

FOLIA FORESTALIA³⁶³

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1978

KARI MIELIKÄINEN

PUUN KASVUN ENNUSTETTAVUUS

PREDICTABILITY OF TREE GROWTH

- 1977
- No 293 Lehtonen, Irja: Puu pottaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Wood as a fuel. A study based on literature.
- No 294 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia.
Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stage stands (Scots pine).
- No 295 Metsätilastollinen vuosikirja 1975.
Yearbook of Forest Statistics 1975.
- No 296 Heiskanen, Veijo: Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuero.
Quality differences of timber between Southern and Northern Finland.
- No 297 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä.
Effect of spreading method on forest fertilization results.
- No 298 Vuokila, Yrjö: Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä.
Selective thinning from above as a factor of growth and yield.
- No 299 Vuokila, Yrjö: Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvystä.
On the growth capacity of aspen stands on good sites.
- No 300 Paavilainen, Eero: Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levityksajan 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: Talvikityypin puuntuotannollinen asema metsätuotantopöytäselästä.
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.
- 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.

FOLIA FORESTALIA 363

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1978

K a r i M i e l i k ä i n e n

PUUN KASVUN ENNUSTETTAVUUS

Predictability of tree growth

ODC 564:566--015
ISBN 951-40-0354-3
ISSN 0015-5543

MIELIKÄINEN, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. *Folia For.* 363: 1—15.

Tutkimuksessa tarkastellaan yksittäisen puun paksuuskasvun ennustamistarkkuutta. Aineisto käsittää 8 mänty- ja 12 kuusikoealaa.

Puiden kasvun vaihtelu on hoidetussakin metsikössä erittäin suuri. Parhaiten selittävät kasvukykyä puun koko, lähipuiden pohjapinta-ala ja hakkuun voimakkuus. Myös käsittelytavalla on merkitystä.

Laadittujen kasvuyhtälöiden selitysasteet ovat vain 30—50 % ($100R^2$). Syynä tähän ovat eräät vaikeasti mitattavat kasvutekijät, esim. puun yleinen elinvoimaisuus, perinnölliset tekijät, metsikön aiempi historia sekä maaperän viljavuuden pienvaihtelu.

Puun kasvuyhtälöt eivät ole niin tarkkoja, että niitä voitaisiin käyttää hyödyksi esim. metsän leimauksessa. Niiden perusteella voidaan laatia kuitenkin eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden tuotostaulukoita ja antaa näiden perusteella yleisiä metsiköiden käsittelyohjeita.

The predictability of tree growth is discussed on the bases of 8 pine and 12 spruce sample plots.

The variations in tree growth are surprisingly great even in managed stands. For predicting diameter growth the most significant independent variables are the tree size, the basal area of neighbouring trees and the heaviness of the most recent cutting. The form of thinning — low vs. high thinning — is an additional contributory factor.

The predictability of tree growth is rather poor ($100R^2 = 30—50\%$). This is due to difficult to measure growth factors, such as the general vitality and the genetic background of the tree, the earlier stand history and the minim variation of the site.

The growth functions derived are not accurate enough to be of major help in the practical marking for cutting. It is possible to employ the functions in the construction of average yield tables and to give general guides for stand treatment.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. TUTKIMUSAINEISTO	5
3. ERIKOKOISTEN PUIDEN KESKIMÄÄRÄINEN PAKSUUSKASVU	6
31. Harvennustapa	6
32. Harvennuksen voimakkuus	6
4. PUUN PAKSUUSKASVUN ENNUSTEYHTÄLÖT	7
41. Kasvun kokonaisvaihtelu	7
42. Kasvuyhtälöt	8
421. Kokeillut muuttujat	8
422. Ennusteyhtälöt	9
423. Metsikön kasvun simulointi	11
5. PUUN PAKSUUSKASVUN ENNUSTETTAVUUS	12
6. TULOSTEN TARKASTELUA	14
KIRJALLISUUS	15

1. JOHDANTO

Harvennushakkuiden päätavoite on hakkuutulojen saaminen. Tulot ovat joko välitömiä tai tulevaisuudessa saatavia. Varttuneen metsikön hakkuussa tuloja saadaan heti, kun taas ensiharvennus hyödyttää metsänomistajaa enemmän vasta tulevaisuudessa. Nuoren metsikön harvennus on siten luonteeltaan metsänhoidollinen. Sen tavoitteena on metsikön saattaminen mahdollisimman hyvään kasvukuntoon.

Metsikön kasvatuksessa hoidon kohteena ovat yksittäiset puut. Leimauksessa pyritään poistamaan tietynlaisia puita ja antamaan toisille lisää kasvutilaa. Poistettavien puiden valinta tapahtuu silmävaraisesti, yleisiin ohjeisiin tai aikaisempaan kokemukseen perustuen. Kasvatettaviksi jätettävät yksilöt valitaan — paitsi puun koon — myös sen rungon ja latvuksen ulkonäön perusteella, samalla kun puiden ryhmittäisyyttä pyritään vähentämään.

Yleinen käsitys on, että metsikön kookkaimmat puut kasvavat muita paremmin. Suuri koko on joka tapauksessa osoitus tähänastisesta voimakkaasta kasvusta. Nykyään yleisimmin käytetty alaharvennus perustuu juuri näiden kasvuisimpina pidettyjen kookkaimpien puiden suosimiseen.

Eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden kehityksestä tiedetään tutkimusten perusteella melko paljon. Sen sijaan yksittäisten puiden kasvusta on olemassa vain vähän käytännössä sovellutuskelpoista tietoa. Osasyynä tähän on puun kasvun suuri vaihtelevuus ja sen tutkimisen vaatima laaja kenttätyö.

Puun kasvu on monimutkainen, useiden tekijöiden säätelemä tapahtuma. *Assmannin* (1961) mukaan puun kasvuun vaikuttavat maaperä, ilmasto, perinnölliset ominaisuudet sekä puun aseman suotuisuus kasvuympäristössään. Puun kasvun kannalta nämä kaikki ovat tärkeitä, mutta niistä eräiden mittaus on käytännössä mahdotonta. Sellaisia ovat mm. maaperän ravinteisuuden

ja vesitalouden pienvaihtelu sekä perinnölliset ominaisuudet.

Puun kasvumalleja ovat Suomessa laatineet mm. *Vuokila* (1965), *Laurila* (1972) ja *Tarvasmäki* (1977). *Vuokilan* kehittämät männyn kasvuyhtälöt ovat näistä ainoat, joissa lähiympäristön puiden kilpailuvaikutus on mukana. Kaikki tähän saakka laaditut kasvuyhtälöt perustuvat kuitenkin useista metsiköistä mitattuihin koe-puihin, joten niillä voidaan ennustaa vain puun kasvun keskimääräistä kehitystä. Ne eivät sen sijaan sovellu tasaikäisen metsikön eri puuyksilöiden kasvun ennustamiseen.

Tähänastisten puun kasvuyhtälöiden tarkoitus on ollut metsikön kasvu- ja tuotostaulukoiden laatiminen teoreettisten metsikkömallien avulla (*Vuokila* 1965). Käytettävien yhtälöiden soveltamisen kannalta on tällöin olennaista, että poikkeamat eivät ole systemaattisia. Keskimääräisyhtälöiden haittana on kuitenkin se, että metsikön puiden kasvun vaihtelu jää laskelmissa todellista pienemmäksi. Tästä on seurauksena harhausuutta varsinkin metsikön puutavaralajisuhteiden kehityksen laskennassa.

Edellä mainittua huomattavasti suurempaa tarkkuutta edellyttäisi kasvuyhtälöiden käyttö metsän leimauksessa. Voidaan jopa kysyä, onko ylimalkaan mahdollista ennustaa ja verrata toisiinsa metsikön puiden kasvukykyä käytäntöä ajatellen riittävällä tarkkuudella, vai onko ammattimiehen havaintokykyä ja kokemusta pidettävä matemaattisia ennustemalleja luotettavampina?

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsikön kasvun puittaista vaihtelua ja sitä, millä tarkkuudella voidaan ennustaa tuleva kasvu puun ulkoisten tunnusten ja kasvuympäristön avulla.

