METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

92

HELSINKI 1979

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

92

HELSINKI 1979

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

92

Kalliola, R. 1979. Viljo Kujala in memoriam ..... 1—14
Laine, L. 1979. Viljo Kujalan julkaisuja. *List of publications* .. 15—23

92.1 Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Seloste: Typpijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karulla turvealustalla ..... 1—54

92.2 Pohtila, E. 1977. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Summary: Accuracy of regeneration surveys ..... 1—43

92.3 Ahti, E. 1977. Runoff from open peatlands as influenced by ditching. I. Theoretical analysis. Seloste: Metsäojituksen vaikutus avosuon valuntaan. I. Teoreettinen analyysi ..... 1—16

92.4 Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrityksessä turvemailla ..... 1—32

92.5 Löyttyniemi, K. & Sarakoski, M. L. 1978. Nematodes in forest tree nurseries in Finland. Tiivistelmä: Suomen metsätaimitarhojen nematodeista ..... 1—8

92.6 Löyttyniemi, K., Pekkala, O. & Uusvaara, O. 1978. Deterioration of pine and spruce pulpwood stored during the growing season and its effect on sulphite pulping. Seloste: Mänty- ja kuusikuitupuun pilaantuminen kesävarastoinnin aikana ja sen vaikutus massan saantoon ja laatuun ..... 1—16

92.7 Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ..... 1—37

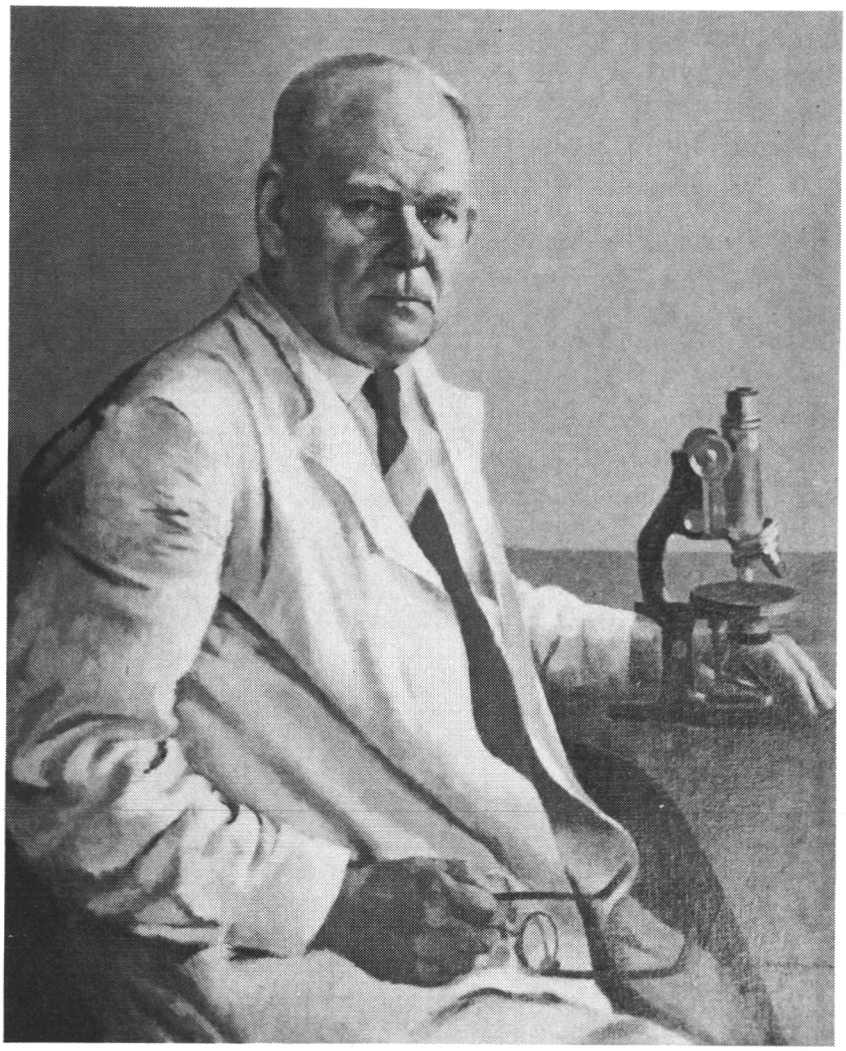
92.8 Kujala, V. 1979. Suomen metsätyypit. Abstract: Forest types of Finland ..... 1—45

VILJO KUJALA

1891 – 1977

IN MEMORIAM

HELSINKI 1979



E. Methel-Borgström

VILJO KUJALA 1891–1977

VILJO KUJALA
1891 – 1977

IN MEMORIAM

Metsäntutkimuslaitoksen istuntohuonetta juhlistaa laitoksen johtajina ja johtavina tutkijoina ansioituneita henkilöitä esittävä muotokuvasarja. Tällä kertaa on syytä pysähtyä valkoiseen työtakkiin pukeutuneen tiedemiehen eteen, joka vakaana, seesteisen rauhallisena katsoo meitä mikroskooppinsa äärestä. Taiteilija on tottakin onnistunut kuvaamaan myös mallinsa henkiset kasvonpiirteet: näemme kriitillisen tutkijan ja samalla hiljaisen, vaatimattoman, herkän ja hienotunteisen ihmisen. Hän, professori Viljo Kujala poistui joukostamme syyskuun 13 päivänä 1977 lähes 86 vuoden ikäisenä.

Vastavalmistuneena 28-vuotiaana luonnontieteiden maisterina Viljo Kujala kiinnitettiin v. 1919 assistentiksi juuri perustettuun Metsätieteelliseen koelaitokseen, nykyiseen Metsäntutkimuslaitokseen. Se oli hänen ensimmäinen työpaikkansa, ja täällä hän sitten uskollisesti teki suurimman osan elämäntyöstään, koko päätoimisen virkauransa. Hänet nimitettiin metsänhoidon vanhemmaksi assistentiksi v. 1934 ja neljä vuotta myöhemmin metsäbiologian professoriksi. Tästä virasta hän erosi 70 vuotta täyttäessään v. 1961 ja siirtyi täysinpalvelleena eläkkeelle. Viljo Kujala tuli siten toimineeksi Metsäntutkimuslaitoksessa 42 vuotta eli pitemmän ajan kuin kukaan toinen tutkija.

Metsä on kasviyhdyskunta. Metsänhoidon tieteellinen kivijalka on siksi ennen kaikkea kasvitiedettä: kasviekologiaa ja kasvimaantiedettä. Tämän perustan loi suomalaiselle metsätieteelle A. K. Cajander. Viljo Kujalasta tuli hänen metsätyyppiteoriansa vahva tukija ja edelleen kehittäjä. Samalla Kujala on lahjakkaana ja omaperäisenä, kansainvälisestikin tunnettuna tutkijana vienyt metsäkasvitiedettä eteenpäin myös sen monilla muilla lohkoilla.

Suuri osa Kujalan tutkimuksista, joista seuraavassa voidaan esitellä vain tärkeimpiä, on julkaistu Metsäntutkimuslaitoksen omassa sarjassa. Vanhin niistä on Kuusamon metsä- ja suotyyppejä koskeva selvitys (1921). Kesät 1922, 1923 ja 1924 olivat kuumeista työn aikaa. Suurella huolella ja uutta itse kehittämäänsä tutkimusmenetelmää käyttäen uuttera tutkijamme analysoi metsäkasvillisuutta 200:lla näytealalla Etelä- ja Keski-Suomen eri puolilla. Tuloksena oli laaja metsiemme yleisimpien putkilokasvien sekä sammalien ja jäkälien rakennetta, esiintymistä ja ekologiaa käsittelevä tutkimus (1926), joka yhä on tärkein lähdeteos alallaan. Tekijän tarkoituksena oli saman aineiston pohjalta selvitellä myös metsäkasviyhdyskuntiemme

127900898D

olemusta ja luokittelua. Tästä kasvillisuutta käsittelevästä julkaisun toisesta osasta ehti kuitenkin valmistua vain suppea kasvustojen rajoittamista koskeva metodinen tutkimus. Sen mukaan kasvustojen rajaus on tehtävä niin, että kullekin kasvilajille jää tilaa kasvutapansa (yksitellen – ryhminä – laikkuina) mukaiseen esiintymiseen, laikkumuodostumia ei saa pitää kasvustoina. Valitettavasti kasvillisuustaulukotkin jäivät julkaisematta. Niitä olisi tarvittu normeiksi, esimerkiksi silloin kun metsätyyppien määrittämisestä syntyi erilaisia tulkintoja, jotka sitten vaikuttivat mm. valtakunnan metsien inventointien tuloksiin. Mutta tutkijallamme ei ollut enää malttia eikä aikaa tähän työhön. Uudet tehtävät ja uudet maat odottivat.

Kesät 1925 ja 1927 kuluivat Inarin Lapissa ja Petsamossa, ja väliin jääneenä kesänä 1926 oli tehtävä kahden kuukauden matka Baltian maihin ja Keski-Euroopan itäosiin. Petsamoa koskeva tärkeä tutkimus ilmestyi painosta 1929, Keski-Euroopan metsätyypit joutuivat odottamaan kymmenen vuotta (1936). Metsätyyppien tarkastelu vei tutkijamme lopulta aina Amerikkaan asti. Vuonna 1931 Kujala teki koko kesäkauden kestäneen tutkimusmatkan Brittiläiseen Kolumbiaan ja muualle Kanadaan sekä myös USA:n puolelle, apulaisenaan silloinen ylioppilas Aarno Cajander (myöhemmin kasvitieteen professori Aarno Kalela). Tarkoituksena oli vertailla Suomen ja luonnonoloiltaan Suomea vastaavien Amerikan osien metsiä sikäläisten puulajien maahamme siirtämisen mahdollisuuksia silmällä pitäen. Matkan tulosten julkaiseminen siirtyi väliin sattuneiden sotavuosien takia aina vuoteen 1945. Ilmestynyt yli 400-sivuinen monumentti on suomalaisen metsätyyppiteorian maantieteellisesti etäisin sovellutusyritys. Vastintyyppejä etsittäessä joudutaan suureksi osaksi erilaisen kasviston vuoksi turvautumaan Cajanderin korostaman kasvillisuuden "ekologis-biologisen luonteen" samanlaisuuteen. Teos on Kanadan kasvillisuustutkimuksen perusteoksia, mutta valitettavasti vain saksankielisenä se on jäänyt Amerikassa aivan liian vähälle huomiolle.

Eri alueiden metsäkasvillisuuden vertailu avarsi ja syvensi Kujalan näkemyksiä kasvillisuuden olemuksesta ja johti merkittäviin yleisluonteisiin päätelmiin. Sellainen on v. 1929 ilmestynyt pieni mutta tärkeä julkaisu, jossa Kujala korostaa kasvipeitteen ekologisten horisontaalikerrosten suhteellista itsenäisyyttä – menemättä kuitenkaan niin pitkälle kuin myöhemmin eräät kasvisosiologit, jotka perustivat koko kasvillisuuden luokituksen kerrosyksiköihin (synusioihin). Kujala päinvastoin muistuttaa samalla eri kerrosten yhteenkuuluvuudesta. Kasvillisuuden perusyksikkö on hänellä – niin kuin useimmilla kasvimaantieteilijöillä – kasviyhdyskunta (fytokenoosi) kaikkine kerroksineen.

Keski-Euroopan ja varsinkin Pohjois-Amerikan matkalla saadut kokemukset metsäkasvillisuuden alueellisista vaihteluista saivat Kujalan käymään käsiksi Suomen vyöhykejakokysymykseen. Maamme aikaisemmat kasvimaantieteelliset vyöhykejaot oli tehty ensi sijassa kasvistollisella pohjalla. Kujalan mukaan vyöhykejaottelu on koetettava aikaansaada suoranaisesti kasvillisuuden perusteella. "Kun siirrytään ilmastoalueelta toiselle, havaitaan metsäkasvillisuuden muuttuvan rinnakkain kaikissa kasvillisuuden kerroksissa. Muutos on näin kasvillisuuden sisäinen. Eteläi-

set tyypit eivät siis lakkaa yhtäkkiä esiintymästä ja korvaudu pohjoisilla, vaan kukin tyyppi saa uusia lajeja ja menettää toisia asteittain. Eteläisten ja pohjoisten tyyppien välillä tavataan välimuotoja, joiden kautta määrätty eteläinen tyyppi liittyy määrättyyn tai määrättyihin pohjoisiin tyyppeihin." Näin kirjoittaa Kujala v. 1936 julkaisussaan, jossa hän aikaisemmin tehtyjen ja omien tutkimustensa pohjalta vertailee yksityiskohtaisesti maamme eteläisiä ja pohjoisia metsätyyppejä toisiinsa sekä selvittää niiden alueellisen jakautumisen. Välimuototyyppien esiintymisen perusteella voidaan Keski- ja Pohjois-Suomen väliin erottaa laaja Kainuun vyöhyke. Kujala viittasi myös vastaavanlaisten tutkimusten jatkamisen tarpeellisuuteen. "Ainakin kaksi vyöhykerajakysymystä odottaa vielä selvitystä, nimittäin rajan vetäminen Perä-Pohjolan ja Lapin välille ja toisaalta eteläisimmän Suomen erottaminen eri vyöhykkeeksi", hän sanoi. Näin Kujala loi pohjan maamme alueelliselle kasvillisuustutkimukselle, jota sitten ovat jatkaneet Aarno Kalela ja hänen oppilaansa. Kujalan mainitsemat ja samalla muutkin vyöhykerajat on vedetty. Ne on otettu huomioon myös käytännön tarkoituksiin sovelletussa metsätyyppijärjestelmässämme.

Viljo Kujala oli ennen kaikkea metsäkasvillisuuden – kokonaisuuden – tutkija, mutta suuri on hänen antinsa myös yksittäisten metsäkasvien rakenteen ja ekologian selvittäjänä. Tähän puoleen kuuluu jo hänen väitöskirjana ilmestynyt monografiansa tervalepästä (1924). Metsäpuiden biologiaa koskevat myös laskelmat lehtipuiden kukinta-ajoista ja lehtikauden pituudesta (1924) sekä tutkimukset männyn ja kuusen siemenen rakenteesta ja itävyydestä (1927) ja raudus- ja hieskoivun ominaisuuksista (1946). Laajin ja tärkein autekologinen tutkimus, jonka kohteina ovat metsiemme yleisimmät putkilokasvit sekä sammalet ja jäkälät, mainittiin jo edellä kasvillisuustutkimusten yhteydessä. Sieniäkään ei metsän biologian tutkija voi sivuuttaa, ne ovat päinvastoin tässä ekosysteemissä hyvin tärkeä elementti. Sen mukaan Kujala oli myös mykologi, Metsäntutkimuslaitoksen arvokkaan sienikokoelman perustaja, havupuiden pikkusienten tutkija (1950), Suomen kääpien ja muiden käävväkkäiden selvittäjä.

Vuosina 1951–1953 suoritetun valtakunnan metsien III inventoinnin yhteydessä tehtiin myös biologisia havaintoja Viljo Kujalan laatiman ja johtaman ohjelman mukaan. Kenttätöihin osallistui kaikkiaan 42 biologia. Kertynyt aineisto on valtava: tuhatmäärin näytealakuvauksia metsä- ja suotyypeistä sekä kasvilajien levinneisyystietoja näytealojen välitaipaleilta. Työn tuloksena on valmistunut v. 1964 Kujalan teos, joka sisältää yleisten metsä- ja suokasvien levinneisyyskartat selityksineen. Kartasto – ilmeisesti ainoalaatuinen maailmassa – tarjoaa vankan pohjan maamme kasviston alueellisten yleispiirteiden tarkastelulle. Tarkoituksena oli käyttää näytealakuvauksia myös – ja nimenomaan – kasviyhdyskuntien alueellisten piirteiden selvittämiseen, mutta tämä työ jäi valitettavasti kesken ja odottaa jatkajaansa.

Pienissä oloissamme on miltei sääntönä, että tutkimuslaitosten johtavat tutkijat osallistuvat myös alansa korkeakouluopetukseen. Viljo Kujala toimi Helsingin yliopiston kasvitieteen dosenttina vv. 1928–1953 ja maatalous-metsätieteellisen tie-

dekunnan kasvitieteen vt. apulaisena 1932–1934 sekä jo sitä ennen Turun yliopiston kasvitieteen vt. professorina 1929–1930. Suurta kiitosta ansaitsee myös hänen vuosikymmenien kuluessa metsäammattimiehille jakamansa opetus erilaisilla kursseilla ja retkeilyillä.

Itsestään selvää on, että elävän luonnon syvällinen tuntija ja tutkija oli myös luonnon harras ystävä. Viljo Kujalalle luonnonsuojelu merkitsi myös aktiivista toimintaa, jopa alan kärjessä. Hän hoiti vielä siihen aikaan sivutoimista valtion luonnonsuojelunvalvojan virkaa vv. 1930–1938 ja oli Suomen Luonnonsuojeluyhdistyksen puheenjohtajana vaikeina vuosina 1942–1951. Hän on siten ollut luomassa niitä perusteita, joille luonnonsuojelutyö maassamme rakentuu. Hänen luonnonsuojelunvalvoja-kaudellaan perustettiin maamme ensimmäiset kansallis- ja luonnonpuistot (1938). Kun uusien luonnonsuojelualueiden perustamismahdollisuuksista jälleen parhaillaan keskustellaan, on ehkä paikallaan muistuttaa eräästä Kujalan ajatuksesta vuodelta 1941. Sen mukaan luonnonpuisto voitaisiin perustaa – siellä missä ei muuta mahdollisuutta ole – paljaaksi hakatulle tai autioksi palaneelle alueelle. Suomen ilmastossa metsä kyllä uudistuu ja palautuu lopulta alkuperäislaatuisekseen, ja tieteellistä arvoa alueella olisi rauhoittamisesta lähtien juuri tämän palautumiskehityksen tutkimuspaikkana.

Tiedemiehen ansioluetteloon kuuluu myös toiminta tieteellisissä seuroissa. Viljo Kujala oli johtoasemissa monessa yhdistyksessä, mm. maamme suurimman biologisen seuran, Vanamon, puheenjohtajana 1951–1961. Sen sijaan saattaa tuntua yllättävältä nähdä tiedemiehen ansioluettelossa vastuu valtakunnallisen retkeilyjärjestönkin johtamisesta. Kujalan osalta tässä ei kuitenkaan ollut mitään outoa, päinvastoin. Sillä Kujala oli juuri retkeilijä. Tietysti hän ulkomaisilla kongressi- ja esitelmämatkoillaan joutui asumaan myös kaupunkien hotelleissa, mutta parhaiten hän viihtyi saapasjalkaisena ja reppuselkäisenä vaeltajana maaseudun retkeilymajoissa, missä kasvipaperien kuivatuskin kävi paremmin päinsä. Hän oli yksinkertaisten elämäntapojen ystävä ja niiden arvon ymmärtäjä. Juuri retkeilyillä Kujalan ansiot myös opettajana pääsivät parhaiten oikeuksiinsa. Luentosalissa hän saattoi joskus – suomalaisten yliopistomiesten yleiseen tapaan – ujostella ja väheksyä tekstiään ja mumista liiveihinsä, mutta annas olla kun päästiin ulos metsään ja Kujala sai pihkaa sormiensa väliin. Esitykseen tuli havainnollista elävyyttä ja voimaa. Olen saanut retkeillä Kujalan kanssa niin Suomenlahden ulkosaarilla kuin Lapin tuntureillakin ja tietysti myös ja ennen kaikkea Kymenlaakson rapakivivuorilla. Muistelen näitä täyteläisiä päiviä hyvin kiitollisena. Mieleeni on jäänyt myös eräs hyvä opetus. Kujala kertoi, kuinka hän kerran oli esittänyt yhdelle kenttäapulaisistaan, että tämä olisi tehnyt erään oman sivututkimuksen. Assistentti ei kuitenkaan halunnut tehdä tarvittavaa yksitoikkoista näytealatyötä, vaan halusi katsella vain kiintoisia asioita ja tehdä niistä hajallisia havaintoja. "Mene ja tutki sata paikkaa samalla tavalla, niin sinulla on aineisto, siitä syntyy pakostakin tutkimus ja tuloksia". Mutta tätä yksinkertaista junnaamisen sääntöä eivät kaikki nuoret miehet näytä ymmärtävän, Kujala sanoi.

Eläkkeelle siirtyminen ei ensi aikoina merkinnyt muutosta Kujalan tutkijantyössä. Edellä mainitsemani metsä- ja suokasvikartaston valmistuminen lankesi jo emeritusvuosien puolelle, niin myös samana vuonna (1964) ilmestynyt kasvistollinen tutkimus Kymenlaaksosta, Viljo Kujalan ja Arvi Ulvisen oivallinen yhteistyö, kummankin vuosikymmeniä sitten aloittamien ja myöhemmin yhdessä tekemien retkeilyjen havaintoihin perustuva maakuntafloora.

Sippola oli Viljo Kujalan rakas kotipitäjä, Kymenlaakso ikioma maakunta. Kiintymys kotiseutuun tuotti jatkuvasti kauniita tuloksia. Vuonna 1959 Kujala lähetti kymenlaaksolaisille luonnontutkimuksen harrastajille kirjeen, jossa pohdittiin luonnontieteellisen yhdistyksen perustamismahdollisuuksia maakuntaan. Syntyi Kymenlaakson Luonnon Ystävät ry, jolla nyt on takanaan kohta 20 vuoden taival ja 18 vuosikertaa omaa aikakauslehteä "Kymenlaakson Luonto". Ulvisen kanssa tehty maakuntafloora johti Kymenlaakson kasvikokoelman syntyyn. Lähes 10 000 näytettä sisältävä herbaario (KYM) säilytetään Helsingin yliopiston kasvimuseossa tutkijain käytettävänä. Ulvisen ja Lars Fagerströmin avustuksella Kujala ehti saada valmiiksi myös Kymenlaakson sammalflooraa käsittelevän teoksen käsikirjoituksen. Viimeisellä ikäkymmenellään tutkijamme palasi — niin kuin kauniiseen elämänkaareen kuuluu — nuoruudenrakkauteensa: perhosiin. Sippolan Ruotilassa nähtiin voimakkaan pyyntilampun palavan myöhään syyskesän yöhön.

Sodanjälkeisten vaikeuksien vuosina kuului virastojen ohjelmaan mm. metsätyöpäivä; haluttiin korostaa polttopuuhakkuiden merkitystä silloisissa oloissa. Metsäntutkimuslaitoksen henkilökunta odotti Metsätalon pihalla kuljetusta Ruotsinkylään. Muistan Viljo Kujalan saapumisen joukkoon. Hänellä oli olallaan kirves, jonka varsi loisti valkeata uutuuttaan: hän oli sen itse veistänyt edellisenä iltana. Se oli pieni mutta paljon sanova tapaus. Nykyajan kaupunkilaiselta menee sormi suuhun vähemmästäkin: kun on perattava kala, sidottava saunavihta tai valjastettava hevonen. Kujala oli kätevä ja neuvokas. Hänellä oli verenperintönä ja jo lapsena harjoitukseen pantuna talonpoikainen taito ja sorminäppäryys. Ulvinen kertoi, että kun hänen polkupyöränkuminsa kerran metsätaipaleella puhkesi, Kujala paikkasi sen tuohella siihen kuntoon, että päästiin takaisin kylälle.

Viljo Kujala oli oppinut tulemaan toimeen omin avuin. Samaa tervettä itseluottamusta ja talonpoikaisjärkeä on nähtävissä hänen tutkimuksissaankin. Ne varjelivat häntä teoreettisimmissakin selvittelyissä sortumasta kamarifilosofiaan.

Kujala totesi eräässä kirjoituksessaan, että me suomalaiset emme vielä yleisesti tajua, mikä ratkaiseva osuus metsällä on kansamme henkisen ja ruumiillisen olemuksen muovaajana. Sana "metsäläisyys" merkitsee suomenkielessä sivistymättömyyttä ja raakuutta, emmekä me tavallisesti sisällytä siihen mitään kansallisen romantiikan mielteitä, kuten esimerkiksi saksalaiset tekevät. "Kuinka paljon lähempänä metsää täytyykään suomalaisten ajatella olevan. Ilmeisesti onkin oltu aivan oikealla tolalla, kun esim. etsittäessä vastausta kysymykseen, mistä suomalaisen sotilaan erikoiset, korkealaatuiset taistelijanominaisuudet ovat peräisin, on sanottu — metsistä! Mistäpä muualta olisikaan lähtöisin esim. hänen viihtymisensä yksinäisyy-

dessä, sulkeutunut luonteensa, mainio suuntavaistonsa, terävä huomiokykynsä, neuvokkuutensa, itseluottamuksensa, mielikuvitusrikkautensa jne. Ne ovat selvään metsien asukkaan erikoisominaisuuksia". Ne ovat suuressa määrin myös Viljo Kujalan ominaisuuksia. On kuin hän olisi piirtänyt oman kuvansa. Kujalan henkilöllisyys ilmensi aitoa suomalaisuutta, hämäläisyyttä hienoimmillaan. "Hänen tutkijanja henkilökuvaansa luonnehtivat eräät piirteet, joita on lupa pitää perisuomalaisina", todistaa Aarno Kalelakin. "Hän on tasainen, tyyni ja sitkeä uurastaja, joka työtä ja vaikeuksia pelkäämättä, tunnustusta tavoittelematta ja vallitsevista muotisuunnista piittaamatta mieluummin yksin kulkien kuin seuraa hakien määrätietoisesti pyrkii asettamiinsa päämääriin".

Viljo Kujalan pitkä ja ehyt elämäntyö on päättynyt, sairauden lopuksi heikentämä elämän liekkikin sammunut. Siunaustilaisuus pidettiin Helsingissä Krematorion kappelissa syyskuun 27 päivänä 1977. Kauniit kukat ja matkamiehen virsi saattoivat uskollisen tieteen palvelijan ja hyvän ihmisen hänen viimeiselle retkelleen.

Reino Kalliola

VILJO KUJALA
1891–1977

IN MEMORIAM

In the meeting room of the Finnish Forest Research Institute there hangs a series of portraits depicting the Heads of the Department and leading research scholars. On this occasion we should stop before a scientist in a white coat, looking up at us with serious, quiet serenity from his microscope. The artist has indeed been successful in conveying the character of his model: we see at the same time the critical scholar and the modest, sensitive and considerate man. He is Professor Viljo Kujala, who passed from our midst on September 13th 1977 at the age of almost 86.

In 1919, just after he completed his degree, a 28-year-old Master of Philosophy, Viljo Kujala joined the Finnish Forest Research Institute as an Assistant. It was his first post, and here he was faithfully to perform most of his life work, and to follow his entire career in his main office. He was appointed Senior Forestry Assistant in 1934, and four years later Professor of Forest Biology. He did not leave this post until retirement at the age of 70 in 1961. Viljo Kujala had then served the Finnish Forest Research Institute for 42 years – longer than any other scientist.

The forest is a plant community. The scientific foundation stone of forestry is thus primarily botany: plant ecology and plant geography. This was the basis created for Finnish forestry by A. K. Cajander. Viljo Kujala supported Cajander's forest type theory strongly and developed it further. A gifted and original scientist of international repute, Kujala also advanced forest botany in many other sectors.

Most of Kujala's studies, only the most important of which can be presented here, were published in the Finnish Forest Research Institute's own series. The earliest of them is a description of the types of forest and peatland in Kuusamo (1921). The summers of 1922, 1923 and 1924 were a time of intensive work. With great care and new research methods developed by himself, our ardent scientist analyzed forest vegetation in 200 sample areas in various part of Southern and Central Finland. The result was an extensive study of the structure, occurrence and ecology of the most common vascular plants, mosses and lichens in the Finnish forests (1926). This study is still the most important source work in its field. Kujala also intended to deal with the character and classification of Finnish forest plant communities on the basis of the same material. Of this, only a brief method study concerning the restricting of stands was however completed. According to it, the limiting of stands should be performed so that there is room for the occurrence of each plant species in

2 127900898D

accordance with its way of growing (singly, in groups, in patches), and patch formations should not be considered as stands. Unfortunately the vegetation tables were not published either. They would have been valuable as norms, for instance when various interpretations for the defining of forest types arose which in turn affected the results of inventories of the Finnish forests. But our scientist had neither the patience nor the time for this work. New tasks and new countries awaited him.

The summers of 1925 and 1927 were spent at Inari and Petsamo in Lapland. In the summer between of 1926 came a two month journey to the Baltic countries and to the eastern parts of Central Europe. An important study concerning Petsamo appeared in print in 1929; the forest types of Central Europe had to wait for ten years (until 1936). The examination of forest types finally took Kujala as far as America. In 1931 he made a research trip lasting the whole summer to British Columbia and elsewhere in Canada as well as in the USA, with a student called Aarno Cajander (later Aarno Kalela, Professor of Botany) as his assistant. His purpose was to compare the forests of Finland and of parts of America where the natural conditions were comparable with those of Finland, with an eye to the possibility of transferring trees growing there to his own country. The publishing of the results of this trip was postponed until 1945 because of the intervening war years. The 400-page monument that appeared is geographically the most distant attempt to apply Finnish forest type theory. To discover corresponding types one must, because of the largely different flora, resort to the similarity in "ecological-biological nature" of vegetation emphasized by Cajander. The work is one of the basic sources for Canadian plant research, but unfortunately since it is only in German it has received in America far too little attention.

The comparison of forest vegetation in different areas gave breadth and depth to Kujala's views on the character of vegetation and led to significant general conclusions. An example is a small but important publication in 1929, where Kujala stresses the relative independence of the ecological horizontal layer of plant cover – without however going so far as some phytosociologists later, who based the classification of all vegetation on layer units (synusias). On the contrary, Kujala points out at the same time the affinity of different layers. The basic unit of vegetation for him – as for most plant geographers, – is the plant community (phytocoenose) with all its layers.

Experience gained from the Central Europe and even more from the North America trip concerning the regional variations of forest vegetation persuaded Kujala to take up the question of the Finnish vegetation zones. Previous plant geography divisions in Finland had been mainly performed on the basis of flora. According to Kujala the dividing of zones should if possible be based directly on the vegetation. "When we shift from one climatic region to another, we observe that forest vegetation changes concurrently in all layers of plant cover. The change is thus within the vegetation. Southern types therefore do not disappear suddenly to be re-

placed by northern ones, but each type gains new species and loses others gradually. Between the southern and northern types are found intermediate forms, through which a certain southern type is linked to a certain northern type or types." Thus writes Kujala in 1936 in a publication where on the basis of previous studies and his own findings he compares in detail the forest types of southern and northern Finland and ascertains their regional distribution. From the occurrence of intermediate forms an extensive Kainuu zone can be distinguished between Central and North Finland. Kujala referred also to the need for continuing analogous study. "At least two zone boundary questions still await elucidation, the drawing of the line between North Central Finland and Lapland, and the distinguishing of the extreme south of Finland as a separate zone", he said. Thus Kujala created the foundation for the regional study of vegetation in Finland, a study that has since been continued by Aarno Kalela and his pupils. The zone boundaries mentioned by Kujala and other boundaries have since been drawn. They have also been taken into account in applying the Finnish forest type system in practice.

Viljo Kujala was primarily interested in forest vegetation as a whole, but his contribution has also been great in the study of the structure and ecology of individual forest plants. To this field belongs his monograph on the black alder *(Alnus glutinosa)* which was published as his doctoral dissertation in 1924. Other studies of forest tree biology include his calculations of the flowering periods and length of leaf-bearing season of deciduous trees (1924), his studies of the structure and ability to germinate of pine and spruce seeds (1927), and of the characteristics of the birch species, *Betula pendula* and *B. pubescens* (1946). The most extensive and significant autecological study (1926) concerning the most common vascular plants, mosses and lichens of the Finnish forests has already been mentioned in connection with the study of vegetation. Fungi cannot be ignored by the student of forest biology either; on the contrary, they are a very important element in this ecosystem. Kujala too was a mycologist, the founder of the valuable fungi collection of the Finnish Forest Research Institute, and produced a study of the microfungi of coniferous trees (1950) as well as doing work on Polypores *(Polyporaceae)* and allied fungi.

In connection with the third inventory of Finnish forests 1951–1953, biological observations were made according to a programme planned and led by Viljo Kujala. Altogether 42 biologists took part in the field work. The material accumulated is vast: some thousand sample area analyses of forest and mire types and distribution data concerning the areas between the sample areas. The result of the work is contained in Kujala's publication of 1964, which includes distribution maps with explanations of common forest and mire plants. This atlas – probably unique in the world – offers a solid basis for the examination of the general features of Finnish flora. It was intended to include sample area analyses also to elucidate the regional features of plant communities, but this work unfortunately remained its early stages and awaits further study.

In the restricted circumstances of small countries, it is almost the rule that the leading scientists in a research institute also take part in university teaching in their field. Viljo Kujala was Docent of Botany from 1928 to 1953, and acting Assistant Professor of Botany in the Faculty of Agriculture and Forestry 1932–1934 at Helsinki University, and before that, 1929–1930, acting Professor of Botany at Turku University. Special mention is also merited for the teaching he gave to professional forestry men over the years in numerous courses and field trips.

It goes without saying that one who knew and studied nature so profoundly should also be a devoted friend of nature. For Viljo Kujala nature conservation also meant active participation in the forefront of the field. From 1930 to 1938 he acted as the then part-time National Supervisor of Nature Conservation and he was the Chairman of the Finnish Nature Conservation Society in the difficult years from 1942 to 1951. Thus he helped to create the foundations on which environmental conservation work in Finland is built. During his term as Nature Conservation Supervisor the first national and nature parks were established in the country (1938). Just now, when the establishing of new nature conservation areas is under discussion, it is perhaps timely to remember one of Kujala's ideas from 1941. He thought that a nature park could be established – where no other possibility existed – in a forest area denuded by felling or fire. In the Finnish climate, the forest will renew itself and finally return to its original state, and such an area would be highly suitable for studying the development of this return from the moment of conservation.

A scientist's list of merits also includes his activities in scientific societies. Viljo Kujala held a leading position in many societies, among them the largest biological society in Finland, Vanamo, of which he was Chairman from 1951 to 1961. But it may seem surprising to see among a scientist's merits responsibility for leading a national outdoor recreation organization. For Kujala, however, this was in no way peculiar – on the contrary. For he was a real outdoor man. Naturally he was obliged to stay at city hotels for congresses and lecture tours abroad, but he was most at home in a pair of walking boots with a rucksack on his back, tramping from one forest cabin to another, where his plant papers dried best too. He believed in the simple life and understood its value. And it was out in the wilds that Kujala's gifts as a teacher were most apparent. In the lecture hall he was sometimes – as is common with Finnish university teachers – shy, disparaging what he had to say and mumbling in his beard, but just let him get out into the woods and feel the resin between his fingers. Then Kujala's delivery gained new life and graphic strength. I have roved with Kujala in the outer islands of the Gulf of Finland and over the fells of Lapland, and most of all among the rapakivi rocks of the Kymi valley. I remember those rich days with special gratitude. And I recall one very good lesson. Kujala told me how he had once suggested to a field assistant that he should do a separate study of his own. But the assistant did not want to do the necessary monotonous sample area work, he only wanted to see interesting things and make scattered observations concerning them. "Go and study a hundred places in exactly the

same way, and then you will have material that is bound to produce a study and results," he told the assistant. But not all young men seem to understand this simple need for perseverance, Kujala said.

Retirement did not at first mean any change in Kujala's research work. The completing of the charting of forest and mire plants continued into his emeritus years, as did a floristic study of Kymenlaakso that appeared in the same year, 1964. This first-rate study was the result of cooperation between Viljo Kujala and Arvi Ulvinen, begun by both many years before and based on observations made during later trips together.

Sippola was Viljo Kujala's beloved home parish, Kymenlaakso his very own province. His attachment to his native locality produced a constant stream of outstanding results. In 1959 Kujala sent a letter to students of nature in Kymenlaakso discussing the possibility of establishing a scientific society for the province. The result was the Kymenlaakso Friends of Nature Society, now twenty years old with its own periodical, which has appeared for eighteen years. The study of the local flora performed with Ulvinen led to a Kymenlaakso plant collection. This herbarium, containing almost 10,000 specimens, is kept in the Botanical Museum of Helsinki University for the use of researchers. With the help of Ulvinen and Lars Fagerström, Kujala managed to complete the manuscript for a work dealing with the moss flora of Kymenlaakso also. In his last decade Kujala returned to the love of his youth: butterflies and moths. From his Sippola home could be seen a powerful lamp burning late of an August night to attract moths.

A feature of the difficult post-war years was the "Forest Work Day", intended to emphasize the importance of cutting wood for fuel in the circumstances of the time. The staff of the Finnish Forest Research Institute waited outside in the courtyard of the Hall of Forestry for transport to the Ruotsinkylä Research Forest. I remember Viljo Kujala arriving to join the group. Under his arm was an axe whose handle shone new and white; he had carved it himself the evening before. A small but very revealing detail. Today the city man has forgotten how to do so many things — how to clean a fish, how to harness a horse. Kujala was handy and resourceful. He had inherited the farm-boy's know-how and deft fingers, and had practised them already as a child. Ulvinen told the story that once when he had a puncture in his bicycle tyre in the woods, Kujala mended it with birch-bark so that he could get back to the village.

Viljo Kujala had learnt to manage by his own devices. The same healthy self-reliance and countryman's common sense is revealed in his research studies also. Even at their most theoretical they are never entirely divorced from practice.

Kujala states in one of his writings that we Finns do not yet realize how vital the forest is as a moulder of the nation's spiritual and physical being. The Finnish word "metsäläisyys" ("the quality of one who dwells in the forest") implies lack of culture and coarseness, and Finns do not usually include in it any feelings of national romanticism as do the Germans for example. "Finns should think of themselves as

much nearer to the forest than Germans. They have been quite right who have said that the special, excellent fighting qualities of the Finnish soldier come from the forests. From where else could have come his ability to be alone, his reticent character, his splendid sense of direction, his sharp powers of observation, his resourcefulness, his self-confidence, his imaginativeness? They are clearly the special characteristics of the forest-dweller." They were also to a great degree the characteristics of Viljo Kujala. It is as if he were painting his own portrait. Kujala's persona expressed the real Finnish character. "As a scholar and a man he is characteristized by certain features that are considered truly Finnish" agrees Aarno Kalela. "He is a balanced, calm and persevering pioneer; undeterred by work or difficulties, not anxious for recognition or caring for the prevailing fashionable trend, rather alone than in company, he moves on determinedly towards the goal he has set himself."

Viljo Kujala's long and harmonious life-work is done; weakened by sickness the flame of life finally died. The burial service took place in the chapel of the Helsinki Crematorium on September 27th 1977. Fair flowers and the words of the hymn "O Lord if I, a traveller in this world" accompanied a faithful servant of science and a good man on his last journey.

Reino Kalliola
(Translation: Philip Binham)

VILJO KUJALAN JULKAISUJA – *LIST OF PUBLICATIONS*

Koonnut Lalli Laine

1915

Kaksi tiedonantoa siasta. Medd. Soc. F. Fl. Fenn. 41, 65–67, 183.

1919

[Kuusamon kasvillisuudesta.] Luonnon Ystävä 23, 167.

1920

Kehoitus tietojen keräämiseen tervalepän levinneisyydestä maassamme. Luonnon Ystävä 24, 89.

1921

Havaintoja Kuusamon ja sen eteläpuolisten kuusimetsäalueiden metsä- ja suotyypeistä. Referat: Beobachtungen über die Wald- und Moortypen von Kuusamo und der südlich von dort gelegenen Fichtenwaldgebieten. Acta For. Fenn. 18 (4), 1–65 + 1–3. (Etiam Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 4 (5), 1–65 + 1–3).
[Myricaria germanica Utsjoelta.] Medd. Soc. F. Fl. Fenn. 47, 32.
[Myricaria germanica Inarin Lapista.] Luonnon Ystävä 25, 20.

1922

[Hämeen lääniä koskevia kasvistollisia tietoja.] Suomenmaa 4, (Hämeen lääni) 9–13 et sparsim. Helsinki. (WSOY.)

1923

Lehtipuittemme lehtikauden pituudesta. Tapio 16, 25–31.
[Kymi, Sippola ja Vehkalahti.] Suomenmaa 5, (Viipurin lääni) 49, 56, 63. Helsinki. (WSOY.)

1924

Tervaleppä *(Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Suomessa. Kasvimaantieteellinen tutkimus. Referat: Die Schwarzerle *(Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in Finnland. Pflanzengeographische Untersuchung. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 7 (1), 1–301 + 8 t. + 1 mp. Etiam diss. Univ. Helsing.
Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa. Referat: Berechnungen über die Länge der Laubperiode der Laubbäume und Blühzeiten der Bäume in Finnland. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 7 (2), 1–50.
Keski-Pohjanmaan soiden synnystä. Referat: Ein Beitrag zur Kenntnis der Entstehung der Moore in Mittelösterbotten. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 8 (1), 1–24.
Selostuksia. Metsät. Aikak. 41, 40–44.

1925

[Epänormaalisti kehittyneitä *Vicia sepiumin* versoja.] Luonnon Ystävä 29, 79.
Karhunsammal- *(Polytrichum-)* lajien lehtien vedenjohto- ja haihtumisenestämistoiminnasta. Luonnon Ystävä 29, 90–94.
Kimalaiset *(Bombus* supp.) *Melampyrum pratensen, M. silvaticumin, Trifolium mediumin, Lathyrus pratensiksen* ja *Vicia craccan* pölyyttäjinä. Luonnon Ystävä 29, 104–105.
[Vaasan läänin] Kasvillisuus ja kasvisto. Suomenmaa 7, (Vaasan lääni) 15–19. Porvoo (WSOY.)
Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland. II. über die Begrenzung der Siedlungen. Selostus: Tutkimuksia metsäkasvillisuudesta Etelä- ja Keski-Suomessa. II. Kasvustojen rajoittaminen. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 10 (4), 1–29 + 1 t.

1926

Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland. I. Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters der Waldpflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen. A. Gefässpflanzen. Selostus: Tutkimuksia metsäkasvillisuudesta Etelä- ja Keski-Suomessa. I. Tutkimuksia kasvilajien ekoloogisbioloogisen luonteen määräämiseksi kasviyhdyskuntien muodostumista silmälläpitäen. A. Putkilokasvit. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 10 (1), 1–154.
Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland. I. Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters des Waldpflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen. B. Laubmoose. Selostus: Tutkimuksia metsäkasvillisuudesta Etelä- ja Keski-Suomessa. I. Tutkimuksia metsäkasvilajien ekoloogis-bioloogisen luonteen määräämiseksi. B. Lehtisammalet. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 10 (2), 1–59 + 2 t.
Untersuchungen über die Waldvegetation in Süd- und Mittelfinnland. I. Zur Kenntnis des ökologisch-biologischen Charakters des Waldpflanzenarten unter spezieller Berücksichtigung der Bildung von Pflanzenvereinen. C. Flechten. Selostus: Tutkimuksia metsäkasvillisuudesta Etelä- ja Keski-Suomessa. I. Tutkimuksia kasvilajien ekoloogisbioloogisen luonteen määräämiseksi kasviyhdyskuntien muodostumista silmälläpitäen. C. Jäkälät. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 10 (3), 1–61.
Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränden auf die Waldvegetation in Nordfinnland. Selostus: Tutkimuksia kulojen vaikutuksesta metsäkasvillisuuteen Pohjois-Suomessa. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 10 (5), 1–41 + 2 t.
[Rec.] Friedrich Tobler, Biologie der Flechten. Luonnon Ystävä 30, 58–59.
[Rec.] Martti Hertz, Niinipuun uudistumisesta Suomessa. Luonnon Ystävä 30, 91–92.

1927

Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. Selostus: Tutkimuksia männyn- ja kuusensiemenien rakenteesta ja itäväisyydestä Suomessa. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 12 (6), 1–106 + 5 t.
[*Geranium pratense* Haminan Kuorsalosta.] Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 1, 61
[Rec.] K. Linkola, Suunnitelma luonnonsuojelualueiden erottamiseksi Pohjois-Suomen valtionmailla. Luonnon Ystävä 31, 155–157.

1928

Männyn ja kuusen siementen tuleentumisesta ja itäväisyydestä. Metsätal. Aikak. 45, 154–167.
Beobachtungen über die Waldvegetation auf Lehmboden bei Mustila in Elimäki (Süd-Finnland). Selostus: Havaintoja savimaan metsäkasvillisuudesta Elimäen Mustilassa. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 13 (4), 1–16.
Kuluva vuosi siemenvuotena ja siemenen kotipaikan merkitys. Tapio 21, 127–129.
Pohjoissuomalaisen havupuunsiemenen laatu ja kelpoisuus metsänuudistamiseen. Tapio 21, 197–201.

1929

Untersuchungen über Waldtypen in Petsamo und in angrenzenden Teilen von Inari-Lappland. Selostus: Tutkimuksia Petsamon ja siihen rajoittuvien Inarin Lapin osien metsätyypeistä. Commun. Inst. Quaest. For. Finl. 13 (9), 1–125 + 11 t. + 1 mp.
Die Bestände und die ökologischen Horizontalschichten der Vegetation. Acta For. Fenn. 34 (17), 1–26.
[Metsänhoitotiede. Metsätiede.] Maatalouden Tietosanakirja 2, 1089, 1123. Helsinki. (Otava.)

1930

Luonnonsuojelu metsätalouden kannalta ja luonnonpuistot. Maa ja Metsä 4, 656–665. Porvoo. (WSOY.)
Über die Krankheiten der *Abies sibirica* in Finnland. Mitt. Deutsch. Denrolog. Ges. 42, 381–382.
Huomioita halkojen hakkuuajan vaikutuksesta niiden lahovikaisuuteen. Tapio 23, 438–441.
Lumivahingoista Etelä-Suomen metsissä. Metsätal. Aikak. 47, 277–281.

1931

Voidaanko puiden talvisilmuista todeta seuraavan kesän kukkimissuhteita. Metsätietoa 1, 63–67.
Suurriistan esiintymisestä Suomessa v. 1930. I. Luonnon Ystävä 35, 6–13.

1932

Suurriistan esiintymisestä Suomessa v. 1930. II. Luonnon Ystävä 36, 15–20.
Havaintoja Kanadan tärkeimmistä puulajeista. Suomen Metsänhoitoyhd. Vuosik. U.S. 2, 19–41.
Mitä luontoa ja luonnon muistomerkkejä luonnonsuojelulain nojalla suojellaan. Tapio 25, 356–358.
Huru naturen och naturminnesmärken kunna skyddas med tillhjälp av naturskyddslagen. Skogsbruket 3, 155–157.

1933

Metsiemme luonnonsuojelu ajankohtaisena kysymyksenä. Metsät. Aikak. 50, 227–229.

1934

Tutkimuksia peltorikkaruohojen siemenien säilymisestä itukykyisinä maassa. Referat: Unterschungen über das Fortbestehen der Keimfähigkeit von Ackerunkrautsamen in Ackerboden. Maataloustiet. Aikak. 6, 1–22.
Käynti Yellowstonen kansallispuistossa. Terra 46, 49–68.

1935

Keski- ja Pohjois-Suomen välisestä rajasta. Metsätietoa 1, 431–440.
Luonnontutkijan keräilyoikeudesta. Luonnon Ystävä 39, 1–5.
Hanki männyn taimien tappajana. Metsät. Aikak. 52, 123.
Kuusen syöpätaudista Korpikylän hoitoalueella. Metsät. Aikak. 52, 208–212.
Bericht über die vierte Tagung des Verbandes fenno-baltischer Pflanzengeographen in Kaunas 12. – 18. Juni 1933. Memor. Soc. F.FI. Fenn. II, 135–154.
Kanadan puulajien kasvattamismahdollisuuksista Suomessa. Suom. Tiedeakat. Esit. ja Pöytäk. 1934, 51–81.
Waldtypen in klimatisch abweichenden Gebieten. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 11, 144–145.
Ovatko maakotkat lisääntyneet. Metsästys ja Kalastus 24, 5.
[Puulajimääritys.] In : ELLA KIVIKOSKI, Kittilän hirvenpäälusikka. Suomen Museo 54, 8–14.

1936

Unkarin metsiä ja pustaa katsomassa. Referat: Reiseeindrücke aus den Wäldern und Pusten Ungarns. Terra 48, 173–185.
Waldvegetationsstudien im östlichen Mitteleuropa. Selostus: Metsäkasvillisuustutkimuksia Keski-Euroopan itäosissa. Commun. Inst. For. Fenn. 22 (6), 1–115.
Tutkimuksia Keski- ja Pohjois-Suomen välisestä kasvillisuusrajasta. Referat: Über die Vegetationsgrenze von Mittel- und Nord-Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 22 (4), 1–95.
Om vegetationsgränsen mellan norra och mellersta Finland, Nordiska (19. skandinaviska) Naturforskarmötet i Helsingfors 1936, 459–461.
Kasvillisuus. In: Suomen Maantieteen Käsikirja, 331–370. Helsinki. (Suomen Maantieteellinen Seura.)
Über Waldvegetationstypen einander klimatisch entsprechender Länder. 9. Kongr. Intern. Verb. Forstl. Forschungsanst. Ungarn, 1936, 1–11. Sopron. (Als Handschrift gedruckt.)
Über Waldvegetationstypen einander klimatisch entsprechenden Ländern. 9. Kongr. Internat. Verb. Forstl. Forschungsanst. Ungarn, 1936. Zusammenfassung der angemeldeten Vorträge, 67–70. Sopron. (About types of forest vegetation in countries of similar climate, 71–74; Sur des typs végétations des forét dans des pays du méme climat, 74–77.)
Mäyrää on suojeltava. Metsästys ja Kalastus 25, 83–86.
Über die Aufziehungsmöglichkeiten kanadischer Holzarten in Finnland. Sber. Finn. Akad. Wiss. 1934, 60–94.

1937

Metsäpuiden rotujalostus. Muuan uusi ja tärkeä tehtävä. Metsämies 28, 158–159.
Nevasoiden tyyppijärjestelmä. Metsätal. Aikak. 54, 120–123.
Der Wald von Viidumägi. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 12, 179.
[Rec.] Aarno Kalela, Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. Metsätal. Aikak. 54, 190–191.

1938

Puiden rotujalostuksesta. Referat: Über Rassenveredelung von Waldbäumen. Yksityismetsänhoitajayhd. Vuosik. 11, 97–109.
Luonnonsuojelualueemme. Metsätal. Aikak. 55 (N.S. 1), 99–104.
Kasvien ja eläinten rauhoitus ja keräily. Ohjeita luonnontutkijoille, opettajille, preparaattoreille ja naturaaliokauppiaille. 37 p. Luonnonsuojeluvalvojan kirjasia n:o 6. Helsinki.
Metsätyyppien parallelisuudesta. Referat: Über die Parallelität der Waldtypen. Commun. Inst. For. Fenn. 27 (1), 1–17.
A. Osw. Kairamo. Muistosanat. Terra 50, 373–377.
Luonnonsuojelualueet ja niiden merkitys. Valvoja-Aika 16, 122–130.

1939

Luonnonsuojelusta. Referat: Über Naturschutz. Silva Fenn. 52, 53–64.
Fridlysning och insamlande av växter och djur. Anvisningar för naturforskare, lärare, preparatorer och naturaliehandlare. 36 p. Naturskyddsinspektorens skr. n:o 7. Helsingfors.
Itäisen Kymenlaakson kasvistosta. Ankkapurha 1, 158–180.

1940

Alfred Oswald Kairamo †. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 15, 247–250, 262–264.
Metsäpuiden siementen tarkatus. Metsätal. Aikak. 57 (n.S. 3), 208–210.
Dauerwald vaiko Vollumbruch. Metsälehti 1940 (43)

1941

Luonnonpuistokysymys Suomen eteläpuoliskossa. Suomen Luonto 1, 33–36.

1942

Metsämme ja me. Suomen Luonto 2, 10–14.
Professori Kaarlo Linkola. In memoriam. Suomen Luonto 2, 57–58.
Plowrightia virgultorum koivun tuholaisena. Metsätal. Aikak. 59 (N.S. 5), 127–128.
Kaarlo Linkola †. Terra 54, 256–257.
Über die morphologische Deutung des Fichtenzapfens auf Grund eines Fertilisationsfalles. Selostus: Kuusen kävyn morfologisesta tulkinnasta erään fertilisoitumistapauksen perusteella.Acta For. Fenn. 50 (7), 1–22.
Kävyn morfologisesta tulkinnasta. Luonnon Ystävä 46, 149–150.
Professori K. Linkola †. Uusi Suomi, 28. 4. 1942.
[Rec.]M. Rikli, Das Pflanzenkleid der Mittelmeerländer. Luonnon Ystävä 46, 214–216.

1943

A. K. Cajander †. Luonnon Ystävä 47, 30–33.
Kaarlo Linkola †. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 18, 206–210, 245–249.
Kaarlo Linkola. Suom. Tiedeakat. Esit. ja Pöytäk. 1942, 94–107.
A. K. Cajander †. Terra 55, 16–17.
Aimo Kaarlo Cajander †. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 19, 237–244, 274, 281.

1944

Kaarlo Linkola. Sber. Finn. Akad. Wiss. 1942, 115–132.
Villikaalin siementen itämiskyky. Luonnon Ystävä 48, 68–69.
Veden muovaamia neulas-turvepalloja. Luonnon Ystävä 48, 197–198.
Pallomaisia puupahkoja koivun oksissa. Luonnon Ystävä 48, 163–164.

1945

Waldvegetationsuntersuchungen in Kanada mit besonderer Berücksichtigung der Anbaumöglichkeiten Kanadischer Holzarten auf natürlichen Waldböden in Finnland. Ann. Acad, Scient. Fenn. A IV 7, 1–434.
Niittyluhtakaalin *(Cardamine pratensis)* siemenellinen lisääntyminen. Luonnon Ystävä 49 (3), liite: Biologista yhteistyötä. 4 p.
[*Cardamine pratensiksen* lisääntymisestä.] Luonnon Ystävä 49, 113.

1946

Luonnon Ystävä 50-vuotias. Luonnon Ystävä 50, 137–140.
Sternförmige Diasporen bei *Saliastrum (Cloeosporium) myrtilli* (Allesch.) Kujala. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 22, 137–141.
Kuusen neulasruosteista. Metsälehti 1946 (36), 3.
Rhynchospora fusca – Lycopodium inundatum -tulvaniitty. Luonnon Ystävä 50, 95–96.
Koivututkimuksia. Summary: Some recent research data on birches, Commun. Inst. For. Fenn. 34 (1), 1–36.

1947

Holcus mollis L. ym. kasvilöytöjä. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 23, 65–66.

Olisiko mikrosieniäkin ryhdyttävä keräilemään ja tutkimaan. Luonnon Tutkija 51, 79–84.
[Eräiden metsäkasvien levinneisyydestä Suomessa.] Luonnon Tutkija 51, 176.
[Rec.] Reino Kalliola, Suomen kaunis luonto. Suomen Luonto 6, 90–92.

1948

Antrean Korpilahden kivikautisen verkon kuituaines. Referat: Die botanische Untersuchung der Fasersubstans eines frühsteinzeitlichen Fischernetzes. Suomen Museo 54, 24–27.
Murrayn mäntyä uhkaavista tuhosienistä. Metsätal. Aikak. 65 (N.S. 11), 42–44.
Varikset kuusten kiusana. Luonnon Tutkija 52, 54–55.
Veli Räsänen 60-vuotias. Luonnon Tutkija 52, 155–156.

1949

Eräiden metsäkasvien levinneisyydestä Suomessa. Summary: On the distribution of certain forest plants in Finland. Arch. Soc. 'Vanamo' 2, 98–100.
V. A. Seppälä † Luonnon Tutkija 53, 116–117.

1950

Über die Kleinpilze der Koniferen in Finnland. Ascomycetes, Fungi Imperfecti, Uredinales. Selostus: Havupuiden pikkusienistä Suomessa, Commun. Inst. For Fenn. 38 (4), 1–121.
Ajatuksia luonnon- ja kansallispuistojen merkityksestä. Suomen Luonto 9, 8–16.
(KUJALA, V. & ULVINEN, A.) Kasvitieteellinen tutkimusmatka Itä-Kymenlaaksoon kesällä 1948. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 25, 24–25.

1951

Kasvillisuus. In: Suomen Maantieteen Käsikirja. 2. painos, 188–210. Helsinki. (Suomen Maantieteellinen Seura.)
Vegetation. In: Suomi, A. General Handbook on the Geography of Finland, 209–234. Helsinki.
Valtakunnan metsien linja-arvioinnin biologinen ohjelma. Luonnon Tutkija 55, 54–55.

1952

Koskemattoman luonnon viehätys. Eräitä tulkintoja. Suomen Luonto 11, 8–14.
T. J. Hintikka 8.II.1888 – 20. VI.1952. Luonnon Tutkija 56, 115–116.
Luonnon Tutkijan lukijoille. Luonnon Tutkija 56, 67–68.
[Puhe Kairamo-mitalien saajille, prof. Mauno J. Kotilaiselle ja johtaja Hjalmar Thorwald Grönblomille.] Luonnon Tutkija 56, 89–91.
Eräistä ruskettumisilmiöistä elävien puiden rungoissa. Referat: Über einige Verbräunungserscheinungen in lebenden Baumstämmen in Süd- und Mittel-Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 40 (14), 1–24.
Diskussionsbeitrag zu Ilmari Hustich: The recent climatic fluctuation in Finland and its consequences. A symposium. Fennia 75, 108–109.

1953

On the geographical distribution of forest types. Proceedings of the Seventh Internat. Botanical Congress, Stockholm 1950, 292–293.
Felderbse, bei welcher die ganze Blattspreite in Ranken umgewandelt ist. Arch. Soc. 'Vanamo' 8, 44–45.
Ascocalyx abietis ja sen kuromamuodot. Referat: *Ascocalyx abietis* und ihre Konidienformen. Karstenia 2, 35–38.

T. J. Hintikka 8.II.1888 – 20.VI.1952. Karstenia 2, 5–6.

1954

Tervalepästä. Suomen Luonto 13, 40–49.
Dr. T. J. Hintikka 8. Februar 1888 – 20 Juni 1952. Friesia 5, 1–5.
A botanical line investigation in Finland – its program and some preliminary results. 8th Internat. Bot. Congr., Paris – Nice, 1954.

1955

Iivari Gabriel Leiviskä †. Memor. Soc. F. Fl. Fenn. 30, 86–87.

1957

Luonnonsuojelutehtävistä Kymenlaaksossa. Kotiseutu 1957, 126–129.
[Sippolan]Sijainti, rajat, kylät ja luonto, p. 15–44. In: KIRSTI HELLGREN (toim.), Sippolan Historia. 591 p. Myllykoski.

1958

[*Picea abies; Pinus silvestris; Juniperus communis; Maianthemum bifolium; Convallaria majalis; Luzula pilosa; Coeloglossum viride; Listera cordata; Goodyera repens.*] In: J. JALAS (toim.), Suuri Kasvikirja I. 851 p. Helsinki. (Otava.)

1959

Puiden pikkusienistä. Maaseudun Tulevaisuus 1959 (14), 2.
Can we found a common platform for different schools of forest type classification. Contribution to the Forest Ecosystem Symposium. 9th Internat. Botanical Congr., Ganada 1959, 5 p. (Mimeographed.)
Kymenlaakson luonnonsuojelusuunnitelmia. Suomen Luonto 18, 97–108.

1960

Kymenlaakson luonnonsuojelusuunnitelmia. Suomen Luonto 19, 12–19.
Can we found a common platform for the different schools of forest type classification. Silva Fenn. 105, 56–59.
Raidan tuoksukääpä, *Pycnoporus odorus* (Somm.) Karst. Vehkalahdella. Kymenlaakson Luonto 1 (1), 7.
Simpukkamaa-esiintymä Haminassa Hillon niemellä. Kymenlaakson Luonto 1 (2), 5–7.

1961

Havaintoja Tepastojoen (KemL) varsien kasvistosta. Luonnon Tutkija 65, 149–152.
Über die Waldtypen dr südlichen Hälfte Finnlands. Arch. Soc. 'Vanamo' 16, Suppl., 14–22.
Eichen *(Quercus robur)* an ihrer Nordgrenze in Finnland Berghügel Tammisto, Landgemeinde Helsinki. IPE Congr., Finland 1961. (Mimeographed.)
(KUJALA, V. & ULVINEN, A.) Tietoja Virolahden kasvistosta. Kymenlaakson Luonto 2, 1–4.
(BUCWALD, N. F., KUJALA, V. ROLL-HANSEN, F. BJÖRKMAN, E. & KÄÄRIK, A.) Lists of parasitical fungi and of hosts of such fungi. Denmark, Finland, Norway, Sweden. I. *Pinus, Populus, Quercus*. For IUFRO. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen Nr. 59, Bind 17, 1–36.

1962

(KUJALA, V., SARAMO, Y. & VALLEALA, E.) Havaintoja Ruotsinpyhtään kasvistosta. Kymenlaakson Luonto 3, 14–16.

Mietelmiä luonnonsuojelusta. Kymenlaakson Luonto 3, 3–4.
Die Dicke det Mosschicht in den Heidewäldern Finnlands. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (1), 1–6.
Ivalojoen ja sen rantojen kasvistosta. Referat: Über die Flora dess Flusses Ivalojoki und seiner Ufer in Finnisch-Lappland. Arch. Soc. 'Vanamo' 16, 163–193.

1963

Taulakääpä, arinakääpä ja pakuri. Suomen Luonto 1963, 205–210.
Kivenpäällyskasvillisuudesta. Kymenlaakson Luonto 4, 1–3.

1964

(KUJALA, V. & ULVINEN, A.) Floristische Untersuchungen in Ost-Kymenlaakso in Südfinnland. Selostus: Kasvistollisia tutkimuksia Itä-Kymenlaaksossa. Ann. Bot. Soc. 'Vanamo' 35 (2), 1–215.
Metsä- ja suokasvilajien levinneisyys- ja yleisyyssuhteista Suomessa. Vuosina 1951–1953 suoritetun valtakunnan metsien III linja-arvioinnin tuloksia. Referat: Über die Frequenzverhältnisse der Wald- und Moorpflanzen in Finnland. – Ergebnisse der III. Reichswaldabshätzung 1951–1953. Commun. Inst. For. Fenn. 59 (1), 1–137 + 196 Mapp.

1965

Kymenlaakso, nykyajan ja tulevaisuuden maakunta, p. 28–41. In: V. E. NEVALAINEN (toim.), Kymenlaakson Lukemisto. 382 p. Helsinki.
Puiden pikkuisienet jättävät jälkiä metsään. Maaseudun Tulevaisuus 1965 (31), 16.
Melica picta K. Koch, etelävenäläinen kasvilaji Vehkalahdella Lehtisensaaressa. Kymenlaakson Luonto 6, 17–19.
Metsäkasviemme esiintymätaajuudesta. Suom. Tiedeakat. Esit. ja Pöytäk. 1964, 173–183 + 19 Mapp.
[*Populus tremula; Betula verrucosa; Betula pubescens; Alnus glutinosa; Alnus incana; Sorbus aucuparia; Prunus padus; Lathyrus vernus*] In: J. JALAS (toim.), Suuri Kasvikirja II. 893 p. Helsinki. (Otava.)

1966

Die Frequenzverhältnisse der Waldpflanzen in Finnland. Sber. Finn. Akad. Wiss. 1964, 161–174.
Eräistä huomiota herättävistä sammalista Kymenlaaksossa. Kymenlaakson Luonto 7, 21–24.
(KUJALA, V. & HÄMET-AHTI, L.) *Melica picta* C. Koch löydetty Suomenlahden saaristosta Vehkalahdelta. Luonnon Tutkija 70, 31–35.
(KUJALA, V. & HÄMET-AHTI, L.) *Melica picta* C. Koch found on an island of Vehkalahti, Southern Finland. Ann. Bot. Fenn. 3, 96–99.

1967

Häviävät luonnonniityt. Kymenlaakson Luonto 8, 5–6.

1968

Vehkalahden pitäjän kasvistosta. In: Vehkalahden Pitäjänkirja I, 178–191. Ankkapurha 6.

1969

Kirkko ja kansa Sippolassa entiseen aikaan. Sippolan seurakunnan seurakuntalehti 1969 (1), 12–16.

1971

Näkökohtia reunametsien hoidosta. Kymenlaakson Luonto 12, 14–17.

1979

(KUJALA, V. †, FAGERSTRÖM, L. & ULVINEN, A) Die Laubmoose in Kymenlaakso in Südfinnland. Acta Bot. Fenn. 109, 1–34.

Käsikirjoituksia – *Manuscripts*

Lehtisammallöytöjä Petsamon Lapista. 4:o käsikirjoitus ja puht. kirj. kopio. (Helsingin yliopiston kasvitieteen laitos.) (1929), 1974.

Kanadan puu- ja pensaslajien levinneisyydestä ja ekologiasta silmällä pitäen niiden menestymismahdollisuuksia Suomessa. 4:o käsikirjoitus. 243 p. Noin 1943. (Metsäntutkimuslaitos.) [Tarkoitettu II-osaksi julkaisuun: KUJALA, V., 1945, Waldvegetationsuntersuchungen in Kanada . . . .Ann. Acad. Scient. Fenn. A. IV. 7.]

[Metsäkasvillisuustutkimuksia Kanadassa silmällä pitäen kanadalaisten puulajien viljelymahdollisuuksia luonnontilaisilla metsämailla Suomessa.] Selostus. 4:o käsikirjoitus. (Metsäntutkimuslaitos.) Noin 1943. [Tarkoitettu suomenkieliseksi selostukseksi julkaisuun: KUJALA, V., 1945, Waldvegetationsuntersuchungen in Kanada . . . .Ann. Acad. Scient. Fenn. A. IV. 7.]

Valtakunnan metsien III. linja-arviointi 1951–1953. Ohjeita biologisten tutkimusten tekemiseen [linja-arviointiin osallistuville biologeille]. 4:o käsikirjoitus. 14 p. (Metsäntutkimuslaitos.) Noin 1943.

Suomen metsätyypit. 4:o käsikirjoitus ja puht. kirj. kopio. 59 p. (Metsäntutkimuslaitos.) 1953. Julkaistaan vuoden 1979 kuluessa sarjassa Commun. Inst. For. Fenn.

ISBN 951-40-0386-1
ISSN 0026-1610

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

RESPONSE OF SCOTS PINE PLANTS TO NITROGEN REFERTILIZATION ON OLIGOTROPHIC PEAT

SEPPO KAUNISTO and EERO PAAVILAINEN

Seloste

TYPPIJATKOLANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYN TAIMIEN KEHITYKSEEN KARULLA TURVEALUSTALLA

HELSINKI 1977

ODC 181.32:237.4
ISBN 951-40-0291-1
ISSN 0026-1610

KAUNISTO, S. & PAAVILAINEN, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Seloste: Typpijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karulla turvealustalla. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (1): 1—54.

Young pine trees in field and pine seedlings in laboratory, grown in different nutritional conditions on quite oligotrophic peats, were refertilized with mere nitrogen. Nitrogen refertilization caused needle damages and increased mortality both in field and laboratory. The unfavourable effect of nitrogen refertilization decreased with higher rates of primary fertilization (NPK or P) at the time of planting and sowing. In many cases the shock induced by refertilization was temporaty in plants with heavy primary fertilization, and in a few years nitrogen refertilization had a positive effect on growth.

Nitrogen refertilization increased the N/P ratio of pine needles. This ratio was the most important single independent factor in regression analysis to explain damages and mortality. The N/P ratios of needles higher than 11—13 at the time of refertilization proved to be detrimental.

In the laboratory experiments transpiration and net photosynthesis of pine seedlings were decreased and photo and dark respiration increased due to nitrogen refertilization. Respiration was especially high in seedlings without primary fertilization with other main nutrients (P and K). Also these plants recovered after N refertilization very slowly compared to seedlings fertilized with P and K at the time of sowing.

As a conclusion, mere nitrogen refertilization is not recommended for Scots pine plantations on oligotrophic peatlands.

Tutkimuksessa tarkastellaan typpilannoituksen vaikutusta erilaisen peruslannoituksen saaneiden männyntaimien kehitykseen luontaisesti vähäravinteisella turvealustalla. Typpijatkolannoitus aiheutti neulasvaurioita ja lisäsi taimien kuolleisuutta sekä kenttä- että laboratoriokokeissa. Typen epäedullinen vaikutus väheni viljelyn yhteydessä annettujen ravinnemäärien (NPK, P) kasvaessa. Useissa tapauksissa haittavaikutus oli ohimenevä ja typpilannoituksella oli muutaman vuoden kuluttua edullinen vaikutus taimien kasvuun.

Typpijatkolannoitus kohotti neulasten N/P-suhdetta. Mainittu suhde selitti yleensä parhaiten sekä vaurioita että taimien kuolleisuutta. Vaurioita esiintyi suhteen ollessa raja-arvoa n. 11—13 suurempi.

Laboratoriokokeissa todettiin, että typpijatkolannoitus vähensi taimien haihduntaa ja nettofotosynteesiä sekä toisaalta lisäsi hengitystä. Erityisesti sellaisten taimien hengitys lisääntyi, jotka eivät saaneet kylvön yhteydessä PK-lannoitusta. Nämä taimet myös toipuivat typpijatkolannoituksen aiheuttamasta shokista heikommin kuin peruslannoituksen saaneet taimet.

Käytännön johtopäätöksenä todetaan, ettei pelkän typen käyttö ole suositeltavaa karuilla soilla kasvavien männyn taimistojen jatkolannoituksessa.

ISBN 951-40-0291-1
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

PREFACE

At the Department of Peatland Forestry of the Finnish Forest Research Institute a programme was designed in 1972 to further develop the investigations dealing with the refertilization of peatland forests. The realization of the programme was started in the spring of the following year. The present investigation, which is concerned with the use of nitrogen for refertilizing pine stands on oligotrophic bogs, is part of the programme. The investigation was performed in cooperation with the Department of Peatland Forestry and the Parkano Research Station of the Forest Research Institute as well as the Department of Botany at Oulu University.

The authors cooperated in planning the lay-out and publication of the investigation. Measurements pertaining to gas exchange were carried out by Mr. Eero Tikkanen at the Department of Botany at Oulu University under the supervision of Prof. Paavo Havas and Dr. Satu Huttunen. Mr. Esko Mansikkaviita was responsible for the measurements in field. Mrs. Riitta Heinonen, M. A., was in charge of the computer calculations of the material. The publication was translated into English by Mrs. Leena Kaunisto, M. A. Prof. Olavi Huikari and Dr. Eino Mälkönen read the manuscript.

We wish to extend our sincere thanks to those mentioned above as well as to all the others contributing to the accomplishment of the investigation.

Parkano and Helsinki in August 1977

Seppo Kaunisto and *Eero Paavilainen*

CONTENTS

Page

1. INTRODUCTION 5

2. MATERIAL AND METHODS 7
   21. Field experiments 7
   22. Laboratory experiments 8
      Design and the establishment 8
      Arrangements in measuring gas exchange 9
   23. Calculation 9

3. RESULTS 11
   31. Field experiments 11
      Response and fertilization 11
         Damages 11
         Height growth 13
         Nutrient content of needles 16
      Response and nutrient status of needles 21
         Damages 21
         Height growth 26
   32. Laboratory experiments 28
      Nutrient content of needles 28
      Survival and damages 31
      Growth of seedlings 32
      Transpiration 33
      Photosynthesis and respiration 36

4. DISCUSSION 40
   41. Primary fertilization 40
   42. Refertilization 41

REFERENCES 44

SELOSTE 47

APPENDICES 49

1. INTRODUCTION

Several investigations indicate that the need for nitrogen fertilization on drained peatlands in Finland is closely related to peatland site type and the quality of peat (e.g. Huikari 1961, 1973, Heikurainen 1967, Paavilainen 1972, 1974, 1976a, Kaisisto 1972, 1974, 1976, Kaunisto 1975, Paavilainen and Simpanen 1975, Ipatiev and Paavilainen 1975). Mere PK fertilization induces a vigorous increase in the growth of a tree stand on bogs with naturally abundant supplies of nitrogen and the effect of fertilization usually lasts for 10—20 years. Yet, oligotrophic bogs require nitrogen besides phosphorus and potassium at the first fertilization and the effect of fertilization usually remains shorter than 10 years. At this stage lack of nitrogen may inhibit the manifestation of the effect of even PK fertilization.

Nitrogen conditions on oligotrophic bogs can be improved not only by fertilization, but also by drainage, liming and soil preparation. Efficient drainage invigorates nitrogen mineralization in peat after a long period of time thus lessening the need for nitrogen fertilization (e.g. Paavilainen 1976b). The effect of liming is at first negative owing to the biological fixation of nitrogen, but it speeds up the decomposition of peat and gradually increases nitrogen mineralization (Meshechok 1968, 1971, Kaunisto and Norlamo 1976). The joint use of soil preparation and placing of fertilizers affects positively nitrogen mobilization in peat (Kaunisto 1972). This method is, however, only applicable in open bogs, and does not make it possible completely to abolish the differences between various peat types as substrates for trees (cf. Kaunisto 1972, 1975).

According to the above-mentioned data, it is possible to speed up the mobilization of nitrogen in peat on naturally oligotrophic bogs to some extent with more effective drainage, liming and soil preparation. Except drainage the practical application of these methods is, however, slight, and therefore such sites do usually still suffer from nitrogen deficiency as the influence of the primary fertilization ceases. A properly performed refertilization at this point is important especially on artificially afforested bogs, which have to be fertilized at least 2—3 times before receiving income from cutting.

As the influence of PK fertilization lasts longer than that of nitrogen, it has often been assumed that there is no need for other nutrients besides nitrogen at the first stage of refertilizing tree stands on oligotrophic bogs. The results from certain field experiments show, however, that the use of mere nitrogen at refertilization is

unprofitable if the amount of usable phosphorus and potassium is small (Paavilainen 1976c, Kaunisto 1977). An experiment established on a *Sphagnum fuscum*-rich cotton-grass bog in Karvia showed that nitrogen refertilization had a positive influence on the growth of planted pine seedlings only when the N/P ratio in needles was 11 or lower, but otherwise the effect was harmful (Paavilainen 1976c). The significance of the relationship between nitrogen and other nutrients for the growth of pine seedlings has been discovered also in greenhouse experiments (Kaunisto 1976).

The present study is concerned with the response of pine to nitrogen refertilization on oligotrophic bogs. Part of the material has been gathered from the same field experiments in Karvia, the first results of which have already been published (Paavilainen 1976c). In addition, the effect of nitrogen fertilization on the initial development of pine seedlings has been studied in laboratory conditions. As photosynthesis is a rather sensitive indicator of fertilization influence (e.g. Keller 1967, 1971, 1973, Brix and Ebell 1969, Brix 1971), special attention is paid in laboratory experiments to the gas exchange of seedlings as affected by fertilization.

2. MATERIAL AND METHODS

21. Field experiments

The investigation was realized both in the field and laboratory. The field experiments were set up in Alkkia (62°10'N, 22°75'E) belonging to the Parkano experimental area of the Finnish Forest Research Institute. The peatland site type was a cotton-grass open bog. The average main nutrient contents of peat in unfertilized plots were as follows:

	Total	Available, mg/l
N	1,24 %	25,4
P	118 mg/l	6,1
K	79 mg/l	65,8

Drainage had been performed in 1956 with 20-metre-wide ditch spacings.

In 1966 Experiment 33 was established to assess the effect of NPK spot fertilization and soil preparation on the success of pine planting. The following fertilizer rates were included: control, 25, 50, 100, and 200 g of NPK fertilizer (14—18—10) on each planting spot. The rates of elements (N, P, and K) per 100 g were 14, 7,9, and 8,3 g respectively. There were two soil preparation treatments: unprepared and prepared so that a 0,25 m^2 area of peat in the immediate surrounding of transplant was turned over with a spade and the fertilizer was simultaneously mixed in this broken peat. In the unprepared case the fertilizer was spread around the transplant on a 0,25 m^2 -wide area without letting the fertilizer in contact with roots or stem of the transplant. Phophorus in this compound fertilizer was in the form of superphosphate.

In 1967 a similar experiment was set up in the same area next to the previous one. The difference was that instead of NPK fertilizer the following amounts of rock phosphate were used: control, 10, 25, 50 and 100 g/planting spot, the corresponding amounts expressed as phosphorus being 0, 1,4, 3,6, 7,1, and 14,2 g/planting spot. Soil was prepared as in the previous experiment.

Both experiments were refertilized in the spring of 1973 with Oulu saltpetre (calcium-ammonium nitrate containing 13,75 % N as NH_4 and 13,75 % N as NO_3), the amount applied was 400 kg/ha (110 kg N/ha). Refertilization was carried out by dividing each original plot into two. One half was fertilized with the above-mentioned amount of nitrogen, while the other remained unfertilized.

In the autumn of 1974 five transplants in each half plot were given superphosphate 50 g/each (4,1 g P), five additional ones received superphosphate + fertilizer borate 0,3 g/transplant (0,042 g B) and five more transplants received superphosphate + fertilizer borate + muriate of potash 10 g/transplant (5,0 g K). Later in the text these treatments are included in the averages of each sample plot and will not be treated separately, since they had not yet influenced the phenomenon investigated here.

The inventories were carried out in the autumns of 1974 and 1976. In 1974 two rows running stripwise were investigated (20 planting spots which equals to 40 % sampling) in each half plot and in 1976 three rows (30 planting spots which equals to 60 % sampling). The number of measured transplants in both experiments was 1 200 in 1974 and 1 800 in 1976. The height and height growth of transplants in 1970—1976 were measured. Furthermore, the condition of transplants was estimated visually as follows:

Class in 1974
1. Needles normal
2. The 74 needles normal
   the 73 needles yellowish
3. The 74 needles normal
   the 73 needles fallen
4. Part of crown dead
5. Over half the crown dead

Class in 1976
1. Needles normal = two years'needles left
2. The 76 needles normal
   the 75 needles yellowish
3. The 76 needles normal
   the 75 needles fallen
4. Part of crown dead
5. Over half the crown dead
6. Transplant died in the course of the last three years

Needle samples were taken from each measured live transplant from needles of the inventory year both in 1974 and 1976. In both years needle samples of single transplants in each half plot were joined and analysed for total N, P, and K in Viljavuuspalvelu Oy (Soil Test Service).

22. Laboratory experiments

Design and the establishment

In laboratory experiments the effect of nitrogen refertilization on the transpiration (Exp. 1 and 2), photosynthesis and respiration only (Exp. 2) of pine seedlings in different nutrient conditions was investigated. The experiments were carried out by first growing pine seedlings for several months on *Sphagnum* and *Carex* peats treated with different primary fertilizations. Transpiration was observed for several weeks before and after refertilization by weighing the pots and replacing water losts through transpiration by distilled water. Nitrogen refertilization was then carried out. Photosynthesis was observed by means of IRGA several times before and after refertilization. Both experiments had similar treatments and four replications. Seedlings were grown in a growth chamber, in which the length of day was 17 hours, daily temperature 17—18°C, night temperature 12—13°C, humidity 50 % and illumination = ab. 30 000 luxes.

The *Sphagnum* peat came from the surface layer of a small-sedge bog and the *Carex* peat from the centre of a narrow sedge bog formation. The following table shows the pH and total nutrients of peats:

	pH	N %	P mg/g	K mg/g
Sphagnum peat	3,7	0,98	0,40	0,25
Carex peat	4,2	2,08	0,94	0,22

In both cases peat was extracted from rotavated peat surface.

There were three primary fertilization levels: unfertilized control, phosphorus-potassium fertilization using a combined PK fertilizer for peatlands (0—24—15) 208 kg/ha and the latter doubled. The amounts of phosphorus and potassium in the two last-mentioned cases were 21,5 kg P/ha + 26 kg K/ha and 43 kg P/ha + 52 kg K/ha respectively. Phosphorus was as rock phosphate and potassium as KCl.

PK fertilization was carried out so that the required amount of fertilizer was estimated according to the size of the mouth of the experimental pot (64 cm^2). In practice, however, a larger amount of peat (10 l) was first fertilized and fertilizers thoroughly mixed in peat, after which the pots were filled with equal amounts (by weight) of peat.

After basic fertilization each pot was seeded with 10 pine seeds on 10th October 1975 and the pots were covered with plastic. The origin of seeds was Central Bothnia. After germination (in ab. 2 weeks) the plastic cover was removed. The pots were watered with deionized distilled water three

times a week and once a week peat was brought to its initial standard weight by watering. By the time the seedlings were well-established, 4 best growing seedlings in each pot were chosen and the rest discarded. Approximately three weeks before nitrogen refertilization, the pots were covered with plastic so that only the seedlings were left in sight. The purpose was to prevent both the evaporation of water from peat surface and the effect of soil respiration during measurements when analysing gas exchange. After covering them, the pots were daily (excluding week-ends) brought to standard weight by watering with deionized distilled water, and the consumption of water was measured. This was continued till the end of the experiments.

Nitrogen refertilization was carried out with using 3 different rates: unfertilized control, 100 kg/ha of nitrogen and 200 kg/ha of nitrogen. Urea was applied as a water solution, in which 2,7 or 5,4 g of urea (corresponding to 100 and 200 kg/ha of nitrogen) was dissolved in 100 ml of distilled water. Each experimental pot received 5 ml of the solution. At the same time the unfertilized pots received 5 ml of distilled water except in Experiment 2 where only the water lost through transpiration was replaced. In the part of the experiment dealing with photosynthesis, the seedlings were fertilized with nitrogen on 12th May, 1976, i.e. about 6 months after the seeding and in the part dealing with transpiration on 7th June, 1976, i.e. about 7 months after seeding. The experiments were discontinued on 26th June and 5th August, 1976, respectively.

After the observations of photosynthesis and transpiration, the seedlings were weighted and the share of dead needles and the main nutrients in live needles determined.

Arrangements in measuring gas exchange

On two successive years, 1975 and 1976, experiments dealing with photosynthesis of seedlings were carried out. In this context the results of the latter experiment alone are reported, because the technique of the former experiment was still insufficient in 1975. This experiment and some preliminary trials of 1976, however, form a necessary background for reaching the results of the experiment presented here. The CO_2 exchange analyses were performed at the Department of Botany at Oulu University. A more detailed report on the results of the preliminary trials is presented by Tikkanen (1977).

Only 18 test members in three groups of six could be analysed on one day. Therefore the material was divided so that the replications were analysed on successive days. As the differences in gas exchange between replications were very slight throughout the tests, the replications are treated normally in the calculations of the final results. Gas exchange of seedlings was analysed 8 times in total, twice before and six times after refertilization. The temperature of the infrared gas analyser was 13°C, illumination 30 000 luxes and the speed of air current 20 l/h.

Respiration values in dark were determined only in seedlings grown on *Sphagnum* peat. Then the highest levels of phosphorus and potassium were omitted.

23. Calculation

When calculating field experiments, the analyses of variance and covariance, and the stepwise regression analysis were used. In the analysis of covariance, soil preparation, primary fertilization and refertilization were class variables, while the regression variables were the growth in 1970—72, height in 1972, mortality before 1973, main nutrient contents of needles (N, P and K) and their ratios (N/P, N/K and K/P). In field experiments several models of the stepwise regression analysis were tried using the before-mentioned class variables as dummy variables and the regression variables mentioned in connection with the analysis of covariance. The principle of the stepwise regression analysis has been approached in greater detail by Väliaho and Pekkonen (1976). 2 $\arcsin\sqrt{x}$-transformation was made of percentages.

In the calculations of laboratory experiments the normal three factor analyses of variance and covariance were used as basic methods. When calculating material concerning photosynthesis, the treatment means were adjusted to regression in regard to photosynthesis before refertilization. Moreover, by means of the stepwise regression analysis it was aimed at explaining photosynthesis with nutrient contents of needles. Analysis included also class factors as dummy variables. The material for needle analysis was very small (only 12 observations), because the needle mass of replications had to be combined for nutrient analysis. Therefore the results concerning this part (dealt with the stepwise regression analysis) should be viewed with reserve, while the main emphasis rests on the results from the analyses of variance and covariance.

3. RESULTS

31. Field experiments

Response and fertilization

Damages

The first inventory of Experiments 33 and 38 in 1969 showed that the placement of compound fertilizer (NPK) simultaneously with soil preparation into direct contact with the roots increased the mortality of transplants (cf. Paavilainen and Koskela 1972). This disadvantage was not encountered when the fertilizer was spread on soil surface. Even large doses of rock phosphate could be applied in the root layer without increasing mortality. The effect of the first fertilization was still clearly perceptible in the 1974 and 1976 inventories (Fig. 1). There were very few live transplants in the sample plots having received heavy rates of the N, P, and K to the root layer in connection with planting. This was seen also in the analyses of covariance where the survival percentage of transplants in 1974 and 1976 significantly depended on the mortality rate before the 1973 nitrogen refertilization (Appendix 1). According to Figure 1 refertilization seems in most cases to increase the mortality of seedlings, although in some sample plots refertilized with nitrogen more seedlings were alive than on unrefertilized plots.

According to the analyses of covariance, the effect of primary fertilization, soil preparation and refertilization was not statistically significant in 1974 (Appendix 1). As regards the primary fertilization and soil preparation treatments this presumably was due to the fact that survival percentage before 1973 covered also the effect of those treatments. The situation changed in the two years. The 1976 inventory showed that N refertilization severely suppressed the survival percentage of transplants (Fig. 1, Appendix 1) in Experiment 33. On the other hand, this detrimental effect was decreased by high rates of primary fertilization. Later a similar phenomenon, but weaker, was found also in Experiment 38. Also soil preparation increased the mortality of transplants the more, the less rock phosphate was applied in the first fertilization.

In order to find more detailed information concerning the mortality increase caused by N refertilization, trees were divided into damage classes ranging from 1 to 6 according to the severity of damage, and including both normal and dead trees

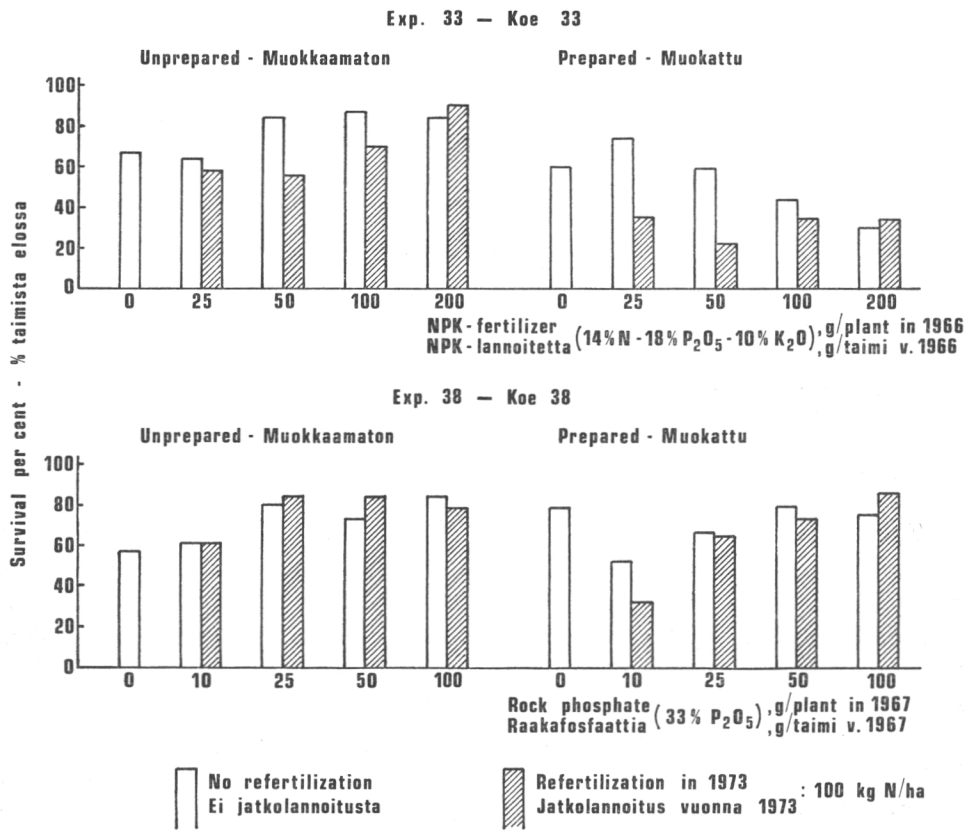


Fig. 1. Survival of transplants in the field experiments in 1976.
Kuva 1. Taimien elossapysyminen kenttäkokeissa v. 1976.

(cf. page 8), 1—3 indicating normal transplants or the damage was seen only in needles, 4—6 indicating that parts of the crown has died or that the transplant had completely died during 1974—76, and 6 that the transplant had died during those years.

The average intensity of damage in transplants was smaller when more nutrients were applied in the first fertilization (Fig. 2). Nitrogen refertilization increased damages, as is seen already in the results of the 1974 inventory. In Experiment 33 the positive effect of the primary fertilization and the damage increasing effect of refertilization on transplants were statistically significant in all damage groups mentioned above (Appendix 2). This applies to Experiment 38 as well. In addition, soil preparation intensified damages significantly in this experiment. In Experiment 38 the interaction between primary fertilization and soil preparation as well as between primary and refertilizations was significant in damage classes 4—6 in the 1976 inven-

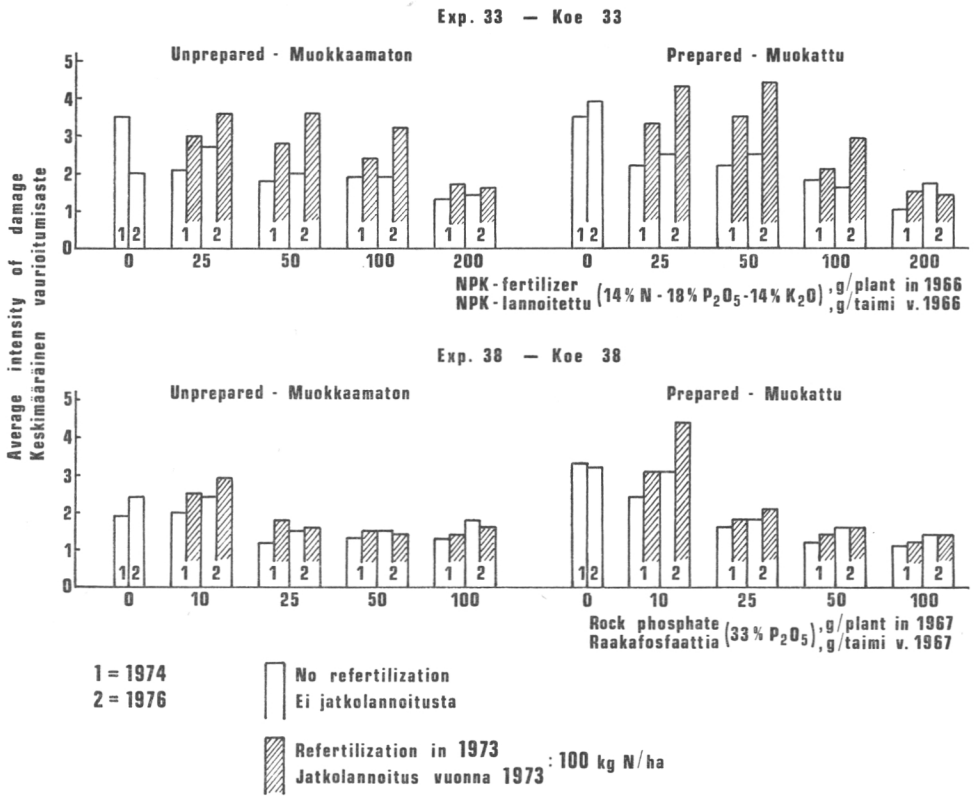


Fig. 2. Average intensity of damage in transplants.
Kuva 2. Taimien keskimääräinen vaurioitumisaste.

tory. Soil preparation and refertilization intensified damages and the mortality of transplants in 1974—1976 the more, the less rock phosphate was included in primary fertilization.

