*. 2. painos. Helsinki.
- KAUNISTO, S. 1976. Alkian kenttäkokeet 1961–1975. *Metsäntutkimusl. Parkanon tutk.as. tiedonanto* 4.
- KOLARI, K. 1977. Boori kasvien fysiologiassa. Kirjallisuuskatsaus. *Metsäntutkimusl. suontutkimusosaston tiedonanto* 1/1977. *Moniste*. 86 s.
- KOSONEN, R. & SILFVERBERG, K. 1976. Havainnotja eskimosisilmistä männyllä Kivisuolla. *Metsäntutkimusl. suontutkimusosaston tiedonanto* 8/1976. *Moniste*. 15 s.
- KOSONEN, R. & SILFVERBERG, K. 1977. Mikro- ja makrolannoituksen vaikutuksesta männyn kasvuhäiriöilmion esiintymiseen Karvian Alkkiannevalilla. *Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla*.
- LÖHNIS, M. P. 1940. Histology of boron deficiency in plants. *Medd. Landbouwh. Wageningen. Deel*. 44 *Verh.* 3:1–36.
- MIKOLA, P. & LAIHO, O. 1962. Mycorrhizal relations in the raw humus layer of northern spruce forests. *Commun. Inst. For. Fenn.* 55:18.
- NEALES, T. F. 1960. Some effects of boron on root growth. *Aust. J. Biol. Sci.* 13:232–248.
- NIENHAUS, F., BRUSSEL, H. & SCHINZER, U. 1976. Soil-borne transmission of Rickettsia-like organisms found in stunted and witches broom diseased larch trees (*Larix decidua*). *Z. Pfl. Krankh.* 83:309–316.
- ODHNOFF, C. 1957. Boron deficiency and growth. *Plant physiol.* 10:948–1000.
- OLSEN, S. R. 1972. Micronutrient interactions. *Teoksessä Mortvedt ym. (toim.) Micronutrients in agriculture. Madison, USA.* s. 243–263.
- PPAAVILAINEN, E. 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsänlannoituskoe-alueella. Summary: Root studies at the Kivisuo forest fertilization area. *Commun. Inst. For. Fenn.* 66(1):1–31.
- 1969. Juuristojen ja kasvualustan hivenaine-
pitoisuuksien välisistä suhteista suometsissä. Summary: On the correlation between the contents of trace elements in roots and growth substratum in certain peatland sites. *Suo* 20, 1969 (2): 25–29.
- 1976. Typpilannoitus ohutturpeilla piensara-
rämeillä. Summary: Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps. *Folia For.* 272: 1–16.
- RAITIO, H. & RANTALA, E.-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- 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): 1–00. (painossa.)
- REED, H. S. 1947. A physiological study of boron deficiency in plants. *Hilgardia* 17.11: 377–411.
- REINIKAINEN, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization at Kivisuo. V th Colloquium of Intern. Potash Inst. Jyväskylä, Finland, 1967: 345–361.
- 1976. Soiden metsätalouden ekologiaa. Suomen metsätalouden ekologiaa. *Suomen Luonto* 5.
- SAFFORD, L. O. 1974. Effect of fertilization on biomass and nutrient content of fine roots in a beech-birch-maple stand. *Plant and Soil*. 40: 349–363.
- 1976. Seasonal variation in the growth and nutrient content of yellow-birch replacement roots. *Plant and Soil* 44: 439–444.
- SCMELZER, K., SCMIDT, H.E. & SCMIDT, H.B. 1966. Viruskrankheiten und virusverdächtige Erscheinungen an Forstgehölzen. *Arch. Forstw.* 15 (2): 107–120.
- SMILDE, K. W. 1973. Phosphorus and micronutrient metal uptake by some tree species affected by phosphate and lime applied to an acid sandy soil. *Plant and Soil* 39: 131–138.
- SMITH, M. E. & BAYLISS, N. S. 1942. The necessity of zinc for *Pinus radiata*. *Plant physiol.* 17: 303–310.
- SOMMER, A. L. & SOROKIN, H. 1928. Effects of the absence of boron and some other essential elements on the cell and tissue structure of the root tips of *Pisum sativum*. *Plant physiol.* 3: 237–260.

- VEIJALAINEN, H. 1974. Makro- ja mikrolannoitus-
koe kuusen »eskimosis»alueella. Moniste Metsän-
tutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla.
- 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsä-
ojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization
on drained peatlands. *Suo* 26(5):87–92.
- 1977. Männyn neulasten mikroravinneanalyysi
lannoitustarpeen määrittämisessä turvemailla. Käsi-
kirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimus-
osastolla.
- WARINGTON, K. 1926. The change induced in the
anatomical structure of *Vicia faba* by the absence
of boron from the nutrient solution. *Ann. Bot.*
40: 27–42.
- YARWOOD, C.E. 1959. Virus increase in seedling
roots. *Phytopathology* 49: 220–223.