Professori *Yrjö Vuokila* ja tohtori *Pekka Kilkki* ovat antaneet arvokkaita neuvoja tutkimuksen kuluessa. Heille samoin kuin muille tutkimuksessa avustaneille lausun parhaimmat kiitokseni.

2. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusaineisto käsittää yhden männikön ja yhden kuusikon. Puolukkatyyppin männikkö sijaitsee Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun kokeilualueessa Vasataren saarella. Metsikkö on syntynyt luonnonsiemennyksestä vuosina 1905—1910. Vuonna 1962 perustettu koe käsittää neljä alaharvennuksin ja yhtä monta harsien käsiteltyä koealaa. Koealat on mitattu ja harvennettu vuosina 1962, 1967 ja 1976.

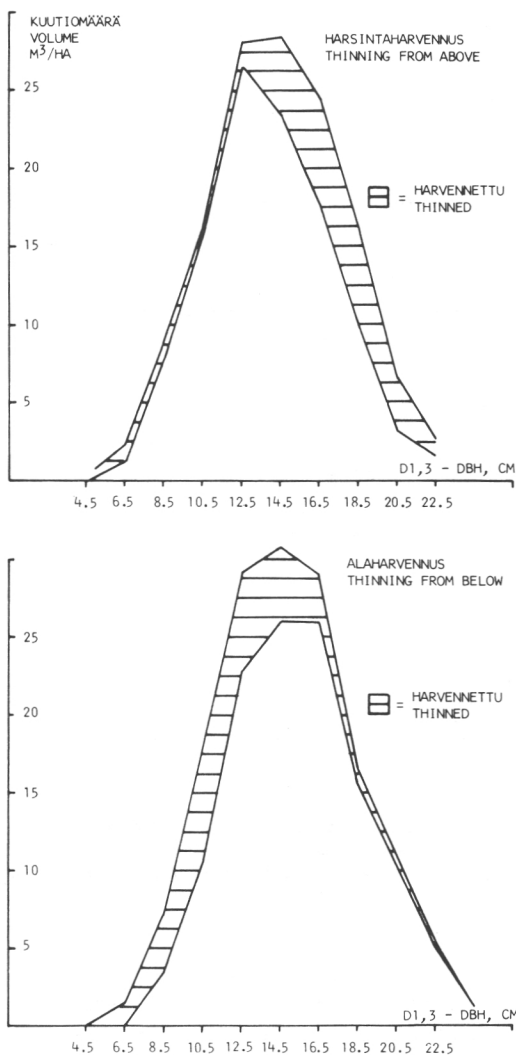
Kuusikkoaineistona käytetään ns. Evätmäen kuusikkoa (ks. Vuokila 1975). Metsikkö sijaitsee Kymi Kymmene Oy:n omistamalla Nynäsän metsäalueella lähellä Heinolaa. Metsikkö on istutettu vuonna 1926. Kokeeseen, joka on perustettu v. 1962, kuuluu 12 koealaa. Yhdeksän koealaa on käsitelty voimakkuudeltaan erilaisin alaharvennuksin; kolme koealaa on jätetty luonnontilaisiksi. Koealat on mitattu ja käsitelty vuosina 1962, 1967 ja 1974. Vuoden 1967 harvennus on ollut kaikissa käsittelyasteissa lievä.

Sekä mänty- että kuusikoealat on kartoitettu viimeisen mittauksen yhteydessä. Kaikkien puiden sijainnin tunteminen mahdollistaa erilaisten kilpailutekijöiden testauksen. Kasvunlaskentajaksona käytetään kahden viimeisimmän mittauksen välistä aikaa, männikössä 1967—76 ja kuusikossa 1967—74. Männikön ikä on ollut jakson alussa noin 60 vuotta ja kuusikon 45 vuotta. Vuoden 1967 harvennukset ovat olleet molemmissa kokeissa lieviä, mistä syystä hakkuun hetkellinen vaikutus puiden kasvuun ei ole suuri. Ilmaston mahdollista vaikutusta kasvuun tasoon mittausjakson aikana ei ole korjattu vuosilustoindeksillä. Tähän ei ole tarvetta, koska tutkimuksen tarkoituksena on verrata metsikön puitteissa puiden kasvuja toisiinsa. Ilmaston vaihtelu ei ole oletettavasti vaikuttanut puiden välisiin kasvusuhteisiin.

Alaharvennuksen ja harsinnan erilaisuutta havainnollistaa kuva 1. Kuva esittää männikkökokeen kuutiojakautumissarjaa ensimmäisen harvennuksen hetkellä. Varjostettu osa tarkoittaa poistettua puustoa. Alaharvennetussa metsikössä jäljelle jäävien runkojen keskikoko on selvästi suurempi ja lukumäärä pienempi kuin harsien käsitellyssä.

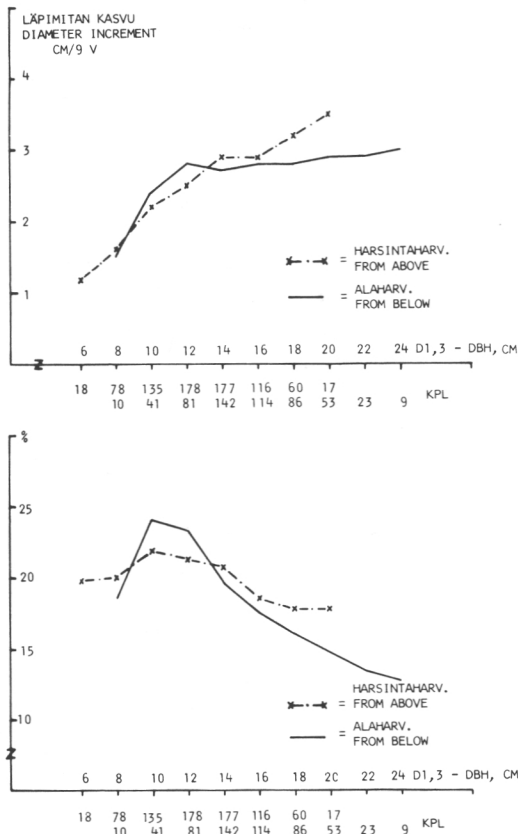
Kuva 1. Harvennustapojen kohdistuminen kuutiojakauman eri osiin. Vasatar v. 1962.

Fig. 1. The nature of removal in the two types of thinning in the experimental pine stand.



3. ERIKOKOISTEN PUIDEN KESKIMÄÄRÄINEN PAKSUUSKASVU

31. Harvennustapa



Kuva 2. Harvennustavan vaikutus erikokoisten mäntyjen paksuuskasvuun.

Fig. 2. The effect of the type of thinning on the diameter increment of pine.

Kuva 2 esittää erikokoisten mäntyjen keskimääräistä absoluuttista ja suhteellista paksuuskasvua 9-vuotiskautena 1968—76. Puun koko on ilmaistu läpimittana tutkimusjakson alussa.

Absoluuttinen paksuuskasvu, ja vielä huomattavasti selvemmin kuutiokasvu, on keskimäärin sitä parempi, mitä kookkaampi puu on. Sen sijaan pienten puiden suhteellinen kasvu on selvästi paras.

Puiden korkea kasvuprosentti merkitsee metsikkötasolla hyvää absoluuttista kuutiokasvua, mikäli puuston kuutiomäärä on vakio. Näin ollen lukuisten pikkupuiden yhteenlaskettu kasvu voi olla parempi kuin harvojen, vaikkakin absoluuttiselta kasvultaan ylivoimaisten samanikäisten isojen puiden.