Height growth

Figure 3 shows that even as late as 1973—1976 the effect of the first fertilization on the height growth of transplants was favourable both in Experiments 33 and 38 (see also Appendix 3). The effect of soil preparation and mixing of fertilizers was significant in Experiment 33 in 1976 when the height growth of transplants on prepared substrate was poorer than on unprepared. The first inventory of the experiment

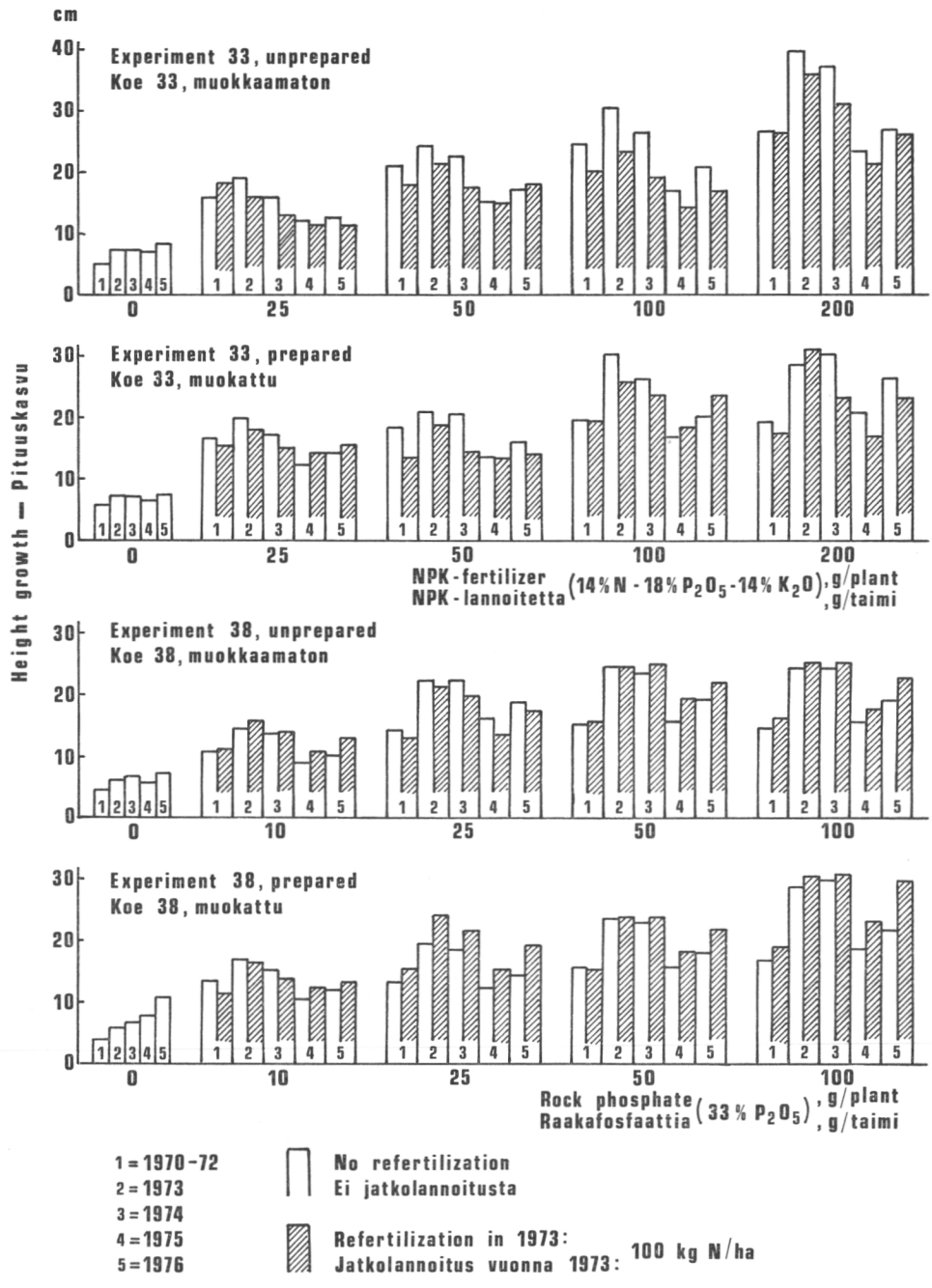


Fig. 3. Height growth of transplants in 1970—1976.
Kuva 3. Taimien pituuskasvu vuosina 1970—1976.

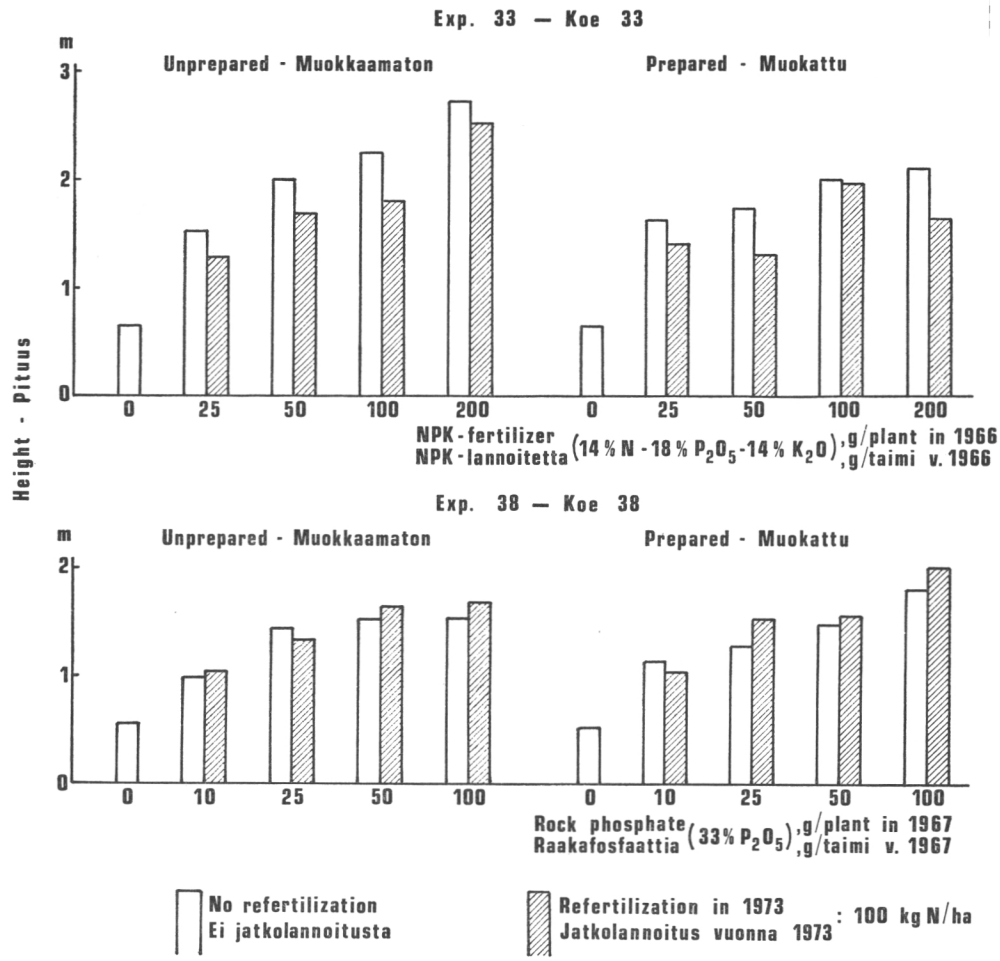


Fig. 4. Height of transplants in 1976.
Kuva 4. Taimien pituus vuonna 1976.

in 1969 already yielded a similar negative response in NPK fertilizer, applied in the root layer in conjunction with soil preparation (cf. Paavilainen and Koskela 1972).

Differences in the growth of sample trees caused by primary fertilization and soil preparation are clearly perceptible in Figure 4, which presents the total height of transplants in 1976. Heavy NPK fertilization in connection with soil preparation resulted in a poorer outcome in Experiment 33 than when spreading the same fertilizer amount on unprepared ground. On the other hand, it seems that the effect of the heaviest rock phosphate application (100 g/transplant) was better on prepared than unprepared ground in Experiment 38.

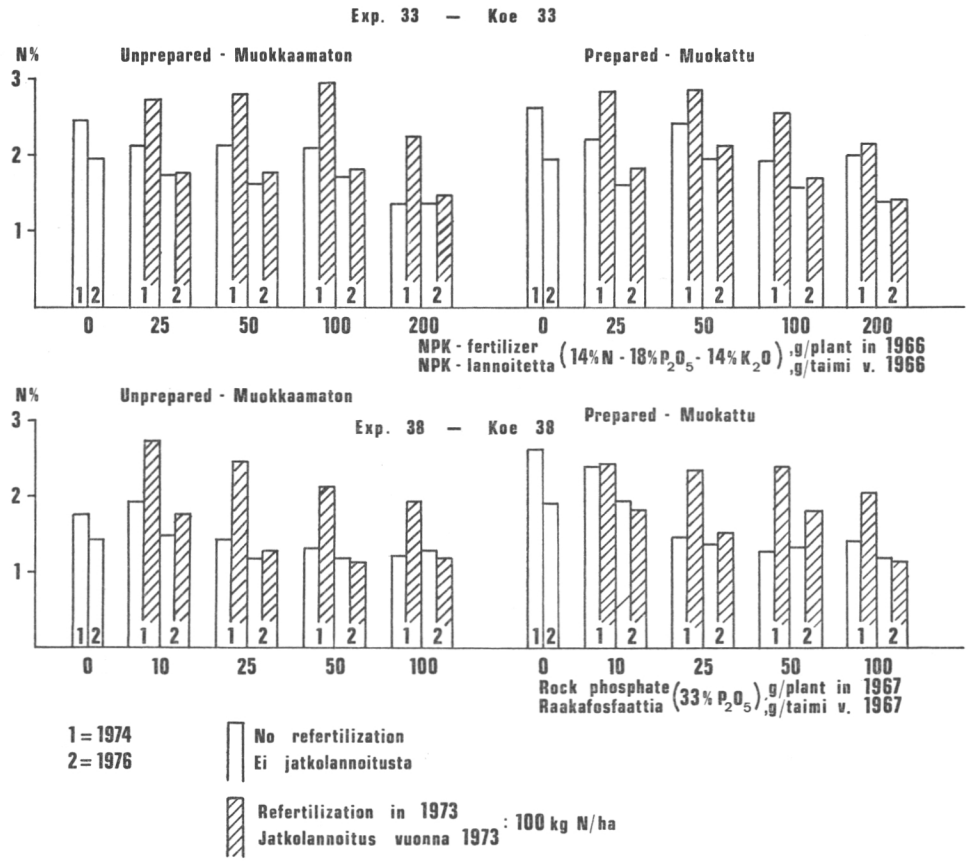


Fig. 5. Nitrogen content of needles of transplants.
Kuva 5. Taimien neulasten typpipitoisuus.

The 1973 nitrogen refertilization decreased the height growth of transplants in Experiment 33 in 1974 and 1975, but no longer on the following year (Fig. 3, Appendix 3). Experiment 38 did not produce a similar response, on the contrary nitrogen refertilization significantly increased the height growth of transplants in 1976.

Nutrient content of needles

NPK fertilization was applied in 1966 in Experiment 33. The effects of this treatment and fertilizer rates in particular were visible in the nutrient contents and ratios of needles in 1974 and 1976 (Figs 5—10, Appendix 4). As the rate of NPK fertilizer

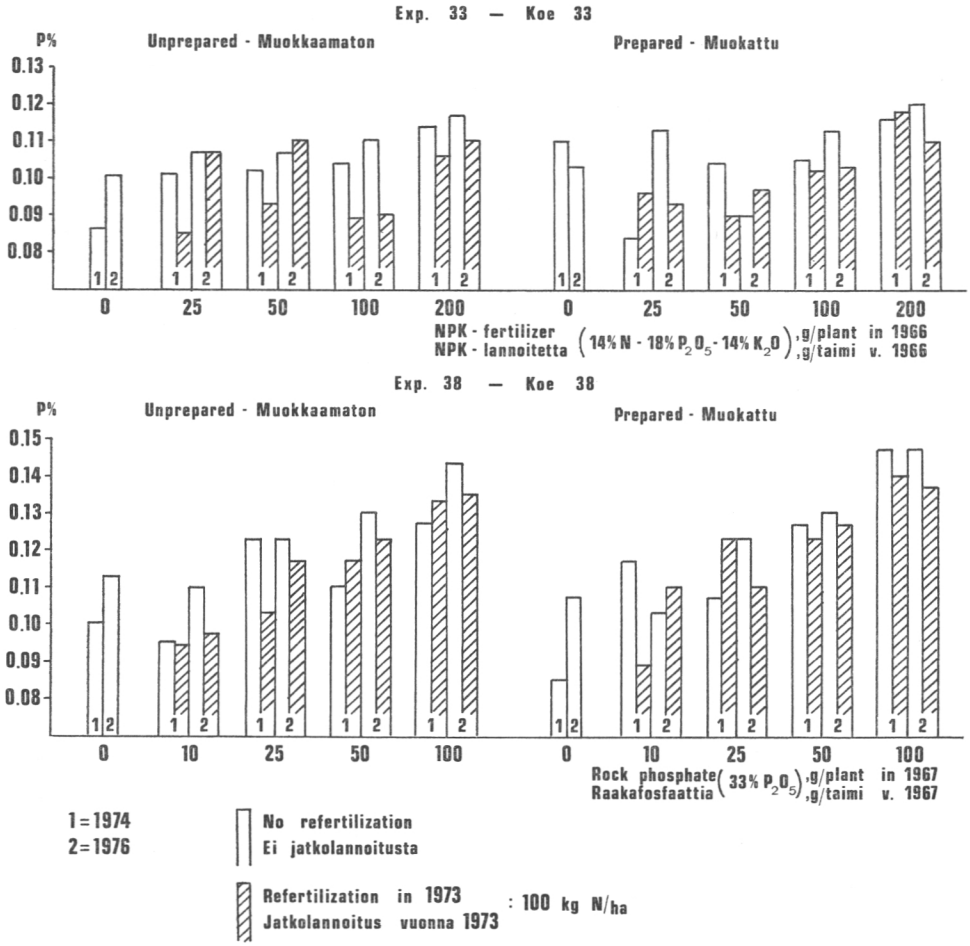


Fig. 6. Phosphorus content of needles of transplants.
Kuva 6. Taimien neulasten fosforipitoisuus.

increased, the nitrogen content of needles decreased, while the phosphorus and potassium contents increased. Increase in fertilizer rates also caused decrease in the N/P and N/K ratios of needles. The K/P ratio of needles was not significantly dependent on the 1966 primary fertilization.

According to the results of the 1976 analysis, soil preparation increased the potassium contents of needles in Experiment 33. The most intensive increase occurred in the sample plots with the heaviest fertilizer application in 1966. Interaction between soil preparation and primary fertilization was significant (Appendix 4). Increase in the potassium contents of needles also reduced the N/K ratio.

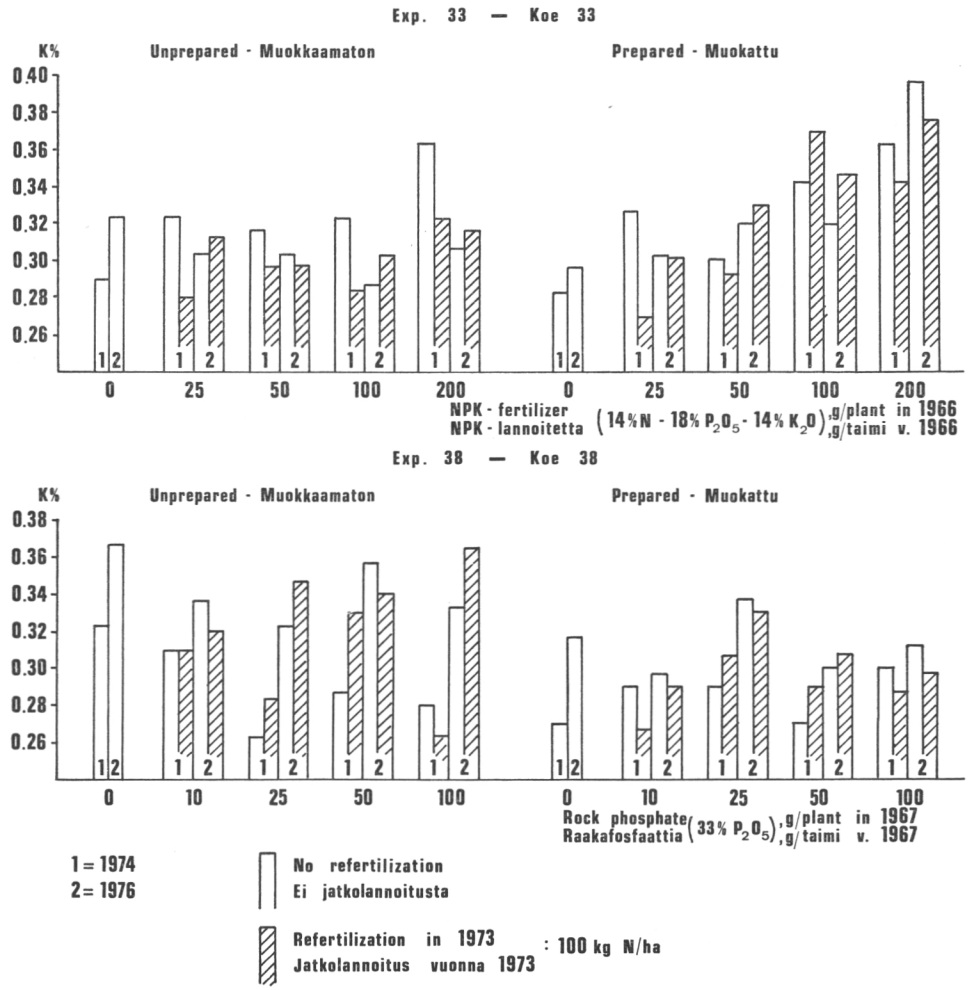


Fig. 7. Potassium content of needles of transplants.
Kuva 7. Taimien neulasten kaliumpitoisuus.

At first the 1973 nitrogen refertilization prominently increased the nitrogen contents and the N/P and N/K ratios of needles. By 1976 effect of refertilization had, however, settled and was significant only in regard to the N/P ratio (Appendix 4). On refertilized sample plots the potassium content of needles in 1974 and the phosphorus content and the K/P ratio in 1976 were significantly lower than on unrefertilized sample plots.

Similarly in Experiment 38, the phosphorus content of needles rose, while the nitrogen content and the N/P and N/K ratios sank as the rates in primary fertiliza-

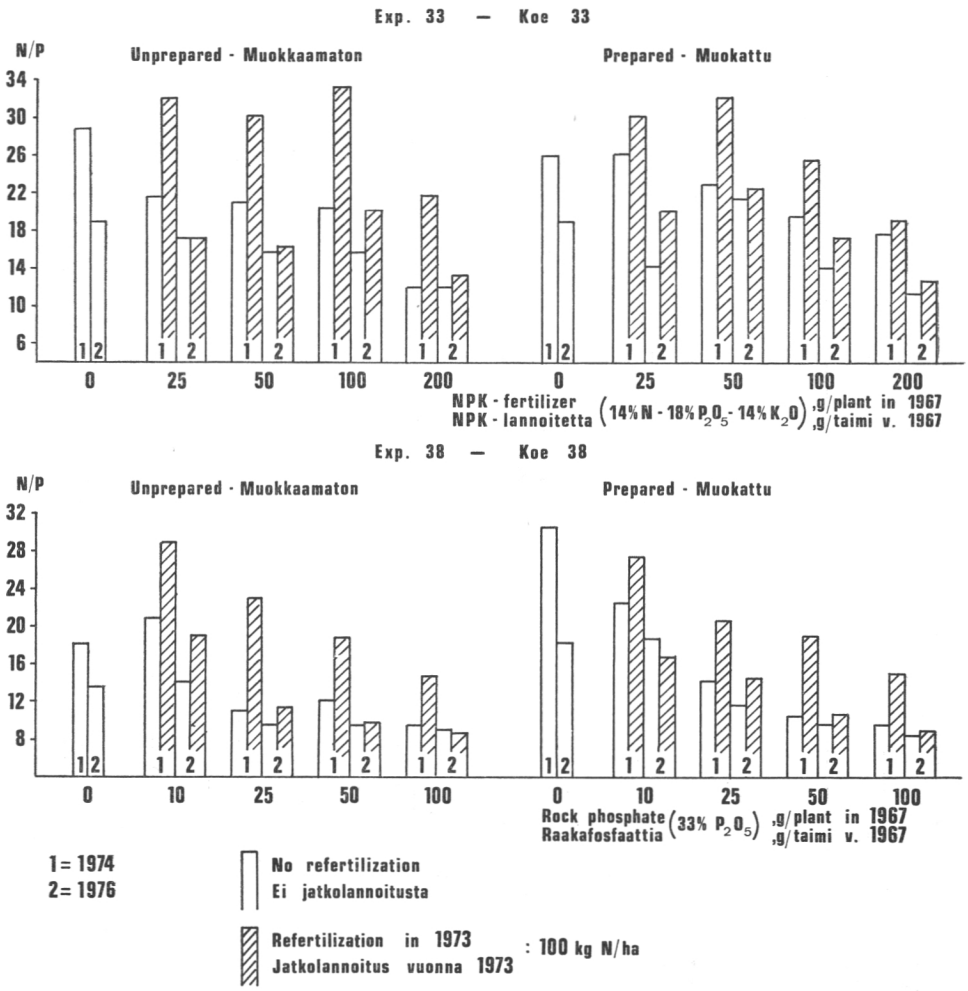


Fig. 8. N/P ratio of needles of transplants.
Kuva 8. Taimien neulasten N/P-suhde.

tion increased (Figs 5—10, Appendix 4). As the potassium contents of needles had no significant differences, the K/P ratio of needles declined with the increase in fertilizer rate.

According to the results of the 1974 analysis, soil preparation lowered the K/P ratio of needles. Two years later the nitrogen content and N/K ratio of needles in trees growing on prepared sample plots were significantly higher than on unprepared plots.

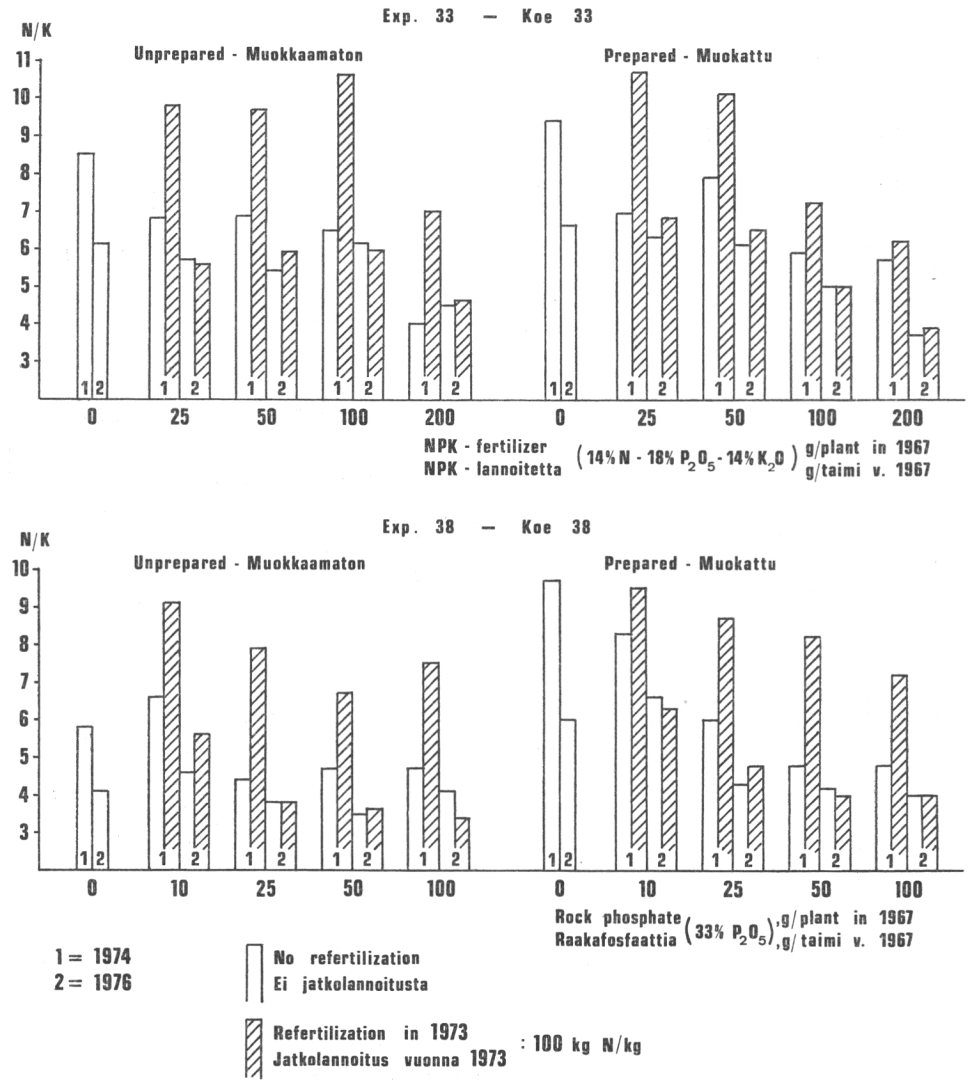


Fig. 9. N/K ratio of needles of transplants.
Kuva 9. Taimien neulasten N/K-suhde.

In Experiment 38 the 1973 nitrogen refertilization increased the nitrogen content and the N/P and the N/K ratios of needles, but only temporarily as in Experiment 33. In 1976 the effect of refertilization on the nutrient contents and ratios of needles was no longer significant.

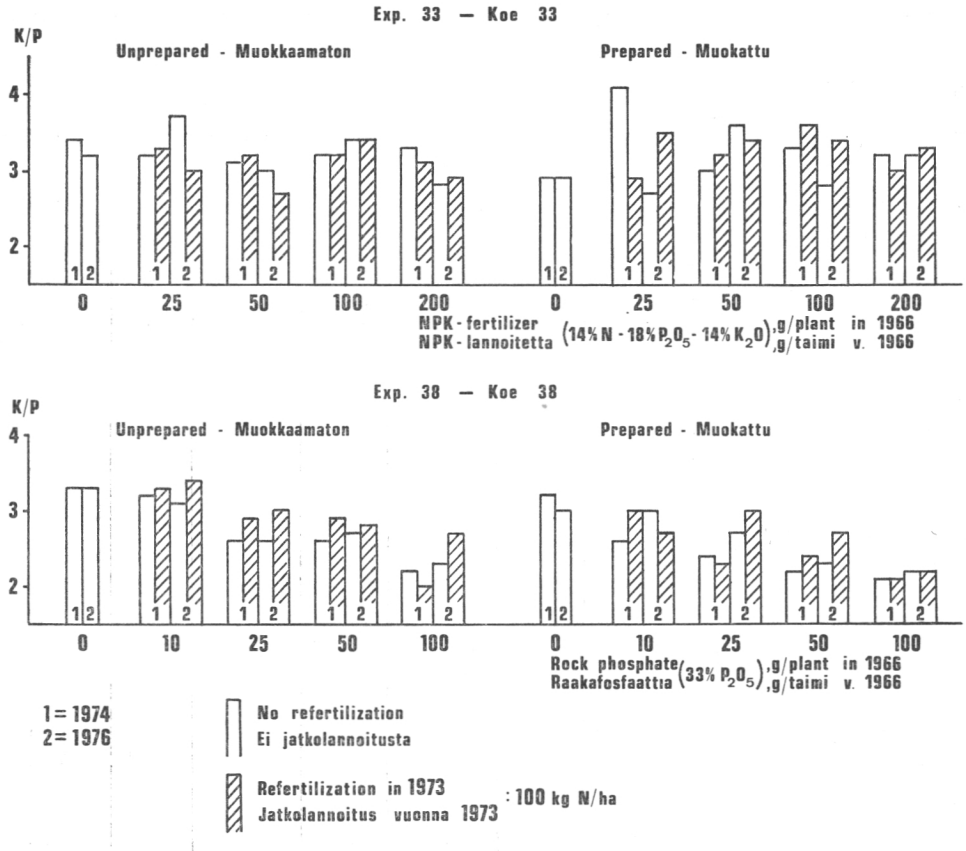


Fig. 10. K/P ratio of needles of transplants.
Kuva 10. Taimien neulasten K/P-suhde.

Response and nutrient status of needles

Damages

The correlation between damages and mortality of trees and the nutrient content of needles was investigated by means of a stepwise regression analysis (see page 9). The independent variables were, in addition to nutrient contents, the height growth of trees before fertilization, their height at the time of fertilization and in connection with survival calculations also mortality before 1973. Refertilization and other classifying variables were included in the calculation as dummy variables.

According to the 1974 nutrient analyses, the N/P ratio of needles was the best indicator of damages in all cases (Table 1). As this ratio grew, damages increased. This will be reverted to at the end of the chapter, in connection with mortality.

Table 1. Independent variables explaining severe damages (classes 4—6) and their t values as they appear in stepwise regression analysis. 1976 I = 1976 damages explained by values from 1974 needle analysis. 1976 II = Explained by values from 1976 needle analysis.
x_1 = mean height in 1972, x_2 = height growth before refertilization, x_3 = refertilization, x_4 = mortality before 1973.

Taulukko 1. Voimakkaiden vaurioiden (luokat 4—6) esiintymistä selittävät muuttujat ja niiden t-arvot mukaantulojärjestyksessä askeltavassa regressioanalyysissä. 1976 I = vauriot v. 1976 selitetty vuoden 1974 neulasanalyysiarvoilla. 1976 II = samat selitetty v. 1976 neulasanalyysin arvoilla.
x_1 = keskipituus v. 1972, x_2 = pituuskasvu ennen jatkolannoitusta, x_3 = jatkolannoitus, x_4 = kuolleisuus ennen v. 1973.

Dependent variable *Selitettävä muuttuja*	Step — *Askel* I		II		III		Percentage of variation explained *Selitysaste* $100 \cdot R^2$
	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	
			Experiment 33 — *Koe 33*				
Damage classes 4—6 in year *Vaurioitumisluokat 4—6, vuonna*							
1976 I	$(N/P_{74})^2$	7,40	P_{74}	2,29			62,4
1976 II	N_{76}	8,65	x_3	3,93			69,6
Damage class 6 in year *Vaurioitumisluokka 6 vuonna*							
1976 I	$(N/P_{74})^2$	9,18					64,0
1976 II	N_{76}	7,55	x_3	4,16	x_2	—2,35	69,9
			Experiment 38 — *Koe 38*				
Damage classes 4—6 in year *Vaurioitumisluokat 4—6 vuonna*							
1976 I	$(N/P_{74})^2$	4,71	N/P_{74}	—3,40			58,1
1976 II [1]	$(N/P_{76})^2$	7,22	K/P_{76}	—4,27	K	3,41	72,3
Damage class 6 in year *Vaurioitumisluokka 6 vuonna*							
1976 I	N/P_{74}	—3,82	$(N/P_{74})^2$	5,37			64,4
1976 II [2]	$(N/P_{76})^2$	7,67	K/P_{76}	—4,64	K	3,81	74,0

[1]) Step-Askel IV = x_2/—2,51; V = x_3/ 2,23
[2]) » IV = x_3/ 2,34; V = x_2/—2,15

The correlation between damages inventoried in 1976 and the nutrient contents of needles were investigated on the basis of both the 1974 and 1976 nutrient analyses. According to the last-mentioned analysis values, the nitrogen content of needles was the best indicator of damages in Experiment 33. Damaged trees grew in number as the nitrogen content increased. Also refertilization was a significant contributor to the worst damages (classes 4—6).

In Experiment 38 the N/P and K/P ratios were the best indicators of damage when using the 1976 needle analysis values. As the former ratio increased, damages enchanced, but declined as the K/P ratio increased. In both experiments damages remained slight if the trees had grown well before fertilization.

When investigating the mortality of transplants, the aim was to first eliminate the effects of previous treatments. Therefore the analysis included the mortality of

Table 2. Independent variables explaining survival of plants in 1974 and 1976 and their t values as they appear in stepwise regression analysis. Key as in Table 1.

Taulukko 2. Taimien elossa pysymistä vuosina 1974 ja 1976 selittävät muuttujat ja niiden t-arvot mukaantulojärjestyksessä. Selitykset kuten taulukossa 1.

Dependent variable *Selitettävä muuttuja*	Step — *Askel* I		II		III		VI		V		VI		Percentage of variation explained *Selitysaste* $100 \cdot R^2$
	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	
					Experiment 33 — *Koe 33*								
Survival (%) in the year *Taimia elossa (%) vuonna*													
1. 1974	P_{74}	— 2,37	x_4	— 9,66									74,9
2. 1976 I	N/P_{74}	— 6,59	x_4	—14,56									82,3
3. 1976 II	x_2	2,53	N_{76}	— 5,71	x_4	—13,21	x_3	—3,02					87,1
4. Change in the survival percentage between 1974—1976 — *Taimien elossaolo %:n muutos vuosina 1974—1976*	N/P_{74}	— 3,71	x_2	2,41	x_3	— 2,67							48,3
					Experiment 38 — *Koe 38*								
1	x_4	— 5,15											35,2
2	x_4	—16,01	$(N/P_{74})^2$	1,21	N/P_{74}	— 5,43	x^5	2,17					91,4
3	N/P_{76}	— 6,37	K_{76}	— 2,53	K/P_{76}	3,90	x_4	—9,31	x_2	3,82	x^3	—2,51	89,4
4	N/P_{74}	— 4,47	x_4	— 4,11									47,3

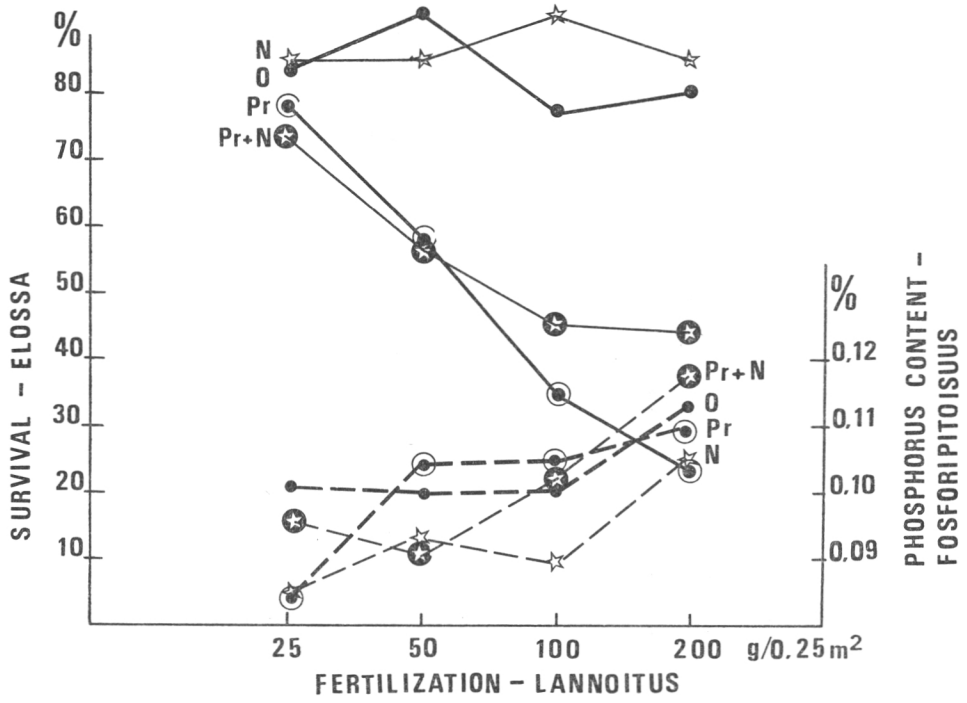


Fig. 11. Phosphorus content of needles (dotted lines) and survival of transplants (intact lines) in connection with different fertilization treatments in Experiment 33. Pr = prepared, N = refertilized with N.

Kuva 11. Neulasten fosforipitoisuus (katkoviivat) ja taimien elossapysyminen (yhtenäiset viivat) eri lannoituskäsittelyjen yhteydessä kokeessa 33. Pr = muokattu, N = jatkolannoitettu.

transplants before nitrogen refertilization as an independent variable. This variable was included in the final model in each case (Table 2). Furthermore, refertilization increased significantly the mortality of transplants. The ability to resist drying and death was more powerful in seedlings which had grown better before fertilization indicating the importance of primary fertilization as regards damages (cf. page 12).

The mortality rate of transplants increased as the N/P ratio and nitrogen content of needles increased, and as the phosphorus content of needles decreased. An exception was the mortality of transplants in 1974 in Experiment 33. Then the mortality increased with larger phosphorus contents of needles. The negative effect of phosphorus was, however, only ostensible and was caused by a strong interaction between primary fertilization and soil preparation, which was not involved as an independent variable in this analysis. Figure 11 shows that the phosphorus content of needles rose as the primary fertilization intensified. On the other hand, there occurred a simultaneous increase in mortality (cf. also Fig. 1). This was caused by an excessive

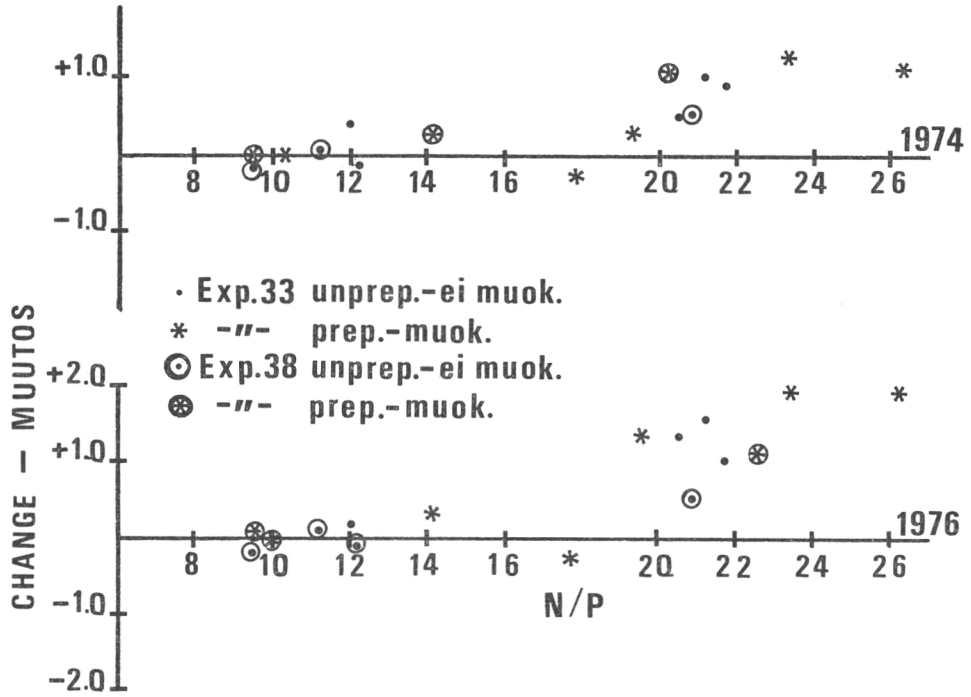


Fig. 12. Change in intensity of damage in 1974 and 1976 caused by refertilization as a function of needle N/P ratio of unfertilized transplants analysed in 1974.
Kuva 12. Jatkolannoituksen aiheuttama vaurioitumisasteen muutos vuosina 1974 ja 1976 vuonna 1974 analysoitujen jatkolannoittamattomien taimien neulasten N/P-suhteen funktiona.

amount of soluble nutrients in the root zone and is presumably not related to the simultaneous increase in the phosphorus content of needles (cf. Zehetmayr 1954, Meshechok 1968, Paavilainen 1970, Mannerkoski and Seppälä 1970, Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971).

It is probable that the previously found positive correlation between the phosphorus content of needles and the intensity of damage in seedlings is connected with the same phenomenon.

In Experiment 38 the mortality rate of transplants rose as the potassium content of needles increased, but sank as the K/P ratio increased.

As was previously stated the N/P ratio generally explained best the damages in transplants. Figures 12 and 13 reveal the change in the intensity of damage and mortality caused by refertilization as a function of N/P ratio. Change equals to damages of transplants in refertilized subplots minus the damages of transplants on unrefertilized plots. If the points are levelled with a line, it crossed x-axis at about

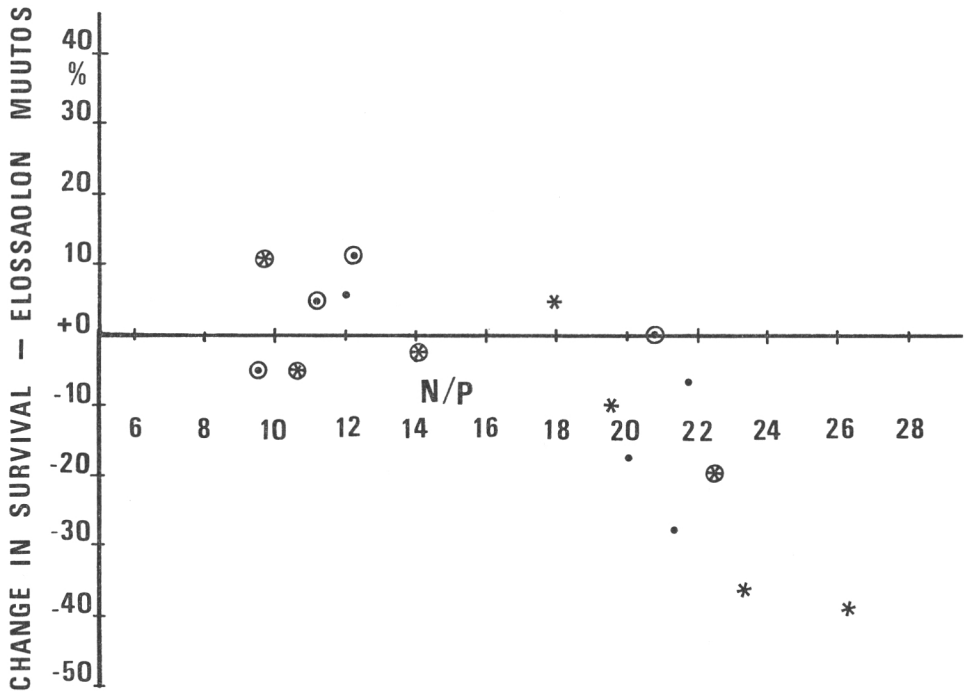


Fig. 13. Change in mortality caused by refertilization as a function of needle N/P ratio of unfertilized transplants analysed in 1974. Key as in Fig. 12.
Kuva 13. Jatkolannoituksen aiheuttama kuolleisuuden muutos vuonna 1974 analysoitujen jatkolannoittamattomien taimien neulasten N/P-suhteen funktiona. Merkkien selitykset kuten kuvassa 12.

point where N/P is 10—12 in Figure 12 and at about point where N/P is 12—14 in Figure 13. Transplants have damages when the N/P values of needles exceed these.

Height growth

According to the preliminary results from Experiments 33 and 38, refertilization deteriorated the growth of trees when the N/P ratio exceeded 11 (Paavilainen 1976c). The present investigation also indicated that the growth of trees weakened as the N/P ratio of needles increased (Table 3), but the value of the ratio seems to be somewhat higher than the before-mentioned one (Fig. 14). Moreover, there was a negative correlation between the nitrogen content of needles and the growth of trees in 1973. It turned into a positive correlation when the 1976 height growth of trees was explained with the analysis values of the same year. According to the last-mentioned regression analyses, a poor growth of trees resulted also from higher N/K ratio of needles.

Table 3. Independent variables explaining the height growth of transplants in 1973—1976 and their t values as they occur in stepwise regression analysis. Key as in Table 1.

Taulukko 3. Taimien pituuskasvua vuosina 1973—1976 selittävät muuttujat ja niiden t-arvot mukaantulojärjestyksessä askeltavassa regressioanalyysissa. Selitykset kuten taulukossa 1.

Dependent variable = Height growth in the year *Selitettävä muuttuja = Pituuskasvu vuonna*	Step — *Askel*										Percentage of variation explained *Selitysaste* $100 \cdot R^2$
	I		II		III		IV		V		
	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	Variable *Muuttuja*	t-value *t-arvo*	
					Experiment 33 — *Koe 33*						
1973	N_{74}	—2,47	N/P_{74}	— 3,03	x_2	6,88	x_2^2	—5,23	x_3	4,28	85,1
1974	N/P_{74}	—6,78	x_2	4,16	x_2^2	—2,77					77,1
1975	N/P_{74}	—6,06	x_2	5,28							69,7
1976 I	N/P_{74}	—5,84	x_2	3,18	x_2^2	—2,05	x_3	2,69			69,1
1976 II	N_{76}	3,15	N/K_{76}	— 5,77	x_2	6,96	x_2^2	—5,05			76,4
					Experiment 38 — *Koe 38*						
1973	N/P_{74}	—5,05	x_2	20,21	x_3	2,78					91,3
1974	N/P_{74}	—4,75	x_2	12,43	x_3	2,39					81,6
1975	x_1	—3,18	N/P_{74}	— 5,18	x_2	5,41	x_3	4,05			78,1
1976 I	N/P_{74}	—4,67	x_1	— 2,63	x_2	5,43	x_3	4,92			83,5
1976 II	x_1	—2,27	N/P_{76}	— 5,72	x_2	5,58	x_3	3,58			85,9

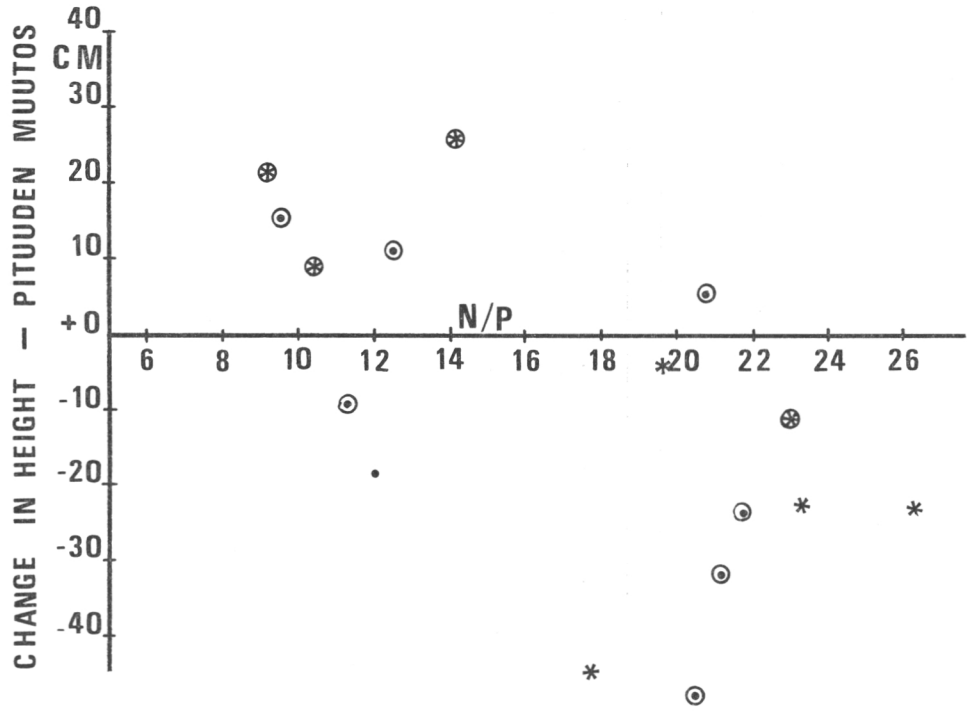


Fig. 14. Change in height caused by refertilization as a function of needle N/P ratio of unfertilized transplants analysed in 1974. Key as in Fig. 12.
Kuva 14. Jatkolannoituksen aiheuttama pituuden muutos vuonna 1974 analysoitujen jatkolannoittamattomien taimien neulasten N/P-suhteen funktiona. Merkkien selitykset kuten kuvassa 12.

Table 3 shows that the effect of refertilization on the height growth of trees was positive according to the regression analyses excluding the years 1974 and 1975 in Experiment 33 (cf. also page 16). Similarly, a positive correlation was found between the growth of trees and the growth prior to refertilization. In Experiment 38 the growth of trees in 1975 and 1976 was the weaker, the taller they were at the moment of refertilization.

32. Laboratory experiments

Nutrient content of needles

In the laboratory experiments the needle mass of seedlings was quite small and the replications were put together for nutritional analyses. Even so it was not possible

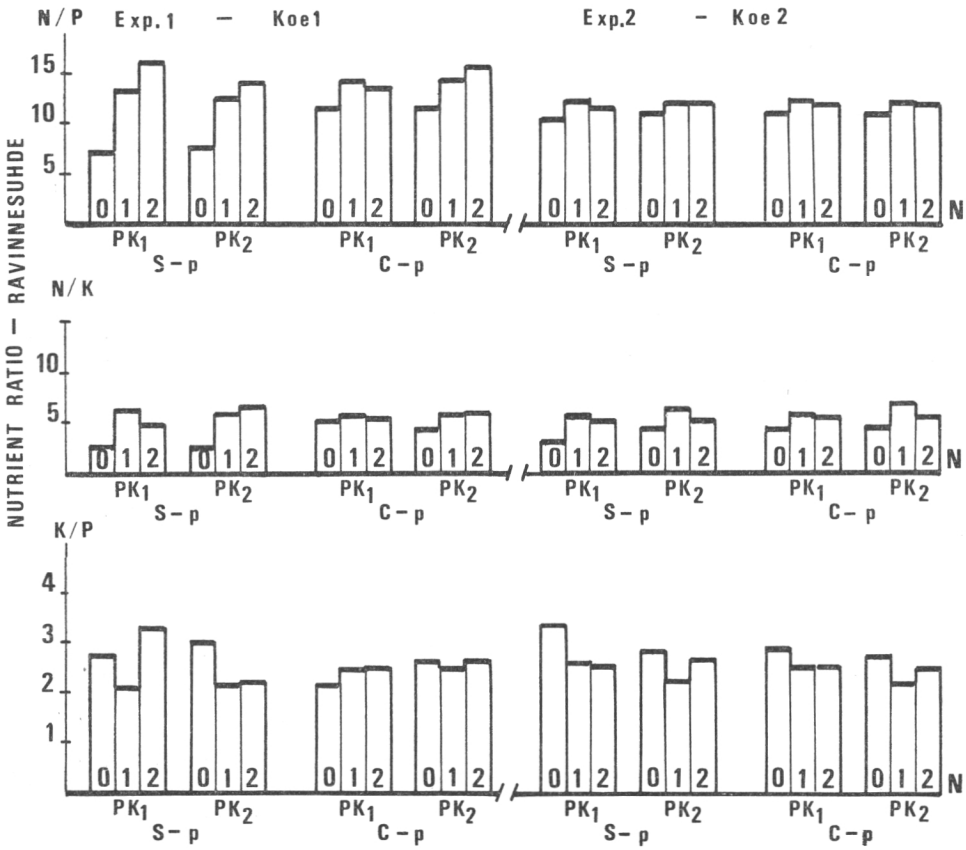


Fig. 15. Nutrient ratios of needles in the laboratorium experiments as affected by fertilization and peat type.

Kuva 15. Neulasten ravinnesuhteet laboratoriokokeissa erilaisten lannoituskäsittelyjen yhteydessä rahka- ja saraturpeella.

PK_1 = 21,5 kg P/ha + 26 kg K/ha, PK_2 = 43 kg P/ha + 52 kg K/ha, N_1 = 100 kg N/ha, N_2 = 200 kg N/ha.

to drive through all the needle analyses for controls. Therefore the pots without PK fertilization have been omitted from Figures 15 and 16.

Although there were no replications in nutrient analyses and the material was very limited (12 observations), some regression analyses were made with nutrient contents of needles as independent variables. The results from the regression analyses will be commented on the chapters dealing with damages and photosynthesis.

Figures 15 and 16 show that nitrogen fertilization increased the nitrogen content of needles and also enlarged N/P and N/K ratios. PK fertilization increased the phosphorus content of needles.

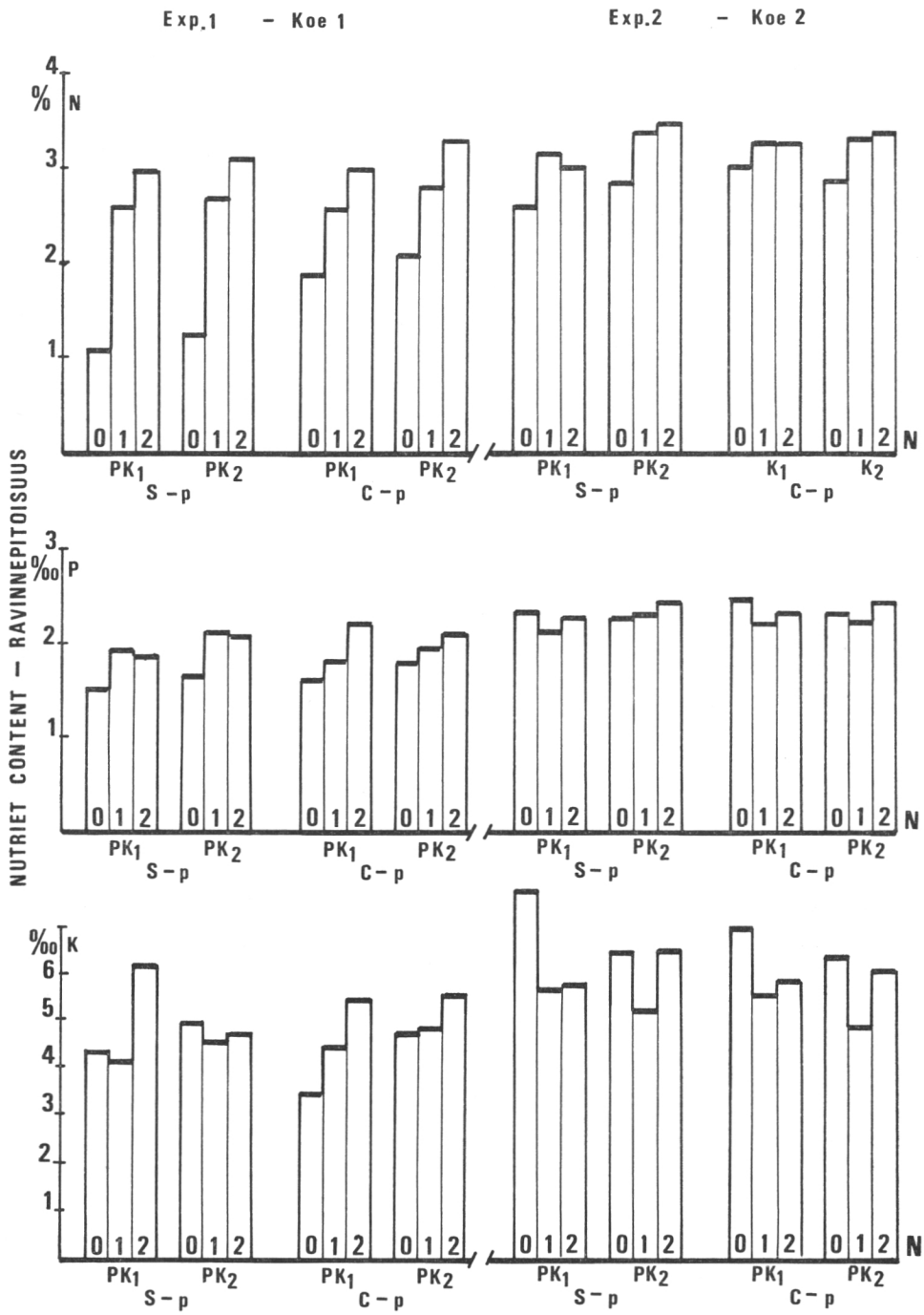


Fig. 16. Nutrient contents of needles in the laboratorium experiments as affected by fertilization and peat type. Key as in Fig. 15.

Kuva 16. Neulasten ravinnepitoisuudet laboratoriokokeissa erilaisten lannoituskäsittelyjen yhteydessä rahka- ja saraturpeella. Selitykset kuten kuvassa 15.

Table 4. Survival of seedlings (%) in connection with various basic fertilization treatments in the transpiration experiment 1 and 2 months after nitrogen fertilization.

Taulukko 4. Taimia elossa (%) eri peruslannoitusten yhteydessä haihduntakokeessa 1 ja 2 kk typpilannoituksen jälkeen.

PK-fertilization *PK-lannoitus*	1 Month — *kk* N, kg/ha				2 Months — *2 kk* N, kg/ha			
	0	100	200	$\bar{x}$	0	100	200	$\bar{x}$
PK_0	97,5	57,5	22,5	59,2	75,0	57,5	16,3	49,6
PK_1	97,5	85,0	37,5	73,3	96,3	85,0	37,5	72,9
PK_2	97,5	87,5	41,3	75,4	97,5	87,5	41,3	65,4
$\bar{x}$	97,5	76,7	33,8		89,6	76,7	31,7	

$F_N = 60{,}40^{***}$ $F_N = 40.40^{***}$
$F_{PK} = 4{,}50^{*}$ $F_{PK} = 9{,}05^{***}$
$F_{inter} = 1{,}3$ $F_{inter} = 0{,}10$
$100 \cdot R^2 = 73{,}2$ $100 \cdot R^2 = 69{,}2$

Survival and damages

In laboratory experiment 1 the survival of seedlings was observed weekly. The effect of fertilization on the survival is seen in Table 4. Nitrogen refertilization increased the mortality of seedlings. Especially the heaviest nitrogen application was fatal. On the other hand, PK fertilization diminished mortality. The positive effect of PK fertilization became more obvious as the seedlings were given higher doses of nitrogen. Interaction was not, however, statistically significant.

At the start of the experiment the peat type had no influence on the survival of seedlings. At the final inventory it was observed that nitrogen fertilization had increased the mortality of seedlings more on *Carex* than *Sphagnum* peat, as the following figures indicate:

	N fertilization, kg/ha		
	0	100	200
	Survival of seedlings (%)		
Sphagnum peat	77,0	81,3	41,7
Carex peat	100,0	70,8	20,8

The interaction was statistically significant ($F = 5{,}80^{**}$). The reason may be the higher nitrogen content of *Carex* peat, which intensified even further the negative influence of nitrogen.

Table 5 shows the share of living needle material of the total needle mass in the laboratory experiments. The result is convergent with that of the above-mentioned observations on seedling survival. Nitrogen refertilization decreased the amount of

Table 5. Percentage of live needles from the total needle mass in the laboratory.
Taulukko 5. Elävien neulasten osuus (%) koko neulasmassasta eri kokeissa.

PK-fertilization *PK-lannoitus*	Exp. 1 — *Koe 1* N, kg/ha				Exp. 2 — *Koe 2* N, kg/ha			
	0	100	200	$\bar{x}$	0	100	200	$\bar{x}$
PK_0	96,2	82,9	48,1	75,7	95,4	48,2	13,2	62,3
PK_1	99,4	96,3	70,4	88,7	100,0	99,4	21,3	73,6
PK_2	99,5	98,6	79,2	92,4	100,0	84,4	32,5	72,3
$\bar{x}$	98,4	92,6	65,9		98,5	77,3	22,3	

F_N = 14,70***
F_{PK} = 4,28*
F_{inter} = 0,65
$100 \cdot R^2$ = 89,5

F_N = 164,70***
F_{PK} = 15,20***
F_{inter} = 6,50***
$100 \cdot R^2$ = 88,0

living needle material in both experiments, while PK fertilization affected in the opposite direction. It seems also in this case that the effect of nitrogen refertilization was dependent on basic fertilization. The interaction between fertilization treatments was statistically significant in Experiment 2.

The results from the stepwise regression analysis, both in case of seedling damages and survival, were analoguous to the before mentioned ones. Neither the nutrient contents nor the ratios did generally affect either of them.

Growth of seedlings

At the end of the experiment the weight of living needle mass of seedlings was used as an indicator of the growth of seedlings. In both experiments, the seedlings grew best in connection with the smallest basic fertilization (Table 6). In Experiment 1 there was a very slight diffrence in the needle mass production of seedlings when larger fertilizer amounts were used. The heaviest nitrogen application clearly decreased the amount of needle mass in both experiments. On the other hand, when using the lower nitrogen rate, the needle mass of seedlings increased in PK fertilized pots as compared to the control (no N) with one exception. In pots without basic fertilization, nitrogen fertilization decreased the needle mass of seedlings in all cases. The interaction between basic fertilization and refertilization was statistically significant. In both experiments the negative effect of nitrogen fertilization on the needle mass of seedlings was greater on *Carex* than *Sphagnum* peat (Table 7). The interaction was not, however, statistically significant.

Table 6. Effect of PK fertilization and nitrogen refertilization on the weight of needles (g).
Taulukko 6. PK-lannoituksen ja typpijatkolannoituksen vaikutus taimien neulasten painoon (g).

PK-fertilization *PK-lannoitus*	Exp. 1 — *Koe 1* N, kg/ha				Exp. 2 — *Koe 2* N, kg/ha			
	0	100	200	$\bar{x}$	0	100	200	$\bar{x}$
O	0,313	0,162	0,039	0,171	0,145	0,097	0,084	0,109
PK_1	0,878	0,924	0,449	0,750	0,418	0,515	0,230	0,388
PK_2	0,889	0,931	0,365	0,728	0,285	0,186	0,199	0,223
$\bar{x}$	0,693	0,672	0,284		0,283	0,266	0,171	

$F_N = 5{,}65^*$ $F_N = 4{,}20^*$
$F_{PK} = 15{,}15^{**}$ $F_{PK} = 23{,}03^{***}$
$F_{inter} = 2{,}60^*$ $F_{inter} = 2{,}87^*$
$100 \cdot R^2 = 78{,}7$ $100 \cdot R^2 = 60{,}1$

Table 7. Weight of needles (g) on *Sphagnum* and *Carex* peats with various levels of nitrogen fertilization.
Taulukko 7. Taimien neulasten paino (g) rahka- ja saraturpeella eri typpilannoitustasoilla.

Peat type *Turvelaji*	Exp. 1 — *Koe 1* N, kg/ha				Exp. 2 — *Koe 2* N, kg/ha			
	0	100	200	$\bar{x}$	0	100	200	$\bar{x}$
Sphagnum peat	0,542	0,642	0,335	0,506	0,237	0,209	0,178	0,208
Carex peat	0,845	0,703	0,233	0,594	0,318	0,324	0,164	0,269
$\bar{x}$	0,693	0,672	0,284		0,283	0,266	0,171	

$F_N = 2{,}56$ $F_N = 3{,}25$
$F_{PK} = 5{,}65^{**}$ $F_{PK} = 4{,}60^*$
$F_{inter} = 2{,}35$ $F_{inter} = 1{,}33$
$100 \cdot R^2 = 78{,}7$ $100 \cdot R^2 = 60{,}1$

Transpiration

The water consumption of seedlings was observed in both laboratory experiments before and after refertilization. Seedling pots were weighted daily except on Saturdays and Sundays, and brought to their standard weights.

The analysis of variance from the material showed that before refertilization with nitrogen the differences in water consumption caused by PK fertilization and peat type were statistically significant (Figs. 17 and 18, Appendix 5). The water consumption of seedlings was higher on *Carex* than on *Sphagnum* peat and more pronounced on PK fertilized than control pots (Figs. 17 and 18).

Nitrogen refertilization diminished very effectively the water consumption of seedlings. The effect was very significant till the end of the experiment. Towards the end of the experiment the reason was probably that nitrogen refertilization

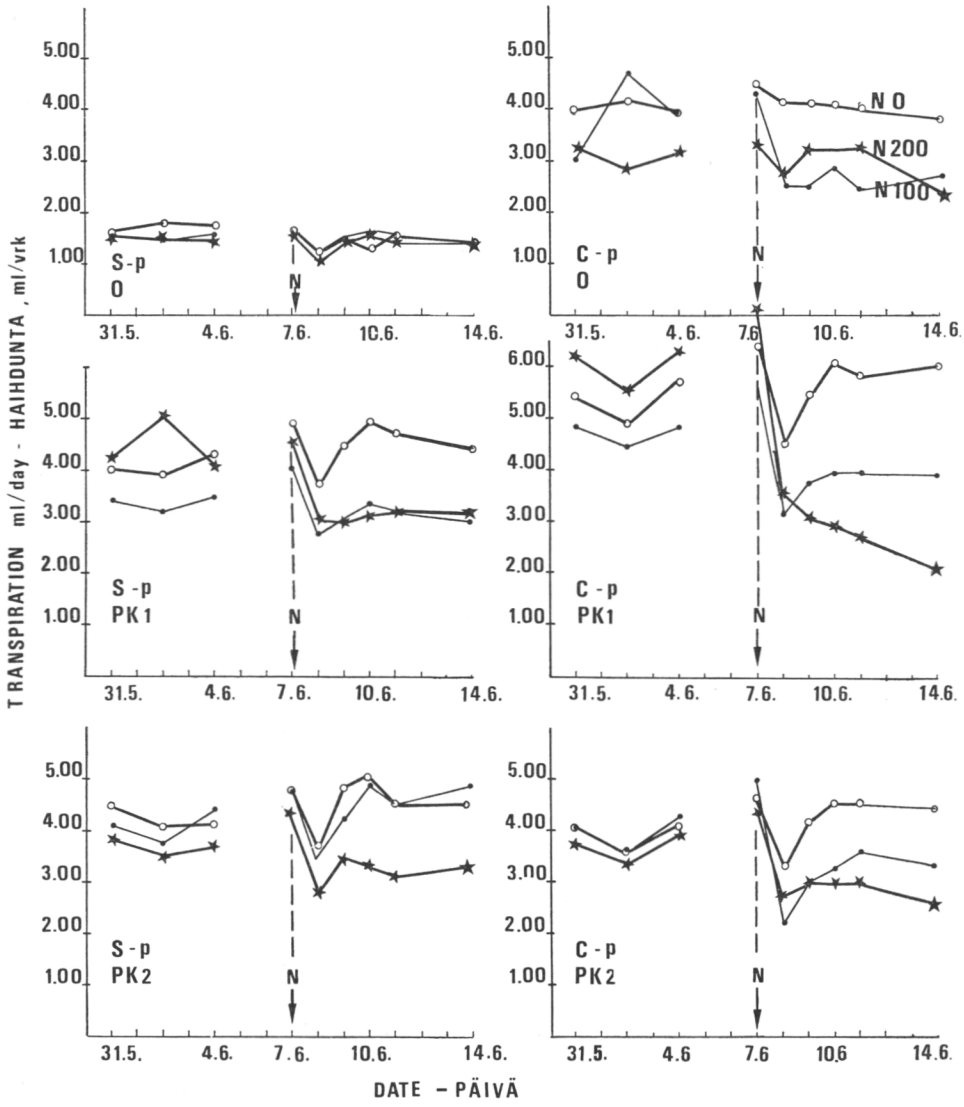


Fig. 17. Transpiration of seedlings in laboratory experiment 1 before and after nitrogen refertilization (7 June) on *Sphagnum* and *Carex* peats (S-p and C-p respectively). Key as in Fig. 15.
Kuva 17. Taimien haihdunta laboratoriokokeessa 1 ennen ja jälkeen typpijatkolannoituksen (7. 6.) rahka- ja saraturpeella (S-p ja C-p vastaavasti). Selitykset kuten kuvassa 15.

decreased the transpiring needle mass. In Experiment 2 high and the next day an exceptionally low water consumption of fertilized test members is attributed to the fact that normal, daily transpiration was somewhat lower than the 5 ml of water

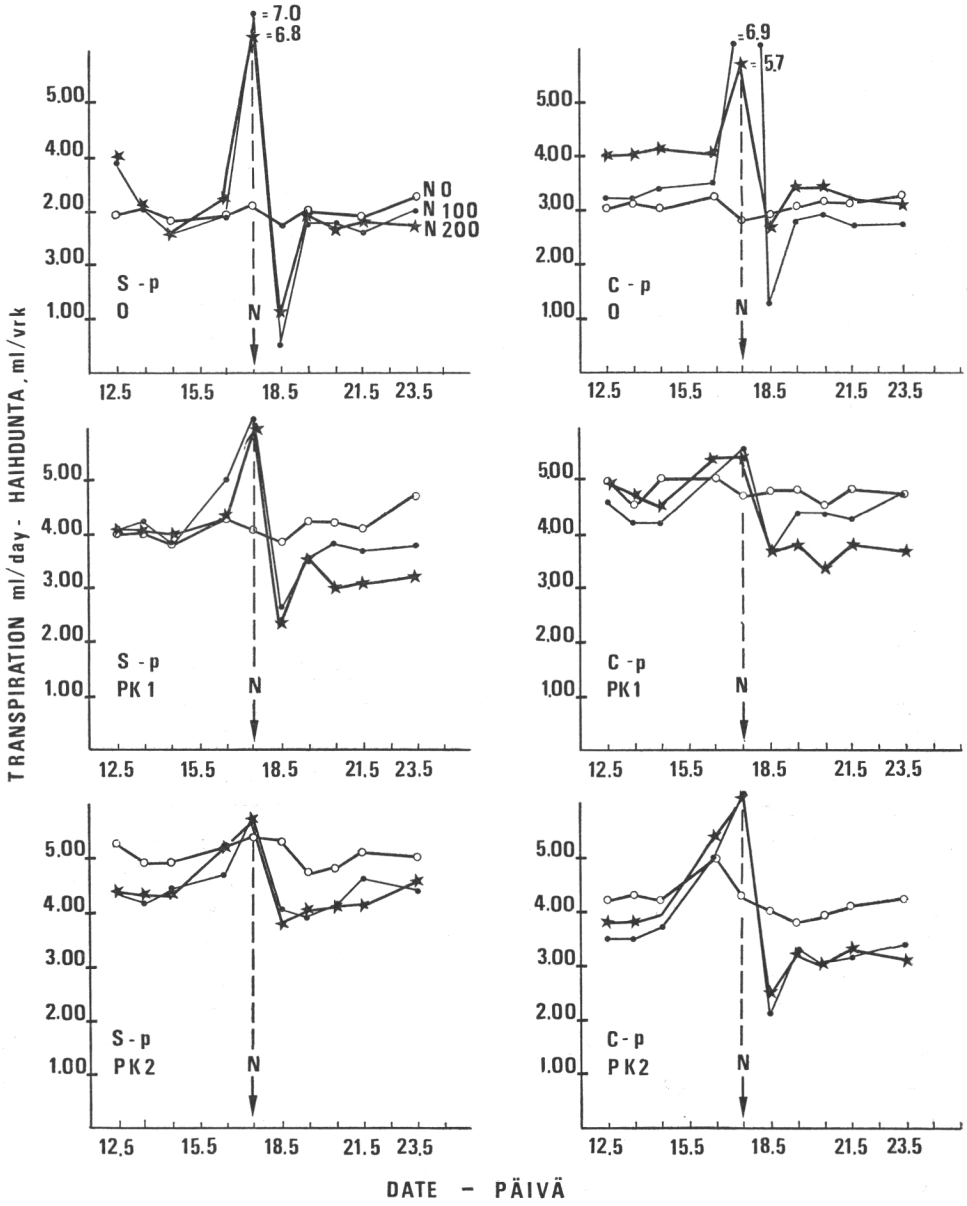


Fig. 18. Transpiration of seedlings in laboratory experiment 2 before and after nitrogen refertilization (17 May) on different peat types. Key as in Fig. 15.

Kuva 18. Taimien haihdunta laboratoriokokeessa 2 ennen ja jälkeen typpijatkolannoituksen (17. 5.) eri turvelajeilla. Selitykset kuten kuvassa 15.

given at fertilization. As the seedlings were watered the previous day, the water stored. In unfertilized cases the experimental pots were brought to their standard weights so that a corresponding situation did not happen. In Experiment 1 the seedlings were not watered for two previous days and the required amount of water was almost without exception higher than 5 ml so that the transpiration values are real also on the day of fertilization and the following day.

Nitrogen refertilization caused a strong shock either in the mechanism of water uptake or in that of transpiration of seedlings, and the water consumption decreased immediately the day after fertilization. Nitrogen refertilization decreased somewhat more the transpiration of seedlings in connection with PK basic fertilization than without fertilization. In Experiment 1 the interaction of fertilization treatments was significant.

Photosynthesis and respiration

The development of photosynthesis in connection with different treatments before and after nitrogen refertilization is presented in Figure 19 and Appendix 6. Before urea fertilization it was ascertained that there occurred photosynthesis in all seedling pots. At the second measurement before refertilization it appeared that the seedlings to be refertilized with urea had a more active photosynthesis than the others. The difference was statistically significant. The treatments were marked on the growing pots at the time of setting up the experiment so that the material was randomly chosen from the very start. In the growth chamber, however, the pots were arranged according to treatments and obviously at this stage the test members to be refertilized received a more favourable position. In order to eliminate the unevenness of the material the treatment means were adjusted to regression in regard to photosynthesis occurring before refertilization.

Nitrogen fertilization strongly decreased the photosynthesis of seedlings. Especially the seedlings with no previous fertilization at all suffered from nitrogen fertilization and also had the slowest recovery from the shock.

The seedlings fertilized with phosphorus and potassium at the time of sowing endured better nitrogen fertilization. In the first analysis after N fertilization (1—4 days after) the interaction between nitrogen and PK fertilization was statistically significant. In connection with the smallest dose of nitrogen there occurred net photosynthesis in seedlings with PK fertilization throughout the experiment with one exception. On the other hand, with heavier nitrogen application net photosynthesis did not appear until 4—5 weeks after the moment of refertilization. The rate of phosphorus and potassium fertilization did not affect the intensity of shock or the speed of recovery.

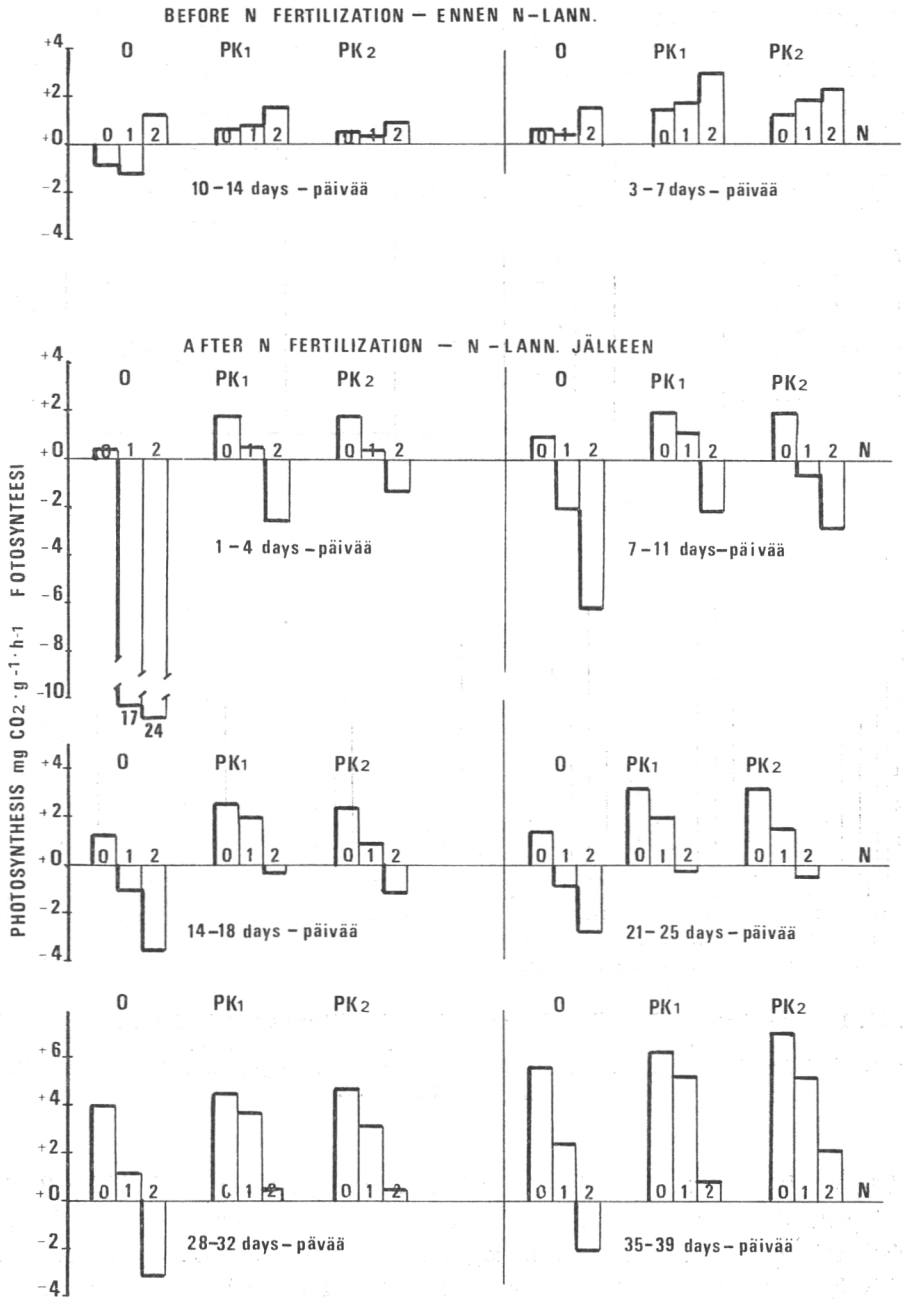


Fig. 19. Net photosynthesis and photorespiration of seedlings in connection with different fertilization treatment before and after nitrogen refertilization. Key as in Fig. 15.

Kuva 19. Taimien yhteyttäminen eri lannoituskäsittelyjen yhteydessä ennen ja jälkeen typpijatkolannoituksen. Selitys kuten kuvassa 15.

Table 8. CO_2 production of seedlings as explained by the nutrient contents and ratios of needles in the laboratory experiment 2.

Taulukko 8. Hiilidioksidin tuotoksen riippuvuus neulasten ravinnepitoisuudesta ja ravinnesuhteista laboratoriokokeessa 2.

Days before — and after + N-fertilization *Päivää ennen — ja jälkeen + N-lannoit.*	Step — *Askel* I Variable *Muuttuja*	I t-value *t-arvo*	II Variable *Muuttuja*	II t-value *t-arvo*	III Variable *Muuttuja*	III t-value *t-arvo*	$100 \cdot R^2$
— (10—14)	—	—	—	—	—	—	—
— (3— 7)	—	—	—	—	—	—	—
+ (1— 4)	N	2,38					29,7
+ (7—11)	N	2,91					40,3
+ (14—18)	N	3,01	N/P	—2,91	P	—2,76	77,4
+ (21—25)	N	3,34					48,1
+ (28—32)	N	2,69					36,1
+ (35—39)	N	2,10					23,8

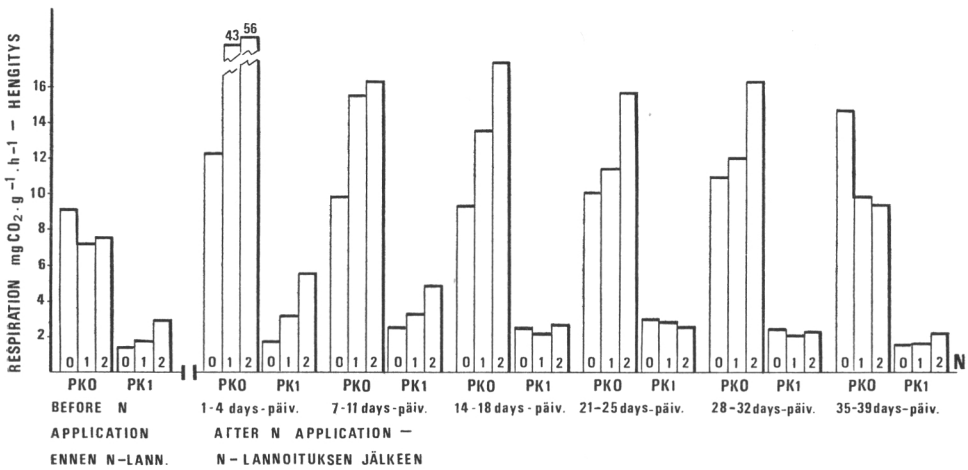


Fig. 20. Dark respiration of seedlings in connection with different fertilization treatments before and after nitrogen refertilization. Key as in Fig. 15.

Kuva 20. Taimien pimeähengitys eri lannoituskäsittelyjen yhteydessä ennen ja jälkeen typpijatkolannoituksen. Selitys kuten kuvassa 15.

The results from the stepwise regression analyses are presented in Table 8. Considering the limited material the nutrient content of needles quite well explained the variation in gas exchange. After nitrogen refertilization the CO_2 production was positively correlated with the nitrogen content of needles in every measurement. On the other hand, during the third week after refertilization phosphorus content in needles was in negative correlation with CO_2 production. The result is closely related to those from field experiments showing the importance of nitrogen-phosphorus balance in the nutrition of pines.

The dark respiration of seedlings was investigated on *Sphagnum* peat only. Then the highest level of basic fertilization was omitted. The dark respiration of unfertilized seedlings increased considerably more than that of seedlings with PK fertilization (Fig. 20). Urea fertilization increased the respiration of the former for a few days. In a week the differences had, however, levelled down remarkably, although not until 5—6 weeks after was the situation, prevalent prior to nitrogen fertilization, reached. Nitrogen fertilization increased also the respiration of seedlings with basic PK fertilization, but the effect remained weaker than in control and discontinued completely in 2—3 weeks from the moment of refertilization.

4. DISCUSSION

41. Primary fertilization

The most important nutrient to be applied at the afforestation of oligotropic bogs is phosphorus (cf. Zehetmayr 1954, Huikari 1961, Meshechok 1968, Mannerkoski and Seppälä 1970, Kaunisto 1972, Paavilainen 1972) usually given as rock phosphate or finely ground rock phosphate. In these fertilizers phosphorus is in a slowly soluble form and can be given to plants in large doses without harming them (Kaunisto 1968, 1971). Similarly even large applications of rock phosphate were not harmful to transplants in this investigation (Experiment 38). In several cases the transplants grew better after receiving heavy doses of rock phosphate.

Although it is usually possible to make plants survive and ensure reasonable growth for the first few years after afforestation with phosphorus fertilization on oligotrophic bogs, better outcome can be gained by applying also potassium and nitrogen with phosphorus (Huikari 1961, Meshechok 1968, Kaunisto 1971, 1974, 1975, 1977, Huikari and Paavilainen 1972, Paavilainen 1972, 1976c). As was observed in this investigation as well.

Nitrogen and potassium are usually applied in a watersoluble form, which raises the ion concentration and osmotic pressure of soil water. Several investigations have shown that special caution is needed when applying nitrogen and potassium at artificial regeneration to prevent them from getting into direct contact with the root system of plants (Heikurainen et al. 1966, Huikari and Paarlahti 1966, Paavilainen 1966, 1970, Seppälä 1968, 1971, Kaunisto 1968, 1971, 1975, Mannerkoski 1971). Also in this investigation NPK fertilizer clearly increased the mortality of transplants when reaching the root layer of transplants. Althoug nutrients were not placed directly into the planning hole, but were quite roughly mixed with a spade into a 0,25 m²-wide and a. 15—20 cm-deep peat layer, the roots of transplants may have got into direct contact with high rates of soluble nutrients applied at planting. This also may have led to the reduced growth of trees in connection with heavy rates of NPK fertilizer. Kaunisto (1971, 1975) has shown that even mixing of fertilizers in the substratum improves both survival and growth of seedlings and also emphasized the importance of nutrient concentration near the roots as regards survival of seedlings.

Not only the survival and growth of transplants but also the nutrient content of needles indicated the effect of primary fertilization. The first needle analyses were carried out in the year following refertilization (1974). It is assumed that the nutrient content in needles of unrefertilized transplants illustrates the situation prevalent in that area at the moment of refertilization.

A general feature was that the phosphorus and potassium contents of needles increased with heavier primary fertilization. However, they usually did not reach the border values for good growth of pine (1,4 ‰ P and 3,5 ‰ K) presented by P a a r l a h t i et al. (1971). On the other hand, despite the low nitrogen content of the substrate, the nitrogen contents of needles were almost without exception higher than the border values (1,3 %) given in the before-mentioned investigation.

The nitrogen content of needles was the lower, the more NPK fertilizer or rock phosphate was applied at the start of the experiment (cf. also P a a r l a h t i et al. 1971). As the nitrogen content decreased with heavier primary fertilization, while phosphorus and potassium contents increased, the result was a decrease in N/P and N/K ratios due to higher doses in primary fertilization. The results show that a need for nitrogen fertilization can be reliably assessed by means of a needle analysis only when P and K conditions are in balance (cf. also P a a r l a h t i et al. 1971).

42. Refertilization

The experiments included transplants with differing backgrounds. This difference was reflected both in the growth and condition of transplants and in the nutrient contents of needles.

In all the experiments nitrogen refertilization resulted in brown needles, premature cast of needles and even death of plants in extreme cases. Destruction of assimilating material naturally led also to a decrease in growth. A common feature to all the experiments was that the effect of nitrogen refertilization was less harmful when more phosphorus had been applied at the moment of afforestation. This was particularly well observable in Experiment 38, which received only phosphorus at planting. Likewise recovery from the shock caused by refertiliztion was faster in connection with heavy primary fertilization. In the models derived by the stepwise regression analysis this was seen in the fact that the models included growth before fertilization as an independent variable.

The correlation between height growth before refertilization and survival is dependent on the nutrient status of soil and plants. If there is lack of available nutrients the correlation may also be negative (K a u n i s t o 1977).

The N/P ratio of needles was usually smaller in Experiment 38 (P fertilization) than in Experiment 33 (NPK fertilization). Further both damages and mortality increased when that ratio enlarged in both experiments. When the changes in damage

intensity and mortality caused by refertilization were put on the coordinates, where the N/P ratio formed the x-axis, an increase in both damages and mortality occurred in both experiments with the same values of N/P ratio. The significance of nutrient ratios rather than that of individual nutrients as a means to illustrate nutrient conditions of trees has been emphasized also in several other investigations (cf. Puustjärvi 1962a, b, c, 1965, Paarlahti et al. 1971, Paavilainen 1976c). The results refer to a possibility to predict the endurance of trees growing on peat against nitrogen fertilization by means of the N/P ratio of needles, as has already been presented by some preliminary results (Paavilainen 1976c).

According to the results nitrogen refertilization seemed to produce a fast shock effect. In field experiments new needles were already destroyed in many instances in the year of fertilization. The speed of this process was particularly clear in laboratory experiments, where the gas exchange of seedlings was severely disturbed within the first few days following fertilization. Their respiration increased, while net photosynthesis and transpiration decreased. Five weeks after refertilization a remarkable part of the needle mass of refertilized seedlings had been destroyed and some seedlings had died. Keller (1967) mentioned that nitrogen fertilization increased the dark respiration of poplar leaves. On the other hand it is usually maintained in literature that nitrogen fertilization increases photosynthesis. Then, however, references is made to the long-lasting effect of nitrogen fertilization, when it has already affected the chlorophyll content of leaves (Neuwirth 1966, Keller 1967, 1973).

The mechanism of the shock caused by refertilization with nitrogen was not dealt with in this investigation. The instant decrease of transpiration after refertilization refers to a possibility that nitrogen fertilization would have harmed especially the mechanism of water uptake. Then photosynthesis of seedlings may have suffered from the internal water deficit. The transpiration of refertilized seedlings decreased, however, only about 20—25 per cent compared to that of unrefertilized seedlings, thus hardly providing an explanation alone for the decrease in net photosynthesis. Besides water uptake also nutrient uptake by seedlings is naturally affected by injured root system and may in this way affect also the photosynthesis of seedlings.

Both field and laboratory experiments showed that the shock caused by nitrogen refertilization was in several cases temporary. The lower was the N/P ratio of needles, the faster was the recovery. Thus refertilization in Experiment 38 increased slight damages only in the 1974 inventory. No damages were recorded in the 1976 inventory. The growth of refertilized transplants in this experiment exceeded that of unrefertilized ones in the 1976 inventory. On the other hand refertilization diminished the growth of transplants in Experiment 33 in 1974 and 1975, and as late as 1976 the damages were more numerous than in unrefertilized transplants. Furthermore a number of transplants died in the four years following refertilization in both experiments.

According to the results refertilization with mere nitrogen on phosphorus deficient peat soils led to an unbalanced nutritional status of Scots pine plants. Although

many plants were able to recover from the shock caused by nitrogen refertilization, some of them were permanently damaged and even died. Thus the use of mere nitrogen for refertilizing pine plantations on oligotrophic bogs cannot be recommended in practical scale.

REFERENCES

BRIX, H. 1971. Effects of nitrogen fertilization on photosynthesis and respiration in Douglas-fir. For. Sci. 17: 407—414.

—»— & EBELL, L. F. 1969. Effects of nitrogen fertilization on growth, leaf area, and photosynthesis rate in Douglas- fir. For. Sci. 15: 189—196.

HEIKURAINEN, L. 1967. The effects of manuring on organic soils. Proc. Vth Colloquium of Intern. Potash Inst. Jyväskylä, Finland. 1967: 1—14.

—»— PÄIVÄNEN, J. & SEPPÄLÄ, K. 1966. Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksesta ojitetuilla soilla. Summary: Some results of pine seeding and planting on drained peat soils. Silva Fennica 119 (2): 1—21.

HUIKARI, O. 1961. Koetuloksia metsäojitettujen soiden ravinnetalouden keinollisesta parantamisesta. Metsätal. Aikak. 1961 (5): 212—216.

—»— 1973. Koetuloksia metsäojitettujen soiden lannoituksesta. Summary: Results of fertilization experiments on peatlands drained for forestry. Reports from the Department of Peatland Forestry, the Finnish Forest Research Institute 1973 (1): 1—154.

—»— & PAARLAHTI, K. 1966. Kivisuon metsälannoituskokeet. Kenttäopas. 46 p. Helsinki.

—»— & PAAVILAINEN, E. 1972. Metsän lannoitus. 2nd ed. 68 p. Helsinki.

IPATIEV, V. & PAAVILAINEN, E. 1975. Lannoituksen vaikutuksen kestoaika vanhassa tupasvillarämeen männikössä. Summary: Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cottongrass pine swamp. Folia For. 241: 1—13.

KARSISTO, K. 1972. Lannoituksen vaikutuksen kestoajasta suometsissä. Summary: On the duration of the effect of fertilizer application to peatland forests. Suo 1972 (3—4): 49—56.

—»— 1974. On the duration of fertilization influence in peatland forests. Proc. Intern. Symp. Forest Drainage. Jyväskylä—Oulu, Finland. 1974: 309—321.

—»— 1976. Fosforilannoitelajit suometsien lannoituksessa. 252 p. Lic. thesis. Department of Peatland Forestry, University of Helsinki.

KAUNISTO, S. 1968. Lannoitettu kasvuturve metsäpuiden siementen itämisalustana. Summary: Fertilized garden peat as a substratum for germinating forest tree seeds. Suo (3—4): 57—61.

—»— 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: Effect of fertilization, soil preparation and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. Commun. Inst. For. Fenn. 75 (2): 1—64.

