

FOLIA FORESTALIA³⁵⁹

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1978

SIMO HANNELIUS

ISTUTUSKUUSIKON TIHEYS — TUOTOKSEN
JA EDULLISUUDEN TARKASTELUA

INITIAL TREE SPACING IN NORWAY
SPRUCE TIMBER GROWING —
AN APPRAISAL OF YIELD AND
PROFITABILITY

- 1976
- No 284 Paavo Juutinen, Timo Kurkela ja Sakari Lilja: Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun vioittajana sekä vioitusten sienisaastunta.
Cicadella viridis (L.) as a wounder of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi.
- No 285 Timo Nyrhinen: Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa.
A test of two-step forest inventory in South-West Finland.
- No 286 Matti Kärkkäinen: Pohjoissuomalaisen koivukuitupuun tilavuusmittauksia.
Volume measurement of birch pulpwood in Northern Finland.
- No 287 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Koivutukkien latvamuotoluvut ja yksikkökuutiot.
Top form factors and unit volumes of birch logs.
- No 288 Matti Leikola: Taimitarhamaan lämpöolot muovihuoneessa ja avomaalla.
Soil temperature conditions in plastic greenhouse and in open nursery.
- No 289 Lehikoinen, Tapio: Pohjois- ja Etelä-Suomen väliset kantohintaerot.
Stumpage price differences between Northern and Southern Finland.
- No 290 Heiskanen, Veijo: Tarkistetut havusahatukkien kuorelliset yksikkökuutioluvut.
The checked unit volumes for pine and spruce sawlogs.
- No 291 Uusitalo, Matti: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972—74.
Costs of timber production in Finland in 1972—74.
- No 292 Hakkila, Pentti: Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena.
Stumpwood as industrial raw material.
- No 293 Lehtonen, Irja: Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Wood as a fuel. A study based on literature.
- No 294 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia.
Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stage stands (Scots pine).
- No 295 Metsätilastollinen vuosikirja 1975.
Yearbook of Forest Statistics 1975.
- 1977
- No 296 Heiskanen, Veijo: Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuero.
Quality differences of timber between Southern and Northern Finland.
- No 297 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä.
Effect of spreading method on forest fertilization results.
- No 298 Vuokila, Yrjö: Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä.
Selective thinning from above as a factor of growth and yield.
- No 299 Vuokila, Yrjö: Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvystä.
On the growth capacity of aspen stands on good sites.
- No 300 Paavilainen, Eero: Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levityssajan kohdasta turvemaalla.
Effect of application time on growth response to easily dissolving fertilizers on peatlands.
- No 301 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen tukkipuutaulukot. Tukkien minimiläpimittaluokka männyllä 13 cm ja kuusella 13 ja 15 cm.
Massentafeln für Kiefern- und Fichtenblochholz. Mindestdurchmesserklassen der Blöcher für Kiefer 13 cm und für Fichte 13 und 15 cm.
- No 302 Simola, Paavo: Pienikokoisen lehtipuuston biomassa.
The biomass of small-sized hardwood trees.
- No 303 Vuokila, Yrjö: Talvikkityypin puuntuotannollinen asema metsätyyppijärjestelmässä.
Position of the Pyrola type in the forest site type system of Cajander.
- No 304 Puro, Tiina: Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta.
Results of the second fertilization with nitrogen.
- No 305 Virtanen, Jaakko & Ylinen, Mikko: Ojitusalueiden lentolannoitus.
Aerial spreading of fertilizers on peatlands.
- No 306 Astorga S., Luis E.: Effectuating possibilities of waste wood utilization in Finland.
Step 1.
Jätepuun käytön tehostamismahdollisuudet Suomessa. Osa 1.
- No 307 Kilkki, Pekka, Kuusela, Kullervo & Siitonen, Markku: Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille.
Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland.
- No 308 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1974—76.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1974—76.
- No 309 Mäkelä, Markku: Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen.
Changes in the quality of logging residues.
- No 310 Harstela, Pertti, Järvinen, Juhani, Tervo, Leo & Aholainen, Raimo: Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälle teko ja LEKA-menetelmä).
The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method).
- No 311 Takalo, Sauli & Sauvala, Kari: Havaintoja metsurin suojainten kestävydestä ja sen mittaamisesta.
Observations on the durability and testing of protective clothing for chain saw workers.

FOLIA FORESTALIA 359

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1978

Simo Hannelius

ISTUTUSKUUSIKON TIHEYS — TUOTOKSEN JA
EDULLISUUDEN TARKASTELUA

Initial tree spacing in Norway spruce timber growing
— an appraisal of yield and profitability

ODC 535:651
ISBN 951-40-0348-9
ISSN 0015-5543

HANNELIUS, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability. *Folia For.* 359:1—51.

Tutkimuksessa on tarkasteltu kuusen viljelytiheyttä sekä tuotosopilliselta että taloudelliselta kannalta. Tutkimuksen aineistona olivat kolme verhopuustoltaan istutushetkellä erilaista koelasarjaa, joissa kussakin istutusaiheksinä olivat 1 250, 2 000, 2 500, 3 750 ja 5 000 tainta hehtaarilla. Koalojen puustoa on harvennettu kolme kertaa subjektiivisesti valikoiden.

Tiheyden aleneminen on edistänyt rinnankorkeusläpimitan ja valtapituuden kasvua ja tiheyden suureneminen on lisännyt pohjapinta-alan ja kuutiomäärän kasvua. Puiden kapeneminen on ollut pienintä tiheimmissä istutusasennoissa.

Kannattavuusjärjestystä on tarkasteltu yksityisen yrittäjän näkökulmasta sisäisen koron ja nykyarvon kriteereillä eri tiheysvaihtoehtojen kesken. Kannattavuustarkastelun perusteella on päädytty tiheysuusiutukseen 1 500—1 800 tainta hehtaarille Etelä-Suomen parhailla kasvupaikoilla, kun otetaan huomioon 10—15 prosentin taimikato perustamistiheydestä lukien ennen ensiharvennusta. Tämä on alhaisempi kuin Keskusmetsälautakunta Tapion suositus (2 000 tainta/ha).

The aim of the investigation is to examine initial tree spacing in the cultivation of Norway spruce. The main objects of study were yield, timber production and profitability. The empirical material consisted of study plot series with different shelterwood characteristics. Each series of study plots had initial planting densities of 1 250, 2 000, 2 500, 3 750 and 5 000 plants per hectare. The study plots are commercially thinned tree times by subjective selection.

The lower densities had improved the diameter increment at breast height and dominant height. Higher initial densities had increased the growth of basal area and volume. The tapering of trees had been smallest in the most densely planted alternatives.

The profitability in different density alternatives was studied from viewpoint of an entrepreneur with respect to internal rate of return and present value. The profitability calculations showed the most recommended densities in spruce plantings to be 1 500 to 1 800 plants per hectare on good sites in Southern Finland. This recommendation is lower than that of the Central Forestry Board Tapio.

ALKUSANAT

Käytännön metsätalouden ja metsäntutkimuksen välisessä keskustelussa on korostuneesti tullut esiin 1970-luvulla synteetis-omaisten tutkimusten puute. Tässä tarkoituksessa on puhuttu mm. biologis-tekni-kaudellisesta tai metsänviljelyketjujen tutkimuksesta. Oleellista näille tutkimuksille on se, että niissä käsitellään puun tuotantoa vaihtoehtoinen kokonaisuutena eri osateki- jät huomioon ottavalla tavalla. Viime kädes- sä tutkimuksen tavoitteena on tuottaa pää- töksentekotilanteeseen oleellinen informaatio taloudenharjoittajan näkökulmasta. Tämä tutkimus lähtee edellä mainitusta tavoit- teesta.

Tutkimus on Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon ja metsäekonomian tutkimus- osastojen välisen yhteistyön tulos. Metsän- hoidon osastolla tutkimusaiheen valintaan ja formulointiin oli myötävaikuttamassa osas- ton silloinen vt. professori Matti Leikola. Tutkimus perustuu edesmenneen met- sänhoidon osaston professorin Olli Hei- kinheimon v. 1933 kaukonäköisesti

perustamiin koelasarjoihin Hämeenlinnan kaupungin omistamalla Turvan tilalla Pa- dasjoen kunnassa. Koealojen mittauksista vastasi 1950-luvulta alkaen metsänhoitaja Olavi Helenius (†). Viimeiset mittaukset (1975) teki silloinen metsät.yo Hannu Lil- jeroos, joka teki niin ikään tämän ai- neiston pohjalta opinnäytetyön metsätutkin- toa varten metsänhoitotieteessä.

Tutkimuksen edistyessä minulla on ollut mahdollisuus keskustella esimieheni profes- sori Jouko Hämäläisen kanssa aineis- ton käsittelytavasta ja tulosten analysoinnis- ta. Hän on niin ikään lukenut käsikirjoituk- sen yhdessä professori Gustav Sirénin kanssa tehden siihen varteen otettuja huo- mautuksia. Englannin kielisen tiivistelmän samoin kuin kuva- ja taulukkotekstit on tar- kastanut B.Sc. Ashley Selby. Suomen Kulttuurirahasto on taloudellisesti tukenut tutkimuksen valmistumista.

Esitän kaikille tutkimuksen valmistumi- seen myötävaikuttaneille parhaat kiitokseni.

Helsingissä heinäkuussa 1978

Simo Hannelius

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO	5
11.	Perustamistiheys — monipuolinen kysymys	5
111.	Yleistä	5
112.	Tuotosopilliset näkökohdat	6
113.	Edullisuuteen vaikuttavat tekijät	7
12.	Tutkimuksen tarkoitus	8
2.	TUTKIMUSAINEISTO	8
21.	Koalojen maantieteellinen sijainti, niiden perustaminen ja hoito.	8
22.	Maaperä ja kasvillisuus	9
23.	Aineiston keruu, käsittely ja tulosten esitystapa	9
3.	PUUSTON TUNNUKSET	10
31.	Verhopuusto	10
32.	Runkoluku	11
33.	Rinnankorkeusläpimitta	13
34.	Pohjapinta-ala	14
35.	Valtapituus	14
36.	Kapeneminen	18
37.	Tuotos	22
4.	EDULLISUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA EDULLISUUSJÄRJESTYS	25
41.	Edullisuuden kriteerit	25
42.	Puunkasvatuksen kustannukset	26
421.	Yleistä	26
422.	Istutus	26
423.	Verhopuusto	27
424.	Perkausharvennus	27
425.	Harvennus	27
43.	Puunkasvatuksen tuotot	28
431.	Yleistä	28
432.	Verhopuusto	29
433.	Harvennukset	29
434.	Puuston hakkuuarvo	30
44.	Edullisuusjärjestys	32
441.	Sisäinen osittaiskorko	32
442.	Nykyarvo	33
45.	Herkkyysanalyysi	34
5.	TULOSTEN TARKASTELU	38
51.	Mittaustietojen epätäydellisyys	38
52.	Puuntuotannolliset näkökohdat	38
53.	Taloudelliset näkökohdat	40
54.	Yhteenvedo eri näkökohdista	43
6.	TIIVISTELMÄ	45
7.	KIRJALLISUUSLUETTELO	47
8.	SUMMARY	51

1. JOHDANTO

11. Perustamistiheys — monipuolinen kysymys

111. Yleistä

Metsikön perustamistiheydellä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa uudistamisessa metsänhoidollisin menetelmin aikaansaataava taimimäärää pinta-alayksikköä kohden (kpl/ha). Perustamistiheyttä puunkasvatuksessa voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta ja sen vaikutus kestää koko kiertoajan pituuden. Perustamistiheydestä riippuvia osakysymyksiä ovat puuntuotos, korjuutekniikka ja puuaineen laatu. Liiketieteellisissä tarkasteluissa pyritään synteisiin ja otamaan kulloisenkin aineiston laadusta riippuen huomioon kaikki edellä mainitut tekijät sekä mittaamaan toiminnan tuloksellisuutta rahassa arvioitavilla muuttujilla.

Metsikön perustamistiheyttä on käsitelty eri näkökulmista kansainvälisesti hyvinkin runsaasti. Metsikön perustamistiheyden tutkiminen eri näkökulmineen on kuitenkin Suomessa jäänyt vähälle huomiolle, joskin kysymystä on luonnollisesti sivuttu monissa yhteyksissä (esim. Yli-Vakuri 1968). Perustamistiheyden merkitys metsätalouden harjoittamisessa on kuitenkin tullut myös Suomessa erityisen ajankohtaiseksi, kun on siirrytty voittopuolisesti viljelymetsätalouden harjoittamiseen.

Perustamistiheyden tutkimiseksi lähinnä metsänhoidolliselta ja tuotosopilliselta kannalta Metsäntutkimuslaitos on perustanut useita koealasarjoja. Ensimmäiset näistä perustettiin prof. O. Heikinheimon toimesta jo 1930-luvun alussa. Juuri tämä koealasarja on tämän tutkimusraportin empiirisenä aineistona.

Istutustiheystutkimusten puuttumisen eräänä syynä on ollut se, että merkittävimmät tulokset niistä saadaan perustamisajankohdasta lukien yleensä vasta kiertoajan kulluttua. Etenkin lämpimien ilmastovyöhykkeiden maista, joissa kiertoaika on lyhyt, on tästä kysymyksestä lukuisasti tutkimusraportteja.

Perustamistiheyden (engl. *initial tree spacing*) osakseen saamasta kansainvälisestä kiinnostuksesta on osoituksena mm. se, että aiheesta on tehty useita kirjallisuuskatsauksia (mm. Sjolte-Jørgensen 1967, Evert 1972 ja Evert 1973).

Evert (1973) on referoinut 388 tutkimusraporttia, jotka on tehty vuosina 1920—1971. Näissä on yleensä päädytty siihen käsitykseen, että perustamistiheys vaikuttaa sekä yksittäisten puiden että metsikön eri puustotunnuksiin. Perustamistiheys-suositukset perustuvat näissä tutkimusraporteissa yleensä metsänhoidollisiin, tuotosopillisiin ja taloudellisiin arviointiperusteisiin. Edellisiä vähäisemmän huomion varaan ovat sen sijaan jääneet puunkorjuun ja puuaineen laadun kysymykset. Monissa tutkimuksissa on tuotu esiin myös koealojen puutteellisesta perustamisesta aiheutuneet vaikeudet aineistojen myöhemmissä tilastollisissa käsittelyissä. Nämä johtuvat yleensä toistojen puuttumisesta, koealojen pienestä koosta sekä kestokoealojen osittaisesta tuhoutumisesta. Metsätalouden pitkä tuotantoaika (kiertoaika) on niin ikään rajoittanut lopullisten päätelmien tekoa koeala-aineistojen perusteella.

Suomen olosuhteissa puunkasvatuksen kiertoaika on — lyhytkiertoviljelyä lukuunottamatta — tavallisesti 60—150 vuotta. Jos halutaan saada käyttökelpoisia tutkimustuloksia koko kiertoajalta, merkitsee tämä sitä, että kokeita perustettaessa olisi tiedettävä tulevaisuuden tuotantoteknologia ja puun käyttö. Emme kuitenkaan pysty ennustamaan em. tekijöitä 60—150 vuoden päähän. Korkeintaan voimme ennakoida eri tekijöiden pääsuuntaisia muutoksia. Siten on perusteltua tutkia puun kasvatusta kiertoaikaan nähden osittain eli suhteellisen lyhyiden aikavälien puitteissa. Puunkasvatuksen kiertoajan mittaiset tarkastelut koostetaan yhteen kulloinkin käytettävissä olevien ”parhaiden” osittain tietojen perusteella. Edellisestä seuraa luonnollisesti se, että ulkoisten tekijöiden ja puunkasvatuksen tavoitteiden muuttuessa myös käsitykset kiertoajan mittaisen ajanjakson edullisim-

mista toimintavaihtoehdoista muuttuvat.

Laajasti ymmärretty teknologian kehittyminen muuttaa puun kasvatustapoja. Esimerkiksi 1930-luvulla kuusi istutettiin yleensä verhopuuston alle. Tämä johtui siitä, että verhopuuston katsottiin toisaalta suojaavan kuusentaimien vuosiversoja pakkasvaurioilta ja toisaalta hillitsevän pintakasvillisuuden rehevöitymistä. Verhopuusto oli lisäksi mahdollista hakata 1930-luvulla siten, etteivät varttuvat kuusentaimet vaurioituneet korjuun yhteydessä. Nykyisellä tekniikalla pintakasvillisuus sen sijaan voidaan torjua kemiallisesti, joten verhopuuston käyttö rehevöitymisen estämiseksi on korvattavissa. Verhopuusto ei ilmeisesti myöskään muuta metsikön lämpötiloja siten, että tällä metsänhoidon menetelmällä voitaisiin täysin estää kuusitaimikon vuosikasvainten pakkasvauriot (Leikola 1975, s. 24). Yleisimmin käytettävissä olevat korjuumenetelmät eivät myöskään sovellu verhopuiden poistamiseen kuusen viljelyalalta.

Puunkasvatuksessa on muillakin tekijöillä kuin perustamistiheydellä useita vaihtoehtoisia toteutusmahdollisuuksia. Näiden tekijöiden edellyttämät toimenpiteet voidaan lisäksi toteuttaa voimakkuudeltaan eri asteisina. Monen peräkkäisen toimenpiteen yhdistelmän sijoittaminen samaan kokeeseen vie automaattisesti ns. faktoriaalisiin koejärjestelyihin. Vaadittavien koe yhdistelmien luku toistoinen kohoaa tällöin helposti suhteettoman suureksi. Koe paisuu käytännössä mahdottomaksi toteuttaa. Pysyvien koalojen käytössä tuotosopillisiin tutkimuksiin on monia muitakin vaikeuksia (Vuokila 1965, s. 25—28). Puunkasvatuksen pysyviltä koaloilta voidaan näin ollen saada vain ver-
raten rajallista tietoa.

Uudistettavan alan lähtöpuuston tiheydellä ja laadulla on ensiarvoisen tärkeä ja pitkälle ulottuva vaikutus metsikön myöhemmän kasvuun ja kehitykseen. Perustamisvaiheen päätöksillä on näin suuri taloudellinen merkitys koko puuntuotantoketjun lopulliseen kannattavuuteen. Perustamistiheys vaikuttaa uudistamisen ja taimikon hoidon kustannuksiin, harvennusten ja päätehakkuun ajoittamiseen, puuaineen laatuun, hakkuumäärien puutavaralajirakenteeseen ja sitä kautta hakkuutuloihin.

112. Tuotosopilliset näkökohdat

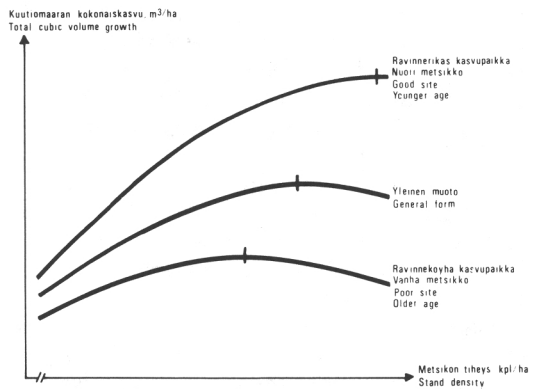
Perustamistiheyden vaikutusta nimen-

omaan tuotokseen on käsitelty kansainvälisessä metsäkirjallisuudessa runsaasti. Evert (1973) toteaa kirjallisuuskatsauksessaan 67 tätä asiaa käsitellyttä tutkimusraporttia. Tässä yhteydessä käsitellään tuotosopillisista näkökohdista lyhyesti vain määrällistä tuotosta ja perustamistiheyden vaikutusta siihen.

Tutkijat eivät ole olleet yksimielisiä perustamistiheyden vaikutuksesta puun tuotokseen. Yleensä kuitenkin on päädytty käsitykseen, että kiertoajan kokonaistuotos lisääntyy tiheyden kasvaessa. Nimenomaan käyttöpuun kokonaistuotosta tiheyden on todettu sekä lisänneen että vähentäneen siitä riippuen, millaisesta tiheydestä on kysymys ja millaisia käyttöpuun minimimittoja laskelmissa sovelletaan.

Møller (1954) on tanskalaisten perustamistiheyskokeiden perusteella esittänyt, että kuutiomäärän tuotos on likimain saman suuruinen laajalla tiheysalueella. Yhdysvalloista esim. Spurrin (1952), Donaldin (1956) ja Reukeman (1959) tulokset Douglas-kuusen osalta tukevat Møllerin tuloksia. Julkaisuista ilmenevien tulosten perusteella voidaan lisäksi todeta, että tiheyden vaikutus kuutiotuotoksen vaihteluun riippuu metsikön iästä, kasvupaikan ravinteisuudesta, alueen ilmastotehtävistä ja puulajista.

Gruschow & Evans (1959), Brender (1960) ja Nelson ym. (1961) ovat esittäneet yleisen hypoteesin kuutiomäärän kokonaiskasvun ja perustamistihey-



Kuva 1. Periaatepiirros kuutiomäärän kokonaiskasvun ja metsikön tiheyden välisestä riippuvuudesta (Wambach 1967).

Figure 1. Generalized relationship between total cubic volume growth and stand density (Wambach 1967).

den välisestä riippuvuudesta eri kasvupaik-
kaluokissa ja metsikön ikäluokissa. Tämä
yleistys on esitetty kuvassa 1 (s. 6). Kun pe-
rustamistiheys kasvaa, lisääntyy myös koko-
naiskasvu kuitenkin siten, että maksimaali-
sen kokonaiskasvun tiheysalueella kasvun li-
säykset ovat vähäisiä. Tiheyden ohitettua
maksimikohdan kokonaiskasvu alkaa hi-
taasti pienentyä. Maksimialueen lähellä
kuutiomäärän kokonaiskasvun käyrä on
suhteellisen loiva laajalla tiheysalueella. Tä-
mä on yhdensuuntainen edellä mainitun
M ø l l e r i n teorian kanssa.

Kuvasta nähdään edelleen, että ravinteis-
silla kasvupaikoilla nuorella iällä käyrän
muoto on kokonaisuudessaankin selvästi jyr-
kempi kuin vähäravinteisilla kasvupaikoilla
ja vanhoissa metsiköissä. Tämä merkitsee
luonnollisesti sitä, että perustamistiheyden
merkitys kuutiomäärän kokonaiskasvuun on
edellisessä tapauksessa selvästi tärkeämpi
kuin jälkimmäisessä. Periaatepiirroksesta
käy edelleen selville se, että maksimaalista
kokonaiskasvua tavoiteltaessa ravinteisuus
määrittelee perustamistiheyden. Ravinteisil-
la kasvupaikoilla tiheys voi olla suurempi
kuin niukkaravinteisilla ja vastaavasti nuo-
rissa metsiköissä niin ikään suurempi kuin
vanhoissa. Periaatepiirroksesta on huomatta-
tava lisäksi se, että siinä tarkastellaan yhtä
puulajia tietyllä ilmastoalueella. Kuutiomää-
rän kokonaiskasvulla on ilmeisesti tarkoitettu
tietyn minimilämpimän ylittävää kuutio-
määrää eli käyttöpuun tuotosta.

Jos periaatepiirroksen hypoteesit hyväksyt-
tään, tutkimuksissa todetut keskenään risti-
riitaiset tulokset tiheyden vaikutuksesta ko-
konaiskuutiokasvuun saavat luonnollisen se-
lityksen. Ristiriitaiset tulokset ovat ilmeisesti
syntyneet siten, että tutkijat ovat tarkastel-
leet periaatepiirroksessa (s. 6) olevien käy-
rien osa-alueita eri kasvupaikoilla ja eri ikä-
kausina.

113. Edullisuuteen vaikuttavat tekijät

Puunkasvatuksen liiketieteellisissä tutki-
muksissa on kiinnitetty huomiota metsikön
perustamistiheyden optimointiin. Metsikön
perustaminen keinollisesti on toisaalta sitä
kalliimpaa, mitä enemmän käytetään taimia
pinta-alayksikköä kohden. Toisaalta tuotot
(sekä määrä- että laatu- ja kiertokomponentti)
kiertoajan kuluessa riippuvat suuresti määri-
n tiheydestä, yleensä tiettyyn tiheysasteeseen
saakka lisääntyen. Näiden tiheydestä riippu-

vien vastakkaisiin suuntiin vaikuttavien
edullisuustekijöiden suhteen on ainakin pe-
riaatteessa löydettävissä eri kriteerejä vastaa-
vat puunkasvatuksen optimitiheydet. Opti-
mitiheys vaihtelee luonnollisesti kulloisten-
kin fyysisten tekijöiden mukaan. Edullisuut-
ta laskettaessa tulisi ottaa huomioon metsi-
kön perustamis- ja hoitokustannukset sekä
tuottoon vaikuttavina määrä- ja arvotekijät.

Metsikön perustamiskustannukset muo-
dostuvat luonteeltaan sekä kiinteistä että
muuttuvista kustannuksista. Kiinteitä kus-
tannuksia aiheuttaviin toimintoihin on luet-
tava raivaus, maanpinnan valmistus ja hal-
linto. Perustamiskustannuksen muuttuva
osa riippuu etenkin viljelytiheydestä. Istu-
tuskustannusten muodostuminen voidaan sit-
ten esittää seuraavasti kaavana:

$$(1) C = F + C(p) \times N$$

C = istutuskustannus, mk/ha

F = kiinteät kustannukset, mk/ha

C(p) = taimen hinta ja työkuustannus, mk/kpl

N = taimien lukumäärä, kpl

Pohjoismaissa kuusen kasvatuksen edulli-
suutta eri tiheysluokissa on tutkittu verraten
runsasti (esim. M u n k ø e 1944, E k -
l u n d 1956, O k s b j e r g 1960, N e r s -
t e n 1962, S j o l t e - J ø r g e n s e n
1963, 1967 ja W i k s t e n 1965). Yhdysval-
loissa ja Kanadassa on niin ikään tutkittu
tätä kysymystä sikäläisillä puulajeilla (esim.
S m i t h 1958, 1959, S m i t h ym. 1965,
W a m b a c h 1967, B u o n g i o r n o &
T e e g u a r d e n 1973 ja L u n d g r e n
1976).

Määrällisen tuotoksen ohella puun laatu-
tekijät vaikuttavat keskeisesti puunkasva-
tuksen edullisuuteen. Viljelytalouteen siir-
ryttäessä on yhä enemmän kiinnitetty hu-
miota puuaineen laatuksymyksiin. Yleisenä
tendenssinä näyttää olevan se, että on oltu
yhä enemmän huolestuneita viljelymetsäta-
louden metsänhoitomenetelmien tuottamas-
ta huonolaatuisesta puuaineesta verrattaessa
sitä luonnonmetsistä saatavaan puuhun.
Puun lujuusominaisuuksien ja kuitujen
saannon on todettu riippuvan puuaineen ti-
heydestä, johon puolestaan vaikuttaa kasvu-
tiheyden kanssa korreloiva kasvunopeus.
Tutkimuksissa on nimittäin todettu, että
kasvunopeus yleensä alentaa puuaineen ti-
heyttä (H a k k i l a ja U u s v a a r a
1960). Sahatukkien laatu ja erityisesti lu-
juusominaisuudet tulevat entistään tärke-

ämmiksi mekaanisessa metsäteollisuudessa, kun siirrytään yhä yleisemmin lujuslajitteiluun ja -hinnoitteluun sahatavaran markkinoinnissa.

Perustamistiheyden vaikutusta voidaan tarkastella sekä tukki- että kuitupuun kannalta. Tukkipuun laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat järeys, lujusominaisuudet ja vikaisuudet. Kuitupuun laatu riippuu ennen kaikkea kuitujen saannosta ja pituudesta. Saantoa indikoi puuaineen tiheys. Näin olen kuiva-ainetuotos on ainakin periaatteessa kuutiotuotosta parempi kuitupuun mittayksikkö. Ilmeisesti juuri tämän vuoksi mm. Eriksson (1976) on käsitellyt kuusen tuotostaulukoissaan tuotosmääriä käyttäen rinnakkain kumpaakin mainittua mittayksikköä.

12. Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on valaista metsikön perustamis- ja kasvutiheyden ongelmaa kuusen kasvatuksessa. Aiheita tarkastellaan sekä tuotosopillisena että taloudellisena kysymyksenä. Vaikka tässä tutkimuksessa ei ole ollut käytettävissä empiiristä aineistoa perustamis- ja kasvustiheyden vaikutuksesta puun laatuun, pyritään sen vaikutus ottamaan huomioon kir-

jallisuustietojen perusteella.

Metsikön perustamis- ja kasvustiheyttä on käsitelty suomalaisessa metsäntutkimuksessa erittäin vähän muihin maihin verrattuna. Tämän johdosta on aiheellista käsitellä tämän aihepiirin laajan kansainvälisen tutkimustoiminnan keskeisimpiä tuloksia. Vaikka tämän tutkimuksen empiirinen aineisto koskee kuusen kasvatusta, pyritään tutkimuksen eri vaiheissa arvioimaan tiheyden vaikutusta myös männyn kasvatukseen. Kokonaisuudessaan perustamistiheys on erityisesti viljelymetsätalouden ongelma.

Metsänviljely on saavuttanut Suomessa keskimäärin 135 000 hehtaarin vuositason kymmenvuotiskautena 1965—1974. Kylvön ja istutuksen osuudet viljelyalasta näyttävät vakiintuneen siten, että kylvön osuus on n. 20 % ja istutuksen n. 80 % viljelyalasta (Metsätilastollinen... 1974, s. 108). Metsänviljely, erityisesti istutus aiheuttaa suurimman yksittäisen puunkasvatuksen kustannuserän metsikön pinta-alayksikköä kohden kiertoajan kuluessa. Metsikön uudistaminen taimikon hoito mukaan lukien muodostaa noin 70 % metsänhoitotöiden kokonaiskustannuksista. Kun viljelyalat vuosittain ovat edellä esitettyä suuruusluokkaa, toiminnalla on huomattava kansantaloudellinenkin merkitys.

2. TUTKIMUSAINEISTO

21. Koealojen maantieteellinen sijainti, niiden perustaminen ja hoito

Koealat sijaitsevat Itä-Hämeessä Padasjoen kunnassa Hämeenlinnan kaupungin omistaman Turvan tilan mailla. Koejärjestely on esitetty kuvassa 2 (s. 9). Niin kuin kuvasta 2 näkyy, Turvan tilalle perustettiin istutustiheyskokeiden kanssa samanaikaisesti myös muita puunkasvatuskokeita. Turvan tilan koealojen tarkka maantieteellinen sijainti ja kasvukauden olosuhteet ovat seuraavat (K o l k i 1966):

Sijainti:	N 61° 20', E 25° 20'
Korkeus merenpinnasta:	140 m
Maaston kaltevuus:	5 NW
Kasvukausi:	163 vrk
Kasvukauden keskilämpötila:	12,1 C°
Lämpösusma:	1151 d.d.
Vuoden keskilämpötila:	3,3 C°

Koealoille istutettiin v:n 1933 toukokuussa 2 + 2 -vuotisia Metsäntutkimuslaitoksen Ruotsinkylän kokei-

lualueen taimitarhassa kasvatettuja taimia, joiden siemen oli kerätty Tuusulan kunnasta. Istutuksesta oli siis kulunut metsiköiden viimeiseen mittaukseen mennessä 42 vuotta, mutta puiden ikä oli 46 vuotta. Laskelmat ja tulosten analyysit perustuvat ensiksi mainitulla tavalla määriteltäviin ajanjaksoihin.

Koealojen pinta-ala on 4 a (20 x 20 m). Istutusetäisyydet koealoittain olivat 1,3 x 1,5 m, 1,65 x 1,65 m, 2,0 x 2,0 m, 2,25 x 2,25 m ja 2,7 x 2,8 m sekä näitä vastavat taimiluvut koealoittain 200, 150, 100, 80 ja 50 kpl. Hehtaarikohtaisiksi muutettuina tulee taimien määräksi siis 5 000, 3 750, 2 500, 2 000 ja 1 250 kpl. Kustakin viljelytiheydestä on kolme toistoa, joten koealojen kokonaismäärä on 15 kpl.

Viljelytiheyskokeen toistot on perustettu aukeaksi hakatulle metsämaalle (koealat 713, 714, 715, 717 ja 718), koivuverhoppuuston alle (koealat 739, 740, 741, 743 ja 744) sekä harventamattoman leppäverhoppuuston alle (koealat 762, 763, 764, 765 ja 766). Voidaan siis puhua eräänlaisesta tilastollista toistoa muistuttavasta koejärjestelystä, joskaan se ei vastaa nykyistä käsitystä toistolle asetettavista vaatimuksista. Koealojen keskinäistä sijaintia ei myöskään ole arvottu.

Puuston hakkuu on tapahtunut välittömästi ennen istutusta. Koealoille syntyneitä vesakkoa ei ole perattu metsikön kehityksen alkuvaiheissa. Täten on tahdottu saada tulokset vastaamaan niitä olosuhteita, joissa taimet tavallisesti saavat kasvaa metsänviljelyn jälkeen. Vesakosta on kuitenkin johtunut, että taimien pituuskehityksessä on ollut vaihtelua (Heikinheimo 1941).