ODC 424
ISBN 951-40-0279-2
ISSN 0015-5543

KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. 1977. Männyn juuristo-
suhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Abstract: Pine root condition and
growth disturbances. *Folia For.* 313: 1-16.

The aim of this study was to determine whether there are any differences in
the amount of roots, anatomical structure and nutrient contents of the
affected and non-affected trees growing in the same area. In addition, an
attempt was made to determine the relationship between these root
characteristics and the degree of growth disturbance found in the aboveground
parts of the trees and the amounts of different nutrients in the soil.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A,
SF-00170 Helsinki 17.

ODC 424
ISBN 951-40-0279-2
ISSN 0015-5543

KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. 1977. Männyn juuristo-
suhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Abstract: Pine root condition and
growth disturbances. *Folia For.* 313: 1-16.

The aim of this study was to determine whether there are any differences in
the amount of roots, anatomical structure and nutrient contents of the
affected and non-affected trees growing in the same area. In addition, an
attempt was made to determine the relationship between these root
characteristics and the degree of growth disturbance found in the aboveground
parts of the trees and the amounts of different nutrients in the soil.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A,
SF-00170 Helsinki 17.

ODC 424
ISBN 951-40-0279-2
ISSN 0015-5543

KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. 1977. Männyn juuristo-
suhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Abstract: Pine root condition and
growth disturbances. *Folia For.* 313: 1-16.

The aim of this study was to determine whether there are any differences in there
the amount of roots, anatomical structure and nutrient contents of the
affected and non-affected trees growing in the same area. In addition, an
attempt was made to determine the relationship between these root
characteristics and the degree of growth disturbance found in the aboveground
parts of the trees and the amounts of different nutrients in the soil.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A,
SF-00170 Helsinki 17.

ODC 424
ISBN 951-40-0279-2
ISSN 0015-5543

KOLARI, K., PAAVILAINEN, E. & RAITIO, H. 1977. Männyn juuristo-
suhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Abstract: Pine root condition and
growth disturbances. *Folia For.* 313: 1-16.

The aim of this study was to determine whether there are any differences in
the amount of roots, anatomical structure and nutrient contents of the
affected and non-affected trees growing in the same area. In addition, an
attempt was made to determine the relationship between these root
characteristics and the degree of growth disturbance found in the aboveground
parts of the trees and the amounts of different nutrients in the soil.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A,
SF-00170 Helsinki 17.

- No 261 Eero Lehtonen: Pienpuun kaato moottori- ja raivaussahoihin perustuvilla laitteilla. Felling of small-size trees with felling devices based on the chain saw and clearing saw.
- No 262 Olli Saikku ja Pentti Rikkonen: Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Bark amount of pulpwood and factors affecting it.
- No 263 Reino Saarnio: Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa. The quality and development of cultivated curly-birch (*Betula verrucosa* f. *carelica* Sok.) stands in southern Finland.
- No 264 Yrjö Vuokila: Ensiharvennuskertymä. Yield from the first thinning.
- No 265 Olavi Huuri: Kallistusilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia. Tilting of planted pines; survey results.
- No 266 Proposed tree breeding programme in Finland 1976—1985. Abbreviation of the report issued by the Tree Breeding Committee (Committee Report 1975:25).
- No 267 Jari Parviainen: Taimien juurten leikkaaminen kasvatuksen ja istutuksen yhteydessä. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Root pruning in the nursery and at planting. A study based on literature.
- No 268 Jari Parviainen: Männyin eri taimilajien juuriston alkukehitys. Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine.
- No 269 Heikki Seppälä: Metsäsektorin alueellinen merkitys Suomessa. Regional importance of the forest sector in Finland.
- No 270 Jaakko Virtanen: Metsänomistaja tienrakennuttajana. The role of the forest owners in logging roads construction.
- No 271 Pertti Elovirta: Metsätalouden työvoiman tarjonta Suomessa 1945—1974 ja ennuste vuosille 1975—1985. Forest labour supply in Finland 1945—1974 and a forecast to years 1975—1985.
- No 272 Eero Paavilainen: Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä. Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps.
- No 273 Paavo Simola ja Markku Mäkelä: Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Leaf-seasoning method in whole-tree logging.
- No 274 Kullervo Kuusela ja Sakari Salminen: Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973—74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975. Forest resources in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala in 1973—74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975.
- No 275 L. Runeberg: Driftsresultat från Skogsforskningsinstitutets företagekonomiska forskningskogar åren 1945—74. The business economics result from the Forest Research Institute's research forests 1945—74.
- No 276 Pentti Iisalo, Jukka Sorsa ja Paavo Tiuhonen: Suomen metsien rakenteen seuranta-menetelmä. Eine methode zur laufenden Überprüfung der Struktur der Wälder Finnlands.
- No 277 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1973—75. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1973—75.
- No 278 Heikki Juslin: Metsäalan toimihenkilöiden täydennyskoulutustarve. The need for future education in forestry.
- No 279 Jyrki Raulo ja Erkki Lähde: Ennakkotuloksia rauduskoivun kylvökokeista Lapissa. Preliminary results on sowing experiments with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 280 Veijo Heiskanen: Havusahatukkien kuorelliset keskusmuotoluvut. Middle form factors of pine and spruce sawlogs.
- No 281 Yrjö Vuokila: Karsimisen vaikutus männyin ja koivun terveystilaan. Effect of green pruning on the health of pine and birch.
- No 282 Yrjö Vuokila: Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana. The boring of standing trees as a source of defects.
- No 283 Leevi Pajunen: Metsurin työvälinekustannukset 1975—1976. Forest worker's equipment costs 1975—1976.
- No 284 Paavo Juutinen, Timo Kurkela ja Sakari Lilja: Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun vioittajana sekä vioitusten sienisaastunta. *Cicadella viridis* (L.) as a wounding of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi.
- No 285 Timo Nyrhinen: Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa. A test of two-step forest inventory in South-West Finland.
- No 286 Matti Kärkkäinen: Pohjoissuomalaisen koivukuitupuun tilavuusmittauksia. Volume measurement of birch pulpwood in Northern Finland.
- No 287 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Koivutukkien latvamuotoluvut ja yksikkökuutiot. Top form factors and unit volumes of birch logs.
- No 288 Matti Leikola: Taimitarhamaan lämpöolot muovihuoneessa ja avomaalla. Soil temperature conditions in plastic greenhouse and in open nursery.
- No 289 Lehtikoinen, Tapio: Pohjois- ja Etelä-Suomen väliset kantohintaerot. Stumpage price differences between Northern and Southern Finland.