—»— 1972. Effect of soil preparation and fertilization on the growth of young pine plantations on peat. Proc. 4-th Intern. Peat Congr. Otaniemi, Finland. 3: 501—508.

—»— 1974. On direct seeding of open peatlands. Proc. Intern. Symp. Forest Drainage. Jyväskylä—Oulu, Finland 1974: 139—143.

—»— 1975. Jyrsintämuokkaus ja lannoitteiden sijoitus männyn kylvön yhteydessä turvemaalla. Kasvihuonekokeita. Summary: Rotavation and fertilizer placement in connection with direct seeding of Scots pine on peat. Greenhouse experiments. Commun. Inst. For. Fenn. 85 (4): 1—58.

—»— 1976. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus metsänviljelyn onnistumiseen suolla. Reports from Parkano Research Station, the Finnish Forest Research Institute. 3. 15 p.

—»— 1977. Ojituksen ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla. Summary: Effect of drainage intensity and fertilization on the development of pine plantations on oligotrophic treeless swamps. Folia For. 317. In print.

—»— & NORLAMO, M. 1976. On nitrogen mobilization in peat. I. Effect of liming and rotavation in different incubation temperatures. Commun. Inst. For. Fenn. 88 (2): 1—27.

KELLER, T. 1967. The influence of gaseous exchange of forest tree species. Proc. Vth Colloqium of Intern. Potash Inst. Jyväskylä, Finland 1967: 65—79.

—»— 1971. Der Einfluss der Stickstoffernährung auf den Gaswechsel der Fichte. Allg. Forst. Jagd. Z. 142: 89—93.

—»— 1973. The effect of fertilization on metabolism of forest trees. Proc. Intern. Symp. Forest Fertil. Paris 1973: 55—73.

MANNERKOSKI, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: On the influence of fertilization on the development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. Silva Fennica 5: 105—128.

—»— & SEPPÄLÄ, K. 1970. Lannoituksen vaikutus istutustaimiston alkukehitykseen lyhytkortisella nevalla. Summary: On the influence of fertilization on the initial development of plantations in open lowsedge bogs. Suo 1970 (1): 12—17.

MESHECHOK, B. 1968. Om startgjødsling ved skogkultur på myr. Summary: Initial fertilization when afforesting raised bogs. Medd. Norske Skogforsøksv. 25: 1—140.

—»— 1971. Kalkning ved skogkultur på nedbørsmyr. Summary: Application of $CaCO_3$ when afforesting raised bogs. Medd. Norske Skogforsøksv. 29 (5): 242—259.

NEUWIRTH, G. 1966. Assimilation, Atmung und Transpiration unterschiedlich gedüngter junger Koniferen während des Frühjahraustriebes in Abhängigkeit von Klimafaktoren. Arch. Forstwes. 15 (5/—): 629—639.

PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Commun. Inst. For. Fenn. 74 (5): 1—58.

PAAVILAINEN, E. 1966. Istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvillarämeellä. Summary: Initial development of Scots pine transplants in an *Eriophorum vaginatum* swamp. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (6): 1—17.

—»— 1970. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. Summary: On the effect of top dress fertilization on succesfull seeding of birch, spruce and pine. Vessel experiments in soil with an untreated surface. Commun. Inst. For. Fenn. 72 (1): 1—37.

—»— 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. Commun. Inst. For. Fenn. 77 (3): 1—46.

—»— 1974. The use of nitrogen in fertilizing peatland forests. Proc. Intern. Symp. Forest Drainage. Jyväskylä—Oulu. Finland. 1974: 337—345.

—»— 1976a. Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä. Summary: Nitrogen fertilization on shallow peated Carex globularis pine swamps. Folia For. 272: 1—16.

—»— 1976b. Metsänlannoitus niukkaravinteisilla soilla. Metsä ja Puu 1976 (8): 33—35.

—»— 1976c. Taimistojen lannoitus niukkaravinteisilla soilla. Reports from the Department of Peatland Forestry, the Finnish Forest Research Institute. 3. 16 p.

—»— KOSKELA, V. 1972. Parkanon tutkimusasema 1961—1970. Reports from Parkano Research Station, the Finnish Forest Research Institute. 1: 1—43.

—»— & SIMPANEN, J. 1975. Tutkimuksia typpilannoituksen tarpeesta Pohjois-Suomen ojitetuilla rämeillä. Summary: Studies concerning the nitrogen fertilization requirements of drained pine swamps in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 86 (4): 1—70.

PUUSTJÄRVI, V. 1962a. Turpeen typen mobilisaatiosta ja sen käyttökelpoisuudesta suometsissä neulasanalyysin valossa. Summary: On the mobilization of nitrogen in peat and on its usefulness in peatland forests in the light of needle analysis. Suo 1962 (1): 2—11.

—»— 1962b. Suometsien fosforiravitsemuksesta ja neulasten P/N suhteesta neulasanalyysin valossa. Summary: On the phosphorus nutrition of wet peatland forests and on the P/N ratio in their needles. Suo 1962 (2): 21—24.

—»— 1962c. Suometsien kaliumravitsemuksesta ja neulasten N/K suhteesta neulasanalyysin valossa. Summary: On the potassium nutrition of wet peatland forests and on the N/K ratio of the needles in the light of needle analysis. Suo 1962 (3): 36—40.

—»— 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Metsätal. Aikakausl. 1965 (1): 26—28.

SEPPÄLÄ, K. 1968. Välituloksia ojitettujen soiden viljelykokeista. Summary: Results on seeding and planting experiments in peatland. Suo 1968 (2): 30—38.

—»— 1971. Metsityslannoituksessa käytetyn lannoitemäärän ja levitysajan merkitys istutustaimien alkukehitykselle ojitetuilla avosoilla. Summary: On the quantity of fertilizer and application methods used in afforestation of open bogs. Silva Fennica 5: 61—69.

TIKKANEN, E. 1977. Lannoituksen vaikutuksesta männyn taimien kaasuaineenvaihduntaan. M. Sc. thesis at the Department of Botany, University of Oulu.

VÄLIAHO, H. & PEKKONEN, T. 1976. A procedure for stepwise regression analysis. 91 p. Berlin. Akademie-Verlag.

ZEHETMAYR, J. W. L. 1954. Experiments in tree planting on peat. For. Comm. Bull. 22: 1—94.

SELOSTE

Koejärjestely

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää typpijatkolannoituksen vaikutusta männyn taimien kehitykseen erilaisten peruslannoitusten yhteydessä niukkaravinteisilla soilla. Tutkimus perustuu sekä kenttä- että laboratoriokokeisiin.

Kenttäkokeet perustettiin Karvian Alkkiaan tupasvillanevalle vuosina 1966 ja 1967 (Kokeet 33 ja 38 vastaavasti). Kokeessa 33 saivat taimet (2 + 1) istutuksen yhteydessä peruslannoituksena 0,25 m²:n laikkuun 0, 25, 50, 100 tai 200 g NPK-seoslannoitetta (14—18—10), ja kokeessa 38 vastaavasti 0, 10, 25, 50 tai 100 g raakafosfaattia (33 % P_2O_5). Lannoite joko levitettiin pintaan tai sekoitettiin lapiolla istutuskohtaan 0,25 m²:n alalle. Keväällä 1973 suoritettiin jatkolannoitus oulunsalpietarilla (typpeä 110 kg/ha).

Kokeet inventoitiin vuosina 1966, 1967, 1969, 1974 ja 1976. Vuosien 1966, 1967 ja 1969 inventointituloksia ovat käsitelleet aikaisemmin P a a v i l a i n e n ja K o s k e l a (1972) ja vuoden 1974 inventointituloksia P a a v i l a i n e n (1976c). Vuosina 1974 ja 1976 otettiin myös neulasnäytteitä, joista analysoitiin typpi, fosfori ja kalium.

Laboratoriokokeissa pyrittiin selvittämään typpijatkolannoituksen vaikutusta taimien kaasuaineenvaihtoon. Tällöin tarkkailtiin n. 6—8 kk ikäisten kylvötaimien fotosynteesiä ja pimeähengitystä infrapunakaasuanalysaattorilla sekä taimien haihduntaa punnitsemalla. Turvelajeja oli kaksi: rahkaturve ja saraturve. Peruslannoituksena taimet saivat seuraavat määrät fosforia ja kalia: 0, 21,5 kg/ha fosforia + 26 kg/ha kaliumia tai 43 kg/ha fosforia + 52 kg/ha kaliumia. Taimien ollessa n. 5 kk:n ikäisiä suoritettiin jatkolannoitus urealiuoksella, jolloin annettiin typpeä 0, 100 tai 200 kg/ha. Taimet kasvatettiin koko kokeen ajan kasvatuskaapissa vakio-olosuhteissa.

Tulokset

Peruslannoitus

Peruslannoitus ei vaikuttanut männyn taimien elossapysymiseen muokkaamattomassa turpeessa. Sen sijaan koealoilla, joilla NPK-lannoite oli sekoitettu taimien juurikerrokseen taimien kuolleisuus oli sitä suurempi, mitä enemmän lannoitetta oli annettu (kuva 1, liite 1), viitaten liian suurien määrien liukoisia ravinteita joutuneen suoraan kosketukseen juuriston kanssa. Raakafosfaatin osalta ei tällaista vaikutusta havaittu. Taimien kasvu yleensä parani peruslannoituksen lisääntymisen myötä, mutta muokkauksen yhteydessä annettujen suurimpien NPK-määrien todettiin haitanneen kasvua (kuvat 3 ja 4, liite 3).

Jatkolannoitus

Typellä suoritettu jatkolannoitus aiheutti taimille voimakkaan shokin. Useissa tapauksissa lannoitushetken uudet neulaset ruskettuivat ja tuhoutuivat. Pahimmissa tapauksissa taimet kuolivat (kuvat 1 ja 2, taulukot 1, 2, 4 ja 5). Shokki oli sitä voimakkaampi ja se kesti sitä pitempään, mitä vähemmän taimet olivat saaneet fosforia peruslannoituksessa. Selitettäessä vaurioiden ja kuolleisuuden lisääntymistä neulasten ravinteilla ja ravinnesuhteilla osoittautui parhaaksi selittäjäksi jatkolannoittamattomien taimien neulasten N/P-suhde vuosina 1974 ja 1976 (taulukot 1, 2 ja 8, kuvat 12 ja 13). Suhteen kasvaessa vauriot lisääntyivät. Vaurioita esiintyi suhteen ollessa raja-arvoa 11—13 suurempi.

Kokeessa 33 (NPK-peruslannoitus) taimien kasvu väheni jatkolannoituksen johdosta (kuva 3, liite 3). Kasvun väheneminen oli kuitenkin ohimenevää ja ilmeni vain vuosina 1974 ja 1975 tilastollisesti merkitsevänä. Kokeessa 38 jatkolannoitus lisäsi taimien kasvua neljäntenä jatkolannoitusta seuranneena kasvukautena (kuva 3, liite 3). Muina vuosina jatkolannoitus ei vaikuttanut taimien kasvuun tässä kokeessa.

Myös kasvun osalta neulasten N/P-suhde osoittautui parhaiten kasvua selittäväksi tekijäksi (taulukko 3).

Laboratoriokokeissa todettiin, että typellä suoritettu jatkolannoitus vähensi voimakkaasti taimien haihduntaa ja fotosynteesiä sekä lisäsi pimeähengitystä (kuvat 17—20, liitteet 5 ja 6). Shokkivaikutus ilmeni jo lannoituspäivänä, ja samoinkuin kenttäkokeissakin, kesti sitä pitempään, mitä vähemmän ravinteita peruslannoituksen yhteydessä oli annettu.

Saadut tulokset osoittavat, että jatkolannoitettaessa karujen soiden männyn taimistoja on ravinnetasapainon säilyttäminen tärkeätä. Analysoimalla neulasten ravinteet ja tarkkailemalla ravinteiden välisiä suhteita ennen lannoitusta voidaan ainakin jossain määrin ennustaa jatkolannoituksessa annettavien ravinteiden keskinäistä tärkeysjärjestystä. Käytännön lannoitustoiminnassa taimien fosforitalous kuitenkin harvoin lienee niin hyvä, että sitä voidaan käyttää hyväksi jatkolannoitusta toteutettaessa. Tämän vuoksi on turvallisinta ja varmimmin hyvään tulokseen johtavaa antaa karujen soiden männyn taimistojen jatkolannoituksessa kaikkia pääravinteita.

Appendix 1. F-values of variables with significant contribution to survival of seedlings in 1974 and 1976.

Liitetaulukko 1. Taimien elossapysymiseen vuosina 1974 ja 1976 merkitsevästi vaikuttaneiden muuttujien F-arvot.

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Year — *Vuosi*	
	1974	1976
Experiment 33 — *Koe 33*		
Survival percentage before 1973 — *Taimista elossa (%) ennen vuotta 1973*	112,284***	175,405***
Fertilization in 1966 — *Lannoitus v. 1966*	0,44	6,93***
Fertilization in 1973 — *Lannoitus v. 1973*	3,85	17,81***
$100 \cdot R^2$	75,9	82,8
Experiment 38 — *Koe 38*		
Survival percentage before 1973 — *Taimista elossa (%) ennen vuotta 1973*	18,56***	276,86***
1 = Fertilization in 1967 — *Lannoitus v. 1967*	0,21	22,74***
2 = Soil preparation in 1967 — *Maan muokkaus v. 1967*	4,25	6,22*
3 = Fertilization in 1973 — *Lannoitus v. 1973*	0,24	11,94**
1 × 2	1,60	4,09*
1 × 3	2,14	10,82***
$100 \cdot R^2$	57,0	94,1

Appendix 2. F-values of variables with significant contribution to damage of seedlings in 1974 and 1976 according to damage classes.

Liitetaulukko 2. Vuosina 1974 ja 1976 taimien vaurioitumiseen merkitsevästi vaikuttaneiden muuttujien F-arvot vaurioryhmittäin.

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Intensity of damage — *Vaurioitumisaste*			
	1—3		4—6	6
	1974	1976	1976	1976
Experiment 33 — *Koe 33*				
Fertilization in 1966 — *Lannoitus v. 1966*	8,75***	8,23***	10,59***	13,27***
Fertilization in 1973 — *Lannoitus v. 1973*	13,29***	7,20*	21,48***	25,82***
100 . R^2	47,9	42,6	55,3	60,4
Experiment 38 — *Koe 38*				
1 = Fertilization in 1967 — *Lannoitus v. 1967*	22,97***	20,69***	21,62***	24,37***
2 = Soil preparation in 1967 — *Maan muokkaus v. 1967*	0,34	1,68	10,96**	8,10**
3 = Fertilization in 1973 — *Lannoitus v. 1973*	6,62*	0,21	5,61*	5,65*
1 × 2	1,74	2,54	4,01*	4,10*
1 × 3	0,45	0,51	4,75*	5,15**
100 · R^2	69,6	67,0	75,0	76,1

Appendix 3. F-values of variables with significant contribution to growth of seedlings in 1973—76.
Liitetaulukko 3. Taimien kasvuun vuosina 1973—76 merkitsevästi vaikuttaneiden muuttujien F-arvot.

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Year — *Vuosi*			
	1973	1974	1975	1976
Experiment 33 — *Koe 33*				
Height growth in 1970—1972 — *Pituuskasvu v. 1970—1972*	6,73*	12,69***	18,33***	12,65***
Height in 1972 — *Pituus v. 1972*	20,19***	6,20*	0,65	1,29
Fertilization in 1966 — *Lannoitus v. 1966*	31,48***	26,69***	17,92***	15,41***
Soil preparation in 1966 — *Maan muokkaus v. 1966*	1,39	0,48	0,68	4,66*
Fertilization in 1973 — *Lannoitus v. 1973*	1,98	15,36***	6,62*	0,91
$100 \cdot R^2$	88,7	86,7	80,7	77,4
Experiment 38 — *Koe 38*				
Height growth in 1972 — *Pituuskasvu v. 1972*	40,34***	12,76***	17,24***	27,49***
Height in 1972 — *Pituus v. 1972*	0,58	0,50	3,63	4,83*
Fertilization in 1967 — *Lannoitus v. 1967*	23,74***	16,81***	15,33***	14,81***
Soil preparation in 1967 — *Maan muokkaus v. 1967*	2,89	0,78	0,01	0,51
Fertilization in 1973 — *Lannoitus v. 1973*	0,28	0,02	2,84	12,47**
Soil preparation × fertilization in 1973 — *Maan muokkaus × lannoitus v. 1973*	3,53*	1,71	1,36	2,67
$100 \cdot R^2$	96,3	90,0	86,4	90,8

Appendix 4. F-values of variables with significant contribution to nutrient content of needles in 1974 and 1976.
Liitetaulukko 4. Neulasten ravinnepitoisuuksiin vuosina 1974 ja 1976 vaikuttaneiden muuttujien F-arvot.

Source of variation *Vaihtelun lähde*	Nutrient and year — *Ravinne ja vuosi*											
	N		P		K		N/P		N/K		K/P	
	1974	1976	1974	1976	1974	1976	1974	1976	1974	1976	1974	1976
Experiment 33 — *Koe 33*												
1 = Fertilization in 1973 — *Lannoitus vuonna 1973*	33,5***	3,3	1,9	5,6*	4,8*	1,8	28,1***	5,1*	24,4***	1,2	0,2	5,5*
2 = Fertilization in 1966 — *Lannoitus vuonna 1966*	6,8**	10,3***	4,3*	3,6*	3,6*	5,3*	9,1***	8,6***	6,6***	17,6***	0,4	0,3
3 = Soil preparation — *Maan muokkaus*	0,4	0,3	0,4	0,4	1,3	26,9***	0,0	0,7	0,0	3,1*	0,3	8,4**
1 × 3	1,7	0,2	1,6	0,1	0,6	0,0	3,4*	0,3	1,4	0,1	0,4	0,2
2 × 3	1,3	2,8	0,3	2,7	1,3	3,4*	1,0	3,8*	1,5	4,2*	0,2	1,2
$100 \cdot R^2$	66,1	58,2	38,7	52,4	44,5	65,5	66,7	59,8	62,5	69,1	19,2	46,1
Experiment 38 — *Koe 38*												
1 = Fertilization in 1973 — *Lannoitus vuonna 1973*	68,4***	0,1	0,7	3,0	0,2	0,3	32,8***	0,5	24,1***	0,1	1,0	0,1
2 = Fertilization in 1967 — *Lannoitus vuonna 1967*	11,6***	17,0***	11,7***	13,2***	0,2	0,6	19,5***	18,1***	4,4**	8,9***	10,9***	5,8*
3 = Soil preparation — *Maan muokkaus*	0,6	9,4**	3,8	0,1	0,1	0,3	0,0	1,8	2,1	7,2*	8,8**	0,5
$100 \cdot R^2$	78,4	69,1	60,6	58,8	21,4	15,8	74,7	66,8	56,8	55,9	59,6	42,4

Appendix 5. F-values of variance analysis pertaining to water consumption before and after refertilization. 0 = Time of refertilization, + 1 = one day after, —1 = one day before refertilization etc.

Liitetaulukko 5. Veden kulutusta koskevien varianssianalyysien F-arvot ennen ja jälkeen jatkolannoituksen. 0 = jatkolannoituksen ajankohta, + 1 = 1 päivän kuluttua, —1 = 1 päivää ennen iatkolannoitusta jne.

Treatment *Käsittely*	Experiment 1 — *Koe 1* Time — *Aika*				
	—5	—3	+1	+3	+7
1. Urea	0,23	1,68	9,71***	22,94***	24,50***
2. PK	13,86***	46,18***	6,74**	32,98***	31,00***
3. Peat type — *Turvelaji*	12,66***	50,08***	12,14***	8,37**	7,00*
1 × 2	2,34	2,35	0,64	9,51***	3,61*
1 × 3	0,75	0,25	3,45*	2,93	6,00**
2 × 3	7,48**	7,30**	14,88***	18,66***	13,10***
100 · R^2	65,7	70,2	69,4	75,5	76,6
	Experiment 2 — *Koe 2* Time — *Aika*				
	—3	—1	+1	+3	+6
1. Urea	0,71	0,90	11,71***	5,32*	8,61***
2. PK	15,33***	36,3***	16,30***	11,72***	21,05***
3. Peat type — *Turvelaji*	3,10	5,50*	0,31	0,25	1,51
2 × 3	5,61	0,70	9,21***	7,21**	7,94***
100 · R^2	49,7	61,4	59,6	53,2	61,5

Appendix 6. F-values of variance and covariance analyses pertaining to CO_2 balance of seedlings measured in light and significances. Variance analysis deals with the time before refertilization and covariance analysis with that after refertilization.

Liitetaulukko 6. Valossa mitattua taimien CO_2-balanssia koskevien varianssi- ja kovarianssianalyysien F-arvot ja merkitsevyydet. Varianssianalyysi on laskettu jatkolannoitusta edeltäneeltä ajalta ja kovarianssianalyysi jatkolannoitusta seuranneelta ajalta.

Treatment *Käsittely*	Time — *Aika*							
	Days before N fertil. *Päivää ennen N-lann.*		Days after N fertil. — *Päivää N-lann. jälkeen*					
	10—14	3—7	1—4	7—11	14—18	21—25	28—32	35—39
1. Peat type — *Turvelaji* ...	6,91*	0,01	11,51**	1,90	0,82	4,11*	1,24	1,97
2. PK	15,50***	2,08	23,76***	5,03**	7,89***	7,36**	3,53*	3,60*
3. Urea	0,52	6,46*	18,06***	34,65***	30,63***	32,66***	19,92***	16,29***
1 × 2	5,27*	2,29	18,32***	4,64*	1,52	2,72	0,66	1,07
1 × 3	0,00	0,07	3,40*	0,58	0,71	0,01	0,13	0,24
2 × 3	0,47	0,54	8,69***	1,40	0,74	0,20	0,96	0,78
$100 \cdot R^2$			82,4	71,1	73,0	66,1	49,4	47,4

TAIMISTON INVENTOINNIN TARKKUUS

ELJAS POHTILA

Summary
ACCURACY OF REGENERATION SURVEYS

HELSINKI 1977

ODC 23:58
ISBN 951-40-0295-4
ISSN 0026-1610

POHTILA, E. 1977. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Summary: Accuracy of regeneration surveys. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (2): 1—43.

Tutkimuksessa selviteltiin kokeellisesti taimistojen tilajärjestystä ja systemaattisten inventointimenetelmien tarkkuutta. Viljelytaimiston tilajärjestyksen todettiin itseharvenemisen seurauksena lähestyvän homogeenisesta suunnasta satunnaista. Luontaisesti syntyneen taimiaineksen tilajärjestys poikkesi satunnaisesta (Poissonin jakaumasta) erittäin selvästi ryhmittäisyyden suuntaan.

Systemaattisten inventointimenetelmien otantavirhe pieneni yleensä nopeasti 30—50 koealan otoskokoon asti ja sen jälkeen hitaammin. Taimiston tilajärjestyksen erot vaikuttivat suhteellisen vähän otantavirheen suuruuteen. Nollaruutumenetelmässä, jossa kukin koeala luokitellaan joko taimettuneeksi tai tyhjäksi, otantavirhe riippui paljon kulloisestakin tyhjän koealan todennäköisyydestä noudattaen tällöin binomijakaumalle tyypillistä muotoa. Se oli yleensä kuitenkin teoreettisia arvoja pienempi. Otantavirheelle laskettiin tasoitusyhtälöt, joissa riippumattomina muuttujina olivat koealaväli ja koealan koko. Viimeksi mainittu korvattiin nollaruutumenetelmässä tyhjien ja taimettuneiden koealojen odotusarvojen tulolla.

Mittausvirheet osoittautuivat huomattavaksi potentiaaliseksi virhelähteeksi. Taimien lukuvirheissä havaittiin systemaattisuutta siten, että koealoilla, joilla oli paljon taimia, taimia jätettiin lukematta ja tyhjillä koealoilla pyrittiin lukemaan taimia koealan ulkopuolelta. Nollaruutumenetelmässä systemaattinen virhe minimoitui koealakoolla, jossa tyhjän koealan todennäköisyys oli 0,3—0,4. Lukuvirheiden satunnaiskomponenteille laskettiin tasoitusyhtälöt samaan tapaan kuin otantavirheillekin. Inventoinnin kokonaisvirhe laskettiin olettaen otanta- ja lukuvirheet toisistaan riippumattomiksi.

Myös koealojen sijoittelussa havaittiin subjektiivisuutta, josta aiheutuvan virheen täsmällistä suuruutta, ei kuitenkaan pystytty määrittämään. Erittäin suuri virhemahdollisuus osoittautui sisältyvän taimien kasvatuskelpoisuuden luokitteluun. Inventoinnin tarkkuutta voidaan parantaa kenttähenkilökunnan koulutuksella ja kehittämällä menetelmien tekniikkaa.

The spatial distribution of a seedling stand and the accuracy of regeneration surveys were studied empirically. The spatial distribution of a stand planted on a prescribed-burned area was found to approach a random (Poisson) distribution from the homogeneous side. The spatial distribution of naturally regenerated birch clearly differed from the random towards a clustered distribution.

The sampling errors of systematic sampling methods were rapidly reduced by increasing samples up to 30—50 plot but less rapidly after that. The effect of spatial distribution of seedlings on sampling errors was relatively small. In the zero-plot method where a plot is classified either as stocked or unstocked the sampling error was much dependent on the probability of zero-plots. The sampling errors then followed values typical for binomial distribution, but were usually smaller than the theoretical values. For the mathematical smoothing of the sampling error a product model was used, where the independet variables were the plot distance and the plot area. In the zero-plot method the plot area was substituted for by the product of the expected values of the percentages of zero plots and stocked plots.

Measurement errors formed a considerable potential source of error. Systematic errors in counting seedlings were found such that on well-stocked plots saplings were overlooked, and on empty plots seedlings outside it tented to be counted. For the random components of the counting errors regression equations were formed in the same manner as for the sampling errors. By assuming sampling and counting errors to be independent, the total error of the inventory could be calculated.

Subjectivity in choosing plot locations was also found. The accurate definition of the error caused by choosing the plot location was, however, difficult to formulate. The classification of capability of development of seedlings provides a great possibility for errors. The accuracy of regeneration surveys can be improved by training the personnel and by developing measuring technics.

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla metsänviljely- ja taimistonhoitotutkimuksiin liittyvänä erikoisselvityksenä. Kyseessä on kirjoittajan opinnäyte (ns. sivulaudaturtyö) metsänarvioimistieteessä, jossa ohjaajiani ovat olleet prof. Aarne Nyyssönen ja apulaisprof. Pekka Kilkki. Työn eri vaiheissa olen saanut heiltä monia hyödyllisiä neuvoja. Aineiston tietokonekäsittelyn, jossa olen voinut turvautua maist. Ahti Niinimaan pätevään asiantuntemukseen, on tehnyt mahdolliseksi Veitsiluoto Oy:n Rovaniemen tutkimusasemalle lahjoittamat varat. Työn viimeistelyssä olen saanut hyviä neuvoja tri Pentti Roiko-Jokelalta. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Gustaf Sirén ja Risto Seppälä tehden huomioon otettuja parannusehdotuksia. Esitän kaikille parhaat kiitokset saamastani avusta.

Rovaniemellä kesäkuussa 1977

Eljas Pohtila

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
11. Katsaus inventointimenetelmiin 5
12. Tutkimuksen tavoitteet 7
2. TUTKIMUSMENETELMÄT 8
3. NÄYTETAIMISTO 9
4. OTANTAVIRHE 13
41. Satunnaisotanta 13
42. Systemaattinen otanta 14
Tasavälinen 14
Ryväsotanta 22
5. MITTAUSVIRHE 22
51. Taimien luku ja luokittelu 22
52. Koealojen sijoittelu 26
6. KOKONAISVIRHE 27
7. TULOSTEN YHDISTELEVÄÄ TARKASTELUA 29
8. KIRJALLISUUS 32
SUMMARY 34
TAULUKOT 37

1. JOHDANTO

11. Katsaus inventointimenetelmiin

Metsien uudistamistoiminnan myötä syntyvien taimistojen inventointi muodostaa nykyisin tärkeän tehtäväkentän niin yksityis- kuin valtionmetsätaloudenkin piirissä. Erityisesti viljelyn kautta tapahtuvassa uudistamisessa pyritään yleensä mahdollisimman pian varmistumaan siitä, onko uudistamiseen tehty sijoitus johtanut toivottuun tulokseen vai onko tehtävä vielä täydennys tai jokin muu jälkitoimenpide. »Taimiston inventoinnilla» tarkoitetaan seuraavassa nimenomaan uudistamistoimen tuloksellisuutta selvittävää jälkitarkastusta.

Metodiset vaikeudet ovat taimistojen inventoinnissa huomattavat, mitä kuvastelee käytössä olevien menetelmien kirjavuus. Yksinkertaisin menetelmä on silmävarainen arviointi, jota Suomessa on käytetty mm. valtion metsien uudistusalojen inventoinnissa (K a l l i o 1965). Menetelmä on nopea, mutta subjektiiviset näkemyserot saattavat aiheuttaa siinä suuriakin virheitä. E n e r o t h in (1945) tutkimustulokset viittaavat siihen, että taimiston silmävaraisessa arvioinnissa on keskihakuisuutta, joka jättää kasvupaikkaerot huomioon ottamatta. Mahdollisesti tarvittavan täydennysviljelyn vuoksi jälkitarkastus on tehtävä pian uudistamistoimenpiteen jälkeen, jolloin taimet ovat vielä pieniä ja enemmän tai vähemmän pintakasvillisuuden peitossa. Tuloksen toteaminen on tällaisissa tapauksissa vaikeaa ilman täsmällisiä koealamittauksia.

Yleisin Pohjoismaissa käytetty menetelmä on ns. nollaruutumenetelmä, jossa päämuuttujan muodostaa taimettomien koealojen, tavallisesti prosentteina ilmaistu määrä. Koealat sijoitetaan tutkittavalle alueelle systemaattisesti, linjoittaisen ympyräkoeala-arvioinnin periaatteiden mukaisesti. Koealojen lukumäärästä on annettu arvioitavan alueen pinta-alasta riippuvia suosituksia. Esim. hehtaarin kokoiselta alalta edellytetään yleensä mitattavaksi n. 100 4 m²:n ympyräkoealaa (Taimistojen. . .). Metsäntutkimuslaitoksen Pohjois-Suomessa suorittamissa taimistojen inventoinneissa vaadittiin kultakin alueelta mitattavaksi 150 6 m²:n koealaa (E t h o l é n 1972).

Nollaruutumenetelmän kehitti nykyiseen muotoonsa B r a a t h e (1953, 1966). Menetelmän etuja on, että taimistossa mahdollisesti esiintyvä ryhmittäisyys tulee metsittämisarvoa laskettaessa automaattisesti huomioon otetuksi. Käytettäessä 4 m²:n koealakokoa, voidaan nollaruutusadanneksen kasvun myötä aiheutuvaa tuotostappiota arvioida B r a a t h en (1953) Itä-Norjan luontaisesti syntyneissä kuusimetsissä tekemien tutkimusten perusteella. Alkuperäisessä nollaruutumenetelmässä koealan koko vastasi alaa, jolla oletettiin voitavan kasvattaa yksi puu käyttöpuun mittoihin

(Lowdermilk 1921). Metsätalouden intensiivisyyden ja kasvupaikkojen viljavuuden vaihdellessa kysymys koealakoosta on noussut aina uudelleen pohdittavaksi. »Sovelletussa nollaruutumenetelmässä» ongelma on pyritty kiertämään siten, että tyhjien koealojen lisäksi kiinnitetään huomio taimien kokonaislukumäärään. Keskeisen mittausongelman nollaruutumenetelmässä muodostaa se, milloin koeala katsotaan tyhjäksi, milloin taimettuneeksi. Paitsi taimien kehityskelpoisuuden arvioimista, joka perustuu lähinnä taimien kuntoon ja kokoon, ongelmaan kytkeytyy myös puulajikysymys.

Tavallisen linjoittaisen koeala-arvioinnin lisäksi nollaruutumenetelmää on sovellettu ryväsotantaan, jossa koealat eivät jakaannu tasaisesti koko tutkittavalle uudistusalalle, vaan muodostavat tietyin välein tiheitä rypäitä (Yli-Vakkuri ym. 1969). Menettelyllä pyritään vähentämään koealavälin kulkuun käytettyä aikaa ja siten saamaan inventointi tehokkaaksi. Samalla luovutaan nollaruutumenetelmään tavallisesti liittyvästä taimiston kartoitustavoitteesta.

Tirenin (1950) kehittämä menetelmä luonnontaimistojen arvioimiseksi edustaa toista päätyyppiä taimiston inventointimenetelmien joukossa. Siinä luetaan 6 m²:n koealalta kaikki taimet ja käsitellään binomijakautuman sijasta Poissonin jakaumaa. Kun nollaruutumenetelmässä lähdetään tietystä etukäteen määrätystä vaatimustasosta, Tirénin menetelmässä katsotaan jälkikäteen, mitä vaatimustasoa mitattu taimisto vastaa. Tirén totesi luontaisesti syntyneiden taimien tilajärjestyksen poikkeavan satunnaisesta ryhmittäisyyden suuntaan ja esitti laskutavan ryhmittäisyyden eliminoimiseksi taimiston metsittämisarvoa määrättäessä. Satunnaisuudella [1]) tarkoitetaan tässä ja seuraavassa nimenomaan Poissonin jakauman mukaista tilajärjestystä. Taimien pituusvaihtelua, joka luonnontaimistoissa on yleensä suhteellisen suuri, verrataan Tirénin menetelmässä viljelytaimiston pituusvaihteluun. Valmiiden laskukaavioiden ja taulukoiden avulla (Heinstedt 1953) menetelmä on varsin helposti sovellettavissa käytännön inventointitehtäviin. Tirénin menetelmä ei ole kuitenkaan saavuttanut samanlaista suosiota kuin Braathen nollaruutumenetelmä.

Teoreettisesti mielenkiintoinen menetelmä on ns. etäisyysmenetelmä, jossa taimiston tiheys määritetään mittaamalla tietyistä pisteistä etäisyydet lähimpiin taimiin. Vaihtoehtoisesti tulee kysymykseen etäisyys taimesta naapuritaimeen tai -taimiin. Tämä aihe on kiinnostanut monia tutkijoita. Sirén (1952) laati Pohjois-Suomen kylvötaimistoja varten luokituksen, jossa taimiston metsittämisarvo määritettiin taimellisten viljelypisteitten lukumäärän ja keskinäisten etäisyyksien avulla. Etäisyysmenetelmään liittyviä teoreettisia kysymyksiä ovat Pohjoismaissa käsitelleet Strand (1954) ja perusteellisimmin Persson (1964, 1973). Menetelmän etuna on, että siinä ei olla sidottuja tiettyyn koealakokoon vaan arviointiprosentti on harvoissa taimistoissa automaattisesti suurempi kuin tiheissä taimistoissa. Perssonin mukaan etäisyyskoealoja tarvitaan tiheyden määrittämiseksi kuitenkin huomattavasti enemmän kuin kiinteäalaisia ympyräkoealoja.

[1]) Satunnaisuudelta edellytetään tällöin, että tietyn alueen taimijoukon jokaisella taimella on ollut sama mahdollisuus sattua mille tahansa kyseisen alueen osa-alalle, että samankokoisilla osa-aloilla on ollut sama mahdollisuus vastaanottaa taimi ja että kunkin taimen sijoitukseen ei ole vaikuttanut minkään toisen taimen sijoitus (vrt. Clark ja Evans 1954).

Cox (1971) on kehittänyt etäisyysmenetelmää edelleen ilmaisemaan nimenomaan taimien jakautumista tutkittavalle alalle. Satunnaisista pisteistä lähimpään taimeen mitatuista etäisyyksistä on laskettavissa erikokoisten tyhjien ympyränalojen suhteellinen osuus taimistossa. Järjestämällä havainnot logaritmimuunnoksen jälkeen väheneväksi nollajuutudiagrammaksi taimiston ryhmittyneisyyttä voidaan verrata havainnollisesti erilaisiin teoreettisiin tai kokeellisiin jakaumiin. Käytännön inventoinneissa etäisyysmenetelmää ei ole Pohjoismaissa käytetty. Menetelmä soveltunee parhaiten tropiikin metsiin, joissa kasvatettavat arvopuut saattavat sijaita hyvin hajallaan ja olla vaikeasti muun kasvillisuuden seasta löydettävissä (Loetsch 1973).

Taimistoissa, joissa taimien keskinäinen järjestys on erittäin selvästi systemaattinen, kuten esim. auratuilla alueilla, tulee kysymykseen luonnonmukaisen otantayksikön käyttö (Forsner ja Luhr 1962). Inventoinnissa valitaan tällöin tarkastukseen tietyt rivit, joita seurataan, kunnes löydetään kuollut taimi. Tällöin tutkitaan viereisiltä riveiltä, kuinka suuresta aukosta kulloinkin on kysymys.

12. Tutkimuksen tavoitteet

Edellä esiteltyjen menetelmien lisäksi taimistojen inventoinnissa on käytetty monia muitakin menetelmiä (ks. Yli-Vakkuri ym. 1969). Eri menetelmien käyttökelpoisuuden arvioimista on haitannut epävarmuus niiden tarkkuudesta, saatujen tulosten ja todellisten arvojen eroista. Yleensä inventoinnissa joudutaan turvautumaan otantaan, jolloin saadut estimaatit eivät yleensä ole identtisiä perusjoukon todellisten parametrien kanssa, koska otos käsittää vain osan perusjoukosta. Tästä aiheutuvaa tulosten vaihtelua kutsutaan otantavirheeksi. Se ilmaistaan yleensä estimaatin keskivirheenä ja sen suuruus riippuu tällöin varianssista ja havaintojen lukumäärästä. Varianssin taas määrää perusjoukon sisäinen rakenne. Satunnaisotannassa otantavirheen suuruus voidaan laskea luotettavasti otoksen sisäisen vaihtelun perusteella. Satunnaisotannan järjestäminen on usein käytännössä kuitenkin ylivoimaisen hankalaa ja taimistojen inventoinnissakin joudutaan yleensä turvautumaan systemaattiseen otantaan. Otantavirheen suuruus saadaan tällöin lasketuksi teoreettista tietä vain, mikäli taimien keskinäinen tilajärjestys noudattaa satunnaista, homogeenista [1]) tai ylimalkaan jotakin täsmällisesti määriteltävissä olevaa jakaumaa. Luontaisesti syntyneitä taimistoja koskevissa selvityksissä on yleensä nojauduttu binomi-, negatiiviseen binomi- tai Poissonin jakaumaan (esim. Eneroth 1945, Tirén 1950), viljelytaimistoja koskevissa johonkin homogeeniseen, esim. nelikulmiojakautumaan (Nersten 1962).

Tarkkuuteen vaikuttavat luonnollisesti myös mittausvirheet, jotka voivat olla luonteeltaan joko systemaattisia tai satunnaisia. Mittaustarkkuuden käsite (engl. accuracy) nimenomaan kattaa molemmat mainitut virhelajit (Loetsch ym. 1973

[1]) Homogeenisessa jakaumassa taimijoukon jokaisella taimella on samanlainen kasvutila, joka voi olla esim. kolmio, nelikulmio jne. (vrt. Cox 1971).

s. 20). Jos mittaustekniikka on väärä, arvot ovat epätarkkoja, vaikka mittaus olisi huolellistakin ja mittauksen toistettavuus hyvä. Hyvä toistettavuus voi johtaa hyvään tarkkuuteen vain, jos mittaustekniikka ei ole virheellinen. Otantavirheen tapaan tavallisesti keskivirheenä ilmaistu toistettavuus (engl. precision) kuvaa siis rinnakkaismittausten samanlaisuutta eikä se ilmaise systemaattista virhekomponenttia. Erilaiset, toisistaan riippumattomat virhevarianssit voidaan summata ja päästä siten kokonaisvirheen arvioon (esim. Nyyssönen 1955).

Tässä tutkimuksessa pyrittiin määrittämään nollaruutu- ja sovelletun nollaruutumenetelmän tarkkuus ottaen huomioon molemmat em. virhelajit. Erityisesti pyrittiin selvittämään koealan koon vaikutus tarkkuuteen. Alustava käsitys haluttiin saada myös taimistoissa todellisuudessa esiintyvästä tilajärjestyksen vaihtelusta ja sen vaikutuksesta tarkkuuteen.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus oli kokeellinen. Näytetaimistoksi valittiin sellainen viljelytaimisto, jota tuhojen vuoksi ei voitu pitää vielä vakiintuneena, jossa viljelyn tulos ei ollut silmävaraisesti helposti todettavissa ja jossa lisäksi oli runsas lehtipuusekoitus. Taimistosta kartoitettiin hehtaarin ala aarin ruuduissa määrittämällä kunkin taimen koordinaatit 1 dm:n tarkkuudella. Ruudut paalutettiin prisman ja mittanauhan avulla. Taimien koordinaattien määrityksessä käytettiin kahta mittanauhaa, toista ruudun »perussivulla» ja toisella mitattiin siitä kohtisuorat etäisyydet ruudun taimiin. Taimet luokiteltiin puulajin, syntytavan (viljelty, siemen- ja vesasyntyinen luonnontaimi), kunnon (kuollut, kituva, hyväkuntoinen) ja pituuden (dm) perusteella. Kuntoluokitusta sovellettiin kuitenkin vain mäntyihin.

Näytetaimiston tilajärjestystä tutkittiin Coxin (1971) kehittämällä menetelmällä, jossa mitataan satunnaisista pisteistä etäisyydet lähimpään taimeen, lasketaan sen jälkeen erikokoisten tyhjien ympyränalojen suhteellinen osuus taimistossa ja järjestetään havainnot logaritmimuunnoksen jälkeen väheneväksi nollaruutudiagrammaksi (ks. kuva 3). Ryhmittymisindeksi saadaan yhtälöstä:

$$I_C = a \cdot b \cdot k \qquad (1)$$

jossa I_C = ryhmittymisindeksi
- a = ordinaatta-arvoa vastaava numerus jaettuna sadalla m:n arvolla 1. ($m = r^2\pi\lambda$, jossa r = etäisyys satunnaisesti valitusta pisteestä lähimpään taimeen ja λ = taimia/pinta-alayksikkö.)
- b = m:n arvo ordinaatta-arvolla 0,7
- k = 0,907, joka varmistaa sen, että Ic Poissonin jakaumassa saa arvon 1

Mitä suurempi on taimien ryhmittäisyys, sitä suurempia arvoja Ic saa.

Otantavirhettä tutkittiin poimimalla kartoitetusta näytetaimistosta tietokoneen avulla erisuuruisia otoksia ja analysoimalla saatujen tulosten hajontaa (vrt. Nyyssönen ym. 1967). Kukin menetelmä- ja otoskombinaatio toistettiin alkaen satunnaisista aloituspisteistä kymmenen kertaa. Vertailuissa käytettiin muuttujina nollaruutu- ja taimettumissadannesta sekä taimien lukumäärää. Näytetaimiston keskipituuden suhteen vastaavia otantaselvityksiä ei tehty, sillä viljelyaloilla taimien pituusvaihtelu ei yleensä ole merkittävä ongelma. Luontaisilla uudistusaloilla tilanne on usein toinen (esim. Tirén 1950).

Mittausvirhettä tutkittiin samassa näytetaimistossa kuin otantavirhettäkin. Ennen kuin taimistoa ryhdyttiin kartoittamaan, kolme Lapin piirimetsälautakunnan metsäteknikkoa inventoi taimiston

tavanomaisin menetelmin käyttäen 4:n, 6:n, 10:n ja 25 m²:n koealakokoja. Vastaavat ympyrän säteet ovat 1,13, 1,38, 1,78 ja 2,82 m. Linja- ja koealaväli järjestettiin kaikilla vastaamaan n. 3 %:n otantaa pinta-alasta. Koejärjestelyssä sovellettiin arvottujen lohkojen periaatetta, jolloin kukin koehenkilö muodosti yhden lohkon. Inventointijärjestys oli seuraava:

Järjestys	Koehenkilö		
	A	B	C
	ympyräkoealan koko, m²		
1.	25	4	6
2.	6	6	10
3.	10	25	25
4.	4	10	4

Myös se, mistä kulmasta inventointi kulloinkin aloitettiin, määrättiin satunnaisesti. Inventoinneissa pyrittiin noudattamaan yleistä käytäntöä. Mittausvirheen yksilöimiseksi ympyräkoealoilta luettiin kuitenkin kaikki elävät männyn taimet, mikä ei pienisäteisillä ympyräkoealoilla vastaa käytäntöä. Koivuista luettiin vain kasvatuskelpoisiksi katsotut. Männyt luokiteltiin edelleen sairaisiin ja terveisiin (kasvatuskelpoisiin) ja viimeksi mainituista mitattiin myös pituus (dm). Inventoinnit tehtiin yhden miehen menetelmillä, joissa suuntaa pidetään kompassilla tai bussolilla, linja- ja koealaväli mitataan askelilla, koeala rajataan säteen mittaisella kepillä ja havainnot kirjataan tavalliselle ruudulliselle paperille. Käytännön mukaisesti koealan keskipisteitä ei paalutettu, vaan koealan keskipisteeksi sovittiin kengän kantalapun sisäkulma. Tämän keskipisteen merkitsi mahdollisimman tarkasti värillisellä, numeroidulla muovitikulla välittömästi koealan mittauksen jälkeen koehenkilöä seurannut tutkimusapulainen. Menettely antoi mahdollisuuden jälkeenpäin tutkia tehtyjä lukuvirheitä.

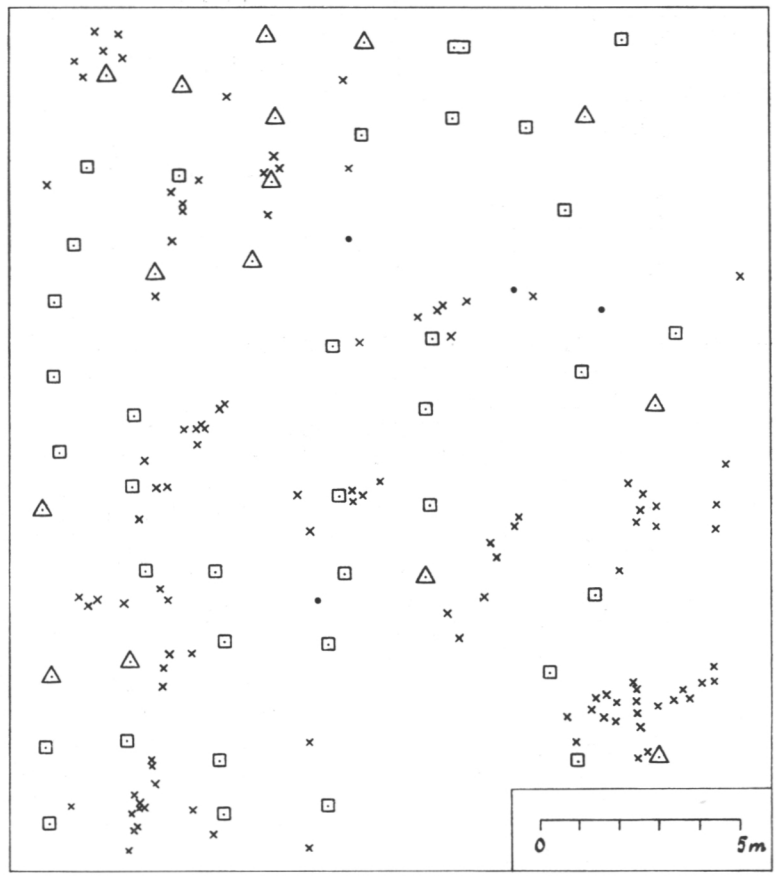
Näytetaimiston taimikohtaisen kartoituksen yhteydessä mitattiin muovitikuilla merkityt koealojen keskipisteiden koordinaatit ja tarkistettiin kunkin koealan taimimäärä. Taimien ja koealojen keskipisteiden koordinaatit merkittiin millimetripaperille mittakaavassa 1: 100, minkä jälkeen oli helppo tehdä mittauksia linja- ja koealavälin vaihtelusta sekä linjan mutkittelusta. Tarkistusmittauksessa saatuja taimimääriä verrattiin koealoittain varsinaisessa inventoinnissa luettuihin taimimääriin. Subjektiivisten tekijöiden vaikutusta koealojen sijoittumiseen tutkittiin poimimalla koehenkilöiden saamien tuloksien vertailuksi koehenkilöiden inventointireittiä seuraileva otos, jossa suunnassa ja koealavälissä tehdyt virheet oikaistiin.

3. NÄYTETAIMISTO

Näytetaimisto mitattiin eräältä metsähallinnon Rovaniemen hoitoalueessa sijaitsevalta uudistusalalta. Alue oli hakattu paljaaksi 1960-luvun alussa, kulotettu 1963 ja istutettu vuosina 1964 ja 1965. Taimisto mitattiin kesällä 1970.

Tavoiteltu taimitiheys oli saatujen tietojen mukaan ollut 2×2 m eli 2 500 tainta/ha. Tarkassa mittauksessa alueelta löydettiin enää 1 547 männyn tainta/ha, joista 295 kpl kuolleita. Elävistä männyn taimista, joita siis oli yhteensä 1 252 kpl/ha, 372 kpl oli edelleen lumikaristeen, versosyövän ym. Pohjois-Suomessa tavallisten sienitautien vaivaamia. Terveitä mäntyjä oli 880 kpl/ha. Enemmän kuin mäntyjä alueella kasvoi luontaisesti syntyneitä koivuja: yhteensä 2 351 kpl/ha. Valtaosa, 87 % niistä luokiteltiin vesasyntyisiksi hieksiksi. Vesatuppaassa oli keskimäärin neljä vesaa, jotka mittauksessa kuitenkin luettiin yhdeksi koivuksi. Elävien mäntyjen keskipituus oli 7,5 dm, koivujen 8,0 dm.

Paitsi taimien lukumäärissä myös niiden jakautumisessa näytealalle oli eri ositteiden kesken eroja (kuva 1). Koivuositteessa ja mäntyjen ja koivujen sekaositteessa nollaruutusadannekset eri kokoisille ympyräkoealoille olivat selvästi suurempia kuin Poissonin jakaumassa, mäntyositteessa taas yleensä hieman pienempiä (taulukko 1, kuva 2). Jos kasvutila määritetään säännöllisinä ympyränaloina, oli elävillä männyillä kasvutilaa toisiinsa nähden keskimäärin 2,6 m² ja koivuilla vain 0,3 m². Mikäli



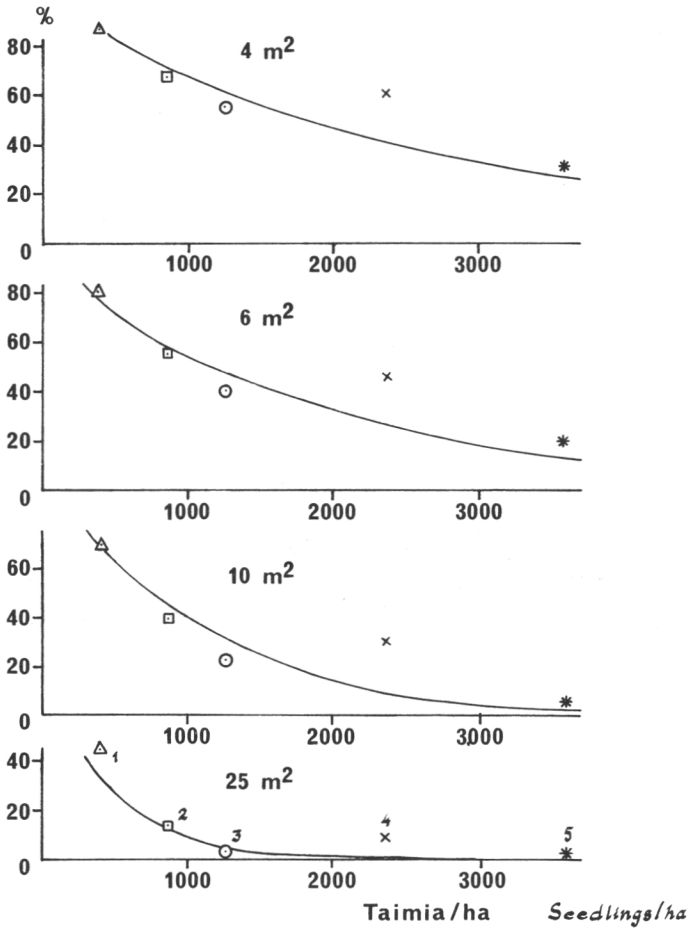
Kuva 1. Esimerkki taimien keskinäisestä sijainnista näytetaimistossa. Kuolleet männyn taimet merkitty pisteillä, muut ositteet ks. kuva 2.

Figure 1. An example of seedling location in the sample stand. Dead pines indicated by dots, other strata as in Figure 2.

elävät männyt olisivat tasaisesti nelikulmioissa vastaava kasvutila ympyränalana olisi 6,3 m² ja koivuilla 3,3 m². Tilankäyttö ei siis ollut kovin tehokasta. C o xin (1971) menetelmällä lasketut ryhmittymisindeksit olivat:

Osite	Ic
Kaikki (elävät + kuolleet) männyt	0,57
Elävät männyt	0,76
Hyväkuntoiset männyt	1,16
Huonokuntoiset männyt	1,53
Koivut	3,35
Elävät männyt + koivut	1,71

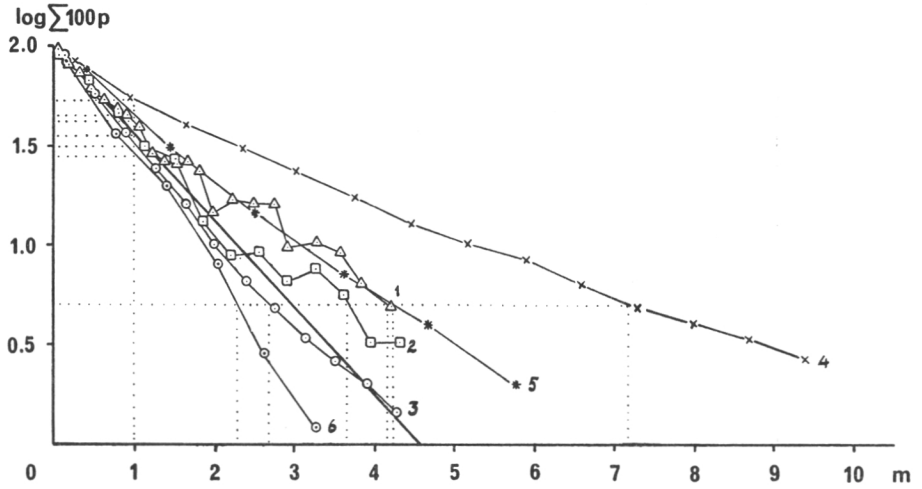
Indekseistä voi päätellä, että mäntyjen tilajärjestys on välittömästi viljelyn jälkeen ollut varsin säännöllinen. Harveneminen, joka on luonteeltaan ryhmittäistä, kuitenkin muuttaa tilajärjestystä jatkuvasti ja kun toisaalta, taimistoon tulee täydennystä luontaista tietä, on lopputulos ilmeisesti hyvin



Kuva 2. Taulukon 1 nollaruutusadannekset verrattuna Poissonin jakauman mukaisen tilajärjestyksen edellyttämiin arvoihin (yhtenäinen viiva). Ositteet: 1 = huonokuntoiset männyt, 2 = hyväkuntoiset männyt, 3 = kaikki elävät männyt, 4 = koivut, 5 = männyt + koivut.

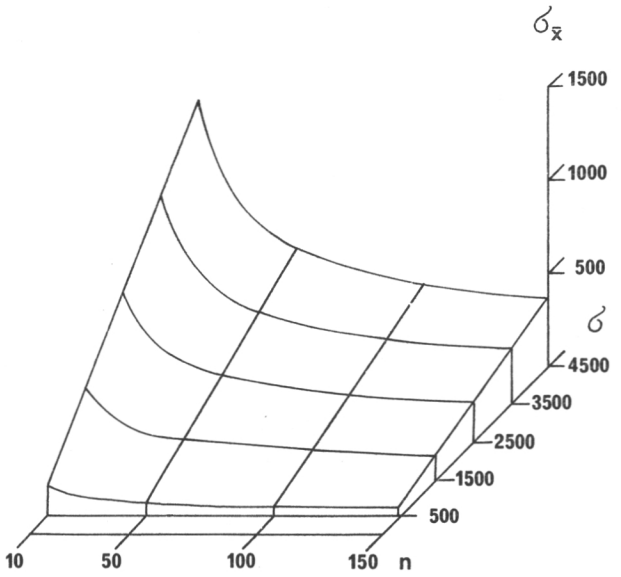
Figure 2. Percentage of zero-plots in Table 1 compared to the values (full line) presupposed by spatial order according to the Poisson distribution. Strata: 1 = poor-condition pines, 2 = vigorous pines, 3 = living pines, 4 = birches, 5 = pines + birches.

lähellä Poissonin jakaumaa (vrt. P e r s s o n 1964). Koivujen tilajärjestys näytetaimistossa edustaa jo hyvin suurta ryhmittäisyyttä. Nollaruutudiagrammojen mutkittelu hyvä- ja huonokuntoisten mäntyjen ositteissa (kuva 3) voi olla osaksi näennäistä, sillä havaintojen lukumäärä oli näissä ositteissa vain 300—400, muissa ositteissa useita tuhansia.



Kuva 3. Vähenevät nollaruutudiagrammat näytetaimiston eri ositteissa verrattuna Poissonin jakauman edellyttämään diagrammaan (suora viiva). 100p = nollaruutu-%, m = $r^2\pi\lambda$, jossa r = etäisyys satunnaisesti valitusta pisteestä lähimpään taimeen ja λ = taimia kpl/pinta-alayksikkö. Ositteet: 1—5 ks. kuva 2, 6 = elävät + kuolleet männyt.

Figure 3. Decreasing zero-plot diagrams in the strata of the sample stand compared to the diagram (straight line) presupposed by the Poisson distribution. 100p = zero-plot percentage, m = $r^2\pi\lambda$, where r = the distance from a randomly chosen spot to the nearest seedling and λ = number of seedlings/unit area. Strata: 1—5 see Figure 2, 6 = living + dead pines.



Kuva 4. Keskiarvon keskivirheen ($\sigma_{\bar{x}}$) teoreettinen riippuvuus perusjoukon keskihajonnasta (σ) ja otoksen suuruudesta (n).

Figure 4. Theoretical dependence of the standard deviation of the mean ($\sigma_{\bar{x}}$) on the variance (σ) and the sample size (n).

4. OTANTAVIRHE

41. Satunnaisotanta

Yksinkertaisessa satunnaisotannassa, jossa jokaisella perusjoukon elementillä on yhtä suuri todennäköisyys tulla poimituksi otokseen, otantavirheen suuruus on laskettavissa otoksen sisäisen vaihtelun perusteella. Otoskoon pysyessä samana otantavirheen suuruuden ratkaisee perusjoukon keskihajonta (kuva 4). Riippuen perusjoukon jakaumasta keskihajonta voi vaihdella hyvin paljon. Jos ko. perusjoukon jakauma noudattaa jotakin tunnettua teoreettista jakaumaa, myös otantavirhe saadaan laskettua teoreettista tietä. Seuraavassa verrataan näytetaimistosta satunnaisotannalla saatuja keskihajontoja Poissonin ja binomijakauman keskihajontoihin. Poissonin jakaumassa varianssi = keskiarvo ja keskihajonta saadaan silloin kaavasta:

$$\sigma^2 = A\ \lambda \qquad (2)$$

jossa σ = perusjoukon keskihajonta
A = koealan koko
λ = yksilöiden keskim. lukumäärä yksikköalalla

Binomijakaumassa, joka tulee kysymykseen erityisesti nollaruutumenetelmässä, keskihajonta riippuu ratkaisevasti jakauman odotusarvosta. Kahden vaihtoehdon satunnaiskokeessa »suotuisien» tapausten lukumäärän keskihajonta saadaan kaavasta:

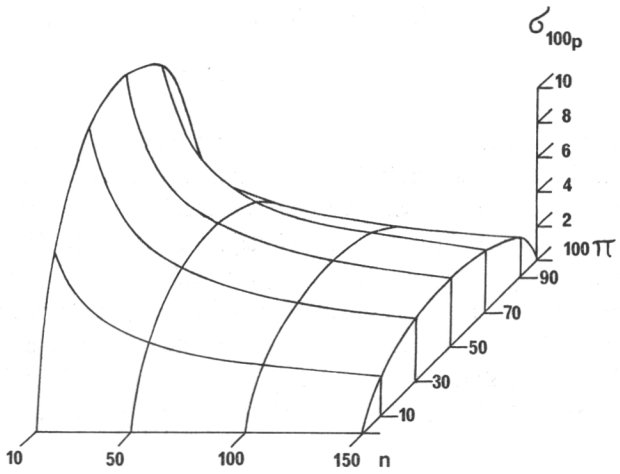
$$\sigma^2 = n\ \pi\ (1 - \pi) \qquad (3)$$

jossa σ = perusjoukon keskihajonta
π = »suotuisan» tapauksen suhdeluku
n = suoritettujen kokeiden lukumäärä

Nollaruutumenetelmässä koealat luokitellaan joko taimettuneiksi tai tyhjiksi ja »suotuisana» tapauksena voidaan pitää kumpaa hyvänsä vaihtoehtoa. Kuvassa 5 on havainnollistettu otantavirheen riippuvuus »suotuisan» tapauksen odotusarvosta.

Satunnaisotosten perusteella saatuja taimimäärien keskihajontoja verrattiin vastaaviin Poissonin jakauman keskihajontoihin (kuva 6). Mäntyositteiden keskihajonnat vastasivat verrattain hyvin satunnaisjakauman arvoja, mutta koivujen samoin kuin mäntyjen ja koivujen sekajakauman keskihajonnat olivat huomattavasti Poissonin jakauman hajontoja suuremmat. Tulos sopi hyvin yhteen aiemmin osoitettujen näytetaimiston eri ositteiden tilajärjestyserojen kanssa (luku 3).

Koealakoon vaikutusta taimien lukumäärän keskihajontaan tarkasteltiin lähemmin vaihtelukertoimen avulla. Männyillä vaihtelu pieneni hyvin jyrkästi siirryttäessä 4 m²:n koealoista 6 m²:n koealoihin, mutta sitä suuremmilla koealoilla muutos oli suhteellisen pieni (kuva 7). Koivujen ositteessa vaihtelun pieneneminen koealan koon kasvaessa oli epäsäännöllisempää. Mitä pienempi koeala suhteessa ositteiden taimimääriin oli, sitä suurempi oli yleensä vaihtelukerroin. 20—25 m²:n koealakoon jälkeen



Kuva 5. Prosenttiluvun keskivirheen (σ_{100_p}) riippuvuus prosenttiluvun odotusarvosta (100π) ja otoksen suuruudesta (n) binomitodennäköisyyden vallitessa.

Figure 5. Dependence of the standard deviation of the percentage (σ_{100_p}) on its expected value (100π) and sample size (n) when the distribution is binomial.

vaihtelun muuttuminen oli kaikissa ositteissa melko vähäistä. Koivuositteessa vaihtelukerroin oli keskimäärin suurempi kuin mäntyositteessa.

Nollaruutumenetelmässä, jossa mittaustarkkuus on luokitteleva, ei päästä edellä esitetyn kaltaiseen tarkasteluun. Satunnaisotoksien perusteella voitiin laskea nollaruutusadannekselle binomitodennäköisyyden mukaiset keskihajonnat ja verrata niitä perusjoukon todellisiin keskihajontoihin. Perusjoukon »todellisilla» keskihajonnoilla tarkoitetaan tässä mahdollisimman tarkkoihin arvoihin perustuvia keskihajontoja (ks. luku 3). Otoksista lasketut nollaruutuprosentin keskihajonnat poikkesivat jonkin verran perusjoukon vastaavista arvoista (kuva 8), mutta poikkeamat johtuvat otoksen suuruudesta riippuvasta hajonnasta, ts. otantavirheestä.

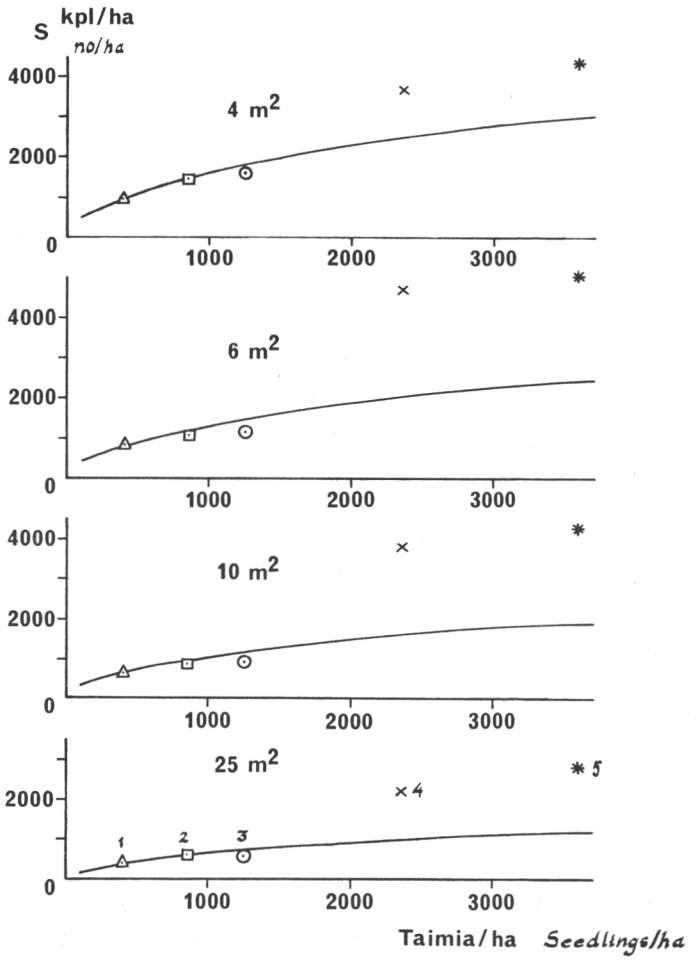
42. Systemaattinen otanta

Tasavälinen

Systemaattisten otoksien keskiarvojen keskihajonta laskettiin yhtälöstä:

(4)

$$S^2_{xsys} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\bar{X}_i - \mu)^2}{n}$$

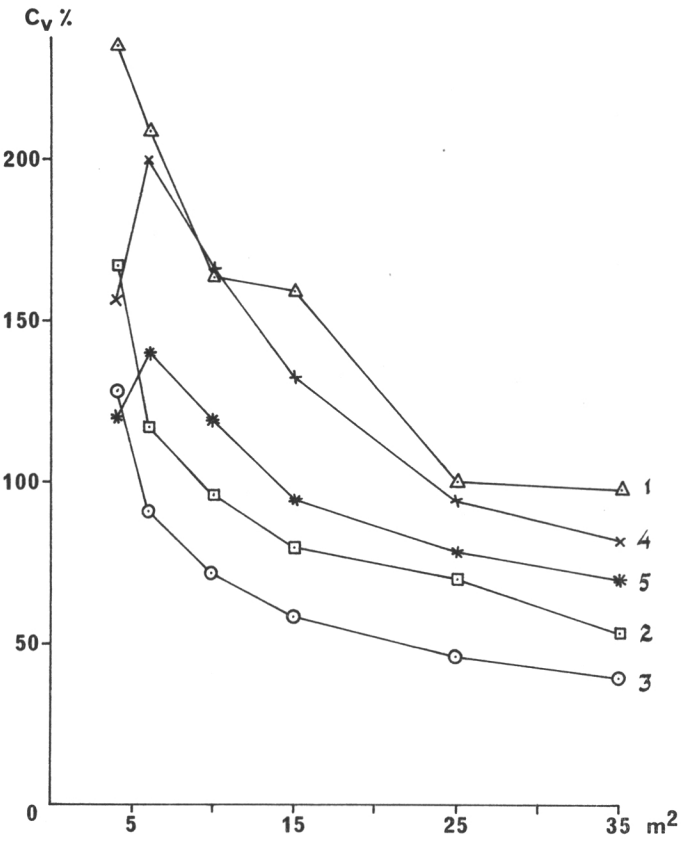


Kuva 6. Taimien lukumäärän keskihajonta (S) eri kokoisilla ympyräkoealoilla näytetaimistosta poimituissa 100:n koealan satunnaisotoksissa. Ositteet: 1—5 ks. kuva 2. Yhtenäinen viiva = Poissonin jakauman edellyttämä keskihajonta.

Figure 6. Standard deviation (S) of the number of seedlings on circle plots of various sizes drawn randomly in samples of 100 plots from the sample stand. Strata: 1—5 see Figure 2, Full line = standard deviation according to the Poisson distribution.

jossa $S_{\bar{x}sys}$ = keskiarvon keskivirhe
$\bar{X}_i$ = otoksen i keskiarvo
μ = perusjoukon keskiarvo
n = otoksien lukumäärä

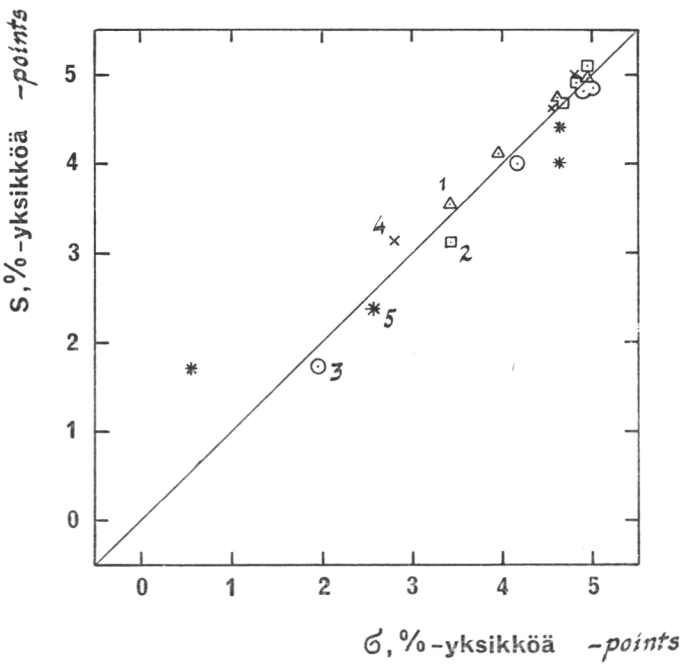
Kaavaa sovellettiin myös nollaruutusadanneksen keskivirheen ($S_{100p\ sys}$) laskentaan.



Kuva 7. Vaihtelun pieneneminen koealan koon kasvaessa. Kriteerimuuttujana taimien lukumäärä. $C_v = \frac{100\ S}{\bar{x}}$, jossa S = keskihajonta $\bar{x}$ = keskiarvo. Ositteet: 1—5 ks. kuva 2.

Figure 7. Reduction of variance with increasing plot sizes. Criterion variable is number of seedlings. $C_v = \frac{100\ S}{\bar{x}}$, *where S = standard deviation,* $\bar{x}$ *= mean. Strata: 1—5 see Figure 2.*

Kun mitattavana muuttujana oli taimien lukumäärä, keskivirheen suuruuteen vaikuttivat sekä taimien lukumäärä ja tilajärjestys että koealan koko sekä luonnollisesti myös koealojen lukumäärä (kuva 9). Se, millä koealamäärillä keskivirheen suuruus alkoi vakiintua, riippui koealan koosta ja taimien tilajärjestyksestä. Toistojen vähäisyyden ja ilmeisesti myös näytetaimiston rakenteen johdosta kuvaajiin jäi epäsäännöllisyyksiä, mutta keskimääräinen riippuvuus voitiin havaintojen perusteella laskea kohtalaisen luotettavasti.



Kuva 8. 100 koealan satunnaisotoksesta lasketut nollaruutusadanneksen keskihajonnat (S) verrattuna perusjoukon todellisiin keskihajontoihin (σ). Koealakoot: 4, 6, 10 ja 25 m². Ositteet: 1—5 ks. kuva 2.

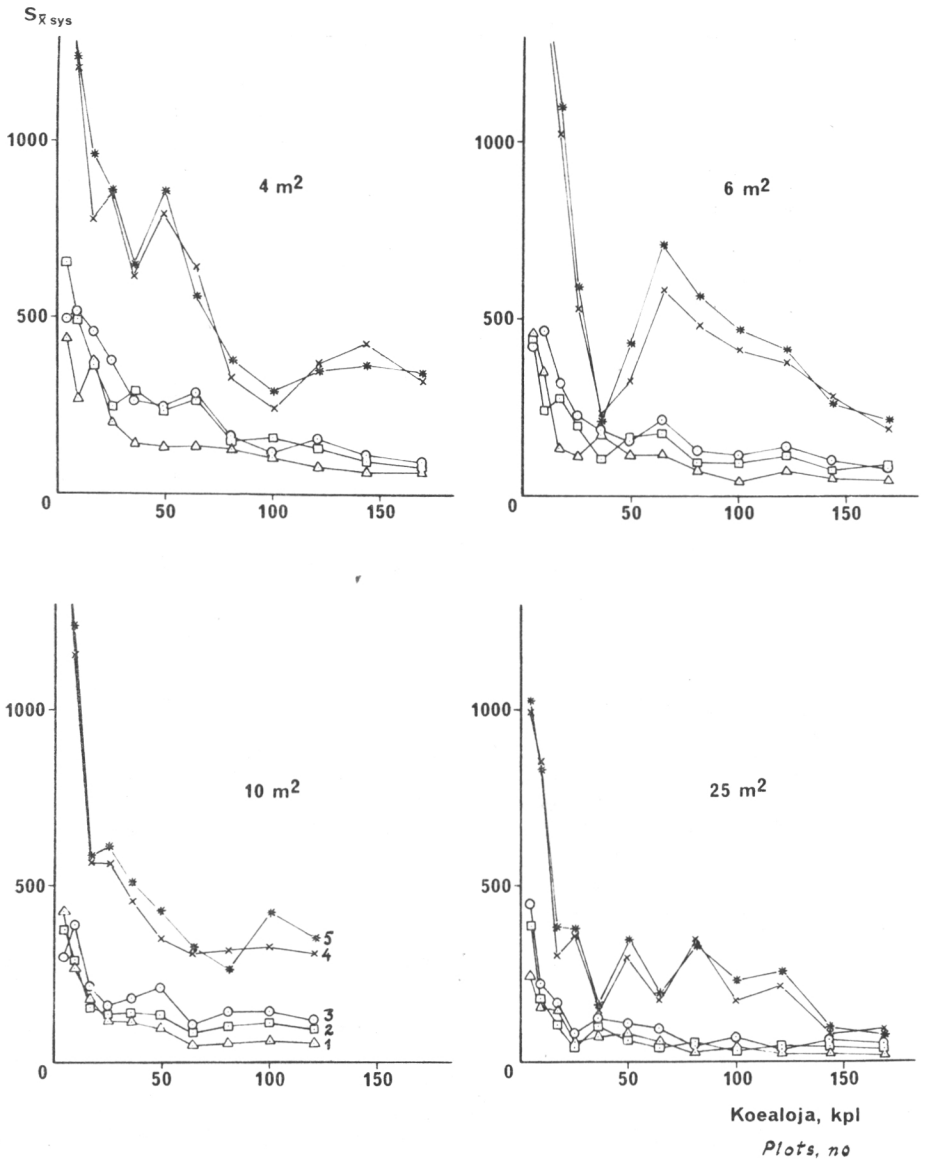
Figure 8. Zero-plot-percentage standard deviations (S) calculated from random samples of 100 plots each compared to the true mean variances (σ) of the population. Plot sizes: 4, 6, 10 and 25 m², Strata: 1—5 see Figure 2.

Tasoituksessa käytettiin mallia:

$$y = a\, x_1^b\, x_2^c\, \varepsilon \qquad (5)$$

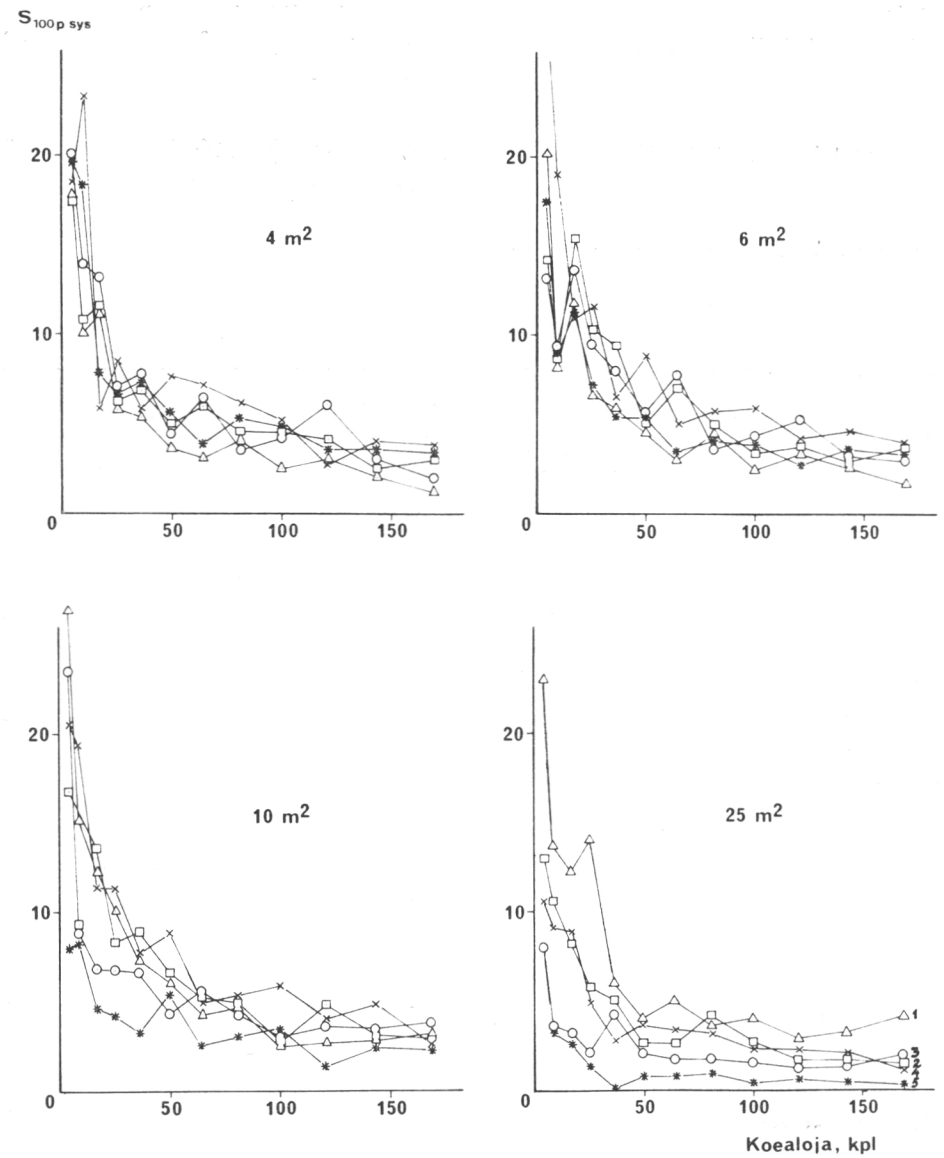
jossa ovat riippuvana muuttujana keskiarvon keskivirhe ja riippumattomina muuttujina koealaväli vähennettynä koealakoon neliöjuurella ja koealan koko. Kun koealavälistä vähennetään koealakoon neliöjuuri, perusjoukon äärellisyyttä ei tarvitse erikseen ottaa huomioon. Tasoitusta varten riippuvuudet linearisoitiin logaritmimuunnoksen avulla. Takaisinmuunnoksessa käytettiin F i n n e yn ehdottamaa korjauskerrointa (ref. M ä l k ö n e n 1974). Elävien mäntyjen, koivujen ja mäntyjen ja koivujen sekaositteessa, jotka poikkesivat tilajärjestykseltään selvästi toisistaan (luku 3), taimimäärän keskiarvon keskivirheelle saatiin seuraavat regressioyhtälöt:

Osite	Regressioyhtälö ja selitysaste (R^2)	
Elävät männyt, 1 252 kpl/ha	$\hat{y} = 3{,}895\ X_1^{0{,}784}\ X_2^{-0{,}344}$	(6)
	$R^2 = 0{,}912$	



Kuva 9. Keskiarvon keskivirheen riippuvuus systemaattisen otoksen suuruudesta eri kokoisilla ympyräkoealoilla, kun kriteerimuuttujana oli taimien lukumäärä. Ositteet: 1—5 ks. kuva 2.

Figure 9. Dependence of the standard deviation of the mean on the size of a systematic sample of circle plots of various sizes when the criterion variable is number of seedlings. Strata: 1—5 see Figure 2.



Kuva 10. Nollaruutusadanneksen keskivirheen riippuvuus systemaattisen otoksen suuruudesta eri kokoisilla ympyräkoealoilla. Ositteet: 1—5 ks. kuva 2.

Figure 10. Dependence of the standard deviation of the zero-plot percentage on the size of a systematic sample of circle plots of various sizes. Strata: 1—5 see Figure 2.

Osoite	Regressioyhtälö ja selitysaste (R^2)	
Koivut, 2 346 kpl/ha	$\hat{y} = 4{,}515\ X_1^{0{,}889}\ X_2^{-0{,}349}$	(7)
	$R^2 = 0{,}821$	
Männyt + koivut, 3 598 kpl/ha	$\hat{y} = 3{,}054\ X_1^{0{,}883}\ X_2^{-0{,}334}$	(8)
	$R^2 = 0{,}798$	

Yhtälöissä $\hat{y}$ = keskiarvon keskivirhe, %
X_1 = koealaväli, m — $\sqrt{\text{koealan koko, m}^2}$
X_2 = koealan koko, m^2

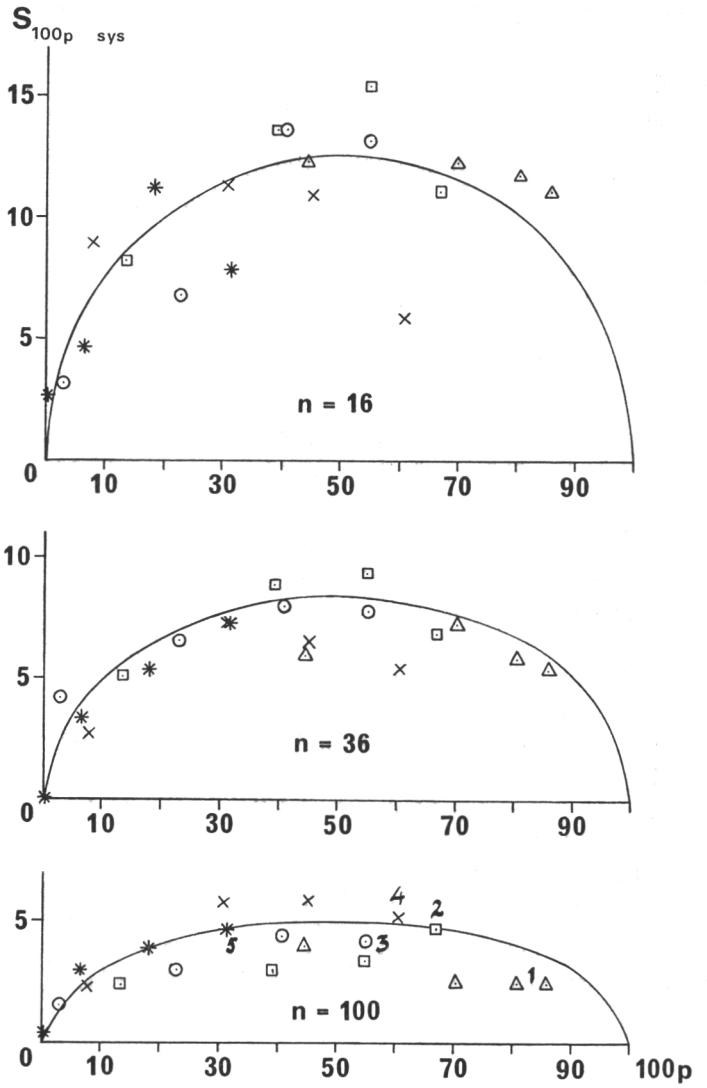
Yhtälöt muodostuivat melko samankaltaisiksi, vain koivuosite poikkesi selvästi muista. Erot ilmenivät lähinnä vakiotermeissä ja koealavälin kertoimissa.

Nollaruutusadanneksen keskivirhe pieneni otoksen koon kasvaessa yleensä nopeasti n. 50 koealaan saakka ja sen jälkeen suhteellisen vähän (kuva 10). Verrattuna taimien lukumäärän keskivirheeseen (kuva 9) nollaruutusadanneksen keskivirhe näytti olevan kiinteämmin sidoksissa koealan kokoon ja koealojen lukumäärään. Tasoituksessa käytettiin koealakoon sijasta toisena riippumattomana muuttujana nollaruutu- ja taimettumissadanneksen odotusarvon tuloa. Oletettiin, että nollaruutuprosentin keskivirhe riippuu systemaattisessa otannassa samoista tekijöistä kuin satunnaisotannassakin ja että riippuvuus noudattaa samaa, binomijakautumalle ominaista muotoa molemmissa tapauksissa (vrt. Nyyssönen ja Kilkki 1966). Graafisen tarkastelun tulokset vahvistivat olettamusta (kuva 11). Näytetaimiston pääositteille saatiin seuraavat regressioyhtälöt:

Osoite	Regressioyhtälö ja selitysaste (R^2)	
Elävät männyt, 1 252 kpl/ha	$\hat{y} = 0{,}052\ X_1^{0{,}700}\ X_2^{0{,}393}$	(9)
	$R^2 = 0{,}867$	
Koivut, 2 346 kpl/ha	$\hat{y} = 0{,}039\ X_1^{0{,}814}\ X_2^{0{,}413}$	(10)
	$R^2 = 0{,}884$	
Männyt + koivut, 3 598 kpl/ha	$\hat{y} = 0{,}046\ X_1^{0{,}818}\ X_2^{0{,}376}$	(11)
	$R^2 = 0{,}947$	

Yhtälöissä $\hat{y}$ = nollaruutuprosentin keskivirhe, % -yksikköä
X_1 = koealaväli, m — $\sqrt{\text{koealan koko, m}^2}$
X_2 = nollaruutusadannes × taimettumissadannes

Tilajärjestys vaikutti nollaruutusadanneksen keskivirheeseen. Erot olivat kuitenkin suhteellisen pieniä. Selitysasteiden erot johtuivat pääasiassa siitä, että yhtälöt laskettiin erisuuruisilla nollaruutusadanneksilla.



Kuva 11. Kokeellisesti systemaattiselle otannalle saadun nollaruutusadanneksen keskivirheen riippuvuus nollaruutusadanneksen odotusarvosta (100p sys) verrattuna binomijakautuman mukaiseen riippuvuuteen (yhtenäinen viiva). Koealakoot: 4, 6, 10 ja 25 m². n = koealojen lukumäärä. Ositteet: 1—5 ks. kuva 2.

Figure 11. Dependence of the standard deviation of the zero-plot percentage, obtained experimentally with systematic sampling, on the expected value of the zero-plot percentage (100p sys) compared to the binomial distribution (full line). Plot sizes: 4, 6, 10 and 25 m². n = number of sample plots. Strata: 1—5 see Figure 2.

Kokeellisesti saatuja otantavirheitä verrattiin teoreettisiin likiarvoihin. Systemaattiseen otantaan äärellisestä perusjoukosta liittyvä todennäköisyys muistuttaa hypergeometrista todennäköisyyttä, jossa tapahtuman todennäköisyys muuttuu jatkuvasti. Nollaruutusadanneksen hypergeometrinen keskivirhe saadaan kaavasta:

$$\sigma^2_{100\,p} = \frac{100\,\pi\,(100 - 100\,\pi)}{n}\left(\frac{N-n}{N-1}\right) \qquad (12)$$

jossa $\sigma_{100\,p}$ = prosenttiluvun keskivirhe
π = »suotuisan» tapauksen suhdeluku
n = otokseen poimittujen yksiköiden lukumäärä
N = otosyksiköiden kokonaislukumäärä perusjoukossa

Perusjoukon kasvaessa hypergeometrinen todennäköisyys lähenee tässä tapauksessa yleistä binomitodennäköisyyttä. Systemaattisen otannan keskivirhe oli yleensä jonkin verran hypergeometrista arvoa pienempi (kuva 12). Ero säilyi suurillakin koealamäärillä eivätkä eri ositteet poikenneet tässä suhteessa ratkaisevasti toisistaan. Taimien lukumäärissä varmoja eroja puoleen tai toiseen kokeellisten ja teoreettisten arvojen välillä ei voitu osoittaa.

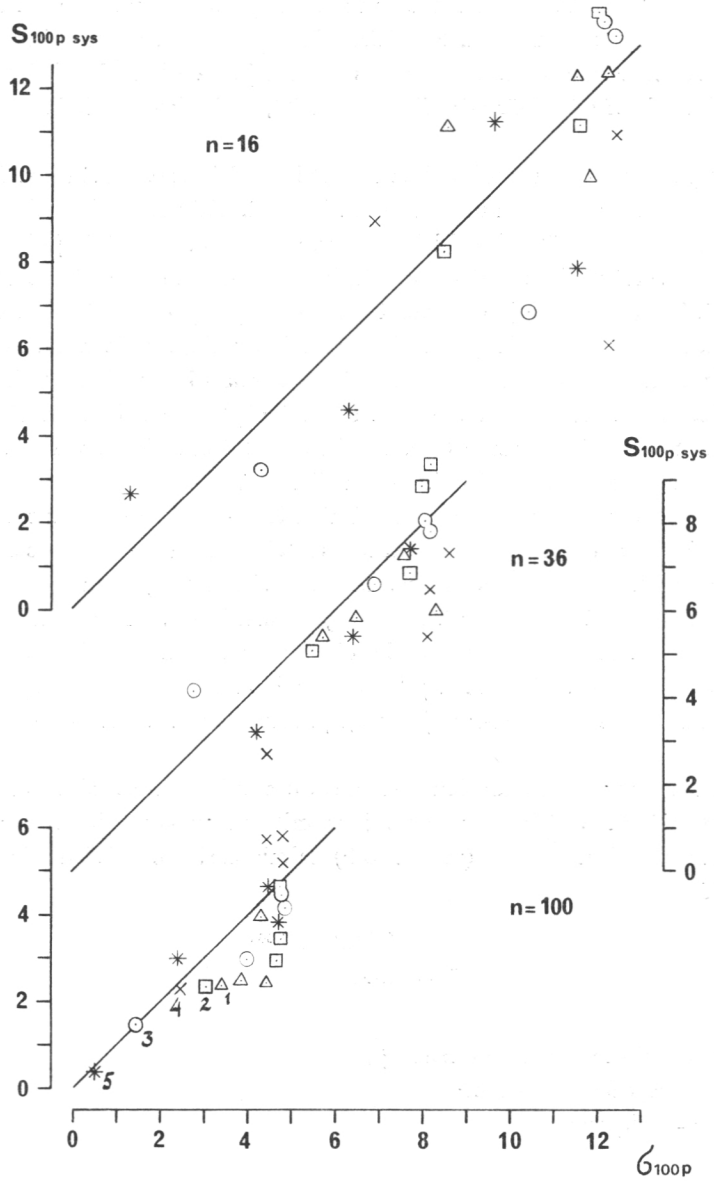
Ryväsotanta

Vertailun vuoksi poimittiin joitakin toistoja myös ryväsotannalle samaan tapaan kuin tasaväliselle otannallekin (taulukko 2). Ryväskoko pidettiin vakiona, 25 koealaa, ja rypäät sijoitettiin systemaattisesti koko näytealalle siten, että mittauksen lähtökohta alueen reunasta arvottiin ja rypäiden paikat määrättiin tietyin kiintein linja- ja ryväsvälein (vrt. Yli-Vakkuri ym. 1969). Verrattuna tasaväliseen otantaan ryväsotannan keskivirhe oli 50 koealan otoksissa yleensä suurempi. Ero oli suurin koivuositteessa ja pienin elävien mäntyjen ositteessa. Siirryttäessä 100 koealan otoksiin tasavälisen ja ryväsotannan keskivirheet saatiin likimain yhtäsuuriksi.