Koalalan kokoa (4 aaria) on pidettävä liian pienenä kuutiomäärän ja kasvun luotettavaa mittaamista varten. Koealojen suositeltavat koot tähän tarkoitukseen ovat yleensä 5—30 aaria ja koealojen pinta-ala vaihtelee sen käyttötarkoituksen, puuston kehitystason ja tiheyden sekä metsikön koon mukaan. Mitä järeämmästä ja harvemmasta puustosta on kyse, sitä suurempaa koealaa on käytettävä. Yleisenä tavoitteena on vähintään 100 puuta koealaa kohti (Kilki 1973). Tämän tutkimuksen aineistossa on viimeisimpien mittaustulosten mukaan (1975) 29—59 puuta koealaa kohti. Koealojen puun kasvatuskokeeksi liian pieni pinta-ala heikentää tulosten luotettavuutta, mikä on otettava huomioon tuloksia arvioitaessa. Viimeksi mainitun kriteerin mukaan koealojen pinta-alan olisi pitänyt olla vähintään 10 aaria. On kuitenkin muistettava, että koealat ovat osa laajaa alunperin metsänistutusmenetelmien eikä puunkasvatuksen ja tuotoksen tutkimiseksi perustettua koealasarjaa (ks. Heikinheimo 1941).

Koealat sijaitsevat välittömästi toistensa vieressä siten, ettei niiden välillä ja reunoilla ole puuston ns. reunavaikutukselta suojaavaa vaippaa (kuva 2, s. 9). Tosin yksikään koeala ei rajoitu täysin puuttomaan alueeseen, mutta joistakin reunapuista havaitsee vaipan puuttumisen vaikutuksen. Näillä koealoilla puiden rin-

nankorkeusläpimitta ja latvuksen suhteellinen pituus ovat suuremmat kuin koealalla keskimäärin. Suojaavan vaipan puuttuminen heikentää koealojen pienen koon lisäksi tulosten luotettavuutta.

Nyyssönen ja Vuokila (1969) pitävät tarpeellisenä käyttää vähintään 6 metrin levyistä suojavyöhykettä mänty- ja koivukoealojen ympärillä. Kuusikoealoilla vaippa voi sen sijaan olla kapeampi, ei kuitenkaan alle 4 metriä. Tuotostutkimuksen koealoilla vaippa on erityisen tärkeä metsittämättömään alueeseen rajoittuvilla sivuilla. Myös koealojen välillä tulisi olla vaippa silloin, kun niiden käsittelyt poikkeavat voimakkuudeltaan selvästi toisistaan (Evertt 1971).

Kokeen yhteydessä mahdollisesti suoritetuista taimiston alkukehityksen hoitotoimenpiteistä ei ole tietoja lukuunottamatta myöhästynyttä verhopuiden hakkua v. 1949, jolloin koealat myös perattiin (verhopuustosta lähemmin luvussa 31.). Taimien kuolleisuus oli v. 1938 suoritettuun tarkastukseen mennessä erittäin pieni, yksittäisellä koealalla enintään 9 % ja keskimäärin 5 % taimien lukumäärästä.

Jokaista koealaa on harvennettu kolme kertaa eli vuosina 1955, 1965 ja 1970. Ensimmäisellä harvennuskerralla puuston valtipituus on ollut 10 m. Nykykäytännöstä poikkeavaa on ollut kahden harvennuksen suorittaminen 5 vuoden välein. Mainittuna ajanjaksona tosin valtipituus on lisääntynyt n. 3 m, mikä on harvennusvälinä varsin normaali. Puita ei ole leimattu minikään pohjapinta-alanormin vaan subjektiivisen harkinnan perusteella alaharvennuksena. Poistuman runkoluju ja kuutiomäärä ovat poikkeuksetta olleet sitä pienemmät, mitä harvempaan on istutettu.

22. Maaperä ja kasvillisuus

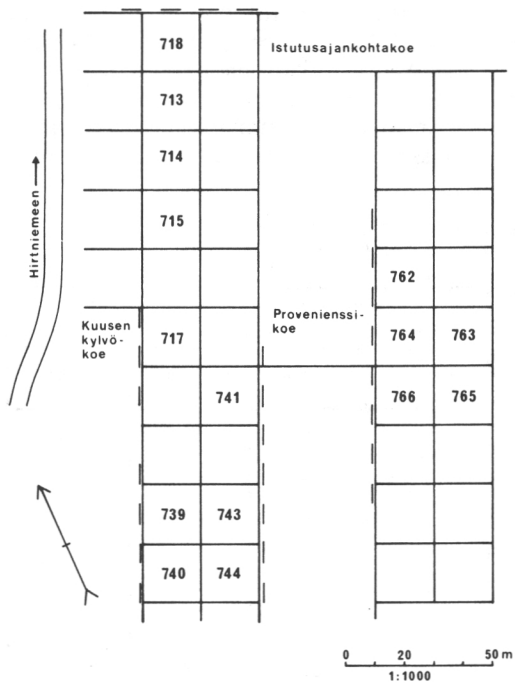
Kivennäismaanäytteiden perusteella koealojen väliset ravinteisuus- ja happamuuserot näyttävät puiden kasvun kannalta merkitykseltömiltä. Maalaji on kivistä moreenia ja sen kivisyysprosentti (Viro 1952) on koealoittain 43—62 %.

Pintakasvillisuushavainnot on tehty v. 1938. Metsätyyppi on niiden perusteella hyvää käenkaali-mustikka-tyyppiä (OMT). Kasvillisuus on ollut monipuolista, eikä vaateliäiden lajien osalta havaittu eroja koealojen välillä. Alueelta on tavattu useita tuoretta ja rehevää kasvupaikkaa vaativia kasvilajeja; typologisesti tärkeät 1) metsän liekosammal (*Rhytidadelphus triquetrus*), 2) ruusukesammal (*Bryum roseum*), 3) käenkaali (*Oxalis acetosella*) sekä 4) vuoheputki (*Aegopodium podagraria*) ja 5) vadelma (*Rubus idaeus*) ovat olleet hyvin yleisiä.

23. Aineiston keruu, käsittely ja tulosten esitystapa

Puusto on mitattu yhteensä viisi kertaa, vuosina 1954, 1962, 1965, 1970 ja 1975. Koska koe on ollut sotien takia "unohduksissa", ovat verhopuusto ja tuntemattomat tekijät ilmeisesti aiheuttaneet kasvuolosuhteiden vaihtelua. Koealan jokaisesta puusta on luettu rinnankorkeusläpimitta. Kapeneminen ja pituus on mitattu koeapuista siten, että kustakin koeruudusta on valittu pohjapinta-alalla painottaen kahdella ensimmäisellä ja neljännellä mittauskerralla 10 koepuuta, v. 1965 25 koepuuta ja v. 1975 20 koepuuta.

Koeputietojen perusteella on graafisesti tasoitetaan piirretty kullekin koealalle pituus- ja kapenemiskäyrät, joiden perusteella on määritetty puuston kuorellinen kuutiomäärä Ilvessalon (1948) taulukoita käyttä-



Kuva 2. Koealojen sijainti Turvan tilalla Padasjoen kunnassa.

Figure 2. Map of the study plots on Turva farm in Padasjoki commune.

en. Tarvittavat keskilämpimittä ja -pituus on laskettu runkoluvulla painotettuna aritmeettisena keskiarvona. Valtalämpimittä on hehtaarikohtaisen sadan paksuimman puun läpimittojen ja valtapituus on niiden pituuksien aritmeettinen keskiarvo.

Arvio verhopuuston (koivikon) kuutiomäärästä vuosille 1933 ja 1949 perustui v. 1954 tapahtuneeseen kantolämpimittöjen mittaukseen. Kantolämpimittöistä määritettiin rinnankorkeusläpimitat Laasasenahon (1975, s. 7) laatimalla yhtälöllä. Puiden kuutiomäärien arviot saatiin sitten rinnankorkeusläpimitalluokittain Laasasenaho (1975, s. 5) tutkimuksesta ja kuutiomäärän jakauma tavaralajeihin rinnankorkeusläpimitalluokittain Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston kenttätöyöheistä. Verhopuuston koivujen jakauma rinnankorkeusläpimitalluokkiin istutusvuonna 1933 arvioitiin vuoden 1954 mittaustuloksista Koiviston (1966, s. 7) esittämän läpimitan ja keskimääräisen iän välisen riippuvuuden mu-

kaan. Tässä arvioinnissa oli perustana hoidetun OMT-rauduskoivikon valtalämpimittan (D_{1,3}) ja iän välinen riippuvuus Itä-Hämeessä. Verhopuuston kuutiomäärän ja rakenteen selvittämiseksi vuosina 1933 ja 1949 edellä esitetty menetelmä on kuitenkin karkea.

Koaloilta kertyneet mittaustulokset esitetään seuraavassa yleensä kulloisenkin runkoluvun funktiona. Tiheyden vaikutusta analysoidaan graafisesti muuttujittain, jolloin kyseisen muuttujan koalakohtainen keskiarvo on havaintoarvona. Usein tarkastellaan metsikön puustotunnusten kehitystä myös ajan funktiona. Tuloksia analysoidaan verbaalisesti ja verrataan niitä kirjallisuustietoihin. Verbaalista tulosten tulkintaa on pidetty tarkoituksenmukaisena siksi, että koalojen puuston historiallinen kehitys on ollut tiedossa metsikön perustamisesta lähtien. Tilastollisten parametrien käyttöä ei ole pidetty aiheellisena, koska kokeen järjestelystä jo sinänsä tiedetään aiheutuneen eroja koalojen puustojen kehitykseen.

3. PUUSTON TUNNUKSET

31. Verhopuusto

Alueella ennen kokeen perustamista ollut metsä oli 25-vuotiasta koivua ja harmaaleppää. Näitä puita jätettiin verhopuiksi, koaloja 713, 714, 715, 717 ja 718 lukuun ottamatta. Alkuperäisenä kokeen tarkoituksena oli tutkia istutusvälin ohella verhopuiden vaikutusta viljelykuusikon varhaiskehitykseen. Tältä osin Heikinheimon (1941) on julkaissut tulokset. Todettakoon tässä vain lyhyesti, että koivu haittasi leppää huo-

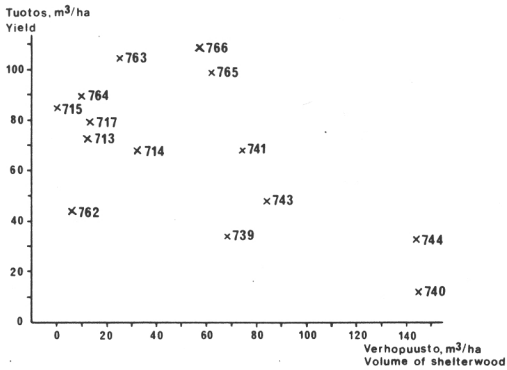
mattavasti enemmän kuusten kasvua. Taulukossa 1 (s. 10) esitetään arvio verhopuuston kuutiomäärästä ja sen rakenteesta istutusvuonna 1933 ja v. 1949, jolloin verhopuusto poistettiin.

Istutusvälikokeen kannalta on ollut haitallista, että verhopuut poistettiin vasta 16 vuotta istutuksen jälkeen ja, että ne jakautuivat epätasaisesti koalojen kesken. Verhopuita oli eniten koaloilla 744 ja 740, joilla kuusikon kasvu on tämän takia hidastunut.

Kuvassa 3 (s. 11) on vertailtu verhopuus-

Taulukko 1. Arvio verhopuuston kuutiomäärästä ja sen rakenteesta vuosina 1933 ja 1949.
Table 1. Estimated volume of the shelterwood and its structure in 1933 and 1949.

Koalan numero Number of the sample plot	Istutusvuosi 1933/Planting year 1933 Kuutiomäärä, k-m ³ /ha — Volume				Verhopuuston poistovuosi 1949/ Cutting year 1949 of the shelterwood Kuutiomäärä, k-m ³ /ha — Volume			
	Tukkipuuta Sawnwood	Kuitupuuta Pulpwood	Hakkuutäht. Wastewood	Yhteensä Total	Tukkipuuta Sawnwood	Kuitupuuta Pulpwood	Hakkuutäht. Wastewood	Yhteensä Total
713	—	—	—	—	—	6	6	12
714	—	—	—	—	—	24	8	32
715	—	—	—	—	—	—	—	—
717	—	—	—	—	—	—	8	8
718	—	—	—	—	—	10	3	13
739	—	15	3	18	18	45	5	68
740	54	28	4	86	100	38	7	145
741	17	9	3	29	32	31	11	74
743	17	16	3	36	42	38	4	84
744	44	35	4	83	100	40	5	145
762	—	—	—	—	—	—	6	6
763	—	—	—	—	—	22	8	30
764	—	—	—	—	—	3	7	10
765	—	—	—	—	—	42	20	62
766	—	—	—	—	—	40	17	57

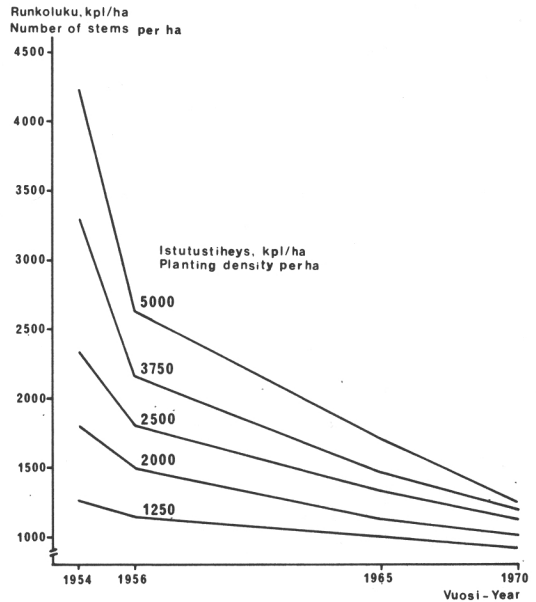


Kuva 3. Kuusen kokonaistuotos (m^3/ha) metsikön 21 vuoden ikään mennessä ja sen riippuvuus 6 vuotta aiemmin poistetun verhopuuston kuutiomäärästä koaloittain.

Figure 3. Yield of Norway spruce stand at age 21 years and its dependence of the volume of a six years before clear cut shelterwood by study plots.

ton hakkuvuonna (1949) olleen kuutiomäärän ja kuusen vuoteen 1954 mennessä kertyneen tuotoksen (m^3/ha) välistä riippuvuutta koaloittain. Koivuverhopuuston alla kuusen kuutiomäärän kehitys on jäänyt selvästi pienemmäksi kuin avomaalla ja leppäverhopuuston alle istutuksissa. Leppäverhopuuston alla kuuset ovat kehittyneet nopeimmin. Koealan 762 kuutiomäärän kehitys on kuitenkin ollut tässä suhteessa poikkeuksellinen. Kuutiomäärän kehitys tällä koelalla on ollut hidasta pienen kasvutiheyden vuoksi. Avomaalle istutuksissa erot kuutiomäärän kehityksessä eri koalojen välillä ovat olleet pienimpiä.

Koivuverhopuusto on aiheuttanut viljelykuusikon kasvun hidastumista siinä määrin, että verhopuuston alla kasvaneiden kuusten kuutiomäärä on 25–50 m^3/ha pienempi kuin avomaalle istutettujen noin kahdenkymmenen ensimmäisen kasvatusvuoden aikana. Kuutiomäärän kasvussa tämä merkitsee keskimäärin 1,0–2,5 m^3/v eroa em. ajanjakson aikana koivuverhopuuston alla kasvaneiden tappioksi. Leppäverhopuusto ei näytä haitanneen kuusten kehitystä; pikemminkin kuutiomäärän kasvu on ollut näillä koaloilla hieman suurempi kuin avomaalle istutuksissa. Lepän tunnettu maaperän ravinteisuutta parantava sekä toisaalta pintakasvillisuutta kurissa pitävä vaikutus on ilmeisesti hieman lisännyt kuusen kasvua siten, että varjostuksen aiheuttama haitta on kompensoitunut.



Kuva 4. Runkoluvun keskimääräinen kehitys eri istutustiheysluokissa vuosina 1954–1970, kun koaloja on harvennettu vuosina 1955, 1965 ja 1970.

Figure 4. Average development of the number of stems in different planting density classes in 1954–1970, when study plots are commercially thinned in 1955, 1965 and 1970.

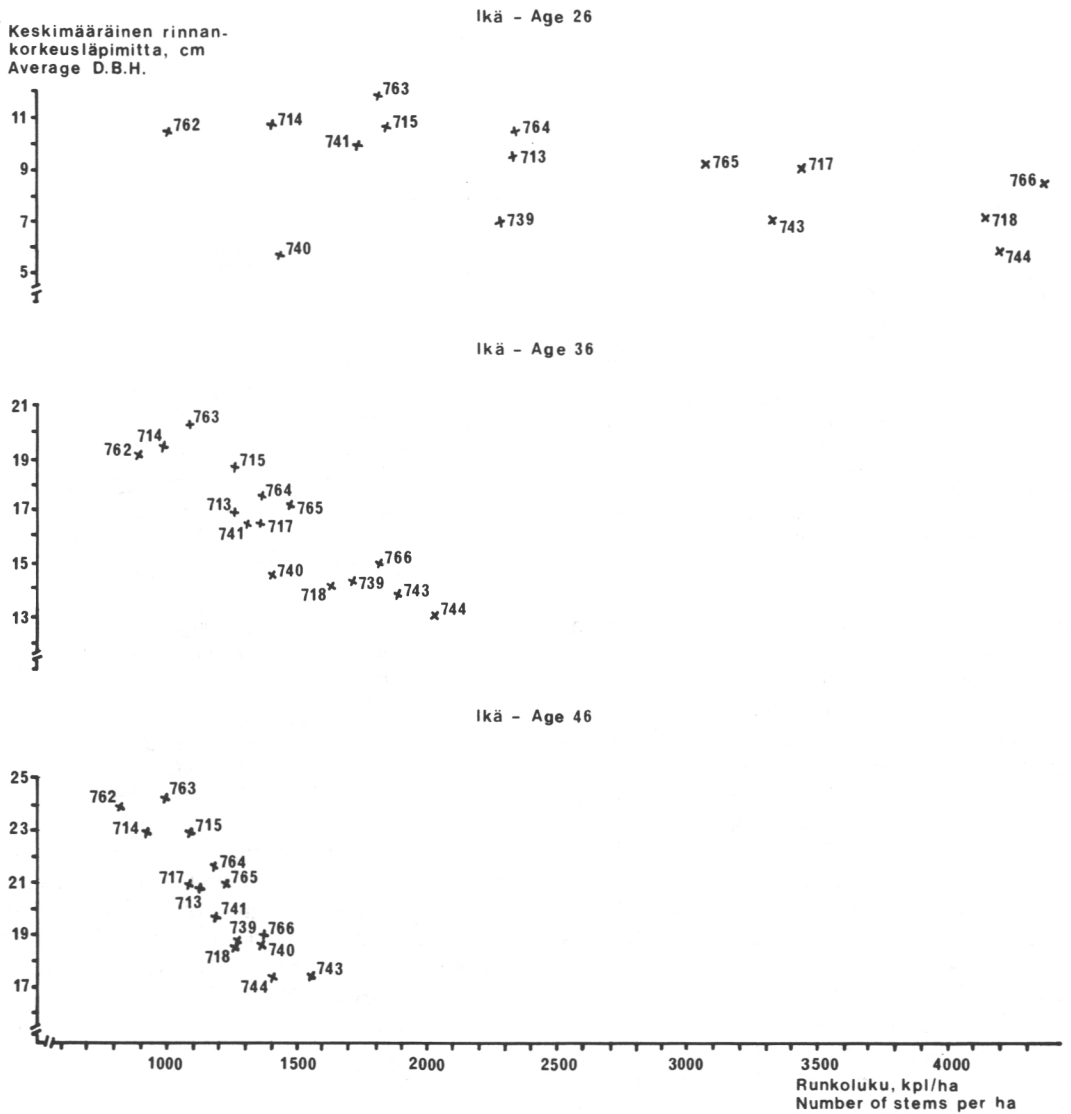
Tässä kuusen kasvatuskokeessa saadut tulokset koivu- ja leppäverhopuuston vaikutuksesta kuusen kasvuun ovat yhdenmukaisia aiemman tietämyksen kanssa ja nämä tulokset näin ollen vahvistavat varhempia käsityksiä (esim. Kalela 1936 ja Heikinheimo 1941).

32. Runkoluku

Runkoluvun kehitykselle eri koaloilla on ollut ominaista, että istutusvaiheessa esiintyneet suuret erot ovat tasoittuneet ensimmäisten vuosikymmenien aikana. Tosin luontaisen poistuman lisäksi runkolukua ovat supistaneet etenkin harvennushakkuut. Puiden iän ollessa 46 vuotta (1975) oli suurimman ja pienimmän istutustiheyden välinen runkoluvun ero enää keskimäärin 380 kpl/ha (kuva 4, s. 11).

Istutus on onnistunut hyvin, koska taimien kuolleisuus oli, kuten todettiin, ensimmäisen viiden vuoden aikana keskimäärin vain n. 5%. Vuosien 1938 ja 1954 välillä puiden luku on pienentynyt luontaisen harvenemisen ja mahdollisesti verhopuiden kaa-

Keskimääräinen rinnan-
korkeusläpimitta, cm
Average D.B.H.



Kuva 5. Koalojen puiden keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta 26, 36 ja 46 vuoden iässä.
Figure 5. Average diameter breast height by study plots at tree ages 26, 36 and 46 years.

don ja korjuun takia eniten (keskimäärin 470 kpl/ha) tiheimpään istutetuilla koaloilla. Sen sijaan tällöin kahdella koalalla (istutusväli 2,7 x 2,8 m) ja yhdellä koalalla (istutusväli 2,25 x 2,25 m) puuluku on lisääntynyt hieman yli istutusmäärän; istutuksen jälkeen on näin ollen syntynyt luontaisesti taimia. Luontaiset taimet vaikuttavat varsinkin ensimmäisen mittauksen (1938) tuloksiin siten, että lähinnä alhaisimman istutustiheyden puustotunnukset ovat pienentyneet. Valtaosa näistä ylimääräisistä puista on poistettu todennäköisesti ensiharvennukses-

sa. Koalalla 740 (viljelytiheys 1 250 kpl/ha), jolla oli vuonna 1954 seitsemän puuta enemmän kuin alunperin istutettiin, on harvennettu niin säästeliäästi, että sillä vieläkin (1975) oli yksi puu enemmän kuin istutettiin.

Viljelytiheyksillä 5 000 kpl/ha ja 3 750 kpl/ha ovat runkoluvut pienentyneet harvennushakkuiden takia erityisen selvästi. Ensiharvennuksessa ensin mainitusta tiheydestä on poistettu puuta keskimäärin 1 600 kpl/ha ja jälkimmäisestä keskimäärin 1 100 kpl/ha. Runkoja on siis ollut jäljellä tämän

jälkeen, kun istutuksesta on kulunut 23 vuotta, enää 53 % ja 58 % viljelymäärästä. Vastaavat luvut ovat nykyään (1975) 27 % ja 32 %, eli suurimmalla istutustiheydellä perustetuilla koealoilla on lähtöpuuluvusta jäljellä noin neljäsosa. Sen sijaan väljimmässä asennossa puita on nykyisin (1975) jäljellä 75 % viljelymäärästä. Runkoluvun pieneminen keskimäärin eri istutustiheyksissä vuosina 1954—1970 on esitetty kuvassa 4 (s. 11).

33. Rinnankorkeusläpimitta

Rinnankorkeusläpimitan keskimääräisen kehityksen riippuvuutta kasvatustiheydestä tarkastellaan koealoittain kolmen mittauskerran perusteella. Rinnankorkeusläpimitat mitattiin vuosina 1955, 1965 (harvennuksen jälkeen) ja 1975. Keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan ja kasvatustiheyden välinen riippuvuus koealoittain mainittuina ajankohtina puiden ikänä ilmaistuna on esitetty kuvassa 5 (s. 12).

26 vuoden iässä rinnankorkeusläpimitat ovat saavuttaneet likimain saman tason kasvatustiheyksissä alle 2 500 runkoa/ha. Tätä suuremmissa kasvatustiheyksissä kasvutilan puute näyttää hidastaneen läpimitan kasvua. Kyseisissä viljelykuusikoissa 2 000—2 500 runkoa hehtaaria kohden näyttää käyttävän koko kasvutilan hyväkseen noin 20 vuoden iässä.

Koealoilla, joilla kuusen taimet istutettiin koivuverhokuuston alle, puiden rinnankorkeusläpimitat ovat keskimäärin jääneet jälkeen muista koealoista. Rinnankorkeusläpimitan kasvun jälkeenjääneisyys on selvintä koealoilla, joilla oli eniten verhokuustoa (koealat 740 ja 744). Erot jälkeenjääneisyydessä korostuvat taimikon perustamistiheyden pienetessä. Suurimmillaan ero koivuverhokuusto- ja muiden koealojen keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan välillä oli 6 cm eli tässä suhteessa parhaalla koealalla (763) keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli kaksinkertainen huonoimpaan verrattuna.

Koealojen väliset erot keskimääräisessä rinnankorkeusläpimitassa ovat lisääntyneet vuoteen 1965 mennessä edellisestä mittauskerrasta eli 10 vuodessa. Erojen lisääntyminen johtuu lähinnä siitä, että harvennuksissa vuosina 1955 ja 1965 on poistettu pääasiassa pieniläpimittaisimpia puita. Rinnankorkeusläpimitan kasvu on ollut nopeinta

väljimmässä kasvatusasennossa. Kasvatustiheys yli 1 200 runkoa hehtaarille näyttää hidastavan keskiläpimitan kasvua metsikön iän ollessa 32 vuotta. Koivuverhokuuston alle istutetut kuuset ovat kuten ensimmäisenäkin mittausajankohtana läpimitan kehityksessä selvimmin jäljessä.

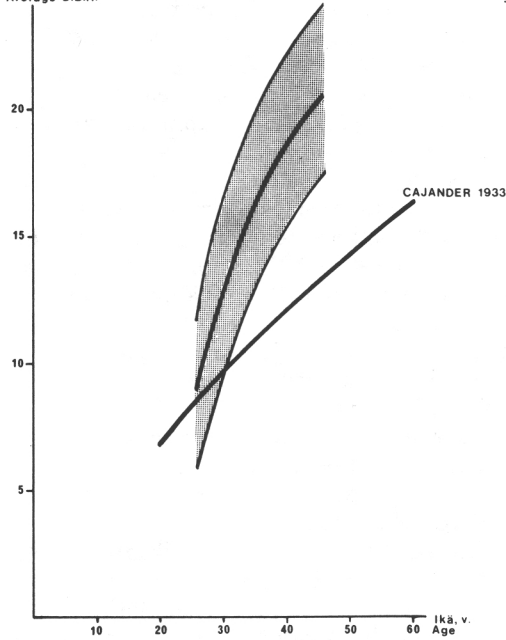
Koealojen välillä ei näytä tapahtuneen oleellisia muutoksia keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan kehityksessä kymmenvuotiskautena 1965—1975, vaikka koealoja harvennettiin vuonna 1970. Läpimitat ovat lisääntyneet 3—4 cm mainittuna tarkastelukaupana, mikä on johtunut kasvun ohella myös siitä, että harvennuksessa vuonna 1970 poistettiin pieniläpimittaisinta puustoa. Keskimääräinen rinnankorkeusläpimitan kasvu näyttää hidastuvan metsikön iän ollessa 42 vuotta, kun kasvatustiheys on noin 1 000 runkoa hehtaaria kohden.

Kuvassa 5 nähdään niin ikään se, että keskimääräiset rinnankorkeusläpimitat ovat koivuverhokuustoissa koealoilla vuonna 1975 likimain saman suuruiset kuin nopeimmin kehittyneillä muilla koealoilla vuonna 1965. Koivuverhokuuston alle istutetuilla koealoilla kuusen läpimitan kasvu on jäänyt likimain 10 vuotta jälkeen parhaiten kasva-neista koealoista.

Kuvassa 6 (s. 14) on esitetty keskimääräiset rinnankorkeusläpimitat ja niiden vaihtelualue kaikilla koealoilla puiden iän funktiona. Läpimitan kehitystä näillä koealoilla on lisäksi verrattu C a j a n d e r i n (1933) mittaustuloksiin. Rinnankorkeusläpimitan kasvu on ollut tarkastelukaupana keskimäärin erittäin nopeata. Rinnankorkeusläpimitojen vaihtelualue on lisääntynyt iän myötä, mikä johtuu luonnollisesti siitä, että tiheuserot ovat vaikuttaneet erilaiseen läpimitan kasvuun. Vaihtelualan ylärajaa edustavat väljimmässä kasvaneet koealat ja alarajaa tiheimmässä metsikön alkuvaiheessa verhokuuston alla kasvaneet koealat. Rinnankorkeusläpimitan kasvu C a j a n d e r i n aineistossa viittaa vahvasti siihen, että metsiköiden tiheys tuon vertailuaineiston metsiköissä on ollut 30 vuoden kasvatusjakson jälkeen suurempi kuin tässä aineistossa (vrt. kuva 6, s. 14).

Perustamistiheyden vaikutuksesta kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvuun tutkijat ovat saaneet edellä esitetyn kanssa yhden-suuntaisia tuloksia (esim. B r a a t h e 1952, W i k s t e n 1965, S j o l t e - J ø r -

Keskimääräinen rinnan-
korkeusläpimitta, cm
Average D.B.H.



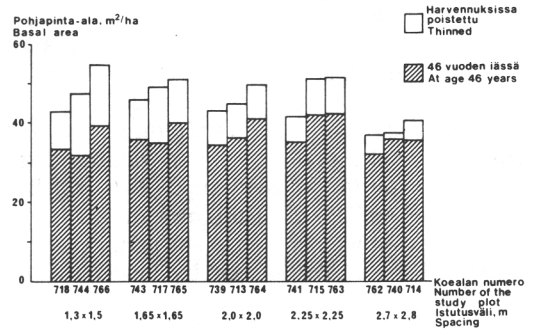
Kuva 6. Keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta ja sen vaihtelu koaloilla iän funktiona.

Figure 6. Average diameter at breast height and its deviation on the study plots as a function of age.

gensen 1967). Läpimittaerot tiheysluokkien kesken syntyvät pääosin metsikön ensimmäisten vuosikymmenien aikana. Läpimittojen myöhempi kasvu riippuu tämän jälkeen metsikön käsittelyn voimakkuudesta.

34. Pohjapinta-ala

Nykyisen (1975) ja harvennuksissa poistetuun puuston pohjapinta-ala on esitetty istutustiheysluokittain ja koaloittain kuvassa 7 (s. 14). Siitä nähdään, että tarkasteluajan kuluessa kertynyt pohjapinta-ala on sitä suurempi, mitä suurempi perustamistiheys on ollut. Nykypuuston pohjapinta-ala vaihtelevat 32–42 m²/ha välillä ja ne ovat likimain riippumattomia alkuperäisestä tiheydestä. Harvennuksissa on poistettu tiheimpään istutetuilta koaloilta pohjapinta-alasta yhteensä 10–15 m²/ha, mikä vastaa 30–45 % nykypuuston pohjapinta-alasta. Pohjapinta-alasta on harvennuksissa poistettu aina sitä vähemmän, mitä väljemmästä alkuperäisestä istutustiheydestä on ollut kyse. Väljimmissä istutuksissa on harvennettu



Kuva 7. Harvennuksissa poistetun ja 46 vuoden iässä olevan puuston pohjapinta-ala koaloittain.

Figure 7. Basal areas of commercial thinnings and the stand at age 46 years by study plots.

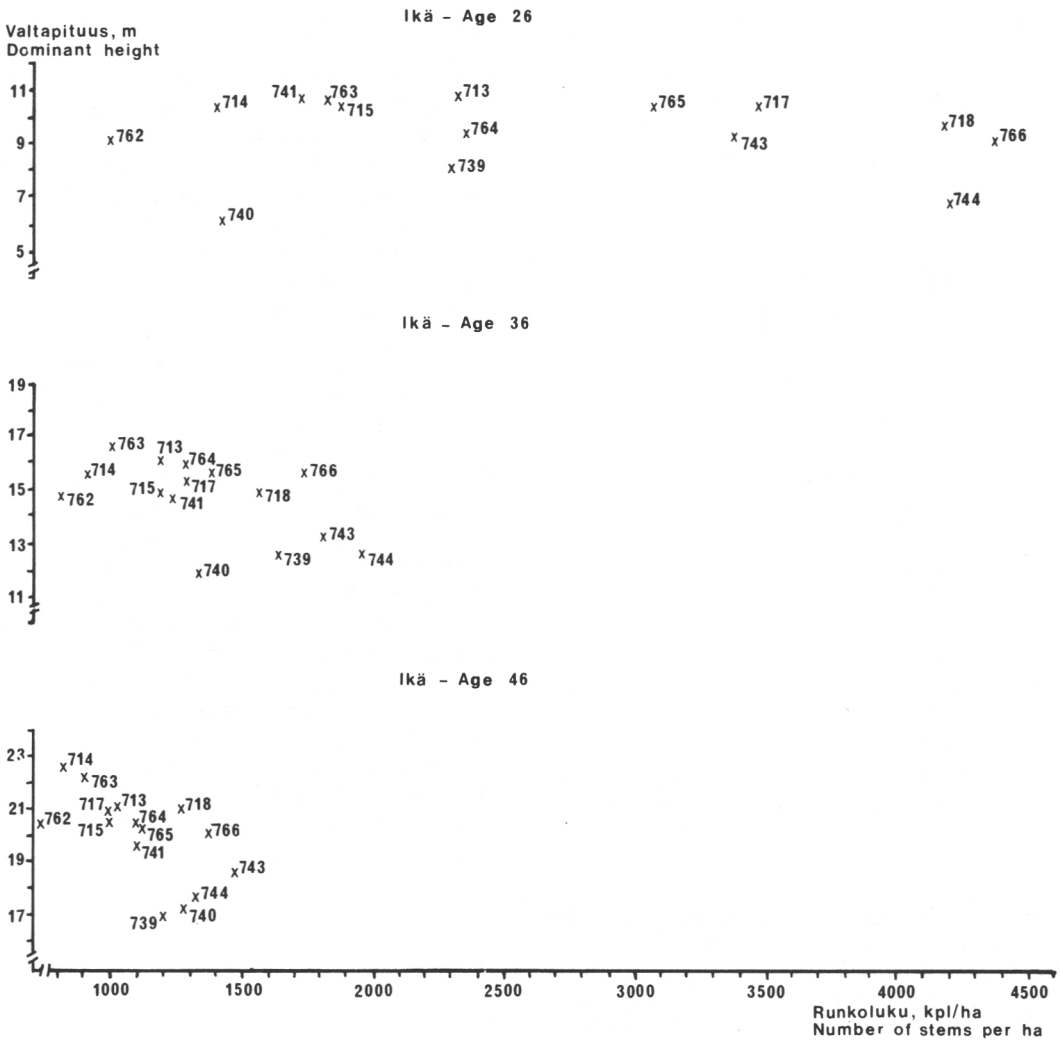
5–15 % nykypuuston pohjapinta-alasta lukien.