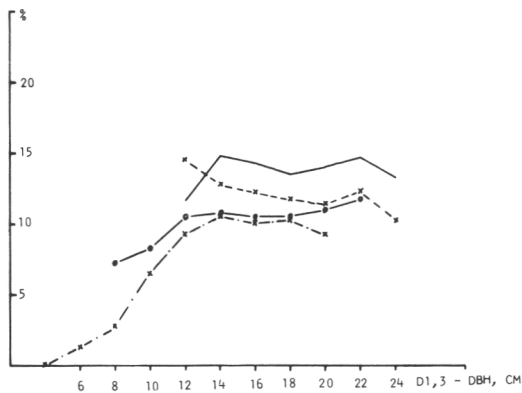
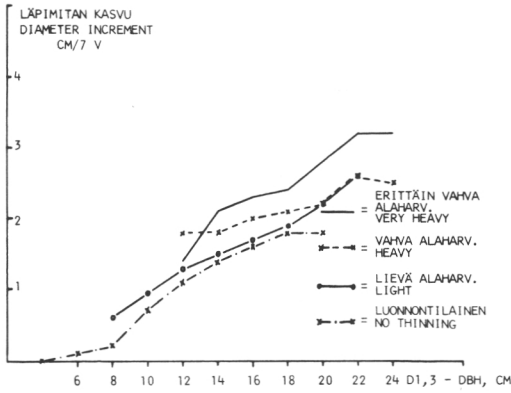
Männikön puiden kasvusuhteisiin vaikuttaa myös käsittelytapa. Harsitussa metsikössä pienet puut (10—13 cm) kasvavat jonkin verran huonommin, mutta tätä kookkaamat puut selvästi paremmin kuin alaharvennetussa. Syynä tähän on osittain harvennusten aiheuttama puuston elpyminen. Alaharvennuksessa jäävät jäljelle vain kasvukykyisimmät pienet puut, kun taas harsinnassa suositaan elpymiskykyisiä lisävaltapuita (vrt. Ny y s s ö n e n 1954, s. 120).

Osittain havaitut kasvuerot ovat tilastollista harhaa. Alaharvennuksessa huonokasvuisten pikkupuiden ja harsinnassa alhaisen kasvuprosentin omaavien isojen puiden poisto parantavat jäljelle jäävän puuston keskimääräistä kasvua välittömästi ilman kasvun elpymistäkin.

Kaiken kaikkiaan puun koko on olennainen kasvua kuvaava tunnus erityisesti suhteellisesta kasvusta puhuttaessa. Kuvan 2 mukaan pelkkä puun nykyhetken läpimitta ei kuitenkaan riitä kasvun ennustamisessa, vaan myös metsikön aiemmalla käsittelytavalla on merkitystä.

32. Harvennuksen voimakkuus

Evätmäen istutuskuusikko käsiteltiin v. 1962 voimakkuudeltaan erilaisin alaharvennuksin. Harvennusasteita oli kolme, joista erittäin voimakkaassa poistettiin 40 %, voimakkaassa 25 % ja lievässä 10 % puuston pohjapinta-alasta. Neljännes koaloista jätettiin luonnontilaan. Vuonna 1967 koaloja harvennettiin lievästi. Hakkuun tarkoituksena oli korjata erilaisesta kasvusta aiheutunut koalojen pääomatason muutos ensiharvennuksen mukaiseksi.



Kuva 3. Harvennusvoimakkuuden vaikutus erikoisten kuusten paksuuskasvuun alaharvennusemetsikössä.

Fig. 3. The effect of thinning grade on the diameter increment of trees in a spruce stand thinned from below.

Kuva 3 osoittaa, että käsittelyn voimakkuus vaikuttaa erittäin merkittävästi puiden paksuuskasvuun. Hakkuusta hyötyvät kaikenkokoiset puut. Pienet puut reagoivat kuitenkin kasvutilan avartumiseen suhteellisesti parhaiten. Yleensä harvennus parantaa jäljelle jäävien puiden paksuuskasvua sitä enemmän, mitä voimakkaampi hakkuu on ollut (Vuokila 1975). Lievän harvennuksen vaikutus puiden paksuuskasvuun on kuvan mukaan melko merkityksetön.

Kookkaimpien puiden absoluuttinen paksuuskasvu on myös kuusikkokokeen mukaan paras. Tähän on osasyynä viljelykuusikon puiden tasaikäisyys. Suurimmat puut saattavat luontaisesti syntyneessä metsikössä olla hieman keskimääräistä vanhempia, mikä puolestaan pienentää suhteellista kasvua. Viljelymetsikössä suurimmat puut ovat suurimpia nimenomaan hyvän kasvunsa vuoksi. Tällöin voi myös suurten puiden suhteellinen kasvu olla paras. Luonnontilaisilla koealoilla ylitiehyys on tukahduttanut pikkupuuta, mikä käy ilmi myös kuvasta.

Voimakkailla hakkuilla voidaan nopeuttaa huomattavasti puuston järeytymistä. Alaharvennuksen jälkeen jäävien valiopuiden suhteellinen paksuuskasvu on lähes riippumaton puun koosta. Tämä puolestaan suo metsäammattimiehelle vapautta puuston vastaisessa käsittelyssä, mikäli tavoitteena on jättää metsikön parhaat puut kasvamaan. Alaharvennuksen ei tällöin tarvitse olla kaavamaisista, vaan myös hakkuun aikaiset taloudelliset tekijät voidaan ottaa huomioon.

4. PUUN PAKSUUSKASVUN ENNUSTEYHTÄLÖT

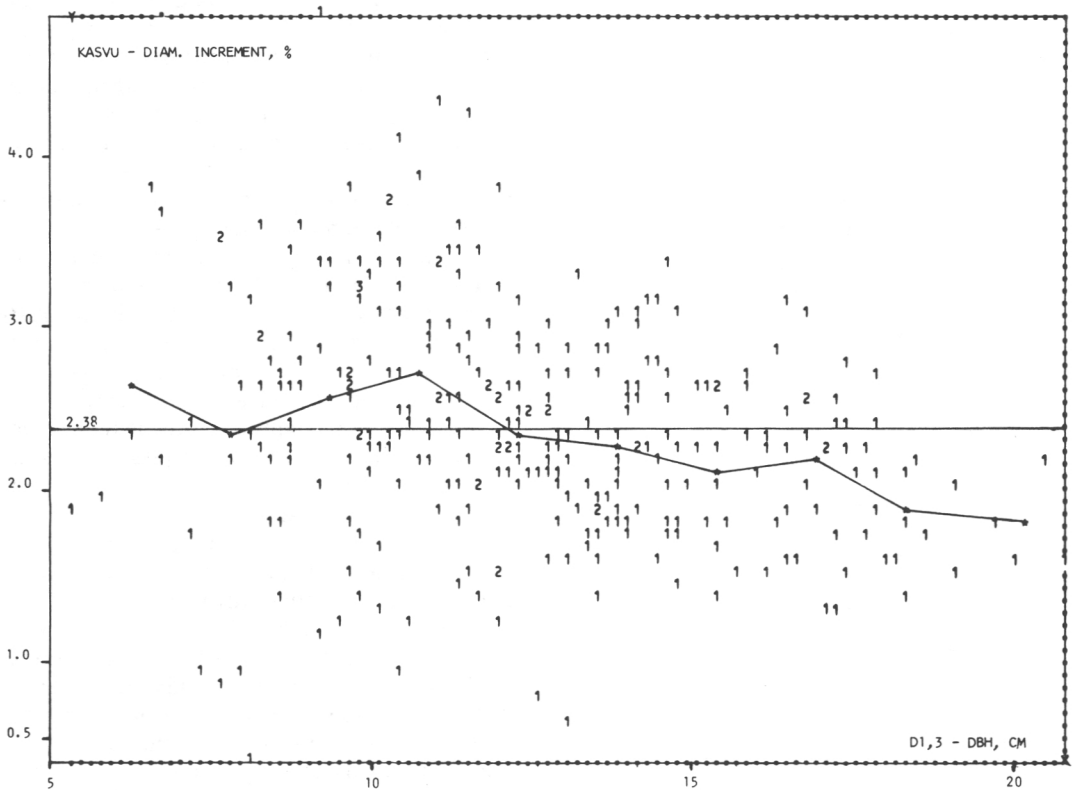
4.1. Kasvun kokonaisvaihtelu

Kuvassa 4 on esitetty esimerkkinä tutkitun harsintamännikön puiden paksuuskasvut rinnankorkeusläpimitan funktiona. Kuvan mukaan puiden mittausjakson keskimääräinen paksuuskasvuprosentti vaihtelee rajoissa 0,4...4,9. Aineiston variaatiokerroin, joka kuvaa keskihajontaa prosentteina keskiarvosta on 28,1.