5. MITTAUSVIRHE

51. Taimien luku ja luokittelu

Mittausvirhettä tutkittiin vain elävien mäntyjen ositteessa, jossa rajatapaukset eivät olleet niin tulkinnanvaraisia kuin muissa ositteissa. Taimien luvussa tehty kokonaisvirhe osoittautui huomattavan suureksi, mutta koealojen väliset virheet olivat niin erisuuntaisia, että systemaattiset virheet jäivät keskimäärin verrattain pieniksi (taulukko 3). Koehenkilö A luki johdonmukaisesti liian vähän taimia, muilla koehenkilöillä systemaattisten virheiden suunta vaihteli. Lukuunottamatta koehenkilö A:n



Kuva 12. Kokeellisesti systemaattiselle otannalle saatu nollaruutusadanneksen keskivirhe (S_{100_p} sys) verrattuna hypergeometrisen jakauman keskivirheeseen (σ_{100_p}). Koealakoot: 4, 6, 10 ja 25 m². Ositteet: 1—5 ks. kuva 2.

Figure 12. Standard deviation (S_{100_p} sys) of the zero-plot percentage obtained experimentally with systematic sampling as compared to the standard deviation (σ_{100_p}) of the hypergeometrical distribution. Plot sizes: 4, 6, 10 and 25 m². Strata: 1—5 see Figure 2.

6 m²:n koealalla tekemää poikkeuksellisen suurta systemaattista virhettä lukuvirheet pienensivät nollaruutusadannesta. Sellaisissakin tapauksissa, joissa taimia oli jätetty melkoisesti lukematta, nollaruutusadannes saattoi jäädä liian pieneksi tai olla virheetön. Lukuvirheet näyttivät siis riippuvan siitä, paljonko koealalla kulloinkin oli taimia.

Taulukossa 4 maastoinventoinneissa tehdyt lukuvirheet esitetään koealan koon ja koealan tarkistetun taimiluvun mukaan ryhmiteltynä. Vaikka aineisto oli tällaista tarkastelua varten melko epätasaisesti jakautunut, koealan taimimäärän ja lukuvirheiden riippuvuus tuli selvästi ilmi: mitä enemmän koealalla oli taimia, sitä enemmän tehtiin lukuvirheitä. Tyhjien koealojen kyseessä ollen esiintyi pyrkimystä lukea taimia koealan ulkopuolelta ja koealoilla, joilla oli useampia taimia, taimia unohtui lukematta. Systemaattiset virheet viittasivat siihen, että koealakoon ja koealan taimimäärän kesken olisi lisäksi yhteisvaikutusta. Suurta sädettä käytettäessä luettiin vähätaimisilla koealoilla suhteellisesti enemmän taimia kuin käytettäessä pientä sädettä. Asian tarkempaan testaukseen aineisto ei kuitenkaan riittänyt.

Lukuvirheiden riippuvuus koealan taimien lukumäärästä osoittautui jokseenkin suoraviivaiseksi (kuva 13). Paitsi absoluuttisesti, virheet kasvoivat myös suhteellisesti koealan taimien lukumäärän kasvaessa. Subjektiivisten tekijöiden merkitystä lukuvirheiden syntymisessä korosti vielä se, että systemaattinen virhe oli tyhjien koealojen kohdalla keskimäärin hieman suurempi kuin yhden taimen koealoilla. Nollaruutumenetelmässä, jossa koeala luetaan joko tyhjäksi tai taimettuneeksi, systemaattinen lukuvirhe minimoitui koealakoolla, jossa tyhjän koealan todennäköisyys oli 0,3—0,4 (kuva 13).

Lukuvirheen riippuvuus koealan koosta osoittautui samankaltaiseksi kuin otantavirheessäkin. Käyttämällä laskennan pohjana mittauksen keskivirheitä, joissa systemaattinen virhe ei ollut mukana (taulukko 3), taimimäärien keskivirheelle saatiin seuraava yhtälö:

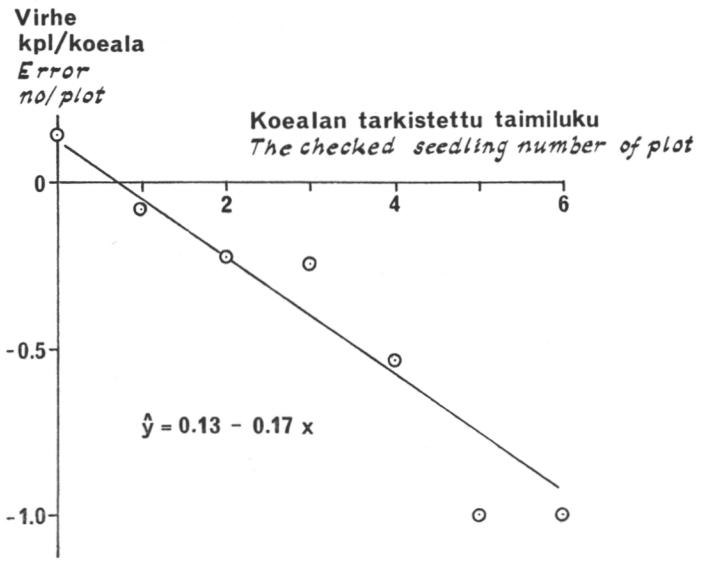
$$\hat{y} = 194{,}29\ X^{-0{,}667} \qquad (13)$$
$$R^2 = 0{,}830$$

jossa $\hat{y}$ = mittauksen keskivirhe, %
X = koealan koko, m²
R^2 = selitysaste

Vastaavasti nollaruutuprosentissa mittausvirheen yhtälöksi tuli:

$$\hat{y} = 0{,}0000482\ X^{1{,}73} \qquad (14)$$
$$R^2 = 0{,}658$$

jossa $\hat{y}$ = mittauksen keskivirhe, %-yksikköä
X = nollaruutusadannes × taimettumissadannes



Kuva 13. Systemaattisten lukuvirheiden riippuvuus koealan taimiluvusta näytetaimiston elävien mäntyjen ositteessa.

Figure 13. Dependence of systematic counting errors on number of seedlings in the stratum of living pines.

Havaintoja riippuvuuden määrittämiseen oli vähän, mutta malli selitti kuitenkin vaihtelua tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Ääritapauksissa myös koealan absoluuttisella koolla on vaimaankin merkitystä, mutta käytännössä kysymykseen tulevilla koealoilla mallissa tehty yleistys lienee pätevä.

Verrattaessa koehenkilöiden elävien mäntyjen ositteessa tekemää taimien kasvatuskelpoisuusluokitusta tarkistusmittauksessa tehtyyn luokitukseen osoittautui, että kasvatuskelpoisuuskriteeri oli koehenkilöiden suorittamissa arvioinneissa paljon väljempi kuin tarkistusmittauksessa. Kehityskelpoisiksi luokiteltiin elävistä männyistä maastoinventoinneissa keskimäärin n. 90 %, tarkistusmittauksessa n. 70 %. Sanottavia eroja koehenkilöiden tai koealakokojen kesken ei ollut.

Suhtautuminen koivuihin vaihteli paljon sekä koehenkilön että koealakoon mukaan (taulukko 5). Ohjeena oli lukea vain kehityskelpoisiksi katsottuja koivuja korvaukseksi männyn taimien puuttumisesta. 4:n ja 6 m²:n koealoilla edellytettiin tällöin löytyvän yksi, 10 m²:n koealoilta kaksi ja 25 m²:n koealoilta yhteensä kuusi kehityskelpoista tainta. Taimien keskinäisistä etäisyyksistä 10:n ja 25 m²:n koealoilla ei asetettu tarkkoja ehtoja, vaan kysymys jätettiin kunkin koehenkilön harkintaan. Vaikka luvut oikaistaisiin annettujen ohjetaimimäärien mukaisesti tarkasti toisiaan vastaaviksi, tulokseksi jää, että suurilla koealoilla hyväksyttiin koivuja vähemmän kuin pienillä koealoilla. Kysymys oli ilmeisesti samantapaisesta lukuvirheestä kuin

mäntyositteessakin koealoilla, joilla oli paljon taimia. Koehenkilö B, jonka todettiin lukeneen männyt kaikkein taikimmin, hyväksyi koivuja mäntyjen täydennykseksi selvästi vähemmän kuin muut.

52. Koealojen sijoittelu

Koehenkilöiden maastossa mittaamat koealat merkittiin koordinaatistoon tasolle (luku 2), jonka jälkeen voitiin tutkia koealojen sijoittelua. Askelin mitattu koealaväli oli yleensä noin metrin ohjeväliä pitempi (taulukko 6). Keskihajonnat, jotka kuvaavat mittauksen tarkkuutta, olivat koealaväleihin verrattuina melko pieniä. 25 m:n ohjevälillä ja koehenkilö C:n kohdalla jo 16 m:n välillä keskihajonnat olivat suhteellisesti suurempia kuin 10:n ja 12 m:n väleillä. Tämä viittaa siihen, että mittausvirheet, jotka todennäköisimmin olivat askelten lukuvirheitä, kasvoivat voimakkaasti 25 m:n tienoilla. Yleensä koehenkilöiden väliset erot olivat pieniä.

Vastaavasti mitattiin tasolta poikkeamat suunnasta. Havainnollisuuden vuoksi poikkeama ilmaistiin koealavälin piirtämää ympyränkaarta vastaavana jänteenä, jolloin poikkeamat voitiin ilmaista pituusmittoina. Tarkistus koski yhtä koealaväliä kerrallaan. Poikkeamat olivat yleensä melko pieniä vaihdellen puolelta toiselle (taulukko 7). Systemaattinen virhe oli keskimäärin hyvin pieni. Kuten koealaväleissäkin, epätasaisinta työtä myös suunnanpidossa teki koehenkilö C. Koehenkilö B käytti suunnistamiseen bussolia, muut kompassia. Keskipoikkeama suunnasta oli B:n kohdalla pienin, systemaattinen poikkeama suurin.

Koealojen sijoittelussa havaituilla epätäsmällisyyksillä on merkitystä ennen kaikkea siinä tapauksessa, että ne aiheuttavat inventoinnin tuloksiin systemaattista virhettä. Tätä asiaa tutkittiin poimimalla tasolle piirretystä näytetaimistosta maastoinventointeja noudattelevia otoksia, joissa koealaväleittäin korjattiin etäisyyksissä ja suunnassa todetut virheet ja verrattiin näin saatuja tuloksia tarkistettuihin maastoinventointien tuloksiin (taulukko 8). Korjaukset koealaväleissä johtivat keskimäärin hieman suurempiin taimimääriin ja pienempiin nollaruutusadanneksiin kuin maastoinventointi, muut korjaukset vaikuttivat päinvastaiseen suuntaan. Mikään keskimääräinen poikkeama ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä, joten mitään yleistä suuntaa subjektiivisten tekijöiden vaikutuksesta koealojen sijoitteluun ei voitu osoittaa. Selviä eroja ei havaittu myöskään koehenkilöiden kesken. Suurilla koealoilla sijoittelusta johtuva virhe näytti olevan pienempi kuin pienillä koealoilla.

Tutkittaessa yksityiskohtaisemmin taulukossa 8 esitettyjä poikkeamia havaittiin koehenkilö A:n 6 m²:n koealalla poikenneen suunnasta »tilastollisesti merkitsevästi». Näytti siltä, että koehenkilö A olisi 6 m²:n koealoilla pyrkinyt sijoittamaan koealat aukkopaikkoihin. Samaan suuntaan suuntavirheet vaikuttivat myös 10 m²:n koealoilla, jotka koehenkilö A poimi välittömästi 6 m²:n koealojen jälkeen, mutta muita tilastollisesti merkitseviä poikkeamia edellä mainitun lisäksi ei todettu.

Aiemmin todettiin koehenkilö A:n yleensä jättäneen taimia lukematta ja 6 m²:n koealoilla tämä lukuvirhe oli niin suuri, että se kumosi suuntavirheiden vaikutuksen.

Koealojen rajaus ei nähtävästi ollut täsmällistä vaan taimien lukuun vaikutti myös koealojen ympäristö. Tutkittaessa yleisemmin koealojen sijoittelusta johtuvien poikkeamien ja lukuvirheiden korrelaatiota se osoittautui monessa tapauksessa merkitseväksi. Lasketut korrelaatiokertoimet vaihtelivat 0,05:stä 0,57:ään. Parhaiten korreloivat lukuvirheiden kanssa koealavälin korjauksista saadut poikkeamat.

Tutkitut koealat järjestettiin myös luku- ja sijoitteluvirheiden perusteella nelikenttiin sen mukaan, esiintyikö kyseisiä virheitä vai ei ja laskettiin riippumattomuushypoteesille X^2-arvoja. Koehenkilö A:n kohdalla hypoteesi voitiin hylätä kaikissa tapauksissa ja B:n kohdalla suuntavirheiden kyseessä ollen, kun taas C:n kohdalla se jäi voimaan kaikissa tapauksissa.

6. KOKONAISVIRHE

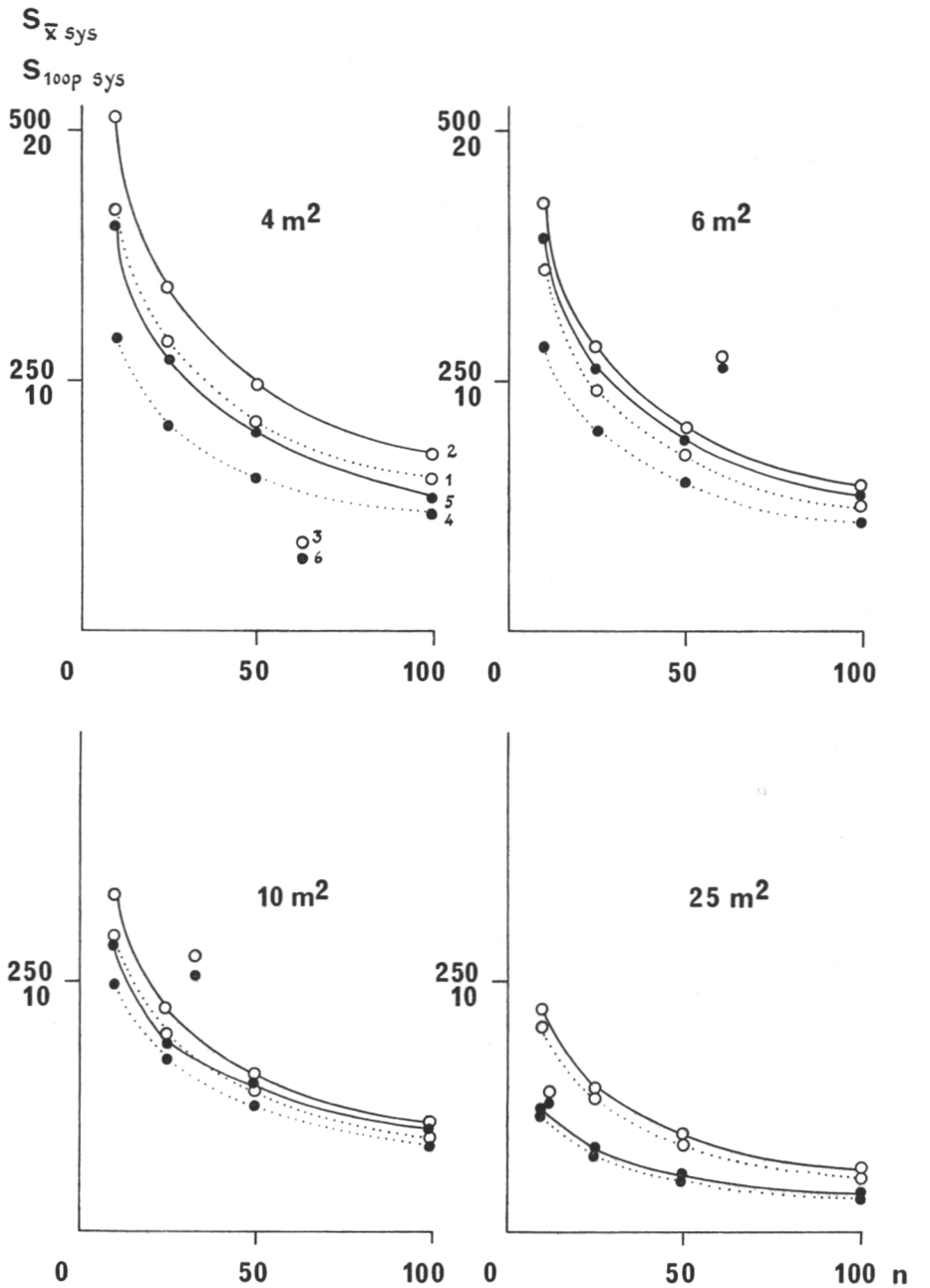
Kun eri virhelajit ovat toisistaan riippumattomia, teoreettinen arvioinnin kokonaisvirhe saadaan kaavasta:

$$S^2 = S_1^2 + S_2^2 + \ldots + S_n^2 \qquad (15)$$

jossa S = koko inventoinnin keskivirhe
$S_1 \ldots S_n$ = keskivirheet eri virhelähteistä

Taimiston inventoinnissa otantavirhe ja taimien lukuvirhe muodostavat kaksi erillistä virhekomponenttia, joiden voisi olettaa aina täyttävän riippumattomuusehdon. Kuten edellä on todettu, käytännön inventoinneissa lukuvirheisiin saattaa kuitenkin joskus vaikuttaa koealojen ympäristö, jolloin siis luku- ja otantavirhekin joutuvat vuorosuhteeseen. Koealojen sijoitteluvirhe edustaa vielä vaikeammin hallittavaa virhelähdettä, joka sekoittuu määrittelemättömällä tavalla otantavirheeseen ja joka ilmeisesti vielä vaihtelee mieskohtaisesti. Jos koealojen sijoittelusta johtuvat koehenkilökohtaiset systemaattiset virheet ovat todellisia, tätä virhettä voidaan pienentää vain lisäämällä inventoijien lukumäärää.

Kuvassa 14 verrataan inventoinnin teoreettista kokonaisvirhettä ilman koealojen sijoitteluvirhettä otantavirheeseen. Paitsi että eri virhelajit ovat toisistaan riippumattomia kokonaisvirhettä laskettaessa oletettiin, että taimien lukuvirhe pienenee koealojen lukumäärän kasvaessa satunnaisuuden edellyttämällä tavalla. Varsinkin pienillä koealoilla lukuvirheet nostivat sekä taimimäärien että nollaruutusadanneksen kokonaisvirhettä huomattavasti. Kokonaisvirheen pienentäminen näyttäisi yleensä olevan helpompaa suurentamalla koealan kokoa kuin lisäämällä koealojen lukumäärää. Kumpi on tehokkaampaa, se voidaan lopullisesti ratkaista kuitenkin vasta kustannusvertailuilla.



Kuva 14. Inventoinnin kokonaisvirhe (yhtälöistä 6, 9, 13 ja 14) ilman koealojen sijoitteluvirhettä verrattuna puhtaaseen otantavirheeseen eri suuruisilla otoksilla näytetaimiston elävien mäntyjen ositteessa. $S_{\bar{x}}$ sys = taimimäärien keskiarvon keskivirhe, S_{100_p} sys = nollaruutusadanneksen keskivirhe. Virhelajit: 1 = otantavirhe $S_{\bar{x}}$ sys, 2 = kokonaisvirhe $S_{\bar{x}}$ sys, 3 = maastoinventointien tuloksista laskettu kokonaisvirhe, 4 = otantavirhe S_{100_p} sys, 5 = kokonaisvirhe S_{100_p} sys, 6 = maastoinventointien tuloksista laskettu S_{100_p} sys. n = koealojen lukumäärä tasavälisessä systemaattisessa otannassa.

Figure 14. Total error of the survey (from equations 6, 9, 13 and 14) without the error of locating plots compared to the pure sampling error with samples of various sizes in the stratum of living pines in the sample stand. $S_{\bar{x}}$ *sys = standard deviation of the mean of number of seedlings,* S_{100_p} *sys = standard deviation of the zero-plot percentage. Types of error: 1 = sampling error* $S_{\bar{x}}$ *sys, 2 = total error* $S_{\bar{x}}$ *sys, 3 = total error calculated from the field surveys, 4 = sampling error* S_{100_p} *sys, 5 = total error* S_{100_p} *sys, 6 =* S_{100_p} *sys calculated from the field surveys, n = number of plots in systematic sampling.*

Kun maastoinventointien tuloksia verrataan perusjoukon tarkkoihin tunnuslukuihin, saadaan kokonaispoikkeamat, johon sisältyvät kaikki virhekomponentit (taulukko 9). Maastoinventointien keskimääräinen tulos osui hyvin lähelle tarkassa mittauksessa saatua tulosta, mutta koehenkilö- ja menetelmäkohtaisesti esiintyi suuriakin poikkeamia tarkoista arvoista sekä taimimäärissä että nollaruutusadanneksissa. Koehenkilö A:n lukemat taimimäärät olivat keskimäärin huomattavasti pienempiä kuin muiden, mutta tilastollisesti merkitseviä erot eivät lopputuloksissa kuitenkaan olleet. Myöskään koealakokojen väliset poikkeamat eivät olleet tilastollisesti merkitseviä — lukuunottamatta tietenkään nollaruutusadannesten eroja. Inventoinnin kokonaisvirhe ei todellisuudessa noussut aivan niin suureksi, kuin mitä teoreettisesti saattoi olettaa.

7. TULOSTEN YHDISTELEVÄÄ TARKASTELUA

Systemaattisten otantamenetelmien, joita taimistojen inventoinneissa yleisimmin käytetään, otantavirheen määrittäminen teoreettista tietä edellyttää, että perusjoukon rakenne tunnetaan. Tässä tutkimuksessa näytetaimiston tilajärjestystä testattiin satunnaisesta pisteestä lähimpään taimeen mitatun etäisyyden ja havainnoista koostetun vähenevän nollaruutudiagramman perusteella (C o x 1971). Viljellen perustetun mäntytaimiston harventuessa tilajärjestyksen havaittiin lähestyvän homogeenisesta suunnasta satunnaista (vrt. P e r s s o n 1964), mutta kuitenkin jatkuvasti poikkeavan siitä jonkin verran. Näytealalta mitattujen koivujen jakauma puolestaan poikkesi satunnaisesta erittäin selvästi ryhmittyneisyyden suuntaan. Luontaisesti syntyneiden taimien ryhmittyneisyys on aikaisemminkin todettu satunnaisjakauman ryhmittyneisyyttä selvästi suuremmaksi (esim. T i r é n 1950, Z l o b i n 1972). Käytännössä joudutaan viljelytaimistoissakin käsittelemään viljelytaimien ja luontaisesti syntyneiden taimien sekajakaumia, jotka ilmeisesti eivät koskaan noudata tarkasti mitään teoreettista jakaumaa. Kuinka yleistettäviä näytetaimistosta tehdyt havainnot ovat, siitä saadaan varmuus tutkimalla, missä rajoissa taimistojen tilajärjestys käytännössä vaihtelee.

Systemaattisten nollaruutu- ja sovelletun nollaruutumenetelmien otantavirhe määritettiin kokeilemalla. Kokeellisesti saaduissa tarkkuuksissa kiinnostaa erityisesti se, millä koealamäärillä otantavirheen pieneneminen ratkaisevasti hidastui. Tutkitussa näytetaimistossa taitepiste saavutettiin yleensä jo 30—50 koealalla. Koivuositteessa ja mäntyjen ja koivujen sekaositteessa taitepisteen saavuttaminen edellytti kuitenkin enemmän koealoja silloin, kun muuttujana olivat taimien lukumäärät ja kyseessä pienet koealat. Yleisesti ottaen taimien tilajärjestyksen erot vaikuttivat kuitenkin suhteellisen vähän otantavirheen suuruuteen. Tähän tulokseen on vielä syytä suhtautua varauksin, sillä esim. erikokoisten tyhjien koealojen sijainti toisiinsa nähden, jolla systemaattisessa otannassa on varmasti merkitystä, voi vaihdella hyvin monella

tavalla. Ongelmana ovat varsinkin hyvin suuret koealat, joilla tilajärjestystä kuvaava nollaruutudiagrammakin laskeutui epätasaisimmin (luku 3). Kuinka paljon koealoja kannattaa ottaa ja kuinka suuria koealoja käyttää, voidaan ratkaista lopullisesti vasta kustannusvertailujen jälkeen.

Myös nollaruutumenetelmässä otantavirheen suuruus riippui paljon kulloisestakin nollaruudun todennäköisyydestä. Nollaruutusadanneksen kokeellisesti saatu hajonta noudatti binomijakaumalle tyypillistä muotoa, mutta kokeellisesti saadut arvot olivat yleensä teoreettisia, myös hypergeometrisiä arvoja alhaisempia. B r a a t h e n (1966) nollaruutusadanneksen hajonnasta esittämät tulokset sopivat suuruusluokaltaan hyvin yhteen nyt saatujen tulosten kanssa. B r a a t h e sai keskihajonnan keskiarvoksi 5 %-yksikköä aineistosta, jossa nollaruutusadannekset vaihtelivat 15—81 välillä ja koealojen määrä 25:n ja 100:n välillä. Nyt todettu keskihajonnan riippuvuus nollaruudun todennäköisyydestä jäi sen sijaan B r a a t h e n kokeissa epäselväksi.

Nollaruutumenetelmässä tarvitaan siis 50 %:n kohdalla paljon enemmän havaintoja kuin 0:n tai 100:n tuntumassa samaan %-yksiköissä ilmaistuun tarkkuuteen pääsemiseksi. Taimistojen tarkastuksissa yleisimmin käytetty 4 m²:n ympyränala vastaa systemaattisesti nelikulmioihin jakautunutta 2 500 tainta/ha, mikä hyvissä kasvuolosuhteissa lienee eräänlainen optimitavoite (vrt. V u o k i l a 1972). Minimimetsittymisvaatimus on yleensä paljon alhaisempi asettuen 4 m² koealakoolla esim. Pohjois-Suomessa 50:n nollaruutuprosentin tienoille (Taimistojen. . .). On selvää, että täydennys- tai uudelleenviljelypäätöksiin liittyviin riskeihin vaikuttaa se, mille kohdalle prosenttiasteikkoa toimenpideraja sovitetaan, ts. kuinka suuria koealoja käytetään. Tehokkaimman koealakoon ratkaisemiseksi olisi tunnettava paitsi inventointikustannukset myös täydennys- tai uudelleenviljelykustannukset ja taimiston aukkoisuudesta johtuvat tuottotappiot. Jos nollaruutumenetelmällä halutaan selvittää vain, kuuluuko taimisto hyväksyttäviin vai hylättäviin, inventointi luultavasti saataisiin tarkemmaksi ja tehokkaammaksi määräämällä koeympyrän säde vastaamaan kulloistakin minimivaatimusta. Inventoinnissa on ehkä mahdollista päästä — tämä riippuu siitä, miten nollaruudut taimistoissa yleensä esiintyvät — sekvenssimenettelyyn: hylätään tai hyväksytään jo pienillä koealamäärillä selvät tapaukset ja otetaan enemmän havaintoja epäselvissä tapauksissa. Jos inventoinnilla pyritään myös taimiston kartoitukseen, sekvenssiotanta ei tule kysymykseen. Koealan koko lienee tällöin paras sovittaa vastaamaan tavoiteltua optimitiheyttä ja tilajärjestystä. Mikä on taimiston optimitiheys ja tilajärjestys, on metsänkasvatuksen perimmäisiä kysymyksiä, johon ei ole yksioikoista vastausta.

Ryväsotannasta saadut tulokset vastasivat hyvin tästä menetelmästä esitettyjä käsityksiä. Silloin kun rypäiden sisäinen vaihtelu väliseen verrattuna on suuri, kuten tutkitun näytetaimiston mäntyositteessa, ryväsotanta näyttää hyvin käyttökelpoiselta (S e p p ä l ä 1967). Rypäiden sisäinen linja- ja koealaväli sekä toisaalta rypäiden väli pitäisi sovittaa mainitun periaatteen mukaisesti. Kokeessa käytetty näytetaimisto oli alaltaan niin pieni, että ryväsotantaa ei siinä voinut perusteellisesti tutkia. Voidaan olettaa, että ryväsotannan edut tulevat esille nimenomaan suurilla alueilla. Menetelmän

edullisuudenhan ratkaisevat viime kädessä tehokkuusnäkökohdat. Jakamalla koealat tasaisesti koko tutkittavalle alueelle saadaan luonnollisesti aina luotettavampia tuloksia kuin keskittämällä koealat rypäisiin, mutta koealan kulussa saavutettu säästö saattaa ryväsotannassa joskus olla suurempi kuin tulosten tarkkuuden huononemisesta aiheutuva menetys.

Mittausvirheet osoittautuivat huomattavaksi potentiaaliseksi virhelähteeksi sekä varsinaisessa että sovelletussa nollaruutumenetelmässä. Taimien lukuvirheissä havaittiin systemaattisuutta siten, että koealoilla, joilla oli paljon taimia, jätettiin lukematta ja tyhjillä koealoilla pyrittiin lukemaan taimia koealan ulkopuolelta. Paitsi koealan taimien lukumäärä myös koealan absoluuttinen koko vaikuttaa ainakin ääritapauksissa lukuvirheisiin. Lopputuloksissa systemaattiset virheet jäivät yleensä suhteellisen pieniksi, joskin tässä suhteessa oli koehenkilöiden kesken eroja. Nollaruutumenetelmässä systemaattisten virheiden minimoimiseksi kannattaisi ilmeisesti pyrkiä koealakokoon, jossa tyhjän koealan todennäköisyys on 0,3—0,4.

Systemaattisia ja myös satunnaisia lukuvirheitä voidaan pienentää sekä kenttähenkilökunnan koulutuksella että kehittämällä menetelmien tekniikkaa. Koulutuksessa olisi kiinnitettävä huomio nimenomaan systemaattisten virheiden eliminoimiseen. Koealan rajaus saadaan tarkemmaksi merkitsemällä koealan keskipiste täsmällisesti maahan ennen koealan mittausta. Koealan rajaukseen käytettävään mittatankoon esimerkiksi on helppo yhdistää koealan keskipisteen merkitsemiseen soveltuva tikku. Myös koealojen sijoittelussa havaittiin subjektiivisuutta, joka epäilemättä lisää tuloksien virhevarianssia ja saattaa aiheuttaa systemaattisiakin virheitä (vrt. K o i v i s t o 1965). Sijoittelusta aiheutuvan virheen täsmällistä suuruutta on kuitenkin vaikea määritellä. Tähänkin virhelähteeseen voidaan vaikuttaa inventoinnin suorittajien esikoulutuksella.

Erittäin suuri virhemahdollisuus sisältyy taimien kasvatuskelpoisuuden luokitteluun, jossa joudutaan ratkaisemaan paitsi taimien terveydentilaa ja tilajärjestystä koskevia kysymyksiä myös eri puulajien soveltuvuus erilaisille kasvupaikoille. Rajanveto jää tarkassakin mittauksessa harkinnanvaraiseksi, vaikka esim. taimissa esiintyvien tuhojen yksilöinti ja niiden vaikutuksen arviointi on asiantuntijan tekemänä tietysti luotettavampaa kuin harjaantumattoman tekemänä. Pelkästään kenttähenkilökunnan koulutuksella tätä virhelähdettä ei voida poistaa, vaan siihen tarvitaan myös lisää tutkimuksiin pohjautuvaa tietoa erikuntoisten taimistojen myöhemmästä kehityksestä samoin kuin eri puulajien tuotoksesta erilaisilla kasvupaikoilla.

KIRJALLISUUS

BRAATHE, P. 1953. Undersøkelser over utviklingen av glissen gjenvekst av gran. Summary: Investigations concerning the development of Norway spruce regeneration which is irregularly spaced and of varying density. Medd. Norske Skogforsøksv. 42 (2): 209—301.

—»— 1966. Registering av gjenvekst 1962—64. Summary: Survey of forest regeneration 1962—64. Medd. Norske Skogforsøksv. 79 (2): 81—170.

CLARK, P. J. & EVANS, F. C. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35: 445—453.

COX, F. 1971. Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst- und Holzwirtsch., Reinbek b. Hamburg. 87: 1—184.

ENEROTH, O. 1945. Om frömängden vid fläcksådd samt om sambandet mellan plantantal pr ha och slutenhetsgrad vid självsådd. Norrl. Skogsvårdförb. Tidskr. 1945: 161—222.

ETHOLÉN, K. 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Folia For. 160: 1—27.

FORSNER, B. & LUHR, 1962. Återväxttaxering enligt linjetaxeringsprincipen. Svenska Skogsv. Fören. Tidskr. 60 (4): 391—402.

HEINSTEDT, D. 1953. Taxering av naturliga föryngringar. Norrl. Skogsv. Förb. Tidskr. 1953 (2): 317—333.

KALLIO, K. 1965. Valtion metsien uudistusalojen inventoinnin tuloksia. Metsätal. aikakauslehti 82: 121—126.

KOIVISTO, P. 1965. On the systematic error in basal area caused by digression from the survey line. Selostus: Arvioimislinjan polveilun aiheuttama systemaattinen virhe pohjapinta-alassa. Commun. Inst. For. Fenn. 60 (5): 1—11.

LOETSCH, F. 1973. Prüfung von Vertailungart und Dichte der Verjüngung mit Hilfe des Nullflächendiagramms. Forstarchiv 44: 77—83.

—»—, ZÖHRER, F. & HALLER, K. E. 1973. Forest Inventory 2. 469. München. BLV.

LOWDERMILK, W. C. 1921. A unit of area as unit of restocking. U.S. For. Serv. Miss. Mont. For. Notes 17: 1—3.

MÄLKÖNEN, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Selostus: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (5): 1—87.

NERSTEN, S. 1962. Noen økonomiske beregninger over glissen gjenvekst av gran og et forsøk på beregning av optimal planteavstand. Summary: Some economic calculations on scattered natural regenerations of spruce and an attempt to estimate optimum plant spacing. Medd. Norske Skogforsøksv. 62 (2): 363—428.

NYYSSÖNEN, A. 1955. On the estimation of the growing stock from aerial photographs. Seloste: Puuston arvioimisesta ilmakuvien avulla. Commun. Inst. For. Fenn. 46 (1): 1—57.

—»— & KILKKI, P. 1966. Estimation of strata areas in forest survey. Acta For. Fenn. 81 (3): 1—28.

—»—, KILKKI, P., MIKKOLA, E. 1967. On the precision of some methods of forest inventory. Seloste: Eräiden metsänarvioimismenetelmien tarkkuudesta. Acta For. Fenn. 81 (4): 1—60.

PERSSON, O. 1964. Distance methods. Stud. For. Suec. 15: 1—68.

—»— 1973. On forest regeneration surveys. 22. IUFRO 4th Conference of the Advisory Group of Forest Statisticians Vancouver, August 1973.

SEPPÄLÄ, R. 1967. Systemaattisesta ryväsotannasta ja sen käytöstä hakkuupoistuman määrityksessä. Konekirjoite Helsingin yliopiston tilastotieteen laitoksessa.

SIRÉN, G. 1952. Havaintoja Perä-Pohjolan valtion mailla 1948—1950 suoritetuista männyn kylvöistä. Summary: Observations on pine sowings on state-owned land in Peräpohjola (Far Nort) in 1948—1950. Silva Fenn. 78: 1—40.

STRAND, L. 1954. Mål for fordelingen av individer over ett område. Summary: A measure of the distribution of individuals over a certain area. Medd. Norske Skogforsøksv. 42 (2): 191—207.

Taimistojen tarkastusmenetelmä. Keskusmetsäseura Tapio. Moniste.

TIRÉN, L. 1950. Om den naturliga föryngringen på obrända hyggen in norrländsk granskog. Summary: On natural regeneration in unburnt cutting areas in Norrland spruce forests. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 38 (9): 1—210.

VUOKILA, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia For. 141: 1—36.

ZLOBIN, Y. A. 1972. Chislennost i razmeshchenie podrosta na ploshchadyakh vozobhovleniya (Suomennos: K. ETHOLÉN). Summary: The number and distribution of young trees on sampling areas. Bot. Zh. 6: 632—643.

YLI-VAKKURI, P., RÄSÄNEN, P. K. & SOLIN, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 2: 1—92.

5 127707835K

SUMMARY

The accuracy of two methods of regeneration survey was investigated: the zero-plot method where a plot is classified either as stocked or unstocked and the modified zero-plot method where, in addition, all seedlings capable of development are counted. In practice one usually has to rely on systematic sampling methods, the sampling error of which can be estimated theoretically only if the spatial distribution of the seedlings is random (Poisson), homogeneous or in general any accurately definable distribution. The spatial distribution of a sampled seedling stand, mapped with 1 dm^2 accuracy, was tested by the distance to the nearest seedling from a randomly chosen point and by a decreasing zero-plot diagram compiled from the observations. The spatial distribution of a stand planted on a prescribed-burned area was found to approach a random distribution from the homogeneous side but constantly to differ from it sovewhat (Figures 1—3). The spatial distribution of naturally regenerated birch clearly differed from the random towards a clustered distribution.

The error of systematic sampling methods was studied by choosing samples of varying sizes by computor from the mapped seedling stand. The zero-plot percentage, stocking percentage and number of seedlings were used as criterion variables (Table 1). The sampling errors were rapidly reduced up to 30—50 plot samples but less rapidly after that (Figures 9—10). For strata of birch and of a mixture of birch and pine, reaching the point at which the sampling error levelled off required more plots when the variables were numbers of seedlings and the plots were small. In the zero-plot method the sampling error was much dependent on the probability of zero-plots. The sampling error then followed values typical for binomial distribution (Figure 3), but was usually smaller than the values required for both binomial and hypergeometrical distributions (Figures 11—12).

For the mathematical smoothing of the sampling error a product model was used (Equation 5), where the dependent variable was the standard error of the mean or the zero-plot percentage, and the independent variables were the plot distance reduced by the square root of plot area and the plot area. In the zero-plot method using the binomial distribution as the pattern the plot area was substituted for by the product of the expected values of the percentages of zero plots and stocked plots. The equations for the standard errors of the means for the number of seedlings in the pine (6), birch (7) and pine-birch mixture (8) strata became fairly similar. The differences were also fairly small for the equations for the standard error of the zero-plot percentage (9—11).

The preliminary results of cluster sampling corresponded well with the opinions expressed on this method (Table 2). When the variation within clusters is large compared to the variation between clusters, as in the studied pine stratum, cluster sampling may be more efficient than equidistant sampling.

Measurement errors were studied in the same stand as were the sampling errors. Before mapping the stand, three investigators made independent inventories of the stand using common methods and sample plots of different sizes. The inventories were made by a one-man method where the line is held by a compass, the distances between lines and plots are paced, and the plot is delineated with a stick equal to the radius. When the sample stand was mapped, the coordinates of the marked centers of all plots were determined, and the numbers of seedlings on all plots were checked. The coordinates of the seedlings and plots were marked on millimeter paper with a scale of 1: 100. Thus it was easy to measure variation in line- and plot distances and crookedness of the line.

Measurement errors formed a considerable potential source of error both in the normal and modified zero-plot methods. Systematic errors in counting seedlings were found such that on well-stocked plots saplings were overlooked, and on empty plots seedlings outside it tended to be counted (Figure 13). The systematic errors became fairly small in the final results, but this differed among investigators (Table 3). For the random components of the counting errors regression equations (13—14) were formed in the same manner as for the sampling errors. By assuming sampling and counting errors to be independent, the total error of the survey could be calculated (Figure 14).

Subjectivity in choosing plot locations was also found. This undoubtedly increases the error variance of the results and may even cause systematic errors (Tables 6—8). The accurate definition of the error caused by choosing the plot location was, however, difficult to formulate.

The classification of capability of development of seedlings provides a great possibility for errors. Here one must solve not only problems related to health and spacing but also how well the species is adjusted to the various sites. The investigators' opinions on the development capability of the birch seedlings on the sample stand varied considerably, and the opinion seemed also to be influenced by plot size (Table 5). This possibility for errors cannot be eliminated merely by training the personnel. More information based on research is needed concerning the future development of seedling stands of various conditions and concerning growth of different species on varying sites.

The efficiency of various inventory methods can be compared reliably when studies on labor input and costs also have been made.

TAULUKOT
TABLES

Taulukko 1. Eri kokoisten tyhjien ympyräkoealojen suhteellinen osuus (%) näytetaimiston eri ositteissa.

Table 1. The relative proportion (%) of empty circle plots in strata of the sample stand.

Osite *Substand*	Koealan koko, m² *Plot area, m²*			
	4	6	10	25
Huonokuntoiset männyt, 372 kpl/ha — *Poor-condition pines 372 seedlings/ha*	86,5	80,5	69,1	44,7
Hyväkuntoiset männyt, 880 kpl/ha — *Vigorous 880 seedlings/ha*	67,8	54,9	39,6	13,7
Kaikki elävät männyt, 1 252 kpl/ha — *All live pines 1 252 seedlings/ha*	55,3	40,7	23,1	3,1
Koivut 2 346 kpl/ha — *Birches 2 346 seedlings/ha*	60,7	45,8	30,7	8,6
Männyt + koivut, 3 598 kpl/ha — *Pines + birches 3 598 seedlings/ha*	31,1	18,2	7,0	0,3

Taulukko 2. Näytetaimistosta kokeellisesti saadut taimimäärien ($S_{\bar{x}}$) ja nollaruutuprosenttien (S_{100p}) keskivirheet ryväsotannassa. Rypäässä 25 koealaa, rypään sisäinen linja- ja koealaväli 5 m, ryväsväli ja rypäiden välinen linjaväli 5 m.

Table 2. Standard deviations of numbers of seedlings ($S_{\bar{x}}$) and zero-plot percentages (S_{100p}) obtained experimentally from the sample stand by cluster sampling. 25 plots in the cluster, internal line and plot distance 5 m in the cluster, distance between lines and clusters 5 m.

Otoksen koko ja osite *Sample size and stratum*	Koealan koko, m² *Plot area, m²*					
	4		6		10	
	$S_{\bar{x}}$	S_{100p}	$S_{\bar{x}}$	S_{100p}	$S_{\bar{x}}$	S_{100p}
50 koealaa — *50 plots*						
Elävät männyt, 1 252 kpl/ha — *Live pines, 1 252 seedlings/ha*	141	5,3	221	7,3	158	4,5
Koivut, 2 346 kpl/ha — *Birches, 2 346 seedlings/ha*	943	12,4	898	9,7	757	10,9
Männyt + koivut, 3 598 kpl/ha — *Pines + birches, 3 598 seedlings/ha*	864	7,6	843	5,5	739	3,3
100 koealaa — *100 plots*						
Elävät männyt, 1 252 kpl/ha — *Live pines, 1 252 seedlings/ha*	115	4,5	167	4,8	90	4,6
Koivut, 2 346 kpl/ha — *Birches, 2 346 seedlings/ha*	446	5,4	412	5,8	354	6,1
Männyt + koivut, 3 598 kpl/ha — *Pines + birches, 3 598 seedlings/ha*	439	3,0	473	4,2	333	2,7

Taulukko 3. Maastoinventoinneissa tehdyt taimien lukuvirheet näytetaimiston elävien mäntyjen ositteessa (1 252 kpl/ha).

Table 3. Counting error in the field surveys of the live-pine stratum (1 252 seedlings/ha) of the sample stand.

Koealan koko ja koehenkilö *Plot area and investigator*	Systemaattinen virhe *Systematic error*		Mittauksen keskivirhe *Standard error of estimate*			
			Systemaattinen virhe mukaanluettuna *Systematic error included*		Systemaattinen virhe poisluettuna *Systematic error excluded*	
	Taimia/ha *Seedlings/ha*	Nollaruutu % *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ha*	Nollaruutu % *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ha*	Nollaruutu % *Zeroplot %*
4 m²						
A	— 75	— 1,5	864	27,3	861	27,3
B	+ 83	— 3,3	791	3,6	787	31,4
C	—	— 1,7	1 208	46,5	1 208	46,5
6 m²						
A	—588	+14,7	1 246	45,4	1 099	43,0
B	+ 82	— 4,9	565	28,6	559	28,2
C	+ 98	— 7,8	700	34,3	693	33,4
10 m²						
A	—129	—	672	25,4	660	25,4
B	+111	— 2,7	408	16,7	393	16,5
C	— 30	— 3,0	461	17,4	460	17,1
25 m²						
A	— 57	..	338	..	333	..
B	—133	..	283	..	250	..
C	+ 36	..	270	..	268	..

Taulukko 4. Maastoinventoinneissa tehdyt keskimääräiset taimien lukuvirheet (kpl/koeala) koealan koon ja koealan tarkistetun taimiluvun mukaan ryhmiteltynä näytetaimiston elävien mäntyjen ositteessa.

Table 4. Average counting errors (seedlings/plot) made in the field surveys according to plot size and the checked number of seedlings on the plot in the live-pine stratum.

Koealan koko, m² *Plot area, m²*	Koealan tarkistettu taimiluku, kpl *Checked number of seedlings in the plot*													
	0		1		2		3		4		5		6	
	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*	Kokonaisvirhe *Total error*	Systemaattinen virhe *Systematic error*
4	0,12	+0,12	0,14	—0,14	0,56	—0,56								
6	0,19	+0,19	0,14	—0,10	0,70	—0,70	0,80	—0,80						
10	0,12	+0,12	0,12	—0,06	0,15	+0,15	0,42	—0,42	1,67	—1,67				
25					0,50	+0,25	0,33	+0,33	0,40	—0,20	1,00	—1,00	1,00	—1,00

Taulukko 5. Maastoinventoinneissa kasvatettavaksi hyväksyttyjen koivujen määrä (kpl/ha) näytetaimistossa.
Table 5. Number of birch seedlings/ha deemed capable of development in the field surveys of the sample stand.

Ympyräkoealan koko m² *Plot area, m²*	Koehenkilö *Investigator*			Keskimäärin *Mean*
	A	B	C	
4	893	417	833	714
6	320	114	592	342
10	475	24	569	356
25	640	50	94	261
Keskimäärin — *Mean*	582	151	522	418

Taulukko 6. Maastoinventoinneissa eri ohjevälejä vastaavat askelin mitatut koealojen keskietäisyydet (dm). Suluissa keskihajonnat.
Table 6. Mean distance (m) between plots (and its standard deviation) in the field surveys according to prescribed guides for pacing.

Ohjeväli, m *Guide for pacing, m*	Koehenkilö *Investigator*						Keskimäärin *Mean*	
	A		B		C			
10	10,1	(0,4)	11,4	(0,6)	11,1	(0,6)	10,9	(0,5)
12	12,7	(0,4)	13,3	(0,7)	13,3	(0,4)	13,1	(0,5)
16	16,9	(0,7)	17,1	(0,5)	17,4	(1,3)	17,1	(0,8)
25	27,8	(1,2)	25,8	(1,5)	26,5	(3,1)	26,7	(1,9)
Keskimäärin — *Mean*	16,9	(0,7)	16,9	(0,8)	17,1	(1,4)	17,0	(1,9)

Taulukko 7. Linjan ajossa havaitut poikkeamat suunnasta koealaväliä kohti poikkeaman kaarta vastaavien jänteiden pituuksina (dm) ilmaistuna.
Table 7. Observed deviations per plot from the line's direction measured as the residual lengths (dm) of the corresponding deviation curves.

Keskimäärin koealavälit, m *Average plot distances, m*	Koehenkilö *Investigator*									Keskimäärin *Mean*		
	A			B			C					
	Systemaattinen poikkeama *Systematic deviation*	Keskipoikkeama *Mean deviation*	(Keskihajonta) *(Standard deviation)*	Systemaattinen poikkeama *Systematic deviation*	Keskipoikkeama *Mean deviation*	(Keskihajonta) *(Standard deviation)*	Systemaattinen poikkeama *Systematic deviation*	Keskipoikkeama *Mean deviation*	(Keskihajonta) *(Standard deviation)*	Systemaattinen poikkeama *Systematic deviation*	Keskipoikkeama *Mean deviation*	(Keskihajonta) *(Standard deviation)*
10, 11, 11 ...	+0,7	5,0	(3,7)	+0,3	3,0	(4,4)	—0,1	5,2	(5,4)	+0,3	4,4	(4,5)
13, 13, 13 ...	+0,3	6,3	(7,6)	—2,4	7,1	(12,9)	—0,4	3,7	(3,3)	—0,8	5,7	(7,0)
17, 17, 17 ...	+2,0	6,0	(5,2)	+1,4	4,8	(6,9)	—1,4	7,3	(12,9)	+0,7	6,0	(8,3)
28, 26, 26 ...	—3,3	9,0	(8,1)	—5,3	8,4	(6,2)	+1,0	34,3	(39,0)	—2,5	17,2	(17,9)
Keskimäärin *Mean*	—0,8	6,6	(6,2)	—1,5	5,8	(7,6)	—0,2	12,6	(15,1)	—0,8	8,3	(9,6)

Taulukko 8. Maastoinventointeja noudattelevien otosten, joissa poikkeamat keskimääräisestä koealavälistä ja oikeasta suunnasta on korjattu, tulosten poikkeamat vastaavista maastoinventointien tarkistetuista tuloksista näytetaimiston elävien mäntyjen ositteessa.

Table 8. Deviations of the results of field survey samples from the corresponding checked field survey results in the live-pine stratum. In the unchecked field survey samples the deviation from the average plot distance and correct direction is corrected.

Koealan koko, m² *Plot area, m²*	Koehenkilö *Investigator* A		B		C		Keskimäärin *Mean*	
	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*
	Korjaus koealavälissä — *Corrected plot distance*							
4	+282	— 8,1	+ 98	— 2,0	+204	— 2,0	+195	— 4,0
6	—343	+11,9	—192	+ 5,8	—	— 4,8	—178	+ 4,3
10	+240	— 4,0	+100	— 3,3	+115	— 3,8	+152	— 3,7
25	+160	..	+ 44	..	—114	..	+ 30	..
Keskimäärin — *Mean*	+ 85	— 0,1	+ 13	— 0,2	+ 51	— 3,5	50	— 1,2
	Korjaus suunnassa — *Corrected line direction*							
4	+444	—11,3	+ 49	+ 3,9	—204	+ 4,1	+ 96	— 1,1
6	—508	+18,6	—128	+ 1,9	—198	+ 4,8	—278	+ 8,4
10	+120	+ 8,0	— 67	+ 3,3	+115	— 3,8	+ 56	+ 2,5
25	+160	..	— 89	..	—286	..	— 72	..
Keskimäärin — *Mean*	+ 54	+ 5,1	— 59	+ 3,0	—143	+ 1,7	— 49	+ 3,3
	Korjaus koealavälissä ja suunnassa — *Corrected plot distance and line direction*							
4	+403	— 9,7	— 49	+ 7,8	— 51	— 2,0	+101	— 1,3
6	—343	+13,6	—224	+ 5,8	— 79	+ 2,4	—216	+ 7,3
10	+ 40	+ 8,0	+133	— 3,3	+ 79	—	+ 83	— 1,6
25	+ 80	..	+133	..	—171	..	+ 14	..
Keskimäärin — *Mean*	+ 45	+ 4,0	— 2	+ 3,4	— 56	+ 0,1	— 4	+ 2,5

Taulukko 9. Maastoinventointien tulosten kokonaispoikkeamat tarkoista arvoista näytetaimiston elävien mäntyjen ositteessa (1 252 kpl/ha).

Table 9. Total deviations in the field surveys from the exact values in the live-pine stratum of the sample stand.

Koealan koko, m² *Plot area, m²*	Koehenkilö *Investigator* A		B		C		Keskimäärin *Mean*	
	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*	Taimia/ha *Seedlings/ ha*	Nolla-ruutu-% *Zeroplot %*
4	—149	+ 2,1	— 50	+ 4,0	+ 41	— 2,0	— 53	+ 1,4
6	—247	— 1,8	+387	—17,7	—108	+ 4,4	+ 11	— 5,0
10	—220	+12,4	+387	—12,0	+169	— 0,5	+112	— 0,0
25	+ 34	— 3,1	—120	+ 5,2	+204	+ 6,0	+ 39	+ 2,7
Keskimäärin — *Mean*	—146	+ 2,4	+151	— 5,1	+ 77	+ 2,0	+ 27	— 0,2

RUNOFF FROM OPEN PEATLANDS AS INFLUENCED BY DITCHING

I. Theoretical analysis

ERKKI AHTI

Seloste

METSÄOJITUKSEN VAIKUTUS AVOSUON VALUNTAAN

I. Teoreettinen analyysi

HELSINKI 1977

ODC 116.2:114.444
ISBN 951-40-0296-2
ISSN 0026-1610

AHTI, E. 1977. Runoff from open peatlands as influenced by ditching. I. Theoretical analysis. Seloste: Metsäojituksen vaikutus avosuon valuntaan. I. Teoreettinen analyysi. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (3): 1—16.

By using the variable spacing method, the influences of ditching on runoff from open peatlands are theoretically examined.

For two extreme runoff situations, simple hyperbolic models on the relationship between runoff and ditch spacing are constructed. It seems that no definite conclusions on the proportionality of runoff and spacing can be made on a theoretical basis. However, it is pointed out that empirical knowledge on the relationship between the two variables might be useful for prediction of the hydrological influences of ditching if short term data are analyzed.

Ojituksen vaikutusta avosuon valuntaan tarkasteltiin teoreettisesti käyttämällä sarkaleveyssarjamenetelmää. Kahta valunnan ääritapausta varten konstruoitiin valunnan ja sarkaleveyden välistä riippuvuutta kuvastavat yksinkertaiset mallit. Tarkastelun perusteella ei voitu tehdä yksiselitteisiä päätelmiä valunnan ja sarkaleveyden suhteesta todellisessa valuntatilanteessa. Tarkastelu osoitti kuitenkin, että valunnan ja sarkaleveyden välisen suhteen empiiristä tuntemusta voidaan hyödyntää arvioitaessa ojituksen hydrologisia vaikutuksia, mikäli arvio perustuu lyhyiden jaksojen havaintoihin.

ISBN 951-40-0296-2
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

INTRODUCTION 5

RELATIONSHIP BETWEEN HYDROLOGICAL EVENTS AND DITCH SPACING .. 7

General 7

Infiltration and ditch spacing 8

Evaporation and ditch spacing 9

Runoff and ditch spacing 10

DISCUSSION 13

REFERENCES 14

SELOSTE 16

INTRODUCTION

The influence of forest drainage on runoff has long been a disputed question. In the report of the Flood Committee (1939), appointed in Finland in 1936, it was stated that, in general, drainage activities have an accelerating effect on the discharge rate of drainage waters.

In 1938 the area drained for forestry was estimated to be about 600 000 ha. In 1977 the corresponding figure exceeds 4,5 million hectares. Accordingly, the importance of the question has gained weight.

The experimental results published in Finland are partly contradictory. Huikari (1959) and Huikari et al. (1966) have shown that summertime runoff increases with increasing drainage intensity. According to Mustonen and Seuna (1971; also Laikari and Mustonen 1961, Seuna 1974) maximum summer runoff averaged 131 % greater before drainage than after it.

The increase was accounted for the accelerating effect of the ditches on water flow. Additionally it was pointed out that during heavy summer rains the air space of the surface peat is rapidly filled even in drained areas. Consequently, the influence of infiltration seemed insignificant as regards the runoff peak.

In an experiment presented by Heikurainen (1976), runoff was recorded from two adjacent peatland areas, one of which had been drained for forestry 38 years earlier. It turned out that rain-induced runoff peaks were higher from the undrained area than from the drained one. During periods with little precipitation, greater runoff was recorded in the drained than in the undrained area. The runoff peak caused by snowmelt waters was higher and sharper in the undrained area (also Baden and Engelsmann 1964). The effects of drainage were accounted for increased water storage capacity, increased depth of runoff threshold, and increased interception and transpiration of the tree stand (also Heikurainen 1967, Heikurainen and Päivänen 1970). The results are supported by Multamäki (1962), Baden and Engelsmann (1964), and Schuch (1976).

In the experiments reviewed above, two basically different methods have been used. In (1) runoff is recorded before drainage and after it in the same area. The climatic variation is usually eliminated by simultaneous runoff recording in an adjacent control area (Mustonen and Seuna 1971). In method (2) used by the other research workers cited above runoff is recorded simultaneously in small adjacent areas with different treatments.

When studying the influence of drainage intensity on runoff, Huikari (1959) and Huikari et al. (1966) tried to assess the relationship between runoff and ditch spacing. Applying method (2) runoff was recorded in small adjacent peatland areas with different ditch spacings. The method called »variable spacing method» below can be used for making more general conclusions about the influences of drainage on runoff if the following assumption holds: *the effect of drainage on runoff is proportional to drainage intensity*. In this paper, the validity of the assumption is discussed.

RELATIONSHIP BETWEEN HYDROLOGICAL EVENTS AND DITCH SPACING

General

In Figure 1 the hydrological cycle of precipitation water in an area drained by open ditches is schematically presented. From precipitation (P) surface runoff (R_s), surface evaporation (E_s), and infiltration (I) is formed. Later, part of the infiltrated water (I_d) percolates down to the water table and part of it, eventually, flows to the ditches in the upper peat layers (R_a). The hydrological cycle is completed by deep runoff (R_d) and evaporation due to capillary rise from the water table (E_d).

Precipitation, i.e. the amount of water circulating, is likely to be independent of drainage measures. Consequently, the influence of drainage on runoff must be based on rearrangements among the other events of the hydrological cycle.

It is typical of peatlands that the water table is close to the soil surface. In Finnish conditions, 10 cm might be a representative figure for the average water table depth

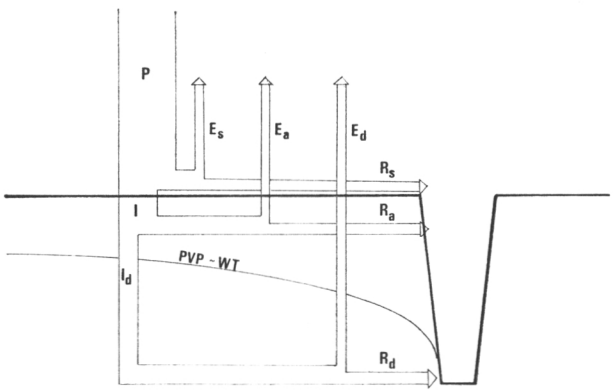


Figure 1. Precipitation (P), evaporation (E), infiltration (I), and runoff (R) as components of the hydrological cycle on peat land drained with open ditches. E_s = surface evaporation, E_a = surface layer evaporation, E_d = evaporation due to capillary rise, I_d = deep infiltration, R_s = surface runoff, R_a = surface layer runoff, R_d = deep runoff, WT = water table.

Kuva 1. Sadannan (P) jakautuminen haihduntaan (E), suodantaan (I) ja valuntaan (R) avo-ojitetulla suolla. PVP = pohjavesipinta.

before ditching. Accordingly, the hydrological cycle is dominated by evaporation from moist surface peat (Heikurainen 1963, Juusela et al. 1969). Because of small slope and lack of water-conducting channels, the influence of runoff on water table depth probably remains insignificant as compared with evaporation.

Ditching is accompanied by a drop of the water table by 10—40 cm (Multamäki 1936, Huikari 1959). The average evaporation rate is correspondingly decreased. This inevitably means that runoff increases on the average. Consequently, *a drop of the water table could be interpreted as a shift in the equilibrium between evaporation and runoff towards increasing runoff* (Mustonen and Seuna 1971).

Infiltration and ditch spacing

Theoretically, it can be imagined that the same peatland area is ditched by using alternative spacings: A. narrow spacing and B. large spacing. It is obvious then that there are no essential differences between the two alternative situations as regards average slope, physical properties of peat, vegetation, etc.

It has been experimentally shown by numerous scientists that average water table depth is inversely proportional to ditch spacing. It is evident, therefore, that air volume is greater in alternative A (narrow spacing) than in alternative B (cf. Heikurainen 1976). However, a greater water storage capacity does not imply greater infiltration rate. Amount and rate of precipitation are decisive as well.

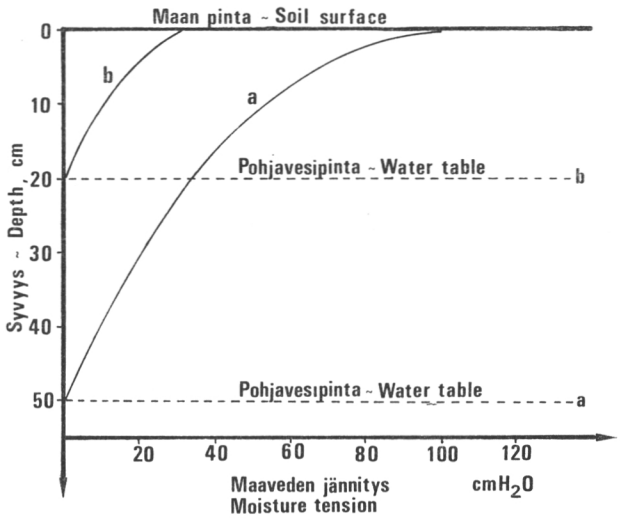


Figure 2. Theoretical moisture tension profiles for water table depths of 50 (a) and 20 (b) cm. See Ahti (1972, 1974).

Kuva 2. Maaveden jännityksen teoreettiset vertikaalijakautumat pohjavesipinnan syvyyden ollessa 50 (a) ja 20 (b) cm.

Table 1. Air volume of surface peat according to Fig. 2 and desorption data published by Päivänen (1973, p. 43) corresponding to water table depths of 50 (A) and 20 cm (B). Sphagnum peat, degree of humification 3.

Peat layer	Air volume			
	A		B	
	m^3/m^2	mm	m^3/m^2	mm
0—20 cm	0,08	80	0,03	30
0—50 cm	0,10	100	0,03	30

By using water retention data (e.g. Päivänen 1973) and relevant moisture tension profiles (Fig. 2), air volume can be estimated for alternatives A and B (Table 1).

It appears that a difference of 30 cm in water table depth (due to different ditch spacings) might correspond to a difference of 70 mm. Even in the case of alternative B (larger spacing), air volume might easily be 30 mm as given in Table 1.

In Finland annual precipitation measures 500—600 mm. One half of the precipitation falls as snow. During June—August daily precipitation seldom measures 30 mm. Consequently, an average storage capacity of 30 mm theoretically allows total infiltration of most summer rains.

According to Table 1, based on a homogeneous peat profile, the uppermost 20 cm peat layer plays a decisive role as regards infiltration into a peat profile (cf. Boelter 1964).

Even if no quantitative data on infiltration into peat profiles are available, it can be claimed that water retention capacity increases with increasing water table depth and hence with decreasing ditch spacing (Ahti 1974).

Evaporation and ditch spacing

Because of the relationship between soil moisture and depth of the water table, evaporation can be expected to decrease with decreasing ditch spacing (cf. Mustonen and Seuna 1971).

The relationship between water retention capacity and ditch spacing, on the other hand, implies that the nature of the evaporation process is altered with decreasing ditch spacing. In the case of a large spacing the water table is close to the soil surface, and a high rate of evaporation is partly maintained by intensive capillary rise from the water table. Also, most of the infiltration water reaches the water table.

In the case of a narrow spacing and a deeper water table, evaporation is to a lesser degree maintained by capillary rise from the water table (cf. Juusela et al. 1969). Instead, more retention water is involved; a greater part of the infiltration water evaporates before reaching the water table. Thus regular small rainfalls can maintain a moist peat surface and contribute to a high rate of evaporation even in the case of a narrow spacing and a deep water table. During prolonged dry spells, however, the depth of the water table is decisive.

Runoff and ditch spacing

In Figure 1 runoff was divided into surface runoff (R_s), surface layer runoff (R_a), and deep runoff (R_d). Surface runoff occurs if precipitation rate exceeds infiltration rate or if the water table is at soil surface. Surface layer runoff or 'interflow' might temporarily occur if the infiltration rate in the surface layer exceeds the infiltration capacity of the deeper layers. Such situations are probable in peatlands because of decreasing water conductivity with increasing depth (H u i k a r i 1959, P ä i v ä n e n 1973).

Considering the factors resisting water flow, it can be concluded that surface runoff is the fastest and deep runoff the slowest form of runoff. In the following, the relationship between runoff and ditch spacing is analyzed separately for the two extremes of runoff.

Let us assume that no infiltration occurs, and most of the precipitation water flows into the ditches as surface runoff. The narrower is the spacing, the shorter is the average flowing distance to a ditch. Accordingly, the average flowing time to a ditch is directly proportional to ditch spacing if the effect of evaporation is neglected. Also the time required for reaching the theoretical maximum runoff (= rate of precipitation) during constant rain is directly proportional to ditch spacing (eq. 1).

$$(1)\quad t_{max} = \frac{a \cdot L}{v} + t_d$$

where t_{max} is the time required for reaching the theoretical maximum runoff during constant precipitation, L is ditch spacing, v is average flowing speed of surface water, t_d is the flowing time in the ditches, and a is a constant denoting the ratio between average flowing distance and ditch spacing. For a given drainage object, v and t_d can be regarded as constants.

If t_d is considered negligible and constant rain intensity is assumed, the following equation can be written:

$$(2)\quad q_{t_i} = P_t \cdot \frac{t_i \cdot v}{a \cdot L} \qquad \text{condition: } t_i \leq t_{max}$$

where q_{t_i} represents surface runoff at moment t_i, P_t rain intensity, and t_i time from the beginning of rain.

On the basis of equations (1) and (2), schematic surface runoff hydrographs for alternative ditch spacings can be constructed (Fig. 3).

On the assumptions made, the accelerating effect of ditching on surface runoff is clearly demonstrated.

When analyzing the relationship between infiltration and ditch spacing, it was pointed out that water storage capacity increases with decreasing spacing. The relationship between surface runoff and spacing, therefore, must depend on whether decreasing ditch spacing has a corresponding effect on actual infiltration.

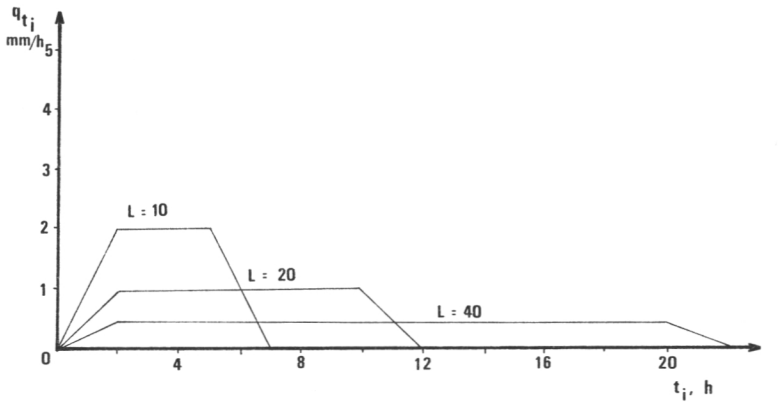


Figure 3. Theoretical surface runoff hydrographs for ditch spacings of 10, 20, and 40 m constructed on the basis of equations (1) and (2). Assumptions: P_t = constant, no infiltration and evaporation occurs. Values of variables: v = 2 m/h, P_t = 5 mm/h, rain duration 2 hours. q_{t_i} = surface runoff, t_i = time from the beginning of rain, L = ditch spacing.

Kuva 3. Teoreettiset pintavaluntakäyrien muodot 10, 20 ja 40 metrin sarkaleveyksillä. Oletukset: P_t = ajan suhteen vakio, infiltraatiota jahaihduntaa ei esiinny. Muuttujien arvot: v = 2 m/h, P_t = 5 mm/h, sateen kesto 2 tuntia. q_{t_i} = pintavalunta, t_i = aika sateen alkamisesta, L = sarkaleveys.

If the moisture tension profile above the water table keeps close to equilibrium (»field capacity»; A h t i 1972), a situation might develop, where most of the precipitation water percolates down to the water table. In such a situation, the runoff process is dominated by deep runoff (R_d; Fig. 1). The following generalized equation (3), based on equilibrium between deep infiltration (I_d; Fig. 1) and deep runoff and including ditch spacing (L) and water table height above an impermeable layer (H'), has been presented by R i c h a r d (1963):

$$(3)\quad L = 2 \cdot H' \cdot \sqrt{\frac{k'}{I_d}}$$

where k denotes hydraulic conductivity. By rearranging and substituting I_d with R_d, we get

$$(4)\quad R_d = \frac{4 \cdot k \cdot H'^2}{L^2}$$

As mentioned before, hydraulic conductivity is a function of the distance from peat surface. As an average for Finnish Sphagnum peat soils, P ä i v ä n e n (1973) has presented the following empirical relationship:

$$(5)\quad \log k = -1{,}806 - 0{,}048\ h$$

where h represents distance from peat surface (cm) and k hydraulic conductivity (cm/sec). By solving (5) with respect to k and by inserting into (4), we get after necessary unit changes and rearrangements:

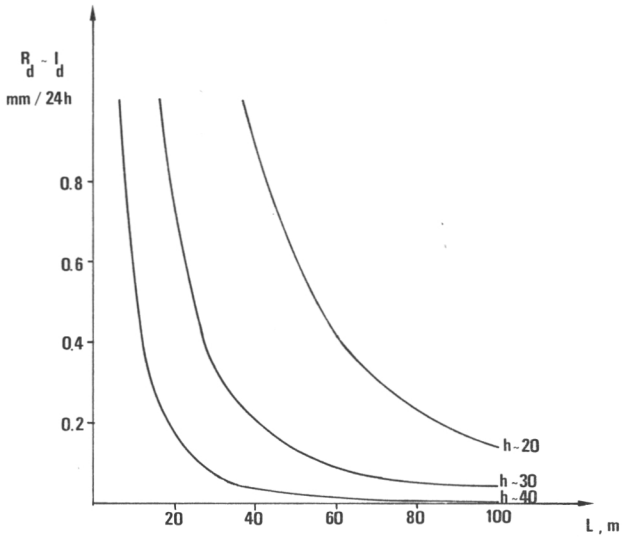


Figure 4. Relationship between deep runoff (R_d) and ditch spacing (L) at different water table depths (h) on the basis of equation (6). Equilibrium between deep runoff (R_d) and deep infiltration (I_d) is assumed.

Kuva 4. Pohjavesivalunnan (R_d) ja sarkaleveyden (L) välinen riippuvuus eri pohjavesipinnan syvyyksillä (h) yhtälön (6) mukaan. Kuva perustuu yhtälön tavoin oletukseen, että pohjavesivalunnan (R_d) ja pohjavesisuodannan (I_d) välillä vallitsee tasapaino.

$$(6)\quad R_d = \frac{c \cdot (H-h)^2 \cdot 10^b}{L^2}$$

where R_d is deep runoff (mm/day), H is ditch depth (cm), h is depth of the water table (cm), L is ditch spacing (m), b = — 1,806—0,048 h, and c = 345,59 (constant).

The equation (6) gives a rough idea of the complex relationship between deep runoff and ditch spacing. Depth of the water table has been assumed to be the most important soil depth as regards deep runoff.

In Figure 4, the relationship between deep runoff and ditch spacing is illustrated on the basis of equation (6).

As in the case of surface runoff (Fig. 3), a hyperbolic relationship seems probable. Similar tendencies have been empirically shown by Huikari (1959).

DISCUSSION

Two extreme runoff situations have been theoretically examined. In both cases accelerating effects of decreasing ditch spacing on runoff were detected. Consequently, it could be claimed that the effects are present as well if the real runoff situation stands between the two extremes. It should be kept in mind, though, that the velocity of water flow is very much higher in surface runoff than deep runoff. Hence, even slight shifts in the ratio R_s/R_d (surface runoff/deep runoff) may compensate for the accelerating effect of decreasing ditch spacing.

When interpreting Figure 4, it is essential to realize that a change in ditch spacing is followed by a change in water table depth. Accordingly, the hyperbolic relationship is somewhat misleading.

The problems involved become more complex if the annual variation of climate is taken into consideration. In dry years much depends on the effect of ditch spacing on actual infiltration and moisture retention. In wet years the relationship between ratio R_s/R_d (surface runoff/deep runoff) and spacing is decisive.

On the basis of this study, no definite conclusions on the proportionality of runoff and ditch spacing can be made. It is evident, however, that averages based on long term time series do not reveal the true functional relationships between runoff and ditch spacing. Instead, short term analysis of the hydrological cycle should be applied when investigating the influence of ditching on runoff by using the variable spacing method. It seems that special attention should be paid to the occurrence of surface runoff on peatlands drained by open ditches.

In the second part of this study, the above suggestions are evaluated by using experimental data.

REFERENCES

AHTI, E. 1972. Kenttäkapasiteetti ojitettujen turvemaiden vesisuhteiden ilmentäjänä. Summary: Field capacity as an indicator of water relations in drained peatlands. Suo 23: 105—109.

—»— 1974. Measuring seasonal moisture variation of drained peatlands by using tensiometers. Proc. Int. Symp. Forest Drainage, 2nd—6th September 1974, Jyväskylä—Oulu, Finland, p. 81—86.

BADEN, W. & ENGELSMANN, R. 1964. Wasserkreislauf eines nord-westdeutschen Hochmoores. 156 s. Hamburg. Verlag Wasser und Boden.

BOELTER, D. H. 1964. Water storage characteristics of several peats in situ. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 433—435.

HEIKURAINEN, L. 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. Acta For. Fenn. 76 (5): 1—16.

—»— 1967. Hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. Summary: On the influence of cutting on the water economy of drained peat lands. Acta For. Fenn. 82 (2): 1—45.

—»— 1976. Comparison between runoff conditions on a virgin peatland and a forest drainage area. Proc. 5th Int. Peat Congr., Poznan, Poland, September 21—25, 1976, Vol. I: Peat and peatlands in the natural environment protection: p. 76—86.

—»— & PÄIVÄNEN, J. 1970. On the effect of thinning, clear cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Seloste: Harvennuksen, avohakkuun ja lannoituksen vaikutus ojitetun suon vesioloihin. Acta For. Fenn. 104: 1—23.

—»—, PÄIVÄNEN, J., & SARASTO, J. 1964. Ground water table and water content in peat soil. Acta For. Fenn. 77 (1): 1—18.

HUIKARI, O. 1959. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (2): 1—45.

—»—, PAARLAHTI, K., PAAVILAINEN, E., & RAVELA, H. 1966. Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutuksesta suon vesitalouteen ja valuntaan. Summary: On the effect of strip-width and ditch-depth on water economy and runoff on a peat soil. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (8): 1—39.

JUUSELA, T., KAUNISTO, S., & MUSTONEN, S. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Summary: On factors affecting evapotranspiration from peat. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (1): 1—45.

LAIKARI, H. & MUSTONEN, S. 1961. Ojituksen vaikutuksesta valuntaan Huhtisuon havaintoalueella. Maa- ja vesiteknillinen tutkimustoimisto. Tied. 2/1961, 53 p.

MULTAMÄKI, S. E. 1936. Über den Grundwasserstand in versumpften Waldböden vor und nach der Entwässerung. V. hydrol. Konf. der balt. Staat., Finnland, Juni 1936. Mitt. 4 A.

—»— 1962. Die Wirkung von Waldentwässerung auf die Ablaufverhältnisse von Torfböden. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (23): 1—16.

MUSTONEN, S. & SEUNA, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. Summary: Influence of forest draining on the hydrology of peatlands. Publ. Water Res. Inst. 2: 1—63.

PÄIVÄNEN, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. Acta For. Fenn. 129: 1—70.

RICHARD, F. 1963. Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 39: 245—269.

SCHUCH, M. 1976. Water regime on a cultivated, an untouched, and an afforested peat land near the Alps. Proc. 5th Int. Peat Congr., Poznan, Poland, Sept. 21—25, 1976, Vol. I: 76—86.

SEUNA, P. 1974. Influence of forest draining on the hydrology of an open bog in Finland. Proc. Int. Symp. Forest Drainage, 2—6. Sept., 1974, Jyväskylä—Oulu, Finland, p. 385—393.

SUOMENKIELINEN SELOSTE

Metsäojituksen vaikutusta valuntaan voidaan tutkia kahdella periaatteeltaan toisistaan poikkeavalla tavalla: 1) verrataan keskenään ennen ojitusta ja sen jälkeen tehtyjä valuntahavaintoja, ja 2) verrataan keskenään eri tavoin ojitetuilta lähekkäisiltä koealueilta samanaikaisesti tehtyjä valuntahavaintoja. Sarkaleveyssarjamenetelmässä sovelletaan jälkimmäistä periaatetta: verrataan keskenään valuntahavaintoja, jotka on tehty yhtä suurilla sarkaleveydeltään erilaisilla alueilla. Menetelmä perustuu kahteen perusoletukseen: a) ojituksen vaikutus valuntaan on sarkaleveyden funktio, ja b) funktion kuvaaja on jatkuva. Tässä julkaisussa tarkastellaan teoreettisesti näiden oletusten paikkansapitävyyttä.

Tarkastelun keskeisen osan muodostaa kahden ääritilanteen vertailu, joista toisessa valunta tapahtuu kokonaan pintavaluntana ja toisessa kokonaan ns. pohjavesivaluntana. Molemmissa tapauksissa valunnan ja sarkaleveyden välisen riippuvuuden kuvaaja todetaan hyperbelin muotoiseksi, eli valunta kääntäen verrannolliseksi sarkaleveyteen.

Todellisiin valuntatilanteisiin sisältynee sekä pinta- että pohjavesivaluntaa. Koska veden liikenopeus on pohjavesivalunnassa (R_d) huomattavasti pienempi kuin pintavalunnassa (R_s), ja koska R_s/R_d-suhde on todennäköisesti sarkaleveydestä riippuvainen, valunnan ja sarkaleveyden välistä riippuvuutta kuvaavan käyrän muoto ei liene sama kuin em. teoreettisissa ääritapauksissa. Todellisten riippuvuuksien kuvaajien muoto riippuu siten keskeisesti siitä, missä määrin ojitetuilla soilla esiintyy pintavaluntaa ja miten sarkaleveys vaikuttaa pintavalunnan esiintymiseen.

Tutkimuksen teoreettisessa osassa tehdyt päätelmät testataan valunta- ja sadantahavaintoihin perustuvassa empiirisessä osassa, joka julkaistaan myöhemmin.

USE OF NEEDLE ANALYSIS FOR DIAGNOSING MICRONUTRIENT DEFICIENCIES OF SCOTS PINE ON DRAINED PEATLANDS

HEIKKI VEIJALAINEN

Seloste

NEULASANALYYSI MÄNNYN MIKRORAVINNETILANTEEN MÄÄRITYKSESSÄ TURVEMAILLA

HELSINKI 1977

ODC 114.521.5
ISBN 951-40-0302-0
ISSN 0026-1610

VEIJALAINEN, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrityksessä turvemailla. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (4): 1—32.

The factors affecting the micronutrient concentrations of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) needles was studied. It was found that phosphorus and potassium fertilization, their high concentration in needles and a low ditch water level caused a decrease of some micronutrient concentrations in needles. NPK fertilization decreased the concentrations of B and Mn, and PK fertilization the B content. A high phosphorus content in the needles decreased the B and Zn contents, and a high potassium content decreased the B content. Lowering of ditch water level for long periods had a negative effect on the B and Mn contents. Rinsing the surface of the needles with HCl did not greatly affect the analysis results. However, the samples were taken from sites situated far from industrial areas and other pollution sources.

A positive effect of micronutrient application on the corresponding micronutrient concentrations was still visible after 13 years.

When interpreting the results of micronutrient analysis previous fertilization treatments, growth rate of the tree stand and ditching efficiency should all be taken into account. The numerical values obtained from analyses without this additional information may be meaningless.

Tutkittiin männyn (*Pinus silvestris* L.) neulasten mikroravinneanalyysituloksiin vaikuttavia tekijöitä turvemailla. Havaittiin makrolannoituksen puuston kasvua ja annettujen ravinteiden pitoisuuksia kohottaessaan usein vähentävän eräitä neulasten mikroravinnepitoisuuksia. NPK-lannoitus vähensi boori- ja mangaanipitoisuuksia ja PK-lannoitus boorin pitoisuuksia. Lannoituksen aiheuttama neulasten korkea fosforipitoisuus vähensi boorin ja sinkin pitoisuuksia ja korkea kaliumpitoisuus boorin arvoja. Lannoitus mikroravinteilla oli kohottanut vastaavia neulasten pitoisuuksia vielä 13 vuotta lannoituksen jälkeen. Myös ojaveden alentamisella todettiin olleen negatiivisia vaikutuksia boorin ja mangaanin pitoisuuksiin. Neulasten pinnan huuhtelu HCl-liuoksella ei vaikuttanut oleellisesti analyysituloksiin etäällä asutus- ja teollisuuskeskuksista.

Tutkimuksen perusteella voitiin päätellä, että mikroravinneanalyysin tulkinnassa on otettava huomioon edeltäneet lannoituskäsittelyt, puiden kasvunopeus ja ojituksen tehokkuus. Pelkkä analyysituloksen numeroarvo saattaa olla ilman em. lisätietoja arvoton.

ISBN 951-40-0302-0
ISSN 0026-1610

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

FOREWORD

Needle analysis has been used for decades in forest research to diagnose nutrient deficiences in trees. Lately, research in Finland has been focused on Scots pine growing on peat soils. Confidence in analysis results and their applicability has increased with the acquisition of knowledge concerning errors caused by environmental factors and with their elimination. Macronutrient analysis of pine needles, as an auxiliary tool, can already be applied in practical forestry for nutrient diagnoses. The situation as regards micronutrients is different. The term »trace element» has, however, been dropped as the analysis methods have advanced.

This investigation, dealing with the interpretation of micronutrient analyses, was started in 1972 at the Department of Peatland Forestry, Finnish Forest Research Institute. It is a part of a wider project dealing with dieback of forest trees. Mr. Heikki Takamaa, forest technician, helped with the field work, Mrs. Raija Vakkuri, Mrs. Airi Piira, Mr. Raimo Mäkelä, Miss Inkeri Suopanki and Miss Hanna Ouni all helped with the handling of the material. Professor Olavi Huikari, Mr. Antti Reinikainen, Lic. Phil. and Dr. Eino Mälkönen have read the manuscript and given useful advice. The Finnish manuscript was translated into English by Mrs. Leena Kaunisto and the translation was checked by Mr. John Derome M. Sc. I am very grateful for the assistance of the above-mentioned as well as of Mr. Kimmo Kolari, B. Sc., who have contributed in many ways to the work. A particularly important contributor has been Viljavuuspalvelu Oy (Soil Test Service), on whose micronutrient determinations this study is based.

Helsinki, April 1977

Heikki Veijalainen

CONTENTS

	Page
1. INTRODUCTION	5
2. MATERIAL AND METHODS	7
21. The 1967 material	7
22. The Kivisuo material	7
23. The Jaakkoinsuo material	8
3. FACTORS AFFECTING MICRONUTRIENT CONTENTS OF NEEDLES	9
31. Effect of macronutrient fertilization	9
32. Effect of macronutrient concentrations of needles	16
33. Effect of micronutrient fertilization	21
34. Effect of ground water level	22
35. Micronutrients on needle surface	23
36. Other factors	24
4. DISCUSSION	25
LITERATURE	28
SELOSTE	31

1. INTRODUCTION

As early as 1940 Rademacher showed that a shortage of copper may limit the growth of pine, spruce, larch and birch. Ludbrook (1940 and 1942) and later Vail et al. (1961) and Haveraaen (1966) observed growth disorders in pines and in Norway spruce caused by boron deficiency. Ingestad and Jakobson (1962) showed that boron and manganese were vital for the growth of birch seedlings. Too heavy liming has resulted in a shortage of iron even in forest trees (Schönhar 1958). Dieback in *Pinus radiata* caused by zinc deficiency was discovered by Hearman (1938) and Smith and Bayliss (1942). Becking (1961) showed that molybdenum was necessary for the function of the root nodules of alder.

Most of the above-mentioned results have been arrived at through pot experiments, although corresponding deficiency symptoms have appeared in plantations and nurseries as well (Stoate 1950, Benzian and Warren 1956, Oldenkamp and Smilde 1966, Proctor 1967, van Goor 1968, Tollenaar 1969, Lange 1969, Ruiter 1969, Zech 1970, Will 1971, Knight 1975).

Presumably mature tree stands also suffer from micronutrient deficiencies, although very little is known about this at present. The untimely rounding of tree tops, increased susceptibility to disease, crooked stems and too long branches, decrease in growth potential around the age of 30—40 and several other »natural depletion phenomena» in forest growth may indicate micronutrient deficiencies.

Permanent utilization of peat soils for growing forests has proved more difficult than would have been expected during the first years of forest improvement work. According to research results tree stands should, after drainage and macrofertilization, grow normally or at least better than before. At times, however, both the height and diameter growth of tree stands starts to decrease at a fairly early age, at other times the tree tops start to die for no recognizable reason (Huikari 1974, Veijalainen 1975). On the other hand, it is a well-known fact that arable peat soils are generally deficient in copper, boron and occasionally in other micronutrients as well (Kurki 1972). The earlier mentioned foreign studies have illustrated the symptoms of micronutrient deficiencies of trees. The conclusion has thus been drawn that the causes of dieback in peatland tree stands may lie in micronutrient deficiencies (Huikari 1974, Veijalainen 1975). Thus research into micro-

nutrients forms a third research object in addition to drainage and macrofertilization, before the problems of tree growth on peat soils can be solved. Even the early results gained from ash fertilization experiments pointed in this direction (L u k k a l a 1955).

Up to the present time micronutrients have been almost completely ignored when determining the nutrient requirements of pine for practical fertilization recommendations. Fertilization with micronutrients carried out by the Department of Peatland Forestry has usually only slightly increased growth; so slightly that the results have gone unpublished. A guidebook for fertilization (H u i k a r i and P a a v i l a i n e n 1972) stated that our forest soils contain adequate amounts of micronutrients for tree growth, according to knowledge at that time.

One commonly held belief has been that micronutrients do not need to be included in the first fertilization. It was not possible to disprove this assumption in an investigation on needle analysis (P a a r l a h t i et al. 1971), but strong negative correlations were found between the height growth of pine and all the studied micronutrients. The reason was supposed to be a dilution phenomenon (Germ.: Verdünnungseffekt) (S m i t h 1962, W e h r m a n n 1963, T a m m 1964), but as a whole the problem of micronutrients remained unsolved and the reason for the supposed dilution phenomenon remained obscure.

The present investigation aims at finding the cause for a decrease in the micronutrient contents of *Pinus silvestris* L. needles as the height growth increases. Simultaneously it attempts to clarify the interpretation of micronutrient analysis and to show what information about the tree stand is needed for this.

2. MATERIAL AND METHODS

The material of the investigation consists of three separate pine needle lots collected in 1967 (the 1967 material), in 1972 (the Kivisuo material) and in 1976 (the Jaakkoinsuo material). The topmost south-pointing lateral shoot was collected from 6—10 trees belonging to the dominant crown class on each sample plot. The needles were combined to form the needle sample for each plot. The samples were oven dried at + 105°C for 48 hours.

21. The 1967 material

The 1967 needle material was collected in March 1967 at Honkajoki (61°56′N, 22°2′E), Ähtäri (62°30′N, 24°24′E), Haapavesi (64°9′N, 25°33′E) and Muhos (64°53′N, 26°8′E). The material for the needle analyses was taken from 63 plots and for the soil analyses from 46 plots which had received various fertilization treatments. The age of the stands varied from 12 to 38 years, mean height from 1 to 5 m and the ditch spacing from 20 to 80 m. This material has been partly discussed previously (see P a a r l a h t i et al. 1971).

22. The Kivisuo material

The Kivisuo needle material was collected in March at Leivonmäki (61°53′N, 25°59′E). The area was afforested for experimental purposes in 1959. The mean heights of the stands were 2—6 m and ditch spacing 11 m.

The Kivisuo material consisted of samples taken from the following plots:

Fertilization treatment in 1959		Number of plots
Unfertilized		4
NPK [1])	(600—600—400 + microfertilization [2]))	19
N	(200, 400 or 800 kg/ha)	3
P	(200, 400 or 600 kg/ha)	3
K	(100, 200 or 400 kg/ha)	3
	Total	32

[1]) N = Calcium ammonium nitrate (25 % N), P = Rock phosphate (14.4 % P), K = Potassium chloride (41.5 % K)

[2]) Microfertilization = 50 kg/ha $CuSO_4$, borate fertilizer, $MnSO_4$ or $ZnSO_4$ as a minus experiment.

After drying the material, the dry weight per hundred needles was determined and the samples divided into two parts. One part was directly analysed, the other was rinsed with 0.2—n HCl for 4 minutes in order to remove any micronutrients present on the needle surfaces. Rinsing was carried

out by dipping the needles into the rinsing liquid and stirring with a glass rod for about 30 seconds at the start and at the end of the rinsing period. The needles were then rinsed with distilled water and dried.

The micronutrient concentrations of the rinsed needles were compared to those of unrinsed needles. This was done because the concentration calculations are based on needle dry weight and the total surface area of different samples having the same dry weight may vary within wide limits. The surface area of small needles is greater than that of an equivalent weight of large needles. If the surface area of the needles has any effect on the micronutrient contents, then the concentration of the rinsed needles would be lower than that of the unrinsed ones; furthermore the change should be the greatest in the case of small needles.

Both portions of the needle samples were analysed for N, P, K, Cu, B, Zn, Fe and Mn by Viljavuuspalvelu Oy. The methods of analysis were the same as those used for the 1967 material (P a a r l a h t i et al. 1971). In addition the total contents of Al and Mo were determined. The average growth of the tree stand during the period 1970—72 on the Kivisuo plots was measured from ten trees belonging to the dominant crown class. There were no pollution sources in the vicinity of Kivisuo.

23. The Jaakkoinsuo material

The third part of the needle material was collected in March 1976 at Vilppula (24°30′N, 62°4′E), from an ecological experimental area in Jaakkoinsuo. Samples were taken from plots with different regulated depths of ditch water (H u i k a r i and P a a r l a h t i 1967). Regulation of the ditch water level had then lasted for 14 years. The ditch spacing in the experimental area was 15 m and the height of the trees at sampling 5—8 m. The samples were analysed for N, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Zn and Mn.

3. FACTORS AFFECTING MICRONUTRIENT CONTENTS OF NEEDLES

As negative correlation had been found between the height growth of pine and the content of different micronutrients in the needles (P a a r l a h t i et al. 1971, table 1), and as the observations gave no indication of actual poisoning symptoms on peat soils, the task of this investigation was to find the factor or factors causing this phenomenon.

Table 1. Correlations between height growth and nutrient concentrations of needles, the 1967 material (= 64).

Taulukko 1. Pituuskasvun ja neulasten ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiot, vuoden 1967 aineisto (n = 64).