Pohjapinta-ala ylittivät Keskusmetsälautakunta Tapion normit (Tapion taskukirja 1975, s. 133). Valtapituuden ollessa 20 m (vrt. kuva 8, s. 15) harvennus suositellaan tehtäväksi pohjapinta-alaan 23–27 m²/ha riippuen harvennuskertojen lukumäärästä. On kuitenkin muistettava, että Tapion normit on laadittu luontaisesti syntyneille metsiköille. Viljelymetsiköiden normit voivat olla luontaisia suurempia. Pohjapinta-ala ylittävät siis tämän normin 5–15 m²:llä hehtaaria kohti. Tarkasteltavina olevien koalojen pohjapinta-ala ovat niin ikään suuremmat kuin Cajanderin (1933, s. 24) viljelykuusikoissa. Niissä pohjapinta-ala oli keskimäärin 33,0 m²/ha vastaavalla kasvupaikalla 45 vuoden iässä.

Kirjallisuustiedot perustamistiheyden vaikutuksesta pohjapinta-alan kasvuun ovat samanlaisia tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Pohjapinta-ala lisääntyvät likimain lineaarisesti tiheyden funktiona, eikä tähän riippuvuuteen näytä vaikuttavan puulaji, kasvupaikka eikä kehitysluokka (Braathe 1952, Cromer & Pawsey 1957, Wiksten 1965, Sjolte-Jørgensen 1967, Evert 1971, Eriksson 1976). Ensimmäiset harvennukset tasaavat perustamistiheydeltään erilaisten metsikköjen pohjapinta-alarajoja (Kjersgård 1964). Tasaantuminen on havaittavissa myös tämän aineiston perusteella.

35. Valtapituus

Valtapituuden kehitystä on tarkasteltu kymmenvuotiskausittain eri koaloilla ku-



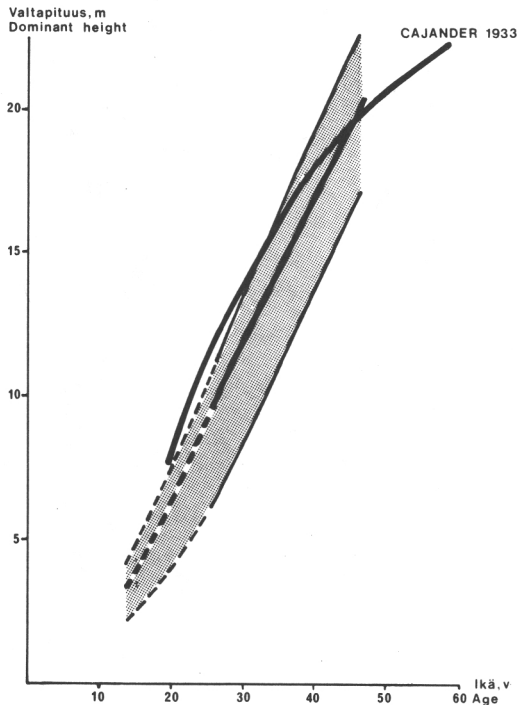
Kuva 8. Koealojen puiden valtapituus 26, 36 ja 46 vuoden iässä.
 Figure 8. Dominant heights by study plots at ages 26, 36 and 46 years.

vassa 8 (s. 15). Valtapituuden kehitys on ollut likimain riippumaton kasvatustiheydestä koealojen puiden 26 ensimmäisen ikävuoden aikana. Verhoppuustokoealoilla valtapituus on jäänyt enimmillään 4 m jälkeen parhaiten kasvaneista koealoista.

Seuraavan kymmenvuotisjakson aikana valtapituus on kehittynyt likimain yhtä nopeasti kussakin kasvatustiheydessä. Valtapituuden riippuvuutta kasvatustiheydestä ei siis voida havaita samalla tavalla kuin keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan osalta (vrt. kuva 5, s. 12). Valtapituus on kasvanut mainitun kymmenvuotisjakson aikana keskimäärin 51 cm vuodessa näillä koealoilla. Cajanderin (1933, s. 18) mukaan vilje-

lykusikon valtapituuden kasvu vastaavissa olosuhteissa ja iässä on ollut keskimäärin 55 cm vuodessa.

Puiden ikäjakson aikana 36 vuodesta 46 vuoteen valtapituuden kasvu on ollut vielä jonkin verran suurempi kuin edellisenä ajanjaksona. Vuotuinen pituuskasvu on ollut keskimäärin 54 cm. Cajanderin aineistossa valtapituuden kasvu on samana ikä kautena ollut edellistä 10 cm pienempi. Kuvasta 10 (s. 16) havaitaan edelleen se, että mainitun vertailuaineiston runkoluku on ollut tuona tarkastelukauteen 2 000—2 500 kpl/ha. Se on ollut siis selvästi suurempi kuin Turvan tilan koealoilla. Väljimmässä asennossa olevilla koealoilla valtapituuden



Kuva 9. Valtapiisuuden keskimääräinen kehitys ja sen vaihtelu koealoilla iän mukaan.
 Figure 9. Average growth of the dominant height and its deviation on the study plots by age.

kasvu on ollut nopeinta siten, että alle 1 000 runkoa hehtaarilla olevilla koealoilla (3 kpl) vuotuinen kasvu on ollut keskimäärin 61 cm. Kasvatustiheyden ja valtapiisuuden kasvun välillä ei kuitenkaan voida Turvan tilan aineiston perusteella havaita selvää positiivista riippuvuutta tämän ikäjaksan aikana.

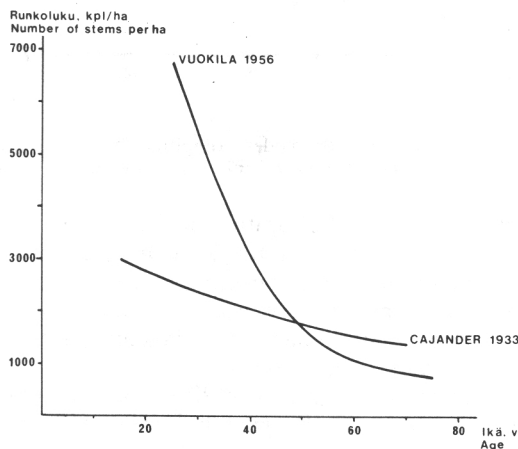
Koealojen puuston keskimääräinen valtapiisuuden kehitys ja sen vaihtelu iän funktiona on esitetty kuvassa 9 (s. 16). Koealojen väliset lähinnä verhopuustosta johtuvat erot valtapiisuuden kehityksessä taimistovaiheessa eivät tasoitu vaan pikemminkin hienokeltaan lisääntyvät iän funktiona. Valtapiisuuden kasvu ei myöskään näytä vielä vähentyvän puiden iän ollessa 46 vuotta.

Valtapiisuus on kehittynyt nopeimmin väljissä ja väljätköissä kasvatusasunnoissa (istutustiheydet 1 250—2 500 tainta/ha) ja hitaimmin koivuverhoppuustoa kasvaneilla koealoilla. Nopeimmin ja hitaimmin kasvaneiden koealojen puustojen välinen ero valtapiitudessa on 5,0—5,5 m, mikä merkitsee 8—10 vuoden pituista ajallista jälkeenjää-

neisyyttä puuston 46 vuoden biologiseen ikään mennessä.

Kuvassa 9 (s. 16) on esitetty myös valtapiituden keskimääräinen kehitys ja sitä on verrattu Cajanderin (1933, s. 18) esittämiin vastaaviin tuloksiin. Cajanderin esittämä valtapiituskäyrä alkaa 40 vuoden iän ohitettuaan jäädä jälkeen kuvassa 9 esitetystä. 45 vuoden iässä keskimääräisten valtapiituuksien välinen ero on 1,0 m. Onkin todennäköistä, että Cajanderin aineistona olevien metsiköiden ylitiehyys ja metsiköiden harventamattomuus ovat alkaneet hidastaa valtapiituden kehitystä 40 ikävuoden jälkeen.

Istutustiheys on ollut Cajanderin OMT-istutuskuusikoissa niitä perustettaessa keskimäärin 5 300 tainta hehtaaria kohden. Tiheys on aineistossa vaihdellut 2 500—9 000 kpl/ha välillä. Vuokila (1956, s. 51) onkin päätellyt Cajanderin aineiston pohjapinta-alojen perusteella, että ”hakkaukset muodostuvat verraten lieviksi näissä viljelykuusikoissa, koska niiden perustaminen on aiheuttanut omistajalle suoranaisia kustannuksia. Viljelykuusikko on omistajalleen arvokkaamman tuntuinen kuin luontaisesti syntynyt metsikkö, josta syystä sitä säästetään usein metsikköä vahingoittavalla tavalla”.



Kuva 10. Runkoluvun kehitys iän mukaan Cajanderin (1933) viljelykuusikkoaineistossa ja Vuokilan (1956) hoidetuissa kuusikoissa.

Figure 10. Development of the number of stems by age in Cajanders (1933) cultivated spruce stands and in Vuokilas (1956) managed spruce stands.

Kuvan 10 (s. 16) laadinnan perusteista on todettava, että C a j a n d e r i n (1933) tutkimusraportissa ei suoranaisesti esitetä tietoja aineistona olleiden metsiköiden runkoluvuista. Kuvassa 10 esitetty runkoluvun ja iän välinen käyrä on laskettu pohjapinta-alojen ja keskiläpimittojen perusteella. Puiden keskiläpimitat eri ikävaiheissa on muunnettu edelleen pohjapinta-aloilla painotetuiksi siten, että C a j a n d e r i n viljelykuusikoiden rinnankorkeusläpimittojen jakaumien on oletettu olleen samanlaisia kuin nykyisten harventamattomien viljelykuusikoiden (Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston mittaustietoja).

Usein on esitetty, että puiden välinen kilpailu kiihottaa pituuskasvua (esim. V u o k i l a 1956, s. 54). Kilpailusta johtuvan pituuskasvun tulisi olla sitä suurempi mitä vähemmän puilla on kasvutilaa käytettävänä. Tämän tutkimuksen mittaustulokset eivät kuitenkaan tue mainittua kilpailuteoriaa. Pikemminkin näyttää siltä, että väljä kasvuasento luo puuyksilöille paremmat kasvuedellytykset kuin tiheä, jolloin myös pituuskasvu lisääntyy. V ä l i a h o (1971, s. 23) ei myöskään voinut osoittaa kilpailutekijän vaikuttavan nuoren (valtapituus 7—9 m) kuusikon pituuskehitykseen.

V u o k i l a n (1956, s. 53) mukaan ”luontaisesti syntynyt hoidettu kuusikko kykenee kuitenkin kiihdyttämään pituuskasvua siinä määrin, että viljelykuusikon etumatka vähitellen pienenee hävitäkseen kokonaan 60—70-vuotiaissa metsiköissä”. Viljelykuusikon paremmuus häviää siten verraten aikaisessa vaiheessa luontaisesti syntyneeseen, hoidettuun kuusikkoon verrattuna. V u o k i l a on verrannut aiemmin mainitun C a j a n d e r i n tutkimuksen tuloksia omiinsa. V u o k i l a n hoidettujen, luontaisesti syntyneiden kuusikoiden runkoluku on kuitenkin ollut, kuten kuvasta 10 (s. 16) ilmenee, 50 ikävuodesta alkaen pienempi kuin vertailtavina olevien C a j a n d e r i n viljelykuusikoiden. C a j a n d e r i n aineiston kuusikoiden kehitys onkin mitä ilmeisimmin alkanut taantua ylitheyden vuoksi 40 ikävuoden jälkeen, minkä seurauksena mm. valtapituuden kasvu on hidastunut. V u o k i l a n (1956) tekemät päätelmät luontaisesti syntyneiden hoidettujen ja viljelyllä perustettujen kuusikkojen valtapituuden erilaiseen kehitykseen johtaneista syistä aiheutunevat juuri eroista kasvatustiheyksis-

sä. Metsikön syntytavalla ei sinänsä ole enää merkitystä kasvueroihin 60 vuoden kasvatusjakson jälkeen. Eri tavoin ja tiheyksin syntyneiden ja kasvaneiden kuusikoiden kehityksestä on kuitenkin verraten vaikea tehdä pitkälle meneviä päätelmiä käytettävissä olevien aineistojen ja tutkimustulosten perusteella.

V u o k i l a (1975) on tutkinut myös harvennuksen voimakkuuden vaikutusta 31—40-vuotiaan istutuskuusikon kehitykseen. Käsittelyn vaikutusta tutkittiin 12 vuoden ajan. Ennen käsittelyä puuston runkoluku koelaloilla oli keskimäärin 2 500 kpl/ha. Valtapituuden kasvu keskimäärin eri kasvatusstiheyksissä edellä mainitun jakson aikana on esitetty seuraavassa asetelmassa.

Runkoluku, kpl/ha	Valtapituus jakson alussa, m	Valtapituus jakson lopussa, m	Kasvu jakson aikana, m
2510	14,76	19,65	4,89
1860	14,76	19,94	5,18
1330	14,96	20,41	5,45
1070	14,95	20,44	5,49

Valtapituuden kasvu on ollut sitä nopeampaa, mitä väljemmässä kasvatusasennossa puut ovat kasvaneet. Havaittujen erojen merkitsevyyttä ei V u o k i l a n (1975, s. 13) mukaan kuitenkaan voida aineiston perusteella tilastomatemattisesti todistaa.

H a m i l t o n (1976) on niin ikään tutkinut harvennusvoimakkuuden vaikutusta kuusen metsikkötunnusten kehitykseen. Skotlannissa suoritettut kokeet osoittavat, että väljässä asennossa puut saavuttavat suuremman valtapituuden kuin tiheässä. Erot valtapituuksissa olivat tilastollisestikin merkitseviä. H a m i l t o n i n (1976) Bowmontin kokeissa kuuset saavuttivat seuraavassa esitetyt valtapituudet 63 vuoden iässä eri tiheysasteisiin harvennetuilla koelaloilla.

Tiheys, kpl/ha	Valtapituus, m
2200	19,65
1100	20,25
700	20,87
300	21,65

Lisäksi on huomattava, että valtapituuksien erot eri tiheysasteiden välillä ovat lisääntyneet iän mukana. Onkin aivan ilmeistä, että myös kotimaisissa V u o k i l a (1975) tutkimusaineiston Nynäsin kuusikois-

sa valtapituuksien erot muodostuvat ajan mittaan tilastollisesti merkittäviksi.

Tiheyden vaikutuksesta valtapituuden kasvuun on esitetty edellisen kanssa vastakaisiakin tuloksia. Hamiltonin ja Christien (1974) mukaan metsikön perustamistiheydellä ei ole suurta vaikutusta kuusen valtapituuden kehitykseen. Tiheys näyttää mainitun julkaisun mukaan lisäävän kuusella valtapituutta jonkin verran, joskin erot valtapituuksissa ovat kiertoaajan kuluessa alle 0,5 metriä.

Männillä pituuskasvu sen sijaan näyttää lisääntyvän tiheyden kasvaessa. Perssonin (1976) tulokset Ruotsissa eri tiheyksiin perustetuilta männyn koaloilta puolestaan osoittavat, että valtapituus on kehittynyt sitä nopeammin mitä tiheämpi alkupuusto on ollut. Nämä valtapituudet on esitetty 70 vuoden ikään mennessä seuraavassa jaotelmassa:

Perustamistiheys, kpl/ha	Valtapituus, m
18000	25,3
6400	25,3
4400	24,3
1000	24,1

Tiheyden vaikutus valtapituuteen on myös sama käsittelemättömissä ja harvennetuissa metsiköissä. Tiheydestä aiheutuvat erot valtapituudessa syntyvät yleensä valtapituuden ollessa 6—8 m ja ne säilyvät tämän jälkeen.

Hamilton ja Christie (1974) ovat esittäneet mahdollisena selityksenä pituuseroihin sen, että puut kykenevät taimistovaiheessa tukahduttamaan kilpailevan muun kasvillisuuden sitä paremmin, mitä tiheämmässä ne kasvavat.

Eriksson (1976) on laatinut kuten em. Hamilton ja Christiekin tuotostaulukot kuuselle. Myöskään Erikssonin mukaan perustamistiheydellä ei ole oleellista vaikutusta valtapituuden kehitykseen kiertoaajan kuluessa.

Sen sijaan Wikstenin (1965) mukaan väljimpään istutetut kuuset saavuttivat suurimman valtapituuden ja eri tiheysasteiden erot valtapituuksissa pysyivät likimain muuttumattomina kiertoaajan kuluessa. Cromer ja Pawsey (1957) ovat saaneet Austraaliassa radiata-männillä saman tuloksen tilastollisesti merkittävänä kun metsikön ikä on 15 vuotta. Eklundin (1956) tulokset männyn valtapituuden kehi-

tyksestä Ruotsissa osoittavat niin ikään, että väljässä kasvuasennossa puut kehittyvät pisimmiksi. Tämä tulos on ristiriidassa edellä esitetyn ruotsalaisen Perssonin (1976) tulosten kanssa. Wambachin (1967) tulokset punamännillä Yhdysvalloissa ovat Cromerin ja Pawsey'n saamien kaltaisia ja niin ikään tilastollisesti merkitseviä. Tiheyden vaikutus valtapituuden kehityksen eroihin oli selvintä karuilla kasvupaikoilla.

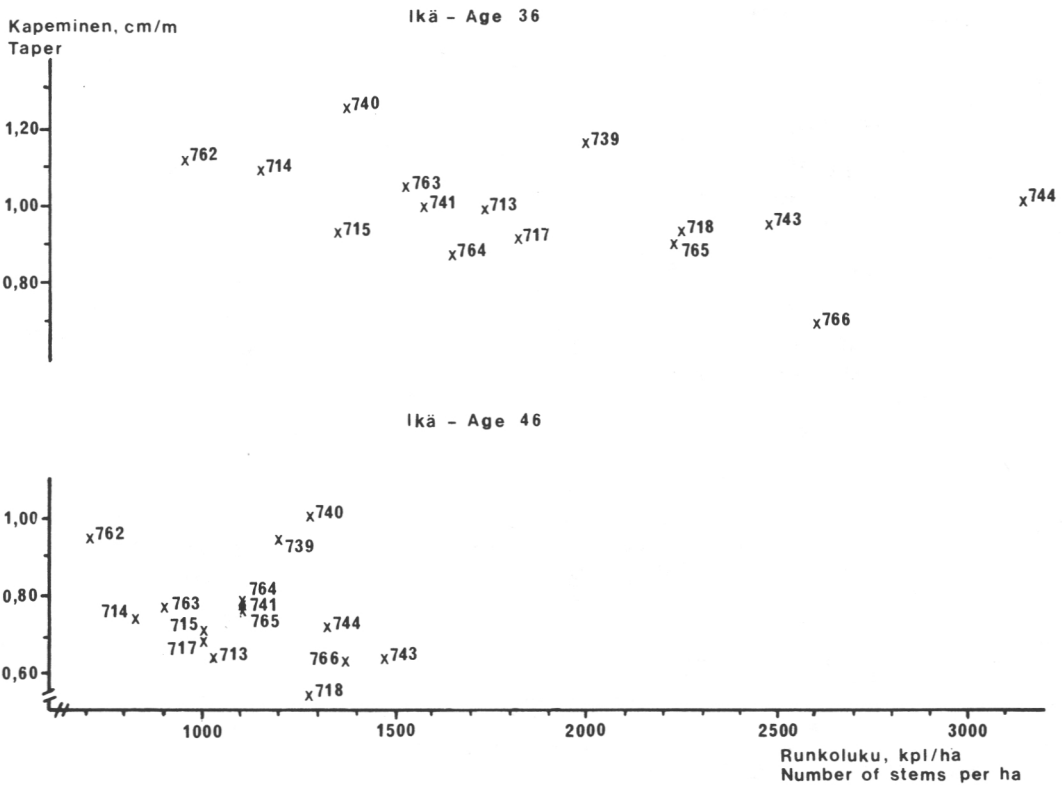
Tutkijoiden toisistaan poikkeavat tulokset tiheyden vaikutuksesta valtapituuden kehitykseen näyttävät riippuvan monista eri tekijöistä. Vaihtelua tuloksiin ovat ilmeisesti aiheuttaneet: — puulaji, — tarkasteltava kehitysluokka, — erot puiden perinnöllisissä tekijöissä, — mikroilmastoerot, — kasvupaikan ravinteisuuserot ja — pysyvien koalojen käyttö tiheystutkimusten aineistoina.

Viimeksi mainittu aiheuttaa vaihtelua tuloksiin mm. siten, että pitkän koejärjestelyn aikana tuhot saattavat kohdistua eri tavoin koaloihin. Tuhojen lisäksi on myös muita ns. kontrolloimattomia tekijöitä, joiden vaikutusta valtapituuden kehitykseen ei saada selville. Valtapituuden analysoinnissa on myös oleellista puun pituuden mittaustarkuus. Kun käytettävissä olevat puun pituudenmittausmenetelmät eivät ole kovin tarkkoja, ei myöskään voida saada selville mahdollisia pieniä eroja pituuksissa eri koalojen välillä.

Perustamistiheydellä ei ilmeisestikään ole kuusen valtapituuden kehityksen kannalta oleellista merkitystä. Perustamistiheys vaikuttaa sen sijaan tutkijoiden lähes yksimielisen käsityksen mukaan keskipituuden kasvuun siten, että väljässä asennossa keskipituus on suurempi kuin tiheässä (esim. Sjolte-Jørgensen 1967, Evert 1971). Tämä onkin selvää, koska tiheässä metsikössä suhteellisesti suurempi osa puista jää alistettuun asemaan kuin väljässä. Alistetussa asemassa olevat puut pienentävät pituuden aritmeettista keskiarvoa.

36. Kapeneminen

Puiden keskimääräistä kapenemista ja kasvutiheyttä on tarkasteltu koaloittain kuvassa 11 (s. 19) puiden iän ollessa 36 (v. 1965) ja 46 (v. 1975) vuotta. Kapeneminen on laskettu läpimittojen $D_{1,3}$ ja D_6 erotuksesta ja mainitut mittaukset on tehty keski-



Kuva 11. Puiden keskimääräinen kapeneminen koaloittain 36 ja 46 vuoden iässä metsikön tiheyden funktiona.
 Figure 11. Average taper of the trees by study plots at ages 36 and 46 years as a functions of stand density.

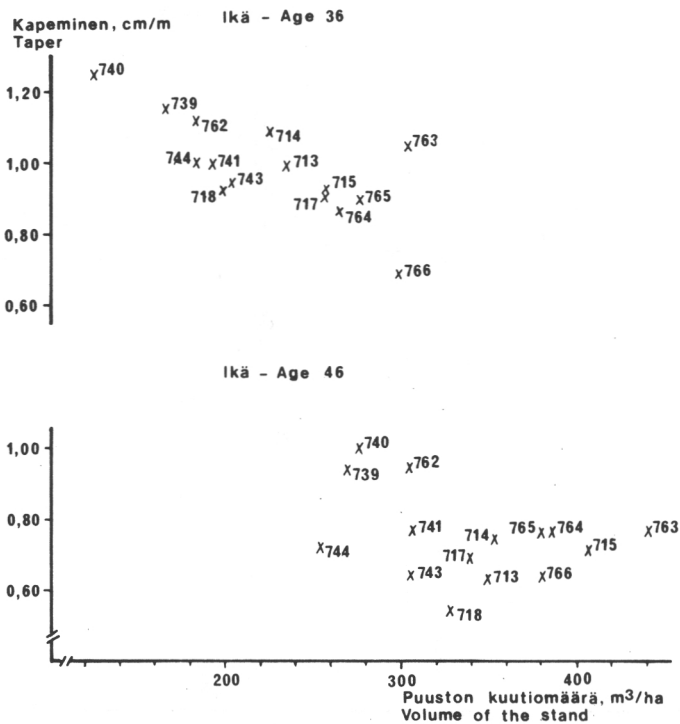
määrin noin 20 koepuusta. Kukin kuvan 11 havaintopiste edustaa koalan koepuiden kapenemisen keskiarvoa. Kapeneminen osoittaa näin lähinnä rungon arvokkaimman osan — tyvitukin — kapenemista.

Vuoden 1965 mittauksista nähdään, että kapeneminen lisääntyy runkoluvun vähetessä. Kapeneminen on ollut keskimäärin yksi senttimetri rungon juoksumetriä kohden metsikön puiden iän ollessa 36 vuotta. Tiheyden vaikutus kapenemiseen ilmenee entistäkin selvemmin silloin, kun tarkastellaan erikseen kutakin koalasarjaa. Avo- maalle perustettiin koalat 713, 714, 715, 717 ja 718 koivuverhokuuston alle 739, 740, 741, 743 ja 744 ja leppäverhokuuston alle koalat 762—766. Kapeneminen on ollut suurinta hitaimmin kasvaneilla koivuverhokuuston alle perustetuilla koaloilla. Tämä johtuu lähinnä siitä, että näiden koalojen puuston kuutiomäärä on muihin verrattuna selvästi pienempi.

Kymmenen vuoden kasvatusjakson jälkeen, jona aikana puustoa on harvennettu

kaksi kertaa, kapeneminen on keskimäärin pienentynyt 25 % edellisestä mittauskerrasta ollen tällöin keskimäärin 0,75 senttimetriä juoksumetriä kohden. Kapenemisen vaihtelu koalojen välillä on niin ikään lievästi vähentynyt. Koaloilla 739 ja 740 kapenemisen suhteessa runkolukuun poikkeaa selvästi muista havaintopisteistä. Tämä johtuu lähinnä siitä, että näillä koaloilla tuotos on ollut selvästi pienin (vrt. kuva 13, s. 21).

Kuvassa 12 (s. 20) on tarkasteltu edelleen keskimääräistä kapenemista koaloittain kuutiomäärän funktiona. Puiden iän ollessa 36 vuotta kuutiomäärän lisääntyminen vaikuttaa selvästi kapenemista vähentävästi, ts. kasvu keskittyy yhä enemmän puiden latvasiin. Vuosikymmenen kasvatuksen jälkeen kuutiomäärän vaikutus kapenemiseen näyttää muuttuvan. Kun kuutiomäärä kohoaa yli 350 m³/ha, kapeneminen näyttää pysyvän likimain muuttumattomana kuutiomäärän lisääntyessä. Kuutiomäärän lisääntyminen toisin sanoen näyttää huomattavalta osin tasoittavan perustamistiheyden vaiku-



Kuva 12. Puiden keskimääräinen kapeneminen koaloittain 36 ja 46 vuoden iässä puuston kuutiomäärän funktiona.
Figure 12. Average taper of the trees by study plots at ages 36 and 46 years as a function of volume.

tusta kapenemiseen. Perustamistiheydellä on kuitenkin merkityksensä kapenemiseen ainakin kuusikon neljän ensimmäisen vuosikymmenen aikana, kuten seuraavasta jaotelmasta havaitaan:

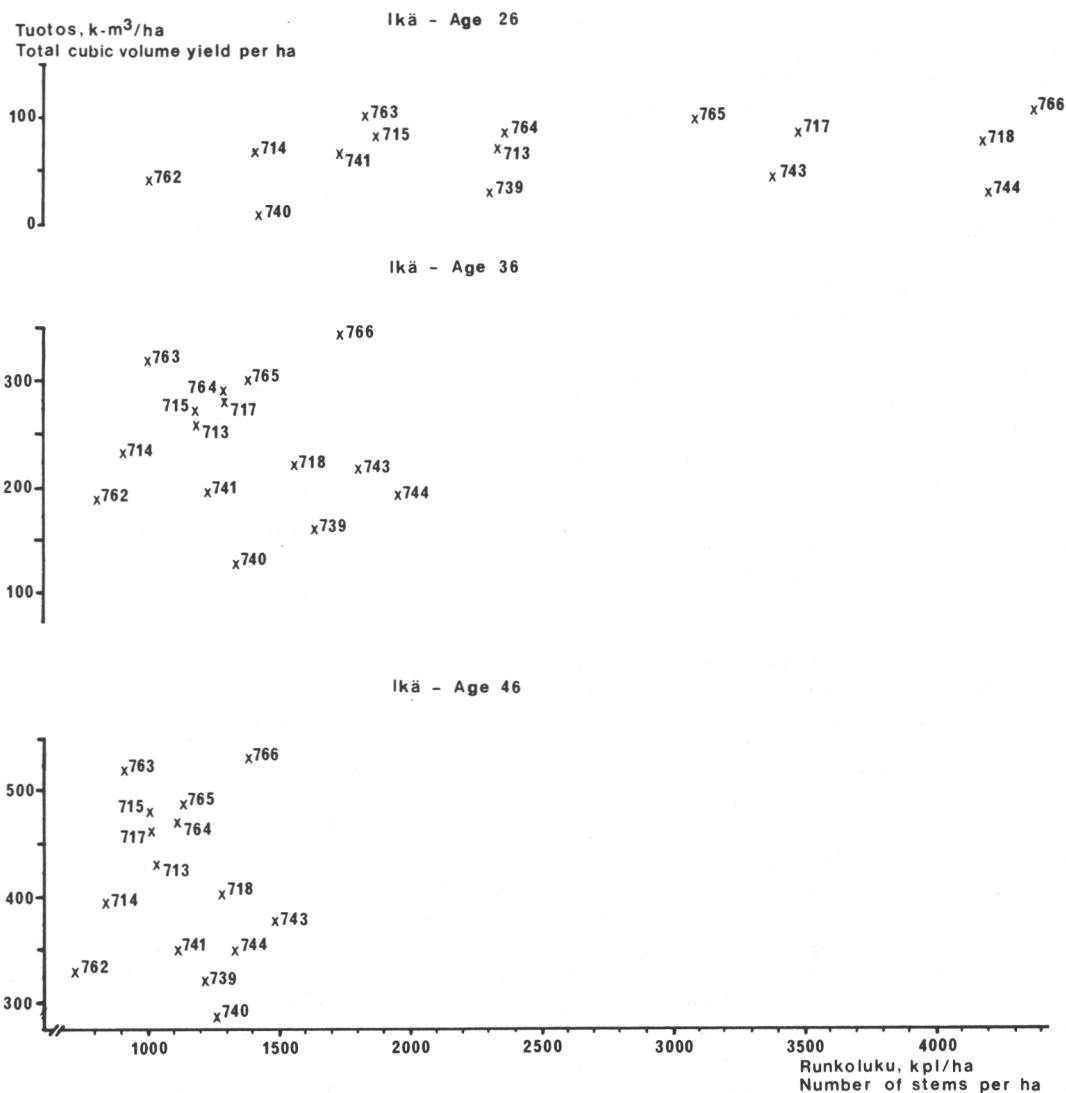
Perustamistiheys, kpl/ha	Kapeneminen, cm/m	
	36 v.	46 v.
1250	1,15	0,89
2000	0,99	0,75
2500	1,01	0,78
3750	0,92	0,70
5000	0,88	0,63

Perustamistiheyden vaikutus kapenemiseen näyttää edellä olevan perusteella selvältä, vaikka kuutiomäärän kasvu otetaankin samanaikaisesti huomioon. Mainittu vaikutus ei ehkä kuitenkaan ole niin selvä ja suuruusluokaltaan merkittävä kuin on todettu useimmissa tutkimusraporteissa (Braathe 1951, Kjergård 1964, Stiell 1964 ja Hamilton & Christie 1974). Mainituissa tutkimuksissa mittaukset on nimittäin tehty metsikön kehityksen alkuvaiheista eikä silloin, kun puustoa on tar-

koitus joko harventaa tai suorittaa päätehakkuu. Perustamistiheyden vaikutus kapenemiseen riippuukin oleellisesti siitä, minkä rungon osan kapenemista ja missä metsikön kehitysvaiheessa sitä kulloinkin tarkastellaan. Esimerkiksi Klemmin (1952) mukaan noin 50-vuotiaassa kuusikossa perustamistiheys oli vaikuttanut eri tavoin tyvi-, väli- ja latvatukin kapenemiseen, mikä ilmenee seuraavasta jaotelmasta:

Perustamistiheys, kpl/ha	Kapeneminen, cm/m		
	tyvi-tukki	väli-tukki	latva-tukki
800	0,61	0,90	1,56
1100	0,63	0,69	1,34
2500	0,53	0,67	1,19
4300	0,60	0,60	1,05
5700	0,54	0,57	1,10

Tyvitukin kapeneminen on riippunut vähiten ja latvatukin eniten metsikön perustamistiheydestä. Tämän tutkimuksen kapenemisen aineisto koskee lähinnä tyvitukkia. Sen tulos on Klemmin esittämän kaltainen.