Läpimittaa pidetään puun kasvukykyyn melko hyvänä mittana. Kasvun läpimittaluokittaisten keskiarvojen kuvaaja on taval-

lisesti kauniisti kaartuva käyrä (vrt. myös kuvat 2 ja 3). Yksityiskohtaisempi tarkastelu osoittaa kuitenkin, että suuri kasvuprosentti voi löytyä sekä kookkaimmista että pienimmistä puista, ja että samankokoistenkin puiden kasvu vaihtelee hämmästyttävän paljon. Niinpä kuvan 4 mukaan Vasattaren männikössä esim. 15 cm:n läpimittaiset puut ovat kasvaneet paksuutta 1—3 % vuodessa läpimittaluokan keskiarvon ollessa 2,2 %. Tarkasteltava metsikkö edustaa lisäksi maapohjaltaan ja puustoltaan mahdollisimman tasaista ja hoidettua metsää. Käytännön met-

Kuva 4. Puun paksuuskasvun vaihtelu harsintamännikössä.
 Fig. 4. The variation in diameter increment of trees in a pine stand thinned from above.



sisäissä sisäinen vaihtelu voi olla huomattavasti esitettyä suurempi.

Tällä perusteella voidaan jo sanoa, että pelkästään puun kokoon, esim. rinnankorkeusläpimittaan nojautuen voidaan metsikön leimauksessa päätyä jäljelle jäävän puuston kasvukyvyyn kannalta hyvin vaihteleviin lopputuloksiin. Näin voi käydä siitä riippumatta, sovelletaanko alaharvennusta vai harsivaa käsittelyä. Tarvitaan todella jotakin menettelyä, jolla kasvukykyisimmät puut voitaisiin erottaa huonokasvuisista.

42. Kasvuyhtälöt

Kuva 4 osoittaa, että läpimitta selittää puiden kasvun vaihtelusta vain pienen osan. Syyinä läpimitasta riippumattomaan vaihteluun ovat aiemmin mainitut kasvutekijät. Useiden kasvutekijöiden kokonaisvaikutuksen tutkimiseen soveltuu regressioanalyysi. Laadittavien kasvuyhtälöiden käyttö tulisi tarkasti ottaen rajoittaakin vain kokonaisvaikutuksen analysointiin siitä syystä, että

kasvutekijät ovat enemmän tai vähemmän toisistaan riippuvaisia. Tietyn selittävän muuttujan arvon muutos vaikuttaa todellisuudessa myös muihin kasvutekijöihin, eikä yhden tekijän erillisvaikutusta saada selville.

421. Kokeillut muuttujat

Koelan kaikista puista tunnettiin rinnankorkeusläpimitta, sen kasvu mittausjakson aikana ja puun sijainti koelalla. Tunnetun sijainnin perusteella voitiin laskea erilaisia lähipuiden kokoon ja etäisyyteen perustuvia kilpailutekijöitä. Koepuista oli lisäksi mitattu pituus, kapeneminen ($d_{1.3}-d_6$) ja elävän latvuksen pituus.

Puuston tiheyttä kuvattiin runkoluvulla ja pohjapinta-alalla, jotka laskettiin puun ympärille tietokoneteknisesti rajoitetuilta ympyräkoaloilta. Ympyröiden säteet vaihtelivat kolmesta seitsemään metriin. Sekä kaikkien että tarkasteltavaa puuta paksimpien runkojen lukumäärää ja pohjapinta-alaa koekiltiin. Harvennuksen vaikutusta kuvasi

vastaavalla säteellä sijaitsevien tuoreiden kantojen pohjapinta-ala.

Olenmaisempaa kuin tutkittavan puun koko ja sitä ympäröivän puuston tiheys, on puun koko lähinaapureihinsa verrattuna sekä sen etäisyys näistä. Isompi puu estää pienemmän naapurinsa kasvua varjostamalla, piiskaamalla sen latvusta ja riistämällä laajalla juuristollaan maasta ravinteita. Pohjapinta-alan lisäksi kokeiltiin erilaisia puiden kokoihin ja niiden väliin etäisyyksiin perustuvia yhdistettyjä muuttujia. Joissakin näistä oli tekijänä myös varjostavien puiden maantieteellinen suunta, latvuksen arvioitu koko ja auringon korkeuskulma. Yhdistetyistä muuttujista vain muutamat osoittautuivat tilastollisesti merkitseviksi. Syynä tähän on suurelta osin eri tekijöiden vaikutuksen painottamisen vaikeus. Käytännössä on esim. melko mahdotonta arvioida, kuinka monta suuntakulman astetta vastaavat vaikutukseltaan läpimitan yksi sentti ja etäisyyden yksi metri.

Yhtälöitä laadittiin sekä käsittelyille erikseen että ne yhdistäen. Käsittelyä käytettiin myös valemuuttujana. Tällöin oletettiin eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden kasvujen välillä olevan tasoeroja, joita muut muuttujat eivät pysty selittämään. Ainoastaan luonnontilaisissa ja harvennuksin käsitellyissä kuusikoissa valemuuttujan vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Tämä ei tarkoita sitä, että eri koealojen kasvut eivät poikkea toisistaan. Mahdolliset poikkeamat on vain pystytty selittämään tyydyttävästi malleissa käytetyillä muuttujilla, tai kasvuerot ovat eri osissa aineistoa erisuuntaiset.

Luetuista puista oli mitattu ainoastaan läpimitta rinnankorkeudelta. Puun elinvoimaisuutta kuvaavien tekijöiden, kuten latvuksen koon ja laadun sekä terveydentilan, vaikutusta oli mahdollista tutkia vain koepuista.

422. *Ennusteyhtälöt*

Kasvuyhtälöiden selitettävänä muuttujana on käytetty puun mittausjakson absoluuttisen tai suhteellisen paksuuskasvun logaritmia. Yhtälöiden vakiotermeihin on tehty logaritmuunnoksen vaatimat korjaukset. Selittävät muuttujat olivat puun rinnankorkeusläpimitta sekä erilaiset lähiympäristön puustotunnuksista johdetut kilpailutekijät.

Absoluuttinen paksuuskasvu lisääntyy se-

kä männyllä että kuusella melko jyrkästi läpimitan kasvaessa noin 15—20 cm:iin saakka. Tämän jälkeen kasvu tasaantuu tai kääntyy laskuun. Poikkeuksen muodostavat alaharvennetut kuusikot, joissa suurimmat puut kasvavat parhaiten.

Metsikön tiheyttä parhaiten kuvaavaksi muuttujaksi osoittautui puuston pohjapinta-ala kolmen metrin säteellä puun ympärillä. Tiheyden lisääntyminen vähentää puun paksuuskasvua. Yli kolmen metrin etäisyydellä sijaitsevien puiden vaikutus oli lisäksi joissakin yhtälöissä merkitsevä (vrt. Eriksson 1976). Sen sijaan ympäröivän puuston runkoluvulla ei ollut vaikutusta kasvuun.

Hakkuu lisää jäljelle jäävien puiden kasvutilaa ja saa aikaan niiden kasvun elpymistä. Kantojen pohjapinta-ala viiden metrin säteellä oli männikössä merkitsevä muuttuja. Puu kasvaa sitä paremmin, mitä suurempi on kantojen pohjapinta-ala sen lähiympäristössä. Muuttujan vaikutuksen merkitystä vähentää tutkitussa aineistossa hakkuun lievyys. Kannoista ei ollut myöskään tiedossa läpimittaa, vaan se jouduttiin arvioimaan koealoittain hakkuutavan perusteella. Kuusikossa ei kantoja oltu mitattu, koska siellä ei ollut varsinaista hakkuuta vuonna 1967.