	N	P	K	Mn	Zn	B
N	—	—,01	—,07	,21	—,01	—,15
P	—	—	,15	,01	—,47***	—,34**
K	—	—	—	—,24	,36**	—,44***
Mn	—	—	—	—	—,04	,47***
Zn	—	—	—	—	—	,28*
B	—	—	—	—	—	—
Height growth — *Pituuskasvu*	,24	,49***	,29*	—,22	—,35**	—,63***

31. Effect of macronutrient fertilization

It has frequently been observed that the micronutrient content of leaves decreases after macronutrient fertilization (e.g. S m i t h 1962, O l s e n 1972, S i l l a n p ä ä and R i n n e 1975). The following interactions are well-known in agriculture (O l s e n 1972):

application of N	causes	shortage of Cu and Zn
application of P	causes	shortage of Cu, Zn and Fe
application of K	accentuates	shortage of B
application of Ca	accentuates	shortage of B

It is, however, uncertain whether such interactions are caused primarily by mutual reactions between the involved nutrients in the substrate or in the plants themselves and whether they take place in peatland forests.

According to the 1967 material it appears that forest covered peat soils suffer from an inadequate supply of micronutrients, as the following nutrient contents of the surface peat layer (0—10 cm) indicate (mg/l):

	NPK fertilization	Total material	Satisfactory content in arable peat soils (Kurki 1972)
B	0.20 ± 0.12	0.16 ± 0.02	0.8— 1.2
Cu ...	2.15 ± 0.62	1.62 ± 0.21	8 —12
Mn ..	5.50 ± 1.54	5.18 ± 0.81	4 — 6
Zn ...	11.70 ± 2.54	11.20 ± 0.86	40 —60

There is obviously a shortage of zinc, copper and boron in nearly all the experimental plots studied. There is, however, no shortage of manganese. On the other hand, the micronutrient contents of peat are by no means at their lowest level on the most heavily fertilized plots, as would be expected on the basis of the results of needle analysis (table 2). NPK fertilization seems to decrease the concentrations of all micronutrients in the needles, especially the boron concentrations are strongly affected. Soil analysis revealed increasing micronutrient concentrations after NPK treatment.

Table 2. Effect of NPK fertilization on micronutrient contents of peat and needles in 7—10-year old fertilization experiments.

Taulukko 2. NPK-lannoituksen vaikutus turpeen ja neulasten mikroravinnepitoisuuksiin 7—10 vuotta vanhoilla lannoituskokeilla.

	n	Micronutrient — *Mikroravinteet*				
		Cu	B	Fe	Zn	Mn
		Needle analysis *Neulasanalyysi, ppm*				
Unfertilized - *Lannoittamaton*	10	3,6 [1]	12,2	72	150	400
NPK-fertilization — *NPK-lannoitus*	24	3,2 [1]	5,1	66	125	291
Change, % — *Muutos, %* ..		—11,1	—58,2	— 8,3	— 16,7	— 27,2
		Soil analysis, mg/l [2] *Maa-analyysi, mg/l* [2]				
Unfertilized - *Lannoittamaton*	17	1,3	0,14	4,5	9,8	5,2
NPK-fertilization — *NPK-lannoitus*	8	2,1	0,20	4,9	11,7	5,8
Change, % — *Muutos, %* ..		+61,5	+42,9	+ 8,8	+ 19,4	+ 5,8

[1]) From Kivisuo material (n = 8) — *Kivisuo aineistosta (n = 8).*

[2]) Some of the samples taken from different plots than the needle samples — *Näytteet ovat osaksi eri ruuduilta kuin neulasnäytteet.*

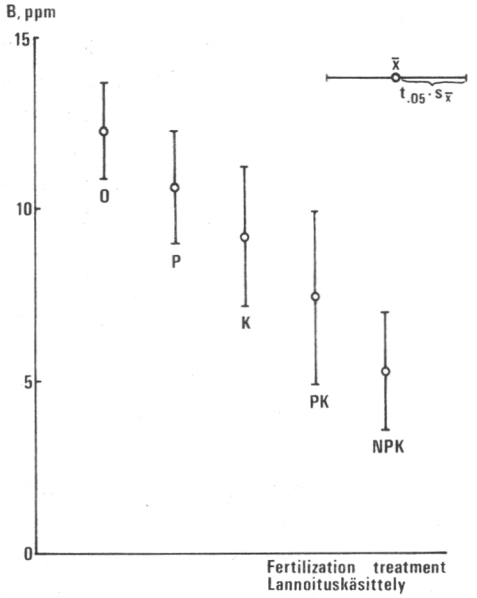


Fig. 1. Effect of fertilization treatments on boron content of needles.
Kuva 1. Lannoituskäsittelyn vaikutus neulasten booripitoisuuteen.

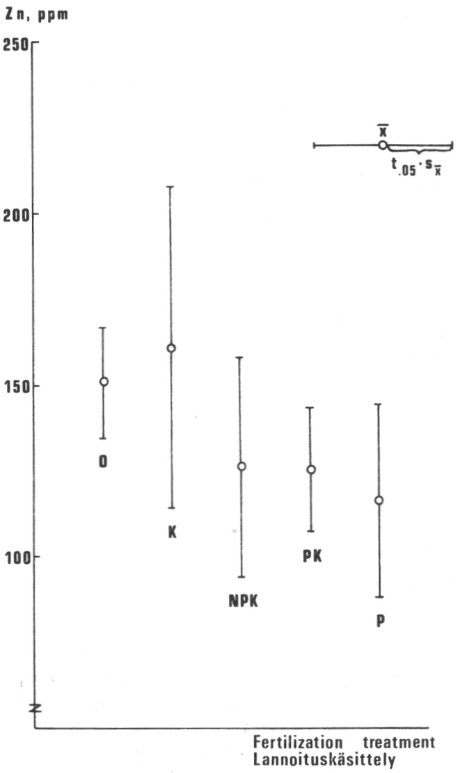


Fig. 2. Effect of various fertilization treatments on zinc content of needles.
Kuva 2. Eri lannoituskäsittelyjen vaikutus neulasten sinkkipitoisuuteen.

The 1967 material can be used to obtain a statistical picture of the effect of various fertilization combinations on the micronutrient contents of needles. The fertilization treatments were carried out in the 1950's using varying doses, which approximately follow the present instructions for practical fertilization. It is noteworthy that the fertilization treatments lowered the boron content ($F = 10{,}4^{***}$). When using PK and NPK combinations, the contents decreased to a statistically significant degree, even to such an extent that the effect of NPK fertilization differs significantly from those of phosphorus and potassium (fig. 1).

Mere phosphorus fertilization surprisingly has only slightly decreased the zinc contents (cf. Olsen 1972). Fertilization caused no statistically significant differences ($F = 2.4$) (fig. 2.).

Fertilization decreased the manganese content ($F = 3.7^{*}$). The effect of NPK is statistically significant (fig. 3). A corresponding comparison cannot be performed for copper (no analyses). The iron concentrations proved to be unaffected by fertiliza-

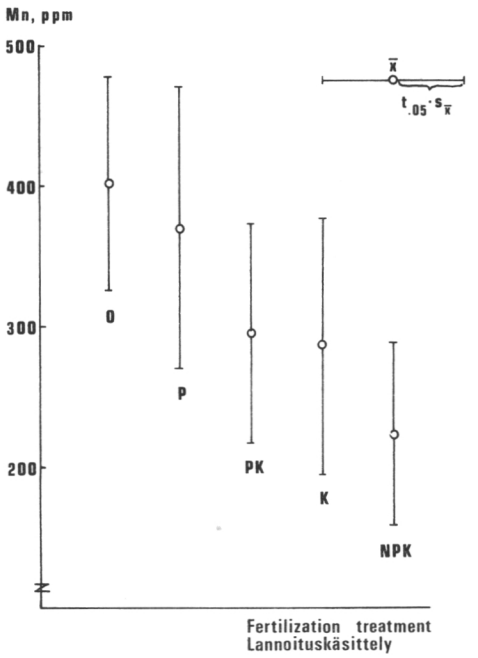


Fig. 3. Effect of various fertilization treatments on manganese content of needles.

Kuva 3. Eri lannoituskäsittelyjen vaikutus neulasten mangaanipitoisuuteen.

tion in this material. It should be borne in mind that macrofertilizers contain rather high amounts of impurities (e.g. calcium and magnesium) which may greatly influence the nutrient balance of the trees.

The above-mentioned results show the importance of knowing what previous macrofertilization treatments have been carried out on a growing site before starting to determine the micronutrient requirements of a stand on the basis of needle analysis. This fact should be kept in mind especially when the area has had heavy or repeated macrofertilizations.

Macrofertilization may have an antagonistic effect on micronutrients, i.e. the micronutrient amount in the needles decreases. An antagonistic effect may take place in the soil, in the roots (nutrient absorption) and in the plant (distribution of the nutrients to functional sites and nutrient mobility within the plant) (O l s e n 1972).

Fertilization usually increases growth and needle mass, which may subsequently lead to a dilution of micronutrients. In this case the micronutrient content of the needles decreases, although the total nutrient amount remains constant or even increases in the needles (S m i t h 1962, O l s e n 1972).

For a closer inspection moving averages were calculated for the B, Zn and Mn contents of five experimental plots arranged according to height growth. Each moving average value was plotted against the corresponding median denoting height growth. With the aid of these trends the effect of fertilization both on the growth result and the micronutrient content can be viewed; in other words an attempt was made to separate the antagonistic effects from the effect of dilution.

The reason for the negative correlation between boron and growth proved to be the clearly falling trend (dilution) in the PK/NPK and phosphorus fertilized areas (fig. 4). However, a corresponding decrease does not occur in the unfertilized plots or those treated with potassium fertilization alone. Potassium fertilization decreases the boron content by about 3 ppm as compared to the unfertilized, equally-well growing trees. This is generally slightly more than the effect of phosphorus fertilization (antagonism).

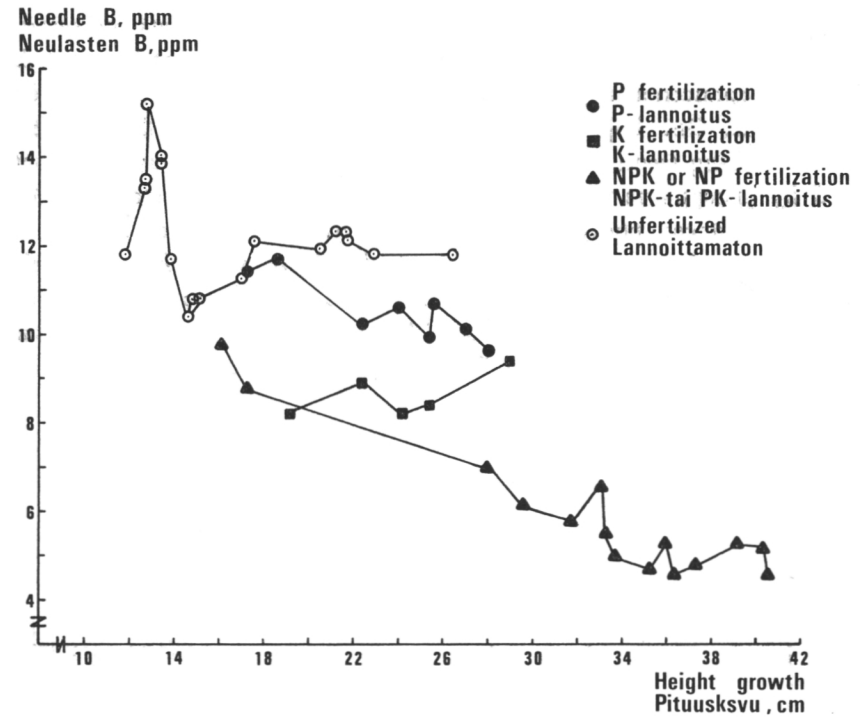


Fig. 4. Effect of fertilization and height growth of trees on boron content of needles.
Kuva 4. Lannoituksen ja puiden pituuskasvun vaikutus neulasten booripitoisuuteen.

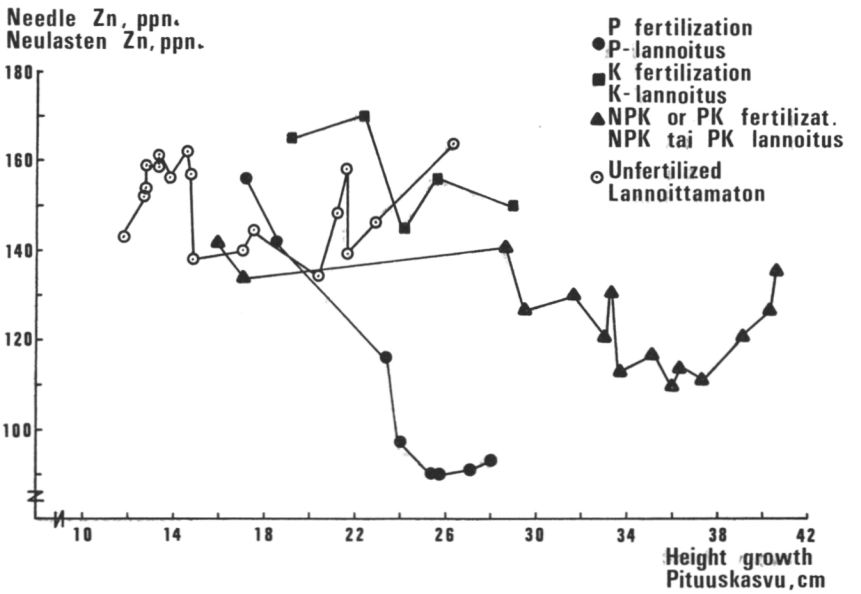


Fig. 5. Effect of fertilization and height growth of trees on zinc content of needles.
Kuva 5. Lannoituksen ja puiden pituuskasvun vaikutus neulasten sinkkipitoisuuteen.

The zinc contents did not show any marked change as growth increased on the unfertilized plots (fig. 5). On the contrary, the growth increases brought about by fertilization produced a negative trend which was at its strongest in the phosphorus fertilized areas. One important observation was that PK/NPK fertilization also produced a falling trend. According to figure 5 the relative shortage of potassium induced by phosphorus fertilization makes the trend fall the steepest. Potassium fertilization (induced phosphorus deficiency) had no effect on the zinc content. The antagonism between phosphorus and zinc is thus clearly perceptible. This relationship has been investigated in plants since 1936 (Barnette et al. 1936, West 1938, Boawn et al. 1954, Thorne 1957, Stukenholtz et al. 1966) without reaching any generally accepted explanation.

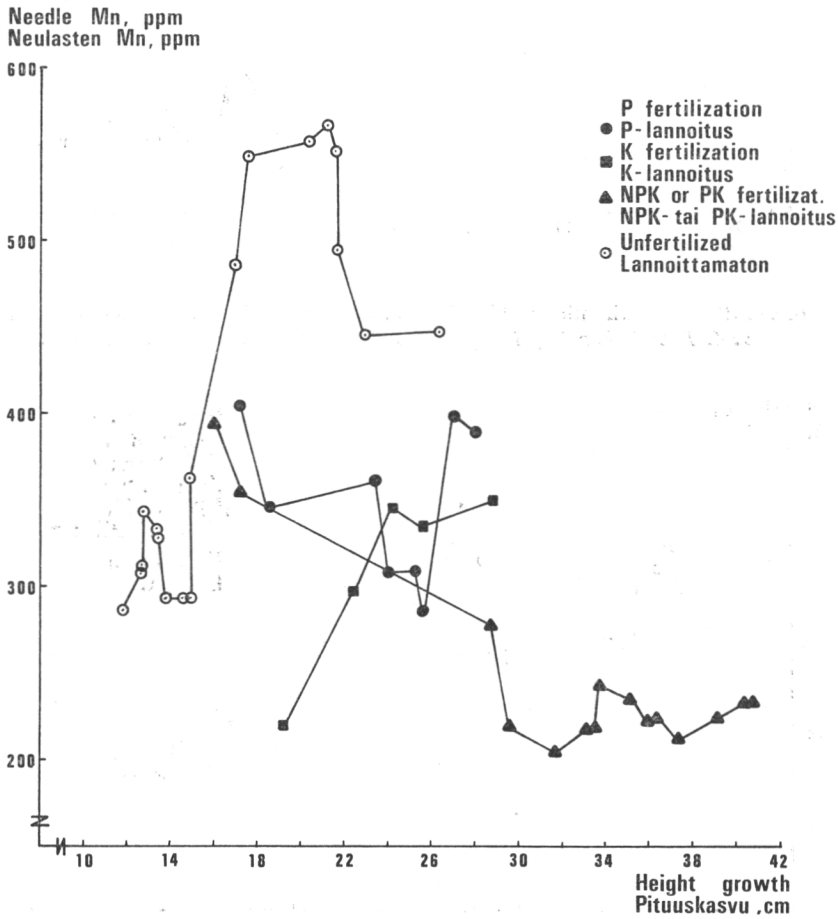


Fig. 6. Effect of fertilization and height growth of trees on manganese content of needles.

Kuva 6. Lannoituksen ja puiden pituuskasvun vaikutus neulasten mangaanipitoisuuteen.

The behaviour of manganese on the unfertilized plots was surprisingly variable (fig. 6). There was evidently, at least in the poorly growing (unfertilized) stands, a positive correlation between the manganese content and growth. The rising trend in the manganese content on the plots fertilized with potassium is very clearly visible in areas with a rather poor height growth where the pines suffered from phosphorus deficiency. However, on plots which have received phosphorus or PK/NPK application the trend is falling in areas with similar levels of growth. It is noteworthy that in this material the negative effect of potassium fertilization on the manganese content is in some cases greater (poorly growing trees) than that of other fertilization treatments. The effect of dilution is clearly apparent on plots with PK/NPK fertilization.

The material does not give a reliable picture of the effect of nitrogen fertilization, since its effect had discontinuted in most cases before sampling was carried out. Presumably nitrogen fertilization, in increasing the size of the needles, also causes dilution and antagonistic effects.

It is evident from the above data why the negative correlations between height growth and the boron, zinc and manganese contents of the needles do not support the assumption that these micronutrients hamper the growth of tree stands as their concentrations increase (table 1): The material comes from areas with different fertilization treatments and drainage.

In order to further clarify the matter, the effect of fertilization on the micronutrient contents was investigated by examining the correlation diagrams for the growth — micronutrient content.

In the case of boron the correlation diagram clearly consisted of three parts, one for each of the following fertilization treatments:

I PK/NPK fertilization
II P or K fertilization
III Plots without P (control plots)

These parts together are negatively correlated with height growth, while within each part the correlation is much vaguer (fig. 7). The situation was nearly the same in the case of manganese (fig. 8).

The correlation between the zinc content and growth (fig. 9) deviated from that in previous diagrams in that mere phosphorus fertilization produced the greatest dilution effect (including antagonism). In the case of the PK/NPK fertilized plots, a normal biological growth curve could be drawn. The previously observed large deviation in the zinc contents on the potassium fertilized plots (see fig. 2) is given a more graphic presentation here. The Honkajoki and part of the Muhos material have been omitted from figs. 7—9, since their tree stands were clearly at a different development stage than the others.

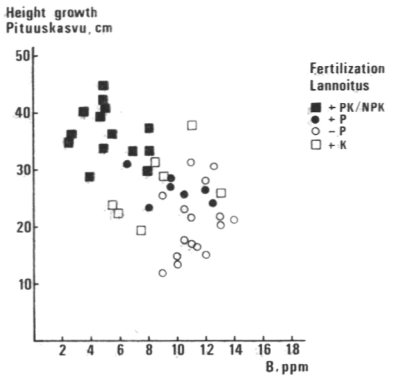


Fig. 7. Effect of fertilization on correlation between boron and height growth of trees.

Kuva 7. Lannoituksen vaikutus boorin ja puiden pituuskasvun väliseen korrelaatioon.

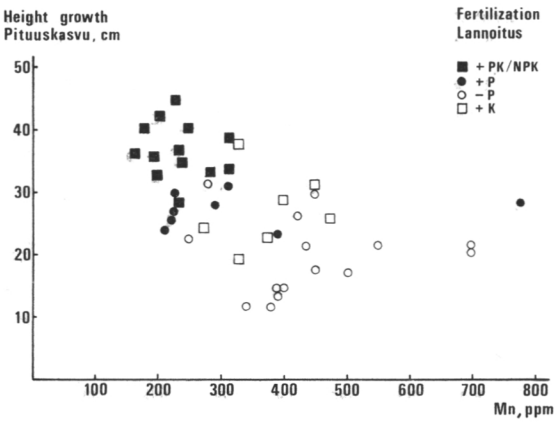


Fig. 8. Effect of fertilization on correlation between manganese and height growth of trees.

Kuva 8. Lannoituksen vaikutus mangaanin ja puiden pituuskasvun väliseen korrelaatioon.

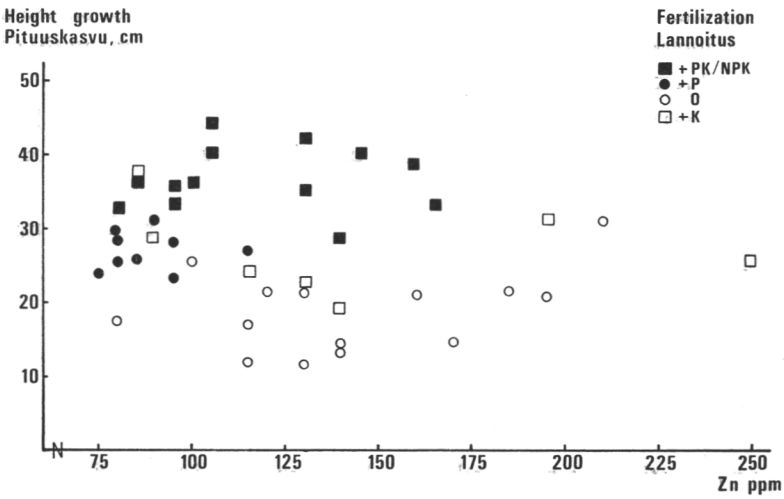


Fig. 9. Effect of fertilization on correlation between zinc and height growth of trees.

Kuva 9. Lannoituksen vaikutus sinkin ja puiden pituuskasvun väliseen korrelaatioon.

32. Effect of macronutrient concentrations of needles

It is often difficult to gain any information about fertilization treatments carried out on the area under diagnosis. In such cases the results of macronutrient analysis of needles can be utilized. According to the upper limit values denoting macronutrient deficiencies determined from the 1967 material (P a a r l a h t i et al. 1971),

the results of the micronutrient analyses were divided into four deficiency classes fulfilling the following conditions (mg/g):

		n
1) $P < 1.5$, $K < 3.5$;	indicates shortage of PK	12
2) $P \geq 1.5$, $K \geq 3.5$;	no deficiency	15
3) $P < 1.5$, $K \geq 3.5$;	indicates shortage of P	22
4) $P \geq 1.5$, $K < 3.5$;	indicates shortage of K	13

Observations of height growth and micronutrient content of each deficiency class were investigated by means of diagrams, in which a point representing the micronutrient content is the moving average of five plots and the point for height growth is the median of these plots.

In all deficiency classes the trend of the boron content (fig. 10) were falling. The boron content trend in plots with no macronutrient deficiency (the smallest growth values, however, clearly indicate nitrogen deficiency) remains 2—3 ppm lower than in the others. The trend in areas deficient in phosphorus was rather variable. The phosphorus deficiency trend is rising when growth exceeds 25 cm/y. The trend of potassium deficiency would seem to directly continue the trend of PK deficiency.

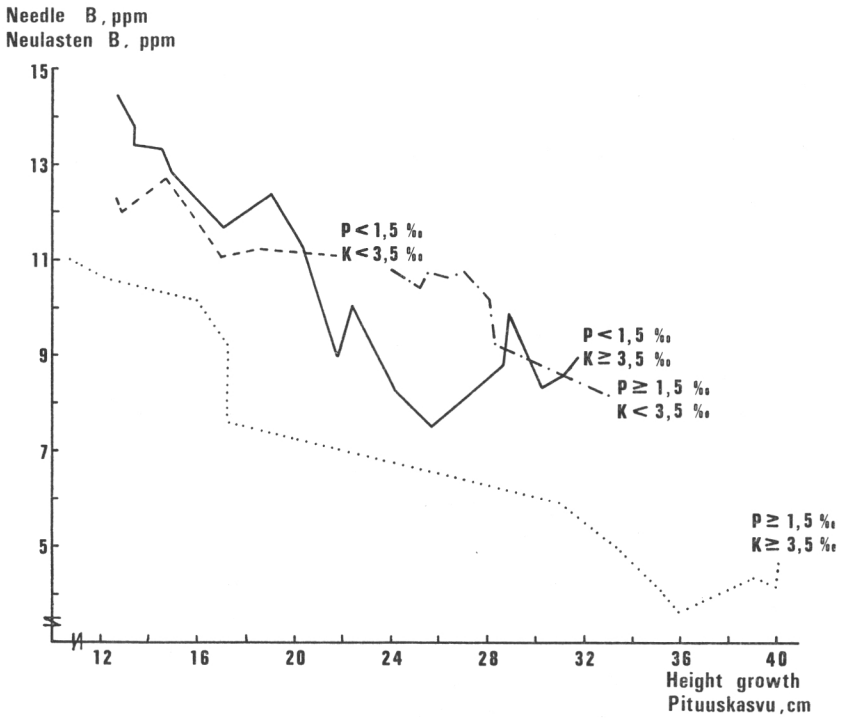


Fig. 10. Effect of phosphorus and potassium contents of needles on boron content and height growth of trees.

Kuva 10. Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuksien vaikutus booripitoisuuksiin ja puiden pituuskasvuun.

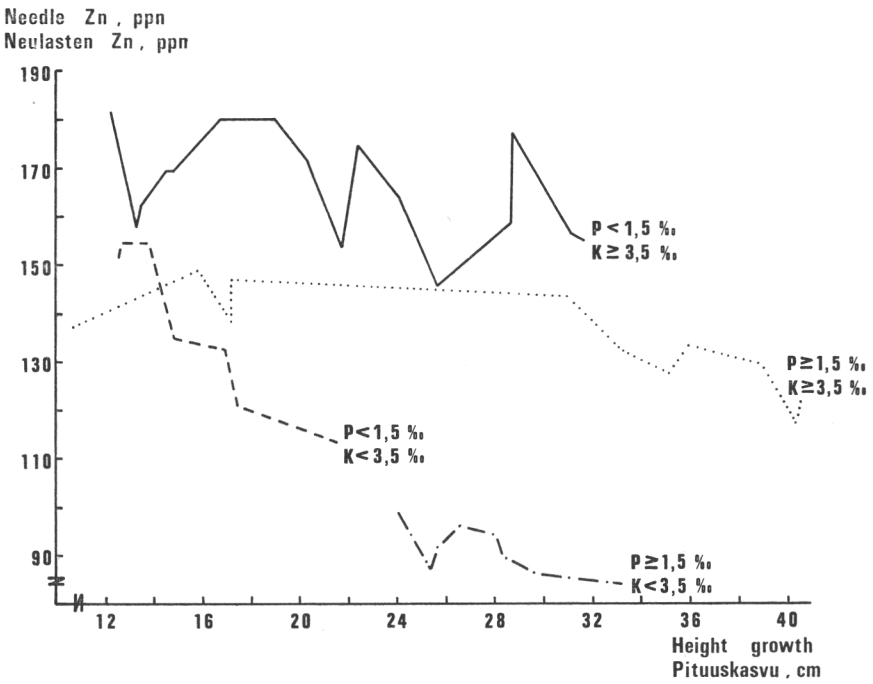


Fig. 11. Effect of phosphorus and potassium contents of needles on zinc content and height growth of trees.

Kuva 11. Neulasten fosfori- ja kalipitoisuuksien vaikutus sinkkipitoisuuksiin ja puiden pituuskasvuun.

The trend of the zinc content (fig. 11) in areas not suffering from deficiency did not start to fall until the height growth exceeded 30 cm/y. The trend was falling in PK and potassium deficient areas. The lowest zinc values were found when there was good height growth and when there was potassium deficiency. Zinc values in phosphorus deficient areas varied greatly between 150—180 ppm indicating no dilution effects. On peat soils a sufficient potassium level in the needles also seems to maintain a high level of zinc.

When phosphorus and potassium remain within their optimum ranges, the correlation between manganese and growth is quite similar to that observed with boron i.e. distinctly falling (fig. 12). On poorly productive areas (oligotrophic bogs) with a deficiency of PK, the values remain much lower than the falling trend. The manganese values in phosphorus deficient areas increase at first with growth, but later join the general negative trend when growth exceeds 20 cm/y. Manganese in PK deficient areas follows the rising trend characteristic of phosphorus deficient areas. The deviation of manganese contents in potassium deficient areas is so large that it is impossible to determine the direction of the trend.

The mean values of the 1967 material show that phosphorus contents ($P \geq 1.6\ ^0/_{00}$) sufficient for good growth on peat soils lower the boron and zinc contents of the

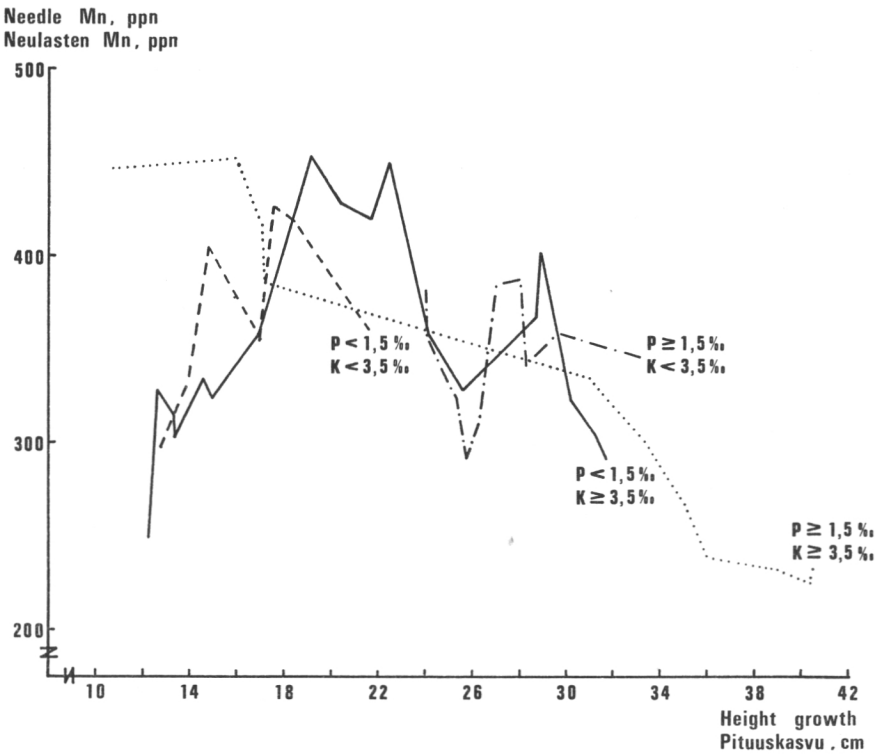


Fig. 12. Effect of phosphorus and potassium contents of needles on manganese content and height growth of trees.
Kuva 12. Neulasten fosfori- ja kalipitoisuuden vaikutus mangaanipitoisuuksiin ja puiden pituuskasvuun.

needles (table 3). As the potassium level in the needles exceeds the deficiency limit, the boron content of the needles decreases. Nitrogen contents did not seem to have any significant effect on the mean values of the micronutrient contents.

Table 3. Effect of macronutrient levels in needles on micronutrient contents of needles.
Taulukko 3. Neulasten makroravinnetasojen vaikutus neulasten mikroravinnepitoisuuksiin.

Macronutrient level *Makroravinnetasot*	n	Micronutrient content, ppm *Mikroravinnepitoisuudet, ppm*		
		B	Zn	Mn
P ≥ 1,6 ‰	22	7,6±1,4	117±14	324±62
P < 1,6 ‰	42	10,7±1,1	152±14	333±51
K ≥ 4,0 ‰	21	7,1±1,6	154±19	272±60
K < 4,0 ‰	43	10,9±1,0	133±13	359±49
N ≥ 1,3 %	42	9,0±1,0	130±14	347±46
N < 1,3 %	22	10,9±2,0	155±19	299±77

According to needle analysis, nitrogen deficiency was manifest on 25 experimental plots out of a total of 64 in the 1967 material. If the deficiencies in other macronutrients is disregarded, it can be seen that in nitrogen deficient areas (N < 1.3 %) there were negative correlations between nitrogen and micronutrient contents excluding boron, which fact is visible in the appended regression lines (fig. 13). The corresponding regression lines were rising when there was no nitrogen deficiency. When the potassium and phosphorus material was treated in the same way, a similar, although far vaguer phenomenon was observed.

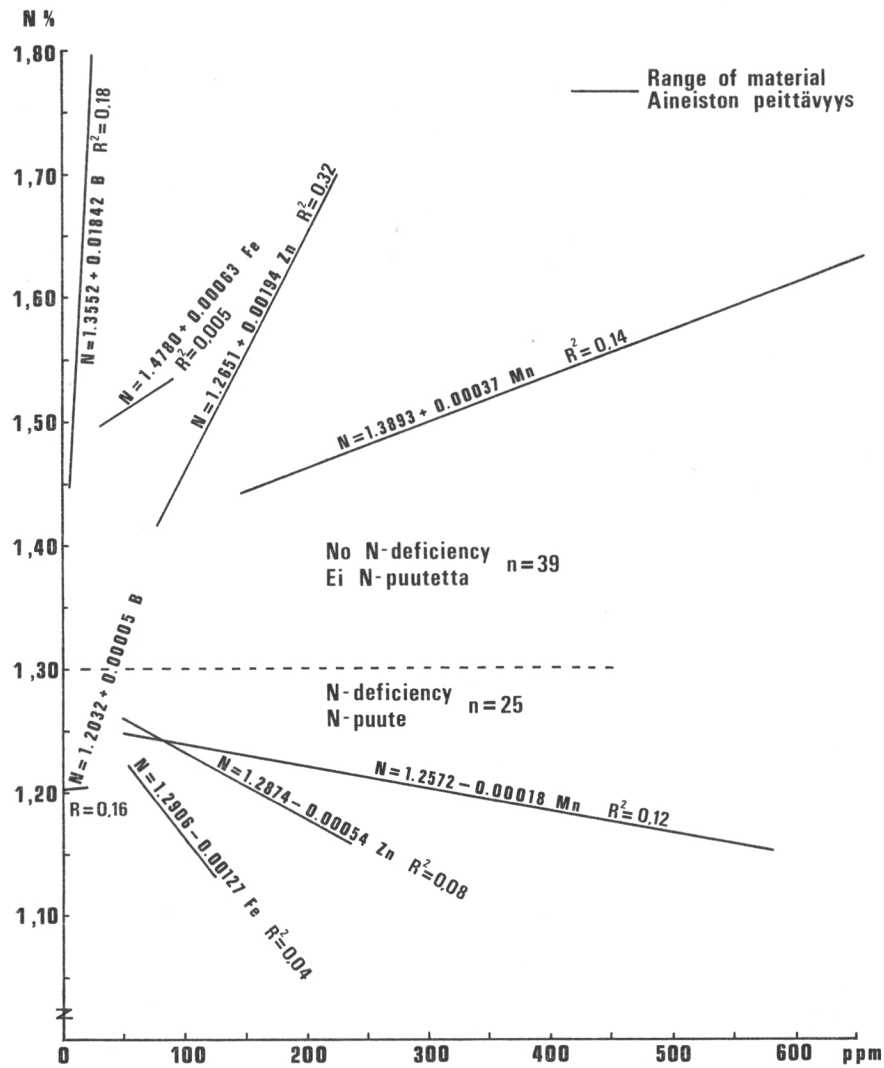


Fig. 13. Effect of nitrogen deficiency on micronutrient contents.
Kuva 13. Typen puutteen vaikutus mikroravinnepitoisuuksiin.

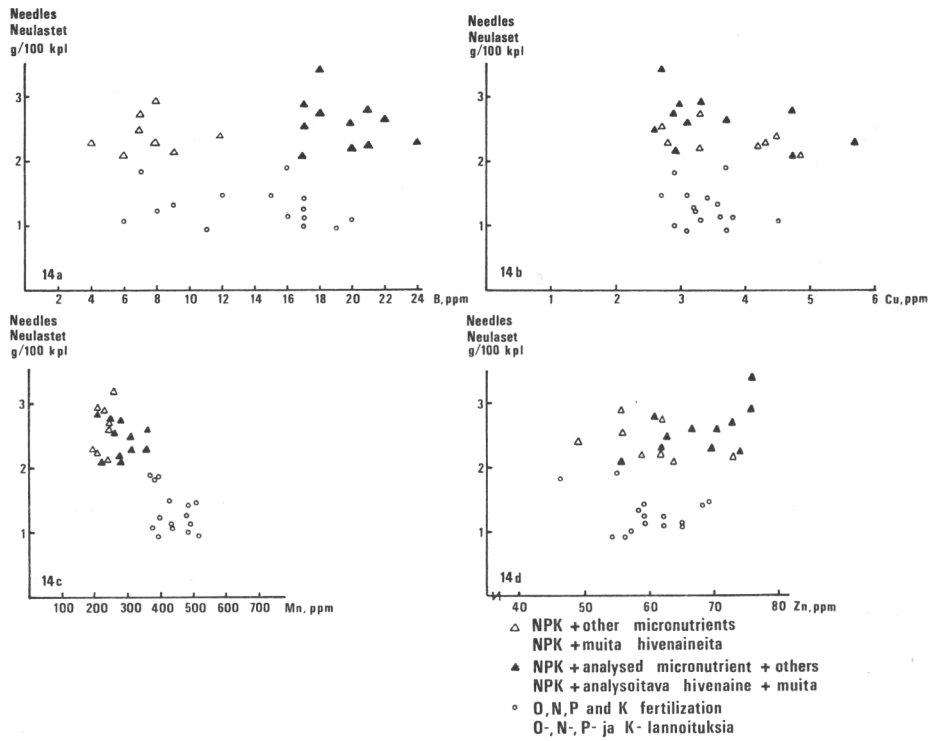


Fig. 14. Effect of microfertilization and NPK fertilization on micronutrient content of needles.
Kuva 14. Mikrolannoituksen ja NPK-lannoituksen vaikutus neulasten mikroravinnepitoisuuteen.

33. Effect of micronutrient fertilization

Application of micronutrients usually raises the corresponding micronutrient contents of the roots and needles. Occasionally the applied micronutrient may increase the contents of other nutrients (synergism) or decrease their contents (antagonism) (Benzian and Warren 1956, Smith 1962, Oldenkamp and Smilde 1966, van Goor 1968, Paavilainen 1969, Olsen 1972, Snowdon 1973).

The micronutrient experiment carried out at Kivisuo shows that even 13 years after application the effects of micronutrients can still be clearly seen in the needles (fig. 14 a—d, table 4). It is evident that the addition of a single micronutrient increases the concentration, while the omission of any microelement lowers it. Boron and zinc fertilization have greatly raised the corresponding nutrient contents. A positive correlation exists between these nutrient contents and the height growth in NPK fertilized plots. This correlation has not been found in connection with copper and manganese fertilization (figs. 14 b and c). However, there is a typical negative correlation between manganese and growth (Paarlahti et al. 1971).

Table 4. Micronutrient contents of pine needles in 1972, Kivisuo (as mean values of two experimental plots)
Taulukko 4. Männyn neulasten mikroravinnepitoisuudet v. 1972, Kivisuo (kahden koealan keskiarvoina).

Fertilization treatment *Lannoituskäsittely* 1959	Content, ppm of dry matter *Pitoisuudet, ppm kuivapainosta*				Height growth *Pituuskasvu* 1970—1972
	Cu	B	Zn	Mn	cm/y *cm/v*
NPK + B	3,3	20	59	235	53,2
NPK + Cu	5,7	4	62	195	49,3
NPK + Zn	3,3	7	73	245	48,3
NPK + Mn	4,5	12	49	275	51,3
NPK Mn Zn Cu —	2,6	7	63	310	49,8
NPK Mn Zn — B	2,8	24	70	312	52,8
NPK Mn — Cu B	2,9	18	62	282	51,0
NPK — Zn Cu B	2,7	18	76	262	53,8
NPK Mn Zn Cu B	3,1	20	71	362	52,5

The effects of the applied micronutrients on the concentrations of other micronutrients are also of great interest. Copper fertilization, in particular, has lowered both the manganese and boron contents of the needles. The omission of copper has produced the highest boron value in Kivisuo material (table 4).

34. Effect of ground water level

The analysis results of needle material collected at Jaakkoinsuo in Vilppula show that boron and manganese contents are fairly high (no dilution) in areas with a high ground water level. The values decrease as the ground water level falls and the growth of the tree stand accelerates. This is probably due to dilution caused by improved macronutrient mobilization (see table 5).

The decrease in the copper and zinc contents does not seem to start until the nitrogen content of the needles starts to decline and the potassium content rises

Table 5. Effect of ditch water regulation level on nutrient contents of pine needles (n = 1).
Taulukko 5. Ojaveden säännöstelytason vaikutus männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin (n = 1).

Analysed nutrient *Analysoitu ravinne*	Ditch water regulation level *Ojaveden säännöstelytasot*			
	—10 cm	—30 cm	—50 cm	—70 cm
N %	1,40	1,62	1,74	1,62
P mg/g	1,6	1,7	2,0	1,9
K »	4,9	4,9	5,5	5,9
Ca »	3,4	3,4	2,9	2,7
Mg »	1,4	1,8	1,5	1,6
Cu mg/kg	4,3	4,5	6,3	5,3
B »	20,4	20,4	14,4	9,6
Zn »	61	74	74	63
Mn »	775	488	475	308
Growth — *Kasvu* 1962—1971, k-m³/ha	10,6	18,6	23,2	21,1

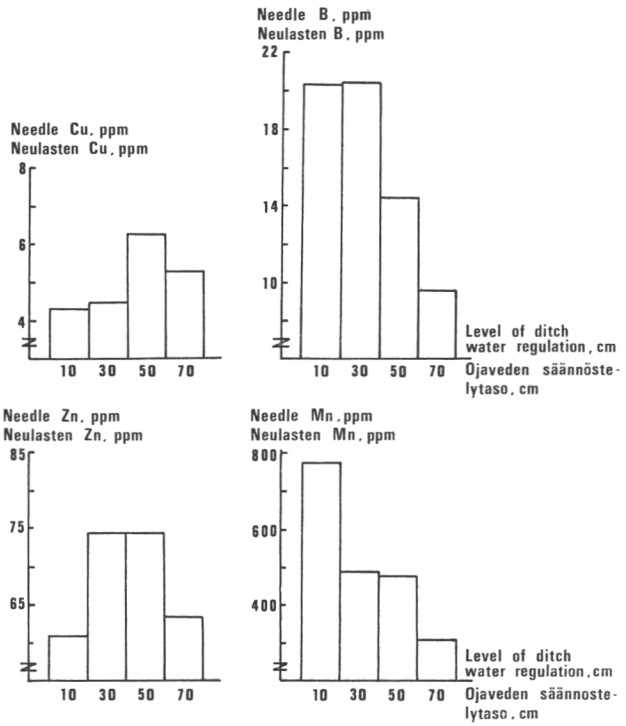


Fig. 15 a—d. Effect of ditch water regulation level on micronutrient contents of needles.

Kuva 15 a—d. Ojaveden säännöstelytason vaikutus neulasten mikroravinnepitoisuuksiin.

to its highest level (figs. 15 a—d). Overdrainage (70 cm) may also be one reason, since the growth of the tree stand has declined as well as the phosphorus content, and nitrogen and boron values sensitive to drought, have also decreased. The changes in the potassium content follow the rising trend as the ground water level falls (e.g. Walker 1962, Schomaker 1969).

The Jaakkoinsuo material indicates that ground water level is a relevant factor modifying the micronutrient concentrations of pine needles.

35. Micronutrients on needle surface

The interpretation of needle analysis may become difficult if micronutrients originating from the environment become attached to the needle surface. Oertli and Jacobson (1960) found no evidence of iron deficiency until the leaf surfaces to be analysed had been washed.

According to the pine needle material from Kivisuo, HCl rinsing was not found to greatly lower the contents of any investigated element in needles (table 6). On

Table 6. Effect of 0.2-n HCl-rinsing on some micronutrient contents, mg/kg.
Taulukko 6. 0.2-n HCl-huuhtelun vaikutus eräiden alkuaineiden pitoisuuksiin, mg/kg.

Micro-nutrient *Mikro-ravinne*	Small needles < 1,5 g/100 needles *Pienet neulaset < 1,5 g/100 kpl*		Large needles > 2,5 g/100 needles *Suuret neulaset > 2,5 g/100 kpl*		Total material *Koko aineisto*	
	no — *ei* HCl	HCl	no — *ei* HCl	HCl	no — *ei* HCl	HCl
	n = 12		n = 8		n = 32	
Mo ..	0,10± 0,04	0,07± 0,07	0,12± 0,07	0,05± 0,02	0,13± 0,03	0,10± 0,04
Cu ...	3,3 ± 0,3	3,3 ± 0,3	3,2 ± 0,5	3,4 ± 1,0	3,5 ± 0,3	3,6 ± 0,3
B	14 ± 3	14 ± 3	16 ± 4	17 ± 5	14 ± 2	14 ± 3
Fe ...	58 ± 5	53 ± 7	60 ±10	61 ±12	57 ± 3	54 ± 5
Zn ...	61 ± 4	60 ± 4	66 ± 7	68 ±11	63 ± 3	64 ± 4
Al ...	116 ±20	112± 24	190 ±25	185 ±33	162 ±21	159 ±29
Mn ..	442 ±30	455 ±27	262± 38	265 ±38	334 ±35	344± 42

the other hand, the aluminium content increased, while the manganese content decreased clearly as the size of the needles increased. This proves that the dilution and antagonistic effects usually are far more important questions than impurities remaining on the needle surface in the interpretation of the results of needle analysis.

The result probably also means that normally rinsing before analysis is not necessary. If the area has been sprayed with chemicals or if there are other sources of dust or chemicals in the neighbourhood, rinsing should always be considered. Information about such factors are essential in micronutritional diagnosis.

36. Other factors

The needle sampling time may effect the micronutrient contents. For several different reasons it has been concluded that the best time for needle sampling for analysis is during the winter, the dormant period of trees (W e h r m a n n 1963, cf. van D r i e s s c h e 1974). Furthermore, the age of the needles and their position in the crown affect the micronutrient contents. These differences can be eliminated by always sampling the needles of the preceding summer from a southern facing branch of the topmost whorl of branches. This may be difficult in mature tree stands and impossible if the crowns are destroyed. In such cases useful information may be obtained by taking the samples at a similar height or from the topmost living branches (e.g. M a d g w i c k 1964).

The micronutrient contents of needles are dependent on the amount of corresponding nutrients in the soil, rate of absorbtion of nutrients, transportation to the functioning centres and the general mobility of nutrients in the plant. Both micro- and macronutrients affect each other by either preventing or promoting mobility and activity. As these antagonistic and synergistic effects form the nutrient balance of the needles at one particular moment, such facts should be known when the results of micronutrient analyses are being interprated (O l s e n 1972). Moreover, the genetic properties of plants, temperature, pH, light intensity and quality may affect the relationship between micronutrients and growth reaction (J o n e s 1972).

4. DISCUSSION

In general, phosphorus and potassium and sometimes also nitrogen are minimum factors on unfertilized peatland sites. The needle samples collected from sites which have been treated with different macronutrient combinations have a tendency to give negative growth — micronutrient correlations, which make the interpretation difficult. One solution to this problem is that before analysing the micronutrient content of needles, the dominating minimum factors of the entire investigation area should be eliminated.

The results of this study show that macronutrient fertilization and high macronutrient status in needles usually cause an increase in height growth and in needle dry matter and usually at the same time a decrease in the micronutrient concentrations of the needles. The effect of ground water level can be understood as a question of macronutrient status. Using micronutrient fertilization it is possible to raise micronutrient concentrations. Sodiumborate in particular has a long-lasting effect.

This investigation reveals certain factors which make interpretation difficult (dilution, water regime, antagonistic effects) but which can be eliminated through experiments. Similar results have been arrived at by investigating field crops (Steenbjerg 1951, 1954, Steenbjerg and Jakobsen 1959, 1963, Jones 1972).

It seems that a separate interpretation method should be developed for each field crop species (Jones 1972) and correspondingly for each tree species. General guidelines for facilitating interpretation have been obtained while investigating the use of plant analysis in macronutrient diagnosis.

Prevot and Ollagnier (1961) have presented a general growth curve (fig. 16). Its C-shaped part (A—B) has earlier remained unexplained (Steenbjerg effect). According to the present material there are two possible explanations:

1) Part A turns to the right, because some macronutrient or another minimum factor causes poor growth.

2) The theoretical growth curve (Ao) should cross the origin, but as cells cannot survive at extremely low concentrations, the micronutrient concentrations for the A-part of the growth curve are not normally distributed.

In this investigation the position of the growth curve is changed (fig. 17) (y and x axes have changed places). Now it is obvious why some of the presented trends (see figs. 4—6 and 10—12) were rising and most of them falling and what they

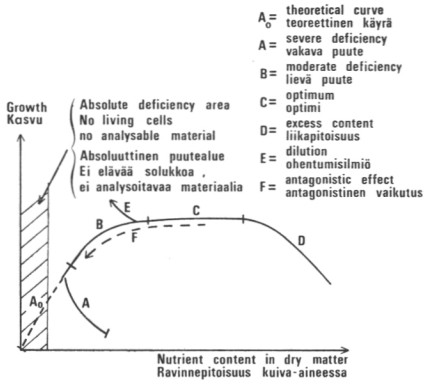


Fig. 16. Growth curve (Prevot and Ollagnier 1961), an adaptation.
Kuva 16. Kasvukäyrä (Prevot ja Ollagnier 1961) mukailtuna.

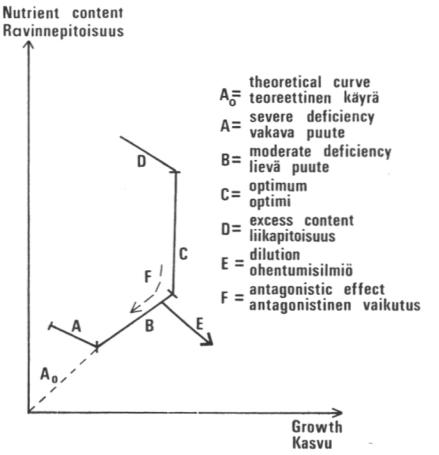


Fig. 17. Reversed growth curve.
Kuva 17. Käännetty kasvukäyrä.

actually mean. The falling trend refers to dilution/concentration phenomenon and the rising trend is the B part of the growth curve. For instance, the rising trend in the manganese content on potassium fertilized areas (fig. 6) was subsequently caused by a phosphorus deficiency which was apparent on all plots treated with potassium fertilization only.

This investigation has covered a cross-section of relatively old fertilization treatments. There is reason to assume that antagonistic and dilution phenomena are at their strongest soon after fertilization when the so-called shock-effect of fertilization is also often perceived. There is further need for investigating how macro-fertilization treatments of different ages affect the development of the micronutrient levels of needles.

The question, how long the dilution of micronutrients can continue without visible growth disturbances, is still open. It is well known that visual symptoms of nutrient deficiencies are a result of changes which have earlier taken place in the cells. Even a short interruption in micronutrient availability may produce irreversible damage (Bussler 1974). Some such cellular damage in pine can be detected by microscopical survey (Raitio and Rantala 1977) before the visual symptoms appaear. Another open question is, what is the relationship between frost damage and micronutrient dilution, animal and fungal damage and the micronutritional state of pines?

As forest soils are being increasingly refertilized, both macro- and micronutrient analyses of needles will gain more importance both in carrying out the investigation and in designing practical fertilization instructions. In predicting microfertilization

requirements in peatland pine stands needle analysis gives a lot of information about the nutritional state of the stand. The interpretation of analysis results requires, however, background knowledge about the ecological plant environment and the interactions between different nutrients. Yet it is often the micronutrient experiment carried out in the field that yields the final diagnosis. Micronutrient analysis of substrate soil may in some cases be helpful.

LITERATURE

BARNETTE, R. M., CAMP, J. P., WARNER, F. D. & GALL, O. E. 1936. Use of zinc sulfate under corn and other fieldcrops. Fla. Agr. Exp. Sta. Bull. 293: 3.

BECKING, J. H. 1961. A requirement of molybdenum for the symbiotic nitrogen fixation in alder (*Alnus glutinosa*). Plant & Soil 15: 217—227.

BENZIAN, B. & WARREN, R. G. 1956. Copper deficiency in Sitka spruce seedlings. Nature. 178: 864.

BOAWN, L. C., VICTS, F. G. & CRAWFORD, C. L. 1954. Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans. Soil Sci. 78: 1—7.

BUSSLER, W. 1974. Microscopical and microchemical characteristics of deficiency diseases. In: Plant analysis and fertilizer problems. Vol. 1. Proc. 7th Int. Coll. on plant analysis and fertilizer problems. Hannover.

DRIESSCHE, R. van 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. Bot. Rew. 40 (3): 347—394.

GOOR, C. P. van. 1968. Spurenelemente bei der Ernährung von Koniferen. Tagungsberichte Nr. 84: 147—155.

HAVERAAEN, O. 1966. Boron too is an essential trace element for Norway Spruce and Scots Pine. Norsk Skogsbr. 12 (22): 788—805.

HEARMAN, J. 1938. Minorelements and the pine. Aust. For. 3: 24—27.

HUIKARI, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11: 28—29.

—»— & PAARLAHTI, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce and birch. Seloste: Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. Commun. Inst. For. Fenn. 64 (1): 1—135.

—»— & PAAVILAINEN, E. 1972. Metsänlannoitus. 67 s. Helsinki. Kirjayhtymä.

INGESTAD, T. & JACOBSON, A. 1962. Boron and manganese nutrition of birch seedlings in nutrition solutions. Medd. Stat. Skogsförsökn. Inst. 51 (8): 1—20.

JONES, J. B. Jr. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, USA. p. 319—346.

KNIGHT, P. J. 1975. Copper defiency in Pinus radiata in peat soil nursery. N. Z. J. For. Sci. 5 (2): 209—218.

KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. Über die Fruchtbarkeit des finnischen Ackerbodens auf Grund der in den Jahren 1955—1970 durchgeführten Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen. 182 S. Helsinki, Yhteiskirjapaino Oy.

LANGE, P. 1969. A manganese deficiency in Pinus radiata at Klein Gouna, Knysna. Bosb. Suid. Afr. 10: 47—59, 61.

LUDBROOK, W. V. 1940. Boron deficiency symptoms on pine seedlings in water culture. J. Coun. Sci. Industr. Res. Austr. 13: 186—190.

—»— 1942. The effect of various concentrations of boron on the growth of pine seedlings in water culture. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 8: 112—114.

LUKKALA, O. J. 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. Erip. Metsätal. Aikakausl. 6—8: 1—5.

MADQWICK, H. A. I. 1964. Variations in the chemical composition of red pine leaves: a comparison of well-grown and poorly grown trees. Forestry 37 (1): 87—94.

OERTLI, J. & JACOBSON, L. 1960. Some quantitative considerations in iron nutrition of higher plants. Plant Physiol. 35.

OLDENKAMP, L. & SMILDE, K. W. 1966. Copper deficiency in Douglas Fir (Pseudotsuga menziesii (Mirb.)) Franco. Plant & Soil. 25: 150—152.

OLSEN, S. R. 1972. Micronutrient interactions. In: Micronutrients in Agriculture, Madison, USA. 242—264.

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 määrityksessä. Commun. Inst. For. Fenn. 74 (5): 1—58.

PAAVILAINEN, E. 1969. Juuristojen ja kasvualustan hivenainepitoisuuksien välisistä suhteista suometsissä. Summary: On the correlation between the contents of trace elements in roots and growth substratum in certain peatland sites. Suo 20 (2): 25—29.

PREVOT, P. & OLLAGNIER, M. 1961. Law of the minimum and balanced nutrition. In: Walter Reuther (ed.). Plant analysis and fertilizer problems. Amer. Inst. Biol. Sci. Pub. no. 8. p. 257—277. Washington, D.C.

PROCTER, J. 1967. A nutritional disorder of Pine. Commonw. For. Rev. 46: 145—154.

RADEMACHER, B. 1940. Kupfermangelerscheinungen bei Forstgewächsen auf Heideböden. Mitt. Forstwirtsch. Forstwiss. 2: 335—344.

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—29.

RUITER, J. H. 1969. Suspected copper deficiency in Radiata Pine. Plant & Soil 31 (1): 197—200.

SCHOMAKER, C. F. 1969. Growth and foliar nutrition of white pine seedlings as influenced by simultaneous changes in moisture and nutrient supply. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33 (4): 614—618.

SCHÖNHAR, S. 1958. Eisenmangel-chlorose an Forstpflanzen. Allg. Forstzeitschr. 13 (10): 149—151.

SILLANPÄÄ, M. & RINNE, S.-L. 1975. The effect of heavy nitrogen fertilization on the uptake of nutrients and on some properties of soil cropped with grasses. Ann. Agric. Fenn. 14: 210—226.

SMITH, P. F. 1962. Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Plant Physiol. 13: 81—108.

SMITH, M. E. & BAYLISS, N. S. 1942. The necessity of zine for Pinus radiata. Plant. Physiol. 17: 303—310.

SNOWDON, P. 1973. Problems in the diagnosis of boron deficiency in Pinus radiata. FAO/IUFRO Int. Symp. Forest Fertilization. Paris.

STEENBJERG, F. 1951. Yield curves and chemical plant analyses. Plant & Soil 3: 97—109.

—»— 1954. Manuring, plant production and the chemical composition of the plant. Plant & Soil 5 (3): 226—242.

—»— & JAKOBSEN, Sv. T. 1959. Some approaches to experimental investigations into the correlation between the slope and the sigmoidal shape of yield curves. Plant & Soil X (3): 284—295.

—»— & JAKOBSEN, S. T. 1963. Plant nutrition and yield curves. Soil Sci. 95: 69—88.

STOATE, T. N. 1950. Nutrition of the pine. Forestry and Timber Bureau. Bulletin No. 30: 6—45. Canberra.

STUKENHOLTZ, D. D., OLSEN, R. J., GOGAN, G. & OLSON, R. A. 1966. On the mechanism of phosphorus — zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 759—763.

TAMM, C. O. 1964. Die Blattenanalyse als Methode zur Ermittlung der Nährstoff versorgung des Waldes — eine kritische Betrachtung. In: Düngung und Melioration in der Forstwirtschaft. Tagungsberichte 66: 7—17.

THORNE, D. W. 1957. Zinc deficiency and its control. Advance. Agron. 9: 31—65.

TOLLENAAR, H. 1969. Boron deficiency in Pine plantations in the central zone of Chile. Agricultura Tecnica. 29 (2): 85—88.

VAIL, J. W., PARRY, M. S. & CALTON, W. E. 1961. Bormangel als Ursache des Absterbens junger Triebe bei Kiefern (engl.) Plant & Soil. 14: 393—398.

VEIJALAINEN, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. Suo 26 (5): 87—92.

WALKER, L. C. 1962. The effects of water and fertilizer on loblolly and slash pine seedlings. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26 (2): 197—200.

WEHRMANN, J. 1963. Möglichkeiten und Grenzen der Blattenanalyse in der Forstwirtschaft. Landw. Forsth. 16 (2): 130—145.

WEST, E. S. 1938. Zinc-cured mottle-leaf in citrus induced by excess phosphate. J. Counc. Sci. Ind. Res. 11: 182—184.

WILL, G. M. 1971. The occurrence and treatment of boron deficiency in New Zealand Pine forests. Res. Leaffl. For. Res. Inst. N. Z. For. Serv. 32: 1—4.

ZECH, W. 1970. Besonderheiten im Ernährungszustand chlorotischer Fichten auf kalkreichen Böden. Forstwiss. Cbl. 89 (1).

SELOSTE

Määritettäessä männyn ravinnetarvetta turvemaiden lannoitusta varten, mikroravinteiden tarpeeseen on viime aikoihin asti kiinnitetty varsin vähän huomiota. Puiden latvojen kuoleminen laajoilla alueilla on vasta 1970-luvulla pannut alulle tutkimustoiminnan, joskin vanhimmat kokeet ovat peräisin 1950-luvun alusta. Eräs osa laajemmasta ns. kasvuhäiriötutkimusprojektista on nyt käsillä oleva tutkimus. Tarkoituksena oli tutkia, mistä aiheutuu männyn neulasten mikroravinnepitoisuuksien aleneminen pituuskasvun lisääntyessä. Samalla pyrittiin selkeyttämään neulasanalyysin tulkintaa mikroravinteiden osalta ja osoittamaan, mitä eri tietoja kasvupaikasta tarvitaan tulkintaa varten.

Tutkimuksessa käytettiin vuonna 1967 kerätyn aineiston (P a a r l a h t i ym. 1971) lisäksi Leivonmäen Kivisuolta vuonna 1972 ja Vilppulan Jaakkoinsuolta vuonna 1976 kerättyjä ja Viljavuuspalvelu Oy:ssä analysoituja neulasnäytteitä.

Jokainen neulasnäyte koostui 6—10 männyn ylimmän oksakiehkuran etelänpuoleisten oksien neulasista, jotka kerättiin maaliskuussa. Jokaiselta neulasnäytekoealalta mitattiin myös puiden pituuskasvu tai sadan neulasen massa. Puolet Kivisuon materiaalista huuhdottiin 0.2-n HCl-liuoksella.

Tutkimuksen lähtökohta oli vuoden 1967 aineistossa havaitut pituuskasvun ja mikroravinteiden väliset negatiiviset korrelaatiot (taulukko 1). Todettiin NPK-lannoituksen olevan eräs syy em. negatiivisiin korrelaatioihin, vaikka sama lannoituskäsittely näytti kohottavan turpeen mikroravinnepitoisuuksia. Tämä ns. ohentumisilmiö on niin voimakas, että se on otettava huomioon neulasanalyysituloksia tulkittaessa (kuvat 1—12). Samoissa kuvissa havaittavan pitoisuuksien vaihtelun yhtä nopeasti kasvavilla männyillä katsotaan aiheutuvan ravinteiden välisistä antagonistisista vaikutuksista eli siitä, että esim. fosforin antaminen alentaa sinkin pitoisuuksia huomattavasti enemmän kuin kalin antaminen (kuva 5), vaikka pituuskasvu on suurinpiirtein sama.

Kuvissa 7—9 osoitetaan, että aiemmin saadut negatiiviset korrelaatiot aiheutuvat lähinnä erilaisista lannoituskäsittelyistä (myös kasvualustan luontainen ravinteisuus on vaikuttava tekijä). Varsinkin sinkin kohdalla havaitaan (kuva 9), että kun makroravinteiden (N, P, K) puute on poistettu, sinkkipitoisuuden kohoaminen ensin parantaa, mutta sitten alentaa pituuskasvua (normaali kasvukäyrä, ks. kuvat 16 ja 17). Kuvat 10—12 osoittavat, että mikäli lannoituskäsittelyistä ei saada selkoa, voidaan ohentumisvaikutuksen suuruus arvioida neulasten makroravinnepitoisuuksien perusteella.

Neulasten typpitaloudella näytti myös olevan voimakas vaikutus mikroravinnetilaan (kuva 13). Typen puutealueilla mikroravinnepitoisuuden nouseminen vaikutti yleensä neulasten typen pitoisuuksia alentavasti, kun taas typen pitoisuuden ollessa riittävä hyvälle kasvulle mikroravinnepitoisuuksien kohoamisella oli päinvastainen vaikutus. Taulukko 3 osoittaa, etteivät korkeat typen pitoisuudet kuitenkaan oleellisesti kohota minkään tutkitun mikroravinteen pitoisuuksia. Tilastollisesti merkitseviä olivat fosforin vaikutukset neulasten boori- ja sinkkipitoisuuksiin ja kalin vaikutus booripitoisuuteen.

Mikroravinnelannoituksen todettiin Kivisuon aineiston perusteella nostaneen kaikkien annettujen mikroravinteiden pitoisuuksia. Vielä 13 vuotta lannoituksen jälkeen boorin vaikutus oli hyvin selvä (kuva 14 a—d, taulukko 4). Myös maan vesitaloudella havaittiin olevan selviä vaikutuksia

mikroravinnepitoisuuksiin (kuva 15 a—d, taulukko 5). Ojaveden pinnan pitkäaikainen alentaminen vähensi myös mikroravinteiden (boorin ja mangaanin) pitoisuuksia.

Neulasten huuhtelu ei vaikuttanut alentavasti minkään tutkitun neulasten mikroravinteen pitoisuuteen (taulukko 6).

Edellä tutkittujen tekijöiden ohella mikroravinteiden pitoisuuksiin vaikuttanevat ne tekijät, joiden on todettu vaikuttavan makroravinnepitoisuuksiin.

Erityisiksi, nimenomaan mikroravinneanalyysin tulkinnassa huomioitaviksi tekijöiksi jäivät tämän tutkimuksen perusteella:

1. Fosfori- ja kalilannoitus
2. Neulasten fosfori- ja kalipitoisuudet
3. Lannoitukset mikroravinteilla
4. Puuston kasvunopeus
5. Ojituksen tehokkuus

Mikroravinneanalyysin tulkinnan edellytyksenä on siis yleisesti tunnettujen turvemaan minimitekijöiden eliminoiminen tai huomioiminen.

NEMATODES IN FOREST TREE NURSERIES IN FINLAND

KARI LÖYTTYNIEMI and MARJA LEENA SARAKOSKI

Tiivistelmä

SUOMEN METSÄTAIMITARHOJEN NEMATODEISTA

HELSINKI 1978

OCD 459
ISBN 951-40-0311-X
ISSN 0026-1610

LÖYTTYNIEMI, K. & SARAKOSKI, M. L. 1978. Nematodes in forest tree nurseries in Finland. Tiivistelmä: Suomen metsätaimitarhojen nematodeista. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (5): 1—8.

The aim of the study was to carry out an initial survey of the occurrence of plant parasitic nematodes in Finnish forest tree nurseries. Altogether, 13 stylet-bearing nematode genera were found from the rhizophere of *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. The greatest number of genera occurred in old nurseries having been established on agricultural land. On the other hand, the potential plant parasitic nematode fauna in modern nurseries where peat is used as substrate was approximately poor.

Tutkimuksen tarkoituksena oli alustavasti selvittää kasveilla loisivien nematodien esiintymistä Suomen metsätaimitarhoissa. Männyn ja kuusen taimien kasvatusaloilta löydettiin yhteensä 13 eri sukuun kuuluvia, mahdollisina kasvien loisina tunnettuja, nematodilajeja. Eniten näitä sukuja esiintyi vanhoissa, peltomaalle perustetuissa taimitarhoissa. Sitävastoin uusissa, turvetta kasvualustana käyttävissä taimitarhoissa kasviloisnematodilajisto oli yleensä köyhä.

ISBN 951-40-0311-X
ISSN 0026-1610

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

INTRODUCTION

The presence of phytophagus mites and the damage caused by these pests in forest tree nurseries in Finland were investigated during the latter half of the 1960s (L ö y t t y n i e m i 1969a, 1969b, 1975). At the same time, coniferous seedlings were found with damage resembling that caused by nematodes. Such damage was subsequently found to be rather widespread in a number of tree nurseries in southern Finland during the warm summers of 1972 and 1973. However, no special attention is paid to the occurrence and extent of damage caused by nematodes in tree nurseries and forests in Finland. Such damage has usually been attributed to the effects of drought or nutrient deficiencies and special nematode control has never been carried out in tree nurseries. On the other hand, studies have been carried out in Central and Eastern Europe into the occurrence, harmfulness and control of nematodes in forest tree nurseries and corresponding information is also available for North America. (e.g. S u t h e r l a n d 1965, R ö s s n e r 1966, 1969a, S u t h e r l a n d and D u n n 1968, B a s s u s 1969, W a s i l e w s k a 1969, R u e h l e 1972, B o a g 1976).

The aim of this study has been to carry out an initial survey of the occurrence of nematodes, especially of those genera known to be plant parasites, in Finnish forest tree nurseries.

MATERIAL AND METHODS

Soil samples were taken from 13 tree nurseries situated in different parts of Finland (Fig. 1) at the end of August 1976. Samples were taken from the transplanted spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and pine (*Pinus silvestris* L.) areas using an auger with a cross-sectional diameter of 2 cm and a sampling depth of about 15 cm. The volume of the soil samples was about 50 cm^3. Thirty samples were taken at regular spacings from seedling areas of less than 0,5 ha and 50 samples from areas greater than this. The tree nurseries at Juupajoki, Kuortane, Rovaniemi, Tammisaari and Tuusula were of the traditional type, having been established on agricultural land. They had all been in use as tree nurseries for over 40 years. The substrate at all the other, more modern, nurseries was either peat or a mixture of peat and mineral soil. They had been used as tree nurseries for a shorter time. Weed had been almost completely eliminated at all the nurseries by mechanical or chemical methods.

The soil samples were stored at a temperature of less than 10 °C. About two days before handling, the samples were transferred to room temperature. The nematodes were extracted using a Seinhorst elutriator. With homogenous samples, about 200 g of soil were filtered. However, if the samples contained much humus then only 50 g were filtered. Isolation was carried out in the autumn during the first few months after the samples had been collected.

The total number of nematodes in the suspension was calculated as well as the number of potential plant parasites (including the genera *Aphelenchus* and *Aphelenchoides*). They were killed and fixed with F.A. 4:1 fixative and permanent mounts made by the Seinhorst's quick glycerol-ethanol method. The potential plant parasites were determined on a genus basis.

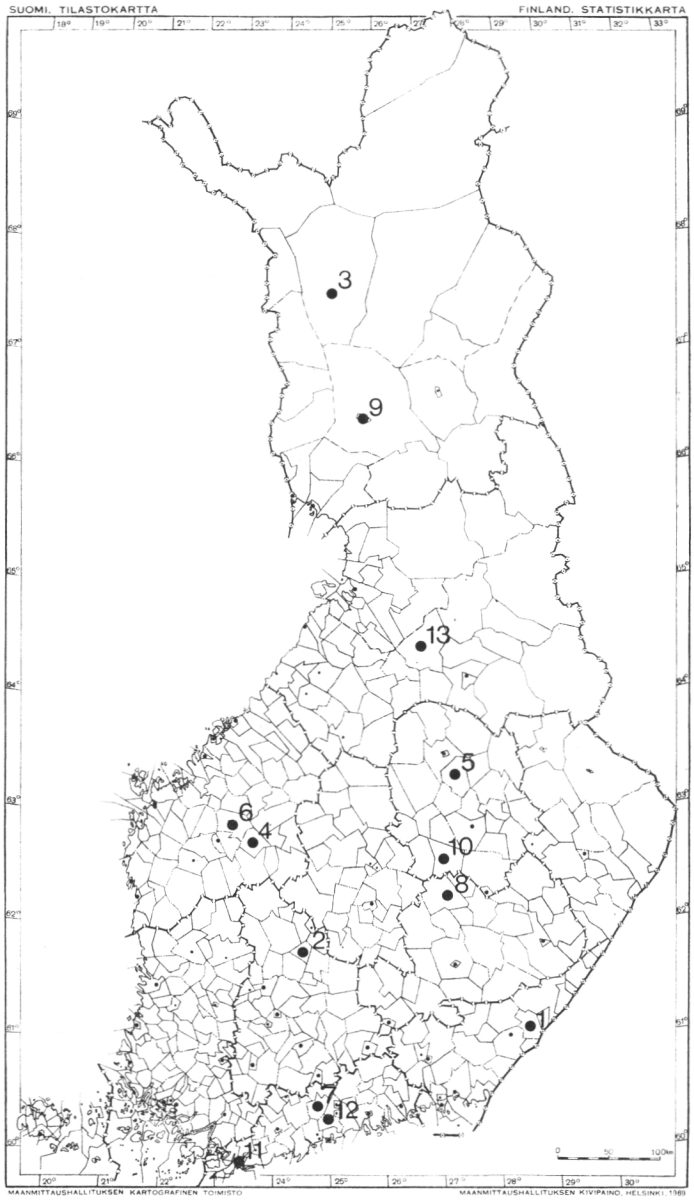


Figure 1. The nurseries inspected.

Kuva 1. Tarkastetut taimitarhat. (1 = Joutseno, 2 = Juupajoki, 3 = Kittilä, 4 = Kuortane, 5 = Lapinlahti, 6 = Lapua, 7 = Nurmijärvi, 8 = Pieksämäki, 9 = Rovaniemi, 10 = Suonenjoki, 11 = Tammisaari, 12 = Tuusula, 13 = Vaala).

RESULTS AND DISCUSSION

The total nematode density and the density of potential plant parasites in the forest tree nurseries are presented in Table 1. Compared to the results from studies carried out in other countries, the densities obtained here were on average slightly lower (e.g. Sutherland and Dunn 1968) and there was very large variation between different nurseries. This probably is partly due to the sampling method used. In addition, the extraction method, Seinhorst elutriator, is not very suitable for humus-containing soils. Therefore attention should be paid to the share of plant parasitic nematodes more than to the absolute numbers presented in Table 1.

Most of the nematodes belonged to the groups classified as fungal feeders, bacterial feeders, miscellaneous feeders and predators. These nematodes have not been further identified in this study. The occurrence of genera known to be plant parasites, as well as those genera which may indirectly cause damage, are presented in Table 2.

Of the genera known to be plant parasites, nematodes belonging to the genus *Cephalenchus* were found in most of the nurseries. Nematodes of the genus *Tylenchus* were also common. The genera *Lelenchus* and *Filenchus* were not separated from the *Tylenchus* genus in this study. Of the other groups, *Aphelenchoides* was the most commonly occurring genus, especially the species belonging to the »*A. parietinus*» group.

Species belonging to the plant parasitic genera presented in Table 2 have all been found in coniferous tree nurseries in other countries (e.g. Sutherland and Adams 1964, Rössner 1966, 1969a, 1969b, Sutherland 1967, Gowen 1971, Ruehle 1972, Gubina 1973). The genera *Trichodorus* and *Paratrichodorus* are known to be virus vectors, although their significance as far as coniferous trees are concerned has not been precisely studied.

Table 1. Nematode densities found in the nurseries.
Taulukko 1. Todetut nematoditiheydet taimitarhoissa.

Locality *Paikkakunta*	Tree species *Puulaji*	Nematodes, no/sq.m *Nematodeja, kpl/m²*	Potential plant parasites, no/sq.m *Mahdollisia kasvi-loisia, kpl/m²*
Joutseno	*Picea abies*	206 667	14 815
Juupajoki	»	1 468 148	31 111
Kittilä	»	2 705 185	32 593
Kuortane	*Pinus silvestris*	19 259	2 962
Lapinlahti	*Picea abies*	48 889	8 889
Lapua	*Pinus silvestris*	19 259	3 703
Nurmijärvi	*Picea abies*	39 259	17 778
Pieksämäki	»	1 340 741	25 185
Rovaniemi	»	186 666	8 148
Suonenjoki	»	20 741	4 444
Tammisaari	»	33 333	11 111
Tuusula	»	356 296	39 259
Vaala	»	559 259	23 704

Table 2. Stylet-bearing nematode genera found in the nurseries.
Taulukko 2. Todetut potentiaaliset kasviloisnematodisuvut taimitarhoissa.

	Joutseno	Juupajoki	Kittilä	Kuortane	Lapinlahti	Lapua	Nurmijärvi	Pieksämäki	Rovaniemi	Suonenjoki	Tammisaari	Tuusula	Vaala
Plant parasitic													
Tylenchus		+	+	+		+			+	+	+	+	
Cephalenchus	+	+		+	+	+		+		+	+	+	+
Tylenchorhynchus				+					+		+		
Pratylenchus		+									+	+	
Paratylenchus		+									+		
Virus vectors													
Trichodorus											+		
Paratrichodorus												+	
Potential fungal feeders													
Ditylenchus										+		+	
Aphelenchus		+				+					+	+	
Aphelenchoides	+	+	+			+	+	+			+	+	+
Miscellaneous													
Basiria									+				
Pseudhalenchus	+			+		+				+			+
Neotylenchus												+	+

The genera *Aphelenchoides*, *Aphelenchus* and *Ditylenchus* apparently belong to the fungal feeders group. They may affect the growth of coniferous seedlings by destroying their mycorrhizal fungi (R u e h l e 1972). The nutrition and importance, as far as coniferous seedlings are concerned, of the genera *Basiria*, *Pseudhalenchus* and *Neotylenchus* have not yet been precisely determined (cf. T a r j a n 1958, S i d d i q i 1959, A n d r a s s y 1961, G u b i n a 1971).

No plant parasites were actually found to be present on coniferous seedlings in this study. However, since weeds had been almost completely eliminated from the tree nurseries, it would appear that at least some of the nematodes in question live in association with the roots of coniferous seedlings under Finnish conditions.

The abundance of nematode species belonging to the different plant parasitic genera were not accurately determined. However, it was found that rather large numbers of *Cephalenchus* species were found at Joutseno, Pieksämäki, Suonenjoki and Tammisaari. *Tylenchorhynchus* species were quite common at Kuortane and Tammisaari, and *Paratylenchus* and *Pratylenchus* species at Juupajoki and Tammisaari.

The genera known to be significant plant parasites, i.e. *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus* and *Paratylenchus*, were only found in old tree nurseries established on agricultural land. The number of genera occurring in more modern tree nurseries where peat is used as the substrate was very low. The greatest number of genera known to be plant parasites was found at Tammisaari, Tuusula and Juupajoki. Nematodes had earlier been suspected of causing damage to coniferous seedlings at these same nurseries.

It is evident from the results that nematode species of several nematode genera which can either directly or indirectly damage coniferous seedlings occur in Finnish forest tree nurseries. The plant parasitic nematode fauna in modern nurseries, where the peat substrate is frequently changed and where weed control is carried out effectively was, however, poor. This would suggest that damage caused by nematodes in such nurseries is not likely to be very great. On the other hand, nematodes may cause damage in old nurseries where the same substrate is continuously in use, especially during dry and warm summers. However, the number and importance of forest tree nurseries using traditional methods for growing seedlings is continuously declining in Finland.

REFERENCES

ANDRASSY, I. 1961. Zur Taxonomie der Neotylenchiden. Nematologica 6:25—36.

BASSUS, W. 1969. Pflanzenparasitäre Nematoden in Forstbaumschulen der DDR. Arch. Forstwes. 18:1273—1286.

BOAG, B. 1976. Nematodes in Scottish forest nurseries. Abstr. E.S.N. XIII Internat. Nematology Symposium, Dublin, Sept. 5—11, 1976:11—12.

GOWEN, S. R. 1971. *Tylenchus emarginatus* and *Tylenchorhynchus dubius* associated with Sitka Spruce (*Picea sitchensis*) seedlings. Plant Path. 20:69—72.

GUBINA, V. G. 1971. (Effect of plant nematodes on dry matter content of Norway spruce seedlings). Trudy Gel'mintologichesskoi Laboratorii 21:176—178. (Ref. Helm. Abstr. 42:24).

—»— 1973. (Parasitic nematodes of conifer seedlings). Trudy Gel'mintologicheskoi Laboratorii 23:48—52. (Ref. Helm. Abstr. 44:44).

LÖYTTYNIEMI, K. 1969a. Über das Vorkommen und die Schädlichkeit der Nadelholzspinnimilbe (*Oligonychus ununguis* Jacobi, Acarina, Tetranychidae) in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 68 (4):1—45.

—»— 1969b. Äkämäpunkkilaji (*Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis* Löyttyniemi, Acarina, Eriophyidae) kuusen taimien tuholaisena taimitarhoissa. Summary: An Eriophyidae species damaging spruce seedling in nurseries. Silva Fenn. 3:191—200.

—»— 1975. Mass outbreaks of *Epitrimerus pungiscus* Keifer (Acarina, Eriophyidae) on Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. Ann. Ent. Fenn. 41:13—15.

RUEHLE, J. L. 1972. Nematodes of forest trees. Webster, J. M. (Edit.) Economic Nematology: 312—334. London.

RÖSSNER, J. 1966. Phytopathogene Nematoden in hessischen Forstpflanzgärten. Mitt. Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstw. 121:82—87.

—»— 1969a. Phytoparasitäre Nematoden in Forstpflanzgärten. Z. Angew. Zool. 56:1—64.

—»— 1969b. Populationsentwicklung pflanzenparasitärer Nematoden unter Koniferen. Mitt. Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstw. 136:50—58.

SIDDIQI, M. R. 1959. *Basiria graminophila* n.g., n.sp. (Nematoda: Tylenchinae) found associated with grass roots in Aligarh, India. Nematologica 4:217—222.

SUTHERLAND, J. R. 1965. Nematodes associated with coniferous nursery seedlings in Quebec. Phytoprotection 46:131—134.

—»— 1967. Host range and reproduction of the nematodes *Paratylenchus projectus*, *Pratylenchus penetrans* and *Tylenchus emarginatus* on some forest nursery seedlings. Plant Dis. Rep. 51:91—93.

—»— & ADAMS, R. E. 1964. The parasitism of red pine and other forest nursery crops by *Tylenchorhynchus claytoni* Steiner. Nematologica 10:637—643.

—»— & DUNN, T. G. 1968. Nematodes in British Columbia nurseries. For. Res. Lab. Victoria, British Columbia, Inf. Rep. BC-X-25. 13 p.

TARJAN, A. C. 1958. A new genus *Pseudhalenchus* (Tylenchinae: Nematoda), with descriptions of two new species. Proc. Helm. Soc. Wash. 25:20—25.

WASILEWSKA, L. 1969. Nematodes in a forest nursery in the forest-district Kampinos. Sylwan 113 (12):43—47.

DETERIORATION OF PINE AND SPRUCE PULPWOOD STORED DURING THE GROWING SEASON AND ITS EFFECT ON SULPHITE PULPING

KARI LÖYTTYNIEMI, OSMO PEKKALA and OLLI UUSVAARA

Seloste

MÄNTY- JA KUUSIKUITUPUUN PILAANTUMINEN KESÄVARASTOINNIN AIKANA JA SEN VAIKUTUS MASSAN SAANTOON JA LAATUUN

HELSINKI 1978

OCD 84
86
ISBN 951-40-0312-8
ISSN 0026-1610

LÖYTTYNIEMI, K., PEKKALA, O. & UUSVAARA, O. 1978. Deterioration of pine and spruce pulpwood stored during the growing season and its effect on sulphite pulping. Seloste: Mänty- ja kuusikuitupuun pilaantuminen kesävarastoinnin aikana ja sen vaikutus massan saantoon ja laatuun. Commun. Inst. For. Fenn. 92.6: 1—16.

The aim of the study is to determine the deterioration of pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) pulpwood stored during the growing season and its effect on sulphite pulping. Special attention is paid to the role of insects as deteriorative agents.

Compared with the spruce bolts, storing had a greater effect on wood quality and pulping results of the pine bolts. Protecting the bolts against insect attack moderated these changes.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kuoripäällisen mänty- ja kuusikuitupuun pilaantumista yhden kasvukauden yli tapahtuvan varastoinnin aikana ja erityisesti hyönteisten osuutta pilaantumisessa.

Kuusipölkkyihin verrattuna varastointi vaikutti enemmän mäntypölkkyjen puun laatuun ja keittotuloksiin. Pölkkyjen suojaaminen hyönteisten iskeytymiseltä vähensi näitä muutoksia.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

CONTENTS

1. INTRODUCTION 4

2. MATERIAL AND METHODS 5

21. Wood raw material 5
22. Pulping, bleaching and beating 6

3. RESULTS 6

31. Changes in the wood raw material 6
32. Wood delignification and pulp yield 8
33. Bleaching 9
34. Paper technical properties of the pulps 10

4. DISCUSSION 10

5. SUMMARY 12

6. REFERENCES 14

SELOSTE 16

1. INTRODUCTION

In Finland, pulpwood is generally stored as unbarked logs, and barking and chipping is not usually carried out until just before the wood is to be pulped. Pulpwood is usually kept in the forest and at landings during one growing season, frequently for longer, and hence quite a high proportion of the raw-material reaching the processing plant is already blued and damaged by decay when it is to be chipped. Unbarked coniferous pulpwood, which is susceptible to deterioration, has also a detrimental effect on the surrounding stands and other stored timber since it is a highly suitable breeding site for insect pests. Large populations of bark beetles in Finnish forests and the damage which they subsequently cause are a direct result of the storage of coniferous pulpwood in the forest (cf. Kangas 1961, Nuorteva 1968, Löyttyniemi 1975).

From the point of view of forest hygiene, it would thus be very important to prevent bark beetles from breeding in timber stores. This could best be achieved by shortening the storage time and especially by discontinuing storage during the summer. Simultaneously, the activity of insects and micro-organisms which damage timber should be controlled.

Attempts have been made to protect softwood sawlogs from deterioration by avoiding storage during the summer and by carrying out different protection measures already during a short storage time (e.g. Rummukainen 1964, Uusvaara and Löyttyniemi 1975, 1977). On the other hand, hardly any attention has been paid to the prevention of pulpwood deterioration during short storage times, of at the most one growing season, when insects play the central role in the deterioration processes (cf. Löyttyniemi and Uusvaara 1977). The importance of such deterioration from the point of view of the wood processing industry has not been studied very much (Löyttyniemi and Uusvaara 1972).

On the other hand, the importance of blueing and decay damage during long term storage of pulpwood or during the storage of chips, has been widely studied. Deterioration during storage has been found to greatly reduce the pulp yield and the quality

of the end product and to increase the consumption of pulping chemicals (e.g. Björkman 1946, 1958 Henningsson 1962, 1964, Henningsson and Tamminen 1961, Alhojärvi et al. 1964, Hatton et al. 1968, Wilhelmsen 1968, Hatton and Hunt 1972, Eklund et al. 1973, Wallin 1975).

The purpose of this study is to determine the extent to which unbarked Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) pulpwood is deteriorated during a storage time in the forest of one growing season and what proportion of the deterioration is due to the activity of insects. The study is one of a series of studies being carried out at the Finnish Forest Research Institute into the importance of deterioration in stored sawlogs and pulpwood.

2. MATERIAL AND METHODS

21. Wood raw material

The wood material used in this study consisted of 9 pine (*Pinus sylvestris*) and 9 spruce (*Picea abies*) trees grown on a site of the *Vaccinium* forest type at Liljendal in southern Finland. The trees, which were between 60 and 80 years old, were felled in December 1973. Three 2,5 m-long bolts were cut from each unbarked tree stem and stored on foundation timber in one-storey piles at a semi-shaded place in the same stand. 30—40 cm-long sections were simultaneously taken from the end of each bolt for control purposes. At the beginning of May 1974, just before the onset of the flight of timber insects, half the length of each 2 m-long bolt was covered with a terylene net bag to prevent insect attack. The covers were removed in July when insect flight ceased.

Storage was terminated in the middle of October 1974 and 30—40 cm-long sections were then cut from the middle of the covered and uncovered parts of each of the bolts. The sample bolts were then debarked and the sapwood cut up into small longitudinal slices. The unaffected control samples had already been cut up into slices in the winter. The slices from each treatment were combined separately and 3 kg homogenized samples (dry weight) then taken from each. The slices were dried and stored in plastic bags in a deepfreeze up until chipping and pulping.

When storage was terminated in the autumn, the sapwood of the covered parts of the bolts was slightly blued throughout, but no insect damage was found. The sapwood of the uncovered parts of the bolts, especially the pine ones, was strongly blued. Judging by the colour changes in the wood (cf. Hintikka and Laine 1970), the sapwood of pine, especially around pinholes made by *Trypodendron lineatum* Oliv., was decayed. The whole surface of the uncovered parts of the bolts was covered with insect galleries. The most important insect species found under the bark of the pine bolts were as follows: *Tomicus (Blastophagus) piniperda* L., *Tomicus minor* Hart., *Orthotomicus* sp. and *Acanthocinus aedilis* L. In the spruce bolts: *Pityogenes chalcographus* L., *Ips typographus* L., *Hylurgops palliatus* Gyll. and *Orthotomicus* sp. Very many pinholes bored by *Trypodendron lineatum* were found throughout the sapwood of the bolts of both tree species. In addition, *Monochamus* larval tunnels were found in the pine bolts.

22. Pulping, bleaching and beating

Mg-bisulphite pulping was carried out in 2,5 l digesters with forced liquour circulation at the Finnish Pulp and Paper Research Institute (FPPRI) under the following conditions:

Chip quantity	400 g (o.d.)
Mg-bisulphite solution:	
pH	4,0
total SO_2	5,0 %
Chip presteaming	110°/10 min
Pressure impregnation	3 b/30 min
Rise of temperature 80° → 105°C	120 min
Acid/wood ratio	4: 1 (set at 105°)
Rise of temperature 105° → 155°C	75 min
Cooking time at 155°C	270—360 min

After pulping the pulp was washed, allowed to stand in water overnight and screened the following day. The pulp yield, screenings, kappanumber, CH_2Cl_2-extractives and brightness were determined. The pH and SO_2 content of the waste liquour were determined.

Bleaching was carried out using the CEHD sequence. The bleaching conditions were as follows:

Stage	C	E	H	D	a
Consistency, %	3	10	10	10	2
Temperature, °C	20	40	40	60	20
Time, min	30	60	60	180	15
Final pH	< 2	> 11	~10	~4	4—5

The chemical consumption, pulp yield, brightness, viscosity and yellowing were determined after bleaching. The normal strength properties of the bleached pulp were determined after PFI beating.

3. RESULTS

31. Changes in the wood raw material

During storage, the brightness of the wood from the unprotected pine bolts decreased by about 20 % and from the protected bolts by about 6 %. The corresponding values for spruce were about 10 % and 16 %. The extractives content of the unprotected pine bolts increased during storage, while that of the unprotected spruce bolts decreased slightly. The increase in the extractives content of pine may be due to the leaching of polyphenols from the bark into the sapwood. The rainy spring and autumn will have encouraged this phenomenon. The extractives content of wood usually decreases with longer storage times in the forest.

According to the measurements carried out from the chips at the FPPRI, the density of the wood in the unprotected pine bolts decreased by almost 20 %, while for spruce the decrease was insignificant (Table 1).

Table 1. Wood analysis and pulping results.
Taulukko 1. Puuanalyysit ja keittotulokset.

Wood material *Puuaine*	Extractives content *Uutepitoisuus*		Brightness *Vaaleus* SCAN %	Spec. grav. kg/cu.m. *Tiheys kg/m³*	Cook number *Keitto n:o*	Cooking time, min. *Keitto-aika, min.*	Kappa number *Kappaluku*	Total yield *Kok. saanto* %	Screenings *Tikut* %	Screened yield *Lajit. saanto* %	Brightness *Vaaleus* SCAN %	CH_2Cl_2 extractives *DKM-uute* %	Waste liquour *Jäteliuos*	
	CH_2Cl_2 DKM %	Ethanol *Etanoli* %											pH	SO_2 %
Pine, fresh control — *Mänty, tuore vertailu*	0,94	1,89	38,1	429	663D	360	19,5	51,8	0,6	51,2	66,6	0,32	3,1	1,09
					665D	330	20,9	51,8	0,2	51,6	67,1	0,28	3,1	1,44
					671D	270	32,0	53,7	0,4	53,3	58,0	0,30	2,8	1,41
Pine, stored protected — *Mänty, varastoitu suojattu*	0,99	2,07	35,7	413	667D	330	19,3	51,2	0,1	51,1	61,1	0,24	3,5	1,04
					680E	270	21,5	52,7	0,2	52,5	60,8	0,28	2,8	1,15
Pine, stored unprotected — *Mänty, varastoitu suojaamaton*	1,64	2,53	30,1	348	668E	330	17,7	49,9	0,3	49,6	43,2	0,46	2,6	1,14
					679D	270	26,3	53,0	0,4	52,6	43,6	0,40	3,0	1,25
Spruce, fresh control — *Kuusi, tuore vertailu*	0,77	1,96	44,1	421	664E	360	18,1	52,1	0,2	51,9	59,8	0,26	3,1	1,14
					666E	330	22,0	50,9	0,6	50,3	59,0	0,26	3,0	1,39
					672E	270	30,5	52,5	0,3	52,2	60,3	0,32	2,7	1,57
Spruce, stored protected — *Kuusi, varastoitu suojattu*	0,45	1,15	37,0	409	670E	330	22,1	52,5	0,4	52,1	54,9	0,22	3,1	1,18
					685D	270	36,9	55,2	0,4	54,8	56,2	0,27	3,1	1,44
Spruce, stored unprotected — *Kuusi, varastoitu suojaamaton*	0,61	1,20	39,8	413	669D	330	22,6	53,2	0,6	52,6	53,9	0,19	3,3	1,21
					686E	270	33,9	55,1	0,4	54,7	59,8	0,27	3,1	1,54

Cooking conditions: *Keitto-olot:* Mg-bisulphite liquour *Mg-bisiliuos* pH 4,0 Total SO_2 *Kok. SO_2* 5,0 % Cooking temperature *Keittolämpötila* 155°C Cooking time *Keittoaika* 270—360 min.