Kuva 13. Puuston kokonaistuotos 26, 36 ja 46 vuoden iässä koealoittain.
 Figure 13. Total cubic volume yield at ages 26, 36 and 46 years by study plots.

Perustamistiheyden vaikutus kapenemiseen vähenee metsikön puuston järetyessä. Tiheydestä johtuvat kapenemisen erot taasoittuvat iän mukaan ensin tyvitukeissa ja viimeksi latvatukissa. Näin ollen perustamistiheyden kapenemiserosta johtuva vaikutus hakkuukypsän puun käyttöarvoon saha- ja vaneriteollisuudessa on ilmeisestikin verraten vähäinen. Sjolte-Jørgensenin (1967) mukaan kapenemiserot ovat niin vähäisiä, ettei niillä ole oleellista merkitystä metsikön kokonaistuoton kannalta.

Persson (1976) on tutkinut eri tiheyksin perustetun noin 70-vuotiaan männikön

kapenemista 60 %:in ja 20 %:in korkeudelta mitattujen läpimittojen suhteella. Nämäkin tulokset, jotka on esitetty seuraavassa jaotelmassa, tukevat edellä esitettyä käsitystä.

Perustamistiheys, kpl/ha	Muotosuhde, $\frac{d(60\%h)}{d(20\%h)}$
18000	0,714
6400	0,713
4400	0,715
1100	0,706

Hamiltonin ja Christien (1974) mukaan metsikön perustamistiheys

vaikuttaa saman suuntaisesti ja yhtä voimakkaasti sekä männyn että kuusen kapeenemiseen. W a m b a c h i n (1967) punamäntyä käsitellessä tutkimuksessa perustamistiheys sen sijaan ei vaikuttanut kapeneemiseen.

37. Tuotos

Kuusen kokonaistuotosta on tarkasteltu koealoittain kymmenvuotisjaksoin kuvassa 13 (s. 21). Luonnonpoistuma ennen ensimmäistä mittauskertaa (v. 1955) ei sisälly tuotostmäärään. Samoin on verhopuuston laita (vrt. taulukko 1 s. 10).

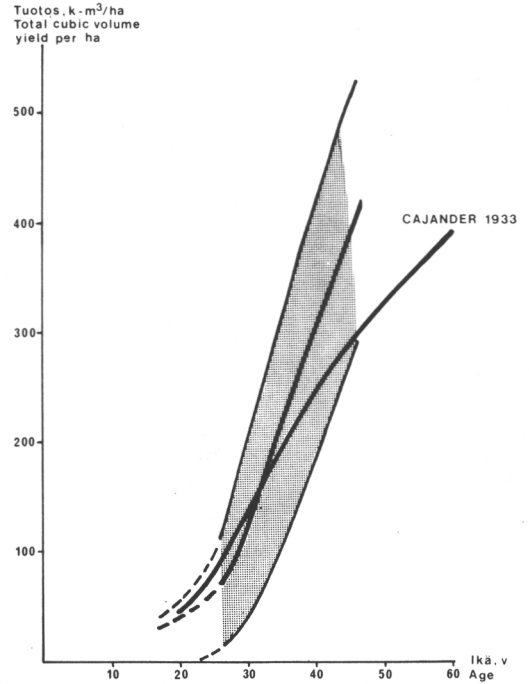
Koealojen tuotokset ovat vaihdelleet kahden ensimmäisen vuosikymmenen aikana riippumatta istutustiheydestä. Vaihtelu on johtunut lähinnä puiden alkukehitystä haittaavista verhopuista ja ilmeisesti myös tuntemattomista tekijöistä.

Seuraavan kymmenvuotisjakson aikana näkyy jo se yleisesti tunnettu seikka, että kokonaistuotos lisääntyy kasvatusiheyden funktiona. Tämä merkitsee luonnollisesti sitä, että väljässä kasvatusasennossa puut eivät täysin pysty käyttämään koko kasvutilaa hyväkseen. Koealojen tuotokset ovat vaihdelleet 130—340 k-m³/ha välillä keskimääräisen tuotoksen ollessa 240 k-m³/ha, kun puusto on saavuttanut 36 vuoden iän.

Tuotostmäärät ovat lisääntyneet viimeisimmän kymmenvuotisjakson aikana edelleen siten, että kasvatusiheyden ja kokonaistuotoksen välinen positiivinen riippuvuussuhde on entisestäänkin korostunut. Kokonaistuotokset vaihtelevat koealoilla 290—530 k-m³/ha välillä olleen keskimäärin 410 k-m³/ha, metsikön puuston iän saavutettua 46 vuotta. Kuutiomäärän kasvu on siis ollut metsikön perustamisesta lukien keskimäärin noin 10 k-m³/ha vuodessa. Koealojen väliset erot kokonaistuotoksissa eivät pienene vaan pikemminkin hienokseltaan lisääntyvät. Koivuverhopuustoa kasvaneilla koealoilla kokonaistuotokset ovat jääneet selvimmän jälkeen ja leppäpuuston alle istutetuilla koealoilla kuutiomäärät näyttävät kehittyneen ripeimmin.

Kuvassa 14 (s. 22) on esitetty puuston kokonaistuotoksen iän funktiona tapahtunut kehitys ja sen vaihtelualue. Samaan kuvaan on niin ikään piirretty C a j a n d e r i n (1933) viljelykuusikoiden vastaava kuvaaja.

Kumulatiivinen tuotos on lisääntynyt iän



Kuva 14. Tuotoksen keskimääräinen kehitys ja sen vaihtelu koealoittain iän mukaan.

Figure 14. Average development of yield and its deviation on the study plots by age.

funktiona metsikön kuutiomäärän saavutettua 100 k-m³/ha likimain suoraviivaisesti. Tuotostmäärän suoraviivainen lisääntyminen iän mukaan merkisee sitä, ettei kuutiokasvu ole vielä tässä metsikön ikävaiheessa alkanut hidastua, ts. vuotuinen kuutiokasvu ei ole vielä kulminoitunut. Metsikön tuotoksen tutkimuksissa onkin tärkeä jakaa tarkastelu jaksoon ennen kasvun kulminoitumista ja sen jälkeen. Tässä työssä tarkastellaan siis ensin mainittua metsikön vaihetta.

C a j a n d e r i n viljelykuusikoissa kokonaistuotos on ollut 30 ikävuoteen asti keskimäärin edellä tämän tutkimuksen koealoihin verrattuna. Tämän jälkeen tuotos on jäänyt jälkeen. C a j a n d e r i n viljelykuusikoiden perustamistiheys on ollut keskimäärin selvästi suurempi kuin tässä aineistossa. Näitä metsiköitä on myös kasvatettu nykykäsitelyksen mukaan liian tiheinä. Näitä seikkoja on käsitelty jo aiemmin. Metsikön alkuvuosikymmeninä tiheys on saanut aikaan nopean tuotostmäärän kehittymisen. Ylitiheys ja metsiköiden vähäiset harvennukset sekä hoitamattomuus ovat ilmeisesti myöhemmissä ikävaiheissa hidastaneet kuutiokasvua. Kokonaistuotos on näin ollen jää-

Taulukko 2. Kuusen vuotuinen kuutiokasvu kiertoajan kuluessa eri kasvupaikkaluokissa tiheysluokittain Erikssonin (1976) mukaan Etelä-Ruotsissa.

Table 2. Annual growth volume during a rotation on different sites by tree spacing before first thinning in South Sweden after Eriksson (1976).

Runkoluku ennen ensiharvennusta, kpl/ha Number of stems per ha before first thinning	Kasvupaikkaluokka1) Site class1)							
	G 36		G 32		G 28		G 24	
	Vuotuinen kuutiokasvu — Annual growth volume							
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
1000	—	—	—	—	—	6.6	94,3	
1500	13.5	94.4	10.9	93.2	8.2	96.5	—	
2000	13.5	94.4	11.0	94.0	8.2	96.5	6.6	
2500	13.5	94.4	10.9	93.2	8.3	97.6	—	
5000	13.9	97.2	11.3	96.6	8.4	98.8	6.9	
7000	14.2	99.3	11.6	99.1	8.5	100.0	6.9	
9000	14.3	100.0	11.7	100.0	8.5	100.0	7.0	

nyt jälkeen tämän tutkimuksen koealojen puustojen kehityksestä.

Kuusi (*Picea abies*) on ollut Evertin (1973) mukaan tutkimuksissa ”istutustiheyden vaikutus tuotokseen” eniten tutkittu puulaji. Pohjoismaissa kuusen perustamis- ja kasvatustiheyden vaikutusta tuotokseen ovat tutkineet mm. Børset (1947), Klem (1947), Braathe (1952), Carbondier (1954 ja 1964), Kiellander (1956), Ekman (1958), Wiksten (1965), Vuokila (1975) ja Eriksson (1976).

Kuusella kuutiomäärän kokonaistuotos näyttää lisääntyvän vain vähän, kun perustamistiheys ylittää 1 500 runkoa hehtaarilla. Tämä käy ilmi mm. Erikssonin (1976) laatimista kuusen tuotostaulukoista Etelä-Ruotsin olosuhteista. Näissä on tarkasteltu mm. samalla tavalla käsiteltyjen metsiköiden vuotuista kuutiokasvua kiertoajan kuluessa, kun metsikön tiheys ennen ensiharvennusta on ollut tiedossa. Seuraavaan taulukkoon on kerätty yhteenvedo Erikssonin tuotostauluista sekä laskettu prosentuaaliset suhteelliset vuotuiset

kuutiokasvut maksimaalisesta kuutiokasvusta lukien eri tiheysluokissa.

Taulukosta 2 (s. 23) havaitaan, että kuutiokasvu kiertoajan kuluessa on lisääntynyt kaikissa kasvupaikkaluokissa tiheyden kasvaessa. Tiheyden suhteellinen vaikutus kasvuun eri kasvupaikkaluokissa näyttää olevan likimain samaa luokkaa. Vuotuinen kuutiokasvu kiertoajan kuluessa lisääntyy keskimäärin noin 5 % tiheyden lisääntyessä 1 500 rungosta 9 000 runkoon hehtaarilla.

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin taulukossa 2 esitettyjä tiheydestä riippuvia kuusen kasvulukuja eri kasvupaikoilla periaatepiirroksen (kuva 1 s. 6) hypoteeseihin verrattuna. Tiheys näyttää Erikssonin aineiston mukaan vaikuttavan kasvuun eri kasvupaikkaryhmissä suhteellisesti likimain saman verran (taulukko 2). Metsikön tiheydestä riippuvan kuutiomäärän kokonaiskasvun kuvaaja on kuusella muodoltaan erittäin loiva. Tiheyden suhteellinen vaikutus kuutiokasvuun on kaikenkaikkiaan kuusella likimain sama kasvupaikkaluokasta riippumatta ja kuusi saavuttaa maksimikasvun vasta huomattavan suurilla kasvutiheyksillä. Periaatepiirroksen ja taulukon 2 lukuarvojen vertailusta on kuitenkin huomattava, että Erikssonin kasvuluvut eri tiheysluokissa (tiheys ennen ensiharvennusta) tarkoittavat keskimääräistä vuotuista kasvua kiertoajan kuluessa, kun metsiköiden käsittelyohjelma (harvennusten lukumäärä) on kussakin tiheysluokassa sama.

Kun metsiköt ovat olleet taloustoiminnan piirissä ja niitä on jatkuvasti harvennettu, ei

1) Kasvupaikkaluokat määritellään ruotsalaisen käytännön mukaan puuston 100 vuoden iässä (H 100) saavuttaman valtapituuden perusteella (Vuokila 1971). Kasvupaikkaluokassa G 36 kuusi siis saavuttaa 36 metrin valtapituuden 100 vuodessa ja tämä kasvupaikkaluokka on ravinteisuudeltaan ja ilmastovyöhykkeeltään paras Ruotsissa. Suomen kasvupaikkojen hyvyttä kuvaavilla metsätyypeillä luontaisesti syntynyt kuusi saavuttaa seuraavat valtapituudet 100 vuoden iässä (Vuokila 1971):

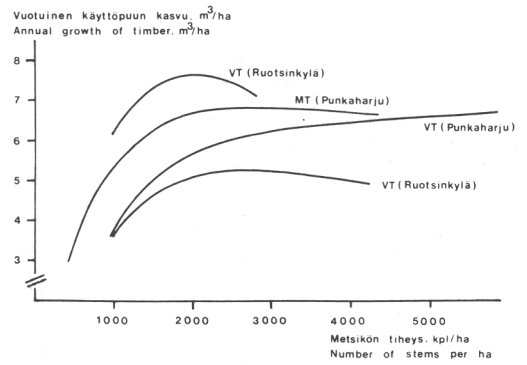
OMaT	30 m
OMT	27 ”
MT	24 ”

ole ollutkaan mahdollista todeta kuutiomäärän kokonaiskasvun optimia jollakin alkuaan tietyllä kasvutiheydellä. Jos tarkasteltaisiin käsittelemättömän metsikön kiertoajan mittaista kuutiomäärän kehitystä eri tiheysluokissa, kuutiomäärän kokonaiskasvu olisi mitä ilmeisimmin myös kuusikoissa vertailtavan periaatepiirroksen kaltainen, eivätkä taulukon 2 ja kuvan 1 sisältämät asiat olisi keskenään riistiriidassa. Ilmeisesti edellä käsitellyn Cajanderin (1933) aineiston kuusikoiden vähäiset tai olemattomat harvennukset ovat aiheuttaneet kasvun kulminoitumisen ylitheyden seurauksena aikaisemmin kuin harvennetuissa metsiköissä (vrt. kuva 14 s. 22).

Taulukon 2 lukujen perusteella voidaan päätellä, että talousmetsänä kuusikko on ilmeisesti erilaisten käsittelyjen suhteen mukautuva siten, että sen kuutiokasvu pysyy verraten hyvin vakiona laajalla tiheysvälillä. Vuokilan (1975) viljelykuusikoiden harvennuskokeiden tulokset ovat myös edellä esitetyn kanssa yhdenmukaisia.

Tiheys vaikuttaa kuitenkin puulajeittain eri tavoin kuutiokasvuun, koska kullakin puulajilla on lajille ominainen aineenvaihdunta ja kyky käyttää valoa hyväkseen. Esimerkiksi kuusi ja mänty eroavat tässä suhteessa toisistaan. Luukkasen (1973) mukaan mänty kykenee käyttämään kuusta tehokkaammin valoa fotosynteesiin. Koko puun kannalta kuusi on kuitenkin kaiken kaikkiaan parempi yhteyttäjä heikossa valossa kuin mänty, koska sillä on aina huomattavasti enemmän neulasmassaa kuin männyllä. Perustamistiheydellä säädellään nimenomaan puiden tulevaa kasvutilaa ja näin ollen myös kunkin puun saamaa valon kokonaismäärää. Puulajin ominaisuuksilla reagoida valon määrään onkin keskeinen merkitys tarkasteltaessa tiheyskysymystä.

Kuvassa 15 (s. 24) on tarkasteltu Parviaisen (1977) Etelä-Suomesta esittämien tulosten perusteella kasvutilan vaikutusta männyn vuotuisen käyttöpuun ($d_{1,3} > 6,5$ cm) kasvuun suoritettaessa harvennus- ja riukuvaiheen metsiköissä. Tämän laajaan koela-aineistoon perustuvan tutkimuksen tulokset osoittavat, että nuoris- ja ensiharvennusvaiheen männiköissä vuotuisen kasvu vaihtelee laajasti metsätyypiltään samallakin kasvupaikalla. Käyttöpuun kasvu ei näytä suoraviivaisesti lisääntyvän tiheyden funktiona. Parhaiten kasvaneilla



Kuva 15. Tiheyden vaikutus männikön vuotuisen käyttöpuun kasvuun Etelä-Suomessa Parviaisen (1977) mukaan.

Figure 15. The influence of tree spacing on the annual growth of merchantable pine timber in Southern Finland by Parviainen (1977).

koaloilla tiheys näyttää vaikuttavan voimakkaimmin ja huonommin kasvaneilla heikoiten käyttöpuun kasvuun (vrt. kuva, 1 s. 6). Seuraavassa jaotelmassa on esitetty Parviaisen (1977) aineistosta lasketun eri koalojen keskimääräinen vuotuisen käyttöpuun kasvu tiheysluokittain:

Tiheys, kpl/ha	Vuotuisen käyttöpuun kasvu, m³/ha	(%)
1000	4,7	73
1500	5,8	91
2000	6,3	99
2500	6,4	100
3000	6,2	97

Etelä-Suomen puolukka- ja mustikkatyyppien ensiharvennusikäisten männiköiden käyttöpuun kasvu näyttää siis saavuttavan maksimin kasvutiheydellä 2 000—2 500 runkoa hehtaarilla. Kasvutiheydessä 1 500 kpl/ha kasvu vähenee edellisestä 8 prosenttiyksiköllä ja tiheydessä 1 000 kpl/ha 26 prosenttiyksiköllä. Männyn kasvu näyttää pienenevän kasvutilan avartuessa enemmän kuin kuusen (vrt. taulukko 2, s. 23). Männyllä tiheyden pitäminen riittävän suurena metsänhoidon menetelmin onkin ilmeisesti tärkeämpää kuin kuusella.

Kasvutiheydellä on vaikutusta kuusikon kehitykseen myös metsikön latvuston sulkeutumisen ja kasvun kulmioitumisen jälkeen. Tätä kehitysvaihetta kyseessä oleva aineisto ei edusta, kuten jo aiemmin on todettu. Kuusikon on todettu huonontavan sulkeutumisen jälkeen kasvuolosuhteitaan (Yli-Vakkuri 1959). Tämä heikkene-

minen johtuu siitä, että tiheä oksisto alentaa lämpötilaa kasvukauden aikana samoin kuin latvuston sateen pidätyskyky lisääntyy. Talvisin maahan satavan lumen määrä vähenee ja tästä aiheutuu maan routaantuminen syvään. Mitä tiheämpi metsikkö on, sitä epäedullisemmiksi kasvuolosuhteet muuttuvat. Yli-Vakkuri on tulkinnut kasvuolosuhteiden heikentymisen heijastuvan sel-

västi kasvun äkillisenä kulminoitumisena. Kasvun kannalta yhteyttävän pinta-alan lisääntyminen siis toisaalta edistää kasvua ja toisaalta heikentäessään kasvuoloisuhteita hidastaa sitä. Näiden kahden vastakkaisen vaikutuksen johdosta kasvu ilmeisesti pysyy talousmetsissä likimain samalla tasolla laajalla tiheysalueella, kuten myös taulukosta 2 (s. 23) havaitaan.

4. EDULLISUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA EDULLISUUSJÄRJESTYS

41. Edullisuuden kriteerit

Metsikön perustamistiheyden vaikutusta kasvatukseen edullisuuteen voidaan tarkastella monella tavalla. Kokonaishyödyn — taloudelliset ja sosiaaliset hyötyvaikutukset — ja erikoistarpeiden tyydyttämisen huomioon ottamisessa on kyse metsien moninaiskäytöllisestä tarkastelusta (Mikola 1975). Taloudelliset hyötyvaikutukset voidaan edelleen jakaa yksityis- ja kansantaloudellisiin. Yksitystaloudellisissa puun kasvatukseen edullisuutta käsittelevissä tarkasteluissa yleensä on otettu huomioon vain rahassa mitatut saavutetut tai saavutettavissa olevat tuotot suhteessa uhrattuihin panoksiin (esim. Keltikangas ja Tiililä 1968, s. 12, Metsänviljelykustannusten ... 1971, s. 62). Kansantaloudellisissa edullisuuslaskelmissa voidaan tarkastella rahassa mitattavien panosten ja tuotosten lisäksi esim. energian käyttöä, työvoimaa ja tuotannollisia kerrannaisvaikutuksia. Kansantaloudelliset ja yksityistaloudelliset tavoitteet saattavat siis poiketa toisistaan. Kansantaloudelliselta kannalta esim. puuntuotannon maksimointia perustamalla täystiheitä metsiköitä pidetään yleensä tavoitteena. Yksityistaloudellisissa laskelmissa edullisuusjärjestys sen sijaan saattaa olla toinen, kun tarkastellaan pelkästään puunkasvatushankkeen tulo- ja menoeriä.

Tämän tutkimuksen taloudellisen osan tarkastelukulma on yksityistaloudellinen, ts. puun kasvatusta harjoittavan yrittäjän kannalta oleelliset kustannuserät ja tuotot on otettu huomioon laskelmissa. Yrittäjän oletetaan saavan tulonsa puun myynnillä pystyyn ts. hakkuuoikeuden myynnillä (esim. Härmäläinen 1973, s. 7). Puun kasvatajan tavoitteena on yksinomaan rahatulojen

saanti puun myynneistä ja jatkuva maan hallussapito.

Puunkasvatuksen vaihtoehtoisten tiheyksien edullisuutta mitataan tässä tutkimuksessa sekä sisäisen korkokannan menetelmällä että nykyarvomenetelmällä. Näiden klassisten partiaalimallien käytön perusteita puunkasvatusinvestointien edullisuuslaskelmissa on selostanut Härmäläinen (1973, s. 48—58). Sisäisen korkokannan menetelmässä saatetaan investoinnin eri ajankohtien tulo- ja menoerät keskenään vertailukelpoisiksi tietyinä ajankohtana. Vertailu suoritetaan teknisesti siten, että menot ja tulot saatetaan yhtä suuriksi joko prolongoimalla eli laskemalla korkoa korolle periaatteella niiden loppuarvo tai diskonttaamalla eli laskemalla korkoa korolle periaatteella niiden alkuarvo. Sisäisen korkokannan menetelmässä korkoprosentti, jolla tulot saatetaan yhtä suuriksi menojen kanssa, saadaan käytännössä kokeilun tuloksena. Korkokantaa pidetään puunkasvatukseen investoinnissa edullisuuden mittarina.

Nykyarvomenetelmän perusajatuksena on se, että eriaikaiset menot ja tulot diskontataan ennalta valitulla korkokannalla yhteiseen vertailuajankohtaan. Tässä tutkimuksessa vertailuajankohtana on metsikön perustamisvuosi, koska laskelmilla pyritään nimenomaan hankkimaan informaatiota istutustiheyden vaikutuksesta metsikön kasvatukseen edullisuuteen. Nykyarvot lasketaan 3—9 prosentin korkokantoja käyttäen.

Sisäisen korkokannan menetelmää on arvosteltu puun kasvatukseen edullisuusvertailussa, koska näissä laskelmissa ei useinkaan ole otettu maan arvoa menoeräksi sen vaikean määriteltävyyden vuoksi (Sari 1968, s. 280). Näin varmasti onkin tilanteissa, jolloin halutaan verrata puun kasvatusta mui-

hin tuotannollisiin vaihtoehtoihin. Jos edullisuuslaskelmia tehdään erilaisten puunkasvatusten menetelmien keskinäiseksi vertailemiseksi, sisäistä korkoa voidaan pitää kuitenkin käyttökelpoisena edullisuuden mittarina myös silloin, kun maan arvo ei sisälly laskelmiin (H o l o p a i n e n 1976, s. 73).

Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietinnössä (Komitean mietintö 1970: B 91) on otettu käyttöön käsite sisäinen osittaiskorko. Tällä tarkoitetaan em. tavalla ratkaistua korkotekijää (sisäistä korkokantaa) investointilaskelmassa, jossa menoiksi ei ole otettu mukaan maan arvoa, veroja ja hallintokuluja; ts. luonteeltaan kiinteitä kuluja. Myös tämän tutkimuksen edullisuustunnusena sisäinen korkokanta on tulkittava edellä kuvatulla tavalla. Nykyarvoja laskettaessa ei myöskään ole otettu huomioon maan arvoa, hallintokustannuksia eikä veroja.

Maan arvon, metsälön verojen sekä hallinnon vuotuisikulujen oletetaan olevan kuskakin puunkasvatuksen vaihtoehdossa yhtä suuria. Mainitut tekijät ovat laskelmissa luonteeltaan kiinteitä kustannuksia. Tämän tutkimuksen vaihtoehtoisten toimenpiteiden tarkastelu kohdistuu muuttuviin kustannuksiin ja tuottoihin. Edellisen vuoksi sisäisen korkokannan menetelmällä laskettuja prosenttilukuja ja nykyarvoja voidaan käyttää sellaisenaan vain ko. tehtävän asetteluun puunkasvatuksen vaihtoehtojen keskinäisessä vertailussa. Jos laskelmissa olisi käytettävissä tiedot myös kiinteistä kustannuksista, näin laskettuja tuloksia voitaisiin verrata suoraan pääoman sijoituksiin myös muussa tuotantotoiminnassa. Käsillä olevan tutkimuksen edullisuuksia on siis pidettävä suhteellisina eikä absoluuttisina suureina.

42. Puunkasvatuksen kustannukset

421. Yleistä

Puunkasvatuksen kustannukset on määritetty vuoden 1975 rahassa. Kustannuksiin on laskettu myös työvoiman käytöstä aiheutuneet välilliset kustannukset (sosiaali yms. maksut). Koelaloilla suoritettujen puunkasvatuksen käytännön työt on laskelmissa oletettu tehdyiksi menetelmillä, joita käytettiin maassamme 1970-luvun puolivälissä. Töiden vaatimat ajanmenekit arvioitiin jälkikäteen työntutkimusten tulosten ja koalojen työvaikeusluokitusten perusteella.

Puunkasvatuksen relevantteina kustannuserinä olivat tässä aineistossa istutus, verho puusto, perkausharvennus ja harvennus. Istutuskustannus muodostui taimen hinnasta taimitarhalla, sen kuljetuksesta istutuspaikalle ja varsinaisesta istutustyöstä liitännäiskustannuksineen. Niillä koelaloilla, joilla oli koivuverhoppuustoa, sen hakkuuarvo otettiin huomioon laskelmissa kustannuseränä. Perkausharvennuksen ja harvennuksen kustannukset arvioitiin jälkikäteen suoritettujen mittausten perusteella.

422. Istutus

Istutuskustannukset määritettiin lähtien oletuksesta, että kustannukset riippuvat suoraviivaisesti istutettavasta taimimäärästä hehtaaria kohden. On kuitenkin huomattava, että työn ajanmenekkiin ja siitä riippuviin kustannuksiin vaikuttaa myös siirtymismatka istutuspaikasta toiseen. Siirtymismatkan ajanmenekin riippuvuus istutustiheydestä ei ole täysin suoraviivainen. Tässä tutkimuksessa istutusväleinä olivat 1,3—2,8 m. Istutusvälin vaihtelun em. rajoissa ei katsottu antavan aihetta poiketa oletuksesta, että kustannukset hehtaaria kohden riippuvat lineaarisesti istutustiheydestä. Edellä esitettyä oletusta tukee S m i t h i n ym. (1965) saama seuraava tulos; siirtymismatkasta aiheutuva ajanmenekin lisäys kompensoituu siten, että istutuskohta voidaan valita metsämaastossa väljään asentoon istutettaessa paremmin kuin tiheään.

Istutuskustannukset määritettiin P e n t t i l ä n vuotta 1972 koskevasta tutkimusaineistosta (P e n t t i l ä ja H ä m ä l ä i n e n 1975). Aineistosta poimittiin kustannustiedot Itä-Hämeen piirimetsälautakunnan kevään 1972 kuusen istutuksista. Taimet istutettiin käsittelemättömään maahan ja työmenetelmänä oli puristusistutus kourukuokalla. Aineistossa oli tutkittu 59 istutustyöpäivää, joista 26 tehtiin tuntityönä ja 33 urakkatyönä. Istutuskustannus oli vuoden 1972 rahassa 11,5 penniä tainta kohti. Se muunnettiin kevään 1975 kustannustasoon metsänhoito- ja metsänparannustöissä maksettujen ohjetuntipalkkojen nousua vastaavaksi. Istutustyön kustannuksiin laskettiin mukaan myös sosiaalikulut (LEL-maksu, työttömyysvakuutusmaksu, tapaturmavakuutusmaksu ja sosiaaliturvamaksu). Nämä olivat Metsätehosta saadun

tilaston mukaan yhteensä 38 % veronpidätyksenalaisesta palkasta.

Taimityyppinä käytettiin 1M + 2A tai 2A + 2A¹⁾ paljasjuurisia rullataimia. Kuusen taimien hinta oli taimitarhalla vuonna 1972 10,1 penniä (Metsitysketjututkimus 1973). Taimen hintaan on laskettu mukaan lisäksi kuljetuskustannus istutuspaikalle. Kustannus oli 0,4 penniä tainta kohti (R u o t t i n e n 1975).

Edellä esitettyjen perusteiden mukaan istutuksessa päädytään kokonaiskustannukseen 51,3 penniä tainta kohden vuonna 1975, kun huomioon on otettu taimen hinta, sen kuljetus istutuspaikalle ja istutustyö sosiaalikuljettajineen. Näin lasketut istutuskustannukset taimiheydeltään erilaisilla koealoilla on esitetty seuraavassa jaotelmassa vuoden 1975 rahassa:

Istutusväli, m x m	kpl/ha	Istutuskustannus, mk/ha
1,3 x 1,5	(5000)	2632
1,65 x 1,65	(3750)	1885
2,0 x 2,0	(2500)	1283
2,25 x 2,25	(2000)	1014
2,7 x 2,8	(1250)	679

423. Verhopuusto

Niin kuin edellä mainittiin, yhden toiston koealoille (viisi koealaa) oli hakkuun yhteydessä jätetty verhopuustoa. Se oli istutushetkellä noin 25-vuotiaista koivua ja harmaaleppää. Verhopuuston arvioitu määrä ja rakenne vuosina 1933 ja 1949 on esitetty taulukossa 1 (s. 10).

Verhopuuston kuutiomäärän selvittäminen vuoden 1949 kantoläpimittojen perusteella on verraten epätarkka menetelmä. Arvioinnin tarkkuus ei näin ollen ole kovinkaan hyvä kuutiomäärän kehityksestä vuosien 1933 ja 1949 välillä.

Tämän tutkimuksen taloudellisessa tarkastelussa on ennen istutusajankohtaa ollut verhopuustoa pidettävä kustannustekijänä kuusen kasvatuksen kannalta. Kustannuksena on pidetty puuston hakkuuarvoa. Viidelle koealalle jätetyn verhopuuston määrä on tosin vaihdellut koealojen välillä. Muilta koealoilta kaikki puut on hakattu ennen istutusta. Verhopuusto on hakattu

näiltä viideltä koealalta vuonna 1949 ja siitä on tällöin saatu myyntituloa, joka on otettu laskelmissa huomioon.

424. Perkausharvennus

Verhopuusto hakattiin istutuskuusikoealoilta vuonna 1949. Tässä yhteydessä poistettiin myös istutuksen jälkeen luontaisesti syntynyt lehtipuusto. Perattujen puiden kantoläpimitat mitattiin jälkikäteen. Perkauksesta aiheutuneet kustannukset määritettiin ajanmenekkien mukaan, mitkä arvioitiin poistetun puulajin, sen kasvutiheyden, maastoluokan ja keskimääräisen kantoläpimitan perusteella (H e i n o ym. 1973). Perkaus oletettiin tehdyksi raivaussahalla.

Työmaa-aika hinnoitettiin vuoden 1975 taimiston perkaustyön tuntitaksan (7,96 mk/h) mukaan. Kokonaiskustannuksiin laskettiin lisäksi sosiaalikuljettajineen 38 % palkasta ja raivaussahan käyttökorkausena 5,80 mk käyttötunnilta.

425. Harvennus

Ensimmäisessä kaupallisessa harvennushakkuussa (vuonna 1955) hakattiin käyttöpuun kanssa samaan aikaan markkinointikelvoton pienpuu metsiköiden ylitheyden poistamiseksi. Poistetuista kuusista oli mitattu kantoläpimitat. Käyttöpuuksi kelpaamattoman harvennuspuun harvennustyöstä aiheutuneet ajanmenekit ja kustannukset määritettiin poistetun puulajin, sen kasvutiheyden ja kantoläpimittojen perusteella. Mainittu harvennustyö oletettiin tehdyksi moottorisahalla. Työn ajanmenekki määritettiin Agerin (1970) työntutkimuksen aikayhtälöistä. Harvennuksen työmaa-aika saatiin laskemalla yhteen

- siirtymisaika,
- kaatoaika,
- moottorisahan huoltoaika ja
- lepo- ja elpymisaika

Työmaa-aika hinnoitettiin vuoden 1975 tuntitaksan mukaan. Ei-kaupallisen harvennuksen työn tuntitaksa oli 7,96 mk/h, mihin lisättiin sosiaalikuljettajineen 38 % palkasta. Moottorisahan käytöstä korvattiin 5,80 mk/h käyttötunnilta, mikä laskettiin edellisten lisäksi harvennuskustannuksiin.

1) Kasvu-aika ilmaistaan arabialaisilla numeroilla vuosissa. Kasvatuspaikkaa ilmaisevat olosuhteet merkitään kirjaimilla M ja A. M tarkoittaa kasvatuspaikkana muovihuonetta ja A avomaata.

43. Puunkasvatuksen tuotot

431. Yleistä

Hakkuista kertyvä puu ja hakkuuarvot on hinnoitettu laskelmissa hakkuuvuoden 1974—75 yksikkökantohinnoilla Itä-Hämeen piirimetsälautakunnassa. Laskelmien yksikköhinnat on esitetty seuraavassa jaotelmassa (Metsätilastollinen. . . 1976, s. 153).

	mk/m ³
Koivu, tukkipuu	132,10
" kuitupuuna	58,40
Kuusi, tukkipuu	117,20
Kuusi, kuitupuuna	68,30

Laskelmien yksikköhinnoittelun perusteen valinnassa päädyttiin edellä mainittuun yksinkertaistettuun ratkaisuun. Valinnan perusteina ovat herkkyysanalyysin käyttö tulosten tarkastelussa sekä se, että tutkimuksen tavoitteena on arvioida eri tiheysvaihtoehtojen keskinäistä edullisuusjärjestystä. Mikäli tavoitteena olisi ollut eri tiheysvaihtoehtojen absoluuttiset edullisuudet, puumäärien hinnoittelussa olisi ollut perusteltua käyttää esim. joko pitkän aikavälin trendin tai suhdanneaallon puolivälin reaalista keskihintaa.