Kasvun selittäjänä kokeiltiin myös yhdistettyä kilpailumuuttujaa, jossa ympäristökilpailun oletettiin olevan suoraan verrannollinen lähipuiden kokoihin ja kääntäen verrannollinen puun omaan kokoon sekä puiden väliseen etäisyyteen. Tämä muuttuja oli sekä männiköissä että kuusikoissa parempi kuin pelkkä ympäröivän puuston pohjapinta-ala.

Kilpailumuuttujan vaikutus kasvuun on voimakkaasti negatiivinen. Mitä lähempänä ja mitä suurempi naapuripuun on, sitä enemmän se haittaa puun kasvua.

Kasvuyhtälöiden hyvyden mittana käytetään usein selityssasteetta, joka kuvaa kasvun keskiarvon suhteen lasketun kokonaisvaihtelun pienenemistä, kun vertailukohtaksi otetaan yhtälöllä laskettu kasvu. Eri aineistoista laskettujen yhtälöiden hyvyttä ei kuitenkaan pidä koskaan arvostella selityssasteella, koska alkuperäinen vaihtelu on erilainen. Suurta vaihtelua on helpompi selittää kuin pientä. Selityssaste kuvaa mallin hyvyttä vain laskenta-aineistossaan.

Laadittujen yhtälöiden selityssasteet ovat alhaisia. Ne vaihtelevat männyllä noin 30—45 % (R^2) ja kuusella 40—50 %. Selityssasteen alhaisuus aiemmin laadittuihin yhtälöi-

hin verrattuna on luonnollista, koska kasvuun voimakkaimmin vaikuttava tekijä, ikä, ei vaihtelee eikä ole näinollen mukana malleissa. Tutkittavat metsiköt ovat melko vanhoja, minkä vuoksi lähiympäristön kilpailuvaikutus on jo laimentunut. Myös yksittäisten puiden aiempi historia on hakkuiden vaikutuksesta hämärtynyt.

Seuraavassa esitetään muutamia laadittuja yhtälöitä:

Mänty, alaharvennus (220 puuta):

ln	(Y1) =		T-arvo
1.	3,998		
	— 0,0556	X1	11,44
	— 0,006498	X2	2,78
	+ 0,006566	X3	2,77
	— 0,003620	X4	3,20
			R ² = 0,443
2.	3,770		
	— 0,04873	X1	10,94
	— 0,0100	X2	4,76
	+ 0,005775	X3	2,40
			R ² = 0,417
3.	3,812		
	— 0,04934	X1	10,98
	— 0,0107	X2	5,08
			R ² = 0,401

Mänty, harsinta (313 puuta):

ln	(Y2) =		
	— 4,110		
	— 0,2975	X1	4,06
	+ 2,529	√X1	4,89
	— 0,008462	X2	3,09
	+ 0,009587	X3	1,65
			R ² = 0,339
5.	— 4,173		
	— 0,3024	X1	4,12
	+ 2,572	√X1	4,97
	— 0,008929	X2	3,27
			R ² = 0,333

Kuusi, erittäin vahva alaharvennus (105 puuta):

ln	(Y3) =		
6.	+ 0,1938		
	+ 0,06092	X1	6,90
	— 0,01174	X2	4,23
	— 0,01092	X5	2,99
			R ² = 0,435

Kuusi, luonnontilainen (233 puuta):

ln	(Y3) =		
7.	— 3,724		
	+ 0,5346	X1	6,91
	— 0,01507	X1 ²	5,43
	— 0,009009	X2	2,56
	— 0,005209	X5	1,30
			R ² = 0,442

Muuttujien selitys:

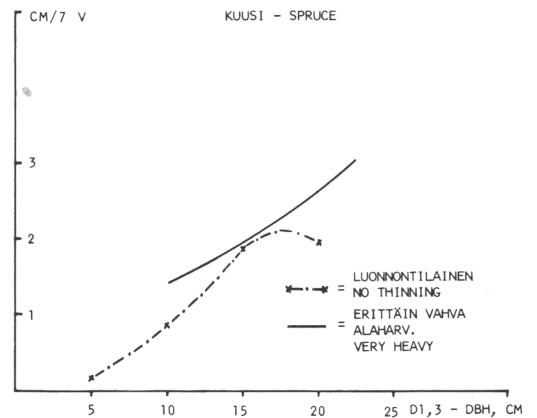
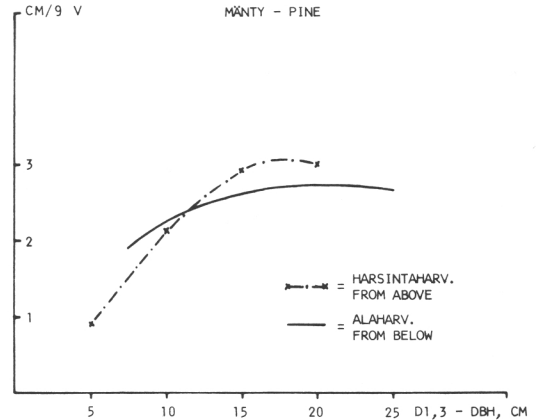
X1 = puun rinnankorkeusläpimitta jakson alussa, cm

X2 = ympäröivän puuston pohjapinta-ala m²/ha kolmen metrin säteellä

X3 = kantojen pohjapinta-ala viiden metrin säteellä
X4 = summa (d²/(etäisyys x d1.3)), missä d = ympäristön puun läpimitta, d1.3 = puun läpimitta ja etäisyys = puiden välinen etäisyys
X5 = ympäröivän puuston pohjapinta-ala m²/ha 3—5 metrin etäisyydellä
Y1 = läpimitan kasvu, %/9 v
Y2 = läpimitan kasvu, cm/9 v
Y3 = läpimitan kasvu, cm/7 v

Kuva 5. Puun yhtälöllä laskettu paksuuskasvu läpimitan ja ympäristön pohjapinta-alan funktiona. Pohjapinta-ala 20 m²/ha.

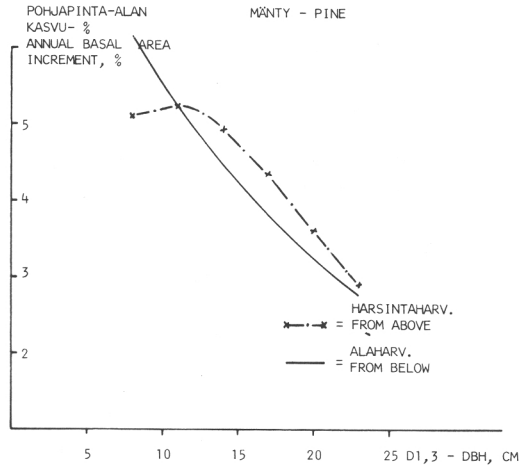
Fig. 5. The diameter increment estimated with functions based on the tree diameter and a constant stand basal area of 20 m²/ha.



Yhtälöiden kuvaajat (kuva 5) osoittavat kasvun riippuvan, paitsi puun koosta ja ympäristön pohjapinta-alasta, myös käsittelytavasta. Pienten ja suurten puiden erilainen reaktio eri tavoin käsitellyissä metsiköissä on edelleen selvä. Kuva osoittaa myös yhdistetyistä aineistoista laadittujen yhtälöiden heikkouden. Muuttujien tilastollisen tarkastelun perusteella vaikuttaa siltä, että käsitte-