The density of wood determined from the slices of wood at the Finnish Forest Research Institute were as follows (kg/solid cu.m.):

Pine			Spruce		
Healthy control	Stored		Healthy control	Stored	
	Protected	Unprotected		Protected	Unprotected
432	439	407	406	413	408

The results show that only the density of unprotected pine wood decreased during storage. In the results obtained at the FPPRI storage also lead to a decrease in the density of the spruce wood, and the changes were noticeably greater than those obtained at the Finnish Forest Research Institute. This may be partly due to the differences in the methods used to determine density and partly to the variation in the degree of decay of the samples.

The decreases in the density of unprotected pine are clearly greater than those found in earlier studies carried out in Finland (A l h o j ä r v i et al. 1964) and elsewhere (J e r k e m a n 1967). This may be due to the fact that the heartwood, which deteriorates at a slower rate and slows down structural changes in the wood, was removed from the samples. Material losses may also be due to respiration in the still-living surface layers of the wood, auto-oxidation of compounds in the wood, de-acetylisation, de-methoxylisation, volatilisation and enzymatic degradation through the action of different micro-organisms. Losses primarily consist of low molecular weight compounds, such as extractable matter and monosaccharides and also perhaps hemicellulose (D a h m 1966).

32. Wood delignification and pulp yield

Storage apparently shortened the cooking time for pine. This may be due to the fact that the cooking solution was more easily absorbed by the wood, the density of which had decreased during storage. Storage lengthened the cooking time for spruce, presumably due to slower absorption and slight condensation of lignin during pulping. The pulp yield for pine, from equivalent amounts of wood pulped, did not change very much during storage. The pulp yield for spruce increased, partly due to the decrease in the extractives content. With pine, wood consumption (in volume) per ton of pulp (kappa 22) was considerably increased by storage, due mainly to the decrease in the density of the wood (Fig. 1). In the case of spruce, the simultaneous yield increase meant that wood consumption was almost unchanged. The pulp yield remained the same or even increased because the material losses during storage are confined primarily to low molecular weight compounds in the wood, which otherwise would have been dissolved during pulping.

The darkening of the wood during storage also has an effect on the brightness of the pulp. The reduction in the brightness of the spruce pulp was very small. However, the brightness of the pulp made from unprotected stored pine was rather less than that of normal sulphite pulp. In addition, differences in the extractives content of

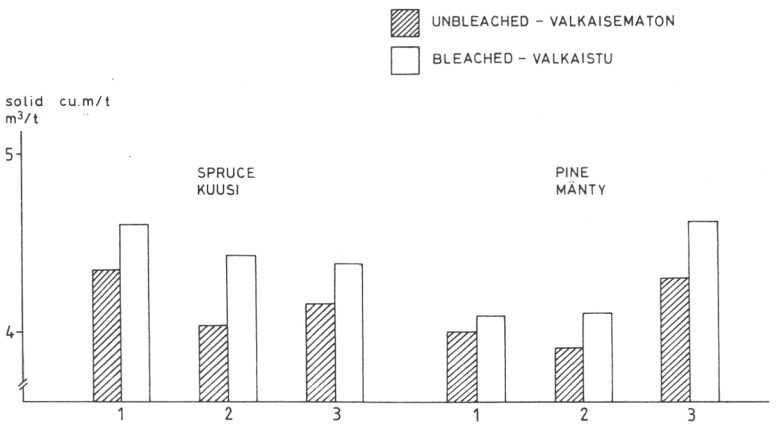


Figure 1. Wood consumption per ton of pulp. (1 = fresh control wood; 2 = stored wood, protected with netting; 3 = stored unprotected wood).
Kuva 1. Puun kulutus massatonnia kohden. (1 = tuore vertailupuu; 2 = varastoitu verkolla suojattu puu; 3 = varastoitu suojaamaton puu).

the pulps were also already evident in the wood, i.e. pine wood stored without protection and containing most extractives also produced pulp with the highest extractives content.

33. Bleaching

When the same amounts of chemicals were used in bleaching, the brightness of the pulp from pine wood not protected against insect attack was clearly less than that of the other types of pine pulp. There were no noticeable differences between the bleachability of the different types of spruce pulp.

Storage had hardly any effect on the yield of bleached pulp, the yield being closely dependent on the lignin content of the unbleached pulp. Thus wood consumption per ton of bleached cellulose remained relatively the same as before bleaching (Fig. 1).

The brightness of the bleached pulp prepared from bolts stored in different ways was as follows (amounts of chemicals used being constant):

Method of storage	Brightness SCAN, per cent
Pine, control	88,9
	87,9
Pine, protected during storage	88,1
	88,4
Pine, unprotected during storage	78,1
	82,3
Spruce, control	86,3
	87,8
Spruce, protected during storage	86,3
	87,1
Spruce, unprotected during storage	85,6
	87,8

34. Paper technical properties of the pulps

Storage had no effect on the tensile strength and bursting strength of the bleached pulp. However, the tearing strength of the pulp prepared from stored spruce bolts was from 6 to 20 % better than the values for pulp made from green wood, the tensile strength being the same.

The poorer tear of the pulp prepared from unstored spruce is also reflected in the beating products ($B_1 \cdot T$ = Tensile · Tear). The B_1T values for the pulp from control pine, contrary to those for spruce, were better than the values for the stored wood, when the pulp was more thoroughly beaten. The B_1T values for both the pine and the spruce pulp prepared from protected wood were slightly lower than the strength of the pulp prepared from unprotected wood.

As regards other properties of the pulp, the porosity of the pulp made from green wood, especially the spruce pulp, is worse than that of the pulp prepared from stored wood. The values of the light scattering coefficient for pine pulp are slightly greater than those for spruce pulp, while the value for pulp prepared from green wood is the lowest. When starting the bleaching from the lower kappa level after pulping, the opacity values of bleached pulp are the same for pulp made from green and stored wood, but when starting from the higher kappa level bleached pulp made from green wood has the lowest opacity values.

4. DISCUSSION

The effect of deterioration during storage on material losses and the quality and yield of pulp has been widely studied (e.g. Björkman 1946, Henningsson 1962, 1964, Björkman et al. 1964, Jerkeman 1967, Wilhelmsen 1968). However, in these studies only the deterioration of pulpwood bolts as a function of a long storage time has been followed or the properties of deteriorated wood at the chip stage have been studied (Bergman and Nilsson 1966, 1974, Hatton et al. 1968, Bergman 1974). The effect of insects on deterioration has not been determined separately, apart from the earlier study forming part of this study series which was concerned with one insect species (*Tomicus minor*) and pinewood (Löyttyniemi and Uusvaara 1972). In the above-mentioned study, the wood stained blue by insects was pulped as well as the control wood samples which had been taken from the areas on the same bolts around the blue stains. As far as pine was concerned, the results obtained in this study were very similar.

The pulp yield, as calculated from the amount of wood used in pulping, was not greatly reduced in this study when pine pulpwood was stored for a short time, although losses were evident as an increase in wood consumption. However, the result

does not give a complete picture of the effect of decay on pulp yield since raw material losses can occur during the debarking and chipping of damaged wood (cf. K a w a s e and I g a r a s h i 1970). If such wood losses are taken into account, then the yield is reduced already during short term storage.

The reduction in the extractives content of spruce increased, to some extent, the yield from sulphite pulping. W a l l i n (1975) mentions that particularly the yield of economically important by-products obtained from the extractable compounds in sulphate pulping, i.e. tall oil and turpentine, decreases during storage. B j ö r k m a n (1946) has found that the yield losses for spruce are from 1 to 3 % when the storage time is one year, and 10 and even 20 % with storage times of two and three years. In the study carried out by W i l h e l m s e n (1968) on spruce pulpwood, the material losses during storage throughout the summer were 4 %. Storage did not lower the strength properties of the bleached pulp during the storage times used here, and the tearing resistance of the spruce pulp was even better than that of the healthy control wood (L ö y t t y n i e m i and U u s v a a r a 1972). According to H e n n i n g s s o n (1964), however, the strength properties started to decrease after a storage time of one year. B j ö r k m a n (1946) found that the strength of the pulp had fallen by 5—10 % two years after the timber had first been stored.

The brightness of the pulp from stored, and in particular from unprotected pine wood remained rather low when normal amounts of chemicals were used in bleaching. Thus in order to bleach the pulp of such wood to the same brightness level as that of pulp made from healthy wood, a considerably greater amount of chemicals must be used (L ö y t t y n i e m i and U u s v a a r a 1972).

The economic significance of decay and blue stain damage is dependent, however, on what the pulpwood is to be used for. Generally speaking, the more valuable and the more processed the end product, the more serious are such defects. The groundwood industry is more sensitive to the effect of defects than the cellulose industry. Decay defects also lower the value of the raw-material in the wallboard and particle board industries (H a l v o r s e n et al. 1971).

When the results obtained in this study are examined and compared to those of other studies, however, it should be born in mind that the sulphite method was used in this study because it was found to be more sensitive to changes caused by a deterioration in the quality of the wood. In practice, pine pulpwood is made into cellulose by the sulphate method which is not nearly so sensitive to a reduction in quality caused by storage defects.

Furthermore, it should also be remembered when examining these results that the weather conditions prevailing during storage have a considerable effect on the rate and type of deterioration. The weather conditions in summer 1974 were on average cooler and with more rainfall than normal, which slowed down the rate of deterioration (U u s v a a r a and L ö y t t y n i e m i 1977 p. 10).

The decrease in the density of the pine wood shows that a considerable amount of decay had taken place in the sapwood of pine during storage. Previously has been

found that pine sawlogs become more decayed than spruce logs when stored for one summer, and blueing in pine logs is also more severe (Uusvaara and Löyttyniemi 1977). According to their study, blueing can appear in the middle of summer after less than four weeks storage, and decay within six weeks. Almost all the pieces of timber prepared from the logs were already blued when they were examined after a storage time of two months, and almost all were damaged by decay after six months storage, which is the same effective storage time as that used in this study.

It is thus evident from the results obtained in this study that both spruce and especially pine pulpwood are quite badly damaged by blue stain and decay already during a storage time of one growing season. As far as spruce is concerned, the effect of insects on deterioration is rather insignificant in comparison to that occurring in bolts which are exposed to air-borne blue stain and decay organisms only. On the other hand, insect attack on pine bolts greatly increased the degree of deterioration. Thus special attention should be paid to protecting pine pulpwood against insect attack, which from the point of view of forest hygiene is also more important under Finnish conditions than the protection of spruce pulpwood.

5. SUMMARY

The aim of the study is to determine the deterioration of pine (*Pinus sylvestris*) and spruce (*Picea abies*) pulpwood stored during the growing season and its effect on sulphite pulping. A special attention is paid to the role of insects as deteriorative agents.

The deterioration, cooking properties and pulp quality of freshly cut healthy pine and spruce pulpwood and pulpwood stored in the forest during the summer which was either protected againts insect attack by means of insect netting or left exposed to attack by insects and micro-organisms were investigated in this study.

Of the pulpwood stored from spring to autumn in the forest, the pine bolts unprotected against insect attack were found to have been affected the most. The decrease in brightness was the greatest in these logs (about 20 %), the density of wood decreased and their extractives content increased during storage. Protecting the logs with netting moderated these changes. In addition, the wood of the spruce bolts became darker in colour and the extractives content decreased slightly.

A better pulp yield was obtained from the stored spruce pulpwood after cooking than from the fresh wood whereas storage did not affect the yields of pulp from the pine bolts. Wood consumption per ton of pulp for spruce remained fairly constant, but for pine it was increased by storage. Sulphite cooking did not cancel out the differences in brightness already visible in the wood, darker pulp being obtained from

the stored wood. In particular, the brightness of the sulphite pulp made from the unprotected stored pine bolts was low. It was not possible to bring the brightness of this pulp up to a satisfactory level even in bleaching using normal amounts of chemicals. On the other hand, the differences in brightness between the other lots of pulp were evened out during bleaching when normal amounts of chemicals were used. The pulp from the unprotected stored pine wood had the highest extractives content, while the extractives content of the spruce pulp decreased during storage. The extractives contents of all the different lots of pulp fell to the same level during bleaching.

Storage had no significant effect on the tensile strenght and bursting strenght of the bleached pulp. On the contrary, the tearing strenght of the spruce pulp clearly increased during storage. The porosity of bleached pulp from fresh wood, especially spruce, were worse than those from stored wood and the opacity coefficients correspondingly lower.

Compared with the deterioration caused by air-borne microorganisms only, insect attack on pine bolts in particular increased the degree of deterioration. Thus special attention should be paid to protecting pine pulpwood against insects, which also from the point of view of forest hygiene is important under Finnish conditions.

6. REFERENCES

ALHOJÄRVI, J., ALM, A., JÄRVELÄ, O. & VIRKOLA, N.-E. 1964. The influence of wood storage conditions upon the quantity and quality of pine sulphate pulp. Paper and Timber 46: 209—220.

BERGMAN, Ö. 1974. Thermal degradation and spontaneous ignition in outdoor chip storage. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 91: 1—18.

—»— & NILSSON, T. 1966. Studier över utomhuslagring av tallvedsflis vid Lövholmens Pappersbruk. Summary: On outside storage of pine chips at Lövholmen's paper mill. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 53: 1—40.

—»— & NILSSON, T. 1974. Studies on wood deterioration in outside storage of a commercial pine chip pile. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 93: 1—30.

BJÖRKMAN, E. 1946. Om lagringsröta i massavedgårder och dess förebyggande. Summary: On storage decay in pulpwood yards and its prevention Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 35: 11—174.

—»— 1958. Lagringsröta och blånad i skogslagrad barr- och lövmassaved. Summary: Storage decay and blue stain in forest-stored pine, spruce, birch and aspen pulpwood. Kungl. Skogshögskolans Skrifter 29: 1—128.

—»— , FORSSBLAD, L.-H., MALM, E., REGESTAD, S. O., RINGSTRÖM, E. & RYDHOLM, S. 1964. The use of decayed wood from some conifers and broadleaf trees for chemical pulping purposes. Stud. For. Suec. 21: 1—66.

DAHM, H. P. 1966. A comparison of log storage and chip storage of spruce. Norsk Skogsindustri 20: 10—26.

EKLUND, E., SCHNEITZ, C. & SOILA, R. 1973. Effect of storage time on wood losses caused by various fungi isolated from outside stored wood chips. Tiivistelmä: Säilytysajan vaikutus ulkona varastoiduista hakkeista eristettyjen sienten aiheuttamiin puuaineshäviöihin. Paper and Timber 55: 751—759.

HALVORSEN, B., DAHM, H. P. & MØRKVED, K. 1971. Råstoffkvalitetens betydning for den industrielle produksjon. Tidsskr. Skogbr. 79: 414—430.

HATTON, J. V., SMITH, R. S. & ROGERS, I. H. 1968. Outside chip storage: its effects on pulp yield and pulp quality. Pulp Paper Mag. Can. 69 (15): 33—36.

—»— & HUNT, K. 1972. Effect of prolonged outside chip storage on yield and quality of kraft pulps from *Picea glauca* and *Pinus contorta* chips. Tappi 55: 122—126.

HENNINGSSON, B. 1962. Studies in fungal decomposition of pine, spruce and birch pulpwood. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 52 (3): 1—32.

—»— 1964. Utbyte och kvalitet hos sulfatmassa framställd av rötskadad tall-, gran-, och björkved. Summary: Yield and quality of sulphate pulp prepared from decayed pine, spruce and birch pulpwood. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 48: 1—12.

—»— & TAMMINEN, Z. 1961. Studier över torkning, lagringsskador m.m. hos hand- och maskinbarkad tallmassaved. Summary: Studies of seasoning, storage defects and secondary water absorption in Scots pine pulpwood debarked manually or by machine. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 34: 1—47.

HINTIKKA, V. & LAINE, L. 1970. Notes on the detection of different types of decay in wood. Commun. Inst. For. Fenn. 70 (1): 1—17.

JERKEMAN, P. 1967. Substansförluster vid rundvedslagring av tall. Svensk PappTidn. 70: 576—581.

KANGAS, E. 1961. Waldschädlingsprobleme, hervorgerufen durch die jüngste Entwicklung auf dem Gebiete des Waldbaues und der Forstbenützung in Finnland. Proc. XI Int. Kongr. Ent. Wien, 1960. 2: 167—171.

KAWASE, K. & IGARASHI, T. 1970. Chipping and pulping of decayed woods. Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ. 27 (1): 161—295.

LÖYTTYNIEMI, K. 1975. Lindaanin huuhtoutumisesta suojaruiskutetun mäntykuitupuun kuoresta rumpukuorimon jäteveteen. Summary: Transfer of lindane from bark of insecticide sprayed pine pulpwood into the effluent from a barking drum. Paper and Timber 57: 666—668.

—»— & UUSVAARA, O. 1972. Hyönteisten aiheuttaman mäntykuitupuun sinistymisen vaikutuksesta massan laatuun. Summary: Effect on the quality of pulp of blueing of pine pulpwood caused by fungi associated with insects. Paper and Timber 54: 472—474.

—»— & UUSVAARA, O. 1977. Insect attack on pine and spruce sawlogs felled during the growing season. Seloste: Hyönteisten merkitys kasvukauden aikana valmistettujen mänty- ja kuusisahatukkien pilaantumisessa. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (6): 1—48.

NUORTEVA, M. 1968. Über Mengenveränderungen der Borkenkäferfauna in einem südfinninschen Waldgebiet in der Zeit von 1953 bis 1964. Acta Ent. Fenn. 24: 1—50.

RUMMUKAINEN, U. 1964. Hyönteisten aiheuttamasta tuoreen kuorellisen havupuutavaran pilaantumisesta ja sen kemiallisesta estämisestä. Summary: On deterioration of green softwood caused by insects and its chemical control. Commun. Inst. For. Fenn. 58 (5): 1—67.

UUSVAARA, O & LÖYTTYNIEMI, K. 1975. Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Summary: Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) on sawn timber quality and value. Folia For. 231: 1—14.

—»— & LÖYTTYNIEMI, K. 1977. The effect of injuries caused by summer storage of sawlogs on the quality and value of sawn timber. Seloste: Sahapuun kesävarastoinnista aiheutuvien varastovikojen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon. Commun. Inst. For. Fenn. 89 (3): 1—61.

WALLIN, B. 1975. Lagringsskador på massaved. Skogsfakta från Skogshögsk. 1: 1—4.

WILHELMSEN, G. 1968. Water storage of unbarked mechanical pulpwood of Norway spruce. Norsk Skogsindustri 22: 207—211.

SELOSTE

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kuoripäällisen mänty- ja kuusikuitupuun pilaantumista yhden kasvukauden yli tapahtuvan varastoinnin aikana ja erityisesti hyönteisten osuutta pilaantumisessa. Tutkimuksessa verrattiin tuoreen pilaantumattoman ja toisaalta kesän yli varastoidun hyönteisille alttiina olleen sekä verkolla hyönteisvioituksilta suojatun kuitupuun pilaantumista, keittoominaisuuksia ja massan laatua.

Selvimmin havaittavat muutokset tapahtuivat hyönteisten vioittamissa mäntypölkyissä. Niiden mantopuussa vaaleuden alenema oli suurin (noin 20 %), samoin puuaineen tiheys aleni ja uuteainepitoisuus lisääntyi varastoinnin aikana. Puun suojaaminen hyönteisiltä vähensi kaikkia näitä muutoksia. Myös kuusipuu tummui. Sen tiheys pysyi kuitenkin suunnilleen muuttumattomana, mutta uuteainepitoisuus sen sijaan väheni varastoinnin aikana.

Varastoidusta kuusikuitupuusta saatiin keitossa parempi massan saanto painoyksikköä kohti kuin tuoreesta puusta, kun taas männyllä saanto pysyi muuttumattomana. Puun kulutus sellutonnia kohden pysyi kuusella jokseenkin vakiona, mutta kasvoi männyllä. Sulfiittikeitto ei poistanut jo puussa ilmenneitä vaaleuseroja, vaan varastoiduista pölkyistä saatiin tummempaa massaa. Hyönteisten vioittamasta männystä valmistetun massan vaaleus ei noussut valkaisussakaan tyydyttävälle tasolle normaalia kemikaaliannostusta käyttämällä. Sen sijaan muiden massojen vaaleuserot tasoittuivat valkaisussa. Varastoidusta suojaamattomasta mäntypuusta saatu massa oli uuteainepitoisinta, kun sitävastoin varastointi aiheutti vähenemistä kuusimassojen uuteaineissa. Kaikkien massojen uuteainepitoisuudet laskivat valkaisussa samalle tasolle.

Varastoinnilla ei ollut vaikutusta valkaistujen massojen veto- ja puhkaisulujuuksiin, mutta kuusimassoilla varastointi paransi massan repäisylujuutta. Tuoreen puun, varsinkin kuusen, valkaistujen massojen huokoisuudet olivat huonommat ja hajaheijastuskertoimet matalammat kuin varastoitujen puuerien massoilla.

Verrattuna pelkästään ilmalevintäisten mikro-organismien aiheuttamaan pilaantumiseen lisäsi hyönteisten iskeytyminen etenkin mäntypölkkyjen pilaantumista. Täten on tarpeellista kiinnittää huomiota erityisesti mäntykuitupuun suojaamiseen hyönteisiltä, mikä on myös metsähygienian kannalta tärkeää Suomen oloissa.

EFFECT OF SITE PREPARATION ON PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL IN A THICK-HUMUS SPRUCE STAND

AULIS RITARI and ERKKI LÄHDE

Seloste

MUOKKAUKSEN VAIKUTUS PAKSUSAMMALKUUSIKON MAAN FYSIKAALISIIN OMINAISUUKSIIN

HELSINKI 1978

ODC 114.19
ISBN 951-40-0314-4
ISSN 0026-1610

RITARI, A. and LÄHDE, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (7): 1—37.

The physical properties of the soil and how they are affected, with respect to growth conditions for tree seedlings, by various treatments were studied in a thick-humus spruce stand north of the Arctic Circle. The soil on the experimental area was compacted and rich in fine particle-size fractions and thus poorly permeable to water and prone to frost heaving. Chain rototilling, tilt ploughing and mounding affected most strongly the physical properties of the soil. Using these methods the soil was loosened so that its permeability to air and water was greatly increased. By contrast, shoulder ploughing peeled away the loosest surface layer, but at the same time mineral soil was exposed over a large area.

Due to the small porosity and high moisture content of the soil, the air space was insufficient in the ploughed shoulder, scalped patch and uncut forest. The number of degree days in the tilt at a depth of 5 cm was 35 % greater and at 20 cm 40 % greater than in untreated soil. Thus it was similar to the number of degree days at the same depth of untreated soil 300 km to the south or at an elevation 200 m lower. In the early summer the soil temperature differences between treatments were largest. In the mound and ploughed tilt the conditions were most extreme, but together with the ridge produced by chain rototilling they were the best planting substrates for seedling growth.

Tutkimuksessa on selvitelty napapiirin pohjoispuolella sijaitsevan paksusammalkuusikon maan fysikaalisia ominaisuuksia ja muokkauksen vaikutusta niihin puiden taimien kasvuedellytysten kannalta. Maa koekentällä oli tiivisrakenteista ja runsaasti hienoja lajitteita sisältävää ja siten vettä heikosti läpäisevää sekä routivaa. Ketjujyrsinnällä, palleauraukselle ja mätästyksellä vaikutettiin voimakkaimmin maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Niitä käyttäen kuohkeutettiin maata siten, että maan ilman- ja vedenläpäisevyys paranivat voimakkaasti. Piennarauraukselle sitä vastoin kuorittiin pois maan kuohkein pintakerros, mutta samalla paljastettiin kivennäismaata varsin laajalta alalta.

Pienestä huokostilasta ja maan suuresta kosteuspitoisuudesta johtuen ilmatila kivennäismaassa oli riittämätön aurauksen pientareessa, laikussa ja hakkaamattomalla alalla. Kasvukauden lämpösumma oli palteessa 5 cm syvyydessä 35 % ja 20 cm syvyydessä n. 40 % suurempi kuin muokkaamattomassa maassa. Palleauraus muutti palteen pintakerroksen lämpösumman vastaamaan saman kerroksen lämpösummaa koskemattomassa maassa n. 300 km etelämpänä tai n. 200 m alempana. Alkukesällä lämpötilaerot eri muokkausjäljissä olivat suurimmat. Mättäässä sekä aurauksen palteessa olosuhteet olivat äärevimmät, mutta ketjujyrsinjäljen ohella ne olivat edullisimmat viljelykohdat puiden taimien kehityksen kannalta.

Helsinki 1978. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This study is part of the Finnish Forest Research Institute's Rovaniemi Research Station project on over-mature spruce stands. Erkki Lähde has planned the experiment and supervised establishment of the experimental area. The authors have jointly planned data collection and treatment. Aulis Ritari has collected and treated the data and written the manuscript, which was completed by Lähde. The State Forestry Board's Development Section and Sodankylä Forest District assisted in establishing the experimental area. Forest ranger Tapani Vartiainen and student Kai Kolehmainen assisted in data collection. Forestry officer Kullervo Etholén has translated the Russian literature. Kim v. Weissenberg, Ph.D., has translated the manuscript into English which was checked by Joann v. Weissenberg, Ph.D. Prof. Gustaf Sirén and Dr. Olavi Huuri have read the manuscript. To all these and others who have contributed to the study we wish to express our sincere thanks.

Rovaniemi, December 1977

Aulis Ritari *Erkki Lähde*

CONTENTS

	Page
1. INTRODUCTION	5
2. MATERIALS AND METHODS	6
21. Experimental area	6
22. Measurements of soil properties	9
23. Data treatment	12
3. RESULTS	13
31. Thickness of soil horizons	13
32. Particle-size distribution and stoniness	13
33. Humus content	15
34. Density of solids	16
35. Bulk density and porosity	17
36. Infiltration of water and air	18
37. Water- and air-conditions	20
38. Temperature	24
4. DISCUSSION	28
5. SUMMARY	32
6. REFERENCES	34
7. SELOSTE	37

1. INTRODUCTION

The thick-humus spruce stands of North Finland are located on the hill and fell areas, usually at elevations over 200 m on north and east aspects (Heikinheimo 1920). The area belongs to the pedogenetically old lands with strongly leached glacial till. Mica schists and alkaline minerals are common (Aaltonen 1935). In addition to a very few ground-cover species, a thick layer of humus, formed primarily by dead moss and roots of shrubs, is characteristic for the forests. Decomposition of the humus is very slow due to the cold and humid climate (Sirén 1955). The soil in these spruce stands is usually rich in fine particle-size fractions and has a low permeability to water and air (Lähde 1974b, Lähde and Mutka 1974).

The importance of the unfavorable physical properties of soils rich in fine particle-size fractions and with a thick raw humus layer as factors limiting growth of tree seedlings has been stressed (cf. Aaltonen 1940, Lähde 1971, Söderström 1975, 1976, Lähde and Pohjola 1975). By using mechanical site preparation it is possible to change considerably the moisture and temperature conditions in the soil (Mørk 1933, Bezdenezhnykh 1970, Leikola 1974, Kauppila and Lähde 1975, Söderström 1975, 1976). The proneness to frost heaving and erosion is also affected. Our knowledge of the effects of site preparation on the properties of the forest soil is still insufficient, even though various methods are rather commonly employed in North Finland. It has therefore been considered increasingly necessary to amass more information on the effects of site preparation.

The object of this study was to elucidate the effects of various site preparation methods on the physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand.

2. MATERIALS AND METHODS

21. Experimental area

The experimental area is located about 130 km north of the Arctic Circle in Poksaselkä (67°52′ N, 26°12′ E) within the Sodankylä Forest District of the National Board of Forestry. Poksaselkä belongs to the Pomokaira wilderness area which covers about 170 000 hectares. Approximately 93 000 hectares are productive forest land. The forests are spruce mixed with birch, and usually no pine is present. Forest fires have not occurred for 300—400 years (cf. Heikinheimo 1920). The forests are in the so-called secondary stage in their succession. Swamps are abundant in the area.

The elevation of the experimental area is about 350 m, with slopes slightly inclined towards the northeast and southwest. The area is surrounded by a large, open peat bog. This experimental area represents fairly well an average stand in Pomokaira.

The data were collected in the spring of 1974 from an experimental area which was clear cut in strips during the winter of 1971—1972. Both the clear-cut and uncut strips were about 60 m wide. Before cutting, detailed data on the stand were obtained with a line inventory (Table 1). The distance between lines was 120 m and between plots, 60 m. The lines were taken at the centers of the strips to be cut. Of the standing spruce (40.2 m^2/ha) dead trees made up 6 % of the total. The natural mortality of birch was 28 %. The average age of the stand was about 175 years. Analysis of the vegetation was made in square plots in the uncut strips (Table 2). A total of 80 plots, each 1 m^2, were placed systematically on the diagonals of 4 uncut experimental plots. The forest site type was considered to be HMT (*Hylocomium-Myrtillus* type), although it was, based on the ground cover, somewhere between dry upland and unfertile swampy upland types (cf. Cajander 1949, Teivainen 1952).

Table 1. Information about the tree crop on the experimental area.
Taulukko 1. Tiedot koealueen puustosta (NOROKORPI 1973).

Growing stock — *Puusto*	Spruce — *Kuusi*		Birch — *Koivu*		Total — *Yhteensä*	
	Living *Elävä*	Dead *Kuollut*	Living *Elävä*	Dead *Kuollut*	Living *Elävä*	Dead *Kuollut*
Mean height, m — *Keskipituus, m*	10,5	11,0	7,0	8,0	—	—
$D_{1.3}$, cm	17,3	19,0	10,2	14,3	—	—
Mean basal area, m^2/ha — *Keskipohjapinta-ala*, m^2/ha	7,4	0,5	1,8	0,6	9,2	1,1
Volume, m^3/ha — *Kuutiomäärä, m^3/ha*						
— with bark — *kuorineen*	37,3	2,4	8,1	3,2	45,9	5,6
— without bark — *kuoretta*	33,1	2,1	6,7	2,7	39,8	4,9
Species composition, % — *Puulajisuhteet*, %	83	—	17	—	100	—
Number of trees per hectar — *Runkoluku, kpl/ha*	259	14	177	32	436	46
Increment, per cent — *Kasvuprosentti*	1,3	—	2,0	—	—	—
Increment, m^3/ha/yr — *Kasvu, m^3/ha/v* ..	0,4	—	0,1	—	0,5	—

Table 2. Average frequency (%) and dominance (%) of plant species on the uncut experimental area.

Taulukko 2. Koealueen hakkaamattomalla alalla esiintyvien kasvilajien keskimääräiset frekvenssit ja peittävyydet.

Species *Laji*	Frequency *Frekvenssi*	Dominance *Peittävyys*
Picea abies (L.) Karst.	9	0,5
Betula pubescens Ehrh.	29	+
Juniperus communis L.	6	2,1
Vaccinium myrtillus L.	100	10,8
» *vitis-idaea* L.	100	1,1
» *uliginosum* L.	45	3,4
Betula nana L.	8	1,3
Calluna vulgaris (L.) Hull	3	+
Empetrum hermaphroditum coll.	88	4,5
Deschampsia flexuosa (L.) Trin.	100	3,5
Trientalis europaea L.	5	+
Luzula pilosa (L.) Willd.	1	+
Hylocomium splendens (Hedw.) B.S.G.	33	2,1
Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.	100	13,4
Dicranum spp.	89	4,3
Polytrichum commune Hedw.	71	0,9
» *juniperinum* Hedw.	69	4,9
Sphagnum girgensohnii Russow	4	20,0
» *nemoreum* Scop.	9	3,4
» *recurvum* coll.	10	11,8
» spp.	1	5,0
Barbilophozia lycopodioides (Wallr.) Loeske	43	2,3
Hepaticae	75	1,4
Cladina spp.	76	0,4
Cladonia spp.	89	+
Nephroma arcticum (L.) Torss.	16	0,4
Peltigera aphthosa (L.) Willd.	3	+
Cetraria islandica (L.) Ach.	21	+

The soil material in the area is supra-aquatic basal till (S a u r a m o 1936), which is normally unsorted and compacted. The soil textural class within the top half-meter is sandy loam, soils being well leached podsols.

The clear-cut strips were divided into 60 × 180 m experimental plots to which the soil treatments were randomly assigned. In this study there were 6 treatments with 4 replications including the uncut control. The plots were treated in the summer of 1972. Scalping was done with the S i n k k i l ä equipment pulled by a BMC-245 wheeled tractor. The patches were about 65 × 150 cm. Distance between patches was about 3,5 × 1,5 m. Between the patches 75 % of the area remained untouched. Shoulder ploughing was done with a KLM-240 shoulder plough pulled by a D6 Caterpillar tractor. Distance between tracks was 4,5 m, and 30 % of the area remained untouched. Tilt ploughing was done with a KLM-240P tilt plough pulled by a D6 Caterpillar tractor. Distance between tracks was 4,5 m, and 40 % of the area remained untouched. Chain rototilling was done with a KLM prototype device pulled by a MF-165 wheeled tractor equipped with crawling gear. The distance between ridges was 4,5 m, and 10 % of the area remained untouched. Both ploughing and tilling were done along the cut strip from southwest to northeast. Mounding was done with a band-equipped International combined shovel loader. The distance between mounds was about 3 × 2,5 m, and 70 % of the area remained untouched. In the tilts the thickness of the mineral soil turned on top of the humus was about 25 cm, and in the mounds it was about 35 cm.

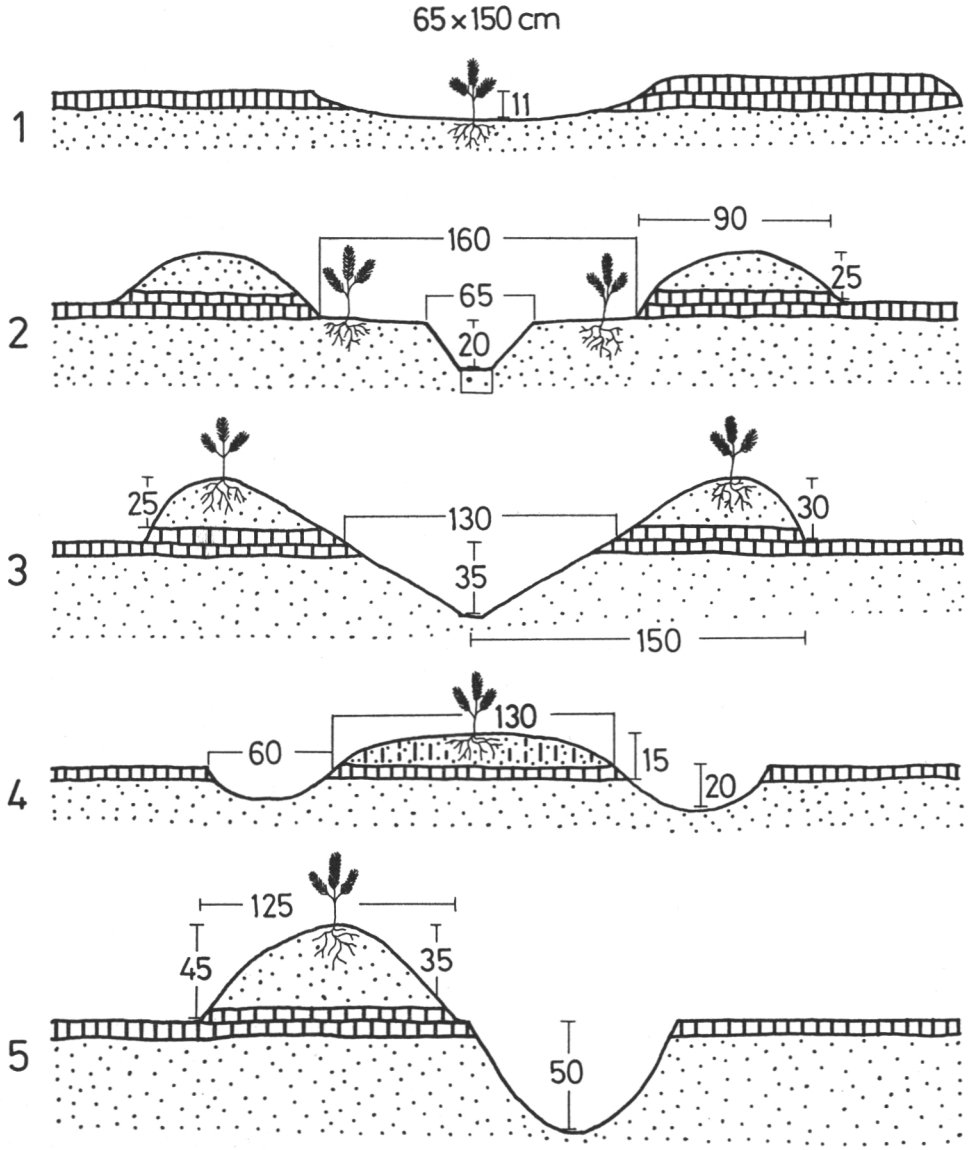


Fig. 1. Diagram of the soil treatment tracks: 1 = scalping, 2 = shoulder ploughing, 3 = tilt ploughing, 4 = chain-rototilling, 5 = mounding. The terms used for the planting spots in the same order are: (1) scalped patch, (2) shoulder, (3) tilt, (4) chainrototilling ridge, (5) mound.

Kuva 1. Kaaviokuva muokkausjäljistä: 1 = laikutus, 2 = piennarauraus, 3 = palleauraus, 4 = ketjujyrsintä ja 5 = mätästys.

Due to the relatively easy terrain and the homogeneous site, the treatments were done rather completely. Figure 1 shows the various tracks and their measurements in diagrams, and Figure 2 shows examples of the tracks in the terrain.

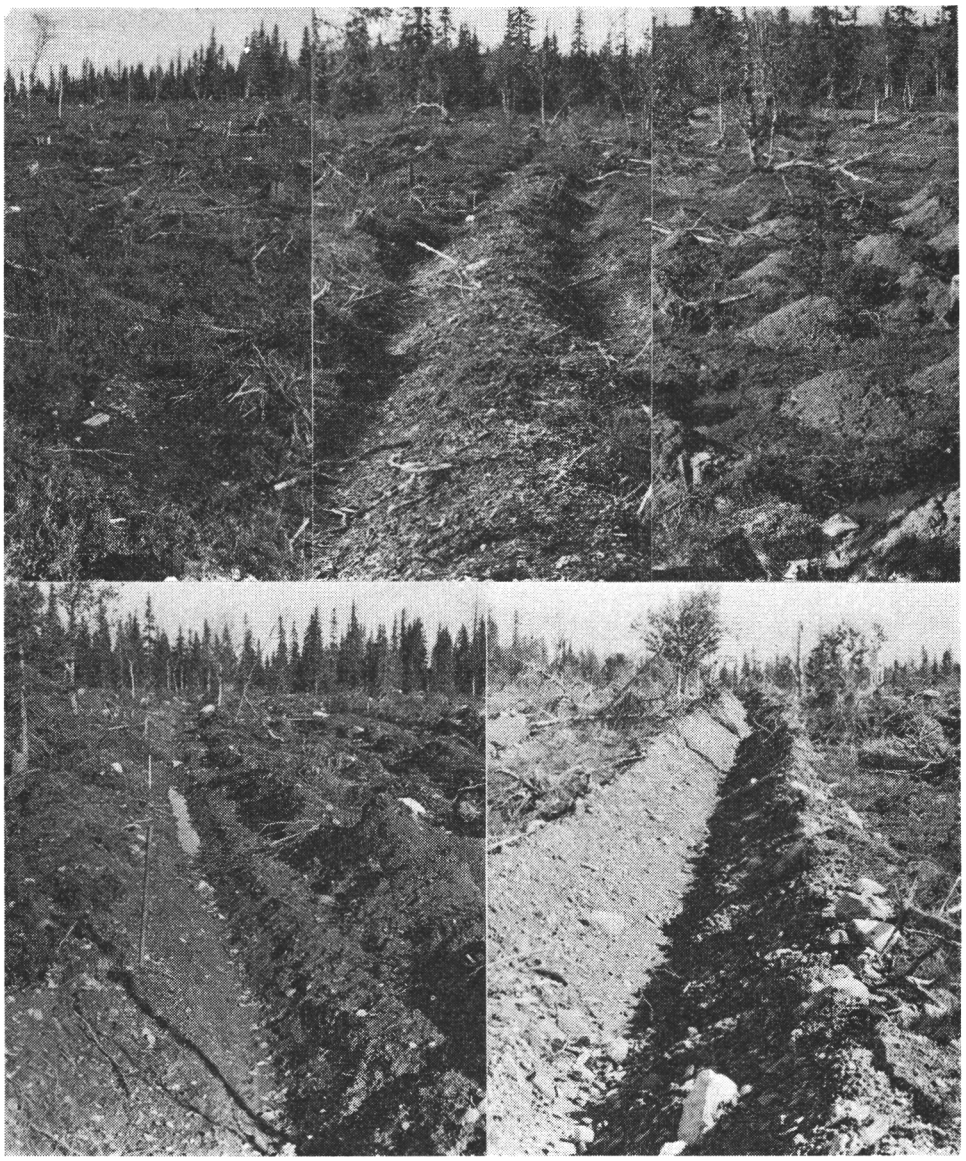


Fig. 2. Soil treatment tracks on the experimental area: 1 = scalping, 2 = chain-rototilling, 3 = mounding, 4 = shoulder ploughing, 5 = tilt ploughing.
Kuva 2. Muokkausjälkeä koekentällä: 1 = laikutus, 2 = ketjujyrsintä, 3 = mätästys, 4 = piennarauraus, 5 = palleauraus.

22. Measurements of soil properties

From each plot, 5 spots were chosen for measurements: the plot center and the midpoint on each half diagonal between the 4 corners and the plot center. Thus a total of 120 spots were chosen. The measurements were made from the immediate vicinity of each spot from microreliefs typical

for the soil treatment of the plot. Close to the spots a pit was dug in the untouched soil for measurement of horizon thickness and particle-size distribution. For the latter, samples were taken at 10—20 cm and 40—50 cm depths as measured from the top of the mineral soil.

Stoniness was measured by the probing-rod method developed by Viro (1952). On the diagonal of each plot 160 probings were made equidistantly. The humus thickness was reduced from the probing depth. From the particle-size composition sample taken at 10—20 cm the density of solids of the soil was determined with the pyknometer method (Blake 1965). The volume of the soil was measured in the field with a cylindric water volumeter having a standard error of ±3 % in sand (Lehtinen 1967). These measurements were made in the 0—10 cm and 10—20 cm layers. The soil samples were weighed in the laboratory as soon as possible and again after drying at 105°C. The difference gave the moisture content at the time of measurement. The bulk density of the soil was calculated on the dry mass bases.

The humus content also was measured from the volumetric sample as a loss of ignition in dry ashing. Since the density of the mineral soil was found to be 2,70 g/cm³, and since the specific gravity of the humus is 1,3—1,5 g/cm³ (Kohnke 1968), this was considered when calculating the porosity. The density of solids (Y) was corrected by the equation given by Heinonen (1957).

$$Y = 2{,}697 + 0{,}0007_{X_1} - 0{,}0265_{X_2}$$

where x_1 = amount of glay (%)
x_2 = amount of humus (%)

The water infiltration into the soil was measured twice (July 2—4 and August 19—21) by pressing a 30-cm-high steel cylinder with a diameter of 10,5 cm into the soil to a depth of 12 cm (cf. Wilde et al 1965), whereby the volume of soil in the cylinder was 1 liter. One liter of water was poured into the cylinder, and the time for complete absorption was measured with an accuracy of 1 minute.

The time for water infiltration was about constant after half an hour for soil from different spots. Using the established regression, the remaining time for water absorption was estimated (Figure 3). After half an hour, the height of the remaining water column was measured (mm). The time required for complete absorption was estimated from the curve at the point corresponding to the column height. Using this procedure, measurement was more rapid. On uncut experimental plots the permeability was measured both through the humus and through the exposed mineral soil.

The air infiltration into the soil was measured in connection with the moisture measurements from the 0—5 cm layer at about 1½ week intervals, a total of 8 times. In addition, these measurements were made from the 15—20 cm layer 3 times. For the measurements a steel cylinder with a 3,6 cm diameter was pressed 5 cm into the soil. To the upper end of the cylinder an air container, pump and manometer were connected by a tube. These were taken from a blood pressure gauge. Air was pumped into the air container to a pressure of 26660 N/m² (200 mmHg) and allowed to pass into the soil for 10 seconds after which the remaining pressure was measured (cf. Wilde et al 1965). The larger the value, the smaller was the air infiltration into the soil.

The soil was so loose after treatment with tilt ploughing, chain rototilling and mounding that the remaining pressure was 0 during the whole summer. The results in Table 11 are therefore presented only for scalping, shoulder ploughing and the uncut forest. Several measurements were made from each spot.

The fluctuations in moisture content of the soil were observed with a carbidometer (Speedy) at intervals of about 1½ weeks. The first measurement was made on June 11 and the last during September 19—20. There were 8 measurement times at the 5 cm depth, and there were 3 measurement times made at the 20 cm depth. The functioning of the carbidometer is based on the reaction of water with calcium carbide, which produces acetylene and calcium hydroxide:

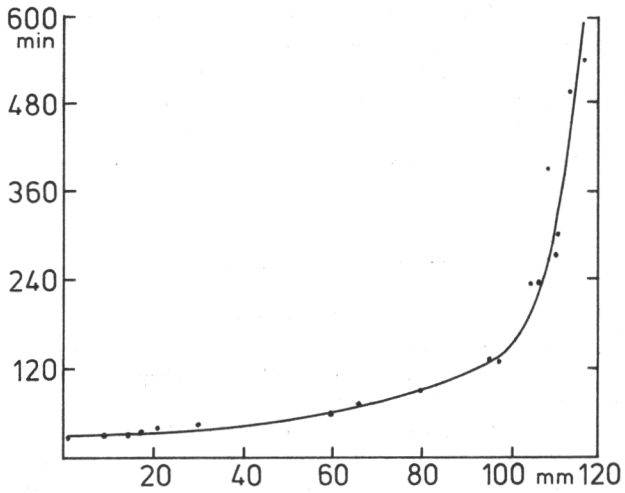


Fig. 3. Regression of the time required for complete infiltration of the water on the height of the water column remaining after 30 min.

Kuva 3. Veden läpäisevyyden loppuajan riippuvuus jäljelle jääneen (30 min jälkeen) vesipatsaan korkeudesta.

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2\uparrow + Ca(OH)_2$$

The volume of the acetylene produced is directly proportional to the amount of water present. The manometer is calibrated so that the developed pressure corresponds to the moisture of a soil sample with a constant wet weight of 6 g. The results were first transformed to the dry-weight percentage and then to the volume percentage basis using the weight and volume of the water volumetric sample. The air space was obtained by subtracting the porosity from the water volume.

The amount of precipitation was measured with a Fuess floater recorder. Due to a technical failure in the recorder, the precipitation in the early summer (June 1—29) was recorded, at the Vaalolehto experimental area (67°51′ N, 26°38′ E, elev. 232 m) located 20 km away.

The air temperature was measured with a Fuess thermograph in weather chambers 2 m above ground, located in the centers of the clear-cut and uncut strips.

The soil temperature was measured by a total of 14 two-sensor Lambrecht soil thermographs. Due to the large size of the experimental area and the measurement method, the soil temperature could not be measured with enough replications so that a statistical analysis of the data had been possible. The results are presented as indicative. The sensors were placed in the centers of the experimental plots; in the tilt ploughed area in each replication, in the scalped and shoulder ploughed areas in 2 and in the others in 1 randomly chosen replication. The upper sensor was placed horizontally at a depth of 5 cm and the lower at a depth of 20 cm according to the standard depth recommendations of the World Meteorological Organization. The so-called active surface (on treated soil the surface of the mineral soil and in the uncut forest the border between the moss and the humus layers) was used as a standard or 0-level. For comparison in the uncut experimental plot 2 additional sensors were placed at the 5 and 20 cm depths using the border between the humus and the mineral soil as the 0-level. In addition, sensors were placed at depths of 40 and 50 cm in the tilt-ploughed plot.

The number of degree days was calculated as the sum of the temperatures exceeding +5°C every second hour, divided by 12. This gave an approximation of the daily number of degree days (d.d.), here designated as d.h./24. By this method it was possible to avoid the compensation error arising in the fall and spring. When calculating the number of degree days based on the d.d.-principle, 5°C is subtracted from the daily mean temperatures. Thus the temperatures below 5°C often compensate for those above 5°C in such a way that no degree days are accumulated (e.g. Sarvas 1972).

23. Data treatment

The data, using plot means, were treated with one-way and two-way analysis of variance. The values for different significance levels were taken from tables compiled by Mäkinen (1974). After the analysis of variance, the means were compared by the Tukey test at the 5 % level of probability (HSD, »Honestly Significant Difference»).

All measurements in this study were made using ratio scales. The frequency distributions within the sample populations were studied graphically. According to Vasama and Vartia (1971), the sample may be considered to be normally distributed when it consists of at least 30 observations drawn randomly from a normally distributed population. The number of observations within the samples to be compared was less than 30, and therefore the normality was not shown conclusively.

First the means and standard deviations for each treatment and measurement date were calculated from the data, then the means over the measurement dates. Subsequently, the analysis of variance and Tukey's t-test statistics at the 5 % level of probability (HSD) were compared to the differences between the means of the experimental series.

3. RESULTS

31. Thickness of soil horizons

In several earlier studies (e.g., Hesselman 1926, Teivainen 1953) the thickness of the raw-humus layer has been stressed as a typical feature of the HMT site-type. According to Sirén (1953), the thickness of the humus layer is also clearly dependent on the successional stage of the forest.

On the experimental area of this study, the average thickness of the humus layer (F+H) was 6,3 cm, of which the poorly decomposed F-horizon was 4,8 cm and the more completely decomposed H-horizon was 1,6 cm (Table 3). The average thickness of live moss and lichen and litter was 1,3 cm. The measurements were made at the end of June on untreated places. There were no statistically significant differences between treatments. The border between the humus layer and the mineral soil was often very distinct, also between the A and B horizons. In contrast, the change between the B and C horizons was in many cases gradual.

Table 3. Thickness (cm) of soil horizons on untreated parts of the plots.
Taulukko 3. Maahorisonttien paksuus (cm) koeruuduilla käsittelemättömissä kohdissa.

Treatment *Käsittely*	Soil horizons — *Horisontit*											
	F		H		F + H		F + H + ground layer of vegetation *pohjakerros*		A		B	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping — *Laikutus*	4,7	0,5	1,4	0,6	6,1	0,8	7,1	0,7	7,0	1,8	16,5	1,9
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	4,6	0,7	1,7	0,9	6,3	1,6	8,3	2,9	9,6	5,8	20,9	9,5
Tilt ploughing — *Palleauraus*	4,6	1,4	1,9	1,3	6,4	2,2	7,4	2,1	9,1	3,0	15,7	1,5
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	5,9	1,2	2,1	0,9	8,0	1,7	9,5	2,5	7,6	1,6	19,2	3,3
Mounding — *Mätästys*	4,7	1,1	1,0	0,5	5,7	1,5	6,8	1,1	7,7	1,1	21,0	7,7
Uncut forest — *Hakkaamaton*	4,3	1,4	1,4	0,7	5,7	1,1	6,9	1,0	7,7	1,1	18,8	3,4
D.F. — *V.a.*	5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18	
F	1,02		0,79		1,20		1,22		0,45		0,66	
Average — *Keskim.*	4,8	1,1	1,6	0,8	6,3	1,6	7,6	2,0	8,1	2,7	18,7	5,2

32. Particle-size distribution and stoniness

The particle-size distribution was determined from untreated places on the experimental plots. The differences in particle-size distribution between treatments

Table 4. Particle-size distribution (% of dry weight) at various depths of the soil on untreated parts of the plots.
Taulukko 4. Lajitekoostumus (paino-% kuivapainosta) käsittelemättömässä maassa eri syvyydessä.

Treatment *Käsittely*	Depth of layer *Syvyyskerros*	Particle size — mm — *Raekoko*													
		2.0—0.6		0.61—0.2		0.21—0.06		0.061—0.02		0.021—0.006		0.0061—0.002		<0.002	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping	10—20	14,9	1,2	19,4	1,5	24,4	1,2	21,9	1,5	10,8	0,2	4,2	0,2	4,5	0,3
Laikutus	40—50	12,2	0,9	19,5	0,2	24,4	1,8	22,4	0,7	11,5	0,6	6,2	2,9	5,3	0,5
Shoulder ploughing	10—20	16,2	5,1	23,0	6,5	23,1	2,1	19,9	5,8	10,1	3,3	3,6	1,0	4,2	0,2
Piennarauraus	40—50	13,2	2,4	19,2	2,4	23,7	1,8	22,5	1,3	11,7	1,4	4,7	0,6	5,0	0,8
Tilt ploughing	10—20	15,8	3,0	19,2	6,7	24,3	2,7	22,3	1,7	10,2	1,5	3,9	0,4	4,5	0,8
Palleauraus	40—50	14,4	4,8	17,9	2,0	24,5	2,2	22,9	2,6	11,1	1,5	4,4	0,7	4,9	0,6
Chain rototilling	10—20	15,1	1,2	22,2	3,2	23,9	1,3	20,5	1,1	10,0	1,7	3,5	0,1	4,5	0,5
Ketjujyrsintä	40—50	14,7	4,1	20,9	1,5	23,8	1,3	22,2	2,4	10,3	2,2	4,0	1,2	4,2	0,9
Mounding	10—20	17,1	5,9	21,2	4,7	24,2	2,0	20,0	4,5	9,9	2,9	3,5	1,4	4,3	0,8
Mätästys	40—50	14,1	4,1	21,7	2,1	24,8	3,5	20,4	3,4	10,4	2,4	3,9	1,2	4,7	1,2
Uncut forest	10—20	16,1	0,9	21,5	2,0	25,7	2,2	19,8	1,3	9,2	1,9	3,4	0,8	4,2	0,3
Hakkaamaton	40—50	14,6	1,9	20,4	2,0	24,9	2,3	21,4	1,1	9,9	2,4	4,4	1,1	4,5	1,3
Average	10—20	15,8	3,2	21,1	3,5	24,3	1,9	20,7	3,0	10,0	2,0	3,7	0,7	4,4	0,5
Keskim.	40—50	13,9	3,1	20,0	2,1	24,2	2,0	21,9	2,1	10,7	1,8	4,6	1,5	4,7	0,9

Table 5. Depth index of stoniness on untreated parts of the plots.
Taulukko 5. Kivisyyden syvyysindeksi koeruuduilla käsittelemättömissä kohdissa.

Treatment *Käsittely*	Replication — *Toisto*				$\bar{x}$	s
	I	II	III	IV		
Scalping — *Laikutus*	24,6	27,5	27,5	21,3	25,2	3,0
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	23,8	26,5	18,4	24,0	23,2	3,4
Tilt ploughing — *Palleauraus*	23,5	24,7	19,8	17,3	21,3	3,4
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	28,1	25,2	25,5	26,6	26,4	1,3
Mounding — *Mätästys*	26,0	27,1	16,5	25,6	23,8	4,9
Uncut forest — *Hakkaamaton*	27,1	24,7	13,9	23,6	22,3	5,8
D.F. — *V.a.*	—	—	—	—	5/18	
F	—	—	—	—	0,90	
HSD	—	—	—	—	8,76	
Average — *Keskim.*	—	—	—	—	23,7	3,9

were small (Table 4). In the 10—20 cm and 40—50 cm layers the soil mostly consisted of those fractions containing fine sand (0,21—0,02 mm). The amount of fine fractions, which most strongly affect soil water relationships was rather large on the experimental plots (cf. W i l d e 1958, V i r o 1962, L ä h d e 1974b). The portion of fractions with particles smaller than 0,06 (border between fine sand and coarse silt) was over 38,8 % in the 10—20 cm layer and 41,9 % in the 40—50 cm layer. In the 10—20 cm layer the amount of finer fractions was consistently smaller than in the 40—50 cm layer. The difference was, however, rather small.

The average probing-depth index, indicating stoniness of the soil, was 23,7 (Table 5). According to the classification by V i r o (1952), those areas where the depth index is ≥ 21 are slightly stony. There were no statistically significant differences between treatments. In the scalped and chain-rototilled treatments the depth index was > 21. In one plot each of shoulder ploughing, mounding and the uncut forest and in 2 plots of the tilt ploughing the index was 12—21 or, according to the above classification, they were stony. The homogeneity of the total experimental area may, however, be considered satisfactory.

33. Humus content

The humus content was largest in the chain-rototilled tract both in the 0—10 cm and 10—20 cm layers (Table 6). At the surface of the patches the humus content was also rather large. The humus content decreased with increasing depth in the ploughed shoulder. In contrast, the humus content increased in the deeper layers of the tilts and mounds. The reason for this was that, due to the treatment technique, there was a double layer of humus and ground cover under the mineral soil. Tilt ploughing and mounding were different from scalping and chain rototilling in the 0—10 cm layer ($P < 0,05$). Other treatments differed from chain rototilling at the same level of probability.

Table 6. Humus content (% dry weight) of variously treated soil.
Taulukko 6. Humuspitoisuus (% kuivapainosta) eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth of layer — cm — *Syvyyskerros*			
	0—10		10—20	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping — *Laikutus*	8,1	3,4	6,0	1,2
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	5,7	1,5	4,6	1,3
Tilt ploughing — *Palleauraus*	4,3	0,9	6,4	1,6
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	9,5	1,6	11,9	4,3
Mounding — *Mätästys*	3,5	1,1	4,4	0,9
Uncut forest — *Hakkaamaton*	5,9	1,3	6,1	0,3
D.F. — *V.a.*	5/18		5/18	
F	6,03**		7,23***	
HSD	4,13		4,60	

34. Density of solids

The density of a mineral soil depends on the minerals and their relative portions in the soil. According to Aaltonen (1940), the average density of Finnish mineral soil is 2,65 g/cm³. According to Heinonen (1957), the density of ground soils free of humus varies in our country from 2,66 to 2,82 g/cm³, the average value being 2,74 g/cm³. The density usually varies from 2,6—2,7 g/cm³ (Hillel 1971). On the studied experimental area the mineral soil had a density of 2,70 g/cm³ (s = 0,042, N = 120), which is very close to the mean given by Heinonen (1957).

Table 7 gives the soil densities corrected on the basis of the humus and clay fraction content (cf. p. 10). The amount of humus strongly affects the density; in contrast, the amount of clay-fractions has very little effect. Chain rototilling and scalping were different in this respect ($P < 0,05$). At the same level of probability the chain-rototilled soil in the 10—20 cm layer was different from the other treatments.

Table 7. Density of solids (g/cm³) of variously treated soil. Corrected on the basis of humus- and clay content.
Taulukko 7. Kivennäismaan ominaispaino eri tavoin muokatussa maassa. Korjattu humus- ja savespitoisuuden perusteella.

Treatment *Käsittely*	Depth of layer — cm — *Syvyyskerros*			
	0—10		10—20	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping — *Laikutus*	2,49	0,09	2,54	0,03
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	2,55	0,04	2,58	0,03
Tilt ploughing — *Palleauraus*	2,50	0,02	2,53	0,04
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	2,45	0,04	2,39	0,11
Mounding — *Mätästys*	2,60	0,03	2,59	0,02
Uncut forest — *Hakkaamaton*	2,55	0,04	2,54	0,01
D.F. — *V.a.*	5/18		5/18	
F	5,51**		7,22***	
HSD	0,11		0,12	

Table 8. Bulk density (g/cm³) (on dry mass basis) of variously treated soil.
Taulukko 8. Kuivatilavuuspaino (g/cm³) eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth of layer — cm — *Syvyyskerros*			
	0—10		10—20	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping — *Laikutus*	1,21	0,13	1,24	0,08
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	1,37	0,15	1,41	0,12
Tilt ploughing — *Palleauraus*	1,11	0,16	0,92	0,13
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	0,72	0,09	0,69	0,08
Mounding — *Mätästys*	1,15	0,16	1,02	0,13
Uncut forest — *Hakkaamaton*	1,20	0,08	1,23	0,21
D.F. — *V.a.*	5/18		5/18	
F	10,71***		15,49***	
HSD	0,30		0,30	

35. Bulk density and porosity

The bulk density of the soil (on dry mass basis) was highest in the ploughed shoulder and increased with an increasing depth (Table 8). It was nearly as high in the scalped and uncut areas but less than in the shoulder. Deeper down the bulk density increased slightly. In the tilt and shoulder the difference in bulk density was not large. The effect of the two treatments on bulk density was similar; primarily due to the increased humus content, the bulk density decreased from the surface downwards. In the chain-rototilled ridge the bulk density was lowest since in this treatment the humus is mixed into the mineral soil. The difference compared to the other treatments was statistically significant in the 0—10 cm layer. The bulk density for tilt ploughing, chain rototilling and mounding in the 10—20 cm layer differed significantly from that of scalping, shoulder ploughing and the uncut forest.

The porosity was greatest in the chain-rototilled ridge (ca. 71 %) and least in the shoulder (ca. 46 %), both in the 0—10 cm and 10—20 cm layers (Table 9). The

Table 9. Porosity (% of total volume) of variously treated soil.
Taulukko 9. Huokostila (% tilavuudesta) eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth of layer — cm — *Syvyyskerros*			
	0—10		10—20	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping — *Laikutus*	51,5	3,9	51,5	3,3
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	46,6	5,1	45,4	3,6
Tilt ploughing — *Palleauraus*	56,9	6,2	63,7	4,5
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	70,9	3,1	71,4	2,1
Mounding — *Mätästys*	55,8	5,5	62,9	7,1
Uncut forest — *Hakkaamaton*	53,0	2,5	53,6	6,0
D.F. — *V.a.*	5/18		5/18	
F	12,94***		16,11***	
HSD	10,31		10,71	

difference between chain rototilling and the other treatments was also significant in the 0—10 cm layer. Deeper, in the 10—20 cm layer, one finds a condition similar to that for the dry-bulk density but reversed (cf. Table 8). The porosity increased in the tilt ploughed area and mounded area but decreased in the shoulder ploughed area compared with the 0—10 cm layer.

36. Infiltration of water and air

The rate of water infiltration depended strongly on the bulk density of the soil (Table 10, cf. Table 8). The effect of the reduced moisture content is seen in the data for the second date of measurement. The different treatments can be placed into 3 groups based on water infiltration. The lowest infiltration rate was found in the patches, shoulders and uncut forest where the humus was removed before measurement. In the tilt, mound and uncut area with humus remaining water infiltration was much higher. In the chain-rototilled ridge, the infiltration was highest and differed significantly, especially from the first group. The differences between the first and the two latter groups were also statistically significant. In contrast, the infiltration of the chain-rototilled ridge did not differ much from that of the tilt, mound and uncut forest where humus remained.

Air infiltration, which in this study is taken to be primarily the mass flow of air (cf. K o h n k e 1968), is presented in Table 11 only for scalping, shoulder

Table 10. Water infiltration (min.) in the 0—10 cm layer of variously treated soil.
Taulukko 10. Vedenläpäisevyys (min) 0—10 cm:n kerroksessa eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Date of measurement — *Mittausaika*				Average *Keskim.*	
	07—02 . . . 04		08—19 . . . 21			
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping — *Laikutus*	114	38	82	38	98	38
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	76	19	82	34	79	26
Tilt ploughing — *Palleauraus*	23	12	19	18	21	15
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	10	5	6	2	8	4
Mounding — *Mätästys*	33	22	6	3	19	19
Uncut forest — *Hakkaamaton*	34	16	6	4	20	18
Uncut forest raw-humus removed — *Hakkaamaton, humuskerros poistettu*	81	59	71	16	76	40
D.F. — *V.a.*	6/21		6/21		—	
F	6,38***		12,42***		—	
HSD	56,92		69,19		—	
Average — *Keskim.*	53	—	39	—	—	—

Source of variance — *Var. lähde*	D.F. — *V.a.*	F	HSD
Interaction — *Yhdysvaikutus*	6/42	0,62	—
Date of measurement — *Mittausaika*	1/48	4,33*	13,63
Treatment — *Käsittely*	6/48	17,00***	27,39

Table 11. Variation in air infiltration ($10^3 N/m^2$) during the summer in variously treated soil.
Taulukko 11. Ilmanläpäisevyyden ($10^3 N/m^2$) vaihtelu kesän kuluessa eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth, cm *Syvyys, cm*	Date of measurement — *Mittausaika*																Average *Keskim.*	
		06—11		06—25...26		07—10...11		07—18		07—30... 08—01		08—13...14		08—27...28		09—19...20			
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping	0—5	7,66	3,45	16,57	2,25	13,33	3,21	15,10	6,97	16,70	3,19	10,00	3,68	9,80	4,07	14,00	2,29	12,89	4,70
Laikutus	10—15	—	—	—	—	20,86	1,47	—	—	22,99	3,33	15,84	2,40	—	—	—	—	19,90	3,88
Shoulder ploughing	0—5	9,46	4,69	13,97	3,08	13,66	4,09	12,70	2,92	17,33	4,00	8,73	3,45	8,25	2,93	7,97	2,57	11,50	4,49
Piennarauraus	10—15	—	—	—	—	18,84	4,97	—	—	20,70	6,27	9,40	3,16	—	—	—	—	16,30	6,85
Uncut forest	0—5	14,84	3,01	15,10	4,55	13,13	5,20	15,33	3,40	15,13	4,12	8,80	2,27	10,86	4,80	10,26	2,67	13,01	4,27
Hakkaamaton	10—15	—	—	—	—	15,84	5,32	—	—	18,90	3,69	10,86	1,29	—	—	—	—	15,20	4,88
D.F. — *V.a.*	0—5	2/9		2/9		2/9		2/9		2/9		2/9		2/9		2/9		—	
F		3,88		0,58		0,16		0,37		0,18		0,19		0,43		5,86*		—	
HSD		—		—		—		—		—		—		—		4,97		—	
D.F. — *V.a.*	10—15	—		—		2/9		—		2/9		2/9		—		—		—	
F		—		—		1,39		—		0,79		7,83*		—		—		—	
HSD		—		—		—		—		—		4,75		—		—		—	
Average	0—5	10,65		15,21		13,37		14,38		16,58		9,17		9,64		10,74		—	
Keskim.	10—15	—		—		18,52		—		20,86		12,04		—		—		—	

Source of variance — *Var. lähde*	Depth, cm *Syvyys*	D.F. — *V.a.*	F	HSD
Interaction	0—5	7/47	0,48	—
Yhdysvaikutus	10—15	4/27	0,51	—
Date of measurement	0—5	7/54	6,54***	4,68
Mittausaika	10—15	2/31	17,63***	3,80
Treatment	0—5	1/54	4,67*	2,18
Käsittely	10—15	2/31	5,09*	3,80

ploughing and uncut forest. In soil treated with the other methods it was too large during the whole summer to be measured with the method employed. In the 0—5 cm layer in the patch, ploughed shoulder and uncut forest with humus removed air permeability was greater than in the 10—15 cm layer. The difference was primarily due to the higher bulk density and moisture content in the latter layer. The differences between the above treatments were relatively small, although statistically nearly significant between scalping and the uncut forest. In contrast, between dates of measurements there were very significant differences, primarily due to variations in soil moisture content.

37. Water and air conditions

The summer of 1974 was very rainy: the total rainfall for the period of June 1 to Oct. 10 was 428 mm. The annual rainfall on the area in 1921—1950 was 500—550 mm (Suomen kartasto 1960). Inspection of the variation in the moisture content (% by dry weight) over the summer (Table 12) reveals that the tilt and mound were clearly drier than the other treatment tracks. The average moisture content in the tilt was 19,3 % and in the mound 17,6 % at a depth of 5 cm. The patch, chain-rototilled ridge and uncut forest, where the humus content is larger, were more moist during the whole summer, with an average moisture content 14 percentage points higher at the same depth. The shoulder was intermediate, with an average of 28,2 % over the summer. Both the patches and the shoulder at a depth of 20 cm were somewhat drier compared to a depth of 5 cm. In the other treatments the moisture content increased somewhat from the surface downwards. There were no long, dry periods during the summer. Thus the moisture content for the different treatments remained fairly constant during the whole summer. The ploughed shoulder and uncut forest dried somewhat at the end of the summer. The statistical analysis showed significant differences both between treatments and dates of measurements.

The average air space in the ploughed shoulder was below 10 % both in the 0—10 cm and 10—20 cm layers, and in the patches and uncut forest only slightly larger (Table 13). Ten percent is considered to be too low for root functioning. In contrast, the air space in the tilt and mound varied between 30—40 %. Scalping, shoulder ploughing and the uncut forest usually differed at the 0,1 % level of probability from tilt ploughing, chain rototilling and mounding.

Table 14 and Figure 4 indicate that in those treatments where the porosity is lowest (scalping, shoulder ploughing and uncut forest) the moisture or the water volume was, however, largest. This is, due to the high bulk density of the soil, humus content, low water permeability, capillary water ascent and unfavorable evaporation conditions.

Table 12. Variation in moisture content (% of dry weight) during the summer in variously treated soil.
Taulukko 12. Kosteuden (% kuivapainosta) vaihtelu kesän kuluessa eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth, cm *Syvyys*	Date of measurement — *Mittausaika* 06—11		06—25 ... 26		07—10 ... 11		07—18		07—30 .. 08—01		08—13 ... 14		08—27 ... 28		09—19 ... 20		Average *Keskim.*	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping	5	33,4	1,1	34,8	4,3	33,9	1,6	30,7	2,7	31,2	1,6	36,0	4,8	33,2	5,9	31,1	4,9	33,0	3,8
Laikutus	20	—	—	—	—	32,4	4,2	—	—	33,2	4,2	32,7	6,0	—	—	—	—	32,7	4,4
Shoulder ploughing	5	30,6	4,3	27,9	1,6	27,6	3,6	32,7	3,5	28,2	1,4	27,7	8,3	25,0	5,2	25,6	3,6	28,2	4,5
Piennarauraus	20	—	—	—	—	28,2	2,8	—	—	25,6	2,8	29,3	2,1	—	—	—	—	27,7	2,8
Tilt ploughing	5	23,0	3,6	15,6	4,5	14,9	3,6	21,2	0,7	19,3	3,4	23,4	2,3	18,6	1,6	18,7	3,1	19,3	4,0
Palleauraus	20	—	—	—	—	21,2	3,2	—	—	24,8	2,7	28,8	3,0	—	—	—	—	24,9	4,2
Chain rototilling	5	35,5	1,9	27,0	2,6	25,0	3,2	32,3	5,2	33,4	4,3	34,9	3,3	30,8	6,0	35,2	2,7	31,8	5,1
Ketjujyrsintä	20	—	—	—	—	33,8	3,5	—	—	42,8	7,0	47,2	5,2	—	—	—	—	41,3	7,6
Mounding	5	18,6	3,9	11,3	1,5	13,5	0,6	21,6	6,3	18,7	2,9	24,7	9,5	16,0	3,2	16,8	1,5	17,6	5,7
Mätästys	20	—	—	—	—	16,2	2,2	—	—	24,3	4,9	23,0	4,3	—	—	—	—	21,2	5,1
Uncut forest	5	34,5	5,3	31,9	3,0	30,7	2,3	35,5	3,3	33,9	6,8	41,3	6,1	35,5	1,3	24,2	5,9	33,4	6,2
Hakkaamaton	20	—	—	—	—	37,0	3,2	—	—	34,4	2,7	35,0	4,5	—	—	—	—	35,4	3,4
D.F. — *V.a.*		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		—	
F	5	14,45***		34,82***		38,22***		9,14***		12,61***		5,19**		13,58***		12,89***		—	
HSD		8,16		7,08		6,06		9,04		8,65		14,07		9,77		8,82		—	
D.F. — *V.a.*		—		—		5/18		—		5/18		5/18		—		—		—	
F	20	—		—		23,96***		—		11,39***		13,91***		—		—		—	
HSD		—		—		7,32		—		9,71		9,89		—		—		—	
Average	5	29,3		24,8		24,3		29,0		27,4		31,3		26,5		25,3		—	
Keskim.	20	—		—		28,1		—		30,9		32,7		—		—		—	

Source of variance — *Var. lähde*	Depth, cm *Syvyys*	D.F. — *V.a.*	F	HSD
Interaction	5	35/144	1,89	—
Yhdysvaikutus	20	10/54	2,69*	—
Date of measurement	5	7/179	7,52***	4,00
Mittausaika	20	2/64	6,02**	3,10
Treatment	5	5/179	80,13***	3,22
Käsittely	20	5/64	31,65***	4,88

Table 13. Variation in air space (% of total volume) during the summer in variously treated soil.
Taulukko 13. Ilmatilan (% tilavuudesta) vaihtelu kesän kuluessa eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth, cm *Syvyys*	Date of measurement — *Mittausaika*																Average *Keskim.*	
		06—11		06—25 . . . 26		07—10 . . . 11		07—18		07—30 . . . 08—10		08—13 . . . 14		08—27 . . . 28		09—19 . . . 20			
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping	0—10	11,3	6,9	9,8	6,5	11,2	8,5	14,3	11,0	13,9	8,1	9,0	11,1	12,0	4,5	14,3	6,7	12,0	7,5
Laikutus	10—20	—	—	—	—	11,3	6,3	—	—	12,3	8,8	12,1	11,1	—	—	—	—	11,5	8,1
Shoulder ploughing	0—10	7,2	8,3	8,0	9,0	9,5	9,8	6,9	8,0	8,4	8,4	10,2	7,7	12,8	8,4	13,2	5,0	9,5	7,5
Piennarauraus	10—20	—	—	—	—	5,9	3,4	—	—	10,0	7,8	4,2	7,0	—	—	—	—	6,7	3,6
Tilt ploughing	0—10	38,1	7,1	40,1	8,1	40,8	7,4	33,7	9,3	32,2	10,1	31,2	10,7	36,4	10,9	36,4	8,8	35,7	8,7
Palleauraus	10—20	—	—	—	—	40,2	3,1	—	—	36,9	5,8	31,9	3,4	—	—	—	—	36,3	5,3
Chain rototilling	0—10	45,7	6,6	51,8	5,7	51,7	5,0	45,9	12,1	47,5	4,7	46,4	4,5	49,1	6,6	46,2	4,3	48,0	6,3
Ketjujyrsintä	10—20	—	—	—	—	49,1	5,1	—	—	41,2	6,0	37,9	6,5	—	—	—	—	42,7	7,3
Mounding	0—10	34,9	7,6	43,1	7,7	42,2	8,1	32,0	4,5	34,9	5,8	27,6	14,8	37,5	10,2	36,9	7,1	36,1	9,1
Mätästys	10—20	—	—	—	—	46,2	7,2	—	—	38,5	5,0	39,3	6,5	—	—	—	—	41,3	6,8
Uncut forest	0—10	11,4	11,1	14,8	4,6	17,6	3,8	10,6	3,2	13,0	9,2	6,6	5,8	10,4	5,1	24,0	8,4	13,5	7,9
Hakkaamaton	10—20	—	—	—	—	10,4	12,3	—	—	13,3	8,7	12,3	11,6	—	—	—	—	12,0	10,0
D.F. — *V.a.*		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		—	
F	0—10	15,38***		29,39***		24,29***		12,88***		15,81***		10,51***		17,44***		15,06***		—	
HSD		18,16		15,91		16,58		19,39		17,83		21,94		17,92		15,55		—	
D.F. — *V.a.*		—		—		5/18		—		5/18		5/18		—		—		—	
F	10—20	—		—		33,08***		—		17,63***		13,76***		—		—		—	
HSD		—		—		15,61		—		16,18		18,38		—		—		—	
Average	0—10	23,8		27,9		28,8		23,9		25,0		21,8		26,4		28,5		—	
Keskim.	10—20	—		—		26,2		—		25,4		23,0		—		—		—	

Source of variance — *Var. lähde*	Depth, cm *Syvyys*	D.F. — *V.a.*	F	HSD
Interaction	0—10	35/144	0,55	—
Yhdysvaikutus	10—20	10/54	0,76	—
Date of measurement	0—10	7/179	2,68*	6,81
Mittausaika	10—20	2/64	2,03	5,10
Treatment	0—10	5/179	142,47***	5,55
Käsittely	10—20	5/64	62,41***	8,84

Table 14. Variation in moisture content (% of total volume) during the summer in variously treated soil.
Taulukko 14. Kosteuden (% tilavuudesta) vaihtelu kesän kuluessa eri tavoin muokatussa maassa.

Treatment *Käsittely*	Depth, cm *Syvyys*	Date of measurement — *Mittausaika*																Average *Keskim.*	
		06—11		06—25 ... 26		07—10 ... 11		07—18		07—30 ... 08—01		08—13 ... 14		08—27 ... 28		09—19 ... 20			
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Scalping	0—10	40,1	3,1	41,7	4,6	40,9	6,0	37,2	7,1	37,5	4,6	43,6	9,1	39,5	4,5	37,2	5,3	39,7	5,6
Laikutus	10—20	—	—	—	—	40,0	4,9	—	—	41,3	7,9	40,8	10,1	—	—	—	—	40,7	7,2
Shoulder ploughing	0—10	40,3	4,9	38,8	4,9	37,5	6,3	44,1	8,4	38,4	3,7	36,5	8,9	33,9	6,0	33,4	3,0	37,8	6,3
Piennarauraus	10—20	—	—	—	—	39,5	1,4	—	—	36,1	5,9	41,5	4,3	—	—	—	—	39,0	4,5
Tilt ploughing	0—10	24,8	1,8	16,8	4,6	16,0	3,1	23,2	3,2	21,6	4,6	25,7	5,1	20,5	4,7	20,5	3,8	21,1	4,8
Palleauraus	10—20	—	—	—	—	23,5	4,4	—	—	26,8	4,0	31,8	3,3	—	—	—	—	27,4	5,0
Chain rototilling	0—10	25,2	3,6	19,1	2,9	19,2	4,7	25,1	9,7	23,5	2,7	24,6	2,0	21,8	4,6	24,8	1,4	22,9	4,7
Ketjujyrsintä	10—20	—	—	—	—	22,2	3,4	—	—	30,1	4,3	33,5	5,8	—	—	—	—	28,6	6,5
Mounding	0—10	20,9	4,4	12,8	2,4	14,7	2,5	23,9	4,3	20,9	2,1	28,2	11,9	18,3	5,2	18,9	2,0	19,8	6,6
Mätästys	10—20	—	—	—	—	16,7	2,1	—	—	24,5	3,3	23,5	2,3	—	—	—	—	21,5	4,3
Uncut forest	0—10	41,6	8,7	38,2	3,0	36,2	2,1	42,4	2,2	40,8	9,4	49,7	9,8	42,6	2,6	29,0	7,5	40,1	8,1
Hakkaamaton	10—20	—	—	—	—	43,8	7,5	—	—	40,3	3,1	41,2	6,9	—	—	—	—	41,8	5,8
D.F. — *V.a.*	0—10	5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		5/18		—	
F		14,83***		45,42***		29,53***		8,88***		13,54***		5,96**		19,88***		11,01***		—	
HSD		11,04		8,65		9,90		14,61		11,41		19,02		10,61		9,79		—	
D.F. — *V.a.*	10—20	—		—		5/18		—		5/18		5/18		—		—		—	
F		—		—		26,92***		—		7,96***		5,69**		—		—		—	
HSD		—		—		9,90		—		11,31		13,55		—		—		—	
Average	0—10	32,2		27,9		27,4		32,7		30,5		34,7		29,4		27,3		—	
Keskim.	10—20	—		—		30,9		—		33,2		35,4		—		—		—	

Source of variance — *Var. lähde*	Depth, cm *Syvyys*	D.F. — *V.a.*	F	HSD
Interaction	0—10	35/144	1,35	—
Yhdysvaikutus	10—20	10/54	1,49	—
Date of measurement	0—10	7/179	5,60***	5,04
Mittausaika	10—20	2/64	4,01*	3,49
Treatment	0—10	5/179	97,68***	4,10
Käsittely	10—20	5/64	29,19***	6,54

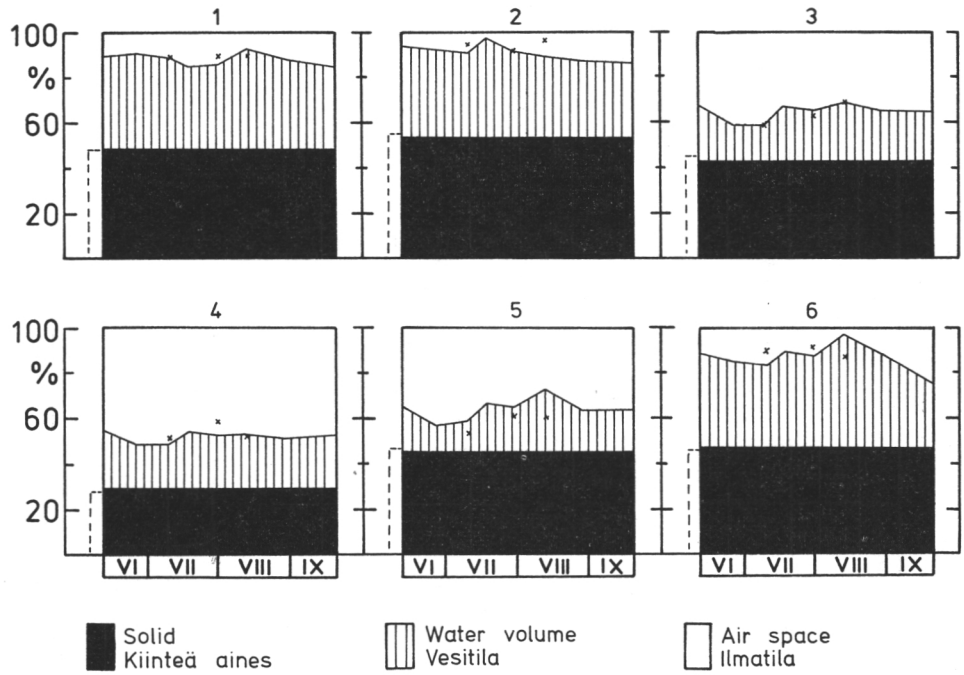


Fig. 4. Variation of air space and water volume during the summer of 1974 in the 0—10 cm and 10—20 cm layers of variously treated soil. Treatments 1—5 as in Figure 1, 6 = uncut forest; the broken lines at the edges of the subfigures indicate proportion of solid material, and the dots indicate border between water and air space in the 10—20 cm layer.

Kuva 4. Ilma- ja vesitilan vaihtelu kesän 1974 kuluessa 0—10 ja 10—20 cm syvyydessä eri tavoin muokatussa maassa. Muokkaustavat 1—5 kuten kuvassa 1, 6 = hakkaamaton ala, osakuvien sivussa katkoviiva tarkoittaa kiinteän aineksen osuutta ja pisteet kuvissa vesi- ja ilmatilan rajaa 10—20 cm kerroksessa.

38. Temperature

Degree days started to accumulate at the end of May in the tilt, mounds and chain-rototilled ridge at a depth of 5 cm. In the other microreliefs the accumulation started about a week later (Figure 5). The short heat wave at the end of June (cf. Figure 6) caused permanent differences between treatments. The number of degree days became largest in the ploughed tilt. Towards fall the differences increased, compared to chain rototilling and shoulder ploughing. The number of degree days was smallest in the patch and uncut area. The number of degree days for the air on the open area corresponded to that in the mound, and in the forest it corresponded to that of the scalped patch. At a depth of 20 cm the degree days started to accumulate some days later than at a depth of 5 cm (Figure 5). The accumulation started first in the tilt, chain-rototilled ridge and in the mound. Except for chain rototilling and shoulder ploughing, the ranking of the treatments at a depth of 20 cm was the same as at 5 cm. At 20 cm the shoulder was relatively colder and the chain-rototilled ridge relatively warmer than at 5 cm.

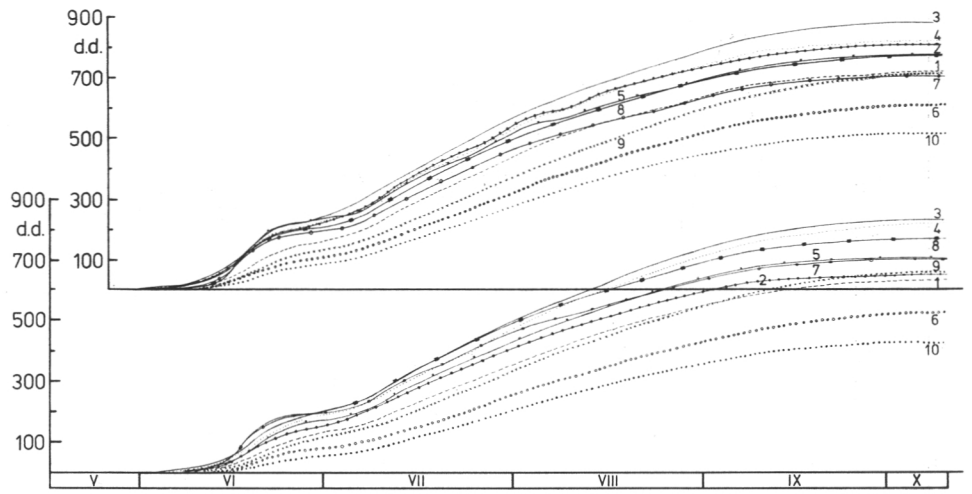


Fig. 5. Development of degree days (d.h./24) at depths of 5 cm (upper figure) and 20 cm (lower figure) in variously treated soil. Legend: 1 = scalping, 2 = shoulder ploughing, 3 = tilt ploughing, 4 = chain-rototilling, 5 = mounding, 6 = uncut forest, 7 = air at 2 m above ground in forest, 8 = air at 2 m above ground on open area, 9 = tilt ploughing, depth 40 cm.

Kuva 5. Vuorokautisen lämpösumman (d.h./24) kehitys 5 cm (ylempi) ja 20 cm (alempi kuva) syvyydessä eri tavoin muokatussa maassa. Selitys: 1 = laikutus, 2 = piennarauraus, 3 = palleauraus, 4 = ketjujyrsintä, 5 = mätästys, 6 = hakkaamaton ala, 7 = ilma (2 m kork.) metsässä, 8 = ilma (2 m kork.) aukealla ja 9 = palleauraus, syvyys 40 cm.

In untreated soil the difference in degree days was about 100 d.h./24 units at both depths compared when the reference level was the border between humus and mineral soil (a), on one hand, and the so-called active surface (b), on the other hand. The number of degree days at a depth of 40 cm in the tilt was about 25 % smaller and at a depth of 50 cm about 35 % smaller than at a depth of 5 cm. In the beginning of June the tilt, mound and chain-rototilled ridge were warmest both at depths of 5 cm and 20 cm (Figure 6).

Due to the peak temperature occurring in the end of June, the daily mean temperature increased considerably. The temperature was most extreme in the mound, where the mean temperature at a depth of 5 cm exceeded 25°C and even at 20 cm exceeded 20°C but decreased rapidly to 6°C at a depth of 5 cm and to 7°C at 20 cm when the weather became cooler. At a depth of 20 cm the temperature fluctuations were largest in the tilt. In the mound and the tilt the soil temperature most closely followed that of the air. In the shoulder the soil became warmer in the early summer but also cooled off faster than in the patch in the fall. In early summer the chain-rototilled ridge was about as warm as the ploughed shoulder, but at the end of the summer it, as well as the untreated soil in the forest, was warmer than the soil treated with the other methods.

Table 15 shows the numbers of degree days and their relative values when the degree days in the air of the open area is given a value of 100 d.d.

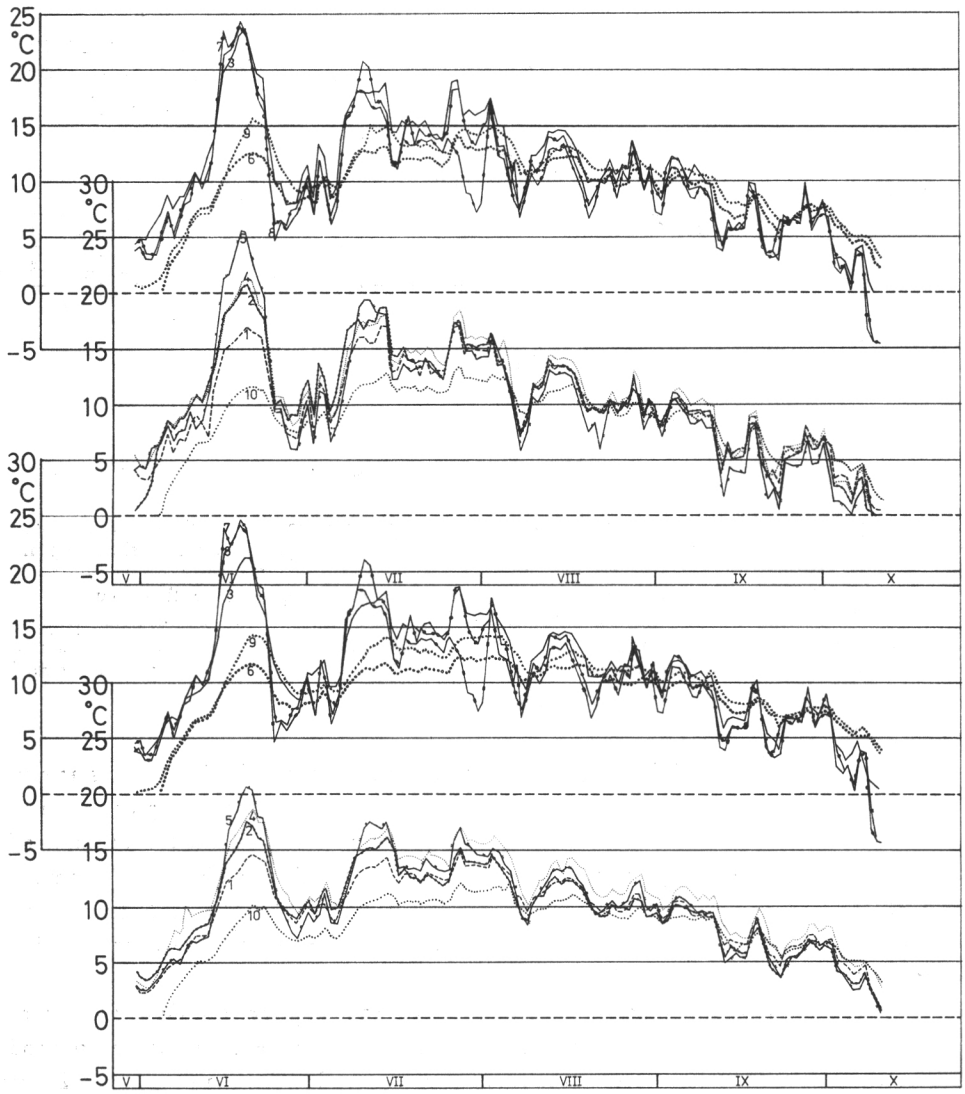


Fig. 6. Daily mean temperature at depths of 5 cm (2 upper figures) and 20 cm (2 lower figures) in variously treated soil. Legend: see Figure 5.