Puuaineen laadussa ilmeneviä eroja eri tiheysluokkien välillä ei ole otettu huomioon tämän tutkimuksen edullisuuslaskelmissa. Kasvatustiheyden vaikutusta sekä tukki- että kuitupuun laatuun on tutkittu verraten runsaasti. Laatuerojen vaikutusta hinnoitteluun ei ole ollut kuitenkaan mahdollista määrittellä. Näitä tekijöitä tarkastellaan seuraavassa kirjallisuustietoihin nojautuen sen vuoksi, että saataisiin suuntaa osoittava käsitys istutustiheyden vaikutuksesta puuaineen laatuun ja tämän kautta edelleen edullisuusjärjestykseen.

Sahatavaran laatuun perustamistiheys vaikuttaa siten, että väljässä kasvuolosuhteissa oksien koko kasvaa ja niiden luontainen karsiutuminen on vähäistä. Väljä kasvuolosuhteet lisäävät läpimitan kasvua ja siten myös vuosiluston paksuutta sekä näin ollen pienentävät puuaineen tiheyttä. Puuaineen tiheys korreloi yleensä positiivisesti lujuusominaisuuksien kanssa. On kuitenkin huomattava, että aivan ohuissa vuosilustoissa puuaineen tiheys on kuitenkin usein pienempi kuin hieman paksummissa.

Kuusella ja männyllä tiheys on suurimmillaan vuosiluston ollessa 1—2 mm (Kärkkäinen 1971, s. 93). Viljelymetsätaloudessa eteläisessä Suomessa ja kohtalaisillakin kasvupaikoilla puulajiemme vuosiluston kasvu nuorella iällä ylittää mainitun rajan. Puuaineen tiheyden aleneminen on siis nimenomaan nopeaan puunkasvatukseen liittyvä ongelma sekä saha- että kui-

tuupuulla. Puuaineen tiheyden ja kasvunopeuden välisiä suhteita on kuitenkin edelleenkin suhteellisen niukasti tutkimustuloksia käytettävissä.

Wiksten (1965) on tutkinut kuusisahatavaran laatua käyttäen aineistonaan 1900-luvun alussa perustettuja kuusen istutustiheyskoealoja. Tyvitukin laatu oli selvästi paras istutustiheyden ollessa 10 000 tainta hehtaaria. Istutustiheysillä 2 500—4 500 kpl/ha laatu oli tämän subjektiivisesti tehdyn arvion mukaan likimain tiheydestä riippumaton. Klemmin (1952) mukaan kuusitukin laatu aleni selvästi vasta siirryttäessä istutustiheydestä 4 500 kpl/ha 2 500 kpl/ha:iin. Laadun heikkeneminen johtui oksien paksuuden kasvusta.

Oksaisuuden lisääntymisestä aiheutuu myös lylypuusuuden kasvua. Tämän ovat todenneet Evertin (1971) mukaan Haugt (1958) ja Zobel ja Haugt (1962) Yhdysvaltain kaakkoisosissa kasvavalla loblollymännyllä (*Pinus taeda*).

Gromer ja Pawsey (1957) ovat osoittaneet, että perustamistiheys ei vaikuta radiatamännyn (*Pinus radiata*) rungon mutkaisuuteen, tyvilaajentumaan ja runkomuotoon. Tiheässä kasvatusolosuhteissa haaroittuminen oli jossain määrin runsaampaa kuin väljässä, joskin erot olivat vähäisiä. Wambachin (1967) mukaan punamännyn (*Pinus resinosa*) runkomuoto on myös huomattavassa määrin riippumaton perustamistiheydestä. On kuitenkin ilmeistä, että väljässä kasvutalassa puu ei saavuta parasta muotoa.

Perssonin (1976) mukaan mäntyisen sahataavaran laatu on parasta istutustiheydellä 10 000/ha. Istutustiheys vaikutti erityisesti tyvitukeista saatavan sahataavaran laatuun. Väli- ja latvatukin laatu oli likimain sama tutkituilla istutusväleillä 1 100—10 000 kpl/ha. Männen puuaineen tiheys eri ikäisistä rungonosista otetuissa puukappaleissa oli istutustiheydessä 1 100 kpl/ha tilastollisestikin pienempi kuin tiheydessä 18 000 kpl/ha.

Kuusen osalta oksan paksuuden on todettu kasvavan likimain lineaarisesti istutusvälin lisääntyessä. Jos oksan tyviläpimita halutaan pitää enintään 20 mm:n paksuisena, istutusväli ei saa ylittää 2,0—2,5 metriä (Merckel 1967).

Perustamistiheys vaikuttaa sahapuun laatuun kahdella tavalla. Toisaalta väljyys yleensä heikentää tukin puuaineen sisäisiä ominaisuuksia ja toisaalta se lisää tukkien keskimääräistä järeyttä.

Kuitupuun käyttökelpoisuutta massanvalmistukseen kuvaa parhaiten puuaineen tiheys, mihin jo aiemmin on viitattu. Tilavuus- ja painoyksikköinä mitatut tuotosluvut eri perustamistiheysluokissa poikkeavatkin toisistaan puuaineen tiheyserojen vuoksi. Seuraavassa jaotelmassa on esitetty Erikssonin (1976) kuusen tuotostauluista kerätyt suhteelliset tuotosluvut eri tiheysluokissa (ennen ensiharvennusta) sekä tilavuus- että painoyksikköinä. Viimeksi mainittu tarkoittaa tuotoksen kuiva-ainepainoa.

Tiheys, kpl/ha	Suhteellinen tuotos m ³ /ha	t/ha
1500	95	87
2000	94	88
2500	94	90
5000	97	95
7000	99	99
9000	100	100

Kuutiomäärään perustuvissa kuitupuun mittauksissa ei tule otetuksi huomioon perustamistiheydessä johtuvia eroja kuiva-aineen tuotoksessa. Tämä yleisesti käytetty

mittausten menetelmä suosii siis väljässä kasvattanutta metsänomistajaa. Käytännössä erot ovat ilmeisesti kuitenkin vähäisiä.

Klem (1942, 1947) on norjalaisten istutustiheyskoeiden perusteella tutkinut sellun saantoa eri istutustiheyksissä kasvaneista kuusista. Yhden selluloosatonnin valmistamiseksi tarvittiin seuraavat määrät kuitupuuta eri istutustiheyksistä:

Istutustiheys, kpl/ha	Kuitupuun menekki, m ³ /t	
800	6,2	(129)
1600	5,4	(113)
2500	5,1	(106)
4500	4,8	(100)

Perustamistiheydellä on siis Klemmin mukaan huomattava merkitys saantoon. Klemmin tutkimus tosin perustuu alle 50 vuotta vanhoihin puihin ja aineistona kussakin tiheysluokassa on ollut vain kolme puuta.

Persson (1975) on tutkinut istutustiheyden vaikutusta männyn ja kuusen puuaineen ominaisuuksiin erityisesti selluloosan valmistuksen kannalta. Tutkittuja puuaineen ominaisuuksia olivat mm. vuosiluston paksuus, kesäpuuosuus, sydänpuuosuus, oksaisuus, tiheys, kuitujen pituus ja leveys, uuteainepitoisuudet, pentosaanipitoisuus, ligniinipitoisuus, massan saanto ja siitä valmistetun paperin puhkaisu- ja repäisylujuudet. Taloudelliselta merkitykseltään tärkeimmältä näytti tämän tutkimusraportin mukaan saantoprosentti. Istutetäisyyden lisääntyminen männyllä 1 metrillä merkitsee karkeasti tilavuusyksikköä kohti lasketun saannon alenemista noin 5 prosenttiyksiköllä. Massan lujuusominaisuuksien vaihtelulla istutustiheyden mukaan ei ilmeisesti ole männyllä eikä kuusella taloudellista merkitystä. On kuitenkin huomattava, että istutustiheydet olivat männyllä 1 100—18 000 kpl/ha ja kuusella 2 500—10 000 kpl/ha, joten puulajeista saadut tulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia.

Hiokkeen ja hierteen valmistuksessa istutustiheyden merkitys puuaineen ominaisuuksiin ei liene yhtä suuri kuin selluloosalla, koska näissä massanvalmistusmenetelmissä saanto ei suoranaisesti perustu kuitujen suhteelliseen osuuteen tilavuusyksikköä kohden.

Myös kuitupuun laadun kannalta tarkasteltuna väljä kasvatusasento on huonompi kuin tiheä. Kuitupuun hinnoittelussa ei Suomessa kuitenkaan oteta huomioon kasvatusiheydestä johtuvia eroja puuaineen laadussa.

Perustamistiheydellä on siis tärkeä merkitys puunkasvatuksen toimenpiteenä puuaineen laatuun. Kasvutila vaikuttaa vuosiluston paksuuteen ja niin myös puuaineen ominaisuuksiin. Rungon muoto ja laatu sekä latuksen koko riippuvat kasvutilasta kunkin metsikön kehitysvaiheen aikana. Useimmat tekijät puun laadun näkökulmasta puhuvat tiheän kasvatusasennon puolesta (mm. Fielding 1967, Elliot 1970).

432. *Verhopuusto*

Verhopuusto hakattiin vuonna 1949 ja hakkuussa poistetut rauduskoivut ja harmaalepät hinnoitettiin hakkuuvuoden 1974—75 kantohinnalla. Arvio verhopuuston jakaumasta puutavaralajeihin on esitetty jo aiemmin taulukossa 1 (s. 10).

Koealojen puustoa on harvennettu kolme kertaa eli vuosina 1955, 1965 ja 1970. Harvennusten voimakkuus on valittu yksinomaan kunkin koealan metsänhoidollisen tarpeen perusteella mikä on arvioitu subjektiivisesti.

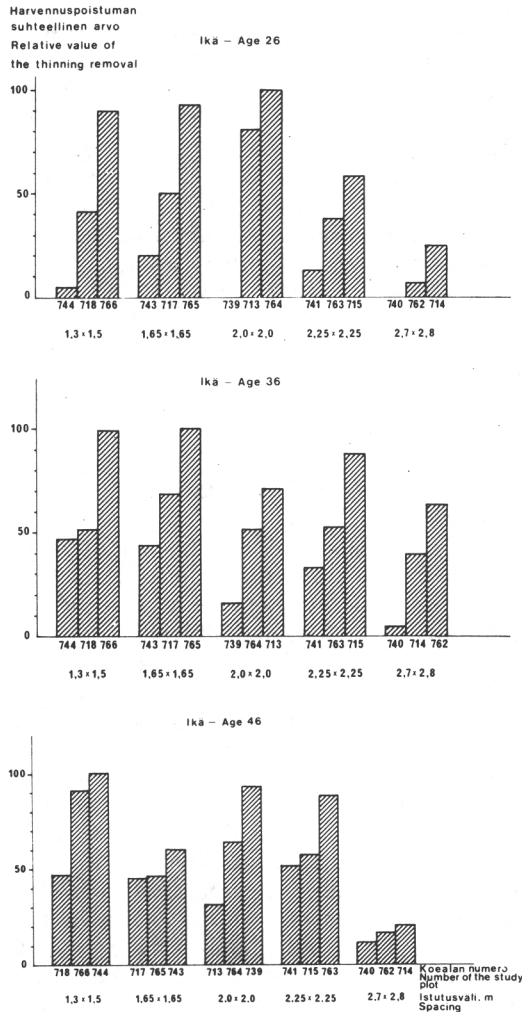
Nykyisissä olosuhteissa suositellaan puunkorjuussa yleensä harvennuspoistumaksi kullakin kerralla vähintään 30—40 p-m³/ha, jotta toimenpide olisi toteutettavissa taloudellisesti. Kun leimikon harvennuspoistuma pinta-alayksikköä kohden pienenee, puunkorjuun yksikkökustannukset nousevat. Ainakin nykyoloja ajatellen ensimmäisessä harvennuksessa on siis poistettu kullakin koealalta liian vähän puuta pinta-alayksikköä kohden. Toisella harvennuskerralla hakkuupoistuma vastaa useimmilla koealoilla nykyisinkin taloudellisesti toteutettavan puunkorjuun vaatimuksia. Kolmannessa harvennuksessa harvennuspoistuma on ollut keskimäärin pienempi kuin toisessa.

Tämän tutkimuksen taloudellisessa tarkastelussa ei ole otettu huomioon puunkorjuun yksikkökustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Kun puustoa on hakattu, vaikkapa vain muutama kuutiometri hehtaarilta, siitä on kaikissa tapauksissa katsottu saatavan yksikköhinnaltaan yhtä suuri myyntitulo.

Mikäli edellä mainitut harvennukset olisi tehty nykyisin sovellettavan metsätaloudellisen käytännön mukaisesti, harvennuskerrat olisi ilmeisesti supistettu kahteen. Näin harvennukset olisi voitu teknisesti ja taloudellisesti toteuttaa tyydyttävällä tavalla, kun harvennuspoistuma olisi ollut kullakin kerralla vähintään em. 30—40 p-m³/ha. Mainittu menettely olisi tuskin vaikuttanut koealojen puun tuotokseen merkittävässä määrin (esim. Vuokila 1975, s. 14). Edellä esitetyt näkökohdat puoltavat käytettyä hinnoittelumenettelyä. Vähäisestä korjuukertymästä pinta-alayksikköä kohti aiheutuvia eroja puunkorjuun kustannuksiin koealojen välillä ei ole edellisen vuoksi otettu laskelmissa huomioon. Käytännössä näitä eroja ei ilmeisestikään syntyisi, koska hakkuu ajoitettaisiin kussakin harvennuksessa taloudelliset tekijät huomioon ottavalla tavalla.

Harvennuspoistumien arvosuhteet on määritelty Laasasenahon ja Sevolan (1971) laatimien kuusirunkojen puutavaralajisuhteiden ja kantoarvojen pe-

rusteella. Mainitun tutkimuksen kantoarvojen määrityksen lähtökohtina oli tukkipuun minimiläpimitta 15 cm ja kuitupuun 6 cm kuoren alta. Kuitupuun hinnan suhde tukkipuun hintaan oli 47:100. Arvosuhteiden määrityksessä oli otettu huomioon tukin yksikköhinnan järeysporrastus ja kuitupuun korjuun yksikkökustannukset järeysluokit-
tain. Tässä tarkastelussa on haluttu nimenomaan ottaa järeyden vaikutus huomioon arvosuhteisiin. Vuosien 1955, 1965 ja 1970 harvennuspoistumien arvosuhteet on esitetty kuvassa 16 (s. 30). Tarkasteltaessa harven-



Kuva 16. Harvennuspoistumien suhteelliset arvot koealoittain ja tiheysluokittain puuston iän ollessa 26, 36 ja 46 vuotta.

Figure 16. The relative value of thinning removals at ages 26, 36 and 46 years by study plots and initial tree spacings.

nuspoistuman arvosuhteita on muistettava, että harvennukset on tehty subjektiivisen harkinnan mukaan kullakin koealalla.

Harvennuspoistuman määrä oli ensimmäisessä harvennuksessa enimmillään 20 k-m³/ha. Niiltä koealoilta, joilla oli verho puustoa, on istutuskuusikkoa harvennettu vain vähän tai ei lainkaan. Perustamistiheydeltään väljimmiltä koealoilta harvennuspoistuman määrä on niin ikään ollut vähäinen. Harvennuspoistuman arvosuhteet ovat suuresti poikenneet toisistaan eri tiheysasteisillä koealoilla.

Toisessa harvennuksessa, poistuman arvosuhteet koealojen ja tiheysasteiden välillä ovat tasoittuneet ensimmäiseen harvennuksen nähden. Poistuman määrä oli suurimmillaan (koealat 765 ja 766) noin 60 k-m³/ha ja pienimmillään 3–10 k-m³/ha (koealat 739 ja 740). Viimeksi mainituilla harvennus ei ole toteutettavissa taloudellisesti edullisella tavalla. Harvennuspoistumien arvot toisessa harvennuksessa pienenevät niin ikään sitä enemmän mitä väljempään asentoon metsikkö on alkuaan perustettu.

Kolmas harvennus tehtiin viisi vuotta toisen jälkeen. Harvennuspoistumat olivat 5–42 k-m³/ha. Harvennukset ovat olleet useimmilla koealoilla edelleen liian pieniä teknis-taloudelliselta kannalta. Koealojen väliset kolmannen harvennuspoistuman arvosuhteiden erot ovat pienentyneet kussakin istutustiheysluokassa. Arvosuhteet ovat niin ikään tasoittuneet istutustiheysluokassa lukuun ottamatta väljimpään asentoon istutettuja koealoja.

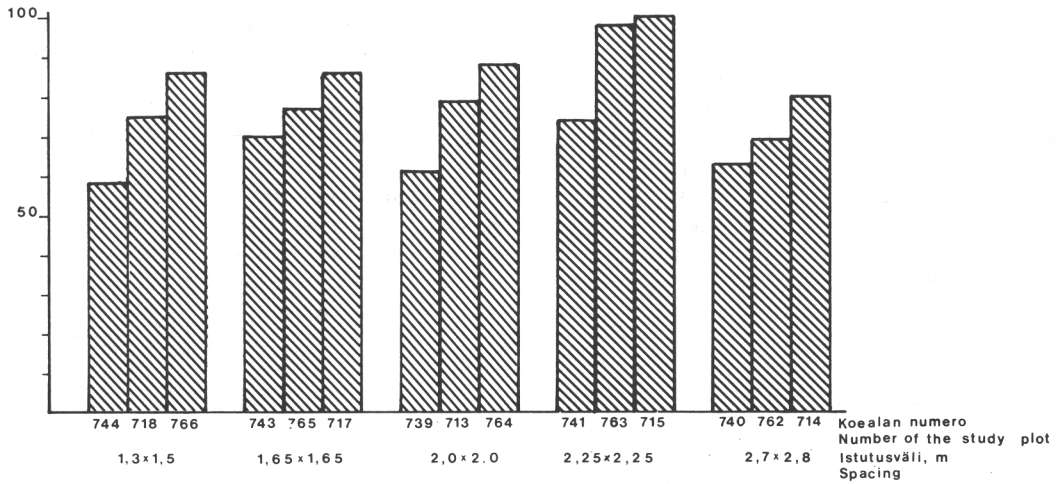
Kolmen ensimmäisen harvennuspoistuman arvosuhteista voidaan päätellä seuraavaa:

1. Kun istutustiheytenä on 1 250 tainta hehtaaria kohti, ensimmäiset harvennukset siirtyvät myöhemmiksi kuin tiheämpään istutetuilla koealoilla. 2 500 tainta/ha ja sitä tiheämpään istuttamisella ei näytä olevan vaikutusta ensimmäisten harvennuspoistumien arvosuhteisiin.
2. Harvennuskäsittelyt pienentävät tiheydestä johtuvia eroja puustossa siten, että tulevien harvennuspoistumien väliset arvosuhteet tasoittuvat.

434. Puuston hakkuuarvo

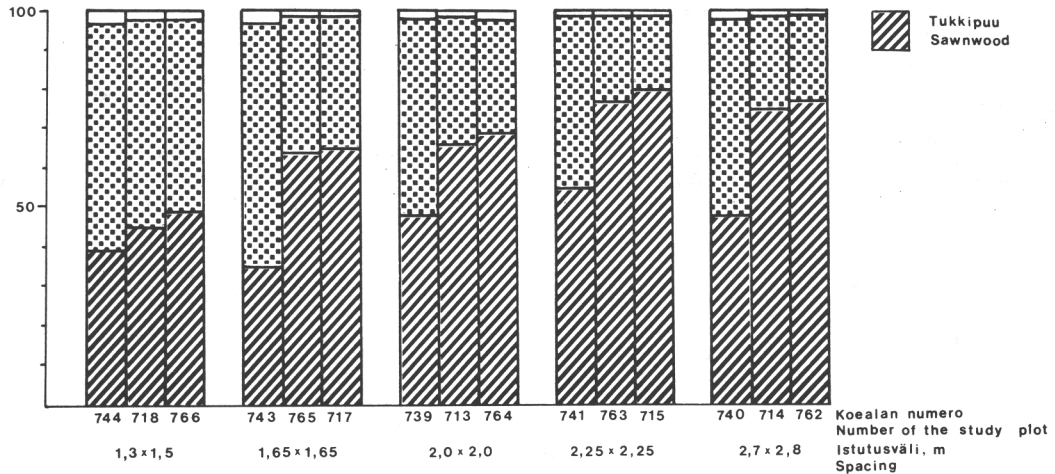
Puuston hakkuuarvoon vaikuttaa sekä määrä- että laatutekijät. Tässä tutkimukses-

Suhteellinen kuutiomäärä
Relative cubic volume



Kuva 17. Puuston suhteellinen kuutiomäärä eri istutustiheysluokissa koealoittain puuston iän ollessa 46 vuotta.
Figure 17. Relative cubic volumes of the stand at age 46 years by spacing classes and study plots.

Puutavaralajijakauma, %
Assortments of the timber



Kuva 18. Puutavaralajien jakauma eri istutustiheysluokissa koealoittain puuston iän ollessa 46 vuotta.
Figure 18. Relative percentage of the standing timber assortments at age 46 years by spacing classes and study plots.

sa arvosuhteisiin vaikuttava laatutekijä on määritetty nimenomaan puun järeyden perusteella. Kuitupuun minimiläpimittana oli kuoren alta 6 cm ja tukkipuun 15 cm.

Kuvassa 17 (s. 31) on esitetty puuston kuutiomääräsuhteet koealoittain puuston iän ollessa 46 vuotta. Puuston kuutiomäärä on saavuttanut harvennusten seurauksena korkeimman tason istutustiheydellä 2 000 tain-

ta hehtaaria kohti ja alhaisimman tason istutustiheydellä 1 250 tainta hehtaaria kohden. Istutustiheyksissä 2 500—5 000 kpl/ha puuston kuutiomäärät näyttävät määrällisesti saavuttaneen likimain saman tason edellä käsiteltyjen harvennusten seurauksena. Verhoppuustoa kasvaneiden koealojen (739—744) kuutiomäärän kehitys on jäänyt 10—30 % alemmalle tasolle kuin muiden

koalojen puiden iän ollessa 46 vuotta.

Puuston järeystekijän vaikutusta laatu-komponenttiin eli kuutiomäärän jakaumaan puutavaralajeihin on tarkasteltu koaloittain kuvassa 18 (s. 31). Kuutiomäärä jakautuu tukki-, kuitu- ja hukkapuuhun. Tukkipuun osuus on noussut istutustiheyksillä 1 250—2 000 tainta/ha parhaimmillaan lähes 80 prosenttiin. Istutuskusikko pystyy siis saavuttamaan parhailla Suomen kasvupaikoilla 42 vuoden kuluttua metsikön perustamisesta istutustiheyksillä 1 250—2 000 tainta hehtaarilla huomattavan suuren arvopuun osuuden kokonaistuotoksesta. Tätä tiheämpään istutettaessa tukkipuun osuus on sitä alhaisempi mitä tiheämpään metsikkö on alkuaan perustettu. Kuitu- ja hukkapuun suhteellinen osuus on vastaavasti suuri tiheään istutetuilla koaloilla. Verhoppuustoa kasvanneilla koaloilla istutettujen puiden järeyskehitys on ollut hitainta. Jos puunkasvatuksen tavoitteena on saada järeätä puuta mahdollisimman lyhyessä ajassa, tavoite toteutuu tämän aineiston perusteella parhaiten perustamalla metsikkö tiheyteen 1 250—2 000 tainta hehtaarille. Metsikön puusto näyttää saavuttavan hakkuukypsyyden niin ikään väljässä kasvatusasennossa aikaisemmin kuin tiheässä. Kuvasta 18 voidaan lisäksi päätellä, että erityisesti tiheysluokissa 2 500—5 000 tainta hehtaarille tapahtuu koemetsikoissä jo lähivuosina huomattavaa siirtymistä kuitupuusta tukkipuuhun.

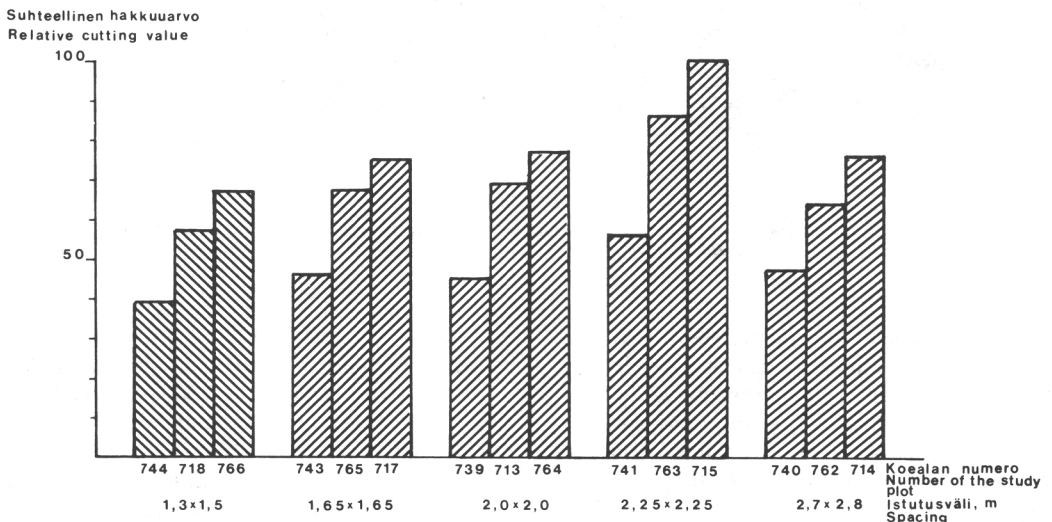
Kuvassa 19 (s. 32) on esitetty puuston suhteelliset hakkuuarvot eri istutustiheysluokissa koaloittain. Hakkuuarvot on määritetty samojen periaatteiden ja lähtökohtien perusteella kuin harvennuspoistumien arvot (vrt. s. 29). Suurimmat hakkuuarvot ovat koaloilla, joille istutettiin 2 000 tainta hehtaarille. Istutustiheydeltään 1 250, 2 500 ja 3 750 tainta hehtaarilla olevilla koaloilla hakkuuarvot ovat likimain yhtäsuuret. Tiheimpään (5 000 tainta/ha) istutettujen koalojen hakkuuarvot ovat pienimmät. Niillä koaloilla, joilla oli istutettaessa verhoppuustoa, hakkuuarvot ovat kaikissa tiheysluokissa selvästi pienimmät.

44. Edullisuusjärjestys

441. Sisäinen osittaiskorko

Sisäistä osittaiskorkoa on käytetty koalojen keskinäisen edullisuusjärjestyksen toisena määrittämisen kriteerinä. Sisäisen osittaiskoron riippuvuus perustamistiheydestä nähdään koalasarjoittain kuvasta 20 (s. 33).

Koalasarjoissa 713—718 ja 762—766, joilla ei ollut verhoppuustoa metsikköä perustettaessa, on tarkasteluperiodin sisäinen osittaiskorko suurin istutustiheyksillä 1 250—2 000 tainta/ha. Reaalinen sisäinen osittaiskorko on näissä tapauksissa 10—12

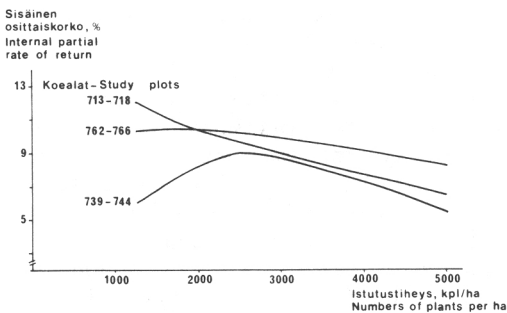


Kuva 19. Puuston suhteelliset hakkuuarvot eri istutustiheysluokissa koaloittain puuston iän ollessa 46 vuotta.
Figure 19. Relative cutting values of the growing stock at age 46 years by spacing classes and study plots.

prosenttia. Istutustiheyksissä yli 2 500 tainta hehtaarille puunkasvatuksen edullisuus näyttää selvästi heikkenevän. Suhteellisen suuren istutustiheyden mahdollistavat varhaiset harvennustulot ja tuotomäärän lisäys eivät siis näytä kompensoivan tiheästä istutuksesta aiheutuvia kustannuksia. Istutustiheyksien 1 250 ja 2 000 tainta hehtaarilla edullisuus muihin tiheyksiin verrattuna johtuu puuston nopeasta järeytymisestä. Tukkipuun osuus olikin, kuten jo aiemmin on todettu, näillä koealoilla viimeisten mittausten mukaan 70—80 prosenttia kuutiomäärästä. Muilla koealoilla tukkipuustoa on edellä mainittua vähemmän (vrt. kuva 18, s. 31).

Koealoilla 739—744 oli verhopuustoa istutettaessa. Näillä, lukuun ottamatta koealaa 739 (istutustiheys 2 500 kpl/ha), sisäinen osittaiskorko jäi, tarkastelujaksona tapahtuneen verhopuuston hakkuuarvon lisäyksenkin huomioonottaen, selvästi pienemmäksi kuin muilla koealoilla. Koealalla 739 oli verhopuustoa vähiten (vrt. taulukko 1 s. 10). Verhopuuston aiheuttama alhainen osittaiskorko muihin koealasarjoihin verrattuna johtuu kahdesta seikasta. Verhopuuston paikoilleen jättäminen merkitsee ensinnäkin huomattavaa kustannuserää istutuskuusikkoa perustettaessa. Toisekseen verhopuusto hidastaa sen alle istutetun kuusikon kehitystä ja siirtää näin hakkuutulot myöhemmin kertyviksi.

Verhopuuston vaikutusta edullisuuteen on edelleen käsitelty erikseen seuraavassa jaotelmassa. Siinä on tarkasteltu sisäistä osittaiskorkoa hakatun verhopuuston poistamisajankohdan eri kuutiomääräluokissa.



Kuva 20. Sisäisen osittaiskoron riippuvuus istutustiheydestä kolmen koealasarjan perusteella.

Figure 20. Dependence of the internal partial rate of return on the initial tree spacing based on three study plot series.

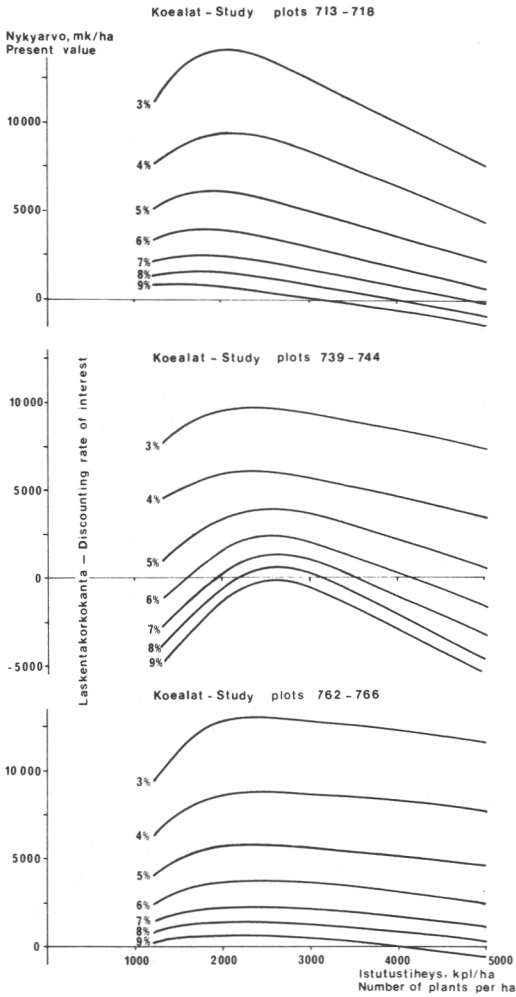
Verhopuuston kuutiomäärä, m ³ /ha	Sisäinen osittaiskorko, %
0—50	9,8
51—100	8,5
101—150	5,8

Verhopuuston käyttö näyttää selvästi heikentävän kuusen kasvatuksen kannattavuutta. Mitä suurempi verhopuuston kuutiomäärä on, sitä epäedullisempi on kuusen kasvatuksen kokonaistulos, jossa on siis otettu huomioon mainitut kaksi kasvatusjaksoa.

442. Nykyarvo

Kuvassa 21 (s. 34) on tarkasteltu koealasarjoittain istutustiheyden vaikutusta nykyarvoon laskentakorkokannoilla 3—9%. Ylinnä oleva koealasarja (koealat 713—718) osoittaa, että laskentakorkokannan nostaminen siirtää nykyarvolla mitattavaa optimaalista istutustiheyttä yhä väljempään asentoon. Istutustiheydellä 2 000 tainta hehtaaria kohden saavutetaan nykyarvon maksimi, kun laskentakorkokantana on 3 prosenttia. Maksimaalinen nykyarvo siirtyy tästä hitaasti yhä väljempään istutustiheyteen laskentakorkokannan suuretessa. Samalla erot nykyarvoissa eri istutustiheysluokkien välillä pienenevät. 9 prosentin korkokannalla väljin istutustiheys on edullisin, joskin ero istutustiheyksien 1 250 ja 2 000 tainta/ha välillä on lähes olematon, ja edullisuus pienenee tämän jälkeen likimain suoraviivaisesti istutustiheyden kasvaessa. Tämän koealasarjan tarkastelussa on lisäksi muistettava se, että metsikkö perustettiin aikanaan avohakkuualalle 42 vuotta sitten eikä koealoilla ollut taimien alkukehitystä haittaavaa puustoa.