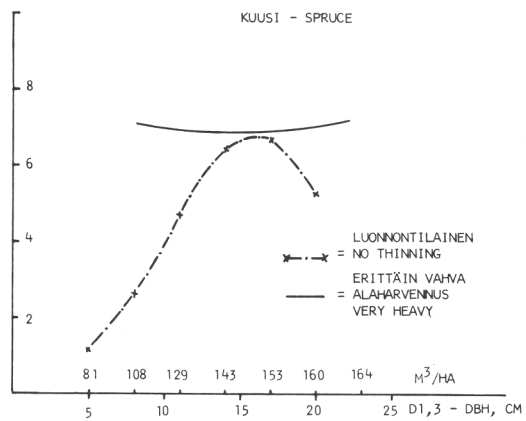
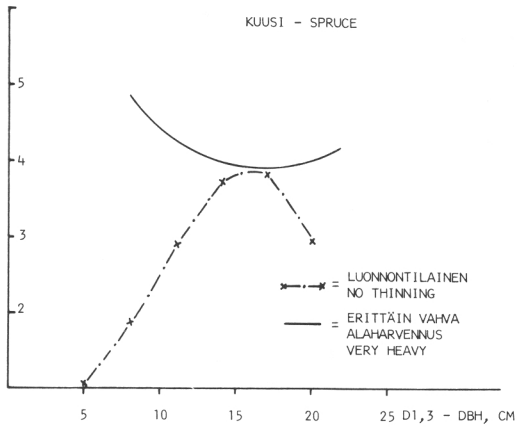
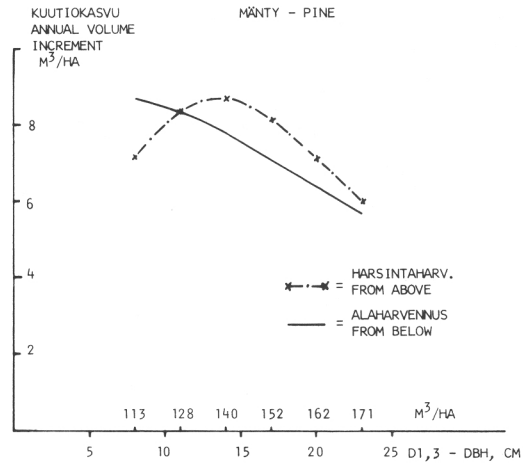
Kuva 6A. Puuston läpimitan vaikutus metsikön pohjapinta-alan kasvuun. Pohjapinta-ala 20 m²/ha.

Fig. 6A. The effect of tree size on the basal area increment of a stand with a basal area of 20 m²/ha.



Kuva 6B. Puuston läpimitan vaikutus metsikön kuutiokasvuun. Pohjapinta-ala 20 m²/ha.

Fig. 6B. The effect of tree size on the volume increment of a stand with a basal area of 20 m²/ha.



lytalojen kesken ei ole olemassa kasvun tasoeroja. Valemuuttujana kokeillun käsittelytavan merkitsevyys olisi edellyttänyt kasvujen tasoeroa kaikenkokoisilla puilla. Sen sijaan aineiston eri osissa esiintyviä eroja ei pystytä löytämään soveltamalla valemuuttujatekniikkaa vain vakiotermiin.

423. Metsikön kasvun simulointi

Metsikön kasvu on puiden kasvujen summa. Puuston kasvusarjoja voidaan laatia mittaamalla laajahko koeala-aineisto ja tasoittamalla kasvut metsikön keskitunnusten, kuten iän ja kuutiomäärän suhteen. Riittävän aineiston kerääminen vaatii paljon

maastotyötä. Metsiköittäisessä tarkastelussa ei kasvun puittaista vaihtelua voida ottaa huomioon, vaan sarjat kuvaavat vain tietynlaisista runkolukusarjoista koostuvia metsiköitä.

Puun kasvuyhtälöihin perustuva menetelmä vaatii vähemmän maastotyötä, mutta runsaasti enemmän laskentaa. Suomessa puittaista menetelmää on käyttänyt Vuokila (1965) laatiessaan eri tavoin käsiteltyjen männiköiden kehityssarjoja. Puuyhtälöissä kasvun selittäjinä on käytetty puu-, metsikkö-, ympäristö- ja ilmastotunnuksia. Puutunnuksia ovat mm. puun ikä ja koko, metsikkötunnuksia pohjapinta-ala ja harvennuksen voimakkuus ja ilmastotunnus

kasvukauden pituus. Ympäristötunnuksena on käytetty viiden lähimmän puun keskimääräistä etäisyyttä.

Kuva 6 esittää tutkittujen metsiköiden pohjapinta-alan ja kuutiomäärän kasvun riippuvuutta puiden koosta. Laskelmassa on oletettu, että metsikön puusto koostuu keskenään täysin samankokoisista puista. Pohjapinta-ala 20 m²/ha voi tällöin muodostua noin 2 500:sta 10 cm:n tai 400:sta 25 cm:n paksuisesta puusta. Puun tuleva paksuuskasvu on laskettu läpimitaan ja puuston pohjapinta-alaan perustuvilla yhtälöillä, minkä jälkeen metsikön pohjapinta-alan kasvu on saatu puiden kasvujen summana. Oletukset puuston tiheyden ja puiden kokojen tasaisuudesta ovat karkeat, mutta tulokset ovat kuitenkin näissä metsiköissä suuntaa antavia.

Harsittu männikkö kasvaa pienimpiä, tiheässä kasvaneita puita lukuunottamatta alaharvennettua paremmin. Molemmat männiköt kasvavat pohjapinta-alalla mitaten sitä paremmin, mitä pienemmistä puista ne ovat muodostuneet. Kuutiokasvussa ero ei ole yhtä selvä, ja arvokasvussa tilanne on jo lähes päinvastainen.

Evätmän kuusikossa luonnontilaisen ja

erittäin voimakkaasti alaharvennetun metsikön kasvu on täysin erilainen. Luonnontilaisen metsikön pienet puut kasvavat selvästi huonoimmin, kun taas alaharvennetun metsikön sekä pohjapinta-alan että kuutiomäärän kasvu on lähes riippumaton puiden koosta.

Saatuja tuloksia voidaan käyttää esimerkiksi hakkuutavan valintaan. Mikäli tavoitteena on poistaa hakkuussa huonokasvisimmat puut ja jättää parhaat kasvamaan, poikkeavat käsittelyt tutkituissa metsiköissä toisistaan. Männikön optimikäsittely on tässä tapauksessa ylaharvennuksen luonteinen. Alaharvennettu kuusikko suo sen sijaan leimaajalle melkoiset vapaudet. Metsikön tuleva tuotos voidaan melko huoletta jättää joko pienten tai suurten ”valiopuiden” varaan. Tähän saakka luonnontilaisena kasvaneen kuusikon ainoa hyväksyttävä käsittelytapa on sen sijaan alaharvennus. Tiheydestä kärsineiden pikkupuiden varaan ei voida paljoa rakentaa. Tältä osin tulokset tukevat Vuokilan (1977) harsintatutkimusta. Korostettakoon, että tässä tutkimuksessa aineistona on ollut vain kaksi metsikköä, mikä vuoksi tulosten yleistämisessä on oltava varovainen.

5. PUUN PAKSUUSKASVUN ENNUSTETTAVUUS

Puun paksuuskasvuun on jäänyt yhtälöiden laatimisen jälkeen vielä runsaasti selittämätöntä vaihtelua. Vaihtelun täydellinen selittäminen on mahdotonta, koska kaikkien kasvutekijöiden vaikutusta ei pystytä mittaamaan.

Puun yhteyttämiskyvyn ulkoisena tunnuksena käytetään tavallisesti latvuksen kokoa. Kuvassa 8 on esitetty koepuiden paksuuskasvu läpimitan ja latvuksen pituuden funktiona. Kasvu on yleensä sitä parempi, mitä pitempi latvus on. Vuokilan (1975) esittämä maksimikasvun antava latvussuhde löytyi vain kuuselta. Sen sijaan männyn kasvu parani koko ajan latvuksen pidentessä. Syynä tähän saattaa olla latvuksen pituuden pieni vaihtelu laskenta-aineistossa. Hoide-tussa metsikössä poikkeavat puut on poistettu hakkuissa jo aiemmin.

Latvuksen pituuden selityskyky oli varsinkin kuusikossa heikko. Pääsyyinä tähän on

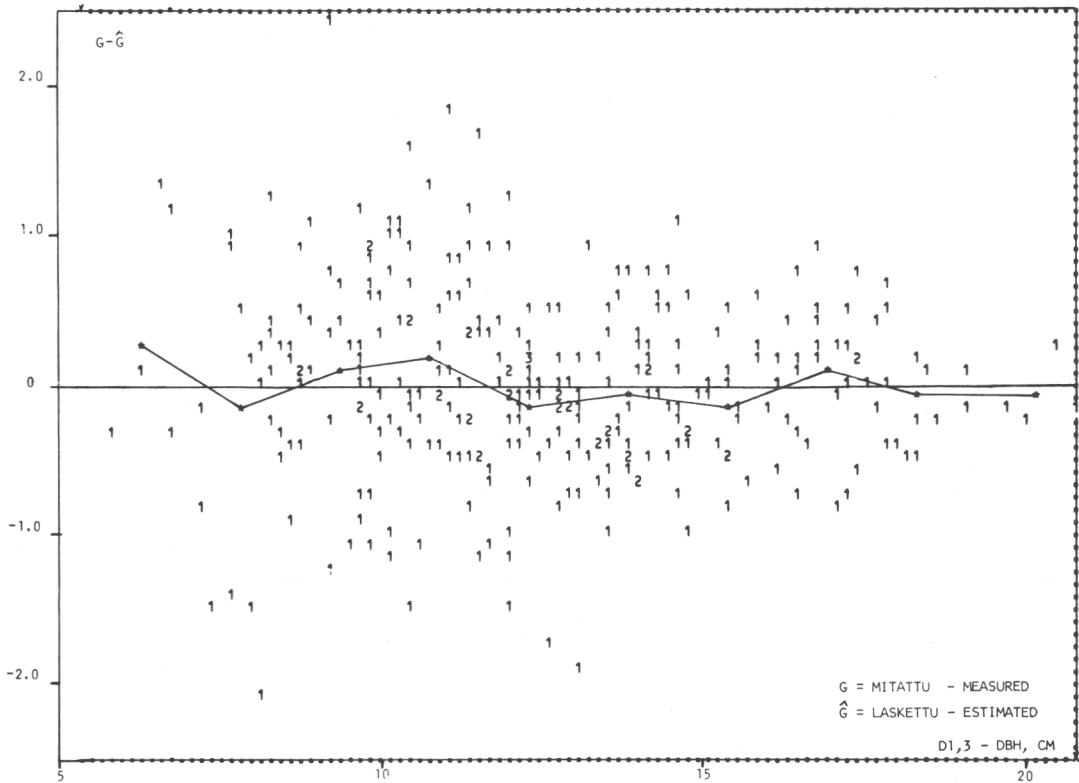
se, että puun yhteyttämiskyky riippuu paitsi elävän latvuksen pituudesta myös sen leveydestä ja neulasten aktiivisuudesta (Nyys-sönen 1954, s. 78). Latvusrajan määrittäminen toispuoleisissa puissa on myös vaikeaa.

Puun terveydentila näkyy puun kasvussa, mutta sen ilmaiseminen regressioanalyysin vaatimassa numeromuodossa on vaikeaa.

Laurilan (1972) mukaan menneen kasvun tunteminen on välttämätöntä, mikäli puun läpimitan kasvun ennustamisessa halutaan päästä hyviin tuloksiin (ks. myös Nyys-sönen ja Mielikäinen 1978). Vuosien 1963—1967 ja 1968—1974 paksuuskasvujen korrelaatio oli luonnontilaisilla kuusikkokoaloilla 0,74 ja erittäin voimakkaasti harvennetuilla 0,47. Syynä selityskykyjen erilaisuuteen on vuoden 1962 hakkuu. Harvennuksen aikaansaama shokki ja tätä seurannut kasvun elpyminen ovat

Kuva 7. Paksuuskasvun jäännösvaihtelu harsintamännikössä.

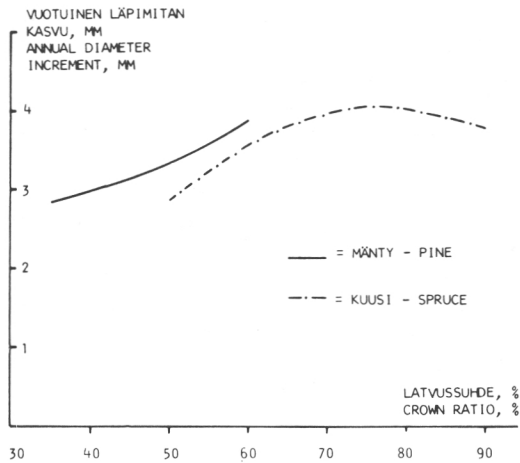
Fig. 7. The residual variation of the diameter growth function in the pine stand thinned from above (Fig. 4).



menneet suurelta osin ohi vuoteen 1967 mennessä, mikä heikentää kasvujen välistä riippuvuutta.

Kuva 8. Latvuksen pituuden vaikutus puun paksuuskasvuun.

Fig. 8. The effect of crown ratio on the diameter increment of trees (dbh = 20 cm).



Puiden sädekasvun vuotuisen vaihteluun ovat pääasiallisena syynä ilmastolliset tekijät (Vuokila 1960). Jos kasvun keskimääräistä tasoa merkitään luvulla 100, saattaa kasvu kahtena peräkkäisenä mittaajaksena vaihdella rajoissa 80—130. Tästä syystä ei kahden eriaikaisen mittauksen kasvuja voida verrata toisiinsa, ennenkuin ilmastollinen vaihtelu on poistettu kasvuindeksien avulla (esim. Mikola 1950). Evätmäen kuusikossa menneen kauden korjaamattoman kasvun käytöstä tulevan kasvun ennustamiseen olisi tuloksena kasvun yliarviointi. Kasvun taso oli vuosina 1962—66 keskimäärin 103 ja vuosina 1967—73 noin 94 % keskimääräisestä (Tiihonen 1977).

Puun koko on sekä itse puun perinnöllisten ominaisuuksien että metsikön aiemman historian tulosta. Tällä hetkellä kahden samankokoisen ja samanlaisessa ympäristössä kasvavan puun tuleva kasvu voi olla tästä syystä hyvin erilainen. Kasvultaan ylivoimaisen puun pieni koko on mahdollisesti seurausta aiemmasta ympäristökilpailusta, kun taas huonokasvuinen puu on voinut ehtiä

suotuisissa olosuhteissa yhtä suureksi.

Metsikön puut kasvavat veden ja ravinteiden saannin kannalta toisistaan poikkeavissa olosuhteissa. Tämä kasvupaikan viljavuuden pienvaihtelu samoin kuin edellämäinitut perinnölliset ja metsikköhistorialliset tekijät vaikuttavat puun kasvuun huomattavasti, mutta näiden tekijöiden mittausta ei ole käy-

tännössä mahdollista. Puiden välistä kilpailua tutkittaessa tulisikin kaikki vaikeasti mitattavien tekijöiden aiheuttama vaihtelu pyrkiä sulkemaan pois. Ihanteellinen tutkimuskohde olisikin ensiharvennusemetsikkö, joka on istutettu rodullisesti mahdollisimman tasalaatuisilla taimilla ravinteisuudeltaan taseiselle pellolle.

6. TULOSTEN TARKASTELUA

Hoidetun, tasaikäisen metsikön kasvun puittainen vaihtelu on hämmästyttävän suuri. Tietokoneiden suorituskyvyn kasvu on mahdollistanut puun ympäristökilpailun entistä monipuolisemman tarkastelun. Regressioanalyysiä käyttäen voidaan tutkia kartoitetuilta koealoilta laskettujen, puun läpimitaan, pituuteen ja sijaintiin perustuvien kilpailutekijöiden vaikutusta puun kasvuun.

Puun kasvuyhtälöt selittävät vain pienen osan kasvun vaihtelusta. Tämän vuoksi yhtälöt soveltuvat parhaiten metsikön kasvun simulointiin eli jäljittelyyn. Simuloinnissa keinotekoisesti koostettujen metsiköiden puille lasketaan kasvut todelliseen koepuuaineistoon perustuvilla yhtälöillä. Mitattuun aineistoon perustuvia todennäköisyysjakamia voidaan lisäksi käyttää riittävän ja todellisuutta vastaavan vaihtelun saamiseksi keinotekoiseen runkolukujakaumaan.