Kuva 6. Vuorokautinen keskilämpötila 5 cm (2 ylintä kuvaa) ja 20 cm (2 alinta kuvaa) syvyydessä eri tavoin muokatussa maassa. Selitys kuten kuvassa 5.

At a depth of 5 cm the number of soil degree days in the ploughed tracks, the chain-rototilled ridge and the mound was larger than the number of air degree days, and for the tilt and chain-rototilled ridge it was larger still at a depth of 20 cm. In the forest the number of air degree days was about 9 % smaller than that of the open area.

Table 15. Number of degree days (d.h./24) in the soil and air of the Poksaselkä and Vaalolehto experimental areas.

Taulukko 15. Maan ja ilman lämpösumma (d.h./24) Poksaselän ja Vaalolehdon koekentillä.

Treatment *Käsittely*	Experimental area — *Koekenttä*								
	Poksaselkä						Vaalolehto		
	Depth, cm *Syvyys*	d.h./24	%	Depth, cm *Syvyys*	d.h./24	%	Depth, cm *Syvyys*	d.h./24	%
Scalping — *Laikutus*	5	710	93	20	635	83	5	813	89
Shoulder ploughing — *Piennarauraus*	5	803	105	20	654	86	5	927	102
Tilt ploughing — *Palleauraus*	5	874	115	20	834	109	5	1 006	111
Chain rototilling — *Ketjujyrsintä*	5	814	107	20	821	108	5	997	110
Mounding — *Mätästys*	5	766	101	20	708	93	—	—	—
Untreated, clear cut — *Käsittelemätön, aukea*	—	—	—	—	—	—	5	671	74
Uncut forest — *Hakkaamaton* (a)	5	508	67	20	431	57	—	—	—
Uncut forest — *Hakkaamaton* (b)	5	603	79	50	529	69	—	—	—
Tilt ploughing — *Palleauraus*	40	703	92	20	655	86	—	—	—
Air, forest (height 2 m) — *Ilma, metsä (2 m kork.)*	—	695	91	20	695	91	—	—	—
Air, clear cut (height 2 m) — *Ilma, aukea (2 m kork.)*	—	762	100	20	762	100	—	910	100

Even if the reliability of the results cannot be tested statistically due to the small number of observations, we may conclude that the treatment differences are very similar to those in the nearby Vaalolehto experimental field (67°51′ N, 26°38′ E, elev. 232 m) (Lähde and Pohjola 1975). The elevational difference between the two areas is slightly more than 100 m, and in general the results differ by slightly more than 100 units (d.h./24). By assuming that the temperature gradient of the air (0,70 d.d./1 m) given by P. Järvi (Heikurainen 1973) may also be used for the soil and that a 100 d.d. change in North Finland corresponds to a 100-km transfer in North-South direction (cf. Heikurainen 1973), it may be concluded that the number of degree days at a depth of 5 cm in the tilt corresponds to the number of degree days at the same depth of untreated soil 300 km farther to the south or at a 200 m lower elevation. The effect of the other soil treatments is smaller than that of tilt ploughing.

The average annual number of degree days for the years 1908—1972 was 790 d.d. when calculated from the daily mean temperatures recorded at the climate station of the Sodankylä observatory (67°22′ N, 26°39′ E) (Leikola 1974). If the result is adjusted to correspond to the location and elevation and method of calculation of Poksaselkä, we get 620 d.d. When comparing it to the number of degree days for the summer of 1974 in Poksaselkä (about 760 d.d.), we find that during this summer an above-average number of degree days had accumulated.

4. DISCUSSION

The humus layer of the experimental area was slightly more than 6 cm thick on an average. According to Sirén (1955), the humus layer on a HMT-site cannot exceed 10 cm without the characteristics of swampiness beginning to show in the ground vegetation layer. Swamp mosses were found in limited spots on the experimental plots. No changes in the humus-layer thickness on the untreated soil were found among the differently treated plots.

The amount and quality of humus depend on the climate, vegetation, soil and topography (Hesselman 1926, Kohnke 1968). According to Aaltonen (1940), the primary cause for variation in humus quality is the mineralogical properties of the parent material. The quality of the litter, in addition to soil temperature, moisture and nutrients, has a great effect on its rate of decomposition (Mikola 1954, Viro 1963, Shalin 1966). When the humus decomposes, its nitrogen is mineralized. The microorganisms active in decomposing can then, due to the high carbon-nitrogen ratio, utilize all available nitrogen for their own growth, with the result that the plants may suffer from lack of nitrogen (Mikola 1958, Buckman and Brady 1960). In the cold conditions of North Finland the decomposition of the acid moss- and needle litter is slow (cf. Lähde 1974a).

The humus content was lowest in the B and A_2 horizons lifted to the top in the tilt and mound. According to Stratonovich (1966), their humus contents, however, increase continuously when the humus layer under them decomposes. A high humus content in the soil decreases the bulk density (Heinonen 1960, Erviö 1970). The regression of bulk density on the humus content was largest in those treatments where the soil had not been treated. The thicknesses of the A and B horizons reflect the degree of leaching, which is greatest in moist soils (Aaltonen 1940). On the experimental area the soil was fairly strongly leached.

In soil rich in fine particle-size fractions the capillary water ascent, soil density and water-retention capacity are high, but air and water permeability are low (Aaltonen 1940, Kohnke 1968). The large amount of fine particle-size fractions has been found to be related to the poor performance of seedlings on reforestation sites in North Finland (Lähde 1974b). The main reasons have been considered to be the low oxygen content of the soil (Norokorpi 1972, Lähde and Mutka 1974, Lähde and Pohjola 1975) and the effects of frost heaving (cf. Orlov and Sovershayev 1962).

The amount of particle-size fractions finer than very fine-sand ($\leq$0,06 mm) was rather large on the experimental area. According to Stratonovich (1966), all factors increasing the water permeability of the soil reduce frost heaving. Also, the treatment methods decisively affect frost heaving. Thus the severing of the water capillary connections by tilt ploughing and mounding reduces the intensity of the compact- and layer-soil frost but does not prevent soil frost in hollows and in thin surface layers. The latter especially is very damaging to seedlings generated by sowing. On level ground, frost heaving is reduced by the even temperatures since temperature fluctuations and the water flow with the temperature gradient from warm to colder promote frost heaving. Ground vegetation and settling of the tilt and mounds will, with time, reduce frost heaving (Orlov and Soversayev 1962).

The bulk density of the soil in the 0—10 cm layer of the ploughed shoulder was near 1,4 g/cm^3 and increased slightly in deeper soil. In the scalped patch and untreated soil the bulk density was also rather high. In the tilt, mound and chain-rototilled ridge the soil was porous due to the treatment. If the bulk density is high, the water is strongly bound to the surfaces of the soil particles. Thus the water available for the plants may be insufficient (e.g., Kuryndina and Pridorogin 1969). When the bulk density of a fine textured mineral soil was 1,8—2,0 g/cm^3, there was no longer available water for the plants even if the pore volume had been completely filled with it (Bezdenezhykh 1970). The dense soil may also form a mechanical barrier for root penetration (Faulkner and Malcolm 1972, Elonen 1974). In too loose a soil the roots do not get enough support. In the ploughed shoulder the bulk density was apparently too high. Since 2 years had already passed since treatment, the tilt, mound and chain-rototilled ridge had become somewhat settled.

The bulk density is also related to several other soil properties. It affects the heat capacity and the heat conductivity of the soil, together with the soil moisture and composition. The loose and dry top layer prevents heat conduction to deeper soil layers. Moist soil, again, is often too cold (Aaltonen 1940, Lyr and Hoffman 1967, Söderström 1976, Mutka and Lähde 1977). The soil water retention, water permeability and capillary water ascent depend partly on the bulk density of the soil. When the soil is loosened, as in tilt ploughing, mounding and chain rototilling, the amount of hygroscopic and capillary water is reduced, but gravitational water may increase (cf. Hillel 1971). Due to the large porosity and especially the increase in non-capillary porosity and improved ventilation, the soil may then dry out too much. The conditions are regarded as good for plants when the air space is 25—30 % of the total soil volume and when the moisture content is not a limiting factor (Buckman and Brady 1969).

The mound and ploughed tilt were clearly drier than the other microprofiles during the whole summer. In this study the height of the tilt was 25 cm and that of the mound, 35 cm. During dry weather periods there is a danger of desiccation

of these microprofiles, especially if they are thin and torn and have not had time to settle (Kauppila and Lähde 1975). The wilting moisture for coarse fine-sand and silt has been estimated to be 5—7 % and 10—12 % of the dry weight, respectively (Millar et al 1951, Kohnke 1968), which equals the soil water potential -1 500 joules per kilogram. In respect to the wilting moisture there is some variation between plant species and individuals (Millar et al 1951).

In the scalped patch, shoulder and uncut area there was too much water in the mineral soil. In the late summer the uncut area dried out considerably due to transpiration of the trees and ground vegetation (cf. Aaltonen 1940). In the chain-rototilled ridge the soil moisture was of the same order of magnitude as in the tilt and mound. Due to the low bulk density, however, the porosity and air space were larger.

Excess moisture, even if not water per se, is harmful to the seedlings in many respects. As stated previously, wet soil is often cold. Due to the small porosity, the large amount of water limiting the air space in the patch, ploughed tilt and untreated soil prevents gas exchange between the air and the soil pores. Thus, in the above mentioned microprofiles the air infiltration was found to be rather low. The minimum air space above which gas exchange still may occur is regarded to be about 10 % of the soil's total volume (Baver and Farnsworth 1940, Babikov 1969, Buckman and Brady 1969).

There has been much debate about what is the critical factor for tree growth in North Finland. According to Viro (1962), the local moisture conditions are the most important factors. The importance of temperature has been stressed by several research workers (e.g., Ladefoged 1939, Tamm 1940, Sirén 1955, Söderström 1975, 1976, Mutka and Lähde 1977). It was stated above that the temperature and moisture are related in that wet soil is usually cold due to evaporation, heat transfer with water and the large heat capacity of the soil. In wet soil temperature fluctuations are relatively small.

The literature gives varying data for minimum, optimum and maximum temperatures for various tree species. According to Ladefoged (1939), the minimum temperature for spruce root growth is +2 . . . +4°C, for pine somewhat higher. For spruce the optimum temperature is about +25°C (Söderström 1974). There are not many studies on the maximum temperatures for root growth. According to Söderström (1976), the optimum temperature for pine roots is +30°C. Soils where treatment had produced elevated microprofiles warmed up fastest in the spring. The daily mean temperature was highest in the tilt and mound. Similar results have been obtained by Bezdenezhnykh (1970), Leikola (1974) and Kauppila and Lähde (1975). In these microprofiles the temperature conditions were most extreme. Exposure of the mineral soil and even mere tearing of the humus layer increase the soil temperatures (Mørk 1933), which in the present study could be corroborated in the temperature of the shoulder and the scalped patch when compared to the corresponding values for the untreated soil. Due to the low

specific heat and heat conductivity, dry peat layer is an effective insulator (A a l t o n e n 1940). Thus the chain-rototilled ridge and untreated soil cool off more slowly in the fall than do soils treated with other methods.

The obtained results support previous observations on the temperature conditions in various soil treatment microprofiles (e.g., L e i k o l a 1974, K a u p p i l a and L ä h d e 1975, L ä h d e and P o h j o l a 1975, S ö d e r s t r ö m 1975, M u t k a and L ä h d e 1977). The number of degree days was largest in the tilt, mound and chain-rototilled ridge. The number of degree days at a depth of 5 cm in the shoulder (on the northeast side of the furrow) was still rather large, but was reduced rapidly in the deeper layers. In the scalped patch and untreated soil the number of degree days was smallest.

5. SUMMARY

The physical properties of the soil and how they are affected, with respect to growth conditions for tree seedlings, by soil treatments were studied in a thick-humus spruce stand in northern Finland. The data were collected in the summer of 1974 from an experimental area established in 1972 at Poksaselkä in the northern part of Sodankylä commune. The following soil treatments were studied: scalping, shoulder ploughing, tilt ploughing, chain-rototilling, mounding and, as a control, soil in an uncut forest. The following soil properties were measured: thickness of soil horizons, particle-size distribution, stoniness, density of soil, humus content, bulk density, infiltration of air and water into the soil, and fluctuations in moisture and temperature. The main results were:

1. The proportion of particle-size fractions smaller than 0,06 mm (the limit between fine sand and coarse silt) was about 40 % in a 0,5 m layer of the top soil. Due to the large proportion of fine fractions, the soil was considered prone to frost heaving.

2. The humus content of the soil was largest in the chain-rototilled ridge and smallest in the ploughed shoulder in the 0—10 cm layer. In the 10—20 cm layer the humus content was smaller compared to the 0—10 cm layer only in the scalped patch and shoulder.

3. The soil was most dense in the shoulder and most loose in the chain-rototilled ridge in the 0—10 cm layer. The bulk density increased not only in the shoulder, but also in the scalped patch and in the soil of the uncut forest from the surface layer to the 10—20 cm layer. In soil treated with the other methods the bulk density was smaller in the 10—20 cm layer compared to the top layer.

4. The porosity was somewhat less than 50 % in the shoulder and in the chain-rototilled ridge, slightly over 70 %. Other treatments were intermediate. The porosity in the 10—20 cm layer was smaller in the scalped patch and shoulder compared to the 0—10 cm layer.

5. The air and water infiltration into the soil were poorest in the ploughed shoulder, patch and uncut forest under its thick-humus layer. The bulk density and moisture- and humus content affected the soil air- and water infiltration the most.

6. The tilt and mound were clearly drier during the whole summer than the otherwise treated substrates. In the late summer the shoulder, but especially the soil of the uncut forest, started to dry while the patch and the chain-rototilled ridge remained the most moist.

7. Due to the low porosity and the high moisture content, the air space remained insufficient in the ploughed shoulder, the scalped patch and the soil in the uncut forest. In the shoulder the average air space during the summer was less than 10 %, and in the patch and uncut open area only slightly greater. This value is considered to be too small for aerobic microbial activity and effective root functioning.

8. The number of degree days at a depth of 5 cm in the tilt was about 35 % and at a depth of 20 cm about 40 % greater than in untreated soil. At a depth of 5 cm the other treatments had numbers of degree days in this decreasing order: chain-rototilling, shoulder ploughing, mounding and scalping. In the mound at a depth of 20 cm the number of degree days was greater than in the shoulder. The number of degree days in the tilt was similar to that of the surface layer of untreated soil about 300 km to the south or about 200 m lower in elevation. The number of degree days in the air was smaller in the forest than in the open strip.

9. During the warm weather of June the differences in soil temperature between treatments were largest. The temperatures were most extreme in the mound and ploughed tilt. In the late summer when the weather cooled off the chain-rototilled ridge and untreated soil cooled off most slowly due to the insulating effect of the humus.

6. REFERENCES

AALTONEN, V. T. 1935. Zur Stratigraphie des Podsolprofils. I. Seloste: Valaisua podsolimaan kerrallisuuteen. I. Commun. Inst. For. Fenn. 20 (6): 1—150.

—»— 1940. Metsämaa. 615 Porvoo. WSOY.

BABIKOV, B. V. 1969. Aeratsiya pochvy i yeyo znacheniye dlya rastenii. Tezisy vsesojusnogo soveshchania po voprosam pitania drevesnykh rastenii i povyzheniya produktivnost nasazhdenii. 206—207. Petrozavodsk.

BAVER, L. D. & FARNSWORTH, R. B. 1940. Soil structure effects in the growth of sugar beets. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 5: 45—48.

BEZDENEZHNYKH, E. M. 1970. Agrofizicheskiye svoistva pochvy v pluzhnyh plastakh i ikh znacheniye dlya posevov i posadok lesa. Lesnoi Zhurnal 5: 159—161.

BLAKE, G. R. 1965. Particle density. Agronomy 9 (1): 371—373.

BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C. 1960. The nature and properties of soils. A college text of edaphology. 653. 7. rev. ed. New York. The Macmillan Company.

CAJANDER, A. K. 1949. Forest types and their significance. Seloste: Metsätyypit ja niiden merkitys. Acta For. Fenn. 56: 1—69.

ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Seloste: Maan raekoostumuksen määrittäminen. Acta Agr. Fenn. 122: 1—122.

—»— 1974. Paripyörillä parempiin satoihin. Käytännön Maamies 4: 4.

ERVIÖ, R. 1970. The importance of soil bulk density in soil testing. Ann. Agr. Fenn. 9: 278—289.

FAULKNER, M. & MALCOLM, D. 1972. Soil physical factors affecting root morphology on Upland Heaths. Forestry 45(1): 23—36.

HEIKINHEIMO, O. 1920. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Ficten-wälder in Nord-Finnland. Acta For. Fenn. 15(1): 1—170.

HEIKURAINEN, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. Acta For. Fenn. 131: 1—35.

HEINONEN, R. 1957. Suomen maalajien ominaispainoista. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 29: 38—40.

—»— 1960. Das Volumgewicht als Kennzeichen der »normalen» Bodenstruktur. Seloste: Tilavuuspaino maan normaalin rakenteen tunnuksena. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 32: 81—87.

HESSELMAN, H. 1926. Studier över barrskogens humustäcke, dess egenskaper och beroende av skogsvården. Referat: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängigkeit vom Waldbau. Meddelelser från Statens Skogsförsökningsanstalt 22: 169—552.

HILLEL, D. 1971. Soil and Water. Physical Principles and Processes. 288. New York. Academic Press.

KAUPPILA, A. & LÄHDE, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. Folia For. 230: 1—29.

KOHNKE, H. 1968. Soil physics. India. Mc Craw-Hill. Inc.

KULMALA, A. 1970. Heat balance of the earth's surface at Jokioinen (60.8°N, 23.5°E), summer 1968. Ilmatieteen laitoksen toimituksia 74: 1—63.

KURYNDINA, T. J. & PRIDOROGIN, V. K. 1969. Effect of machine cultivation on soil compaction in orchards. Soviet Soil Science 12: 61—64.

LADEFOGED, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbrunch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. Forstl. Forsøksv. Danmark 16: 1—256.

LÄHDE, E. & 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.

LÄHDE, E. & MUTKA, K. 1974. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen kuusentaimien kehitys ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of root system and development of volunteer and planted Norway spruce transplants in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 83(3): 1—43.

LÄHDE, E. 1974a. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84(3): 1—23.

—»— 1974b. The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of pine (Pinus silvestris L.) seed. Seloste: Kylvösuojan ja kylmästratifioinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. Folia For. 196: 1—16.

—»— & POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8: 1—29.

LEHTINEN, E. 1967. Tienrakennuksen tiivistystarkkailumenetelmiä. Summary: Compaction control methods for highway construction. The State Institute for Technical Research Finland. Tiedotus. Sarja III — Rakennus. 111: 1—127.

LEIKOLA, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84(2): 1—64.

LYR, H. & HOFFMANN, G. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. International Review of Forestry Research 2: 181—236.

MÄKINEN, Y. 1974. Tilastotiedettä biologeille. Tilastotieteen ja tietojenkäsittelyn alkeet. Moniste. 306. Turku. Synapsi r.y.

MIKOLA, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. Commun. Inst. For. Fenn. 43(1): 1—50.

—»— 1958. Liberation of nitrogen from alder leaf litter. Seloste: Typen vapautuminen lepän lehtikarikkeista. Acta For. Fenn. 67(1): 3—10.

MILLAR, C. E., TURK, L. M. & FOTH, H. D. 1951. Fundamentals of soil science. 526. New York. John Wiley & Sons, Inc.

MØRK, E. 1933. Temperaturen som föryngelsefaktor i de nord-Trøndeske granskoger. Referat: Über die Bedeutung der Temperatur für die Verjüngung in den Fichten-wäldern von Nord Trøndelag. Medd. Norske Skogforsøksv. 5(16—19): 1—156.

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.

NOROKORPI, Y. 1972. Nuorten kuusentaimistojen nykyisestä tilasta ja kehityksestä Perä-Pohjolan valtion mailla. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 3: 16—22.

ORLOV, A. J. & SOVERSHAYEV, P. F. 1962. Sezonnye izmeneniya vlazhnosti pochvy i vliyaniye ikh na prizhivayemost lesnykh kultur na severe. Lesnoye Hozyaistvo 5: 37—39.

POHTILA, E. 1972a. Tulokset Perä-Pohjolan valtion mailla vuosina 1930—45 tehdyistä kuusiviljelyistä. Summary: Results of spruce cultivation from 1930—45 on state-owned lands in Perä-Pohjola. Folia For. 156: 1—12.

—»— 1972b. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa. Tulokset vuosina 1967—68 tehdyistä männyn kylvö- ja istutuskokeista. University of Helsinki. Department of Silviculture. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 6: 1—97.

—»— 1974. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa II. Aurauksen ja kulotuksen vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen vuosina 1968—70 perustetussa kokeessa. University of Helsinki. Department of Silviculture. Tiedonantoja 11: 1—65.

SARVAS, R. 1972. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Active period. Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta sykluksesta. Aktiivi periodi. Commun. Inst. For. Fenn. 76(3): 60—66.

SAURAMO, M. 1936. Maapeite ja sen syntyhistoria. Suomen Maantieteen käsikirja: 109—140. Helsinki. Otava.

SHALIN, I. 1966. Studies on the mikrofungi in the forest floor of subarctic pine forests. Acta For. Fenn. 81(7): 6—18.

SIRÉN, G. 1955. The development on spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Seloste: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta For. Fenn. 62(4): 1—408.

SLANKIS, V. 1949. Einfluss der Temperatur auf das Wachstum der isolierten Würzeln von Pinus silvestris. Physiol. Plant. 2: 131—137.

SÖDERSTRÖM, V. 1973. Några planteringsförsök med tall och gran på friska och fuktiga marker. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5: 457—491.

—»— 1975. Ekologiska verkningar av hyggesplogning. Summary: Ecological effects of ploughing mineral soil before planting conifers on clearfelled areas. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5: 443—472.

—»— 1976. Analys av markberednings effekterna vid plantering på några färska hyggen. Summary: Analysis of the effects of scarification before planting conifers on some newly clearfelled areas in Sweden. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 2—3: 59—333.

STRATONOVITCH, A. I. 1966. Lesnye kultury taezhnoi zony. 162. Moskva. Lesnaya promyshlennost.

Suomen kartasto, 1960. 123. Helsingin yliopiston maantieteen laitos. Helsinki. Suomen Maantieteellinen Seura.

TEIVAINEN, L. 1952. Pohjois-Suomen tuoreiden kangasmetsien kasvillisuudesta. Ann. Bot. Soc. Vanamo 25(2): 1—168.

VASAMA, P-M. & VARTIA, Y. 1972. Johdatus tilastotieteeseen. Osat I ja II. 725. Helsinki.

VIRO, P. J. 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. Commun. Inst. For. Fenn. 40(3): 1—23.

—»— 1963. Factorial experiments on forest humus decomposition. Soil Sci. 95(1): 24—30.

WILDE, S. A. 1958. Forest soils. Their properties and relation to silviculture. 537. New York. The Ronald Press Company.

—»—, VOIGT, G. K. & IYER, J. G. 1964. Soil and plant analysis for tree culture. 209. Jodhpur Oxford Publishing House.

7. SELOSTE

Tässä tutkimuksessa on selvitelty pohjoissuomalaisen paksusammalkuusikon maan fysikaalisia ominaisuuksia ja niiden muuttumista muokkauksen vaikutuksesta lähinnä puiden taimien kasvuedellytyksiä silmällä pitäen. Aineisto kerättiin kesällä 1974 Sodankylän pohjoisosaan Poksaselkään v. 1972 perustetulta koekentältä. Tutkitut muokkaustavat olivat laikutus, piennarauraus, palleauraus, ketjujyrsintä, mätästys sekä kontrollina hakkaamaton ala. Maan ominaisuuksista mitattiin maahorisonttien paksuus, lajitekoostumus ja kivisyys, ominaispaino, humuspitoisuus, tilavuuspaino, ilman- ja vedenläpäisevyyden sekä kosteuden ja lämpötilan vaihtelut kesän kuluessa.

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

1. Raekokoa 0.06 mm (karkean ja hienon hiedan raja) hienompien lajitteiden osuus oli puolen metrin syvyisessä pintakerroksessa n. 40 %. Hienojen lajitteiden runsauden vuoksi kivennäismaan voidaan katsoa olevan helposti routivaa.

2. Maan humuspitoisuus oli suurin ketjujyrsinnän jäljessä ja pienin aurauksen pientareessa 0—10 cm:n kerroksessa. 10—20 cm:n kerroksessa humuspitoisuus oli ylempään kerrokseen verrattuna pienempi vain laikussa ja pientareessa.

3. Maa oli tiiveintä pientareessa ja kuohkeinta ketjujyrsinnän jäljessä 0—10 cm:n kerroksessa. Pientareen lisäksi laikussa ja hakkaamattomalla alalla tilavuuspaino kasvoi pinnasta 10—20 cm:n syvyyteen siirryttäessä. Muulla tavoin muokatussa maassa tilavuuspaino oli 10—20 cm:n syvyydessä pienempi kuin maan pintakerroksessa.

4. Huokostilan osuus oli pientareessa vähän alle 50 %, ketjujyrsinnän jäljessä hiukan yli 70 %. Muut käsittelyt sijoittuivat niiden väliin. Huokostila oli 10—20 cm:n kerroksessa pienempi laikussa ja pientareessa ylempään 0—10 cm:n kerrokseen verrattuna.

5. Maan tuuletusominaisuudet ja vedenläpäisevyys olivat heikoimmat aurauksen pientareessa, laikussa ja hakkaamattomalla alalla kunttakerroksen alla. Eniten ilman- ja vedenläpäisevyyteen vaikutti maan tilavuuspaino, kosteus ja humuspitoisuus.

6. Palle ja mätäs olivat selvästi muita käsittelyjälkiä kuivempia koko kesän ajan. Loppukesästä piennar, mutta etenkin hakkaamaton ala alkoivat kuivua laikun ja ketjujyrsinjäljen pysyessä edelleen kosteimpina.

7. Pienestä huokostilasta ja maan suuresta kosteuspitoisuudesta johtuen ilmatila jäi riittämättömäksi aurauksen pientareessa, laikussa ja hakkaamattomalla alalla. Pientareessa ilmatilan keskiarvo oli kesän aikana alle 10 %, laikussa ja hakkaamattomalla alalla vain vähän sen yli. Mainittua arvoa pidetään aerobien mikrobien ja puiden juurten tehokkaan toiminnan kannalta liian pienenä.

8. Palteen lämpösumma oli 5 cm:n syvyydessä n. 35 % ja 20 cm:n syvyydessä n. 40 % suurempi kuin muokkaamattoman maan. Muut muokkausjäljet olivat lämpösummaltaan (syv. 5 cm) suuruusjärjestyksessä seuraavat: ketjujyrsintä, piennarauraus, mätästys ja laikutus. 20 cm:n syvyydessä mättäässä maan lämpösumma oli suurempi kuin pientareessa. Ilman lämpösumma oli metsässä pienempi kuin aukealla. Lämpösumma palteessa vastasi maan pintakerroksen lämpösummaa muokkaamattomassa maassa n. 300 km etelämpänä tai n. 200 m alempana.

9. Kesäkuun lämpimän sääjakson aikana eri käsittelyjen väliset erot maan lämpötilassa olivat selvimmät. Lämpöolot olivat äärevimmät mättäässä ja aurauksen palteessa. Loppukesästä ilman viilennettyä ketjujyrsinjälki ja koskematon maa jäähtyivät humuksen eristävän vaikutuksen vuoksi hitaimmin.

SUOMEN METSÄTYYPIT

VILJO KUJALA

Abstract

FOREST TYPES OF FINLAND

HELSINKI 1979

ODC 187 (480): 114.521.7
ISBN 951-40-0394-2
ISSN 0026-1610

KUJALA, V. 1979. Suomen metsätyypit. Abstract: Forest types of Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 92 (8):1—45.

Julkaisu perustuu professori Viljo Kujalan (1891—1977) käsikirjoitukseen vuodelta 1953. Se on tarkoitettu Suomen metsätyyppien määritysoppaaksi. Etelä-Suomen metsätyyppien rinnalle kuvataan rinnakkaistyypit Pohjois-Suomesta. Tyyppikuvaukset perustuvat pääasiassa eri tyypeille tunnusomaiseen metsäkasvillisuuteen. Metsätyyppien määrittämistä varten esitetään tärkeimmät metsäkasvilajit ja kuvataan niiden esiintymistä metsätyypeittäin (ss. 32—37).

The paper is based on a manuscript written by Professor Viljo Kujala (1891—1977) in 1953. It is an identification guide to the forest types found in Finland. Types parallel to those found in South Finland are presented for North Finland. Description of the types is mainly based on forest vegetation typical of the different types. The most important forest plant species used in the determination of the different forest types are listed, and their occurrence in different types presented (p. 32—37).

Helsinki 1979. Valtion painatuskeskus

Professori Viljo Kujala (1891—1977) kirjoitti käsikirjoituksen »Suomen metsätyypit» jo vuonna 1953. Se jäi kuitenkin silloin julkaisematta. Sain häneltä käsikirjoituksen haltuuni 2. 6. 1977 toimitettavaksi Metsäntutkimuslaitoksen käyttöön.

»Suomen metsätyypit» on tarkoitettu metsätyyppien määritysoppaaksi opetuksen ja käytännön tarpeisiin. Siitä ilmenee samalla professori Kujalan kokonaisnäkemys maamme metsätyypeistä ja niiden merkityksestä.

Tässä esityksessä on noudatettu alkuperäistä käsikirjoitusta vähäisin poikkeuksin. Pohjois-Suomen metsätyyppien kuvaus on siirretty esityksen lopusta Etelä-Suomen metsätyyppien kuvauksen jatkoksi, lukuunottamatta asetelmaa eräiden metsäkasvien esiintymisestä, joka on sijoitettu kohtaan »Valikkolajit», vastaavan Etelä-Suomen metsätyyppejä koskevan asetelman rinnalle. Tekstissä esiintyvät kasvien nimet on tarkistettu nykyisin käytössä oleviksi ja loppuun on laadittu luettelo muutoksista. Esitykseen on lisätty aineistosta puuttuneet piirrokset eräistä metsäkasveista. Loppuun on lisätty hakemisto oppaassa esiintyvistä kasvien nimistä.

Helsingissä, huhtikuussa 1979.

Lalli Laine

ALKUSANAT

Tohtori Martti Tertin paljon käytetyn metsätyyppien määritysoppaan »Mikä metsätyyppi?» tultua loppuun myydyksi olen saanut kehoituksen yrittää laatia siitä uuden painoksen. Ryhtyessäni tähän vastuulliseen tehtävään olen havainnut, että haluaisin esittää yhden ja toisen seikan jonkin verran toisin kuin mainitussa kirjasessa on tehty. En kuitenkaan ole arvellut voivani mennä toisen nimissä julkaisemaan käsityksiä, joita hän ehkä ei olisi hyväksynyt. Niin tästä on tullut kokonaan uusi esitys. Olen kuitenkin lainannut [1]) Tertiltä piirroksia, joista kuvalaatat ovat olleet valmiina; muutamia tarpeellisilta näyttäneitä kuvia olen piirtänyt [2]) lisäksi.

Metsätyypit olen pyrkinyt rajoittamaan lähinnä siten kuin Yrjö Ilvessalo on kasvu- ja tuottotaulututkimuksissaan tehnyt. Muu tuskin onkaan mahdollista. Muutokset tyyppien rajoituksessa vaatisivat uudet tuottotaulut, ennenkuin niitä voitaisiin lainkaan käytännössä ottaa vakavasti.

Alkujaan oli tarkoitukseni käsitellä vain Suomen eteläpuoliskon metsätyyppejä, niinkuin Tertin kirjasessa oli tehty. Käsitykset Pohjois-Suomen tyypeistä eivät ehkä vielä olekaan lopullisesti varsinkaan käytännön paineessa kiteytyneet. Sitäpaitsi voidaan odottaa, että käynnissä olevan valtakunnan metsien III linja-arvioinnin yhteydessä suoritettavat biologiset tutkimukset tulevat tarjoamaan sopivaa aineistoa Pohjois-Suomen metsätyyppien yhtenäiselle selvittelylle. En kuitenkaan ole halunnut kieltäytyä esittämästä tässä yhteydessä lyhyttä katsausta myöskin Pohjois-Suomen tyyppeihin saatuani siihen kehoituksia — silläkin uhalla, että yhtä ja toista käsityksissä olisi tulevaisuudessa korjattava.[3]) Jo tilan säästäminen on pakottanut käsittelemään joitakuita tyyppejä kollektiivisesti. Olen siinä koettanut menetellä käytännön tarpeiden mukaisesti.

Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa huhtikuussa 1953.

V. K.

[1]) Piirroksia ei ole lainattu tähän laitokseen.
[2]) Lisäpiirroksia ei kuulunut käsikirjoitusaineistoon.
[3]) Pohjois-Suomen osalta eroja A. Kalelan esittämiin metsätyyppeihin (Kalela, A. 1961, Arch. Soc. 'Vanamo' 16 Suppl.; Kalliola, R. 1973, Suomen kasvimaantiede. Porvoo—Helsinki).

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 7
11. Mihin metsätyyppejä tarvitaan 7
12. Metsäkasvilajit 7

2. METSÄTYYPPIEN MUODOSTUMINEN 11

3. SUOMEN ETELÄPUOLISKON METSÄTYYPIT 14
31. Kuivat kankaat 14
311. Jäkälätyyppi, ClT 14
312. Kanervatyyppi, CT 14
313. Puolukkatyyppi, VT 15
32. Tuoreet kankaat 15
321. Mustikkatyyppi, MT 15
322. Käenkaali-mustikkatyyppi, OMT 16
33. Lehdot 16
331. Käenkaalityyppi, OT 16
332. Saniaistyyppi, FT 17
34. Hakkuu- ja paloalojen kasvillisuus 18
35. Laidunnettujen metsämaiden kasvillisuus 20

4. POHJOIS-SUOMEN METSÄTYYPIT 21
41. Vyöhykkeet ja niiden rajat 21
42. Eteläiset ja pohjoiset kasvilajit 22
43. Kainuun vyöhyke 23
431 Kuivat kankaat 23
Kanerva-mustikka-jäkälätyyppi, CMClT 23
Variksenmarja-puolukkatyyppi, EVT 23
432. Tuoreet kankaat 24
Pohjoinen mustikkatyyppi, p.MT 24
Metsäimarre-mustikkatyyppi, DMT 24
433. Lehdot 24
44. Etelä-Lapin eli Peräpohjolan vyöhyke 25
441. Kuivat kankaat 25
Varpu-jäkälätyyppi, ErClT 25
Variksenmarja-mustikkatyyppi, EMT 25
442. Tuoreet kankaat 25
Seinäsammal-mustikkatyyppi eli paksusammaltyyppi, HMT 25
Ruohokanukka-metsäimarre-mustikkatyyppi, CoDMT 26
443. Lehdot 26

45. Pohjois-Lapin havumetsävyöhyke 26
451. Kuivat kankaat 26
Varpu-jäkälätyyppi, ErCloT 26
Varpu-seinäsammaltyyppi, ErHT 26
452. Tuoreet kankaat 27
Suopursu-seinäsammaltyyppi, LeHT 27
46. Lapin koivumetsävyöhyke 27
47. Metsäpalojen ja hakkuiden vaikutukset Pohjois-Suomessa 28
48. Laiduntamisen vaikutukset Pohjois-Suomen metsien kasvillisuuteen 28

5. METSÄTYYPPIEN MÄÄRITTÄMINEN 29
51. Lajien runsauden arvioiminen 29
52. Metsäkasvillisuuden laikkuisuus 30
53. Tyyppikuvioiden rajoittaminen 30
54. Valikkolajit 31
55. Puusto ja puiden kasvu metsätyypin tunnuksena 38
56. Ylitiheät metsiköt 39
57. Kivisyys 39

LAJIHAKEMISTO 41

Luettelo käsikirjoituksessa esiintyvistä vanhentuneista nimistä 45

1. JOHDANTO

11. Mihin metsätyyppejä tarvitaan

Jokaisen metsänomistajan on tunnettava metsiensä kokoonpano ja metsämaittensa laatu. Metsien kokoonpanosta voidaan saada selko tarkastuksilla ja puiden mittauksilla. Kasvupaikkojen laadun selville saaminen on paljon hankalampi asia. Tosin kokenut metsämies selviytyy siitäkin melko hyvin tarkkaamalla ja tutkimalla maata — maalajia, maan kosteutta ym. sen havaittavissa olevia ominaisuuksia, mutta myös välillisesti mittaamalla puiden kokoa ja kasvua, vieläpä tarkkaamalla maan kasvipeitettä, joka lajikokoonpanollaan ja eri lajien runsaudella ja viihtyvyydellä ilmaisee, minkä laatuinen kasvupaikka on. Tämä viimeksimainittukin keino on ollut käytännössä jo ammoisista ajoista esim. viljelysmaita ja asuinpaikkoja valittaessa.

Kysymystä maan kasvipeitteen eli *kasvillisuuden* kyvystä ilmaista maan ominaisuuksia, mm. sen puuntuottokykyä, on Suomessa paljon tieteellisestikin tutkittu, ja tämä keino on todettu luotettavaksi sekä käytäntöön hyvin soveltuvaksi. Kasvupaikkojen laatu- ja hyvyysluokittelun eli bonitoimisen perustana käytetäänkin maassamme nykyisin yleisesti metsäkasvillisuustyyppejä eli lyhyesti sanoen *metsätyyppejä*. Tämän esityksen tarkoituksena on tarjota opastusta Suomen tavallisten metsätyyppien tuntemiseen.

12. Metsäkasvilajit

Metsätyypit ovat kasvillisuusmuodostumia. Tyyppiä kuvattaessa on otettava huomioon, mitkä kasvilajit sen kasvustoissa esiintyvät, mutta myöskin se, kuinka yleisinä ne niissä esiintyvät, miten suuri kunkin peittävyys on, miten kookkaita ja hyvin viihtyviä ne ovat, ym. kasvipeitteen laatua ilmentävät seikat. Perustana näissä arvioinneissa ovat kuitenkin aina *kasvilajit*. Kasvilajien tunteminen on siksi perusedellytys metsätyyppien oikein tuntemiseen ja määrittämiseen.

Vaikka siis metsäkasvillisuustyyppejä käytetään kasvupaikkojen laadun ja hyvyyden osoittajina, ei metsätyyppi ja kasvupaikka ole suinkaan sama asia ja sama käsite — enempää kuin esim. vilja ja peltomaa sitä ovat.

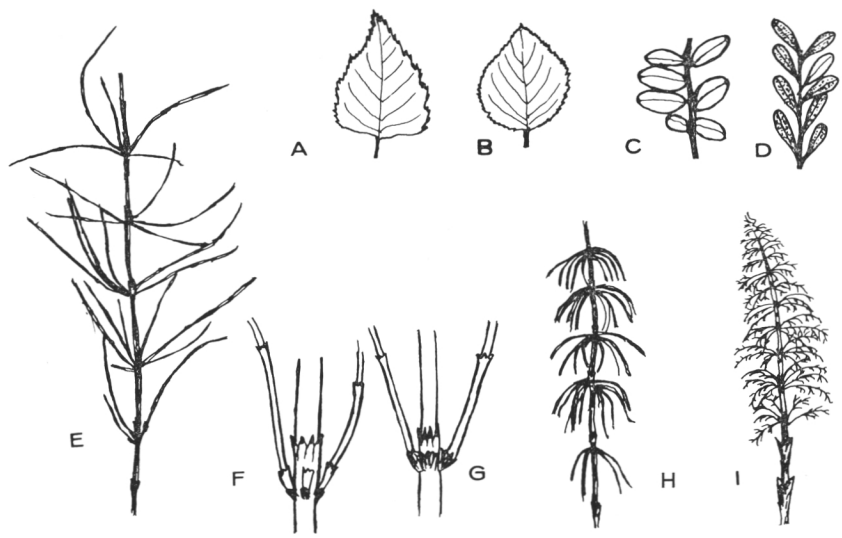
Kasvilajien tuntomerkit ja määrityskaavat on esitetty kasvioissa (esim. I. H i i t o n e n, Suomen kasvio (1933); Arvi U l v i n e n, Luonnonkasvien parissa (1949);

I. Paasio, Suomiehen sammalkirja (1935); Hans Buch, Suomen maksasammalet (1931); Veli Räsänen, Suomen jäkäläkasvio (1951).) Tila ei sallikaan tässä laajemmin metsäkasvien tuntomerkkejä esitellä.

[Käsikirjoituksessa käytetään yllämainittujen teosten mukaista nimistöä, joka on osaksi vanhentunut. Tähän esitykseen on suomenkieliset ja tieteelliset nimet tarkistettu seuraavien teosten ja lähteiden mukaisiksi: Hämet-Ahti, L., Jalas, J. & Ulvinen, T. 1977, Suomen alkuperäiset ja vakiintuneet putkilokasvit. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 44.; Koponen, T., Isoviita, P. & Lammes, T. 1977, The bryophytes of Finland. An annotated checklist. Soc. F. Fl. Fenn., Flora Fennica 6.; Koponen T. 1979, (Ehdotus suomenkielisiksi nimiksi sammalille. Moniste.); Hakulinen, R. 1963, Jäkäläkasvio. Porvoo—Helsinki. — Esityksen lopussa on luettelo niistä käsikirjoituksessa esiintyneistä nimistä, jotka ovat vanhentuneet. LL.]

Erikoisvaikeutena metsätyypin määrittäjälle on se, että kasvit esiintyvät metsässä usein kukattomina, joten on pakko oppia tuntemaan ne myös lehdistään. Sen helpottamiseksi liitämme tähän muutamien metsäkasvilajien lehtien kuvia [1]) sekä niihin reunahuomautuksia.

[1]) Piirrokset: L. Laine.



A. Rauduskoivu. B. Hieskoivu. C. Puolukka. D. Sianpuolukka. E ja F. Suokorte. G. Peltokorte. H. Lehtokorte. I. Metsäkorte.

Rauduskoivu (*Betula pendula*) — lehti leveimmillään lähellä tyveä, pitkäkärkinen; taimien ja vesojen vuosikasvaimet pihkanystyistä karheat, karvattomat; rungon tyvessä kaarnahalkeamia.

Hieskoivu (*B. pubescens*) — lehti leveimmillään lavan keskikohdalla; taimien ja vesojen kasvaimet karvaiset; ei kaarnaa rungon tyvessä.

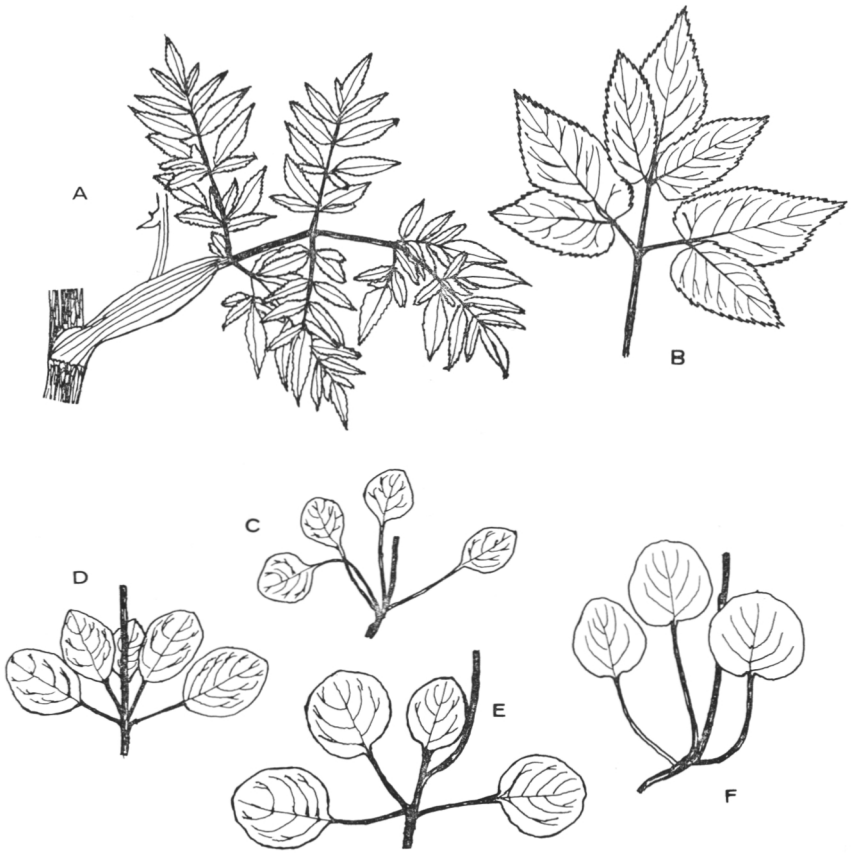
Sianpuolukka (*Arctostaphylos uva-ursi*) — lehti eroaa puolukan lehdestä suipon tyvensä, alapinnan vihreämmän värin ja nystypilkuttomuuden kautta; rönsyt maan pinnalla eivätkä maan sisässä kuten puolukalla.

Lehtokorte (*Equisetum pratense*) — varsi hyvin hienouurteinen, karhea, sivuhaarat haarattomat, tuppien hampaat lukuisat (12—18), kapealti kalvoreunaiset.

Metsäkorte (*E. sylvaticum*) — varsi karhea, sen sivuhaarat runsaasti haarautuvia; tuppien hampaita 3—5, leveitä, kalvomaisia, vaaleanruskeita.

Peltokorte (*E. arvense*) — varsi sileä, sivuhaarat haarattomia, nelikulmaisia, tupet lyhyet, hampaat kovat, suipot, tummat; sivuhaarojen ensimmäinen jatke on päävarren tuppea paljon pitempi.

Suokorte (*E. palustre*) — tähkättömänä edellisen näköinen, mutta tupet pitempiä, sivuhaaran ensimmäinen jatke varren tuppea paljon lyhyempi.



A. Karhunputki. B. Vuohenputki. C. Keltatalvikki. D. Pikkutalvikki. E. Kellotalvikki. F. Isotalvikki

Karhunputki (*Angelica sylvestris*) — rönsytön; lehdet 3—5 kertaan parilehtisesti liuskoittuneet.

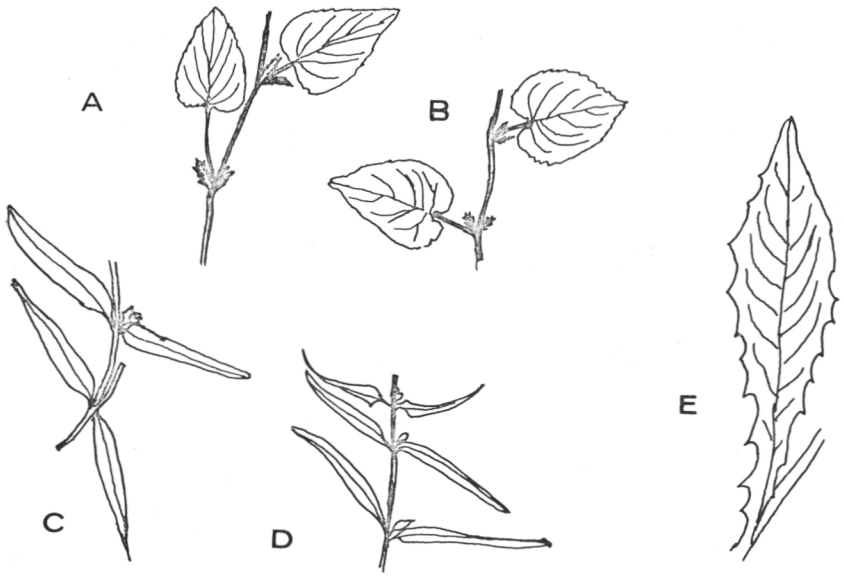
Vuohenputki (*Aegopodium podagraria*) — maansisäisiä rönsyjä muodostava, siksi laikuittain esiintyvä; lehdet 1—2 kertaan kolmisormisesti liuskoittuneet.

Isotalvikki (*Pyrola rotundifolia*) — lehdet usein herttamaiset, päältä kiiltävät, reuna alta kaartuva, ruodin poikkileikkaus jokseenkin pyöreä.

Kellotalvikki (*P. media*) — lehdet isot, pyöreäkärkiset, vähän kiiltävät, reuna litteä, ruoti leveä, teräväreunainen.

Pikkutalvikki (*P. minor*) — lehdet pyöreäkärkiset, lapa usein pitkänomainen, epätasainen; ruoti ohuenlainen, liereähkö.

Keltatalvikki (*P. chlorantha*) — lehdet pienet, ruoti ruskeanpunainen.



A. Aho-orvokki. B. Metsäorvokki. C. Metsämaitikka. D. Kangasmaitikka. E. Suokeltto.

Aho-orvokki (*Viola canina* subsp. *montana*) — lehdet kapeanherttamaiset, korvakkeet leveähampaiset.

Metsäorvokki (*V. riviniana*) — lehdet leveänherttamaiset, korvakkeet hyvin kapeahampaiset.

Metsämaitikka (*Melampyrum sylvaticum*) — lehdet leveähköt, suippotyviset; verhiön liuskat leveät, kukat pienet.

Kangasmaitikka (*M. pratense*) — lehdet jonkinverran kapeammat ja tylpempityviset kuin edellisellä; verhiön liuskat kapeita, kukat pitkiä.

Suokeltto (*Crepis paludosa*) — korkea, kalju, keltakukkainen märän maan yrtti, muistuttaa keltanoita; varressa 5—6 isoa, pitkälti tyveen päin kapenevaa, isoilla nirhahampailla varustettua lehteä.

Metsäkastikka (*Calamagrostis arundinacea*) — mätästävä, ei lainkaan juurakoita muodostava; lehdet puhtaan vihreät.

Hietakastikka (*C. epigejos*) — maansisäisiä rönsyjä muodostava, ei mätästävä; lehdet harmahtavan vihreät.

2. METSÄTYYPPIEN MUODOSTUMINEN

Suomen metsissä esiintyy muutamia satoja kukkakasvilajeja, lisäksi saniaisia, suuri joukko sammal- ja jäkälälajeja, leviä sekä sieniä. Syynä siihen, että ne eivät esiinny muodottomana seoksena, vaan erilaisiksi kasviyhdyskunniksi ryhmittyneinä, ovat mm. seuraavat seikat.

Kasvupaikat vaihtelevat, ja kun samalla *kasvien vaatimukset ovat erilaiset*, on jo siitä seurauksena niiden ryhmittyminen erilaisiksi kasvustoiksi, joihin kuhunkin kuuluu enemmän tai vähemmän samanlaisilla kasvupaikkavaatimuksilla varustettuja kasveja. Kasvien ryhmittymiseen yhdyskunniksi on kuitenkin muitakin syitä.

Kasvilajin vaatimukset ovat käytännössä usein vähimmäisvaatimuksia, toisin sanoen laji tuskin voisi tulla toimeen huonommilla, mutta kernaasti paremmilla kasvupaikoilla kuin ne ovat, millä se luonnossa esiintyy. Syynä siihen, että se ei ole paremmille paikoille sijoittunut, on *kilpailu kasvupaikoista toisten lajien kanssa*. Ne ovat sen leviämisen estäneet taikka karkoittaneet sen paremmilta paikoilta, kun se on sattunut niille pääsemään. Ymmärtääksemme eräitä metsätyyppiopin kannalta tärkeitä ilmiöitä, meidän on hiukan selvitettävä, miten kilpailu todellisuudessa tapahtuu. Siitä saadaan hyvä käsitys, kun tarkastellaan kasvillisuuden kehittymistä esim. paljaaksi palaneelle metsämaalle.

Tällaiselle kasvittomaksi menneelle maalle kylväytyy aluksi erilaisten kasvien siemeniä — vähäisistä yksivuotisista ruohoista monivuotisiin kookkaihin puihin. Ne kaikki alkavat kehittyä rinnan, mutta lyhytikäisimmät pikku kasvit ehtivät ensiksi valmiiksi tuottamaan uutta siementä. Ne lisääntyvätkin väliin jopa niin suuressa määrässä, että voi näyttää siltä, että ne pääsevät kasvupaikan valtiaiksi. Sitä rehentelyä kestää kuitenkin vain vähän aikaa. Kun monivuotiset kasvit, joiden ei ole tarvis uudistua joka vuosi hennoista siementaimista ja joista monet leviävät myöskin kasvullisesti voimakkaita vesoja, juurakoita jne. muodostamalla, lisääntyvät, kasvipeite sulkeutuu pysyvästi, eikä lyhytikäisille lajeille jää enää tilaa. Koko kasvipeite saa silloin uuden luonteen ja kokoonpanon. Valtakasveiksi tulevat monivuotiset, runsaasti aurinkoa vaativat heinät ja ruohot, väliin myöskin jokin sen laatuinen varpukasvi, esim. kanerva. Tällainen kehitysvaihe esiintyy säännöllisesti palo- ja hakkuualoilla.

Ruohokasvien seassa on tavallisesti jo alunperin ollut myöskin puiden taimistoa. Se jatkaa sitkeästi kehitystään ja alkaa ennen pitkää varjostaa ruohostoa, minkä

johdosta runsaasti aurinkoa vaativat lajit lakkaavat kukkimasta ja häviävät ennen pitkää vähäisiksi rippeiksi tai kokonaan. Niiden tilalle leviää metsän varjossa toimeentulevia, jopa sitä vaativia metsäkasvilajeja, esim. hentolehtistä metsätähteä, oravanmarjaa, mustikanvarvukkoa ja seinäsammalikkoa.

Metsässä on näin puustolla voimakas vaikutus aluskasvillisuuteen sen määrätessä varsinkin kasvien valon ja kosteuden saantia, toisaalta estäessä tuulen vaikutusta ja pitäessä ilmaa kosteana haihduttamalla vesihöyryä lehdistään. Sen karikkeilla on lisäksi huomattava fysikaalinen vaikutus maahan ja kasveihin, ja niistä on peräisin suuri osa aluskasvien käyttämistä kysytyimmistä ravintoaineista. Eri puulajien vaikutus on näissä suhteissa kuitenkin erilainen, joten on odotettavissa, että aluskasvillisuus muodostuu eri puulajien metsiköissä erilaiseksi.

Kasvillisuuden kehitys ei aina pysähdy siihenkään, että puukasvillisuus on vallannut paikan ja isäntävallan. Taistelu saattaa jatkua edelleen eri puulajien kesken. On varsin tavallista, että aurinkoisille paikoille metsämaillemme leviää ensin nopeakasvuista mäntyä, koivua tai muuta valopuuta, mutta myöhemmin alussa hidaskasvuisempi mutta enemmän varjostusta kestävä kuusi tunkeutuu näihin metsikköihin. Edellyttäen, että kasvupaikka on sille riittävän tuore ja ravintorikas, sen taimet kehittyvät hyvin valopuumetsiköissä ja valtaavat ne lopulta kokonaan. Metsikön kuusettumisen yhteydessä ja sen seurauksena tapahtuu myöskin pintakasvillisuudessa yhä huomattavia muutoksia — yleensä se köyhtyy, mutta esim. sammalmatto kehittyy hyvin vain havupuumetsiköissä, koska lehtipuiden karikkeet helposti tukahduttavat sen hautaamalla sammalet vuosittain alleen. Lopullinen pysyvänlaatuinen kasvillisuus muodostuu paikalle kuitenkin vasta sitten, kun myöskin puiden välinen kilpailu on loppuun asti mennyt. Jos metsäpalo toistuu, yllä kuvattu kehityskulku alkaa taas alusta, mutta lopputulos on kuitenkin samalla paikalla sama, entisen laatuinen vanhan metsän kasvillisuus, ja kyllä kehityksen välivaiheetkin ovat samanlaatuiset kuin edellisellä kerralla.

Puulaji ei kuitenkaan yksin määrää metsikön kasvillisuutta. Joka vähänkin on tarkastellut esim. vanhoja kuusimetsiä tietää, että niidenkin kasvillisuus vaihtelee paikasta paikkaan. Vaihtelun pääsyynä silloin ilmeisesti ovat eroavaisuudet kasvupaikkojen laadussa. Niin silmäänpistäviä ja huomattavia kuin kasvien välisestä kilpailusta ja tahattomasta toisten suosimisesta aiheutuvat erikoispiirteet ovatkin, ne eivät siis kuitenkaan saa hävitetyksi alkuperäisen kasvualustan ja paikan ilmaston vaikutuksia kasvipeitteen kokoonpanoon, päinvastoin nämäkin lyövät erikoisleimansa niin hyvin kasvillisuuden muuttumisasteisiin kuin myöskin lopulliseen vanhan metsän kasvillisuuteen.

Edellä esitetystä käy ilmi, että luonnossa saattaa samalla kasvupaikalla esiintyä varsin erilaista kasvillisuutta. Voidaan todeta ikäänkuin eri kasviyhdyskuntasarjat eri kasvupaikoilla: vanhan metsän kasvillisuus ja sitä edeltävät muuttumisasteet. Kasvupaikkanäkökulmasta katsoen kaikki saman paikan kasvillisuusmuodot kuuluvat tavallaan yhteen. Kuitenkin näyttäisi siltä, että paikan pysyvänlaatuinen, lopullinen kasvillisuus, jossa satunnaisten katastrofien kuten metsäpalon, myrskytuhon, pal-

jaaksihakkuun jne. sivuvaikutukset eivät enää mainittavasti tunnu, on arvosteltava paikan pääkasviyhdyskunnaksi, muiden ollessa ikäänkuin sen muuttumis- tai kehitysasteita. Näin on metsätyyppiopissa tultu siihen, että metsätyyppien pohjaksi on otettava vanhojen metsien pysyvänlaatuiset kasviyhdyskunnat, ja kaikki hetkellisten tekijäin aiheuttamat ohimenevät kasviyhdyskunnat on liitettävä niihin muuttumismuotoina. Metsätyyppikäsite laajenee näin siten, että *samaan tyyppiin kuuluu useita erilaisia kasviyhdyskuntia*, mutta niin myöskin toteutuu se, että *metsätyyppi ja kasvupaikka vastaavat toisiaan muuttumattomasti.*

A. K. Cajander, metsätyyppiteorian luoja, on määritellyt metsätyypin seuraavasti:

Samaan metsätyyppiin luetaan kaikki ne metsiköt, joiden kasvillisuudella metsikön ollessa lähimain hakkuuikäistä ja normaalisti sulkeutunutta, on olennaisesti sama lajikokoonpano ja sama ekologis-biologinen luonne [1]), samoin kaikki ne, joiden kasvillisuus eroaa näin määritellystä vain ohimenevästi tai satunnaisesti sellaisten seikkojen kuin metsikön erilaisen iän, suoritettujen hakkuiden, puulajin muutoksen jne. johdosta, mutta joita eroavaisuuksia ei missään tapauksessa voida pitää pysyvinä. Pysyvät eroavaisuudet aiheuttavat uuden metsätyypin, jos ne ovat kyllin suuria, tai alatyypin, jos ne ovat vähäisempiä, mutta kuitenkin merkityksellisiä.

[1]) Ekologis-biologisella luont eella tarkoitetaan tässä varsinkin kasvillisuuden kosteus-, ravinto-, lämpö- yms. vaatimuksia.

3. SUOMEN ETELÄPUOLISKON METSÄTYYPIT

Seuraavassa esitetään kuvaukset Suomen eteläpuoliskon päämetsätyypeistä. Kuvaukset perustuvat pääasiassa vanhojen metsiköiden kasvipeitteeseen. Hakkuiden, metsäpalojen ja laiduntamisen vaikutuksista tehdään selkoa eri luvuissa jäljempänä. Esitys on supistettu vain kasvillisuuden yleispiirteitä koskevaksi. Sitä täydentää jossakin määrin asetelma (s. 32—34), joka esittää eräiden tyyppien erottelun kannalta huomattavien lajien suhtautumista eri metsätyyppeihin Etelä- ja Keski-Suomessa.

31. Kuivat kankaat

311. Jäkälätyyppi, ClT [1])

Puusto huonokasvuista mäntyä, alla jokseenkin yhtämittainen valkea poronjäkäläpeite. Muu kasvillisuus sangen niukkaa ja kituliasta — etupäässä puolukan ja kanervan varvukkoa, väliin myös sianpuolukkaa. Ruohostona harvoin hiukan lampaannataa tai kissankäpälää. Jäkälistössä poronjäkäläin ohessa runsaasti torvijäkäliä. Seinä- ja kynsisammalia esiintyy tavallisesti vähän.

Kasvupaikkana kuiva, laiha hiekkamaa, vähemmän tyypillisissä tapauksissa kalliomaa. — ClT on Etelä- ja Keski-Suomessa melko harvinainen.

312. Kanervatyyppi, CT

Puusto heikkokasvuista mäntyä, alla matalahkoa kanervanvarvukkoa, jonka seassa pientä puolukkaa, myös matalaa, hentoa mustikkaa voi esiintyä laikuittain (kasvullisen lisääntymisen johdosta). Heinää ja ruohoa on tässäkin tyypissä vain nimeksi — kangasmaitikka on yleisin ja runsain laji. Jäkälä muodostaa huomattavan osan pintapeitteestä, mutta sammaltakin esiintyy melko runsaasti, päälajeina seinäsammal ja kangaskynsisammal.

Erotukseksi ClT:stä on varvuston, ruohoston ja seinäsammalen lisäys huomattava.

Kanervatyypin kasvupaikka on tavallisesti hiekka-, hietainen moreenisora- tai harjusoramaa, vähemmän tyypillisissä tapauksissa myöskin kalliomaa. — CT on yleinen Etelä- ja Keski-Suomessa.

[1]) *Cladina*-tyyppi. Metsätyyppien nimilyhenteet: ks. s. 32 ja 35.

Huomautus: Kun *kanerva* voi levitä parempienkin maiden palo- ja hakkuualoille, jopa esiintyä niillä runsaampana ja parempikasvuisena kuin kanervatyypissä, kanerva ei yksinään riitä kanervatyypin tuntomerkiksi, vaan huomioon on välttämättä otettava koko kasvipeite niinkuin yllä on esitetty. Helposti leviävä ja helposti häviävä kanerva on tosin tavallista pysyvämpi juuri CT:ssä säilyen sen kasvustoissa hyvin kauan palojen jälkeen, mutta saattaa kuitenkin siinäkin väliin mennä niukaksi. Paremmista tyypeistä se häviää nopeammin, usein aivan äkkiä metsikön sulkeutuessa, mutta myöskin puolukkatyypissä se voi väliin säilyä aika sitkeästi, varsinkin jos metsikkö on harva ja aurinkoinen.

313. Puolukkatyyppi, VT

Puusto on melko hyväkasvuista mäntyä, palon jäljiltä voi siinä olla myös koivua, harvemmin kuitenkaan puhtaana metsikkönä. Huonokasvuista kuusta on melkein aina seassa ja joskus se on päässyt tunkeutumaan pääpuulajiksi. Aluskasvillisuutena on kohtalaisen hyväkasvuista hedelmöivää puolukan varvukkoa, jonka seassa jokseenkin aina myöskin lyhyttä steriiliä mustikanvarpua. Kanervaa voi väliin palon jäljiltä olla hyvin runsaasti, ja se saattaa säilyä kauan. Heiniä esiintyy hiukan (metsälauha, metsäkastikka ja hietakastikka), yrttimäisistä lajeista ovat kangasmaitikka, metsätähti ja sarjakeltano yleisimmät. Sammaliston päälajeina ovat seinäsammal ja kangaskynsisammal; se peittää suurimman osan maanpinnasta. Jäkälää on melkein vain puiden juurilla ja muilla kohonemilla.

Erotukseksi kanervatyypistä on huomattava puolukan ja seinäsammalen runsaus ja valta-asema, toisaalta poronjäkäläin vähyys, samoin joidenkin tuoreemman maan lajien (mustikan, riidenlieon, vanamon, metsälauhan ja metsätähden) melko säännöllinen esiintyminen VT:ssä.

Puolukkatyyppiä tavataan kuivanpuoleisilla hiekka-, hietaisilla moreeni- tai harjusoramailla. Se on yksi Etelä- ja Keski-Suomen päämetsätyypeistä.

32. Tuoreet kankaat

321. Mustikkatyyppi, MT

Puusto on lajikokoonpanoltaan sangen vaihtelevaa, vanhoissa metsissä kuusimetsä on kuitenkin vallalla. Pensaita, varsinkin katajaa ja pihlajan vesoja, esiintyy enemmän kuin edellisissä tyypeissä. Varvusto on pääasiassa tuuhean ja hedelmiä tuottavan mustikan muodostamaa, seassa hyväkasvuista, mutta steriiliä puolukkaa. Luonteenomaista on vanamon runsaus ja riidenlieon yleisyys. Kanervaa voi tämänkin tyypin kaskimaille ja paloaloille ilmestyä, mutta se häviää kokonaan metsikön sulkeutuessa. Heinistä metsälauha ja metsäkastikka ovat yleisiä ja luonteenomaisia, yleinen on myöskin kevätpiippo. Yrttimäisistä lajeista yleisiä ovat oravanmarja, kangas- ja metsämaitikka, metsätähti, nuokkutalvikki ja kultapiisku, usein tavattavia ovat myöskin pikkutalvikki, metsäimarre ja seuduittain kielo sekä lillukka. Varsinkin kaskimailla on sananjalka levinnyt laajalti MT:iin ja se voi säilyä etenkin mänty- ja

koivumetsiköissä kauan. Sammalikko muodostaa MT:ssä suljetun peitteen, jossa seinäsammal ja metsäkerrossammal kilpailevat valtalajin asemasta (edellinen tavallisesti voitolla). Jäkälää ei ole normaalissa maanpinnassa.

MT:n erottaa VT:stä varsinkin mustikan valtasija sekä tuoreen maan lajien suurempi runsaus (vanamo, riidenlieko, kevätpiippo, oravanmarja, kultapiisku, nuokkutalvikki, metsämaitikka).

MT:ä esiintyy useimmin tuoreilla moreenimailla, väliin myös hiekka- ja hietamailla, joskus hiesulla, savella tai kuivatetulla turvemaalla. — MT on Etelä- ja Keski-Suomen yleisin tyyppi.

322. Käenkaali-mustikkatyyppi, OMT

Puusto erittäin hyväkasvuista kuusta, palon ja hakkuiden jäljiltä väliin myös mäntyä tai koivua, kaskimailla joskus harmaaleppää, haapaa ym. Pensaskerroksessa puiden taimien ja vesojen ohessa katajaa, raitaa, pihlajaa, vadelmaa — harvoin näsiää, lehtokuusamaa ym. vaateliaita lajeja. Varvusto on hyväkasvuista mustikkaa ja puolukkaa (steriiliä). Ruohosto alkaa olla melko lajirikasta. Heinämäisistä lajeista mainittakoon metsäkastikka, metsälauha, nuokkuhelmikkä, sormisara ja kevätpiippo; yrttimäisistä metsäimarre, oravanmarja, lillukka, käenkaali, metsämaitikka, nuokkutalvikki ja kultapiisku — luonteenomaisia ovat myös lehdokki, sinivuokko, valkovuokko, metsäorvokki, ahomansikka, metsäkurjenpolvi, keltanot ym. Sammaliston päälajina ovat metsäkerrossammal ja seinäsammal, luonteenomaisia ovat myöskin metsäliekosammal, sulkasammal, isokynsisammal ym.

Erotukseksi MT:stä on huomattava mm. sormisaran, nuokkuhelmikän, metsäimarteen, valko- ja sinivuokon, metsäorvokin, metsäkurjenpolven, käenkaalin, ahomansikan ym. vaateliaanpuoleisten lajien säännöllinen esiintyminen OMT:n kasvustoissa.

OMT:n kasvupaikat ovat tavallisesti tuoreita, hiesu- ja saviaineita runsaasti sisältäviä maita, joskus muunkinlaisia tuoreita ravintorikkaita kasvupaikkoja.

33. Lehdot

Sangen vaihtelevan lehtokasvillisuuden käsittelemme tässä yleispiirteisesti erottamalla vain kolme tyyppiä: tuoreet lehdot (OT), märät lehdot (FT) ja kuivat lehdot (VRT).

331. Käenkaalityyppi, OT

Puuston muodostaa enimmäkseen nopeasti kasvanut kuusi, jonka seassa usein kuitenkin on koivua, haapaa ym. lehtipuita, myös ns. jaloja lehtipuita. Metsikön epäyhtenäisyyden vuoksi puut ovat usein laajaoksaisiksi kehittyneitä. Pensaita on

tavallisesti runsaasti, joukossa myöskin vaateliaimmat lajimme (näsiä, koiranheisi, lehtokuusama ja herukat melkein aina tavattavan pihlajan ja tuomen ohessa). Varvusto on heikosti kehittynyt — hieman mustikkaa ja puolukkaa esiintyy pääasiassa mättäillä. Ruohosto muodostaa aluskasvillisuuden huomattavimman osan, ja siihen sisältyy vaateliaita lajeja, joista mainittakoon tesma, helmikkä, lehtonurmikka, lehtokorte, oravanmarja, sudenmarja, sini- ja valkovuokko, mustakonnanmarja, orvokeita, ahomansikka, kevätlinnunherne, virnalajeja, vuohenputki, koiranputki, käenkaali, imikkä ym. Sammalistoon kuuluu pääasiassa vaateliaita lajeja, kuten metsäliekosammal, lehväsammalia, ruusukesammal, suikerosammal, haivensammal ja kastesammal, joiden kehitystä runsas lehtikarike haittaa.

Erotukseksi OMT:stä on huomattava mm. varvukon vähyys, vaateliaiden ruohojen ja sammalten suuri runsaus.

OT:n kasvupaikat ovat lihavia ja hyvin tuoreita moreeni-, hiesu- ja savimaita tavallisesti rinteiden juurilla tai purojen varsilla. Maan pintakerros on lehdossa multaa eikä kangasturvetta. [Käenkaalityypin (OT) tilalla nykyisin käenkaali-oravanmarjatyyppi (OMaT). LL.]

332. Saniaistyyppi, FT

Puulajina on tässäkin yleensä kuusi, joissakuissa tapauksissa kuitenkin tervaleppä; sekapuuna esiintyy usein hieskoivua, haapaa, raitaa, pihlajaa, joskus niinipuuta ym. Metsiköt ovat yleensä epätasaisia, ja puilla on taipumusta kehittyä vähemmän kaunismuotoisiksi. Pensaita on runsaasti, mm. pihlajan ja tuomen vesoja, vadelmaa, koiranheisiä, herukoita ym. Varvustoa — mustikkaa ja puolukkaa—on niukasti mättäillä. Ruohosto on kookasta ja runsaasti vettä vaativaa sekä muuten vaateliasta, esim. koiranvehnä, korpinurmikka, korpikaisla. Yrttimäisistä lajeista herättävät erikoista huomiota isot mätästävät saniaiset, kuten soreahiirenporras, metsäalvejuuri, isoalvejuuri ja kotkansiipi; muista ruohoista tyypillisinä mainittakoon nokkonen, lehtotähtimö, rentukka, kevätlinnunsilmä, mesiangervo, maitohorsma, velholehti, lehtopalsami, lehtopähkämö, suokeltto ym. Mättäisyyden ja mättäiden väliköiden märkyyden vaihtelun vuoksi sammalisto on sangen vaihtelevaa (kastesammal, keuhkosammal, kiiltolehväsammal, palmusammal, sirppisammalet ja kuirisammalet ym. ovat usein esiintyviä).

FT eroaa OT:stä ennen kaikkea suurempaa kosteutta vaativan lajiston puolesta; erikoisesti on saniaisten runsaus silmäänpistävä.

FT:n kasvupaikat ovat lihavia, märkiä maita purojen varsilla, rannoilla ja notkelmissa. Tämän tyypin kasvupaikoilla pääsee soistuminen helposti alulle ja tyyppi muuttuu silloin korveksi. Tyypillinen FT on melko harvinainen nähtävyys.

Huomautus: Sananjalka ei kuulu FT:n tyypilliseen lajistoon, vaan sen esiintymispaikat ovat kuivemmilla mailla, etenkin VT:n, MT:n ja OMT:n kaskimailla. Sananjalka ei ole lainkaan lehtiruusukkeita ja mättäitä muodostava, joten sen voi helposti erottaa FT:n isoista saniaislajeista.

Edellä esitettyjen tavallisten tyyppien lisäksi mainittakoon ohimennen pari metsäkasvillisuustyyppiä, joiden erottamisella voi olla jonkinverran käytännöllistäkin merkitystä. Sellainen on talvikkityyppi (*Pyrola*-t.) PyT, jota tavataan savimailla. Se liittyy lähinnä mustikkatyyppiin, mutta eroaa siitä mm. siinä, että puolukka on mustikan sijasta päävarpuna. Erikoista tälle tyypille on lisäksi talvikkilajien mm. isotalvikin, runsaus. Monessa tapauksessa talvikkityypissä esiintyy myöskin käenkaalia ja muita vaateliaita ruohoja runsaasti, ja tyyppi vastaa silloin jo likimain OMT:ä (käenkaali-talvikkityyppi *Oxalis-Pyrola*-t., OPyT). Etelä-Suomessa on seutuja, joissa savipohjaiset metsämaat ovat hyvin yleisiä ja siellä nämä tyypit on syytä erottaa.

Erikoislaatuista rehevää metsäkasvillisuutta kehittyy väliin myöskin kuivanlaisille harjumaille. Niiltä on erotettu ns. *kuivalehtotyyppi* (*Vaccinium-Rubus*-t., VRT). Metsä on siinä yleensä mäntyä, seassa koivua, niinipuuta, pähkinäpensasta ym., varpuna vähän puolukkaa; ruohokasvillisuus runsasta, etenkin metsälauhaa, helmikkää, lehtonurmikkaa, sormisaraa; yrttimäisistä lajeista sananjalkaa, kieloa, sinivuokkoa, mustakonnanmarjaa, ahomansikkaa, lillukkaa, nätkelmiä, kevätlinnunhernettä, metsäapilaa, häränsilmää ym. Erikoista on siten kuivuutta sietävien vaateliaanpuoleisten lajien suuri runsaus. Tämän tyypin erottamisella voi olla merkitystä esim. etsittäessä sopivia kasvupaikkoja mantereisille ulkolaisille puulajeille.

34. Hakkuu- ja paloalojen kasvillisuus

Kun metsämaata ja pintakasvillisuutta varjostava puusto poistetaan,[1]) pääsee auringonpaiste ja tuuli kuivattamaan hentolehtistä kasvillisuutta ja maan pintakerrosta, jossa metsäkasvien juuret osaksi sijaitsevat. Lämpövaihtelut maassa ja ilman alaosassa lisääntyvät, toisaalta sadevesi ja auringonvalo pääsevät esteettömämmin maahan. Seurauksena on, että tasaiseen kosteuteen ja lämpöön mukautuneet aidot metsäkasvit, kuten mustikka, puolukka, oravanmarja, käenkaali jne. kuivuvat ja häviävät vähäisiksi rippeiksi. Sen sijaan toiset, metsän varjossa kituvaa elämää viettävät, enemmänkin valokasvin luontoiset lajit, kuten monet heinät (metsä- ja nurmilauha, metsä- ja hietakastikka ym.) samoin monet samanluontoiset yrtit (sananjalka, lillukka, metsäkurjenpolvi, rohto- ja nurmitädyke, kultapiisku ym.) sekä varpukasveista etenkin kanerva alkavat tuuheutua tai kukkia runsaammin ja lisääntyä siemenistä. Myöskin sammalikossa ilmenevät vastaavat muutokset — seinäsammalikko häviää ja sen sijaan tulee kuivuutta sietävää karhunsammalikkoa, nuokkuvarstasammalta, kulosammalta ym. Poronjäkäläkin aluksi kärsii, mutta alkaa nopeammin toipua kuin muut metsäkasvit. Lisäksi tulee hakkuujätteiden lannoittava vaikutus, jonka johdosta muutamat sitä kaipaavat lajit rehevöityvät (esim. maitohorsma ja vadelma). Nämä paljaaksihakkuualoilla havaittavat muutokset voivat ilmetä vielä korostetummin paloaloilla, joilla tuli on tuhonnut vanhan kasvillisuuden maanpäälliset osat ja varustanut

[1]) Nykyisin vaikuttaa heinän- ja vesakontorjunta myös usein voimakkaasti pintakasvillisuuteen hakkuualoilla. LL.

maan tuhkalannoituksella. Kasvillisuus hakkuu- ja paloaloilla saa näin alkuperäisestä suuresti poikkeavan kokoonpanon. Kuitenkin on huomattava, että sangen monista alkuperäislajeista säilyy maassa myöskin hakkuu- ja paloajan yli eläviä osia, joista ne alkavat uudelleen kehityksensä aivan entisillä kasvupaikoillaan. Näin uudistuu esim. mustikka, puolukka, oravanmarja, seinäsammal, poronjäkälä ja moni muu laji maassa säilyneistä varsiosista kasvullisesti. Hakkuualojen tyyppiä määritettäessä on myöskin näihin vanhan kasvillisuuden jäänteisiin kiinnitettävä huomiota, sillä ne voivat antaa paljon tietoa paikan alkuperäisestä kasvillisuudesta. Eri metsätyypeissä paljaaksihakkuun ja palon aiheuttamat muutokset ovat tietysti sangen erilaisia. Niistä mainittakoon tässä seuraavaa.

Jäkälätyypissä muutokset vähimpiä. Kanerva, rupi- ja torvijäkälät aluksi lisääntyvät.

Kanervatyypissä häviäviä lajeja puolukka, mustikka ja seinäsammal — lisääntyviä kanerva, sianpuolukka ja tyypin heinälajit, nuokkuvarstasammal ja kulosammal; jäkäläkin aluksi kuivuu tai palaa ja sen tilalle leviää rupi- ja torvijäkälää.

Puolukkatyypissä muutokset ovat varsin huomattavia; häviäviä lajeja puolukka, mustikka, vanamo ja seinäsammal — lisääntyviä metsälauha, metsäkastikka, hietakastikka, kultapiisku, kangaskarhunsammal, nuokkuvarstasammal, kulosammal (vars. paloaloilla), rupi- ja torvijäkälät. Erityisesti on kanerva huomattava — sitä leviää monasti suuret määrät etenkin paloaloille siemenistä. Kasvillisuus saa näin »kuivemman» luonteen kuin vanhan metsän kasvillisuudella VT:ssä on.

Mustikkatyypissä muutokset ovat yhä suuremmat, mutta samansuuntaiset kuin VT:ssä. Kuivuvien kasvien määrä on suurempi ja heinittyminen voimakkaampaa; esim. sananjalkaa voi ilmestyä runsaasti ja etenkin paloaloille vielä tähänkin tyyppiin kanervaa. Lisäksi tulee tavallisesti myös puulajin vaihdos — kuusen sijaan alan valtaa mänty tai koivu. Sen johdosta pysyvän alkuperäisen kasvillisuuden palautuminen hidastuu.

Käenkaali-mustikkatyypissä muutokset ovat samantapaisia kuin MT:ssä, ruohottuminen usein suorastaan valtavaa. Hakkuu- ja paloaloilla lisääntyviin lajeihin kuuluvat tässä mm. metsäkastikka, metsälauha, nuokkuhelmikkä, maitohorsma, vadelma, valkovuokko, ahomansikka, aitovirna, metsäkurjenpolvi, nurmitädyke ja monet muut lajit.

Käenkaalityypissä muutokset ovat hyvin samantapaisia kuin OMT:ssä. Aukeaksi menneen alan lajistossa havaitaan kuitenkin enemmän vaateliaita lajeja, esim. pähkinäpensasta, lehtokuusamaa, tuomea, koiranvehnää, lehtonurmikkaa, lehtokortetta, metsävirnaa, vuohenputkea, koiranputkea, metsäkurjenpolvea yms. lajeja.

Saniaistyypissä isot mättäissä kasvavat saniaiset kärsivät aukeana olosta eniten, mutta maa on niin märkää, että kuivumistuhot pintakasvillisuudessa eivät tässä ole merkittäviä — sen sijaan FT:ssäkin havaitaan muutamien lajien kehittyvän entistä voimakkaammiksi ja lisääntyvän (korpikastikka, koiranvehnä, nurmilauha, lehtotähtimö, mesiangervo, karhunputki, huopaohdake, lehtopähkämö, nokkonen ym. ovat sellaisia).

Kuivalehdoissa havaitaan niinikään varsin valtavaa heinittymistä hakkuun ja palon jäljiltä. Lisääntyviä ovat mm. kataja, pähkinäpensas, vadelma, sananjalka, metsäkastikka, metsälauha, nuokkuhelmikkä, ahomansikka, metsäapila, rohtotädyke, ahomatara, ruusuruoho, kultapiisku, häränsilmä ym. Yleensä tämän tyypin kuivaluontoisuus korostuu aukeilla aloilla.

Talvikkityypissä muutokset ovat samantapaisia kuin MT:ssä ja OMT:ssä. Erikoista talvikkityypin aukeille aloille on seuraavien lajien runsaus: kataja, metsäruusu, nurmirölli, lillukka, rätvänä, isotalvikki, purtojuuri, kultapiisku ym.

35. Laidunnettujen metsämaiden kasvillisuus

Metsiä käytetään Suomessa vielä nykyisinkin [1]) yleisesti karjan laitumena, ja metsässä kulkiessaan karja syö ja hävittää metsäkasveja työkseen. Sen vaikutus ei kuitenkaan kohdistu yhtä voimakkaana kaikkiin kasvilajeihin. Esim. havupuut, varpukasvit, saniaiset ja sammalet säästyvät karjalta suurin piirtein koskemattomina, mutta sitä ankarampana kohdistuu verotus heiniin ja moniin yrttimäisiin kasveihin sekä lehtipuiden taimiin ja vesoihin. Kun näiden karjan lempikasvien määrä vaihtelee erilaisilla kasvupaikoilla kovasti, on karjan vaikutus eri metsätyypeissä hyvin erilaista. Kuiville kankaille se on vahinko, mutta jo tuoreilla kankailla se alkaa tuntua ja lihavilla lehtomailla se on erittäin voimakas, samoin tietysti myöskin ruohottuneilla kaski-, metsäpalo- ja hakkuualoilla. Kun vertaillaan metsäkasvillisuutta esim. kahden puolen aitaa, joka jakaa kasvupaikan laidunnettuun ja laiduntamattomaan osaan, saadaan hyvä käsitys laiduntamisen vaikutuksen voimakkuudesta. Kuitenkin on sanottava, että karjan vaikutus varsinaisissa metsissä harvoin on niin syvällinen, että metsätyypin tunteminen olisi sen vuoksi mennyt mahdottomaksi. Karja jättää kasvien tyvet ja maanalaiset osat yleensä jäljelle, ja jos kasvi saa jonkin aikaa olla rauhassa, se uudistuu näistä osistaan kasvullisesti ja säilyttää siten paikkansa. Toiselta puolen karja kuljettaa jaloissaan ja mahassaan metsiin paljon siemeniä; monen rikkaruohon ilmestyminen metsään johtuu tästä.

Toisin on laita ns. *hakamailla*, joita on vuodesta vuoteen vahvasti lannoitettu,[2]) ja joilla karja syömällä puiden taimia ja vesoja on estänyt metsän kehittymisen. Pitkäaikaisen puoliaukeana olon, syömisen ja polkemisen sekä lannoituksen johdosta on alkuperäinen metsäkasvillisuus melkein kokonaan hävinnyt, mikäli sitä on ollutkaan — usein hakamaa on syntynyt suorastaan ahosta tai hylätyistä niitty- ja viljelysmaista. Yleensä hakamaat ovat maapohjaltaan paremmanlaatuisia aloja, karut maat eivät jaksa kasvaa heinää. Lajiston vaateliaisuudesta voidaan niilläkin päätellä, mikä metsätyyppi kullakin paikalla on alkujaan esiintynyt.

Hakamaalla saattaa esiintyä pääkasveina esim. nurmirölliä, metsälauhaa, niittynurmikkaa, heinätähtimöä, niittyleinikkiä, rätvänää, purtojuurta, pukinjuurta, rohtotädykettä, orvokkeja, siankärsämöä, huopakeltanoita ym. melko vaatimattomia lajeja, jolloin kasvillisuus vastaa lähinnä MT:ä. Kun kasvipeitteeseen sekaantuu vaateliaampaa lajistoa, esim. runsaasti valkovuokkoa, kevätleinikkiä, aitovirnaa, metsäkurjenpolvea ja koiranputkea, on ilmeisesti OMT kyseessä. Alat, joilla esiintyy lehtokortetta, nokkosta, koiranvehnää, vuohenputkea ja muita vaateliaisuudessa näiden veroisia lajeja runsaanlaisesti, ovat ilmeisesti lehtomaita. Märillä FT-mailla tavataan lisäksi rentukkaa, lehtopalsamia, suokelttoa, mesiangervoa (usein taajoina kasvustoina), virmajuurta ym. vettä runsaasti vaativia yrttejä.

[1]) 1950-luvulla, myöhemmin vähentynyt. Hirvien aiheuttamat tuhot ovat sen sijaan lisääntyneet etenkin viljelytaimikoissa LL.

[2]) Karjanlannan sijasta lannoitetaan metsiä nykyisin keinolannoitteilla. Metsänlannoitus rehevöittää myös pintakasvillisuutta. LL.

4. POHJOIS-SUOMEN METSÄTYYPIT

41. Vyöhykkeet ja niiden rajat

Kun Suomi on etelä-pohjoissuunnassa pitkä maa, muuttuu ilmasto pohjoiseen mentäessä huomattavasti kylmemmäksi, sademäärä pienenee, mutta kun haihtuminen maasta vähenee, kuivuus ei lisäänny vastaavasti; merkityksensä lienee silläkin, että päivän pituus kasvukaudella kasvaa paljon. Niinollen on odotettavissa, että metsiköiden kokoonpanossa, puiden kasvussa ja laadussa sekä metsän kasvipeitteessä eli metsätyypeissä ilmenee eroavaisuuksia Etelä-Suomesta Lappiin siirryttäessä.

Kuitenkin suurin osa Pohjois-Suomen metsäkasveista on samoja lajeja kuin maan eteläpuoliskossa, ja kasvillisuudella siellä on väliin melkolailla sama näkökin kuin jonkin Etelä-Suomen metsikön kasvillisuudella. Kysymys, voidaanko nuo Pohjois-Suomen metsäkasvustot lukea eteläisten kanssa samoihin tyyppeihin, on mielenkiintoinen ja tärkeä. Tähän on vastattava kieltävästi mm. seuraavista syistä.

Pohjois-Suomen metsiköiden kasvu on huomattavasti heikompi kuin tyypiltään lähinnä vastaavien eteläisten metsiköiden.

Tarkka tutkimus osoittaa aina luonteenomaisia eroavaisuuksia myöskin niiden kasvipeitteessä. Eroavaisuudet saattavat olla vähemmän silmäänpistäviä kuin yhtäläisyydet, mutta ne on pakko ottaa huomioon, jos mielitään päästä siihen, että tyyppi vastaa kasvupaikan tuottokykyä oikein.

Samoin kuin ilmaston muutokset pohjoiseen mentäessä ovat vähittäisiä, ovat niistä riippuvat tyyppien muutoksetkin vähittäisiä. Puiden koko ja kasvu pienenevät vähitellen, eteläiset kasvilajit harvinaistuvat ja jäävät pois yksi toisensa jälkeen pohjoisten päin vastoin lisääntyessä. Muutokset metsissä eivät siis ole jyrkkiä, eikä ole lainkaan helppo todeta, missä eteläisten ja pohjoisten tyyppien rajat kulkevat. Tästä pulmasta on väliin koetettu selviytyä siten, että vaihettumisvyöhykkeeltä on erotettu sekä eteläisiä että pohjoisia tyyppejä, mihin on mahdollisuuksia, koska puiden kasvu ja kasvipeite vaihtelee lähennellen milloin enemmän jotain eteläistä milloin taas pohjoista tyyppiä. Käytännössä tästä kuitenkin aiheutuu mielivaltaa, kun siten samalle alueelle tulee suuri joukko toisilleen läheisiä, työläästi erotettavia tyyppejä.

Parempana keinona Pohjois-Suomen rajapulman selvitykseen voidaan pitää erityisen välivyöhykkeen erottamista, jolle erotetaan vain yksinkertainen sarja metsätyyppejä. Poikkeuksena ovat kuitenkin korkeiden vaarojen ja tuntureiden ylärinteet,

jotka eroavat sekä ilmastollisesti että kasvillisuudeltaan huomattavasti. Ne on liitettävä niihin pohjoisempiin tyyppeihin, joihin ne metsiköiden laadun ja kasvillisuuden perusteella kuuluvat.

Tämän ns. *Kainuun välivyöhykkeen* eteläraja voidaan vetää Oulun läänin etelärajan seutuun. Idässä Pielisen takana samoin Keski-Pohjanmaan vedenjakajamaissa Kainuun vyöhyke pistää Oulun läänin eteläpuolellekin. Sen pohjoisraja taas on vedettävä lännessä ylemmäs pohjoiseen kuin idässä, ja se kulkisi Turtolasta [nykyinen Pello] Rovaniemelle ja sieltä edelleen Suomussalmen pohjoisosiin. Etelä-Lapin eli Peräpohjolan vyöhyke ulottuisi viimeksi mainitusta rajasta Enontekiön ja Inarin kuntien etelärajan seutuun. Sieltä pohjoiseen sijaitsisi Pohjois-Lapin havumetsävyöhyke ja havumetsärajan pohjois- ja yläpuolella Lapin koivumetsävyöhyke.

[*Huom!* A. K a l e l a on esittänyt seuraavat kasvillisuusvyöhykkeet: Etelä-Suomi, Pohjanmaa-Kainuu, Peräpohjola, Metsä-Lappi ja Tunturi-Lappi. K u j a l a n esitys Pohjois-Suomen metsätyypeistä on alustava (ks. s. 4). Se eroaa A. K a l e l a n esittämästä useissa kohdin, mm. nimistöltään (ks. K a l l i o l a, R. 1973, Suomen kasvimaantiede. 308 s. Porvoo—Helsinki; K a l e l a, A. 1961, Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatischen Paralleltypen. Arch. Soc. 'Vanamo' 16 Suppl., 65—83.) LL.]