- No 290 Heiskanen, Veijo: Tarkistetut havusahatukkien kuorelliset yksikkökuutioluvut. The checked unit volumes for pine and spruce sawlogs.
- No 291 Uusitalo, Matti: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972—74. Costs of timber production in Finland in 1972—74.
- No 292 Hakkila, Pentti: Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Stumpwood as industrial raw material.
- No 293 Lehtonen, Irja: Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Wood as a fuel. A study based on literature.
- No 294 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia. Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stage stands (Scots pine).
- No 295 Metsätilastollinen vuosikirja 1975. Yearbook of Forest Statistics 1975.
- No 296 Heiskanen, Veijo: Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuero. Quality differences of timber between Southern and Northern Finland.
- No 297 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä. Effect of spreading method on forest fertilization results.
- No 298 Vuokila, Yrjö: Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Selective thinning from above as a factor of growth and yield.
- No 299 Vuokila, Yrjö: Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvystä. On the growth capacity of aspen stands on good sites.
- No 300 Paavilainen, Eero: Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levityssajan kohdasta turvemaalla. Effect of application time on growth response to easily dissolving fertilizers on peatlands.
- No 301 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen tukkipuutaulukot. Tukkien minimiläpimittaluokka männyllä 13 cm ja kuusella 13 ja 15 cm. Massentafeln für Kiefern- und Fichtenblochholz. Mindestdurchmesserklassen der Blöcher für Kiefer 13 cm und für Fichte 13 und 15 cm.
- No 302 Simola, Paavo: Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. The biomass of small-sized hardwood trees.
- No 303 Vuokila, Yrjö: Talvikkityypin puuntuotannollinen asema metsätyyppijärjestelmässä. Position of the Pyrola type in the forest site type system of Cajander.
- No 304 Puro, Tiina: Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusitalannoituksesta. Results of the second fertilization with nitrogen.
- No 305 Virtanen, Jaakko & Ylinen, Mikko: Ojitusalueiden lentolannoitus. Aerial spreading of fertilizers on peatlands.
- No 306 Astorga S., Luis E.: Effectuating possibilities of waste wood utilization in Finland. Step 1. Jätepuun käytön tehostamismahdollisuudet Suomessa. Osa 1.
- No 307 Kilkki, Pekka, Kuusela, Kullervo & Siitonen, Markku: Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille. Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland.
- No 308 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1974—76. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1974—76.
- No 309 Mäkelä, Markku: Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen. Changes in the quality of logging residues.
- No 310 Harstela, Pertti, Järvinen, Juhani, Tervo, Leo & Aholainen, Raimo: Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälle teko ja LEKA-menetelmä). The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method).
- No 311 Takalo, Sauli & Sauvala, Kari: Havaintoja metsurin suojausten kestävydestä ja sen mittaamisesta. Observations on the durability and testing of protective clothing for chain saw workers.
- No 312 Leikola, Matti, Metsämuuronen, Markku, Räsänen, Pentti K. & Taimisto, Erkki: Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975. The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975.
- No 313 Kolari, Kimmo, Paavilainen, Eero & Raitio, Hannu: Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella. Pine root condition and growth disturbances.