Kartoitettujen puiden kasvuyhtälöiden luonnollisimpia sovelletuskohteita on valikoivien ja erilaisten systemaattisten harvennusten vertailu (Mielikäinen 1971, Eriksson 1977). Myös puuston eri-ikäisyyden ja aukkoisuuden vaikutusta tuotokseen on mahdollista tutkia. Sekametsiköissä kasvuyhtälöillä voidaan etsiä metsikön kullakin iällä kokonaistuotoksen kannalta paras mahdollinen puulajisekoitus.

Riittävän laajaan ja monipuoliseen koepuuaineistoon perustuvien kasvumallien perusteella voidaan myös antaa yleisiä ohjeita metsän käsittelijälle.

Ensimmäinen leimauksessa huomioon otettava tekijä on puun koko. Varsinkin metsikön nuoruusvaiheessa hakkuiden on oltava selviä alaharvennuksia. Tällöin valitaan tukkipuiksi kasvatettavat valiopuut. Nuoren metsikön harsinta on käyttöpuun ja varsinkin arvokkaan järeän puun tuotoksen kannalta erittäin vahingollista. Nuoruusvai-

heen kilpailussa tappiolla jääneiden pikkupuiden elpymiskyky on nimittäin huono.

Varttuneen metsikön kaikki puut ovat sen sijaan kasvultaan tasaväkisiä valiopuita. Harvennushakkuun ei tarvitse tässä ikävaiheessa enää olla yhtä kaavamaisista kuin ensiharvennuksessa, vaan myös senhetkiset taloudelliset tekijät voidaan ottaa huomioon. Pienten puiden voimakkaampi reagointi hakkuuseen saa aikaan sen, että varovaisella harsinnalla on mahdollista lisätä metsikön kokonaistuotosta. Hakkuu ei tällöinkään saa olla määrämittaharsintaa, vaan leimauksessa on kiinnitettävä riittävästi huomiota puun ulkonäköön sekä sen lähiympäristöön.

Latvus on koon ohella puun kasvukyvyyn ulkoinen tunnusmerkki. Paitsi latvuksen koko, myös sen yleinen elinvoimaisuus on tärkeää. Latvuksella on Vuokilan (1975) mukaan olemassa kasvun kannalta optimikoko, joka on männyllä noin 40 % ja kuusella 60—70 %. Tätä optimikokoa suurempi latvus alkaa ”syödä enemmän kuin tienata”, jolloin puun kasvu ei enää parane.

Puun kasvuun vaikuttaa myös lähiympäristön aiheuttama kilpailu. Kilpailun häiritsevä vaikutus riippuu lähipuiden määrästä, koosta ja puiden välisestä etäisyydestä.

Puun kasvuyhtälöillä ei voida korvata metsäammattimiestä puuston leimauksessa. Kasvuyhtälöt kuvaavat vain puiden keskimääräistä kasvua mitatuissa metsiköissä. Jokaisen metsikön jokainen puu on kuitenkin oma yksilönsä, jonka kasvuun vaikuttavat lukuisat vaikeasti mitattavat metsikkö- ja puukohtaiset kasvutekijät. Kahden suurimpiirtein samanlaisen ja samanlaisissa oloissa kasvavan puun kasvujen vertailu vaatii yhtälöiltä sellaista tarkkuutta, mitä ei ole käytännössä mahdollista saavuttaa.

KIRJALLISUUS

- ASSMANN, E. 1961. Waldertragskunde. 490 s. München.
- ERIKSSON, L. 1976. Konkurrensmodeller för enskilda trädets tillväxt efter röjning. Summary: Competition models for individual trees after cleaning. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. Nr 99: 1—76.
- ERIKSSON, L. 1977. Simulering av beståndsutveckling efter röjning. Summary: Simulation of stand development after cleaning. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. Nr 108: 1—67.
- LAURILA, M. 1972. Puun kasvun ennustaminen. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 98 s.
- MIELIKÄINEN, K. 1971. Palstateiden ja käytäväharvennuksen vaikutus puuntuotantoon. Metsä ja Puu. Nr 8: 23—24.
- MIKOLA, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Commun. Inst. For. Fenn. 38.5: 1—131.
- NYSSÖNEN, A. 1954. Hakkauksilla käsitellyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60.4: 1—194.
- & MIELIKÄINEN, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of Stand Increment. Acta For. Fenn. 163: 1—40.
- TARVASMÄKI, P. 1977. Puu- ja metsikkötunnuksiin perustuva sädekasvu. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 24 s.
- TIIHONEN, P. 1977. Kuusen kasvu kohonnut, männyn ja koivun ei. Metsälehti 36.
- VUOKILA, Y. 1960. Männyn kasvusta ja sen vaihtelusta harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. Summary: On growth and its variations in thinned and unthinned scots pine stands. Commun. Inst. For. Fenn. 52.7: 1—38.
- 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Lyhennelmä: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Commun. Inst. For. Fenn. 60.4: 1—86.
- 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. Folia For. 247: 1—24.
- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Summary: Selective thinning from above as factor of growth and yield. Folia For. 298: 1—17.

ODC 564:566--015
ISBN 951-40-0354-3
ISSN 0015-5543

MIELIKÄINEN, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. *Folia For.* 363: 1—15.

The predictability of tree growth is discussed on the bases of 8 pine and 12 spruce sample plots. The size of the tree, the basal area of the surrounding trees and the grade of thinning are the most significant variables in the increment prediction functions of individual trees. The models derived are not good enough to be used as a reliable guide in the marking of trees for thinning. The functions are applicable in growth simulations for the construction of growth and yield tables.

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

ODC 564:566--015
ISBN 951-40-0354-3
ISSN 0015-5543

MIELIKÄINEN, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. *Folia For.* 363: 1—15.

The predictability of tree growth is discussed on the bases of 8 pine and 12 spruce sample plots. The size of the tree, the basal area of the surrounding trees and the grade of thinning are the most significant variables in the increment prediction functions of individual trees. The models derived are not good enough to be used as a reliable guide in the marking of trees for thinning. The functions are applicable in growth simulations for the construction of growth and yield tables.

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

ODC 564:566--015
ISBN 951-40-0354-3
ISSN 0015-5543

MIELIKÄINEN, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. *Folia For.* 363: 1—15.

The predictability of tree growth is discussed on the bases of 8 pine and 12 spruce sample plots. The size of the tree, the basal area of the surrounding trees and the grade of thinning are the most significant variables in the increment prediction functions of individual trees. The models derived are not good enough to be used as a reliable guide in the marking of trees for thinning. The functions are applicable in growth simulations for the construction of growth and yield tables.

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

ODC 564:566--015
ISBN 951-40-0354-3
ISSN 0015-5543

MIELIKÄINEN, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. *Folia For.* 363: 1—15.

The predictability of tree growth is discussed on the bases of 8 pine and 12 spruce sample plots. The size of the tree, the basal area of the surrounding trees and the grade of thinning are the most significant variables in the increment prediction functions of individual trees. The models derived are not good enough to be used as a reliable guide in the marking of trees for thinning. The functions are applicable in growth simulations for the construction of growth and yield tables.

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

- No 319 Ferm, Ari & Pohtila, Eljas: Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoittuminen auratuilla metsänuudistusaloilla 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.
- 1978 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: Väliavarastoinnin 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 sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp.
- No 345 Metsätilastollinen 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 kuormittumisen mittausmahdollisuudet. Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers.
- No 348 Löyttyniemi, Kari: Metsänlannoituksen vaikutuksesta ytimenävertäjiin (*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. Metsälöötökseen 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.
- No 360 Jakkila, Jouko & Pohtila, Eljas: Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa. Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland.
- No 361 Kyttälä, Timo: Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa. Aspects of work organizing in logging.
- No 362 Kukkola, Mikko: Lannoituksen vaikutus eri latvuserosten puiden kasvuun mustikka-tyypin kuusikossa. Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site.
- No 363 Mielikäinen, Kari: Puun kasvun ennustettavuus. Predictability of tree growth.
- No 364 Koski, Veikko & Tillqvist, Raili: Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees.
- No 365 Tervo, Mikko: Metsänomistajaryhmittäiset hakkuut ja niiden suhdanneherkkyys Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1955—1975. The cut of roundwood and its business cycles in Southern and Northern Finland by forest ownership groups, 1955—1975.