42. Eteläiset ja pohjoiset kasvilajit

Pohjoiseen päin edettäessä vähenevät tai häviävät mm. seuraavat Etelä- ja Keski-Suomen yleiset metsäkasvilajit:

Soreahiirenporras (*Athyrium filix-femina*)
Metsäalvejuuri (*Dryopteris carthusiana*)
Sananjalka (*Pteridium aquilinum*)
Sormisara (*Carex digitata*)
Metsäkastikka (*Calamagrostis arundinacea*)
Hietakastikka (*C. epigejos*)
Kielo (*Convallaria majalis*)
Metsäorvokki (*Viola riviniana*)
Suo-orvokki (*Viola palustris*)
Ahomansikka (*Fragaria vesca*)
Lillukka (*Rubus saxatilis*)
Vadelma (*Rubus idaeus*)
Käenkaali (*Oxalis acetosella*)
Talvikit (*Pyrola* spp. ym.)
Rohtotädyke (*Veronica officinalis*)
Nurmitädyke (*V. chamaedrys*)

Seuraavat lajit ovat pohjoisessa lisääntyneet:

Lapinkastikka (*Calamagrostis lapponica*)
Kullero (*Trollius europaeus*)
Metsäkurjenpolvi (*Geranium sylvaticum*)
Pussikämmekkä (*Coeloglossum viride*)
Ruohokanukka (*Cornus suecica*)
Variksenmarja (*Empetrum nigrum*)
Lääte (*Saussurea alpina*)
Juolukka (*Vaccinium uliginosum*)
Suopursu (*Ledum palustre*)
Korpiorvokki (*Viola epipsila*)

Sammalia ja jäkäliä:

Himmeäkynsisammal (*Dicranum fuscescens*)
Rotevakynsisammal (*D. drummondii*)
Maksasammalet, mm. vaarapykäsammal (*Barbilophozia lycopodioides*)
Korallisammal (*Ptilidium ciliare*)
Pohjolankorvajäkälä (*Nephroma arcticum*)
Sileätorvijäkälä (*Cladonia gracilis var. elongata*)

Myös seuraavat lajit ovat pikemmin lisääntyneet kuin vähentyneet Pohjois-Suomessa:

Keltalieko (*Diphasium complanatum*)
Metsäimarre (*Gymnocarpium dryopteris*)
Mustikka (*Vaccinium myrtillus*)
Kevätpiippo (*Luzula pilosa*)
Metsälauha (*Deschampsia flexuosa*)
Herttakaksikko (*Listera cordata*)
Kangasmaitikka (*Melampyrum pratense*)
Metsämaitikka (*M. sylvaticum*)
Maitohorsma (*Epilobium angustifolium*)
Metsätähti (*Trientalis europaea*)
Kultapiisku (*Solidago virgaurea*)
Isokynsisammal (*Dicranum majus*)
Metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*)
Korpikarhunsammal (*Polytrichum commune*)

43. Kainuun vyöhyke

431. Kuivat kankaat

Kanerva-mustikka-jäkälätyyppi, CMClT

Jäkälärikkaita kankaita tavataan Pohjois-Suomessa paljon enemmän kuin etelämpänä, ja niiltä voitaisiin erottaa useampia kasvillisuustyyppejä, joista laihimmat olisi rinnastettava etelän jäkälä-, paremmat kanervatyyppiin. Käsittelemme niitä tässä kuitenkin ryhmätyyppinä.

Yleisleiman CMClT:lle antaa huonokasvuinen mäntypuusto. Sen alla esiintyy matalaa varvukkoa, jossa kanerva, variksenmarja, mustikka ja puolukka ovat jokseenkin yhtä runsaita. Ruohosto on erittäin niukkaa, sammalisto peittää n. 10—30 % maanpinnasta, jäkälä laajimman alan. Pohjoisina piirteinä tässä tyypissä on huomattava mm. mustikan, variksenmarjan, metsälauhan, himmeäkynsisammalen, pohjolankorvajäkälän runsaampana esiintyminen.

Variksenmarja-puolukkatyyppi, EVT

Puustona mänty, joka voi saavuttaa yli 20 m:n pituuden, kuusta usein sekapuuna, samoin koivua. Varvustona mustikka, puolukka ja variksenmarja, myös kanervaa melkein aina seassa, palon jäljiltä runsaastikin. Ruohostona metsälauhaa, kevätpiippoa, ja lapinkastikkaa, yrttimäisistä lajeista maitikoita, kultapiiskua, metsätähteä, maitohorsmaa, joskus nuokkutalvikkia ja vähän oravanmarjaakin. Sammalisto peittää alasta 60—90 %. Tärkein laji on seinäsammal, usein lisäksi metsäkerrossammalta, samoin kynsisammalia ja kangaskarhunsammalta. Jäkälä peittää alasta vain 1—10 %.

Verrattuna etelän puolukkatyyppiin, johon tämä tyyppi on rinnastettava, ovat seuraavat lajit runsaampina tavattavia: kataja, mustikka, variksenmarja, metsälauha, lapinkastikka, kevätpiippo, himmeäkynsisammal ja jäkälät. Vähentyneitä ovat metsäkastikka, talvikit, sarjakeltano ym.

EVT on hyvin yleinen kuivanlaisilla hiekka-, sora- ja moreenimailla.

432. Tuoreet kankaat

Pohjoinen mustikkatyyppi, p.MT

Puuston muodostaa lopulta aina kuusi, mutta palon jäljiltä on usein koivua jopa valtapuuna, samoin mäntyä sekapuuna. Varvusto on tuuheaa, pääasiassa mustikan muodostamaa, puolukkaa voi olla melko runsaasti, vähemmän variksenmarjaa. Soistumiseen taipuvilla paikoilla on suopursua ja juolukkaa väliin runsaasti (*Ledum-Vaccinium uliginosum*-t., LUT). Ruohostona metsälauhaa runsaasti, kevätpiippoa, yrttimäisistä lajeista maitikoita, kultapiiskua, metsätähteä, oravanmarjaa ym.; sammalmatto on sulkeutunut.

Etelän mustikkatyyppiin verrattuna ovat variksenmarja, metsälauha, himmeäkynsisammal, isokynsisammal, maksasammalet ym. lisääntyneet. Vähentyneitä lajeja ovat rauduskoivu, metsäkastikka, oravanmarja, lillukka, talvikit ym.

Pohjoinen mustikkatyyppi esiintyy tuoreilla moreeni-, hiekka- ym. mailla sekä alankoseuduissa että varsinkin vaarojen rinteillä.

Metsäimarre-mustikkatyyppi, DMT

Puulajina on kuusi, palon jäljiltä usein koivu, myös mäntyä, haapaa ym. voi esiintyä. Pensaikkona paitsi puiden taimia ja vesoja usein runsaasti katajaa ja pihlajan vesoja. Mustikan varvukkoa on runsaasti, vähemmän puolukkaa, variksenmarjaa vain joskus, vanamoa runsaasti. Ruohostona metsälauhaa ja kevätpiippoa runsaasti, nuokkuhelmikkää väliin, metsäkurjenpolvea, metsätähteä, metsämaitikkaa, kultapiiskua ym. Sammalistossa on useimmin metsäkerrossammal päälaji, toisinaan seinäsammal.

DMT on eteläisen OMT:n vastine. Siihen verrattuna ovat lisääntyneet kataja, mustikka, metsälauha, metsäimarre, metsäkurjenpolvi, maitohorsma, ruohokanukka, isokynsisammal, korpikarhunsammal, maksasammalet. Vähentyneitä ovat ahomansikka, käenkaali, metsäorvokki, kangaskynsisammal ym.

433. Lehdot

Pohjois-Suomessakin tavataan etenkin kalkkiseuduissa yllättävän rehevää lehtokasvillisuutta. Yleispiirtein se muistuttaa etelässä tavattavaa, ollen milloin tuoreiden lehtojen, milloin taas märkien lehtojen tyyppiä. Vähemmän märillä paikoilla on valtakasvina maanpinnassa tavallisesti metsäimarre ja metsäkurjenpolvi, seassa mm. tesmaa, kulleroa, maitohorsmaa, ruohokanukkaa ym. pohjoisessa tavattavia vaateliaita lajeja. Märän maan lehdoissa taas ovat isot saniaiset tavallisesti leimaa antavina (isoalvejuuri, soreahiirenporras tai kotkansiipi), seassa nokkosta, huopaohdaketta, suokelttoa, pohjansinivalvattia, läätettä ym.

44. Etelä-Lapin eli Peräpohjolan vyöhyke

441. Kuivat kankaat

Varpu-jäkälätyyppi, ErClT

Peräpohjolan kuivilla kankailla havaitaan kasvillisuudessa vähäisiä muutoksia kainuulaisiin verrattuna. Kanervan esiintymisessä on enemmän epäsäännöllisyyttä — toisaalta mustikan ja variksenmarjan määrä on lisääntynyt, samoin metsälauhan ja himmeäkynsisammalen, kun taas esim. kangaskynsisammal on yhä vähentynyt. Pohjolankorvajäkälä on lisääntynyt — yleensä kuten odottaa sopii, pohjoiset piirteet kasvillisuudessa ovat yhä korostuneet.

ErClT on varsinkin kuivilla hiekkakankailla laajoja aloja peittävä.

Variksenmarja-mustikkatyyppi, EMT

ErClT:iin verrattuna ovat enemmän kosteutta vaativat lajit selvästi lisääntyneet (mm. koivu, kataja, riidenlieko, mustikka, vanamo, metsälauha, kultapiisku, metsäkerrossammal, korpikarhunsammal). Kainuun EVT:iin, jota EMT lähinnä vastaa, verrattuna taas pohjoiset piirteet ovat korostuneet (lisääntyneitä ovat kataja, mustikka, variksenmarja, metsälauha, metsämaitikka, kultapiisku, himmeäkynsisammal, maksasammalet, pohjolankorvajäkälä ja monet torvijäkälälajit).

EMT esiintyy kuivilla hiekka- ja moreenimailla ja on yksi Peräpohjolan päämetsätyypeistä.

442. Tuoreet kankaat

Seinäsammal-mustikkatyyppi, HMT eli ns. paksusammaltyyppi

Puulajina on kuusi, palon jäljiltä usein koivu, joskus mänty. Kenttäkerroksena tuuhea mustikanvarvukko, seassa puolukkaa, etenkin puiden alustoissa, lisäksi yleisesti vanamoa. Variksenmarjaa esiintyy vähän, samoin suopursua, juolukkaa ja riidenliekoa. Metsälauhaa on runsaasti, usein kevätpiippoa, maitikoita, kultapiiskua, metsätähteä, nuokkutalvikkia ym. vaatimattomia tuoreen maan ruohokasveja. Sammalikossa metsäkerrossammal ja seinäsammal ovat päätekijät, lisäksi isokynsisammalta, maksasammalia ja korpikarhunsammalta. Jäkälää on vain hiukan.

EMT:iin verrattuna tuoreiden maiden lajit ovat lisääntyneet (pihlaja, riidenlieko, vanamo, mustikka, metsälauha, kevätpiippo, metsäkerrossammal). Niukentuneita ovat esim. keltalieko ja variksenmarja, himmeäkynsisammal, kangaskarhunsammal ym.

Pohjoiseen MT:iin verrattuna ovat pohjoiset piirteet yhä korostuneet (lisääntyneitä siten mm. variksenmarja, metsälauha, maksasammalet, pohjolankorvajäkälä, niukentuneita kanerva, oravanmarja, nuokkutalvikki, kangaskynsisammal ym.).

HMT esiintyy etupäässä moreenialustalla vaarojen rinnemailla, joskus alankoseuduissakin tuoreella maalla.

Ruohokanukka-metsäimarre-mustikkatyyppi, CoDMT

HMT:iin verrattuna vaateliaanpuoleisten lajien määrä on selvästi lisääntynyt. Niistä mainittakoon pihlaja, riidenlieko, vanamo, kevätpiippo, nuokkuhelmikkä, metsäimarre, oravanmarja, pussikämmekkä, kullero, lillukka, ruohokanukka, metsäkurjenpolvi, talvikit; sammalista metsäkerrossammal, metsäliekosammal ja ruusukesammal, lehväsammalet ja suikerosammalet. Vähentyneitä ovat variksenmarja, himmeäkynsisammal, seinäsammal ja jäkälät.

Kainuun DMT:iin verrattuna ovat pohjoiset piirteet korostuneet (kataja, riidenlieko, metsälauha, kullero, metsäkurjenpolvi, ruohokanukka, kultapiisku, lääte, korpikarhunsammal, maksasammalet. Vähentyneitä ovat mm. oravanmarja, kielo, metsäorvokki, ahomansikka, vadelma, käenkaali, kangaskynsisammal, metsäliekosammal ym.).

CoDMT esiintyy lihavilla tuoreilla kasvupaikoilla rinteiden alaosissa, purojen varsilla yms. paikoilla.

443. Lehdot

Lapin lehtojen ala on sangen vähäinen, mutta joskus voidaan niitä sieltäkin tavata. Kaikessa pääasiassa ne muistuttavat eteläisempiä lehtokasvustoja (metsäkurjenpolvi tavallisesti päälaji, seassa horsmaa, kulleroa ym.). Myöskin saniaistyyppiä vastaavia märkiä lehtoja tavataan Lapissakin.

45. Pohjois-Lapin havumetsävyöhyke

451. Kuivat kankaat

Varpu-jäkälätyyppi, ErCloT

Puusto on usein koivun sekaista männikköä. Varvustona on kitukasvuista puolukkaa ja variksenmarjaa, vähemmän mustikkaa, sianpuolukkaa, riekonmarjaa, joskus kurjenkanervaa, eteläosissa myös kanervaa. Ruohosto on hyvin niukkaa, jäkälistössä poronjäkälien ohella entistä enemmän torvijäkäliä, tinajäkäliä ym.

ErCloT muistuttaa kasvillisuudeltaan Peräpohjolan ErClT:ä. Pohjoiset piirteet ovat vain korostuneet ja suorastaan tunturikasveja alkaa esiintyä. Tyyppi on yleinen kuivilla hiekkamailla.

Varpu-seinäsammaltyyppi, ErHT

Puusto on koivun sekaista mäntymetsää. Varvusto mustikkaa, puolukkaa ja variksenmarjaa jokseenkin tasaväkisesti, seassa usein suopursua ja juolukkaa, kelta- ja riidenliekoa, jopa vanamoa. Ruohostona on metsälauhaa, maitohorsma- ja kultapiiskuyksilöitä. Sammalisto pääasiassa seinäsammalen, harvoin metsäkerrossammalen

muodostamaa, seassa kynsi- ja maksasammallajeja sekä vähän karhunsammalia. Jäkälistössä poronjäkäliä, tinajäkäliä, torvijäkäliä sekä pohjolankorvajäkälää.

ErCloT:iin verrattaessa havaitaan suurempaa tuoreutta vaativien lajien lisääntyneen (suopursu, juolukka, mustikka, riidenlieko, vanamo, metsäkerrossammal, seinäsammal, korpikarhunsammal), vähentyneitä ovat varsinkin jäkälät.

452. Tuoreet kankaat

Suopursu-seinäsammaltyyppi, LeHT

Puusto on mänty-koivusekametsää. Mustikka on päävarpu, sen ohessa runsaasti juolukkaa, puolukkaa, variksenmarjaa ja suopursua, harvemmin riidenliekoa, keltaliekoa tai kanervaa, vanamoa joskus. Ruohostona vähän metsälauhaa, lampaannataa, horsmaa, joskus hiukan kultapiiskua, metsätähteä, muurainta ja metsäkortetta. Sammaliston muodostaa seinäsammal ja metsäkerrossammal, seassa vähän kynsisammalia ja karhunsammalia sekä maksasammalia. Jäkälistö melkein yhtä runsas kuin sammalisto. Pääasiassa harmaaporonjäkälää, valkeaporonjäkälää ja palleroporonjäkälää, torvijäkäliä, nahkajäkäliä ja pohjolankorvajäkälää.

ErHT:iin verrattuna ovat suurempaa kosteutta kaipaavat lajit lisääntyneet (hieskoivu, kataja, suopursu, juolukka, vanamo, mustikka, riidenlieko, metsätähti, muurain, metsälauha, metsäkerrossammal ym.) — vähentyneitä ovat mm. keltalieko, kangaskarhunsammal, tinajäkälät, monet torvijäkälät ja palleroporonjäkälä.

Etelä-Lapin kankailla vastaisi tätä kasvillisuutta sikäläinen suopursu-juolukkatyyppi (LUT). Lisääntyneitä lajeja ovat hieskoivu, suopursu, keltalieko, kangaskarhunsammal ja palleroporonjäkälä, vähentyneitä riidenlieko, nuokkutalvikki, maitikat, kevätpiippo, sulkasammal, metsäkerrossammal, korpikarhunsammal.

Lehtomaisilla ja lehtotyypeillä on varsin pieni merkitys, mutta niitäkin tavataan.

46. Lapin koivumetsävyöhyke

Lapin pohjoisimmissa osissa ja ylinnä tuntureiden metsärinteillä pääsevät koivumetsät kaikenlaisilla mailla valtaan. Puut ovat niissä pieniä ja känkkyräisiä, milloin yksirunkoisia »hedelmäpuu-tyyppisiä» milloin monirunkoisia pensastyyppisiä.

Koivikoiden aluskasvillisuus eroaa havupuumetsien aluskasvillisuudesta yleensä suuremman ruohorikkauden kautta. Kuitenkin tavataan koivuvyöhykkeessäkin kuivia jäkäläkasvillisuuden leimaamia kankaita, tuoreita, runsaasti varpua ja sammalta kasvavia kankaita sekä tavallista runsaamman ja vaateliaampia lajeja käsittävän ruohokasvillisuuden leimaamia lehtomaisia ja lehtotyyppejä.

[Lapin koivumetsävyöhykkeeltä mainitaan ss. 35—37 seuraavat metsätyypit: varpu-jäkälätyyppi (ErClT), ruohokanukka-mustikkatyyppi (CoMT), metsäimarre-kurjenpolvi-mustikkatyyppi (GDMT) ja lehdot. — LL.]

47. Metsäpalojen ja hakkuiden vaikutukset Pohjois-Suomessa

Metsäpaloja on Pohjois-Suomessa, varsinkin sen kangasmetsissä, sattunut usein, ja ne ovat väliin päässeet leviämään jopa satojen hehtaarien laajuisille aloille. Metsäpalojen jälkiä, esim. palokantoja, palokoroja männyissä ja hiiltä maassa, tavataan Pohjois-Suomen kankailla kaikkialla. Metsien puustoon palot ovat painaneet leimansa hävittämällä kuusta ja lisäämällä mäntyä sekä varsinkin koivua. Keskellä havumetsäaluetta esiintyy väliin laajojakin koivikoita, joiden syntyyn palot ovat vaikuttaneet. Kun Pohjois-Suomen metsät yleensä ovat koivunsekaisia ja kun koivu tuottaa runsaasti hyviä siemeniä, päin vastoin kuin havupuut, joiden siemensadon laatu riippuu paljon kesän lämpimyydestä, on metsien koivuttuminen palojen jälkeen hyvin ymmärrettävissä.

Myös metsän aluskasvillisuuteen metsäpalo vaikuttaa voimakkaasti. Ankarassa palossa kaikki maanpinnan yläpuolella olevat kasvien osat tuhoutuvat, ja tilan valtaavat paloaloja suosivat lajit, osaksi vanhassakin metsässä tavattavat, kuten kanerva, sianpuolukka, metsälauha, horsma, kultapiisku, osaksi sivulta tulevat erikoislajit. Viimeksi mainittuihin kuuluu varsinkin vähäisiä sammalia ja jäkäliä. Komeat kastikkaheiniköt ja sananjalkakasvustot sen sijaan puuttuvat Pohjois-Suomen palokankailta.

Kun Pohjois-Suomen metsät tavallisesti ovat luonnostaan harvoja, eivät *hakkuiden vaikutukset* niissä tunnu yhtä voimakkaina kuin eteläisissä metsissä. Havaittavat muutokset ovat kuitenkin saman suuntaisia — aurinkoisuutta suosivat lajit, esim. metsälauha, lapinkastikka, kanerva jne. lisääntyvät, varjoa rakastavat lajit niukentuvat. Lehtomaisissa ja lehtotyypeissä saattaa ruohottuminen kuitenkin saavuttaa eteläsuomalaista muistuttavan määrän. Yleiseen ottaen kuitenkin eroavaisuus aukko- ja varjopaikkojen kasvillisuudessa jonkin verran tasoittuu pohjoiseen mentäessä. Toiselta puolen palon ja hakkuun aiheuttamat häiriöt tasoittuvat pohjoisessa hitaammin kuin etelässä.

48. Laiduntamisen vaikutukset Pohjois-Suomen metsien kasvillisuuteen

Lehmien lukumäärä metsähehtaaria kohden on Pohjois-Suomessa niin pieni, että niiden vaikutus metsien kasvipeitteeseen jää vähäiseksi. Sen sijaan poroja pidetään monin paikoin miltei korkein määrä, minkä laitumet voivat elättää. Porojen vaikutus kohdistuu erityisesti jäkälää runsaasti kasvaviin kangasmetsiin. Syömällä jäkälää porokarjat estävät jäkälän kehittymistä luontaiseen mittaansa ja rehevyyteensä. Kun poro on syönyt ja talvella kuopinut jäkälän maan tasalle, kestää n. 15—20 vuotta ennenkuin jäkäläpeite, rauhaan jätettynä, ehtii saavuttaa luontaisen korkeutensa. Jäkälän ohessa poro syö myöskin varpujen nuoria versoja ja ruohoa estäen niidenkin kehittymistä. Todennäköisesti toisaalta monien pienikokoisten, kilpailukyvyltään heikkojen sammal- ja jäkälälajien runsaus Pohjois-Suomen kankailla riippuu osaksi porojen vaikutuksesta. Myöskin männyn taimistoa on niillä runsaasti ja sitä on selitetty niin, että porot edistävät taimettumista paljastamalla mineraalimaata. Toisaalta väitetään porojen vahingoittavan taimia varsinkin talvella jäkälää lumen alta kuopiessaan.

5. METSÄTYYPPIEN MÄÄRITTÄMINEN

51. Lajien runsauden arvioiminen

Metsätyypin määrittäminen tapahtuu siten, että tarkastetaan, mitkä kasvilajit tutkittavana olevalla alalla esiintyvät, sekä kuinka runsaasti kutakin lajia on, ja tulosta verrataan esitettyihin tyyppikuvauksiin. Tämä voidaan tehdä silmämääräisesti ja verrattain vähällä harjoituksella saavutetaan täysin riittävä tarkkuus. Joskus voi kuitenkin tulla kysymykseen täsmällisen tiedon tallentaminen metsikön kasvillisuudesta ja silloin on käytettävä täsmällistä runsausasteikkoa.

Varhemmin on maassamme paljon käytetty *Norrlinin 10-asteikkoa*, joka on seuraava:

runsausarvo	1,	yksilöiden	välimatka	yli 10 m
»	2,	»	»	5 —10 m
»	3,	»	»	2 — 5 m
»	4,	»	»	1 — 2 m
»	5,	»	»	0,5 — 1 m
»	6,	»	»	0,15 — 0,5 m
»	7,	»	»	0,025— 0,15 m

Korkeimmat runsausarvot määritetään sen mukaan, kuinka suuri on muiden, seassa esiintyvien lajien runsaus yhteensä:

runsausarvo	8,	sekoituksen	runsausarvo	6—7,5
»	9,	»	»	4—6
»	10,	»	»	1—4

Nykyisin käytetään kasvillisuustutkimuksissa yleisimmin ns. *ruutuarviointia*, jolloin tutkitaan määrämatkojen päähän sijoitettujen, tavallisesti 1 m² tai 0,25 m² näyteruutujen kasvipeite, merkiten muistiin kultakin ruudulta sen lajit ja kunkin lajin peittävyyden prosenteissa tai kymmenesosissa ruudun pinta-alasta ja laskemalla sitten, kuinka monella ruudulla kymmenestä tai sadasta laji esiintyy (useusarvo) ja suuriko on sen peittävyys keskimäärin (peittävyysarvo). 0,25 m²:n ruutuja on tutkittava 0,1 hehtaarin alalta ainakin n. 20 kpl.

52. Metsäkasvillisuuden laikkuisuus

Metsäkasvillisuus vaihtelee enemmän tai vähemmän joka askeleella. Monet sen vaihteluista riippuvat kuitenkin pelkästään satunnaisista seikoista, esim. siitä, minkä lajin siemen on mihinkin kohtaan sattunut putoamaan. Myöskin puuyksilöiden paikat riippuvat suureksi osaksi tästä. Usein havaitaan, että kasvillisuus on puiden alustoissa välikköjen kasvillisuudesta eroava. Metsän kasvillisuus on siten laikuttaista, mutta näiden laikkujen sijainti ei riipu kasvupaikkaeroavaisuuksista vaan sattumasta, ne eivät myöskään ole pysyvänlaatuisia, vaan häviävät puun kuoltua. Ne on siten käsitettävä vain kasvillisuuden *rakennepiirteiksi*, eikä eri kasviyhdyskunniksi. Saman laatuisia ovat monet muut kasvillisuuslaikut. Metsässä kasvien siemenelliselle lisääntymiselle on yleensä olemassa huonot edellytykset, siksi hyvin monet lajit turvautuvat lisääntymisessään ja leviämisessään voimakkaisiin rönsyihin ja juurakkoihin ja esiintyvät sen johdosta laikuttaisesti. Kun kasvullisesti laajenevat laikut voivat ajan mittaan saavuttaa kymmenienkin metrien läpimitan ja saattavat silloin näyttää itsenäisiltä yhdyskunnilta, on varovaisuus tarpeen, ettei niille erehdytä antamaan tyyppien erottelussa ja rajoittelussa suurempaa merkitystä kuin ne ansaitsevat. Tällaisten ilmiöiden vuoksi on välttämätöntä metsäkasvillisuutta tyypin määrittämistä varten tarkastettaessa tai analysoitaessa ulottaa havainnot riittävän laajalle alalle, jotta satunnaiset ja rakennepiirteet voidaan erottaa kasvupaikan määräämistä ominaispiirteistä. Tyyppiä määritettäessä pitäisi näytealan (koealan) olla vähintäänkin 0,1 ha:n laajuinen. Kuvioiden pienuuden takia ollaan kuitenkin väliin valitettavasti pakotetut tyytymään pienempiinkin aloihin.

53. Tyyppikuvioiden rajoittaminen

Raja kahden tyyppikuvion välillä luonnossa on usein varsin selvä ja jyrkkä, mutta jos maasto on laakeata ja kasvupaikkojen laadun muutos vähittäinen, voi tyypin rajan täsmälleen määrittäminen olla vaikeata. Parasta on silloin menetellä siten, että ensin todetaan, mihin asti tyyppiin varmasti kuuluva kasvillisuus ulottuu kumpaisenkin tyypin puolella, ja jakaa epävarma välialue kahtia. Kun todellisuudessa jyrkkää rajakohtaa ei ole enempää kasvillisuudessa kuin puiden kasvussa, tämä menetelmä on riittävän »puolueeton». Vain hätätilassa on mentävä erottelemaan »välimuotoja» (esim. VT—MT).

Tyyppikuviot sijaitsevat yleensä hyvässä järjestyksessä, esim. rinteellä siten, että alhaalla on tuoretta kangasmetsää ellei suorastaan lehtoa, ylempänä asteittain kuivempien ja huonompien tyyppien kuvioita. Väliin voi muutos kuitenkin olla niin lyhyellä matkalla tapahtuva, että välityyppi jää käytännössä pois.

54. Valikkolajit [1])

Kutakin metsätyyppiä luonnehtii koko se lajisto, joka sen kasvustoissa esiintyy — kukin laji omalta osaltaan ja omalla tavallaan. Sellaisia lajeja, jotka esiintyisivät vain yhdessä tyypissä ei maassamme ole, mutta moni laji esiintyy kuitenkin useimmin tai parhaiten toimeentulevana yhdessä määrätyssä tai parissa tyypissä; jossain toisessa se voi olla harvinainen, kolmannessa tuskin lainkaan tavattava. Tällä suhtautumisellaan se luonnehtii itse kutakin noista tyypeistä. Mitä useampaan lajiin kiinnitämme huomiomme, sitä tarkemman kuvan tyypistä saamme, sitä varmemmin sen tunnemme. Kun metsätyyppejä tieteellisesti selvitetään, huomio onkin kohdistettava mahdollisuuksien mukaan niiden koko lajistoon.

Kasvilajeja on kuitenkin paljon. Sen vuoksi on käytännössä jouduttu harkitsemaan, onko mahdollista tuntea tyyppejä ottaen huomioon vain valittuja lajeja, jotka jokainen voisi verrattain helposti oppia tuntemaan. Tähän kysymykseen voidaan vastata myöntävästi, mutta vain määrätyin ehdoin. Se on mahdollista, jos liikutaan suppealla, ilmastollisesti ja lajistollisesti yhtenäisellä alueella, jonka metsätyypit on jo hyvin tutkittu. Jos sitävastoin siirrytään toiselle ilmastoalueelle, saattaa lajien esiintymissuhteissa ilmetä muutoksia ja tulevat vastaan uudet tyypit.

Yleiskatsauksen saamiseksi ja edellä esitettyjen kasvillisuuskuvausten täydennykseksi esitämme tässä asetelman, jossa on esitetty valikoitujen lajien suhtautuminen eri metsätyyppeihin. On nimenomaan korostettava, että se soveltuu vain Etelä- ja Keski-Suomeen, eikä varauksitta sinnekään. Usea näistä lajeista puuttuu jo Keski-Suomestakin, ja esim. Pohjanmaan ja Keski-Suomen lajistossa on melkoisia eroavuuksia. Moni Keski-Suomessa yleinen metsäkasvilaji puuttuu tai on harvinainen Pohjanmaalla, kuten esim. sananjalka, metsäkastikka, kielo, lillukka, ahomansikka, sarjakeltano, häränsilmä ja usea muu lämpimien rinteiden laji. Tällaiset eri seutujen erikoispiirteet on otettava huomioon, kun valikkolajikaavaa sovelletaan.

Huomautettakoon vielä siitä, että oheenliitetyn asetelmamme tyyppisarakkeet eivät kuvaa mitään kasvustoja — tarkoitus on esittää vain kunkin lajin suhtautuminen eri tyyppeihin. Sitä osoittamaan ei ole käytetty myöskään todellisia useus- ja peittävyysarvoja tai niiden keskimääriä. Asianlaita on nimittäin se, että toiset lajit esiintyvät luonnossa säännöllisesti runsaslukuisempina kuin toiset. Esim. lehdokki ei esiinny milloinkaan niin runsaslukuisena kuin kielo, metsätähti ei niin runsaana kuin käenkaali — vaikka niiden toimeentulo voi olla yhtä hyvä. Niiden *ominaisrunsaus on erilainen*. Kun tarkoituksena on ollut ilmaista, miten kukin laji suhtautuu kuhunkin tyyppiin, on ominaisrunsauden häiritsevää vaikutusta koetettu eliminoida pois, ja lajin suhtautumista on arvosteltu käyttäen lähtökohtana sitä, miten runsaana ja hyvin kehittyneenä se parhaissa (optimi-) tapauksissa esiintyy.

Pohjois-Suomen metsätyyppien osalta esitetään yleisimpien metsäkasvien esiintyminen erikseen asetelmassa ss. 35—37.

[1]) Valikkolajit: valikoima eri metsätyypeille tunnusomaisia lajeja. LL.

Eräiden kasvilajien esiintyminen Etelä- ja Keski-Suomen metsätyyppeissä

\+ esiintyminen satunnaista — *occasional*

1 kohtalaisesti toimeentuleva — *thrives rather well*

2 hyvin toimeentuleva — *thrives well*

3 erittäin hyvin toimeentuleva — *thrives very well*

— huonosti toimeentuleva — *does not thrive at all*

ClT jäkälätyyppi (*Cladina*-t.)
CT kanervatyyppi (*Calluna*-t.)
VT puolukkatyyppi (*Vaccinium*-t.)
MT mustikkatyyppi (*Myrtillus*-t.)
OMT käenkaali-mustikkatyyppi (*Oxalis-Myrtillus*-t.)
OT käenkaalityyppi (*Oxalis*-t.)
FT saniaistyyppi (*Filices*-t.)
VRT kuivalehtotyyppi (*Vaccinium-Rubus*-t.)
PyT talvikkityyppi (*Pyrola*-t.)

Eri ryhmissä lajit on järjestetty suunnilleen vaateliaisuuden mukaan, vaatimattomista alkaen.

	ClT	CT	VT	MT	OMT	OT	FT	VRT	PyT	Aukeat *Openings*
Puita:										
Haapa (*Populus tremula*)	—	+	+	1	2	3	2	2	1	3
Pihlaja (*Sorbus aucuparia*)	—	+	1	1	2	3	3	2	1	3
Harmaaleppä (*Alnus incana*)	—	—	+	+	1	2	2	—	1	3
Tuomi (*Prunus padus*)	—	—	—	—	1	3	2	1	—	1
Metsälehmus (*Tilia cordata*)	—	—	—	—	1	3	2	1	—	2
Vaahtera (*Acer platanoides*)	—	—	—	—	—	2	+	1	—	2
Pensaita:										
Kataja (*Juniperus communis*)	—	1	2	2	1	1	—	3	2	3
Vadelma (*Rubus idaeus*)	—	—	—	+	1	2	2	2	—	3
Paatsama (*Frangula alnus*)	—	—	—	+	1	1	3	—	1	2
Metsäruusu (*Rosa majalis*)	—	—	—	1	1	1	—	2	2	3
Lehtokuusama (*Lonicera xylosteum*)	—	—	—	—	1	2	1	3	—	1
Näsiä (*Daphne mezereum*)	—	—	—	—	+	3	2	+	—	—
Koiranheisi (*Viburnum opulus*)	—	—	—	—	—	2	3	+	—	1
Mustaherukka (*Ribes nigrum*)	—	—	—	—	—	1	3	—	—	1
Varpuja:										
Sianpuolukka (*Arctostaphylos uva-ursi*)	1	2	1	—	—	—	—	—	—	2
Variksenmarja (*Empetrum nigrum*)	1	1	1	+	—	—	—	—	—	—
Keltalieko (*Diphasium complanatum*)	+	2	2	+	—	—	—	—	—	—
Kanerva (*Calluna vulgaris*)	1	3	2	+	—	—	—	+	—	3
Puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*)	1	2	3	2	2	1	1	1	—	—
Mustikka (*Vaccinium myrtillus*)	—	1	2	3	3	1	1	1	1	—
Vanamo (*Linnaea borealis*)	1	+	1	3	2	+	+	—	2	—
Riidenlieko (*Lycopodium annotinum*)	—	—	1	2	2	+	1	—	—	—
Ketunlieko (*Huperzia selago*)	—	—	—	+	1	1	3	—	—	1
Ruohokasveja:										
Heinämäisiä:										
Lampaannata (*Festuca ovina*)	1	1	+	—	—	—	—	—	1	3
Hietakastikka (*Calamagrostis epigejos*)	—	2	2	1	—	—	—	1	—	3
Metsälauha (*Deschampsia flexuosa*)	—	1	2	2	1	+	—	1	2	3

	ClT	CT	VT	MT	OMT	OT	FT	VRT	PyT	Aukeat *Openings*
Metsäkastikka (*Calamagrostis arundinacea*) .	—	+	1	2	2	2	+	3	1	3
Kevätpiippo (*Luzula pilosa*)	—	—	1	2	3	2	1	+	2	1
Sormisara (*Carex digitata*)	—	—	—	+	3	2	1	3	+	1
Nuokkuhelmikkä (*Melica nutans*)	—	—	—	+	2	2	1	3	—	2
Tesma (*Milium effusum*)	—	—	—	—	+	3	2	—	—	+
Yrttimäisiä sanikkaisia:										
Sananjalka (*Pteridium aquilinum*)	—	—	+	1	1	1	1	2	—	3
Metsäimarre (*Gymnocarpium dryopteris*) ...	—	—	—	+	3	2	3	1	1	—
Metsäalvejuuri (*Dryopteris carthusiana*) ...	—	—	—	+	1	2	3	—	—	—
Metsäkorte (*Equisetum sylvaticum*)	—	—	—	+	+	1	2	—	1	1
Soreahiirenporras (*Athyrium filix-femina*) .	—	—	—	—	+	1	3	—	—	—
Isoalvejuuri (*Dryopteris assimilis*)	—	—	—	—	+	1	3	—	—	—
Lehtokorte (*Equisetum pratense*)	—	—	—	—	+	3	2	1	—	2
Kotkansiipi (*Matteuccia struthiopteris*)	—	—	—	—	—	—	3	—	—	1
Yrttimäisiä yksisirkkaisia:										
Yövilkka (*Goodyera repens*)	—	—	+	2	2	—	—	—	1	—
Oravanmarja (*Maianthemum bifolium*)	—	—	—	2	3	3	1	+	3	—
Lehdokki (*Platanthera bifolia*)	—	—	—	1	2	2	1	+	+	—
Sudenmarja (*Paris quadrifolia*)	—	—	—	—	+	3	2	1	1	—
Yrttimäisiä kaksisirkkaisia:										
Kissankäpälä (*Antennaria dioica*)	1	2	1	—	—	—	—	1	1	3
Sarjakeltano (*Hieracium umbellatum*)	—	2	2	1	—	—	—	2	1	3
Häränsilmä (*Hypochoeris maculata*)	—	2	1	+	—	—	—	2	—	2
Kangasmaitikka (*Melampyrum pratense*) ...	—	1	3	3	2	1	1	2	2	1
Keltatalvikki (*Pyrola chlorantha*)	—	1	1	1	+	—	—	+	—	—
Kultapiisku (*Solidago virgaurea*)	—	+	1	2	2	2	2	3	2	3
Maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) ...	—	1	+	+	1	2	2	1	—	3
Lillukka (*Rubus saxatilis*)	—	—	1	2	2	2	1	3	2	3
Metsätähti (*Trientalis europaea*)	—	+	2	3	3	2	2	+	3	—
Nuokkutalvikki (*Orthilia secunda*)	—	—	1	2	3	2	1	1	3	—
Aho-orvokki (*Viola canina* subsp. *montana*)	—	—	+	1	1	+	—	2	1	3
Isotalvikki (*Pyrola rotundifolia*)	—	—	—	+	1	2	2	—	3	1
Metsämaitikka (*Melampyrum sylvaticum*) ..	—	—	—	2	3	2	2	+	2	1
Karhunputki (*Angelica sylvestris*)	—	—	—	+	1	2	2	—	1	2
Valkovuokko (*Anemone nemorosa*)	—	—	—	+	2	3	1	—	2	2
Metsäorvokki (*Viola riviniana*)	—	—	—	+	2	3	1	1	+	2
Metsäkurjenpolvi (*Geranium sylvaticum*) ..	—	—	—	+	2	2	1	2	1	3
Käenkaali (*Oxalis acetosella*)	—	—	—	+	3	3	2	+	1	—
Ahomansikka (*Fragaria vesca*)	—	—	—	—	2	2	1	3	2	3
Purtojuuri (*Succisa pratensis*)	—	—	—	—	—	+	+	—	1	3
Sinivuokko (*Hepatica nobilis*)	—	—	—	—	2	3	1	2	—	—
Vuohenputki (*Aegopodium podagraria*)	—	—	—	—	1	2	2	1	—	3
Kevätlinnunherne (*Lathyrus vernus*)	—	—	—	—	1	3	2	3	+	—
Koiranputki (*Anthriscus sylvestris*)	—	—	—	—	+	2	2	—	—	3
Lehto-orvokki (*Viola mirabilis*)	—	—	—	—	—	3	1	2	—	—

	ClT	CT	VT	MT	OMT	OT	FT	VRT	PyT	Aukeat *Openings*
Mustakonnanmarja (*Actaea spicata*)	—	—	—	—	—	3	2	2	—	—
Lehtomatara (*Galium triflorum*)	—	—	—	—	—	2	2	3	—	—
Imikkä (*Pulmonaria obscura*)	—	—	—	—	—	3	1	—	—	—
Kaiheorvokki (*Viola selkirkii*)	—	—	—	—	—	3	2	—	—	—
Lehtotähtimö (*Stellaria nemorum*)	—	—	—	—	—	2	3	—	—	1
Velholehti (*Circaea alpina*)	—	—	—	—	—	2	3	—	—	1
Lehtopalsami (*Impatiens nolitangere*)	—	—	—	—	—	1	3	—	—	1
Lehtopähkämö (*Stachys sylvatica*)	—	—	—	—	—	2	3	—	—	1
Suokeltto (*Crepis paludosa*)	—	—	—	—	—	1	3	—	—	1
Nokkonen (*Urtica dioica*)	—	—	—	—	—	1	3	—	—	2
Kevätlinnunsilmä (*Chrysosplenium alternifolium*)	—	—	—	—	—	—	2	—	—	1
S a m m a l i a:										
Karvalehtikarhunsammal (*Polytrichum piliferum*)	2	1	—	—	—	—	—	—	—	3
Kangaskarhunsammal (*P. juniperinum*)	1	2	1	—	—	—	—	—	—	3
Kulosammal (*Ceratodon purpureus*)	1	1	—	—	—	—	—	—	—	3
Nuokkuvarstasammal (*Pohlia nutans*)	1	1	+	—	—	—	—	—	—	3
Turpeakynsisammal (*Dicranum spurium*)	1	2	1	—	—	—	—	—	—	3
Seinäsammal (*Pleurozium schreberi*)	+	2	3	3	2	+	—	2	3	—
Kangaskynsisammal (*Dicranum polysetum*)	+	2	3	3	2	—	—	1	2	1
Metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*)	—	+	2	3	3	+	—	2	3	—
Sulkasammal (*Ptilium crista-castrensis*)	—	—	1	3	3	+	—	—	1	—
Isokynsisammal (*Dicranum majus*)	—	—	—	2	3	1	—	—	1	—
Metsäliekosammal (*Rhytidiadelphus triquetrus*)	—	—	—	1	2	3	—	1	2	—
Metsäsuikerosammal (*Brachythecium curtum*)	—	—	—	+	1	3	—	—	—	—
Ruusukesammal (*Rhodobryum roseum*)	—	—	—	—	1	3	—	—	+	—
Isolehväsammal (*Plagiomnium medium*)	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—
Lehtolehväsammal (*P. affine*)	—	—	—	—	—	3	—	—	+	—
Kaunisliekosammal (*Rhytidiadelphus subpinnatus*)	—	—	—	—	—	3	2	—	—	—
Kastesammal (*Plagiochila asplenioides*)	—	—	—	—	—	3	3	—	—	—
Himmeäkerrossammal (*Hylocomium umbratum*)	—	—	—	—	—	2	3	—	—	—
Isomyyränsammal (*Atrichum undulatum*)	—	—	—	—	—	3	—	—	—	2
Lehtohaivensammal (*Cirriphyllum piliferum*)	—	—	—	—	—	3	2	—	—	—
Palmusammal (*Climacium dendroides*)	—	—	—	—	—	1	2	—	1	3
Kiiltolehväsammal (*Pseudobryum cinclidioides*)	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—
J ä k ä l i ä:										
Torvijäkälät (*Cladonia* spp.)	3	2	1	—	—	—	—	—	—	3
Tinajäkälät (*Stereocaulon tomentosum*, *S. paschale*)	2	1	—	—	—	—	—	—	—	3
Palleroporonjäkälä (*Cladonia alpestris*)	3	2	—	—	—	—	—	—	—	2
Valkeaporonjäkälä (*C. arbuscula*)	3	2	1	+	—	—	—	—	—	2
Harmaaporonjäkälä (*C. rangiferina*)	2	3	2	+	—	—	—	—	—	2
Isohirvenjäkälä (*Cetraria islandica*)	2	2	+	—	—	—	—	—	—	3

Eräiden kasvilajien esiintyminen Pohjois-Suomen metsätyypeissä

Seuraava asetelma tarjoaa yleiskatsauksen yleisimpien Pohjois-Suomen metsäkasvien viihtymisestä eri metsätyyppeissä.

Kainuun vyöhyke

CMClT kanerva-mustikka-jäkälätyyppi (*Calluna-Myrtillus-Cladina*-t.)
EVT variksenmarja-puolukkatyyppi (*Empetrum-Vaccinium*-t.)
p.MT pohjoinen mustikkatyyppi (*Myrtillus*-t. *borealis;* MT, bor.)
DMT metsäimarre-mustikkatyyppi (*Dryopteris-Myrtillus*-t.)
Lehdot (*Typi Herbosi*)

Etelä-Lapin eli Peräpohjolan vyöhyke

ErClT varpu-jäkälätyyppi (*Ericaceae-Cladina*-t.)
EMT variksenmarja-mustikkatyyppi (*Empetrum-Myrtillus*-t.)
HMT seinäsammal-mustikkatyyppi (*Hylocomium-Myrtillus*-t.)
CoDMT ruohokanukka-metsäimarre-mustikkatyyppi (*Cornus-Dryopteris-Myrtillus*-t.)
Lehdot (*Typi Herbosi*)

Pohjois-Lapin havumetsävyöhyke

ErCloT varpu-jäkälätyyppi (*Ericaceae-Cladonia*-t.)
ErHT varpu-seinäsammaltyyppi (*Ericaceae-Hylocomium*-t.)
LeHT suopursu-seinäsammaltyyppi (*Ledum-Hylocomium*-t.)

Lapin koivumetsävyöhyke

ErClT varpu-jäkälätyyppi (*Ericaceae-Cladina*-t.)
CoMT ruohokanukka-mustikkatyyppi (*Cornus-Myrtillus*-t.)
GDMT metsäimarre-kurjenpolvi-mustikkatyyppi (*Geranium-Dryopteris-Myrtillus*-t.)
Lehdot (*Typi Herbosi*)

\+ esiintyminen satunnaista — *occasional*
1 kohtalaisesti toimeentuleva — *thrives rather well*
2 hyvin toimeentuleva — *thrives well*
3 erittäin hyvin toimeentuleva — *thrives very well*
— huonosti toimeentuleva — *does not thrive at all*

	Kainuu					Etelä-Lappi					Pohjois-Lappi			Lapin koivuvyöhyke			
	CMClT	EVT	p.MT	DMT	Lehdot	ErClT	EMT	HMT	CoDMT	Lehdot	ErCloT	ErHT	LeHT	ErClT	CoMT	GDMT	Lehdot
Puita:																	
Haapa (*Populus tremula*)	—	+	1	2	2	—	+	1	1	2	—	—	—	—	—	—	—
Pihlaja (*Sorbus aucuparia*)	—	+	1	2	3	—	+	1	2	3	—	—	—	—	1	1	2
Harmaaleppä (*Alnus incana*)	—	—	+	1	1	—	—	—	+	1	—	—	—	—	—	—	+
Tuomi (*Prunus padus*)	—	—	—	—	2	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Pensaita:																	
Kataja (*Juniperus communis*)	—	1	2	3	2	—	2	2	3	2	1	1	2	1	2	3	2
Punaherukka (*Ribes spicatum*)	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Varpuja:																	
Sianpuolukka(*Arctostaphylos uva-ursi*)	2	+	—	—	—	2	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
Kanerva (*Calluna vulgaris*)	2	1	—	—	—	+	2	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—

	Kainuu					Etelä-Lappi					Pohjois-Lappi			Lapin koivuvyöhyke			
	CMClT	EVT	p.MT	DMT	Lehdot	ErClT	EMT	HMT	CoDMT	Lehdot	ErCloT	ErHT	LeHT	ErClT	CoMT	GDMT	Lehdot
Variksenmarja (*Empetrum nigrum*)	2	2	1	+	—	2	3	2	+	—	2	3	3	3	3	3	1
Keltalieko (*Diphasium complanatum*)	1	1	+	+	—	1	1	+	—	—	1	2	1	1	+		
Puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*)	2	3	2	2	1	2	3	2	2	1	2	3	3	3	2	2	2
Mustikka (*V. myrtillus*)	1	2	3	3	1	2	3	3	3	1	1	3	3	2	3	3	2
Vanamo (*Linnaea borealis*)	—	1	2	3	1	—	1	2	3	1	—	+	1	+	2	3	2
Riidenlieko (*Lycopodium annotinum*)	—	1	2	2	1	—	1	2	2	1	—	1	1		1	2	2
Juolukka (*Vaccinium uliginosum*)	—	+	+	+	+	—	+	+	+	+	—	2	2	+	1	1	—
Suopursu (*Ledum palustre*)	—	+	1	—	—	—	—	+	+	—	—	1	2	—	—	—	—
Ruohokasveja:																	
Heinämäisiä:																	
Lampaannata (*Festuca ovina*)	+	—	—	—	—	1	—	—	—	—	+	1	1	1	+	+	—
Metsälauha (*Deschampsia flexuosa*)	1	2	3	3	2	1	2	3	3	—	1	2	2	2	3	3	3
Lapinkastikka (*Calamagrostis lapponica*)	—	1	1	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kevätpiippo (*Luzula pilosa*)	+	1	2	2	3	—	1	2	2	—	—	—	—	—	+	2	2
Nuokkuhelmikkä (*Melica nutans*)	—	—	—	1	2	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	1
Tesma (*Milium effusum*)	—	—	—	+	2	—	—	—	+	2	—	—	—	—	—	—	1
Yrttimäisiä sanikkaisia:																	
Metsäimarre (*Gymnocarpium dryopteris*)	—	—	1	3	3	—	—	1	3	3	—	—	—	—	+	3	3
Hiirenporras (*Athyrium filix-femina, A. distentifolium*)	—	—	—	—	3	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	3
Isoalvejuuri (*Dryopteris assimilis*)	—	—	—	—	3	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	3
Kotkansiipi (*Matteuccia struthiopteris*)	—	—	—	—	3	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	3
Yrttimäisiä yksisirkkaisia:																	
Oravanmarja (*Maianthemum bifolium*)	—	+	1	2	3	—	—	+	1	1	—	—	—	—	—	—	—
Pussikämmekkä (*Coeloglossum viride*)	—	—	—	—	2	—	—	+	1	1	—	—	—	—	—	—	2
Sudenmarja (*Paris quadrifolia*)	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Yrttimäisiä kaksisirkkaisia:																	
Kangasmaitikka (*Melampyrum pratense*)	1	2	3	2	1	1	2	2	2	—	—	—	—	+	3	3	1
Kultapiisku (*Solidago virgaurea*)	+	1	2	2	2	1	1	2	3	3		1	1	1	2	3	3
Maitohorsma (*Epilobium angustifolium*)	+	+	1	2	2	+	+	1	2	2	+	1	1	+	+	1	3
Metsätähti (*Trientalis europaea*)	—	1	2	2	2	—	—	1	2	2	—	—	1	—	2	3	3
Nuokkutalvikki (*Orthilia secunda*)	—	+	1	1	2	—	—	1	2	1	—	—	—	—	—	1	2
Ruohokanukka (*Cornus suecica*)	—	—	1	1	2	—	—	1	2	2	—	—	1	—	3	3	3
Lillukka (*Rubus saxatilis*)	—	—	+	1	2	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	1
Metsämaitikka (*Melampyrum sylvaticum*)	—	1	2	3	2	—	—	2	3	3	—	—	—	—	1	2	3
Metsäkurjenpolvi (*Geranium sylvaticum*)	—	—	+	2	3	—	—	+	2	3	—	—	—	—	—	2	3

	Kainuu					Etelä-Lappi					Pohjois-Lappi			Lapin koivuvyöhyke			
	CMCIT	EVT	P.MT	DMT	Lehdot	ErCIT	EMT	HMT	CoDMT	Lehdot	ErCloT	ErHT	LeHT	ErCIT	CoMT	GDMT	Lehdot
Käenkaali (*Oxalis acetosella*)	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kullero (*Trollius europaeus*)	—	—	—	+	2	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	1	3
Lääte (*Saussurea alpina*)	—	—	—	—	2	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	2
Suokeltto (*Crepis paludosa*)	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nokkonen (*Urtica dioica*)	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pohjansinivalvatti (*Cicerbita alpina*)	—	—	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	+
Sammalia:																	
Korallisammal (*Ptilidium ciliare*) ..	1	—	—	—	—	2	—	—	—	—	2	1	—	2	—	—	—
Karvalehtikarhunsammal (*Polytrichum piliferum*)	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	2	1	—	1	—	—	—
Kangaskarhunsammal (*P. juniperinum*)	2	1	—	—	—	2	1	+	—	—	2	2	1	2	—	—	—
Kangaskynsisammal (*Dicranum polysetum*)		2	2	1	—	+	2	1	+	—	—	+	—	—	—	—	—
Himmeäkynsisammal (*D. fuscescens*)	2	3	1	—	—	2	3	2	+	—	—	1	2	2	2	1	—
Seinäsammal (*Pleurozium schreberi*) .		2	3	3	1	1	3	3	2	+	—	+	3				
Metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*)	—	1	3	3	2	1	2	3	3	1	—	+	3	+	3	3	2
Sulkasammal (*Ptilium crista-castrensis*)	—	—	2	2	2	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Isokynsisammal (*Dicranum majus*) .	—	—	2	3	2	—	1	2	2	—	—	1	1	+	3	3	2
Korpikarhunsammal (*Polytrichum commune*)			1	2	1		1	2	2	2		1	1	1	2	2	2
Vaarapykäsammal (*Barbilophozia lycopodioides*)	—	—	1	1	1	—	—	1	2	2	—	—	—	—	—	—	2
Metsäliekosammal (*Rhytidiadelphus triquetrus*)	—	—		2	2	—	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—	—
Ruusukesammal (*Rhodobryum roseum*)	—	—	—	1	3	—	—	—	2	3	—	—	—	—	—	2	2
Lehväsammalet (*Mnium* spp.)	—	—	—	1	3	—	—	—	1	3	—	—	—	—	—	—	1
Jäkäliä:																	
Torvijäkälät (*Cladonia* spp.)	3	1	—	—	—	3	2	1	—	—	3	2	2	3	2	1	—
Tinajäkälät (*Stereocaulon* spp.)	2	—	—	—	—	2	—	—	—	—	2	1	—	2	—	—	—
Palleroporonjäkälä (*Cladonia alpestris*)	1	—	—	—	—	2	—	—	—	—	2	1	—	2	—	—	—
Sileätorvijäkälä (*C. gracilis* var. *elongata*)	1	2	—	—	—	2	2	1	—	—	2	2	2	3	2	+	—
Valkeaporonjäkälä (*C. arbuscula*) ..	2	2	1	—	—	3	2	1	—	—	3	3	2	3	+	—	—
Harmaaporonjäkälä (*C. rangiferina*)	3	2	1	—	—	3	2	1	—	—	2	3	2	2	1	+	—
Isohirvenjäkälä (*Cetraria islandica*) .	2	1	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pohjolankorvajäkälä (*Nephroma arcticum*)	+	1	+	—	—	1	2	1	—	—	—	1	1	1	+	+	—
Pilkukasnahkajäkälä (*Peltigera aphthosa*)	1	2	2	1	—	—	2	1	—	—	—	1	1	1	+	+	—

55. Puusto ja puiden kasvu metsätyypin tunnuksena

Metsätyyppejä käytetään varsin erilaisiin tarkoituksiin, mutta sikäli kun erikoistarkoituksena on puiden toimeentulo- ja kasvumahdollisuuksien toteaminen eri paikoilla luonnossa, saattaisi etukäteen tuntua mutkattomimmalta tieltä se, että kunkin paikan hyvyys määritetään sen perusteella, mitä puulajeja sillä kasvaa ja miten hyvä niiden kasvu on. Kun puusto kuuluu tärkeänä osana metsäkasvillisuuteen, on tämä ajatus toisaalta myöskin metsätyyppiopin mukainen. Kasvillisuuden puustollisten ominaisuuksien perusteella aikaansaatavan kasvupaikkaluokituksen ei siis myöskään pitäisi olla ristiriidassa muuhun kasvillisuuteen perustuvan luokituksen kanssa.

Tapana onkin tyyppikuvauksissa esittää myös *puulajisuhteet* ja ne osoittavat usein eri tyypeissä luonteenomaisia eroavaisuuksia. Kuitenkin on muistettava, että puulajisto voi muuttua esim. palon ja hakkuun johdosta, harvennukset ja harsinnat muuttavat sen koostumusta, ja nykyisin jo kylvetään ja istutetaan metsiköitä keinollisestikin. Pelkästään puulajisuhteiden perusteella ei ilmeisesti voida päästä tyydyttävään kasvupaikkaluokitukseen metsissämme.

Puiden *kasvun ja koon* käyttämiseen kasvupaikkojen hyvyysluokitukseen tarjoavat Yrjö Ilvessalon laatimat kasvu- ja tuottotaulut hyviä mahdollisuuksia. Mainitut taulut on laadittu juuri metsätyyppiluokituksen pohjalta, joten niiden avulla voidaan päinvastoin kulkien puiden koosta ja kasvusta päätellä tyyppi. Hyvin suositeltavaa olisikin, että kasvu- ja tuottotauluja käytettäisiin apuna ja tarkistuksena tyyppimäärityksiä suoritettaessa.

Tyyppien määrityksiin soveltuvat hyvin mm. valtapuupituudet. Otamme tähän mainituista kasvu- ja tuottotauluista muutamia tasaikäisten, luonnonnormaalien metsiköiden valtapuupituusarvoja.

Metsätyyppi	metsikön ikä, v.						
	20	40	60	80	100	120	140
			mänty-valtapuiden pituus, m				
ClT	1,0	4,0	7,0	9,3	11,0	12,5	13,0
CT	2,6	7,9	12,9	16,6	18,9	20,5	21,7
VT	4,5	11,8	17,6	21,2	23,2	24,5	25,7
MT	6,7	14,9	21,1	25,0	26,8	28,2	29,2
			kuusi-valtapuiden pituus, m				
MT	3,3	9,8	15,6	19,5	21,9	23,7	25,1
OMT	4,8	13,5	19,1	23,0	26,1	28,4	30,1
			koivu-valtapuiden pituus, m				
VT	5,6	12,7	16,9	19,4	20,6		
MT	6,3	14,2	20,4	24,1	—		
OMT	6,9	15,2	23,0	26,7	—		
OT	8,0	17,0	24,9	29,4	—		

Vissi varovaisuus on kuitenkin tarpeen. Ilvessalon taulut koskevat luonnonnormaaleja metsiköitä. Vain harvoin voidaan otaksua, että nykymetsikön kasvu vastaa luonnonnormaalia. Niinkuin hyvästä pellosta voidaan väliin saada huono

sato ja huonosta hyvällä hoidolla hyvä, myöskin metsiköiden kasvu ja tuotto vaihtelee melkoisesti siitä riippuen, miten metsää on hoidettu ja käsitelty. Myöskin metsässä sattuneiden *tuhojen* määrä, eri vuosijaksojen sääsuhteet, taudit, vieläpä puiden rotu ym. seikat voivat aiheuttaa poikkeamia kasvupaikan edellyttämästä normaalikasvusta. Tämän vuoksi ei puuston kasvunkaan perusteella suinkaan aina päästä määrittämään kasvupaikan tuottokykyä eli boniteettia oikein, vaan voidaan saada liian hyviä tai liian huonoja arvioita. Lisäksi tulee se tosiasia, että säännöllistä metsikköä ei ole aina joka metsäkuviolla tarjona mitattavaksi, saattaapa se puuttua kokonaankin. Todennäköisesti metsikön kasvillisuus kokonaisuudessaan, ts. metsätyyppi, on monessa tapauksessa luotettavampi ja käyttökelpoisempi kasvupaikan hyvyyden osoittaja kuin pelkkä puusto, puiden koko ja kasvu.

56. Ylitiheät metsiköt

Verrattain tavallista on, että metsikkö muodostuu niin tiheäksi, että myöskin varjostusta sietävät metsäkasvit menehtyvät sen alla. Näin käy varsinkin nuorenpuoleisissa ja keski-ikäisissä kuusikoissa, erittäinkin kylvetyissä ja istutetuissa. Äärimmäistapauksissa vain neulaskarikepeite peittää maan, usein on kuitenkin sammalikko kyennyt kehittymään, mutta varvukko ja ruohikko jäänyt muodostumatta tai hävinnyt (»puhdas *Hylocomium*-tyyppi»). Tällaisissa tapauksissa tyypin määrittäminen vaikeutuu, on turvauduttava pääasiassa sammaliin ja niihin putkilokasvien rippeisiin, joita siellä täällä melkein aina kuitenkin esiintyy. Onneksi myöskin monet tyypin määrittämisessä tärkeät lajit, kuten oravanmarja, käenkaali, metsämaitikka ym. kuuluvat eniten varjostusta sietäviin kasveihin. Sammalikossa on kiinnitettävä erikoista huomiota vaateliaiden lajien, kuten metsäliekosammalen, lehväsammalien, suikerosammalien, ruusukesammalen yms. esiintymiseen. Joitakuita valopälviä saattaa myöskin ylitiheässä metsikössä olla, ja niissä tyypin kasvillisuus on paremmin kehittynyt. Erityisesti tällaisissa tapauksissa on syytä käyttää myöskin valtapuiden pituutta apuna tyypin määrittämisessä (esim. puiden paksuuteen vaikuttaa metsikön tiheysvaihtelu voimakkaammin, joten se soveltuu puheena olevassa tapauksessa huonommin kasvupaikan boniteetin ilmaisijaksi kuin valtapuiden pituus).

57. Kivisyys

Metsissämme on hyvin usein kiviä ja kantoja, joiden kasvillisuus on aivan toisenlainen kuin maanpinnan. Tätä poikkeavaa kasvillisuutta ei oteta lainkaan huomioon metsätyyppejä käytännössä määritettäessä, vaan huomio on kohdistettava yksinomaan normaalin maanpinnan kasvillisuuteen. Samasta syystä on myöskin metsämaassa olevat alaltaan vähäiset painanteet ja kuopat jätettävä huomiotta, koska niissäkin suuremman kosteuden, karikkeiden kasaantumisen jne. vuoksi kasvillisuus on normaa-

lista poikkeavaa. — On kuitenkin kysyttävä, onko varsinkin kivisyydellä vaikutusta myöskin metsän tuottoon?

Tätä kysymystä tuskin on vielä lopullisesti ja kaikkien tapausten varalta selvitetty. Vähäisempi kivisyys tuskin huonontaa lainkaan kasvupaikkaa, mutta ilmeistä on, että jos maa on kovin kivistä, sen tuotto on huonompi kuin kivettömän maan, ja metsän kasvu on silloin ristiriidassa kivien väleissä esiintyvän kasvillisuustyypin kanssa. Suomessa on P. J. Viro tehnyt tästä tutkimuksia. Niiden mukaan tuotto on noin 25 % pienempi, jos metsämaassa on 30—60 % kiviä, ja jos kivisyys nousee yli 60 %:iin, tuotto on vain 50 % normaalista. Tämän mukaan tuotto olisi edellisessä tapauksessa arvioitava yhtä tuottoluokkaa huonommaksi (esim. MT VT:n veroiseksi), jälkimmäisessä tapauksessa kahta (MT CT:n veroiseksi). — On siis muistettava, että kivisenkin maan tyyppi on aluksi määritettävä kivien väleissä esiintyvän normaalin maanpinnan kasvillisuuden mukaan, eikä kivien päällä olevaa kasvillisuutta ole huomioon otettava lainkaan; arvon alennus on sen jälkeen suoritettava kivien määrän mukaisesti. — Mikäli puusto on säilynyt, päästään käytännössä varmimpaan tulokseen arvioimalla metsän ikä ja kuutiomäärä hehtaaria kohden, ja »tyypittämällä» tämä arvo tuottotaulujen perusteella, jos se on esim. joitain laskelmia varten tarpeellista.

LAJIHAKEMISTO

Suomalaiset nimet

alvejuuri — *Dryopteris* 17, 22, 24, 33, 36
isoa. — *D. assimilis* 17, 24, 33, 36
metsäa. — *D. carthusiana* 17, 22, 33
angervo — *Filipendula*
mesia. — *F. ulmaria* 17, 19, 20
apila — *Trifolium*
metsäa. 18, 19
haapa — *Populus tremula* 16, 17, 24, 32, 35
heisi — *Viburnum*
koiranh. — *V. opulus* 17, 32
helmikkä — *Melica*
nuokkuh. — *M. nutans* 16, 17, 18, 19, 24, 26, 33, 36
herukka — *Ribes* 17, 32, 35
mustah. — *R. nigrum* 32
punah. — *R. rubrum* 35
hiirenporras — *Athyrium* 17, 22, 24, 33, 36
soreah. — *A. filix-femina* 17, 22, 24, 33, 36
tunturih. — *A. distentifolium* 36
horsma — *Epilobium* 17, 18, 19, 23, 24, 26, 27, 28, 33, 36
maitoh. — *E. angustifolium* 17, 18. 19, 23, 24, 26, 33, 36
häränsilmä — *Hypochoeris maculata* 18, 19, 31, 33
imarre — *Gymnocarpium*
metsäi. — *G. dryopteris* 15, 16, 23, 24, 26, 33, 36
imikkä — *Pulmonaria obscura* 17, 34
juolukka — *Vaccinium uliginosum* 22, 24, 25, 26, 27, 36
kaisla — *Scirpus*
korpik. — *S. sylvaticus* 17
kaksikko — *Listera*
herttak. — *L. cordata* 23
kanerva — *Calluna vulgaris* 11, 14, 15, 18, 19, 23, 25, 26, 27, 28, 32, 35
kanukka — *Cornus*
ruohok. — *C. suecica* 22, 24, 26, 36
karhunputki — *Angelica sylvestris* 9, 19, 33
kastikka — *Calamagrostis* 10, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 28, 31, 32, 33, 36
hietak. — *C. epigejos* 10, 15, 18, 19, 22, 32
korpik. — *C. phragmitoides* 19
lapink. — *C. lapponica* 22, 23, 28, 36
metsäk. — *C. arundinacea* 10, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 31, 33
kataja — *Juniperus communis* 15, 16, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 35
keltano — *Hieracium* 15, 16, 20, 23, 31, 33
huopak. — *H. pilosella* 20
sarjak. — *H. umbellatum* 15, 23, 31, 33
keltto — *Crepis*
suok. — *C. paludosa* 10, 17, 20, 24, 34, 37
kielo — *Convallaria majalis* 15, 18, 22, 26 ,31
kissankäpälä — *Antennaria dioica* 14, 31, 33
koiranputki — *Anthriscus sylvestris* 17, 19, 20, 33
koiranvehnä — *Elymus caninus* 17, 19, 20
koivu — *Betula* 8, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28
hiesk. — *B. pubescens* 8, 17, 27
raudusk. — *B. pendula* 8, 24
konnanmarja — *Actaea*
mustak. — *A. spicata* 17, 18, 34
korte — *Equisetum* 8, 9, 17, 19, 20, 27, 33
lehtok. — *E. pratense* 8, 9, 17, 19, 20, 33
metsäk. — *E. sylvaticum* 8, 9, 27, 33
peltok. — *E. arvense* 8, 9
suok. — *E. palustre* 8, 9
kotkansiipi — *Matteuccia struthiopteris* 17, 24, 33, 36
kullero — *Trollius europaeus* 22, 24, 26, 37
kurjenkanerva — *Phyllodoce caerulea* 26
kurjenpolvi — *Geranium*
metsäk. — *G. sylvaticum* 16, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 33, 36
kuusama — *Lonicera*
lehtok. — *L. xylosteum* 16, 17, 19, 32
kuusi — *Picea abies* 12, 15, 16, 17, 19, 23, 24, 25, 28
käenkaali — *Oxalis acetosella* 16, 17, 18, 22, 24, 26, 31, 33, 37, 39
kärsämö — *Achillea*
siank. — *A. millefolium* 20
lauha — *Deschampsia* 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 36
metsäl. — *D. flexuosa* 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 36
nurmil. — *D. cespitosa* 18, 19
lehdokki — *Platanthera bifolia* 16, 31, 33
lehmus — *Tilia*
metsäl., niinipuu — *T. cordata* 17, 18, 32
lehtopalsami — *Impatiens noli-tangere* 17, 20, 34
leinikki — *Ranunculus* 20
kevätl. — *R. auricomus* 20
niittyl. — *R. acris* 20
leppä — *Alnus* 16, 17, 32, 35
harmal. — *A. incana* 16, 32, 35
terval. — *A. glutinosa* 17
lieko — *Diphasium, Huperzia, Lycopodium* 15, 16, 23, 25, 26, 27, 32, 36
keltal. — *Diphasium complanatum* 23, 25, 26, 27, 32, 36
ketunl. — *Huperzia selago* 32
riidenl. — *Lycopodium annotinum* 15, 16, 25, 26, 27, 32, 36
lillukka — *Rubus saxatilis* 15, 16, 18, 19, 22, 24, 26, 31, 33, 36
linnunherne — *Lathyrus*
kevätl. — *L. vernus* 17, 18, 33
linnunsilmä — *Chrysosplenium*
kevätl. — *C. alternifolium* 17, 34
lääte — *Saussurea alpina* 22, 24, 26, 37
maitikka — *Melampyrum* 10, 14, 15, 16, 23, 24, 25, 27, 33, 36
kangasm. — *M. pratense* 10, 14, 15, 23, 33, 36
metsäm. — *M. sylvaticum* 10, 15, 16, 23, 24, 25, 33, 36, 39
mansikka — *Fragaria*
ahom. — *F. vesca* 16, 17, 18, 19, 22, 24, 26, 31, 33
matara — *Galium* 19, 34
ahom. — *G. boreale* 19
lehtom. — *G. triflorum* 34
metsätähti — *Trientalis europaea* 12, 15, 23, 24, 25, 27, 31, 33, 36
mustikka — *Vaccinium myrtillus* 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 36
muurain — *Rubus chamaemorus* 27
mänty — *Pinus sylvestris* 12, 14, 15, 16, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28
nata — *Festuca*
lampaann. — *F. ovina* 14, 27, 32, 34, 36
niinipuu, metsälehmus — *Tilia cordata* 17, 18, 32
nokkonen — *Urtica dioica* 17, 19, 20, 24, 34, 37
nurmikka — *Poa* 17, 18, 19
korpin. — *P. remota* 17
lehton. — *P. nemoralis* 17, 18, 19
niittyn. — *P. pratensis* 20
näsiä — *Daphne mezereum* 16, 17, 32
nätkelmä — *Lathyrus* 18

ohdake — *Cirsium*
huopao. — *C. helenioides* 19, 24
oravanmarja — *Majanthemum bifolium* 12, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 33, 36, 39
orvokki — *Viola* 10, 16, 17, 20, 22, 24, 26, 33, 34
aho-o. — *V. canina* subsp. *montana* 10, 33
kaiheo. — *V. selkirkii* 34
korpio. — *V. epipsila* 22
lehto-o. — *V. mirabilis* 33
metsäo. — *V. riviniana* 10, 16, 22, 24, 26, 33
suo-o. — *V. palustris* 22
paatsama — *Frangula alnus* 32
palsami — *Impatiens*
lehtop. — *I. noli-tangere* 17, 20, 34
pihlaja — *Sorbus aucuparia* 15, 16, 17, 24, 25, 26, 32, 35
piippo — *Luzula*
kevätp. — *L. pilosa* 15, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 33, 36
piisku — *Solidago*
kultap. — *S. virgaurea* 15, 16, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 36
pukinjuuri — *Pimpinella saxifraga* 20
puolukka — *Vaccinium vitis-idaea* 8, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 36
pursu — *Ledum*
suop. — *L. palustre* 22, 24, 25, 26, 27, 36
purtojuuri — *Succisa pratensis* 19, 20, 33
pussikämmekkä — *Coeloglossum viride* 22, 26, 36
pähkinäpensas — *Corylus avellana* 18, 19
pähkämö — *Stachys*
lehtop. — *S. sylvatica* 17, 19, 34
raita — *Salix caprea* 16, 17
rentukka — *Caltha palustris* 17, 20
riekonmarja — *Arctostaphylos alpina* 26
ruohokanukka — *Cornus suecica* 22, 24, 26, 36
ruusu — *Rosa*
metsär. — *R. majalis* 19, 32
ruusuruoho — *Knautia arvensis* 19
rätvänä — *Potentilla erecta* 19, 20
rölli — *Agrostis*
nurmir. — *A. tenuis* 19, 20
sananjalka — *Pteridium aquilinum* 15, 17, 18, 19, 22, 28, 31, 33
sara — *Carex*
sormis. — *C. digitata* 16, 18, 22, 33
sianpuolukka — *Arctostaphylos uva-ursi* 8, 9, 14, 19, 26, 28, 32, 35
sinivalvatti — *Cicerbita*
pohjans. — *C. alpina* 24, 37
sinivuokko — *Hepatica nobilis* 16, 17, 18, 33
sudenmarja — *Paris quadrifolia* 17, 33, 36
talvikki — *Orthilia, Pyrola* 9, 10, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 33, 36
isot. — *Pyrola rotundifolia* 9, 18, 19, 33
kellot. — *P. media* 9, 10
keltat. — *P. chlorantha* 9, 10, 33
nuokkut. — *Orthilia secunda* 15, 16, 23, 25, 27, 33, 36
pikkut. — *Pyrola minor* 9, 10, 15
tesma — *Milium effusum* 17, 24, 33, 36
tuomi — *Prunus padus* 17, 19, 32, 35
tädyke — *Veronica* 18, 19, 20, 22
nurmit. — *V. chamaedrys* 18, 19, 22
rohtot. — *V. officinalis* 18, 19, 20, 22
tähtimö — *Stellaria* 17, 19, 20, 34
heinät. — *S. graminea* 20
lehtot. — *S. nemorum* 17, 19, 34
vaahtera — *Acer platanoides* 32
vadelma — *Rubus idaeus* 16, 17, 18, 19, 22, 26, 32
vanamo — *Linnaea borealis* 15, 16, 19, 24, 25, 26, 27, 32, 36
variksenmarja — *Empetrum nigrum* 22, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 36
velholehti — *Circaea alpina* 17, 34
virmajuuri — *Valeriana* 20
virna — *Vicia* 17, 19, 20
aitov. — *V. sepium* 19, 20
metsäv. — *V. sylvatica* 19
vuohenputki — *Aegopodium podagraria* 9, 17, 19, 20, 33
vuokko — *Anemone, Hepatica* 16, 17, 18, 19, 20, 33
siniv. — *Hepatica nobilis* 16, 17, 18, 33
valkov. — *Anemone nemorosa* 16, 17, 19, 20, 33
yövilkka — *Goodyera repens* 33
haivensammal — *Cirriphyllum* 17, 34
lehtohaivens. — *C. piliferum* 34
karhunsammal — *Polytrichum* 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 34, 37
kangaskarhuns. — *P. juniperinum* 19, 23, 25, 27, 34, 37
karvalehtikarhuns. — *P. piliferum* 34, 37
korpikarhuns. — *P. commune* 23, 24, 25, 26, 27, 37
kastesammal — *Plagiochila asplenioides* 17, 34
kerrossammal — *Hylocomium* 16, 23, 24, 25, 26, 27, 34, 37
himmeäkerross. — *H. umbratum* 34
metsäkerross. — *H. splendens* 16, 23, 24, 25, 26, 27, 34, 37
keuhkosammal — *Marchantia polymorpha* 17
korallisammal — *Ptilidium ciliare* 22, 37
kuirisammal — *Calliergon* 17
kulosammal — *Ceratodon purpureus* 18, 19, 34
kynsisammal — *Dicranum* 14, 15, 16, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 34, 37
himmeäkynsis. — *D. fuscescens* 22, 23, 24, 25, 26, 37
isokynsis. — *D. majus* 16, 23, 24, 25, 34, 37
kangaskynsis. — *D. polysetum* 14, 15, 24, 25, 26, 34, 37
rotevakynsis. — *D. drummondii* 22
turpeakynsis. — *D. spurium* 34
lehväsammal — *Mnium, Plagiomnium, Pseudobryum* 17, 26, 34, 37, 39
isolehväs. — *Plagiomnium medium* 34
kiiltolehväs. — *Pseudobryum cinclidioides* 17, 34
lehtolehväs. — *Plagiomnium affine* 34
liekosammal — *Rhytidiadelphus* 16, 17, 26, 34, 37, 39
kaunisliekos. — *R. subpinnatus* 34
metsäliekos. — *R. triquetrus* 16, 17, 26, 34, 37, 39
maksasammalet — *Hepaticae* 22, 24, 25, 26, 27
myyränsammal — *Atrichum*
isomyyräns. — *A. undulatum* 34
palmusammal — *Climacium dendroides* 17, 34
pykäsammal — *Barbilophozia* 22, 37
vaarapykäs. — *B. lycopodioides* 22, 37
ruusukesammal — *Rhodobryum roseum* 17, 26, 34, 37, 39
seinäsammal — *Pleurozium schreberi* 12, 14, 15, 16, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 34, 37
sirppisammal — *Drepanocladus* 17
suikerosammal — *Brachythecium* 17, 26, 34, 39
metsäsuikeros. — *B. curtum* 34
sulkasammal — *Ptilium crista-castrensis* 16, 27, 34, 37
varstasammal — *Pohlia*
nuokkuvarstas. — *P. nutans* 18, 19, 34
hirvenjäkälä — *Cetraria*
isohirvenj. — *C. islandica* 34, 37
jäkälät — *Lichenes* 11, 14, 16, 19, 23, 25, 26, 27, 28
korvajäkälä — *Nephroma*
pohjolankorvaj. — *N. arcticum* 22, 23, 25, 27, 37
nahkajäkälä — *Peltigera* 27, 37
pilkukasnahkaj. — *P. aphthosa* 37
poronjäkälä — *Cladonia, Cladina* 14, 15, 18, 19, 26, 27, 34, 37
harmaaporonj. — *Cladonia rangiferina* 27, 34, 37
palleroporonj. — *C. alpestris* 27, 34, 37
valkeaporonj. — *C. arbuscula* 27, 34, 37
tinajäkälä — *Stereocaulon* 26, 27, 34, 37
vanukkeinentinaj. — *S. tomentosum* 34
yleinentinaj. — *S. paschale* 34
torvijäkälä — *Cladonia* 14, 19, 22, 25, 26, 27, 34, 37
sileätorvij. — *C. gracilis* var. *elongata* 22, 37

Tieteelliset nimet

Acer plantanoides — vaahtera
Achillea millefolium — siankärsämö
Actaea spicata — mustakonnanmarja
Aegopodium podagraria — vuohenputki
Agrostis tenuis — nurmirölli
Alnus glutinosa — tervaleppä
A. incana — harmaaleppä
Anemone nemorosa — valkovuokko
Angelica sylvestris — karhunputki
Antennaria dioica — kissankäpälä

Anthriscus sylvestris — koiranputki
Arctostaphylos alpinus — riekonmarja
A. uva-ursi — sianpuolukka
Athyrium distentifolium — tunturihiirenporras
A. filix-femina — soreahiirenporras
Betula — koivu
B. pendula — rauduskoivu
B. pubescens — hieskoivu
Calamagrostis arundinacea — metsäkastikka
C. epigejos — hietakastikka
C. lapponica — lapinkastikka
C. phragmitoides — korpikastikka
Calluna vulgaris — kanerva
Caltha palustris — rentukka
Carex digitata — sormisara
Chrysosplenium alternifolium — kevätlinnunsilmä
Cicerbita alpina — pohjansinivalvatti
Circaea alpina — velholehti
Cirsium helenioides — huopaohdake
Coeloglossum viride — pussikämmekkä
Convallaria majalis — kielo
Cornus suecica — ruohokanukka
Corylus avellana — pähkinäpensas
Crepis paludosa — suokeltto
Daphne mezereum — näsiä
Deschampsia cespitosa — nurmilauha
D. flexuosa — metsälauha
Diphasium complanatum — keltalieko
Dryopteris assimilis — isoalvejuuri
D. carthusiana — metsäalvejuuri
Elymus caninus — koiranvehnä
Empetrum nigrum — variksenmarja
Epilobium — horsma
E. angustifolium — maitohorsma
Equisetum arvense — peltokorte
E. palustre — suokorte
E. pratense — lehtokorte
E. sylvaticum — metsäkorte
Festuca ovina — lampaannata
Filipendula ulmaria — mesiangervo
Fragaria vesca — ahomansikka
Frangula alnus — paatsama
Galium boreale — ahomatara
G. triflorum — lehtomatara
Geranium sylvaticum — metsäkurjenpolvi
Goodyera repens — yövilkka
Gymnocarpium dryopteris — metsäimarre
Hepatica nobilis — sinivuokko
Hieracium — keltano
H. pilosella — huopakeltano
H. umbellatum — sarjakeltano
Huperzia selago — ketunlieko
Hypochoeris maculata — häränsilmä
Impatiens noli-tangere — lehtopalsami
Juniperus communis — kataja
Knautia arvensis — ruusuruoho
Lathyrus — nätkelmä
Lathyrus vernus — kevätlinnunherne
Ledum palustre — suopursu
Linnaea borealis — vanamo
Listera cordata — herttakaksikko
Lonicera xylosteum — lehtokuusama
Luzula pilosa — kevätpiippo
Lycopodium annotinum — riidenlieko
Maianthemum bifolium — oravanmarja
Matteuccia struthiopteris — kotkansiipi
Melampyrum — maitikka
M. pratense — kangasmaitikka
M. sylvaticum — metsämaitikka
Melica nutans — nuokkuhelmikkä
Milium effusum — tesma
Orthilia secunda — nuokkutalvikki
Oxalis acetosella — käenkaali
Paris quadrifolia — sudenmarja
Phyllodoce caerulea — kurjenkanerva
Picea abies — kuusi
Pimpinella saxifraga — pukinjuuri
Pinus sylvestris — mänty
Platanthera bifolia — lehdokki
Poa nemoralis — lehtonurmikka
P. pratensis — niittynurmikka
P. remota — korpinurmikka
Populus tremula — haapa
Potentilla erecta — rätvänä
Prunus padus — tuomi
Pteridium aquilinum — sananjalka
Pulmonaria obscura — imikkä
Pyrola — talvikki
P. chlorantha — keltatalvikki
P. media — kellotalvikki
P. minor — pikkutalvikki
P. rotundifolia — isotalvikki
Ranunculus acris — niittyleinikki
R. auricomus — kevätleinikki
Ribes — herukka
R. nigrum — mustaherukka
R. rubrum — punaherukka
Rosa majalis — metsäruusu
Rubus chamaemorus — muurain
R. idaeus — vadelma
R. saxatilis — lillukka
Salix caprea — raita
Saussurea alpina — lääte
Scirpus sylvaticus — korpikaisla
Solidago virgaurea — kultapiisku
Sorbus aucuparia — pihlaja
Stachys sylvatica — lehtopähkämö
Stellaria graminea — heinätähtimö
S. nemorum — lehtotähtimö
Succisa pratensis — purtojuuri
Tilia cordata — niinipuu, metsälehmus
Trientalis europaea — metsätähti
Trifolium medium — metsäapila
Trollius europaeus — kullero
Urtica dioica — nokkonen
Vaccinium myrtillus — mustikka
V. vitis-idaea — puolukka
V. uliginosum — juolukka
Valeriana — virmajuuri
Veronica chamaedrys — nurmitädyke
V. officinalis — rohtotädyke
Viburnum opulus — koiranheisi
Vicia — virna
V. sepium — aitovirna
V. sylvatica — metsävirna
Viola — orvokki

V. canina ssp. *montana* — aho-orvokki
V. epipsila — korpi-orvokki
V. mirabilis — lehto-orvokki
V. palustris — suo-orvokki
V. riviniana — metsäorvokki
V. selkirkii — kaiheorvokki

Sammalia

Atrichum undulatum — isomyyränsammal
Barbilophozia lycopodioides — vaarapykäsammal
Brachythecium — suikerosammal
B. curtum — metsäsuikerosammal
Calliergon — kuirisammal
Ceratodon purpureus — kulosammal
Cirriphyllum — haivensammal
C. piliferum — lehtohaivensammal
Climacium dendroides — palmusammal
Dicranum — kynsisammal
D. drummondii — rotevakynsisammal
D. majus — isokynsisammal
D. polysetum — kangaskynsisammal
D. spurium — turpeakynsisammal
Drepanocladus — sirppisammal
Hepaticae — maksasammalet
Hylocomium splendens — metsäkerrossammal
H. umbratum — himmeäkerrossammal
Marchantia polymorpha — keuhkosammal
Mnium, Plagiomnium, Pseudobryum — lehväsammal
Plagiochila asplenioides — kastesammal
Plagiomnium — lehväsammal
P. affine — lehtolehväsammal
P. medium — isolehväsammal
Pleurozium schreberi — seinäsammal
Pohlia nutans — nuokkuvarstasammal
Polytrichum — karhunsammal
P. commune — korpikarhunsammal
P. juniperinum — kangaskarhunsammal
P. piliferum — karvalehtikarhunsammal
Pseudobryum — lehväsammal
P. cinclidioides — kiiltolehväsammal
Ptilidium ciliare — korallisammal
Ptilium crista-castrensis — sulkasammal
Rhodobryum roseum — ruusukesammal
Rhytidiadelphus subpinnatus — kaunisliekosammal
R. triquetrus — metsäliekosammal

Jäkäliä

Cetraria islandica — isohirvenjäkälä
Cladina, Cladonia — poronjäkälä
Cladonia — poronjäkälä, torvijäkälä
C. alpestris — palleroporonjäkälä
C. arbuscula (*C. sylvatica*) — valkeaporonjäkälä
C. gracilis var. *elongata* — sileätorvijäkälä
C. rangiferina — harmaaporonjäkälä
Lichenes — jäkälät
Nephroma arcticum — pohjolankorvajäkälä
Peltigera — nahkajäkälä
P. aphthosa — pilkukasnahkajäkälä
Stereocaulon — tinajäkälä
S. paschale — yleinentinajäkälä
S. tomentosum — vanukkeinentinajäkälä

LUETTELO KÄSIKIRJOITUKSESSA ESIINTYVISTÄ VANHENTUNEISTA NIMISTÄ

Vanha nimi	Nykyinen nimi
alvejuuri	
leveälehtinen a.	isoalvejuuri
metsän a.	metsäalvejuuri
häpykannus	palsami
isokukkainen h.	lehtopalsami
imikkä	
rohtoi.	imikkä
kastikka	
ahdek.	metsäkastikka
hiekkak.	hietakastikka
Lapin k.	lapinkastikka
lehtik.	korpikastikka
konnanmarja	
musta k.	mustakonnanmarja
kuusama	
yleinen k.	lehtokuusama
linnunherne	
keväinen l.	kevätlinnunherne
linnunsilmä	
vuorolehtinen l.	kevätlinnunsilmä
pähkämö	
metsäp.	lehtopähkämö
ruusu	
nurmir.	metsäruusu
sanajalka	sananjalka
sinivalvatti	
tunturien s.	pohjansinivalvatti
orvokki	
laakso-o.	kaiheorvokki
talvikki	
keskit.	kellotalvikki
pyöreälehtit.	isotalvikki
tesma	
lehtot.	tesma
karhunsammal	
kankaan k.	kangaskarhunsammal
karvalehtinen k.	karvalehtikarhunsammal
katrinsammal	isomyyränsammal
kerrossammal	metsäkerrossammal
himmeä k.	himmeäkerrossammal
kynsisammal	
huopainen k.	kangaskynsisammal
iso k.	isokynsisammal
Pohjan k.	himmeäkynsisammal
roteva k.	rotevakynsisammal
lehväsammal	
iso lehväs.	isolehväsammal
kiiltävä l.	kiiltolehväsammal
liekosammal	
liekos.	metsäliekosammal
rento l.	kaunisliekosammal
ripsisammal	haivensammal
lehdon r.	lehtohaivensammal
rönsysammal	suikerosammal
metsän r.	metsäsuikerosammal
varstasammal	nuokkuvarstasammal
hirvenjäkälä	
iso h.	isohirvenjäkälä
korvajäkälä	
Pohjan k.	pohjolankorvajäkälä
nahkajäkälä	
pilkkuinen n.	pilkukasnahkajäkälä
poronjäkälä	
harmaa p.	harmaaporonjäkälä
pallero-p.	palleroporonjäkälä
valkea p.	valkeaporonjäkälä
tinajäkälä	
vanukkeinen t.	vanukkeinentinajäkälä
yleinen t.	yleinentinajäkälä
torvijäkälä	
Pohjan t.	sileätorvijäkälä
Agropyrum caninum	*Elymus caninus*
Anemone hepatica	*Hepatica nobilis*
Angelica silvestris	*A. sylvestris*
Antennaria dioeca	*A. dioica*
Anthriscus silvestris	*A. sylvestris*
Arctostaphylos alpina	*A. alpinus*
Athyrium alpestre	*A. distentifolium*
Betula verrucosa	*B. pendula*
Calamagrostis purpurea	*C. phragmitoides*
Chamaenerium angustifolium	*Epilobium a.*
Cirsium heterophyllum	*C. helenioides*
Convallaria maialis	*C. majalis*
Deschampsia caespitosa	*D. cespitosa*
Dryopteris austriaca	*D. assimilis*
D. linnaeana	*Gymnocarpium dryopteris*
D. spinulosa	*D. carthusiana*
Equisetum silvaticum	*E. sylvaticum*
Geranium silvaticum	*G. sylvaticum*
Lycopodium complanatum	*Diphasium c.*
L. selago	*Huperzia s.*
Melampyrum silvaticum	*M. sylvaticum*
Mulgedium alpinum	*Cicerbita alpina*
Phyllodoce coerulea	*P. caerulea*
Pinus silvestris	*P. sylvestris*
Pulmonaria officinalis	*P. obscura*
Pyrola secunda	*Orthilia s.*
Rhamnus frangula	*Frangula alnus*
Rosa cinnamomea	*R. majalis*
Scirpus silvaticus	*S. sylvaticus*
Stachys silvaticus	*S. sylvatica*
Struthiopteris filicastrum	*Matteuccia struthiopteris*
Urtica dioeca	*U. dioica*
Vicia silvatica	*V. sylvatica*
Catharinaea undulata	*Atrichum undulatum*
Dicranum maius	*Dicranum majus*
D. robustum	*D. drummondii*
D. undulatum	*D. polysetum*
Hylocomium proliferum	*H. splendens*
Mnium affine	*Plagiomnium a.*
M. cinclidioides	*Pseudobryum c.*
M. medium	*Plagiomnium m.*
Rhytidiadelphus calvescens	*R. subpinnatus*
Cladonia elongata	*Cladonia gracilis* var. *elongata*
Cladonia sylvatica	*C. arbuscula*
Opisteria arctica	*Nephroma arcticum*

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Holopainen, Viljo, professori, MMT, *Professor, DF*
Tiedotuspäällikkö — *Information officer:* Heiramo, Tuomas, VTM, *M. Pol. Sc.*
Toimittaja — *Editor:* Oja, Seppo, ekonomi, *B. Econ.*

MAANTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE*
Professori — *Professor:* Lähde, Erkki, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Huikari, Olavi, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Leikola, Matti, MMT, *DF*

METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST GENETICS*
Professori — *Professor:* Hagman, Max., MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Koski, Veikko, FT, *Ph.D*

METSÄNSUOJELUN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST PROTECTION*
Metsäpatologia — *Forest Pathology:*
Professori — *Professor:* Kallio, Tauno, MMT, *DF*
Metsäeläintiede — *Forest Zoology:*
Professori — *Professor:* Juutinen, Paavo, MMT, *DF*
Erikoistutkija—*Senior research specialist:* Annila, Erkki, MMT, FT, *DF, Ph.D*

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST INVENTORY AND YIELD*
Metsäninventointi — *Forest Inventory:*
Professori — *Professor:* Kuusela, Kullervo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Tiihonen, Paavo, MMT, *DF*
Puuntuotos — *Forest Yield:*
Professori — *Professor:* Vuokila, Yrjö, MMT, *DF*

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST TECHNOLOGY*
Puuntutkimus — *Utilization of Forest Products:*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Metsätyötiede — *Forest Operations:*
Professori — *Professor:* Hakkila, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Harstela, Pertti, MMT, *DF*

METSÄEKONOMIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS*
Kansantaloudellinen metsäekonomia — *Social Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Heikinheimo, Lauri, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Palo, Matti, MMT, *DF*
Liiketaloudellinen metsäekonomia — *Business Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Hämäläinen, Jouko, MMT, *DF*

MATEMAATTINEN OSASTO — *DEPARTMENT OF MATHEMATICS*
Professori — *Professor:* Seppälä, Risto, VTT, *D.Pol.Sc.*

KOKEILUALUETOIMISTO — *EXPERIMENTAL FOREST OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Luoma, Kauko, ylimetsänhoitaja, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610

187905499P