Keskimmaisessä koealasarjassa (koealat 739—744) on esitetty nykyarvot verhopuustoa kasvaneilla koealoilla. Nykyarvot ovat jääneet tässä koealasarjassa selvästi pienemmiksi kuin avomaalle istutetuilla. Lisäksi on huomattava, että verhopuustoisimmilla koealoilla (740 ja 744), joita edustivat pienin ja suurin istutustiheys, nykyarvot muodostuvat muihin koealoihin verrattuna sitä pienemmiksi, mitä korkeampaa korkokantaa käytetään nykyarvoa laskettaessa. Tämä johtuu verhopuustoisten alojen heikosta arvokasvusta. Tämän verhopuustokoealasarjan tuloksia istutustiheyden vaikutuksesta nykyarvoon ei voida kuitenkaan suoranaisesti käyttää edullisimman istutustiheyden arvioimiseksi, koska verhopuuston määrä ei ole ollut sama kaikilla koealoilla.



Kuva 21. Nykyarvon riippuvuus istutustiheydestä eri korkokannoilla kolmen koelasarjan perusteella.

Figure 21. Dependence of the present value on the initial tree spacing based on three study plot series.

Kuvan 21 alimmissa koelasarjassa istutustiheys 2 000 tainta hehtaarilla johtaa nykyarvoltaan edullisimpaan tulokseen kaikilla laskentakorkokannoilla. Yleisesti ottaen kuitenkin korkokannan nostaminen parantaa väljimmän vaihtoehdon edullisuutta tiheimpiin verrattuna.

Käytettäessä nykyarvoa eri istutustiheyksin perustettujen kuusikoiden keskinäisen edullisuusjärjestyksen arvioinnissa voidaan todeta seuraavaa. Mitä suurempaa laskentakorkokantaa käytetään sitä väljempi istutus-

tiheys johtaa korkeimpaan nykyarvoon. Verhopuusto näyttää aina pienentävän istutuskuusikon kasvatuksen kannattavuutta. Seuraavassa on esitetty jaotelmia liiketaloudellisesti suositeltavista istutustiheyksistä eri laskentakorkokannoilla käytettäessä nykyarvoa edullisuuden kriteerinä.

Laskentakorko, %	Istutustiheys, kpl/ha
3	1900—2500
5	1750—2350
7	1650—2250
9	1500—2100

45. Herkkyysanalyysi

Raakapuun kantohintataso samoin kuin puunkasvatuksen kustannustaso on määritetty vuoden 1975 rahan arvon mukaisiksi kuten jo aiemmin on mainittu. Puutavaralajien nimellishinnat vaihtelevat vuodesta toiseen. Laskelman tulojen hinnoittelun perusteena käytetyn vuoden 1975 hinnat eivät siten ole kovin luotettavia myöhempien vuosien hintatasoa arvioitaessa.

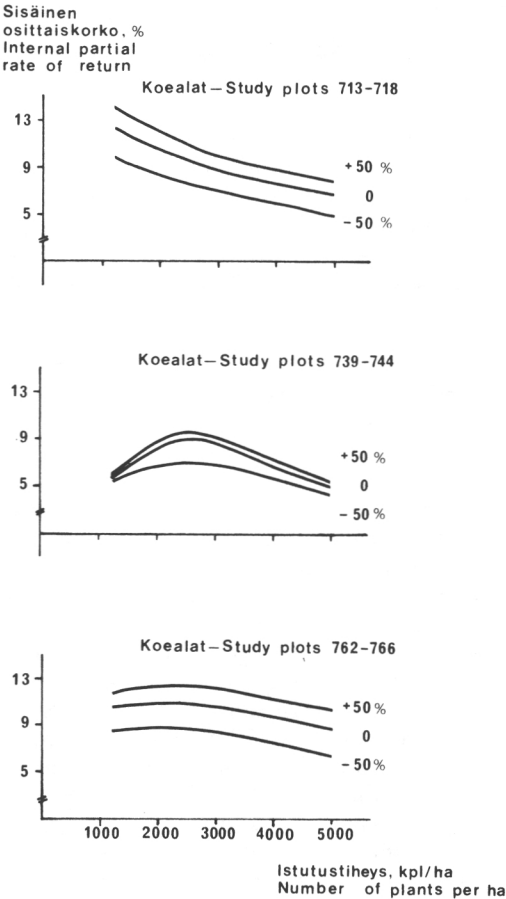
Puunkasvatuksesta aiheutuneet kustannukset ovat näiden laskelmien työmenetelmissä syntyneet pääosiltaan ihmistyöpanoksina. Istutus ja taimiston hoito tultaneen lähivuosina edelleenkin suorittamaan valtasaltaan käsityöhön perustuvilla työmenetelmillä. Taimen hinnasta huomattava osa muodostuu niin ikään ihmistyön palkkakustannuksista. Puunkasvatuksen kustannusten kehitys seurannee näin ollen ihmistyön hintatason kehitystä, joskin työvoimapulan on oletettu nostavan kustannuksia puuntuotantimistöissä suhteessa enemmän kuin keskimäärin muilla aloilla. Töiden rationalisointi ja teknologinen kehitys jarruttavat kuitenkin toisaalta puunkasvatuksen kustannusten nousua; uudet menetelmät voivat jopa alentaa kustannustasoa oleellisesti.

Hinta- ja kustannustasojen muutosten vaikutusta sisäiseen korkokantaan on tutkittu herkkyysanalyysin tekniikalla (esim. H o n k o 1971, s. 115). Tässä menetelmässä on oleellista se, että laskennallisesti kokeilemalla tutkitaan tietyn tekijän tai tiettyjen muutosten vaikutusta kriteerimuuttujaa muiden muuttujien arvojen pysyessä ennallaan. Tässä tutkimuksessa annettiin sekä raakapuun kantohintojen että puunkasvatuksen kustannusten erikseen vaihdella $\pm 50\%$ vuoden 1975 hinta- ja kustannustasosta. Näillä muutetuilla hinnoilla laskettiin

sitten sisäiset osittaiskorkokannat ja nykyarvot.

On siis kyse siitä, että halutaan tietää etukäteen mahdollisten hinta- ja kustannustason muutosten vaikutus edullisuuskriteeriin ja katsoa, missä määrin edullisuuskriteerin arvot muuttuvat tämän asiaan vaikuttavan tekijän muutoksen seurauksena.

Kuvassa 22 (s. 35) on tarkasteltu sisäisen osittaiskoron riippuvuutta istutustiheydestä metsänhoitotöiden kustannustason muuttuessa. Tämä tarkastelu on suoritettu koelasarjoittain. Kustannustason aleneminen 50 prosenttiyksiköllä parantaa puunkasvatuksen edullisuutta sisäisen osittaiskoron kriteerillä mitattuna runsaalla kahdella prosentti-

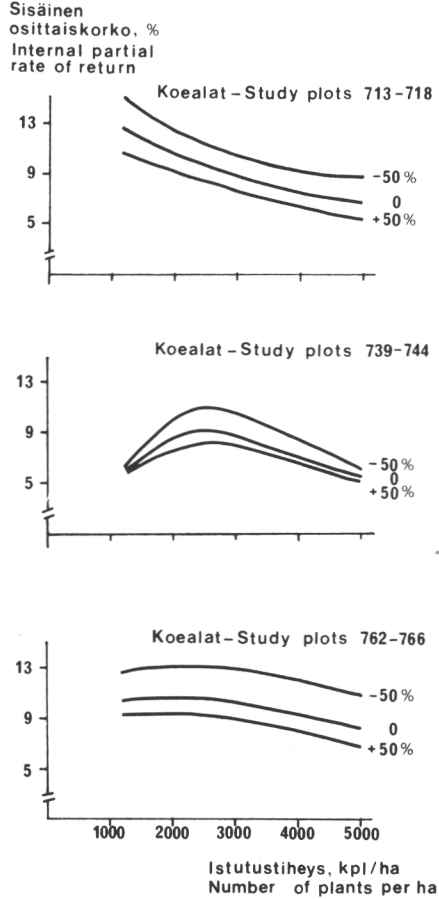


Kuva 22. Sisäisen osittaiskoron riippuvuus istutustiheydestä metsänhoitotöiden kustannustason noustessa tai laskiessa 50 prosentilla.

Figure 22. Dependence of the partial internal rate of return on the initial tree spacing when the costs of silviculture increase or decrease by 50 percent.

yksiköllä. Kustannusten kokoaminen vastaavasti heikentää edullisuutta runsaalla prosenttiyksiköllä. Kustannustason muutoksen vaikutus näyttää olevan likimain samanlainen eri tiheysluokissa.

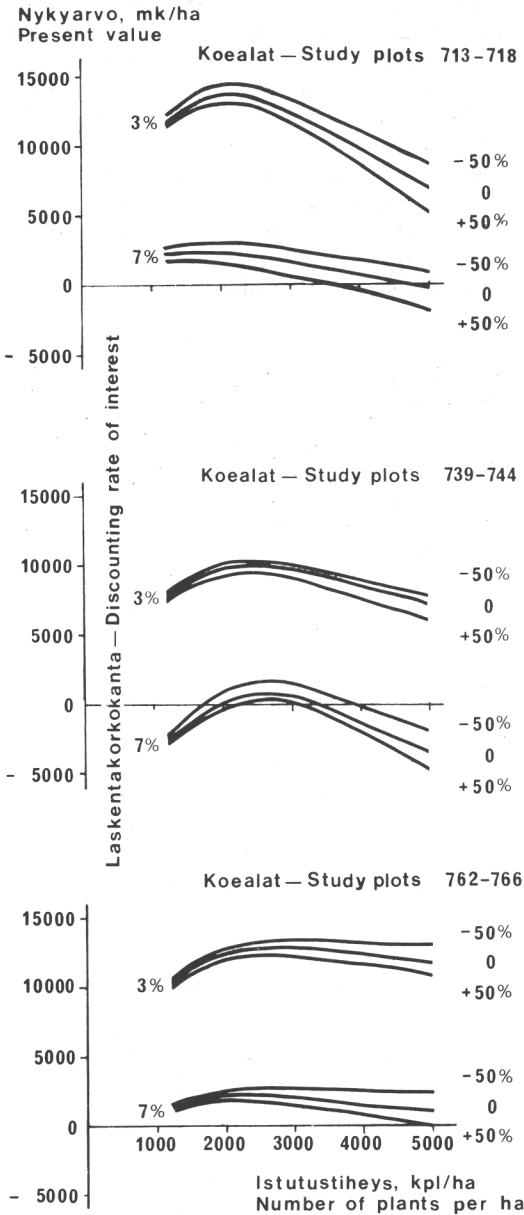
Kuvassa 23 (s. 35) on tarkasteltu koelasarjoittain sisäisen osittaiskoron riippuvuutta istutustiheydestä puun kantohintatason muuttuessa. Hintatason nousu 50 prosenttiyksiköllä parantaa edullisuutta sisäisellä osittaiskorolla mitattuna runsaalla prosenttiyksiköllä ja vastaavasti 50 prosenttiyksikön lasku hinnoissa heikentää edullisuutta runsaalla kahdella prosenttiyksiköllä. Hintatason muutoksen vaikutus näyttää olevan likimain samanlainen eri tiheysluokissa.



Kuva 23. Sisäisen osittaiskoron riippuvuus istutustiheydestä puun kantohintatason noustessa tai laskiessa 50 prosentilla.

Figure 23. Dependence of the partial internal rate of return on the initial tree spacing when the stumpage price increases or decreases by 50 percent.

Kuvassa 24 (s. 36) on esitetty koelasarjoittain nykyarvon riippuvuus istutustiheydestä kolmen ja seitsemän prosentin korkokannoilla metsänhoitotöiden kustannustason muuttuessa. Kustannustason nousu tai



Kuva 24. Nykyarvon riippuvuus istutustiheydestä kolmen ja seitsemän prosentin korkokannoilla metsänhoitotöiden kustannustason noustessa tai laskiessa 50 prosentilla.

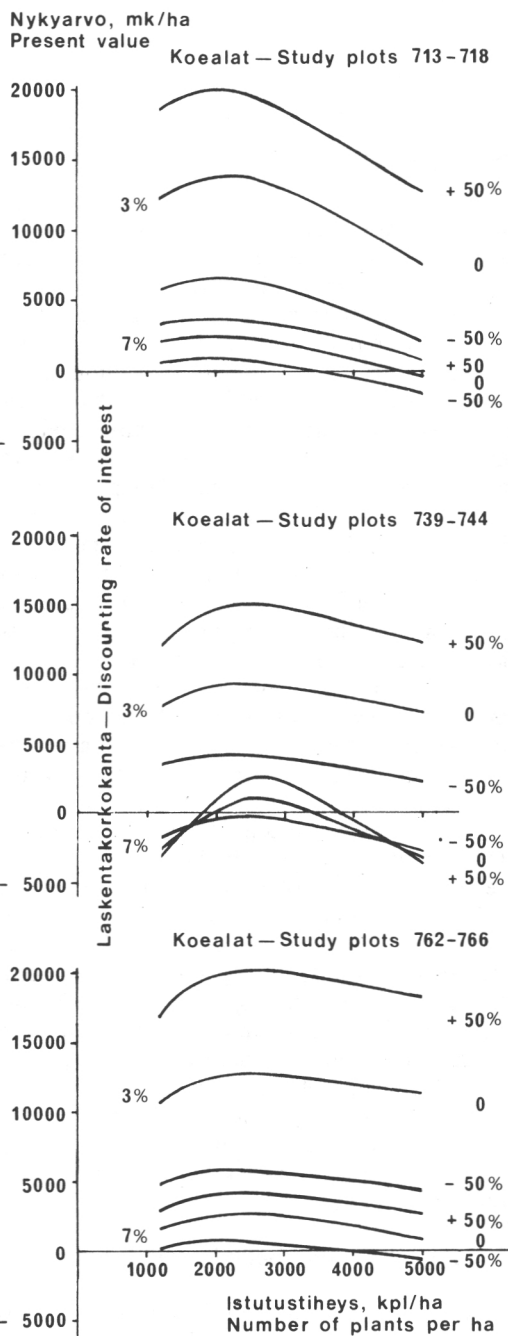
Figure 24. Dependence of the present value on the initial tree spacing at three and seven percent rates of interest when the costs of silviculture increases or decreases by 50 percent.

lasku ei vaikuta yhtä paljon väljien tiheyksien nykyarvoon kuin tiheiden. Kustannustason alenemisella tosin sanoen tiheiden kasvatusasentojen suhteellinen edullisuus paranee väliin verrattuna ja vastaavasti nousu heikentää tiheiden kasvatusasentojen edullisuutta. Edellä mainittu vaikutus näyttää olevan sama sekä kolmen että seitsemän prosentin korkokannoilla.

Kuvassa 25 (s. 37) on esitetty koelasarjoittain nykyarvon riippuvuus istutustiheydestä kolmen ja seitsemän prosentin korkokannoilla puun kantohintatason muuttuessa. Kolmen prosentin laskentakorolla puun kantohintatason nousu 50 prosenttisyksiköllä lisää eroja nykyarvossa eri istutustiheyksien välillä ja kantohintatason lasku vastaavasti vähentää niiden välisiä eroja. Mitä korkeampaa laskentakorkokantaa käytetään, sitä vähemmän kantohintojen muutokset aiheuttavat muutoksia "perustasolla" suoritettujen laskelmien nykyarvoihin.

Yhteenvetona herkkyyksianalyysin tuloksista voidaan todeta seuraavaa:

1. Kustannustason aleneminen vaikuttaa enemmän sisäisen osittaiskoron kriteerillä mitattuun edullisuustunnukseen kuin kustannustason vastaavan suuruinen nousu.
2. Puun kantohintatason aleneminen vaikuttaa enemmän sisäisen osittaiskoron kriteerillä mitattuun edullisuustunnukseen kuin kantohintatason vastaavan suuruinen nousu.
3. Metsänhoitotöiden kustannustason ja puun kantohintatason muutokset eivät näytä vaikuttavan eri istutustiheyksien keskinäiseen edullisuusjärjestykseen, kun edullisuuden kriteerinä on sisäinen osittaiskorko.
4. Puun kantohintatason suhteellisella nousulla näyttää olevan likimain yhtä suuri, joskin vastakkaissuuntainen, vaikutus sisäiseen osittaiskorkokantaan kuin metsänhoitotöiden kustannustason nousulla.
5. Puun kantohintatason laskulla näyttää olevan likimain yhtä suuri, joskin vastakkaissuuntainen, vaikutus sisäiseen osittaiskorkokantaan kuin metsänhoitotöiden kustannustason suhteellisesti samansuuruisella laskulla.
6. Sisäinen korkokanta edullisuuskriteerinä reagoi siis herkimmin suhteellisista muutoksista kantohintatason alenemiseen ja metsänhoitotöiden kustannustason piene-



Kuva 25. Nykyarvon riippuvuus istutustiheydestä kolmen ja seitsemän prosentin korkokannoilla puun kantohintatason noustessa tai laskiessa 50 prosentilla.

Figure 25. Dependence of the present value on the initial tree spacing at three and seven percent rates of interest when the stumpage price increases or decreases by 50 percent.

nemiseen.

7. Nykyarvon kriteerillä punnittuna metsänhoitotöiden kustannustason aleneminen parantaa tiheiden kasvatusasentojen edullisuutta ja vastaavasti kustannustason kohoaminen heikentää niiden edullisuutta väljiin asentoihin verrattuna. Laskentakorkokannan suurentaminen pienentää suhteellisia eroja nykyarvossa eri istutustiheyksien välillä.
8. Hintatason nousu lisää ja aleneminen vastaavasti vähentää eri tiheysasteiden nykyarvolla mitattuja eroja edullisuudessa. Mainittu vaikutus on suhteellisesti sitä selvempi mitä alemmaa laskentakorkokantaa käytetään.
9. Jos oletetaan että puun kantohintataso laskee ja samanaikaisesti metsänhoitotöiden kustannustaso nousee, tämä ei muuttane eri tiheysvaihtoehtojen keskinäistä edullisuusjärjestystä mitattaessa sitä joko sisäisen osittaiskoron tai nykyarvon kriteereillä.

Aiemmin käsitellyssä W a m b a c h i n (1967) tutkimuksessa tarkasteltiin optimitiheyttä myös herkkyysanalyysin keinoin, kun kriteerimuuttujana oli nykyarvo. Kustannustason nousu vaikutti siten, että optimitiheys siirtyi yhä väljemmäksi ja vastaavasti kustannusten aleneminen siirsi suositustiheyttä yhä tiheämmäksi. Kantohintojen muutoksen vaikutusta tutkittaessa todettiin, että kuitupuun hinnan kaksinkertaistuminen siirsi optimitiheyden 1 300:sta 1 800:aan puuta hehtaarilla. Läpimitan mukaan kohoavat kantohinnat alensivat optimitiheyttä 1 300:sta 800:aan puuta hehtaarilla. Kokonaisuudessaan kustannusten ja hintojen muutosten vaikutus optimitiheyteen oli W a m b a c h i n mukaan vähäinen, mikä tulos on yhdenmukainen tämän tutkimuksen tulosten kanssa.

W i k s t e n (1965) analysoi niin ikään nykyarvona mitattua taloudellista tulosta herkkyysanalyysin keinoin. Kiertoaajan eri ajankohtiin lasketuista tuottoarvoista voitiin päätellä, että optimikiertoaika lyhenee istutustiheyden aletessa (perustamiskustannusten pienetessä). Kun tietyillä laskennallisilla edellytyksillä saadaan istutustiheydelle 2 500 tainta hehtaarilla 50 vuoden optimikiertoaika, niin vastaavilla edellytyksillä istutustiheyden 3 300 tainta hehtaarilla kiertoajaksi saatiin 60 vuotta.

5. TULOSTEN TARKASTELU

51. Mittaustietojen epätäydellisyys

Tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että ne ja niistä tehtävät päätelmät perustuvat Heikinheimon vuonna 1933 perustamien koealojen mittauksiin. Koealat perustettiin alunperin metsänistutusmenetelmien eikä varsinaisesti kiertoajan mittaisen puunkasvatuksen tutkimiseksi. Näiden tutkimisessa on olennaisena erona se, että metsänistutusmenetelmien vaikutus taimien ja nuorten puiden kasvuun käy yleensä selvälle metsikön ensimmäisen vuosikymmenen aikana. Puunkasvatuksen tutkimuksissa sen sijaan joudutaan odottamaan tuloksia metsikön perustamisesta lukien useiden vuosikymmenien ajan; kokonaistulosta on yleensä mahdollista arvioida vasta kiertoajan kasvatusjakson päästä.

Alkuperäisestä tutkimustarkoituksesta johtuen koealojen koko on ollut liian pieni käsiteltyyn puunkasvatuksen tuotosopilliseen ja taloudelliseen tutkimukseen. Koealoilta tehtyjen mittaustulosten luotettavuutta heikentää edelleen se, että koealojen välillä ja ympärillä ei ollut vaippa-alueita. Koealojen kehityshistoria on ollut hyvin tunnettu lukuunottamatta metsikön ikävaihetta 5—20 vuotta istutuksesta lukien.

Kutakin istutustiheyttä varten perustettiin kolme koealaa ja eri istutustiheyksiä oli viisi. Koealasarjojen ei ole kuitenkaan tulkittu muodostavan keskenään vertailukelpoisia toistoja, koska kukin koealasarja perustettiin puustoltaan vaihtelevalle metsämaalle. Koealojen keskinäistä sijaintia ei myöskään arvottu.

Edellä esitetyistä puutteista johtuen käsillä olevasta aineistosta esitettyjä tuloksia on pidettävä enemmänkin yksittäisinä esimerkeinä kuin että niistä voitaisiin tehdä pitkälle meneviä yleistyksiä.

Kuutiomäärän selvittäminen on perustunut Ilvessalon (1948) kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoihin. Mittaamisessa on käytetty pysyvien koealojen mittaustaatimet täyttäviä menetelmiä (esim. Vuolo 1975). Puuston mittauksista ei ilmeisesti-

kään ole aiheutunut sen suurempia virheitä kuin mitä on yleensäkin tämän tapaisissa tutkimuksissa mahdollista tehdä.

Puunkasvatuksen edullisuutta käsittelevissä tutkimuksissa hinta- ja kustannustason todennäköiset muutokset tulevaisuudessa aina aiheuttavat epävarmuutta. Koska erityisesti kantohinnat vaihtelevat suhdanteiden mukaan, pyritään tästä vaihtelusta johtuvaa epävarmuutta yleensä vähentämään käyttämällä pitkällä aikavälillä tasoitettuja hintoja. Tässä työssä ei kuitenkaan menetelty näin koska ei ollut suoraan käytettävissä näitä hintasarjoja. Tästä johtuva puute on ainakin osittain voitu eliminoida herkkyysoanalyysillä. Lisäksi on huomattava, että tämän tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena on eri tiheysvaihtoehtojen keskinäinen edullisuusvertailu, eikä siis olla kovinkaan kiinnostuneita käsiteltävien puunkasvatusvaihtoehtojen absoluuttisesta edullisuudesta.

Toinen tutkimuksen taloudellisten tulosten käyttökelpoisuutta heikentävä seikka on se, että kyseessä olevassa aineistossa ei ole voitu tarkastella puunkasvatuksen kannattavuutta koko kiertoajan kuluessa. Kannattavuutta on jouduttu analysoimaan siten, että loppupuusto eli puusto viimeisimmällä mitauskerralla on arvostettu sen hakkuuarvon perusteella. Tämä menettely ei ole yhdenmukainen oletettavissa olevan käytännön metsätalouden harjoittamisen kanssa. Lisäksi on huomattava, että tiheydestä aiheutuvia eroja hakkuukypsyydessä ei ole myöskään otettu huomioon.

52. Puuntuotannolliset näkökohdat

Kuusten kasvu on hidastunut koivuverhoppuuston johdosta niin paljon, että verhoppuuston käyttö kuusen istutuksissa on asetettava kyseenalaiseksi ainakin vain lievästi hallanaroilla kasvupaikoilla. Kasvu on hidastunut sitä enemmän, mitä runsaammin koivuverhoppuustoa on ollut koealoilla. Jos taas tyydyttäisiin vähäiseen koivuverhoppuustoon, jolloin siis kuusen kasvun hidastuminen olisi vähäistä, tällöin ei ilmeisesti kui-

tenkaan voitaisi saavuttaa koivuverhopus-
tolta edellytettävää suojaa kevähalliloilta
(vrt. L e i k o l a 1975). Nykyisin yleisimmin
käytössä olevat puunkorjuukoneet ja -mene-
telmät eivät sovellu verhopuuston korjuu-
seen. Mikäli näet verhopuusto korjataan kone-
ellisesti, aiheutuu tästä aina huomattavaa
haittaa varttuvalle taimistolle, koska koneel-
lisen puunkorjuun yhteydessä tuhoutuu kes-
kimäärin noin neljännes taimimäärästä (vrt.
T h e s s l u n d 1975).

Sen sijaan harvakseltaan kasvavasta lep-
päverhopusuosta kuusen kasvu ei näytä hi-
dastuvan. Vaikka leppäverhopusuosto varjos-
tuksellaan haittaakin kuusen kasvua, niin il-
meisesti leppäpuun ravinteisuutta paranta-
va vaikutus ja siitä johtuva kuusen lisäänty-
vä kasvu kompensoi tämän haitan.

Kuusikon tiheyden vaikutuksesta rinnan-
korkeusläpimitan kasvuun tutkijat ovat ol-
leet harvinaisen yksimielisiä. Väljä kasvutila
edistää rinnankorkeusläpimitan kasvua.
Kasvutilan tarve suurenee metsikön iän
myötä. Kasvutilan puute näyttää siis selvim-
min ilmenevän siten, että rinnankorkeuslä-
pimitan kasvu pienenee. Kasvutilan säätely-
ä voidaan vaikuttaa puiden järjestyshäy-
tykseen, millä on tärkeä merkitys sovellettavan
kiertoajan pituuteen.

Pohjapinta-alat ovat koaloilla puiden iän
ollessa 46 vuotta selvästi suuremmat kuin
mitä Keskusmetsälautakunta Tapion normit
suosittelevat ylimmiksi pohjapinta-aloiksi
ennen harvennusta. Metsiköiden kuutiokas-
vu on säilynyt korkeasta pohjapinta-alasta
huolimatta suurena. V u o k i l a n (1975)
Nynäsin harvennuskokeet puolestaan osoit-
tavat, että pohjapinta-alan kasvu on istutus-
kuusikossa 30—40 vuoden iässä likimain
riippumaton harvennuksen voimakkuudesta
ja kasvatustiheydestä, joka oli mainituissa
kokeissa 800—2 400 runkoa hehtaarilla.
Harvennusvoimakkuudella oli niin ikään
V u o k i l a n aineistossa suhteellisen vä-
häinen absoluuttinen vaikutus käyttöpuun
tuotoseihin.

Metsiköiden käsittelyä pyritään ohjaa-
maan pohjapinta-alan, valtapituuden, kas-
vupaikkaluokan ja puulajin perusteella, kos-
ka kuutiomäärän kasvu riippuu keskeisim-
min näistä tekijöistä ja nämä on verraten
helppo käytännössä mitata metsiköittäin.
Mainittujen tekijöiden väliset keskinäiset
riippuvuus-suhteet on normitettu siten, että
kasvun tason pysyminen riittävän korkealla

on turvattu. Tämän tutkimuksen tulokset
viittaavat siihen, että kasvun taso säilyy riit-
tävän korkeana huolimatta siitä, että pohja-
pinta-alat ovat suuremmat kuin Keskus-
metsälautakunta Tapion harvennusmallien
ylimmät pohjapinta-alan arvot ennen har-
vennusta. Edellä mainitut normit on ilmei-
sesti laadittu luontaisesti syntyneille metsille
ja viljelymetsien käsittelyohjeet saattaisivat
poiketa Keskusmetsälautakunta Tapion oh-
jeista.

Tiheyden vaikutusta valtapituuden kas-
vuun ovat käsitelleet monet tutkijat. On esi-
tetty tutkimustuloksia metsikön tiheyden
funktiona tapahtuvan valtapituuden lisään-
tymisen puolesta että sitä vastaan. Valtapi-
tuuden kasvu näyttääkin riippuvan monista
tekijöistä, joista tärkeimpiä ovat puulaji, ke-
hitysluokka, tiheysluokka, perintötekijät, il-
mastotekijät ja kasvupaikan ravinteisuus.
Kuusen osalta näyttää siltä, että kasvutilan
avartuminen joko ei vaikuta lainkaan tai
jonkin verran lisää valtapituuden kasvua.
Tällä kysymyksellä ei kuitenkaan liene käy-
tännön metsätalouden kannalta oleellista
merkitystä.

Puiden kapenemisella on merkitystä eri-
tyisesti sahatavaran saannon kannalta.
Saanto on sitä suurempi, mitä solakampia
puut ovat. Tiheys näyttää vaikuttavan metsi-
kön ensimmäisten vuosikymmenten aikana
puiden kapenemiseen siten, että väljässä
kasvaneet puut kapenevat enemmän kuin ti-
heässä. Puiden varttuessa kapeneminen vä-
henee. Onkin aivan ilmeistä, että perusta-
mistiheydellä ei ole enää käytännössä merki-
tystä puiden rungon sahapuuosuuden kape-
nemiseen metsikön saavutettua päätehak-
kuuian.

Tutkijat ovat yleensä päätyneet käsityk-
seen, että kuusen kuutiomäärän kokonais-
tuotos on tietyn perustiheyden ylitettyään li-
kimain saman suuruinen hyvinkin laajalla
tiheysalueella. Kuutiomäärän tuotosta voi-
daan lisätä vain noin 5 prosenttiyksiköllä,
kun perustamistiheyttä lisätään tiheydestä
1 500 tainta hehtaarille. Tämän tutkimuk-
sen tulokset viittaavat siihen, että kuutiom-
äärän tuotos pysyy kuusella likimain yhtä
suurena perustamistiheyksissä 2 000—5 000
tainta hehtaarille. Männyllä sen sijaan tuo-
tostappiot ovat ilmeisesti suuremmat kuin
kuusella siirryttäessä väljempiin kasvatusti-
heksiin.

53. Taloudelliset näkökohdat

Perustamistiheydellä on merkitystä istutuskuusikon ensimmäisistä harvennushakkuista kertyvien tulojen määrään ja ajankohtaan. Tiheään perustetuista metsikoistä saadaan aikaisemmin harvennustuloja kuin väljistä. Harvennushakkuutulot ovat kuitenkin verraten pieniä. Istutustiheyksissä 2 500—5 000 tainta hehtaarilla saadaan likimain yhtä suuret hakkuupoistumien raharvot metsiköiden ensimmäisistä harvennuksista. Ensiharvennukset pienentävät istutustiheydestä aiheutuvia eroja puustossa ja näin tulevien harvennuspoistumien arvosuhteet tasoittuvat.

Istutetulle taimelle varattu kasvutila vaikuttaa erityisesti puun järeyskehitykseen, mihin on viitattu jo keskimääräisen rinnankorkeuslähpimitan tarkastelun yhteydessä. Väljässä kasvuasennossa puut saavuttavat tukkipuun mitat aikaisemmin kuin tiheässä ja näin ollen niiden hakkuukypsyysikä alenee tiheisiin metsiköihin verrattuna. Jos puunkasvatuksen tavoitteena on määrällisesti, järeiden suhteen ja arvonsa puolesta suurin tuotos mahdollisimman lyhyessä ajassa, se saavutetaan perustamistiheydellä noin 2 000 tainta hehtaarille (vrt. kuva 19, s. 32).

Yksityismetsälain mukaan nuorta kasvuisaa metsää ei saa käsitellä uudistushakkuin. Puuston ikä ja keskilähpimita ovat ”nuoren kasvuisan metsän” arviointikriteerit. Kuusikon uudistaminen sallitaan nykyisin Etelä-Suomessa OMT:llä 80 vuoden iässä ja puuston keskilähpimitan saavuttua 26 cm (Vuokila 1977). Tämän tutkimuksen aineiston väljimpään tiheyteen perustetuilla koealoilla puiden keskilähpimita on saavuttanut 24 cm:n paksuuden 42 vuoden kuluttua istutuksesta. On siis aivan ilmeistä, että näissä kasvuolosuhteissa kuusikot on mahdollista uudistaa keskilähpimitan kehityksellä arvioituna 50 vuoden kuluttua uudistamisesta. Tämä ei kuitenkaan välttämättä merkitse sitä, että kiertoajan lyhentäminen 50 vuoteen olisi taloudellisesti edullisinta. Kiertoajan lyhenemistä on pidettävä joka tapauksessa huomattavana etuna yksityistaloudelliselta kannalta. Yksityismetsälain tulkinnassa olisikin ilmeisesti ”nuori kasvuisa metsä” määritettävä puuston mittojen tai kasvulukujen eikä keskilähpimitan ja iän perusteella.

Verhoppuuston käyttö kuusen istutusaloilla ei näytä olevan taloudellisesti perusteltua.

Verhoppuustoisilla koealoilla sisäinen korkokanta jäi tuntuvasti alhaisemmaksi kuin muilla aloilla. Tämä johtuu verhoppuuston kuusen alkukehitystä haittaavasta vaikutuksesta ja siitä, että verhoppuustoa on pidetty puunkasvatuksen kustannustekijänä metsikköä perustettaessa. Metsikön perustaminen on näin ollen sitonut huomattavan paljon pääomaa. Jos kuusen istutus ei biologisesti välttämättä edellytä verhoppuuston käyttöä, olisi siitä luovuttava, koska se vaikuttaa epäedullisesti kuusen kasvatuksen taloudelliseen tulokseen.

Istutustiheysvaihtoehtoja tarkastellaan seuraavassa lähtien kysymyksen asettelusta: mikä istutustiheysvaihtoehto on edullisin? Tarkastelussa on kuitenkin otettava huomioon se, ettei laskelmissa ole mukana maanarvoa, hallintokuluja eikä veroja (vrt. s. 26).

Sisäisen korkokannan menetelmän mukaan investointivaihtoehto on edullinen silloin, kun sen sisäinen korko on vähintään investoinnille asetettavan tuottoprosentin suuruinen. Tuottoprosentti edustaa investoinnille asetettavaa tuottovaatimusta.

Nykyarvomenetelmän mukaan investointivaihtoehto on edullinen, jos ennalta valitun tietyn laskentakorkokannan mukaan diskontattujen tulojen nykyarvo on vähintään yhtä suuri kuin menojen nykyarvo. Suurimman nykyarvon tietyllä korkokannalla antava investointi on vaihtoehtoista edullisin.

Jos nykyarvomenetelmän laskentakorkokanta asetetaan samaksi kuin mihin päädytään sisäisen korkokannan menetelmässä, on aivan selvää, että laskentavaihtoehdot saavat samat ratkaisut. Sen sijaan jos nykyarvomenetelmässä tuottovaatimus on pienempi tai suurempi kuin saatu sisäinen korkokanta, edullisuusjärjestys eri vaihtoehtojen välillä ei välttämättä ole sama. Tämän tutkimuksen mukaan sisäisen koron menetelmällä saadaan likimain yhtä edulliseksi istutustiheydet 1 250 ja 2 000 kpl/ha. Sisäiseksi koroksi saadaan näissä laskentavaihtoehdoissa n. 10 prosenttia. Nykyarvomenetelmää käytettäessä esimerkiksi 5 prosentin tuottovaatimuksella päädytään sen sijaan istutustiheyteen 2 000 kpl/ha edullisimpana vaihtoehtona, koska tämän vaihtoehdon tulojen ja menojen nykyarvojen erotus eli investoinnin pääoma-arvo on suurin.

Käsitellyt istutustiheydet ovat erilaisia investointipanoksiltaan pinta-alayksikköä kohden. Vaihtoehtoja puntarointaessa onkin

kiinnitettävä huomiota myös perusinvestointien suuruuteen. Metsän istutuksessa perusinvestoinnin suuruus riippuu likimain suoraan viivaisesti istutustiheydestä. Väljimmän vaihtoehdon suuruus investointina on vain noin neljännes tiheimmästä. Todellisissa investointien vertailussa lähdetäänkin usein siitä, miten on mahdollista kattaa se pääoman tarve, mitä eri investointivaihtoehdot vaativat.

Eri tiheysasteita tarkasteltaessa ei itse asiassa olekaan kysymys varsinaisesti näiden investointipanosten suuruudesta vaan siitä, miten edullinen vaihtoehdon erotus on investointina. Vertailussa on siten kysymys viime kädessä sekä kummankin vaihtoehdon että näiden vaatimien perusinvestointien erotuksen edullisuudesta, jos toteutettavaksi tulisi vähemmän pääomaa vaativa investointi. Sisäisen korkokannan menetelmässä edullisuuden arviointi usein pohjimmiltaan kiteytyy siihen olettamukseen, että vaihtoehdon erotuksen investoinnille saataisiin sama sisäinen korko kuin vaihtoehdoista pienemmälle investoinnille. Yleisesti voidaankin todeta, että jos erotusinvestoinnille saadaan enintään yhtä suuri sisäinen korko kuin pienemmälle investoinnille, pienempi investointi on näistä vaihtoehdoista edullisempi.

Edullisuutta puntaroidaan tämän jälkeen edelleen vertaamalla ko. investointilaskelman edullisuuskriteereillä laskettuja arvoja — korkokantoja — yrittäjän ulkopuolelta saatavilla olevan pääoman korkokantaan tai vaihtoehdoisesti muista sijoituksista saatavaan korkokantaan. Investointiteoriassa on nimittäin tavallisesti tehty se olettamus (erityisesti nykyarvomenetelmässä), että yrittäjän on mahdollista saada tai toisaalta sijoittaa varoja tiettyyn laskentakorkokantaan. Jotta vaihtoehdo ylipäättään olisi edullinen, on siitä saatavan koron oltava suurempi kuin saatavilla olevien varojen koron eli tuottovaatimuksen. Kroonisesti pääomapulaa potevassa Suomessa edellä esitetty investointiteorian olettamus ei aivan helposti toteudu etenkin pitkäaikaisissa puunkasvatuksen investoinneissa. Sen sijaan niukkuus pääomasta on oloisamme varteenotettava tekijä.

Yleisessä muodossa on lähes mahdotonta sanoa sisäisen koron tai nykyarvomenetelmän perusteella, mikä tiheysvaihtoehdo on edullisin. Edullisin vaihtoehdo riippuu kussakin tapauksessa tehdyistä olettamuksista.

H o n g o n (1963) mukaan investointien keskinäisen edullisuuden arvostelua ei voidakaan irrottaa näiden rahoituksesta eikä rahoituksesta riippumatonta edullisuuskriteeriä ole mahdollista esittää. Kuitenkin on muistettava että toimittaessa rajallisten pääomien turvin, vaihtoehdoisten investointien keskinäinen edullisuusjärjestys voidaan selvittää sisäisen koron menetelmällä, muistuen menetelmän perusoletukset.

Kun metsänviljelyinvestoinnit rahoitetaan yleensä hakkuutuloilla, ts. investointi suoritetaan kokonaan rajallisten omien pääomien turvin, näissä tapauksissa sisäisen korkokannan menetelmä on asetettava nykyarvomenetelmän edelle. Jos taas metsänviljely rahoitetaan vieraalla pääomalla, jonka koron maksusta aiheutuvat kustannukset ovat alemmat kuin metsänviljelyinvestoinnin sisäinen korkokanta, investoinnin edullisuus paranee sen kestoaikaa (kiertoaikaa) jatkettaessa vaikka sen sisäinen korkokanta jo pienenisikin. Vieraan pääoman käyttömahdollisuus edellä mainituissa olosuhteissa puoltaa nykyarvomenetelmää arvostelukriteerinä. Jos ulkoisen rahoituksen osuus metsänviljelyksissä yleistyy, mikä tendenssi on havaittavissa maatalouden investointien rahoituksessa, nykyarvon käyttö arviointikriteerinä puolustaa paikkaansa. Menetelmiä ei voida kuitenkaan pitää toistensa kilpailijoina, vaan ne täydentävät toisiaan ja tuovat esiin olettamukset ja lähtötiedot, joiden varaan ne rakentuvat. Viime kädessä investointipäätökset tehdään laskelmien osoittamien tulosten ja niiden perustana olevien olettamusten tasapainoisen punnitsemisen tuloksena.

Kuvasta 20 (s. 33) nähdään, että istutustiheysvaihtoehdoista alhaisin tiheys — 1 250 kpl/ha — johtaa keskimäärin suurimpaan sisäiseen korkokantaan eikä se näytä vielä saavuttavan optimaalista tiheyden alarajaa. On kuitenkin luultavaa, että siirryttäessä istutustiheyttä 1 250 kpl/ha väljempään asentoon edullisuuden heikkeneminen saavutetaan hyvinkin nopeasti. Vaihtoehdoja 1 250 ja 2 000 tainta hehtaaria kohti tarkasteltaessa on lisäksi huomattava, että näillä puutaralajisuhteet olivat likimain samanlaiset (vrt. kuva 18, s. 31). Sen sijaan koaloilla istutustiheyksissä yli 2 000 tainta/ha puut olivat parhaassa arvokasvun vaiheessa niitä mitattaessa vuonna 1975, joten tiheään istutettujen vaihtoehdojen edullisuus paranee

suhteessa väljiin jo lähivuosina. Tämä ei kuitenkaan muuttane tiheysvaihtoehtojen keskinäistä edullisuusjärjestystä.

Istutustiheysvaihtoehdot poikkeavat toisistaan joissain määrin myös kirtoajan suhteen. Väljimmät metsiköt saavuttavat päätehakkuuian aikaisemmin kuin tiheimmät. Tiheistä metsikoista sen sijaan saadaan yleensä varhemmin harvennushakkuutuloja kuin väljistä (vrt. kuva 16, s. 30). Kiertoaajan lyheneminen samoin kuin varhaiset harvennustulot on edullista metsänomistajan kannalta. Toisaalta myös seuraajametsikön perustamisenot aiheutuvat aikaisemmin. Missä määrin nämä tekijät vaikuttavat päätöksentekoon, riippuu ennen kaikkea kunkin metsänomistajan rajallisesta aikahorisontista (vrt. Keltikangas 1972). On kuitenkin huomattava, että metsänviljelyinvestoinnit ovat puunkasvatuksen investoinneista yleensä pitkäaikaisimpia, joten aikatekijän vaikutusta ei voida jättää huomiota vaille investointipäätöstä tehtäessä.

Pohjoismaisissa kuusen istutustiheysvaihtoehtojen edullisuutta analyysoivissa tutkimuksissa on useimmiten päädytty tiheys-suositukseen noin 2 500 kpl/ha (Munköe 1944, Eklund 1956, Nersten 1962, Sjolte-Jørgensen 1963, 1967 ja Wiksten 1965). Mainittua väljemmätkin perustamistiheydet ovat kuitenkin saaneet tukea tutkimustuloksista. Pohjoismaisten edullisuustutkimusten tulokset perustuvat poikkeuksetta aineistoihin, joissa väljimmät kasvatustiheydet (1 000—1 500 kpl/ha) ovat puuttuneet. Sen sijaan havaintoja on ollut aina perustamistiheyksistä 10 000 tainta hehtaarilla asti. Lisäksi monessa tutkimusaineistossa on voitu tarkastella vain osaa puunkasvatuksen koko kiertoajasta, mikä on puutteena myös tässä tutkimuksessa.

Pohjoismaissa suoritettujen edullisuuslaskelmat, joissa on siis päädytty tiheys-suositukseen 2 500 tainta hehtaaria kohti, perustuvat nykyarvomenetelmän käyttöön edullisuuskriteerinä. Nykyarvojen laskennassa on käytetty 3—5 prosentin korkokantoja. Tämän tutkimuksen aineiston nojalla päädytään — 3—5 prosentin korkokantoja käytettäessä — jonkin verran alhaisempiin tiheys-suoi-tuksiin (vrt. s. 34) silloin, kun laskentame-netelmänä ja korkokantana ovat edellä mainitut perusteet. Sen sijaan, jos nykyarvome-netelmässä käytetään 7—9 prosentin korkokantaa, edullisin istutustiheys jää jo alle

2 000 tainta hehtaaria kohden. Sisäisen korkokannan laskentamenetelmän mukaan tiheys-suositus on 1 250—2 000 tainta hehtaarille tämän aineiston mukaan, mikä on siis tuntuvasti alempi kuin nykyinen käytäntö Pohjoismaissa.

Kuten aiemmasta on käynyt ilmi, esitetty muista pohjoismaisista suositustiheyksistä poikkeava tulos johtuu pääasiassa sisäisen korkokannan laskentamenetelmän käytöstä ja joissain määrin käytettävissä olevasta aineistosta. Sisäisen korkokannan laskentamenetelmän voi kuitenkin katsoa soveltuvan oloissamme esitetyn kaltaisiin edullisuusjär-jestyksen laskentatilanteisiin paremmin kuin nykyarvomenetelmän.

Useimmat Yhdysvalloissa ja Kanadassa suoritettujen edullisuuslaskelmat sikäläisillä havupuilla päätyvät pohjoismaisia suosituksia alhaisempiin tiheys-suoi-tuksiin (esim. Smith 1958, 1959, Smith ym. 1965, Wambach 1967 ja Lundgren 1976).

Wambach (1967) on tutkinut ehkä perusteellisemmin eri tiheysasteiden edullisuusjärjestystä. Punamäntyä koskeneessa tutkimuksessa tuotostuotokset selvitettiin maastoinventointien ja tuotostaulukoiden perusteella ja tarkastelujaksona oli koko kiertoaika. Tuottojen määrittämisessä on otettu huomioon sekä järeyssuhteet että puutavaran laatuerot eri tiheysluokissa. Edullisuusjärjestyksen laskennassa kokeil-tiin edelleen eri kasvupaikkojen, harvennus-mallien ja eripituisten kiertoaikojen vaikutusta edullisuuskriteereihin, joi-na olivat nykyarvo ja sisäinen korko.

Wambachin (1967) mukaan analysoitaessa nykyarvomenetelmällä edullisuus-järjestystä 2—3 prosentin korkokannoilla optimitiheys oli 1 800—1 300 tainta hehtaarille parhailla kasvupaikoilla. Korkokannan noustessa ja kasvupaikan ravinteisuuden heiketessä tiheys-suoi-tukseksi saatiin 1 000 tainta hehtaarille, mikä oli empiirisen aineiston pienin tiheys. Laskentakorkokannan nostaminen merkitsi myös Wambachin tutkimuksessa tiheys-suoi-tuksen alen-tumista. Mainitun tutkimuksen mukaan parhailla kasvupaikoille on edullista istuttaa puut tiheämpään kuin karuille. Sisäisen koron menetelmä osoitti, että käytettävissä olevan aineiston alhaisin tiheys 1 000 puuta hehtaarilla oli taloudellisesti edullisin istutustiheys. Tiheyden mukaista puunkasva-

tuksen kannattavinta vaihtoehtoa ei voitu kuitenkaan määrittää sisäisen koron menetelmällä aineiston rajallisuuden vuoksi. Wambach pitää myös sisäisen koron menetelmää nykyarvoa parempana investointien edullisuuden analysoinnissa perustellen paremmuutta sillä, että se mittaa sijoituksen tulon ansaintakykyä.

Tämän tutkimuksen koealat on perustettu puunkasvatuksen kannalta parhaalle kasvupaikoille Suomen olosuhteissa, joten niiden perusteella laaditut tiheyssuosituksat koskevat vastaavia kasvupaikkoja. Kun kasvupaikan hyvyys heikkenee, liikeloudellisen istutustiheyden optimialue muuttuu (Buongiorno ja Teegarden 1973). Mitä enemmän kasvupaikkatekijät (ilmasto ja maaperän ravinteisuus) heikkenevät, sitä edullisemmaksi väljä kasvatusasento tulee. Hyvillä kasvupaikoilla saavutetaan liikeloudellisesti edullisin tulos istutustiheydeltään laajoissa rajoissa. Tämä näyttää tukevan käsillä olevasta istutuskuusikosta mitattuja ja laskettuja tuloksia. Kun kasvupaikkatekijät heikkenevät, liikeloudellisesti edullisimman kasvatusitiheyden optimialue supistuu. Buongiorno ja Teegardenin (1973) tulokset koskevat Douglas-kuusen kasvattamista. Liikeloudellisesti edullisimmat kasvatusitiheydet hyvydeltään erilaisilla kasvupaikoilla olivat seuraavat:

Kasvupaikkaindeksi	Kasvatustiheys, kpl/ha
90 (karuin)	1500
110	1700
140	1900
170 (ravinteisin)	2400

Lundgrenin (1976) punamännyn kasvatusta tukki- ja kuitupuuksi koskeneessa taloudellisessa tarkastelussa osoittautui, että edullisin tulos saavutetaan perustamistiheydellä 500 tainta hehtaaria kohden. Kasvatettaessa pelkästään kuitupuuta keskimääräisellä kasvupaikalla taloudellista tulosta analysoitaessa nykyarvomenetelmällä ja 8 prosentin korkokannalla päädytään tiheyteen 500 tainta hehtaaria kohden. Käytettäessä 4 prosentin korkokantaa päädytään vastaavasti tiheyteen 2 000 tainta hehtaarelle.

Smithin ym. (1965) tutkimuksessa päädytään Kanadan länsiosissa Douglas-kuusen kasvatuksessa tiheyssuositukseseen 1 000 tainta hehtaarelle keskinkertaisilla ja sitä paremmilla kasvupaikoilla. Puunkasvatuksen lopullista taloudellista tulosta ei voi-

tane parantaa Smithin ym. mukaan tiheyttä suurentamalla.

Kuten edellä on käynyt ilmi on istutustiheyttä käsitellessä taloudellisissa tutkimuksessa päädytty Pohjoismaissa ja Pohjois-Amerikassa selvästikin toisistaan poikkeaviin tiheyssuosituksiin. Suurimpana syynä tähän lienevät erilaiset edullisuuden laskentamenetelmät, joskin puunkasvatuksen empiiriset lähtöaineistot sekä hinta- ja kustannussuhteet poikkeavat näissä maissa myös toisistaan. Nämä erot vaikuttavat myös siihen, minkälaiseksi tiheyssuositus viime kädessä muodostuu. Olli Heikinheimon perustama tämän tutkimuksen lähtöaineisto ja sen perusteella lasketut edullisuustunnukset viittaavat niin ikään siihen, että Suomen oloissa päädytään yksityismetsänomistajan näkökulmasta tarkasteltuna kuusen kasvatuksessa suhteellisesti kannattavimpaan tulokseen nykyisiä tiheyssuorvoja (2 000—2 500 kpl/ha) alemmilla istutustiheyksillä.

Suomen olosuhteissa puunkasvatuksen tavoitteena on yleisesti pidetty määrällisesti suurinta sekä rakenteellisesti ja arvonsa puolesta edullisinta tuotantoa (esim. Vuokila 1976). Toimenpiteet puunkasvatuksessa on yleensä pyritty suunnittelemaan siten, että mainittu tavoite voidaan saavuttaa. Jos tavoitteeseen ei päästä, puhutaan tuotostai kasvutappioista. Tappiona pidetään saavutetun ja maksimaalisen tuotoksen tai kasvun erotusta. Puunkasvatuksen tuloksellisuutta on tämän jälkeen yleensä arvioitu mainitun tappion suuruuden perusteella.

Tuotos- tai kasvutappioon perustuvan tuloksellisuuden arvioinnin filosofiaa on pidettävä lähinnä kansantaloudellisena, jolloin tavoitteena on juuri tuon kriteerimuuttujan maksimointi. Nykyiset tiheyssuosituksat ilmeisesti perustuvat mainitun tuotostai maksimointiin tai tuotostappion minimointiin. On selvää, ettei puunkasvatuksen kansantaloudellinenkaan edullisuus tai tarkoituksenmukaisuus voi olla riippumaton myös eri kasvatusvaihtoehtoihin liittyvistä erisuurista metsänhoitomenoista. Tässä tutkimuksessa esitetyt tiheyssuosituksat lähtevät joka tapauksessa yksityistaloudellisista peruslähdekohdista (vrt. s. 25), näkökulma on yksittäisen yrittäjän.

54. Yhteenveto eri näkökohdista

Metsikön perustamistiheyttä tarkastelta-

essa on oleellista se, minkälaiseksi muodostuu perustamisen jälkeisen puuta tuottavan nuoren metsikön tiheys. Metsikön perustamisen jälkeen taimimäärä yleensä pienentyy monien syiden vuoksi, joskin se voi myös suurentua luontaisen uudistumisen johdosta. Istutustiheysnormeja asetettaessa onkin tavallaan jo otettu huomioon taimikato, jolloin siis eri syistä aiheutuvasta kuolleisuudesta johtuvat haitat yritetään kompensoida istuttamalla taimet tiheämpään kuin mikä olisi varsinaisesti puuntuotannollisten syiden vuoksi tarpeen. Tätä menettelyä Yli-Vakkuri (1968) on nimittänyt ”ennakolta täydentämiseksi”. Taimikadon johdosta tiheysnormit on yleensä asetettu noin 25 % korkeammiksi kuin mikä olisi tarpeen puuntuotoksen kannalta. Tämän tutkimuksen koaloilla taimikato ennen ensiharvennusta oli 10—15 % istutetusta taimiluvusta.

Suomessa on yleisesti omaksuttu havupuille istutustiheysuusitus 2 000 tainta hehtaarille. Suosituksessa ei siis ole otettu huomioon kunkin kasvupaikan luontaista puuntuotoskykyä. Suositus itse asiassa merkitsee sitä, että istutuksessa metsänuudistusala ”panostetaan” yhtä suurin panoksin riippumatta odotettavissa olevista tuotoista. Istutuksen tulosta, ts. mihin tiheyteen metsänviljely on johtanut, arvioitaessa sen sijaan otetaan huomioon kasvupaikan ravinteisuus. Etelä- ja Keski-Suomen olosuhteissa taimia tulee olla vähintään seuraavat määrät hehtaarilla (Tapion. . . , 1974):

Metsätyyppi	Tiheys, kpl/ha
MT ja paremmat	1600
VT, VMT	1400
CT	1200

Ruotsissa sen sijaan tiheysuusitukset on laadittu kasvupaikan pituusboniteetin ja puulajin perusteella. Uudistusalalle, jonka maanpinta on muokattu, suositellaan seuraavia istutustiheyksiä (Skogsstyrelsen 1975).

Pituusboniteetti (vrt. s. 23)	Pituusboniteettia vastaava metsätyyppi	Kuuksi		Mänty	
		Oletettu taimikato ennen ensiharvennusta, %	Istutustiheys kpl/ha	Oletettu taimikato ennen ensiharvennusta, %	Istutustiheys, kpl/ha
G 28	OMT +	25	2300	30	2800
T 28	MT +				
G 24	MT	25	2000	30	2300
T 24	VT				
G 20	VT —	30	1700	35	2300
T 20	CT +				
T 16	CT —			40	1800

Jos maanpintaa ei ole käsitelty ennen istutusta, suositellaan edellä esitettyihin suositustiheyksiin lisättäväksi 400 tainta hehtaarille. Ruotsalaiset suositukset lähtevät siis jossain määrin suuremmista tiheyksistä kuin suomalaiset.

On kuitenkin muistettava tiheysnormeja laadittaessa ja otettaessa taimikuolleisuuden vaikutus siinä huomioon, että taimikatoa ei yleensä esiinny satunnaisesti uudistusalueella vaan pikemminkin laikuittain. Taimikatoa aiheuttavat mm. mikroilmastotekijät, erilaiset taudit ja tuhot, ja nämä esiintyvät yleensä pienalueittain. Taimiston ”ylitiheys” saattaa niin ikään edistää eräiden tuhojen ja tautien leviämistä. Näin siis istutustiheyttä lisäämällä ei useinkaan päästä todellisen ongelman tytimeen.

Viljelytaimistojen inventoinnit ovat osoittaneet, että käytännössä taimistot jäävät yksityismailla usein liian harvoiksi (esim. Yli-Vakkuri ym. 1969 ja Taimisto 1977). On kuitenkin huomattava, että edellä mainittujen inventointien tulokset koskevat 1960-luvun alussa tehtyjä metsänviljelyjä, jolloin maanpinnan valmistus on ollut vähäistä, uudistusaloja ei ole raivattu riittävästi sekä käytetyissä viljelymenetelmissä ja taimissa on ollut toivomisen varaa. Muokattujen alojen viljelyn inventoinnit esimerkiksi Lapin karuissa olosuhteissa osoittavat, että taimia on ollut elossa yksityismailla keskimäärin noin 1 500 kpl/ha (Lapin. . . 1977), mitä on pidettävä täysin riittävänä Lapin kasvuolosuhteissa. Nykyiset maanmuokkausmenetelmät ja mahdollisuus käyttää kasvupaikalle soveltuvaa taimityyppeä vähentävät ”ennakolta täydentämisen” tarvetta. Tehokkaat maanmuokkausmenetelmät tuovat lisäksi luontaisen taimiaineksen aivan uudella tavalla esiin, koska paljas kivennäismaa on yleensä erittäin herkkä taimettumiselle.

Vuokilan (1972) mukaan tämän tutkimuksen koala-aineiston kasvupaikan hyvyttä vastaavissa olosuhteissa voidaan kasvattaa rinnankorkeusläpimitaltaan 6—8 cm:n minimimitat täyttäviä runkoja enintään 2 400 kpl/ha. Kasvatustiheys 1 800 kpl/ha ei johda 8—10 cm paksimpien runkojen kuutiomäärän pienentymiseen vaan pikemminkin sen lisääntymiseen nopeutuneen yksilökehityksen johdosta. Tämänkin tutkimuksen tuotosopilliset tulokset viittaavat edellä esitettyyn suuntaan.

Korkein puuntuotos ottaen huomioon määrä- ja järeystekijät tarkasteluajan kuluessa on saavutettu istutustiheydellä 2 000 tainta hehtaarille. Liiketaloudelliset edullisuuslaskelmat johtavat aina periaatteessakin väljempien istutustiheyksien suosituksiin kuin pelkästään tuotosopilliset. Istutustiheys 1 250 tainta hehtaarille johtaa hieman parempaan yksityistaloudelliseen edullisuuteen kuin edellä mainittu tuotoksellisesti paras vaihtoehto. Ottaen huomioon edellisten tekijöiden lisäksi noin 10—15 prosenttiyksikön taimikato istutettavasta taimimäärästä lukien, nykyisistä kuusen istutustiheys-suosituksista — noin 2 000 tainta hehtaarille — voitaneen jonkin verran tinkiä. Suositeltava istutustiheys voisi näin ollen olla 1 500—1 800 tainta hehtaarille parhaille kasvupaikoille. Tiheys-suositusta on niin ikään vielä siitäkin mahdollista alentaa kasvupaikan ravinteisuuden ja ko. alueen ilmasto-olojen heiketessä.

On lisäksi huomattava, että suositeltava kasvustiheys riippuu monista eri tekijöistä. Näiden vaikutusta puunkasvatukseen voidaan yksityiskohtaisesti puntaroida kussakin yksittäisessä tapauksessa erikseen. Näin ollen suositustiheydet käytäntöä varten voisivat vaihdella tietyissä rajoissa sen sijasta, että kaikissa tapauksissa käytettäisiin samaa tiheysnormia. Jos viljelytiheys-suositukset on annettu väljissä rajoissa, viljelymateriaalin jakaminen ja kohdentaminen olisi nykyistä joustavampaa kunkin vuoden metsänviljelyihin. Viljelytiheydestä tinkimisen edellytyksenä on kuitenkin, että uudistaminen toteutetaan kaikissa työn eri vaiheissa parhaalla mahdollisella tavalla.

Raakapuun hinnoittelussa ei nykyisin oteta juuri lainkaan huomioon järeyden lisäksi muita laatutekijöitä. Kasvutiheys vaikuttaa kuitenkin moniin puuaineen laatuominais-

suuksiin, jotka puolestaan vaikuttavat puun tekniseen käyttöarvoon. Kasvutilan lisääntyminen heikentää sekä saha- että kuitupuun laatua. Mikäli nämä tekijät otetaan huomioon tiheys-suosituksia laadittaessa, on näiden vaikutus tiheysnormeja suurentava. Kuinka suuri tämä vaikutus on, sitä on mahdotonta sanoa tämän tutkimuksen perusteella.

Verrattaessa männyn ja kuusen tiheys-suosituksia keskenään sekä tämän tutkimuksen että käytettävissä olevien tutkimusraporttien tulosten perusteella, voidaan todeta seuraavaa. Ensinnäkin mänty kykenee käyttämään valoa tehokkaammin fotosynteesiin neulasten pinta-alayksikköä kohti kuin kuusi, joten sen pinta-alan tarve oksistossa on ilmeisesti pienempi kuin kuusella. Toisekseen männynllä kasvatuksen tavoite on selvästi enemmän suuntautunut sahapuun kasvatukseen kuin kuusella. Mäntytukkien sahaustuloksen myyntihinta riippuu laadusta selvästi enemmän kuin kuusitukkien. Mäntytukkien myyntihinta on niin ikään yleensä korkeampi kuin kuusitukkien. Tämä merkitsee sitä, että puunkasvatuksen toimenpiteillä, joilla voidaan parantaa puun laatuominaisuuksia, on mahdollista saada parempi tulos männyn sahaustuloksen hintaan kuin kuusen. Edellä esitetty merkitsee tiheys-suositukseen nähden sitä, että kasvuolosuhteiden ollessa samat, mänty tulisi viljellä tiheämpään kuin kuusi.

Männynllä taimikato on yleensä suurempi kuin kuusella. Männyn istutustiheyden tulee siis olla myös taimikuolleisuuden vuoksi suurempi kuin kuusella. Tiheysero käytännön suosituksissa voisi olla näiden puulajien välillä 20—25 % runkoluvusta. Ruotsalaisissa tiheys-suosituksissa tämä puulajeista johutuva ero on otettu huomioon, kuten jo aikaisemmin on todettu.

6. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on tarkasteltu viljelytiheyttä kuusen kasvatuksessa tuotosopilliselta ja taloudelliselta kannalta. Tutkimuksen aineistona on ollut Olli H e i k i n h e i m o n (1941) perustamat kolme koealasarjaa, joissa kussakin istutustiheyksinä on ollut 1 250, 2 000, 2 500, 3 750 ja 5 000 tainta hehtaari-

le. Koealojen koko on 4 aaria ja koealat sijaitsevat Etelä-Suomen parhailla kasvupaikoilla. Koealat on istutettu vuonna 1933 neljän vuoden ikäisillä kuusen taimilla. Koealasarjat ovat poikenneet toisistaan istutushetkellä olleen verhopuuston (koivua ja harmaaleppää) suhteen. Koealat eivät täytä ti-

lastolliselle käsittelylle asetettavia vaatimuksia. Koealojen puustoa on harvennettu kolme kertaa subjektiivisesti valikoiden. Puustotunnukset on mitattu viisi kertaa ja viimeksi vuonna 1975. Istutustiheyden vaikutuksesta puustotunnusten kehittymiseen voidaan todeta seuraavaa:

1. Koealoilla oleva koivuverhopuusto hidastaa istutustaimien kehitystä sitä enemmän mitä runsaammin sitä on uudistusalalla. Harmaaleppä verhopuuna ei hidasta kuusen kasvua.
2. Erot runkoluvussa eri perustamistiheyksien välillä pienenevät metsikön kehittyessä siten, että 42 vuoden jälkeen istutustiheydestä 5 000 tainta hehtaarille on keskimäärin vain noin neljännes runkoluvusta jäljellä. Istutustiheydestä 1 250 tainta hehtaarille on jäljellä vastaavasti noin kolme neljännestä viljelymäärästä. Runkoluvun aleneminen on johtunut sekä luontaisesta poistumasta että harvennuksista.
3. Rinnankorkeuslapiaman kasvu on ollut keskimäärin sitä suurempaa, mitä väljempään taimet on alkuaan istutettu.
4. Tiheys on lisännyt pohjapinta-alan kokonaiskasvua sitä enemmän, mitä suurempi on ollut alkupeäinen perustamistiheys.
5. Valtapituuden kehitys näyttää olleen suotuisin väljempään istutetuilla koealoilla.
6. Puiden kapeneminen on ollut ensiharvennusten ikävaiheessa sitä suurempaa, mitä enemmän puilla on ollut käytettävänään kasvutilaa. Myöhemmin alkupeäisen tiheyden vaikutus puiden kapenemiseen näyttää vähenevän ainakin rungon tyvitukin osalta.
7. Kuutiomäärän kokonaistuotos 42 vuoden kasvatusjakson aikana on ollut koealoilla keskimäärin n. 10 k-m³/ha vuodessa. Kokonaistuotos on ollut sitä suurempi mitä tiheämpään puut on alkujaan istutettu, joskaan tuotoserot istutustiheyksien 2 000—5 000 tainta hehtaarilla kyseessä ollen eivät näytä suurilta. Kokonaistuotos on niin ikään vaihdellut voimakkaasti puiden alkukehitystä haitanneen verhopuuston johdosta. Vuotuinen kuutiokasvu ei näytä vielä metsikön tässä ikävaiheessa kulmioituneen.

Eri tiheysin perustettujen metsiköiden kasvatuksen rahallista tulosta ja kannattavuusjärjestystä on tarkasteltu yksityistaloudellisesta näkökulmasta. Kannattavuutta on tarkasteltu sisäisen koron ja nykyarvon kriteereillä. Hinnat ja kustannukset on määritetty vuodelta 1975. Tässä tarkastelussa ei kuitenkaan ole otettu huomioon puun sisäisistä laatueroista johtuvia puun käyttöar-

voon vaikuttavia tekijöitä. Herkkyysanalyysillä on lisäksi analysoitu puun hintatason ja metsänhoitotöiden kustannustason muutoksen vaikutusta kannattavuuskriteereihin. Istutustiheys vaikuttaa puunkasvatuksen yksityistaloudelliseen edullisuusjärjestykseen seuraavasti:

1. Ensiharvennuspoistumien (kolme kertaa) hakkuutot ovat istutustiheyksissä 2 500—5 000 tainta hehtaarille suuremmat kuin istutustiheyksissä 1 250—2 000 tainta hehtaarille.
2. Tukkipuun osuus kuutiomäärästä on 42 vuoden päästä istutuksesta parhaimmillaan lähes 80 % (istutustiheyksillä 1 250—2 000 tainta hehtaarilla). Istutustiheydellä 2 000 tainta hehtaarille on saavutettu suurin hakkuuarvo, kun huomioon on otettu sekä puuston määrä- että arvosuhteet. Pienin hakkuuarvo on vastaavasti ollut istutustiheydellä 5 000 tainta hehtaarilla.
3. Sisäisen koron menetelmän mukaan edullisin tulos saavutetaan istutustiheydellä 1 250 tainta hehtaarille, joskin tulos on likimain yhtä edullinen istutustiheydellä 2 000 tainta hehtaarille. Siirryttäessä yhä tiheämpiin istutuksiin puunkasvatuksen edullisuus heikkenee.
4. Nykyarvomenetelmän mukaisessa tarkastelussa edullisuusjärjestys riippuu laskentakorkokannasta. Mitä suurempi on korkokanta, sitä pienempi on nykyarvon mukaan laskettu edullisin istutustiheys.
5. Herkkyysanalyysin tuloksena voidaan todeta, että edullisuusjärjestys eri tiheysvaihtoehtojen kesken ei muuttune oleellisesti odotettavissa olevien hintojen ja/tai kustannusten muutosten johdosta.
6. Verhopuuston käyttö kuusen kasvatuksessa näyttää olevan sitä epäedullisempaa, mitä enemmän sitä on uudistusalalla metsikköä perustettaessa.

Kun otetaan huomioon ensiharvennukseen mennessä tapahtunut 10—15 prosenttiyksikön taimikato perustamistiheydestä lukien, tutkimuksen tulosten perusteella on päädytty tiheysuositukseen kuusella 1 500—1 800 tainta hehtaarille Etelä-Suomen parhailla kasvupaikoilla. Tämä on nykyisiä suosituksia pienempi tiheys. Ravinteisuudeltaan heikommilla kasvupaikoilla tiheysuositus voi olla edellistä pienempi. Mänyllä metsikön perustamistiheysuosituksen tulisi olla suuremman kuin kuusella, mikäli kasvuolosuhteet muuten ovat samantaiset.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ADAMS, W.R. & CHAPMAN, G.L. 1942. Competition in some coniferous plantations. Vermont Agr. Expt. Sta. Bull. No. 489.
- AGER, B. 1970. Tidformler för huggning, underlag för metodvalskalkyler mm. Skogsarbeten, ekonomi Nr 1.
- BALDWIN, H.I. 1958. Growth of red pine at different spacings. Second report. New Hampshire Forestry and Recreation Commission. Fox Forestry Note No. 70.
- BRAATHE, P. 1952. Planteavståndens virkning på bestandsutveckling och masseproduksjon i granskog. Medd. Norske Skogsforsøksv. 11, p. 425—469.
- BRENDER, E.V. 1960. Growth predictions for natural stands of loblolly pine in the lower Piedmont, Georgia Forest Res. Council Report No. 6.
- BRYNDUM, H. 1969. Rodgranhugstforsøget i Gludsted plantage. Forstl. Forsogsv. Danm. 32.
- BUONGIORNO, J. & TEEGUARDEN, D.E. 1973. An economic model for selecting Douglas-fir reforestation projects. Hilgardia, Volume 42, No 3. University of California, Division of agricultural Sciences.
- BYRNES, W.R. & BRAMBLE, W.C. 1955. Growth and yield of plantation grown red pine at various spacings. Jour. Forestry 53:562—565.
- BÄRRING, U. 1974. Naturlig förnygring. Summary: Natural regeneration. Sveriges Skogsv. Förb. Tidskr. Häfte 1.
- CAJANDER, E.K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelykskuiden kehityksestä. Deutsches referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kultur-Fichtenbestände in Süd-Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 19.3.
- CARBONNIER, C. 1954. Några exempel på productionen i planterad granskog i södra Sverige. Medd. från Statens Skogsforsöksanstalt. 44:5.
- 1957. Ett gallringsförsök i planterad granskog. Skogsvårdsföreningens tidskrift Nr. 5.
- 1964. Aktuella synpunkter på förnygringsfrågorna speciellt med tanke på förbandets inflytande på kvantitets- och kvalitetsproduktionen. Skogshögskolan, Institution för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser, Nr 6.
- 1974. Preliminära resultat från ett gallringsförsök i planterad granskog. Summary: Preliminary results from a thinning experiment in a Norway spruce plantation. Institution för skogsproduktion. Skogshögskolan, Rapporter och Uppsatser Nr. 29.
- CROMER, D.A.N. & PAWSEY, C.K. 1957. Initial spacing and growth of pinus radiata. Forest & Timber Bur., Canberra. Bull. No. 36.
- DONALD, D.G.M. 1956. The effect of various thinning grades on the growth and volume production of Pinus pinaster. Jour. South African Forestry Assoc. 28:50—54.
- EKLUND, B. 1956. Ett förbandsförsök i tallskog. Summary: An experiment in sowing and planting pine with different spacings. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 46. Nr. 10.
- EKMANN, S. 1958. Förbandets roll för skogsproductionen från bestandsanläggningen genom bestandsbehandlingen intill slutavverkningen. Sveriges Skogsv. Förb. Tidskr. 57:1.
- ELLIOTT, G.K. 1970. Wood properties, silviculture and genetics. Suppl. For., Oxf. Univ. Press, London.
- ENGLE, L.G. & SMITH, N.F. 1952. Red pine growth ten years after thinning. Papers Mich. Academy Sci., Arts and Letters 36.
- ERIKSSON, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway spruce in Sweden. Institution för Skogsproduktion. Skogshögskolan, Rapporter och Uppsatser Nr. 41.
- EVERSOLE, K.R. 1955. Spacing tests in a Douglas-fir plantation. Forest Sci. 1(1):14—18.
- EVERT, F. 1970. Black spruce growth and yield at various densities in the Ontario clay belt. Forest Science, Vol. 16. Nr 2.
- 1971. Spacing studies — a review. Forest Management Institute, Ottawa. Information report FMR-X-37. Canadian forestry service, Department of the environment.
- 1973. Annotated bibliography on initial tree spacing. Forest Management Institute, Ottawa. Information report FMR-X-50. Canadian forestry service, Department of the environment.
- FIELDING, J.M. 1967. The influence of silvicultural practices on wood properties. Int. Rev. of For. Res., Acad. Press, N.Y., Lond.
- GAFFNEY, M.M. 1957. Concepts of financial maturity of timber and other assets. Information Series No. 62. Dept. Agr. Econ. North Carolina State College, Raleigh, N.C.
- CRAH, R.F. 1960. Effect of initial stocking on financial return from young-growth Douglas fir. Hilgardia. Berkley. Cal. 29(14).
- GRAYSON, A.J. 1962. Criteria of profitability in relation to volume production. 8th British Commonwealth Forestry Conf. East Africa. Forestry Commission. London.
- GRUSCHOW, G.F. & EVANS, T.C. 1959. The relation of cubic-foot volume growth to stand density in young slash pine stands. Forest Sci. 5(1):49—55.
- HAGNER, S. 1969. Styrmedel för val av ekonomiskt optimal insatsnivå i olika skogsvårdsarbeten samt några nya hjälpmedel för beslutsfattande. Sveriges Skogsv. Förb. Tidskr. 67:8.
- HAKKILA, P. & UUSVAARA, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Lyhenelmä: Viljelykskuiden puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 66.6.
- HAMILTON, J.R. 1956. An evaluation of southern pine plantations in the Georgia Piedmont Plateau. Georgia Agr. Expt. Sta., Bul. 20.
- HAMILTON, G.J. & CHRISTIE, J.M. 1974. Influence of spacing on crop characteristics & yield. Forestry Commission, Bulletin No. 52.
- HAMILTON, G.J. 1976. The Bowmont Norway spruce

- thinning experiment 1930—1974. *Forestry*, vol. 49 No 2.
- HAUGHT, A.E. Jr. 1958. Further study on compression wood in loblolly pine. 2rd Ann. Rep. N.C. State Industr. Coop. Forest. Tree Improvement Program, 7.
- HEIKINHEIMO, O. 1941. Metsänistutusmenetelmistä. Deutsches referat: Versuche mit wald-baulichen Pflanzenmethoden. *Commun. Inst. For. Fenn.* 29.4.
- HEINO, E., PELTONEN, J. & TYNKKYNNEN, M. 1973. Työvaikeustekijöiden vaikutus vesuri- ja rai-vaussahatyöhön taimiston perkauksessa ja harvennuksessa. Summary: Effect of work difficulty factors on brush-hook and clearing saw work in the fending of young stand. *Metsätehon tied.* 32.2.
- HEISKANEN, V. 1976. Havusahatukkeja koskevia arviolaskelmia vuosina 1974—1975. Summary: Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975. *Folia For.* 251.
- HILEY, W.E. 1956. Economics of plantations. Faber and Faber Ltd., London.
- HOLOPAINEN, V. 1976. Metsätalouden liikeoppi. Johdatusta metsätalousyrityksen ekonomiaan. Keuruu.
- HONKO, J. 1963. Investointien suunnittelu ja tarkkai-lu. Porvoo.
- 1971. Liiketaloustiede. Ekonomia-sarja. Weilin + Göös. Helsinki.
- HÄMÄLÄINEN, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: underlying models and empirical applications. *Commun. Inst. For. Fenn.* 77.4.
- ILVESALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kas-vunlaskentataulukot. Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki.
- JACK, W.H. 1971. The influence of tree spacing on Sit-ka spruce growth. *Irish Forestry* 28(1).
- KALELA, E.K. 1936. Tutkimuksia Itä-Suomen kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä. Deutsches Referat: Entwicklung der Fichten-Weisserlen-Mischbeständen in Ost-Finnland. *Acta For. Fenn.* 44.2.
- KALLIO, K. 1957. Käenkaali-mustikkatyypin kuusi-köiden kehityksestä Suomen lounaisosassa. Sum-mary: On the development of spruce forests of the Oxalis-Myrtillus site type in the South-West of Fin-land. *Acta For. Fenn.* 66.3.
- KAIRIUKŠTIS, L. & JUODVALKIS, A. 1976. The method for estimation and formation of young spruce stands (*Picea abies* Karsten) of optimal den-sity. XVI IUFRO World Congess, Rpoceedings Divi-sion IV. Ås.
- KELTIKANGAS, M. & TIILILÄ, P. 1968. Koivun ja kuusen istutuksen keskinäinen edullisuusjärjestys käenkaali-mustikkatyypin metsämailla. Summary: The economic sequence of common birch (*Betula verrucosa*) and Norway spruce (*Picea abies*) when planting Oxalis-Myrtillus Type forest land. *Acta For. Fenn.* 82.5.
- KIELLANDER, C.L. 1956. Lämpligt förband vid plan-tering av gran i Sydsvrige. *Skogen* 43.
- KILKKI, P. 1973. Metsänmittausoppi. Helsingin yli-opiston metsänarvioimistieteen laitos. Tiedonantoja N:o 7. Moniste. Helsinki.
- KLEM, G.G. 1942. Planteavstandens inflytelse på gran-vedens och sulficellulosen kvalititet. *Medd. Norske Skogforsøksv. Bind VIII:28.*
- 1947. Planteavstand — produksjon og kvalitet. *Tidsskr. Skogbr.* 55, årg. nr 8—9.
- 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kva-litet. *Medd. Norske Skogforsøksv. Nr 40, band 11* häfte 3.
- KLEM, G.S. 1969. The influence of increased growth rate on some quality properties of Norway spruce and Scots pine. *Medd. Nor. Skogforsøksv. No 96.*
- KOIVISTO, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. *Commun. Inst. For. Fenn.* 51.8.
- 1966. Itä- ja Pohjois-Hämeen koivuvarat. Summary: Birch resources in the forestry board districts of Itä-Häme and Pohjois-Häme. *Folia For.* 24.
- KOLKKI, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931—1960. Helsinki.
- KÄRKKÄINEN, M. 1971. Puun rakenteesta ja ominai-suuksista. Ylioppilastuki ry. Helsinki.
- KÖSTLER, J. 1956. Silviculture. Oliver and Boyd. Edinburgh. Tweeddale Court, London.
- LAASASENAHO, J. & SEVOLA, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavarasuhteet ja kantoarvot. Summary: Timber assortment relationships and stumpage value of Scots pine and Norway spruce. *Commun. Inst. For. Fenn.* 74.3.
- LAASASENAHO, J. 1975. Runkopuun saannon riippu-vuus kannon korkeudesta ja latvan kattokaisuläpimi-tasta. *Folia For.* 233.
- Lapin tutkimuspäivät, 1977. Metsä ja Puu n:o 3.
- LEIKOLA, M. 1975. Verhoppuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin Pohjois-Suomessa. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature con-ditions in northern Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 85.7.
- LEMMIEN, W.A. & RUDOLPH, V.J. 1959. Growth and yield of red pine in three spacings. *Quart. Bul. of Mich. Agr. Expt. Sta.* 42(2).
- LINDGREN, J.-E. 1974. Lönsamhetsbedömning av skogsförnyelseåtgärder. *Sveriges Skogsv. Förb. Tid-skr. Häfte 2.*
- LITTLE, S. & SOMES, H.A. 1958. Results 18 years after planting loblolly pines at different spacings. *Northeast. For. Expt. Sta. Forest Res. Note No. 80.*
- LUNDGREN, A.L. 1965. Thinning red pine for high investment returns. *U.S. Forest. Serv. Res. Papers* LS-18.
- 1976. An economic evaluation of initial stocking and of thinning schedules in red pine plantations. Contributed paper for IUFRO Congress Group 5.
- MERKEL, O. 1967. Der Einfluss des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, Nr. 6.
- Metsitysketjututkimus, 1973. Tehdaspuu Oy. Moniste.
- Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö, 1971. Komiteanmietintö 1970:B 91. Summary: Report of the committee on the costs of forest planting and seeding. *Folia For.* 109.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1974, 1976. Yearbook of forest statistics. Suomen virallinen tilasto XVII A:7. *Folia For.* 255.
- MIKOLA, P. 1975. Metsät yhteiskunnan palveluksessa. *Metsänhoitaja* n:o 6.
- MORROW, R.R. 1961. Growth and yield of plantation red pine. *New York Forester* 18(4):8—12.
- MUNKØE, J.C.H. 1944. Valg af planteafstand for Naaletraer. *Dansk Skovforen. Tidsskr.*
- MØLLER, C. 1954. The influence of thinning on volume increment. From thinning problems and practices in Denmark. N.Y. State Col. of Forestry, Syracuse Univ. Tech. Publ. No. 76, *World For. Series Bul. No. 1.*
- NELSON, T.C., LOTTI, T., BRENDER, E.V. & TROUSDELL, K.B. 1961. Merchantable cubic-foot

- volume growth in natural loblolly pine stands. U.S. Forest Serv. Southeast. Forest Expt. Sta. Paper No. 127.
- NERSTEN, S. 1962. Noen økonomiske beregninger over glissen gjenvekst og optimal planteavstand. Medd. Norske Skogforsøksv. 62.
- NYSSÖNEN, A. & VUOKILA, Y. 1969. Width of isolation strip around yield plots. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 45.
- PARVIAINEN, J. 1977. Harvennuksen vaikutus männyn taimisto- ja riukuvaiheen metsikön kasvuun ja kehitykseen. Moniste. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos.
- PENTTILÄ, S. & HÄMÄLÄINEN, J. 1975. Päiväansio ja työn tuotos urakkapalkkaisessa istutustyössä 1972. Summary: Daily earnings and work output in piece rate planting in Finland 1972. Folia For. 221.
- PERSSON, A. 1975. Ved och pappersmassa från gran och tall i olika förband. Summary: Wood and pulp of Norway spruce and Scots pine at various spacings. Skogshögskolan. Institution för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser nr 37.
- 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Skogshögskolan. Institution för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser Nr 42.
- RALSTON, R.A. 1954. Some effects on stand density on the height growth of red pine on poor sites in northern Lower Michigan. Papers Mich. Academy Sci., Arts and Letters 39.
- REUKEMA, D.L. 1959. Some recent developments in the Wind River Douglas fir plantation spacing tests. Pacific N.W. Forest and Range Expt. Sta. Res. Note No 167.
- 1970. Forty-year development of Douglas fir stands planted at various spacings. U.S.D.A. Forest Service Research Paper PNW 100.
- ROHMEDER, E. 1948. Kahlflächen-Aufforstung. München.
- RUMPUNEN, H. 1975. Pieniläpimittaisen lepän kokopuukorjuu. Metsätehon seloste n:o 10.
- RUOTTINEN, M. 1975. Suonenjoen ja Pieksämäen taimitarhojen taimitoimitukset vuosina 1971 ja 1972. Metsänviljelyn koegaseman tiedonantaja 13. Metsäntutkimuslaitos. Suomenjoki.
- SAARI, E. 1968. Sisäisen korkokannan käsite metsätaloudessa. Summary: Internal rate of return in forestry. Silva Fenn. N:o 4, Vol. 2.
- SJOLTE-JØRGENSEN, J. 1967. Influence of spacing on coniferous plantations. Int. Rev. For. Res. 2, p. 43—94.
- Skogstyrelsen 1975. Beståndsanläggning. Karlshamn.
- SMITH, J.H.G. 1958. Better yields through wider spacing. J. For. 56(7).
- 1958. Comprehensive and economical designs for studies of spacing and thinning. Forest Service 5.
- SMITH, J.H.G., KER, J.W. & CSIZMAZIA, J. 1965. Economics of reforestation of Douglas fir, western hemlock and western red cedar in the Vancouver forest district. The University of British Columbia. Faculty of forestry, forestry bulletin No. 3.
- SMITHERS, L.A. 1954. Thinning in red and white pine stands at Petawawa For. Expt. Sta. Canada Dept. No. Affairs and Natl. Resources, For. Res. Div. Silv. Res. Note 105.
- SPURR, S.H. 1952. Forest inventory. The Ronald Press Co. New York.
- STEVENSON, D.D. & BARTOO, R.A. 1939. The effect of spacing on the growth of Norway pine plantations — a progress report. Jour. Forestry 37(4):313—319.
- STIELL, W.M. 1964. Twenty-year growth of red pine planted at three spacings. Canada Dept. Forestry, Publ. No. 1045.
- STRIDSBERG, E. 1974. Skogsförnyelseåtgärdernas värdering. Summary: Evaluation of forest regeneration measures. Sveriges Skogsv. Förb. Tidskr. Häfte 1.
- TAIMISTO, E. 1977. Vuosina 1959—61 perustettujen männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vuonna 1975 tehdyn uusintainventoinnin valossa. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänhoidon tutkimusosasto.
- Tapion taskukirja, metsä- ja puutalousmiesten sekä metsänomistajien käsikirja. 17., uudistettu painos. 1975. Jyväskylä.
- THESSLUND, O. 1975. Tutkimus kookkaan kuusitaimiston vaurioitumisesta yleispuiden poistossa. Tutkimuslause n:o 43/75. Tehdaspuu Oy. Moniste.
- UUSITALO, M. 1974. Kymmenvuotiskauden 1963—72 työsaavutukset ja kustannukset metsänhoito- ja perusparannustöissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedote II/74.
- WAMBACH, R.F. 1967. A silvicultural and economic appraisal of initial spacing in red pine. University of Minnesota, Ph. D. 1967. Agriculture, forestry and wildlife. University Microfilms, Inc., Ann Arbor, Michigan.
- WIKSTEN, Å. 1965. Ett förbandsförsök med planterad gran. Summary: A spacing experiment with planted Norway spruce. Inst. Skogsprod. Rapporter och uppsatser Nr 7. Skogshögskolan.
- VIRO, P.J. 1952. Kivisyiden määrittämisestä. Commun. Inst. For. Fenn. 40.3.
- VUOKILA, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in southern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 48.1
- 1971. Harvennussmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja puuskoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. Folia For. 99.
- 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia For. 141.
- 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. Folia For. 247.
- 1976. Ensiharvennuskertymä. Summary: Yield from the first thinning. Folia For. 264.
- 1977. Metsänhoito ja puunkorjuu. Retkeily Nynäsin tutkimusalueella. Moniste.
- VUOLO, T. 1975. Kestokoalojen perustamisohjeet. 16 s. Konekirjoite. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto.
- VÄLIAHO, H. 1971. The effect of competition on the structure of seedling stands. Seloste: Kilpailun vaikutus taimistojen rakenteeseen. Commun. Inst. For. Fenn. 74.1.
- ZOBEL, B.L. & HAUGHT, A.E. Jr. 1962. Effect of bole straightness on compression wood of loblolly pine. Sch. Forest. N.C. State. Coll. Tech. Rep. 15.
- YLI-VAKKURI, P. 1959. Harvennuseksäntöiden optimipuu. Summary: The optimum growing stock before thinning. Metsätaloudellinen Aikakauslehti N:o 12.

— 1968. Taimiston perustamistiheys. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 85(2):55—56.
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 laitoksen tiedonantoja N:o 2.

SUMMARY

The present study of Norway spruce spacing has two components. The first one is to describe the development of stand characteristics and yield. The second one is to analyse the business-economic profitability to an entrepreneur of different spacing alternatives in timber growing. The empirical material consists of study plot series; each had initial densities of 1 250, 2 000, 2 500, 3 750 and 5 000 plants per hectare. The size of each study plot was 20 m x 20 m and the experiments were located on good sites in Southern Finland. The study plots were planted in 1933 with 4 year old spruce plants. Each study plot series has differed with respect to shelterwood. The experimental arrangements do not fulfill the requirements for statistical replication. The study plots were commercially thinned tree times by subjective selection. The stand characteristics have been measured five times, most recently in 1975. The results of the empirical yield study are as follows:

1. Birch shelterwood retards the growth of spruce saplings. The greater the volume of shelterwood the greater the retardation. Where the shelterwood tree species is alder, the spruce plants grow as well as if they were in an open stand (Fig. 3).
2. The decrease in the stand density with age is most acute with high planting densities and lowest with low planting densities. After 42 years growth, the stands studied had been reduced by about 75 % in the case of the 5 000 plants per ha planting density, but only by 25 % in the case of 1 250 plants per ha planting density. The decreases were due to natural losses and thinnings (Fig. 4).
3. The diameter increment at breast height decreased with higher initial planting densities (Fig. 5).
4. Higher initial planting densities have increased the total growth of basal area. (Fig. 7).
5. The growth of dominant height has developed most favourably in the case of the lowest initial densities. (Fig. 8).
6. The tapering of trees at the time of first thinnings decreased the higher the initial densities were. Later on the influence of initial spacing on tapering seems to decrease at least in case of the first stock (Fig. 11).
7. The annual increment of the sample plots during the 42 years growing period has been about 10 m³ per hectare in average. The total yield has increased inversely with respect to the initial spacing. Differences in total yield between spacing alternatives 2 000 to 5 000 plants per hectare are small. The total yield has, however, varied remarkably because of the initial differences in shelterwood volumes and tree species.

The monetary results and profitability in different spacing classes have also been examined. The profitability is measured by the criteria of internal rate of

return and present value. The timber prices and silvicultural costs were determined in 1975. In the economic calculations it was not possible to take into account differences in wood quality. Economic sensitivity analysis was made to reveal the influence of changes of timber prices and silvicultural costs on the profitability criteria. The initial spacing has had the following influence on the profitability:

1. The cutting incomes from first thinnings are larger in the case of initial stand density classes 2 500 to 5 000 plants per hectare than in the initial stand density classes 2 000 to 1 250 plants per hectare (Fig. 16).
2. The log percentage of the total stand volume at stand age 42 years is nearly 80 % in initial density classes 1 250 to 2 000 plants per hectare. The initial density of 2 000 plants per hectare generated the highest cutting value at the age of 42 years, after the quality (assortments of timber) and quantity (volume) factors of the stands have been taken into account (Fig. 19). The stand of lowest cutting value occurs where the initial density was 5 000 plants per hectare.
3. The most profitable alternative on the basis of the internal rate of return was provided by an initial planting density of 1 250 plants per hectare. However, a planting density of 2 000 plants per hectare provided a similar level of profitability. The denser the initial stand density the lower profitability calculated on the basis of the internal rate of return (Fig. 20).
4. The profitability ranking depends on the level of interest in the present value analysis. The bigger the interest level the lower is the initial density class, calculated on the basis of the present value (Fig. 21).
5. Changes in the timber prices and silvicultural costs are examined in relation to the investment criteria. The ranking of profitability between alternatives does not seem to change significantly when considering the possible future changes in timber prices and/or silvicultural costs (Fig. 22—25).
6. The use of shelterwood when planting spruce seems to be less profitable with increased volume of shelterwood.

Assuming a survival rate of 85 to 90 % (found on the examined sample plots) of the initial planting an initial planting density of 1 500 to 1 800 spruce plants per hectare on good sites in Southern Finland can be recommended. This recommended density is less than the present planting practice in Finland. On poorer sites than those of the study plots of this investigation initial densities for spruce plantings will be still lower. Pine, however, should have higher initial planting densities than spruce on equal quality sites.

ODC 535:651
ISBN 951-40-0348-9
ISSN 0015-5543

HANNELIUS, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability. *Folia For.* 359:1—51.

The aim of the investigation is to examine initial tree spacing in the cultivation of Norway spruce. The main objects of study were yield, timber production and profitability.

The lower densities had improved the diameter increment at breast height and dominant height. Higher initial densities had increased the growth of basal area and volume. The tapering of trees had been smallest in the most densely planted alternatives.

The profitability calculations showed the most recommended densities in spruce plantings to be 1 500 to 1 800 plants per hectare on good sites in Southern Finland.

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

ODC 535:651
ISBN 951-40-0348-9
ISSN 0015-5543

HANNELIUS, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability. *Folia For.* 359:1—51.

The aim of the investigation is to examine initial tree spacing in the cultivation of Norway spruce. The main objects of study were yield, timber production and profitability.

The lower densities had improved the diameter increment at breast height and dominant height. Higher initial densities had increased the growth of basal area and volume. The tapering of trees had been smallest in the most densely planted alternatives.

The profitability calculations showed the most recommended densities in spruce plantings to be 1 500 to 1 800 plants per hectare on good sites in Southern Finland.

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

ODC 535:651
ISBN 951-40-0348-9
ISSN 0015-5543

HANNELIUS, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability. *Folia For.* 359:1—51.

The aim of the investigation is to examine initial tree spacing in the cultivation of Norway spruce. The main objects of study were yield, timber production and profitability.

The lower densities had improved the diameter increment at breast height and dominant height. Higher initial densities had increased the growth of basal area and volume. The tapering of trees had been smallest in the most densely planted alternatives.

The profitability calculations showed the most recommended densities in spruce plantings to be 1 500 to 1 800 plants per hectare on good sites in Southern Finland.

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

ODC 535:651
ISBN 951-40-0348-9
ISSN 0015-5543

HANNELIUS, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability. *Folia For.* 359:1—51.

The aim of the investigation is to examine initial tree spacing in the cultivation of Norway spruce. The main objects of study were yield, timber production and profitability.

The lower densities had improved the diameter increment at breast height and dominant height. Higher initial densities had increased the growth of basal area and volume. The tapering of trees had been smallest in the most densely planted alternatives.

The profitability calculations showed the most recommended densities in spruce plantings to be 1 500 to 1 800 plants per hectare on good sites in Southern Finland.

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

- No 312 Leikola, Matti, Metsämuuronen, Markku, Räsänen, Pentti K. & Taimisto, Erkki: Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975.
The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975.
- No 313 Kolari, Kimmo, Paavilainen, Eero & Raitio, Hannu: Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella.
Pine root condition and growth disturbances.
- No 314 Anttila, Tuula & Lähde, Erkki: Lannoituksen vaikutus paperikenoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa.
Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery.
- No 315 Kanninen, Kaija: Palkkausmuodot ja niiden vaikutus metsätöissä.
Forms of remuneration and their influence on forest work.
- No 316 Mäkelä, Markku: Leimikoittainen metsätähdemäärä.
The amounts of logging residues and stump and root wood at certain work sites.
- No 317 Kaunisto, Seppo: Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla.
Effect of drainage intensity and fertilization on the development of pine plantations on oligotrophic treeless Sphagnum bogs.
- No 318 Kinnunen, Kaarlo: Istutuksen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Länsi-Suomen yksityismetsissä.
The survival and initial development of plants in private forests in western Finland.
- No 319 Ferm, Ari & Pohtila, Eljas: Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkauksen jäljen tasoituminen auratuilla metsänuudistusalajoilla Lapissa.
Succession of ground vegetation and levelling of ploughed tracks on reforestation areas in Finnish Lapland.
- No 320 Kuusela, Kullervo: Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970—1976.
Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970—1976.
- No 321 Heikinheimo, Lauri, Jaatinen, Esko, Kellomäki, Seppo, Lovén, Lasse & Saastamoinen, Olli: Metsien virkistyskäyttö Suomessa. Esitutkimusraportti.
Forest recreation in Finland. Pilot study.
- No 322 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1973 (1970).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1973 (1970) by districts.
- No 323 Erkkilä, Pentti, Silander, Soini, Tiihonen, Paavo & Örn, Jouko: Pystymittaus ja runkojen luku hakkuupalkan laskentaperusteina työväikeuspalstalla.
Massenermittlung am stehenden Holz und Stamzahl als Unterlage für die Berechnung des Arbeitslohns auf grösseren Schlaglosen mit gleichmässigen Arbeitsbedingungen.
- No 324 Vuokila, Yrjö: Puolukkatyyppi kuusen kasvupaikkana.
Vaccinium type as a spruce site.
- No 325 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun istutustuloksia Lapissa.
Reforestation results with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 326 Paavilainen, Eero: Männyn istutus suopeltojen metsityksessä.
Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields.
- No 327 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results.
- No 328 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Moottorisahavintturin käytöstä pienten puiden ja tukkien esijuonnossa.
Preliminary skidding of small trees and sawlogs by power saw winch.
- No 329 Kinnunen, Kaarlo & Linnimäki, Jorma: Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa.
Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia.
- No 330 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1975—77.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1975—77.
- No 331 Gustavsen, Hans G.: Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt.
Finnish volume increment functions.
- No 332 Helander, Matti & Simula, Anna-Leena: Metsäalan toimihenkilöiden kysyntä ja tarjonta vuoteen 1985.
Demand and supply of professional forestry staff by 1985.
- No 333 Hakkila, Pentti, Kalaja, Hannu, Salakari, Martti & Valonen, Paavo: Whole-tree harvesting in the early thinning of pine.
Kokopuun korjuu männikön ensiharvennuksessa.
- No 334 Järveläinen, Veli-Pekka: Mielipiteet yksityismetsätaloudessa. Metsänomistajien ja metsäammattimiesten käsityksiä metsätaloudesta ja sen edistämisestä.
Opinions in Finnish private forestry. On the opinions of the private forest owners and the forestry experts concerning forestry and its promotion.
- No 335 Juutinen, Paavo: Kuitupuupinot pystynävertäjän (*Tomicus piniperda* L.) lisääntymispaikkoina Pohjois-Suomessa.
Pulpwood stacks as breeding sites for pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern Finland.

- No 336 Kärkkäinen, Matti: Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi
Methods for measuring the average length of pulpwood bolts estimated during logging by eye.
- No 337 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76.
- No 338 Lähde, Erkki: Välivarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen. Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success.
- No 339 Teivainen, Terttu: Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan. Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments.
- No 340 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Kantokäsittelylaittein varustettujen raivaussahojen vertailua.
Comparison of clearing saws equipped with stump spraying devices.
- No 341 Uusvaara, Olli: Teollisuushakkeen ja purun painomittaus.
Weight scaling of industrial chips and sawdust.
- No 342 Hakkila, Pentti: Pienpuun korjuu polttoaineeksi.
Harvesting small-sized wood for fuel.
- No 343 Paavilainen, Eero: PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland. Preliminary results.
- No 344 Lehtonen, Irja, Pekkala, Osmo & Uusvaara, Olli: Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia.
Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great willow (*Salix caprea* L.) wood and pulp.
- No 345 Metsätalastollinen vuosikirja 1976.
Yearbook of Forest Statistics 1976.
- No 346 Parviainen, Jari: Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus.
Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase.
- No 347 Vuorinen, Heikki: Metsätraktorin kuljettajan kuormittamisen mittaushetkittäiset mahdollisuudet.
Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers.
- No 348 Löyttyniemi, Kari: Metsänlannoituksen vaikutuksesta ytimennävertäjiin (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
Effect of forest fertilization on pine shoot beetles (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
- No 349 Metsämuuronen, Markku, Kaila, Simo & Räsänen, Pentti K.: Männyn paakkutaimien alkukehitys vuoden 1973 istutuksissa.
First-year planting results with containerized Scots pine seedlings in 1973.
- No 350 Oikarinen, Matti: Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoalojen edustavuus. Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots.
- No 351 Heikkilä, Risto: Mäntykuitupuupinojen suojaaminen pystynävertäjän iskeytymistä vastaan Pohjois-Suomessa.
Protection of pine pulpwood stacks against the common pine-shoot beetle in northern Finland.
- No 352 Saramäki, Jussi: Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus. Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland.
- No 353 Päivinen, Risto: Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle.
Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch.
- No 354 Järveläinen, Veli-Pekka: Yksityismetsätalouden seuranta. Metsälöytökseen perustuvan tietojärjestelmän kokeilu.
Monitoring the development of Finnish private forestry. A test of an information system based on a sample of forest holdings.
- No 355 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Tutkimuksia haapatukkien mittauksesta ja teknisistä ominaisuuksista.
Studies on the measurement and technical properties of aspen logs.
- No 356 Hyppönen, Mikko & Roiko-Jokela, Pentti: Koepuiden mittauksen tarkkuus ja tehokkuus.
On the accuracy and effectivity of measuring sample trees.
- No 357 Uusitalo, Matti: Alueittaiset kantorahatulot vuosina 1970—75.
Regional gross stumpage earnings in Finland in 1970—75.
- No 358 Mattila, Eero & Helle, Timo: Keskisen poronhoitoalueen talvilaidunten inventointi. Inventory of winter ranges of semi-domestic reindeer in Finnish Central Lapland.
- No 359 Hannelius, Simo: Istutuskusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability.