

FOLIA FORESTALIA 448

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1980

YRJÖ VUOKILA

KASVATUSTIHEYDEN VAIKUTUS
ISTUTUSKUUSIKON KASVUUN JA
TUOTOKSEEN

THE DEPENDENCE OF GROWTH AND
YIELD ON THE DENSITY OF SPRUCE
PLANTATIONS IN FINLAND

- 1979
- No 380 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Suomen metsävarat lääneittäin 1971—1976. Forest resources in Finland 1971—1976 by counties.
- No 381 Hyppönen, Mikko & Norokorpi, Yrjö: Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa. The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland.
- No 382 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla. Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands.
- No 383 Sirén, Matti, Vuorinen, Heikki & Sauvala, Kari: Pientraktorien heilunta. Low-frequency vibration in small tractors.
- No 384 Löyttyniemi, Kari & Rousi, Matti: Lehtipuutaimistojen hyönteistuhoista. On insect damage in young deciduous stands.
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen. Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys. Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.
- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuodistusaloilta ja metsiteillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76. Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesimyyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv. 1973—76 Suomessa. Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.), in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoittamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla. Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat.
- No 391 Valtonen, Kari: Loppukäyttötiedot saha- ja puulevyteollisuuden markkinoinnissa. End-use information for marketing in sawmill and wood-based panel industries.
- No 392 Isomäki, Antti: Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon. The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand.
- No 393 Kurkela, Timo: *Lophodermium seditiosum* Minter et al. -sienen esiintyminen männyn karisteen yhteydessä. Association of *Lophodermium seditiosum* Minter et al. with a needle cast epidemic on Scots pine.
- No 394 Rikala, Risto: Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla. The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery.
- No 395 Löyttyniemi, Kari, Austarå, Øystein, Bejer, Broder & Ehnström, Bengt: Insect pests in forests of the Nordic Countries 1972—1976. Tuhohönteisten esiintyminen Pohjoismaiden metsissä 1972—1976.
- No 396 Silfverberg, Klaus: Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan booripuutosalueella. Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland.
- No 397 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1976 (1964—1973). Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1976 (1964—1973) by districts.
- No 398 Lehto, Jaakko: Metsäalan koulutus metsäalan organisaatioiden arvioimana. Forest education evaluated by forestry organizations.
- No 399 Jokinen, Katriina & Tamminen, Pekka: Tyvilahoisten kuusikoiden jälkeen istutetuissa männyn taimistoissa esiintyvät sienituhot Keski-Satakunnassa. Fungal damage in young Scots pine stands replacing butt rot-infected Norway spruce stands in SW Finland.
- No 400 Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsäntutkimuslaitoksen metsänlannoitustutkimuksen seminaari 15. 2. 1979. Results and tasks in forest fertilization research. Proceedings of the Finnish Forest Research Institute symposium on forest fertilization research 15. 2. 1979.
- No 401 Mielikäinen, Kari: Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon. The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand.

FOLIA FORESTALIA 448

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Yrjö Vuokila

KASVATUSTIHEYDEN VAIKUTUS ISTUTUSKUUSIKON
KASVUUN JA TUOTOKSEEN

The dependence of growth and yield on the density of spruce
plantations in Finland

VUOKILA, Y. 1980. Kasvatustiheyden vaikutus istutuskusikon kasvuun ja tuotokseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. *Folia For.* 448:1—15.

Tutkimuksessa tarkastellaan v. 1979 suoritettujen uusien mittausten antamia tuloksia Kymi Kymmenen omistamalla Nynäsin metsäalueella sijaitsevista istutuskusikoiden harvennuskokeista, joiden tarkoituksena on selvittää puustopääoman (kasvatustiheyden) vaikutusta metsikön kasvuun ja tuotokseen.

Kokeet perustettiin v. 1961—62. Viime mittaukseen mennessä kokeet olivat kestäneet 17 vuotta. Kokeisiin sisältyy neljä käsittelyä kahdeksan kertaa toistettuina. Koaloja on siten kaikkiaan 32. Vuonna 1979 puuston valtapituus oli 20—23 metriä.

Kun luonnontilaisen puuston pohjapinta-alaa (maksimia) merkitään luvulla 100, muita tutkittavia puustopääomatasoja kuvaavat suhteelliset arvot 87, 76 ja 62.

Kasvatustiheys ei vaikuttanut merkittävästi valtapituuden kehitykseen. Myös pohjapinta-alan kokonaiskasvu oli kasvatustiheydestä riippumaton lehtomaisilla kasvupaikoilla. Mustikkatyyppillä oli todettavissa lievä kasvutappio.

Alhaisin puustopääomataso (62 % maksimista) merkitsi kasvupaikan mukaan vaihdellen 5—10 %:n tilavuuskasvutappioita ensiharvennuksen jälkeen. Kierroajan mittakaavassa tappio on kuitenkin selvästi tätä pienempi.

Mitä alhaisempi on kasvatustiheys, sitä nopeammin puusto järeyyty ja sitä kookkaampia järeimmät puut ovat. Tuotetun puuston rakenteesta tukkipuun osuus oli toistaiseksi 8—11 prosenttisyyskoko suurempi 62—76 %:n kasvatustiheyksillä tiheämpiin (100—87 %) verrattuina. Käsittelyn seurauksena tapahtuu voimakasta siirtymistä keskivahvoista läpimittaluokista järeämpiin.

The paper presents results obtained in 1979 from experiments in spruce plantations near the town of Heinola in Southern Finland. The purpose of the experiments is to study the effect of stand density on the growth and yield of spruce plantations on medium and good sites.

The experiments were established in 1961—62. So far, results are obtainable for the 17-year period after the first thinning. The experiments include 8 replications of 4 treatments (32 sample plots). In 1979 the dominant height was 20—23 m.

If the basal area of the unthinned plots is 100, the relative densities studied are 87, 76 or 62 of this maximum. In each treatment the growing stock is maintained at the constant level in relation to the unthinned plots.

The density has had no significant effect on the development of dominant height during the 17-year period after the first thinning. No differences in the development of basal area per ha have been detected on the best sites. On the medium site a minor loss of basal area growth could be noted.

The lowest density (62 % of the reference) has brought about a 5—10 % reduction in the volume growth during the 17-year period. On the scale of the whole rotation, however, the growth loss is considerably smaller.

With lower densities, the production of larger dimensions takes place more readily and larger trees are found in the stand at any given age. The proportion of sawtimber of the total production has been found to be 8—11 %-units higher as a result of the lower densities (62—76 % of the reference) in comparison with the higher (87—100 %) ones. As result of the treatment, the proportion of medium dimensions is decreased in favour of the largest ones.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. TUTKIMUSAINEISTO	5
3. PUUSTOPÄÄOMAN VAIKUTUS KASVUUN	6
31. Valtapituus	6
32. Pohjapinta-ala	7
33. Tilavuus	9
4. PUUSTOPÄÄOMAN VAIKUTUS TUOTOKSEEN	10
41. Järeytyminen	10
42. Tukkipuun tuotos	12
5. TIIVISTELMÄ	13
KIRJALLISUUS	15
SUMMARY	15

1. JOHDANTO

Puuston kasvuun ja kehitykseen vaikuttavat lukuisat tekijät (V u o k i l a 1980, s. 7—9). Merkittävin niistä on kasvupaikan hyvyys, mikä puolestaan riippuu maan ominaisuuksista ja paikallisista ilmastollisista olosuhteista.

Puustossa itsessään ovat sen kasvuun ja kehitykseen vaikuttavista tekijöistä merkittävimpää rodulliset ominaisuudet, jotka paljolta säätelevät puiden reagointia elinympäristöönsä. Puuston kehitysrytmi riippuu ratkaisevasti siitä, minkälaiset valovaatimukset puulajilla ovat. Ns. valopuulajit kehittyvät toisin kuin ns. varjopuulajit, minkä lisäksi on erilaisia välimuotoja näiden kahden äärimmäisyyden rajoissa.

Ihmisenkin keinot säädellä puuston kasvutapahtumaa ovat monet. Niillä voidaan tavoitella tuotannon määrän lisäämistä, mistä ovat esimerkkeinä ojitus ja lannoitus. Varsinaisen metsänhoidon keinoin pyritään taas suuntaamaan kasvupaikan täysi tuotantokyky ihmisen kannalta edullisimpaan suuntaan. Tämä tapahtuu lähinnä harvennushakkuiden välityksellä, ts. puuston kasvustiheyttä säätelemällä. Kasvatushakkuiden tarkoituksena on järeyttää puustoa niin paljon kuin mahdollista korkeimmasta saavutettavissa olevasta tilavuuskasvusta tinkimättä. Harvennushakkuin ei voida — tiettyjä vähämerkityksisiä poikkeuksia lukuun ottamatta — lisätä kiertoajan kokonaiskasvua (V u o k i l a ja V ä l i a h o 1980, s. 34—36). Sitäkin suurempi on vaara, että harvennushakkuin aiheutetaan tilavuuskasvutappioita.

Suomen metsien perusheikkous on yleinen vajaapuustoisuus (V u o k i l a 1980, s. 128—130). Se on syntynyt usein toistuneista harvennuksista, jotka ovat pienentäneet puustopääoman kasvutappiota synnyttävälle tasolle. Hoitavaksi tarkoitettu toimenpide, harvennus, on vajaapuustoisuutta synnyttäessään kielteinen, äärimmäistapauksessa metsänhävitystä. Harvennusta ei tee metsänhoidolliseksi yksin se, että on käytetty alaharvennusperiaatetta.

Metsänkasvatuksessa on näin ollen puustopääoman kontrollilla tärkeä merkitys. Kasvatustiheyden säätelystä on ns. harvennusmalleilla keskeinen asema. Ne on pyritty suunnittelemaan siten, että puustopääoman osalta kasvutappio normaalisti vältetään. Puustopääoman valvontaan ovat viime vuosina tuoneet oman ongelmansa ajourat, joita tarvitaan harvennuspuun koneelliseen korjuuseen. Liian tiheään asetetut ajourat johtavat puustopääoman senasteiseen alenemiseen, että syntyy kasvuvajetta. Vauriot lisääntyvät ajouraverkon tihenemisen myötä ja heikentävät edelleen tuotantoedellytyksiä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on antaa kestokokeisiin perustuvaa lisätietoa siitä kasvatusmetsikön puustopääomatasosta, joka takaa korkeimman mahdollisen tilavuuskasvun hehtaaria kohden. Tämän ohella pyritään esittämään, mitä muita puuntuotannollisia vaikutuksia vaihtelevilla kasvatustiheyksillä on. Tutkimustulokset perustuvat istutuskuusikoissa tuoreilla kankailla maan eteläosassa sijaitseviin kestokoeloihin.

2. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusaineisto on sama, jonka perusteella kirjoittaja (V u o k i l a 1975, s. 7—11) on aikaisemmin julkaissut nuoren istutuskuusikon harvennusta puun- tuotannollisena ongelmana käsittelevän tutkimuksen.

Aineisto käsittää 5 istutuskuusikkoa, jotka sijaitsevat Kymi Kymmenen omistamalla Nynäsin metsä- alueella Heinolan läheisyydessä. Yksi metsikkö edustaa hyvänpuoleista mustikkatyyppiä, muut neljä käenkaali- mustikkatyyppejä, kenties jokin niistä lehtoakin. Pit- uusboniteettiasteikossa (V u o k i l a ja V ä l i a h o 1980, s. 23—24) H_{100} -indeksi vaihtelee rajoissa 28—34 m. Tuloksia tarkasteltaessa erotetaan usein mustikka- tyyppejä edustava koe 1 paremmilla kasvupaikoilla sij- aitsevista kokeista 2—5.

Tutkimusmetsikköihin perustettiin vuosina 1961—62 kestokoealasarjoja, joihin sisältyy 4 erilaista harven- nuskäsittelyä 8 kertaa toistettuina. Koealoja on siis kaikkiaan 32.

Kokeita perustettaessa pyrittiin käyttämään seuraavia ensiharvennusvaihtoehtoja.

Käsittelyn tunnus	Käsittelyn voimakkuus	Poistettu pohjapinta- ala, %	Jäljelle jäävä puustopää- oma, %
0	käsittelemätön	0	100
1	lievä	10	90
2	voimakas	25	75
3	erittäin voimakas	40	60

Koealat harvennettiin toisen kerran vuosina 1966— 67, 5 vuotta ensimmäisen harvennuksen jälkeen, ja kolmannen kerran vuosina 1973—74, 12 vuoden kulut- tua kokeiden perustamisesta.

Kummassakin jatkoharvennuksessa pyrittiin puusto säilyttämään asetelmassa esitetyillä vaihtelevilla puusto- pääomatasoilla, 100—60 %. Tosiasiassa käsittelyssä ei aluksi toteutunut täysin suunniteltu porrastus, mutta jatkokäsittelyiden avulla se on likimain saatu aikaan kokeen koko kestoaikana.

Puustopääoman todellinen porrastus vuosiin 1978— 79 mennessä, jolloin suoritettiin toistaiseksi viimeinen ja tämänkin tutkimuksen taustana oleva mittaus, käy ilmi seuraavasta asetelmasta. Kokeen perustamisesta viime mittaukseen oli kulunut 17 vuotta (kuvat 1 ja 2).

Käsittely	Suhteellinen puustopääoma		
	Kokeen alussa	17 v:n kuluttua	Keskimäärin
0	100	100	100
1	88	85	87
2	78	74	76
3	66	58	62

Lievin käsittely on ollut todennäköisesti pakko pitää metsänhoidollisista syistä koko ajan jonkin verran voi- makkaampana kuin alunperin oli suunniteltu. Toi- saalta ei ole kenties rohjettu poistaa ensimmäisessä voimakkaimmassa käsittelyssä niin paljon, 40 %, kuin oli tarkoitus. Voimakkuuden tarkistuskin on silloi- sissa oloissa ollut vaikeampaa kuin nykyisin. Kokei-

den nykyvaiheessa voimakkaammin käsitellyt koealat ovat kuitenkin jonkin verran harvemmassa asennossa kuin mitä alkuperäinen suunnitelma edellyttäisi.

Kokeiden koko kesto aika huomioon ottaen poikkeaa suunnitelmasta on kuitenkin vain 1—3 prosenttiyk- sikon suuruinen.

Käsitellyt ovat koko ajan olleet alaharvennusta. Kookkaimpia puita on poistettu vain siinä määrin kuin se tasaisen kasvatusasennon saavuttamiseksi on alahar- vennuksessa normaalisti välttämätöntä.

Harvennuspuu on korjattu sellaisin ihmistyövaltai- sin menetelmin, ettei siitä ole aiheutunut harhaa tut- kimuksen kasvutuloksiin. Kasvu- ja kehityserot voivat johtua vain kasvatustiheyden vaihteluista.



Kuva 1. Kokeen 3 luonnontilainen koeala d syksyllä 1979. Elävän puuston ikä 53 v, runkoluku 1620 kpl/ha, valtapituus 22,6 m, keskiläpimitta 23,9 cm, pohjapinta-ala 47 m²/ha ja tilavuus 455 m³/ha. Val- lokuva Simo Hannelius.

Fig. 1. The unthinned plot d of experiment 3 in the autumn 1979. Age 53 years, number of living trees 1620 per ha, dominant height 22,6 m, mean diameter 23,9 cm, basal area 47 m²/ha and cubic volume 455 m³/ha. Photo Simo Hannelius.



Kokeiden kohteena olevissa istutuskuusikoissa esiintyy jonkin verran tyvilahoisuutta, kuten on tavallista. Lahovikaisuus tuskin vaikuttaa kuitenkaan toistaiseksi kokeiden antamiin tuloksiin, ei ainakaan siten, että se kohdistuisi tiettyyn käsittelyyn ja asettaisi sen toisia heikompaan lähtötilanteeseen.

Todettakoon lisäksi, ettei kokeilla — sen voimakkaammin käsitellyillä koaloillakaan — ole sattunut luonnontuhoja. Tämä ei välttämättä merkitse sitä, ettei esim. voimakkain käsittely aiheuttaisi tuhoja laajoilla metsikkökuvioilla. Koalathan ovat vaippoineen vain 15—20 aarin kokoisia.

Kuva 2. Kokeen 3 voimakkaimmin käsitelty koala h syksyllä 1979. Puuston ikä 53 v, runkoluku 430 kpl/ha, valtapituus 23,9 m, keskiläpimitta 29,9 cm, pohjapinta-ala 28 m²/ha ja tilavuus 313 m³/ha. Valokuva Simo Hannelius.

Fig. 2. The most heavily thinned plot h of experiment 3 in the autumn 1979. Age 53 years, number of trees 430 per ha, dominant height 23,9 m, mean diameter 29,9 cm, basal area 28 m²/ha, and cubic volume 313 m³/ha. Photo Simo Hannelius.

3. PUUSTOPÄÄOMAN VAIKUTUS KASVUUN

31. Valtapituus

Valtapituudella tarkoitetaan hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituutta. Alaharvennustyyppiä oleva puuston käsittely ei tavallisesti vaikuta valtapituuteen. Jos siis valtapituusmääritykset ovat oikeita ja havainnot edustavia, eri käsittelyiden väliset erot johtuvat yksinomaan puuston vaihtelevasta pituuskasvureaktiosta kasvuympäristönsä muutoksiin.

Valtapituus on kuitenkin puustotunnus, jonka lukuarvoon voivat luontaisen vaihtelun ohella vaikuttaa mittausvirheet ja laskentamenettely varsin ratkaisevasti. Pituuskäyrä, jonka piirtämistä valtapituuden määrittäminen edellyttää, on nimenomaan puuston järeimmän osan kohdalta usein varsin subjektiivinen tasoitettava. Objektiivisuutta on pyritty lisäämään antamalla pituuskäyrän laskenta tietokoneohjelman toteutet-

tavaksi. Pituuskäyrän laadintaan tarkoitettut yhtälöt ovat kuitenkin yleensä niin jäykkiä, että ne voivat yksittäistapauksissa antaa luonnonvastaisiakin tuloksia. Tietokoneen laskema pituuskäyrä on tämän vaaran välttämiseksi ihmisen tarkastettava. Tällöin saatetaan joutua subjektiiviseen ratkaisuun, joka on äärimmäistapauksissa kuitenkin parempi kuin näennäisesti objektiivisempi menettely.

Nämä näkökohdat on pidettävä mielessä, kun tarkastellaan nyt kysymyksessä olevien kokeiden perusteella valtapituuden kehitystä eri kasvatustiheyksien vallitessa. Aikaisemmin (V o k i l a 1975) esitetyt tutkimustulokset ovat olleet käsivaraisesti tasoitettuihin pituuskäyriin perustuneita. Nyt esitettävät uudet tulokset ovat kokeiden koko kestoajalta (17 vuodelta) tietokonelaskennalla saatuja, tosin edellä mainitulla tavalla visuaalisesti tarkastettuja.

Seuraava asetelma esittää valtapituuden kehitystä 12 vuoden (ks. V u o k i l a 1975, s. 13) ja 17 vuoden kuluessa kokeiden perustamisesta:

Käsittely	Valtapituuden lisäys, m	
	12 vuodessa	17 vuodessa
0	4,9	7,1
1	5,2	7,5
2	5,5	7,4
3	5,5	7,7

Asetelman mukaan valtapituuden kehitys olisi lievästi sitä nopeampaa mitä harvemmassa asennossa puustoa kasvatetaan. Kokeiden perustamista seuraavan 17-vuotiskauden nyt esitettävät uudet mittaustulokset ovat kuitenkin siinä mielessä epä johdonmukaisia, että lievästi käsitellyn puuston valtapituus on lisääntynyt lähes yhtä paljon kuin voimakkaimmin harvennetun. Käsitelyjen väliset asetelmasta ilmenevät erot eivät olekaan tilastollisesti merkitseviä, vaan johtuvat pääosaltaan luontaisesta vaihtelusta. Oma vaikutuksensa voi olla edellä kuvatuilla mittaus- ja laskentavirheillä.

Asetelman luvuista voidaan kuitenkin luotettavasti päätellä, ettei puustopääoman maldattaminen luonnontilaisen metsikön tasolta 60 %:iin siitä heikkennä valtapituuden kehitystä. Jos todellista eroa on, se on voimakaiden harvennusten eduksi.

Tätä tutkimustulosta tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että kysymyksessä ovat istutusmetsiköt, joissa myös käsittelemätön osa on saanut kehittyä aluksi harvassa asennossa. Käsittelemättömienkin puustojen latvukset ovat siis olleet aikanaan kookkaita ja yhteyttämiskykyisiä. Tätä taustaa vasten on ymmärrettävää, että luonnontilaiset puustot ovat kyenneet ainakin likimain yhtä hyvään pituuskehitykseen kuin hoidetut puustot. Tulokseen vaikuttaa myös se, että kysymyksessä on varjopuulaji, kuusi.

Kasvatustiheys voi tyrehdyttää pituuskasvua nyt havaittua enemmän tapauksissa, joissa lähtötiheys on suuri, ja erityisesti tasaikäisissä luonnontilaisissa. Tiheä luonnontaimisto voi olla niin tasapäinen, että puiden välinen erilaistuminen ei pääse tapahtumaan normaalisti. Tästä voi seurauksena olla pituuskasvun ja muunkin kehityksen jyrkkä heikkeneminen, joskus suoranaainen "kasvunseisaus". Tällaisen tiheikön harvennus saa tietyn sopeutumiskauden jälkeen aikaan erittäin huomattavan

myönteisen pituuskasvureaktion.

Kaiken kaikkiaan käsittelyn voimakkuus, ts. puustopääoma, ei näytä vaikuttavan olennaisesti puuston pituuskasvuun, jos lähtötiheys on alunperin harva. Harvennushakuita suoritettaessa ei tarvitse ottaa huomioon sitä mahdollisuutta, että puuston pituuskehitys tyrehtyisi. Mitä tiheämpänä puustoa on pitkään kasvatettu, sitä todennäköisempää on, että harvennus saa aikaan myönteisen pituuskasvureaktion.

32. Pohjapinta-ala

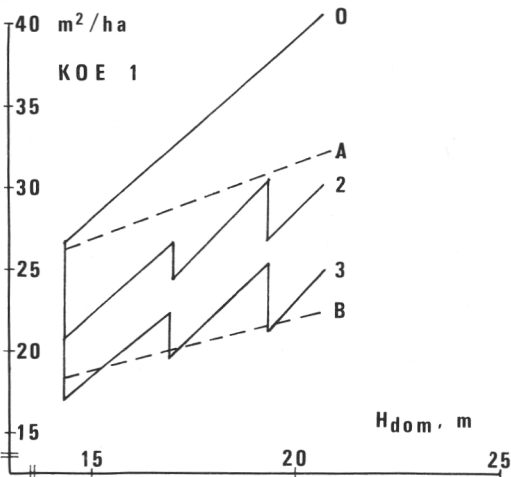
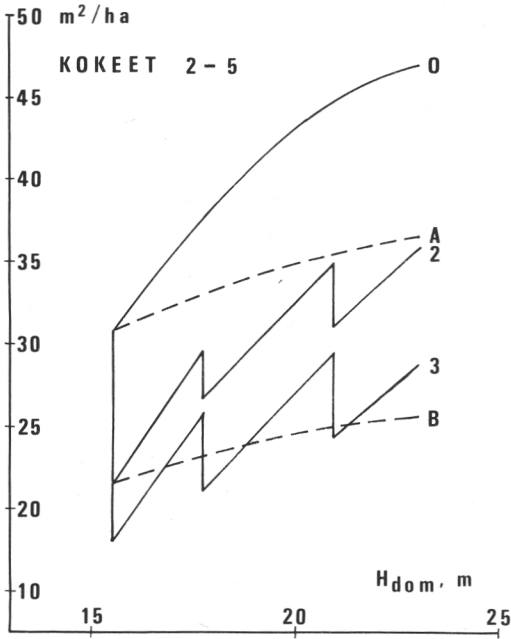
Pohjapinta-alalla tarkoitetaan puiden rinnankorkeudelta kuoren päältä mitattujen poikkileikkauspinta-alojen summaa neliömetreinä hehtaaria kohden.

Pohjapinta-alan kehitystä mustikkatyyppiä edustavassa kokeessa 1 ja lehtomaisen kasvupaikkojen kokeiden 2—5 tähänastisena kestoaikana havainnollistaa kuva 3. Kuvassa käyrä 0 tarkoittaa luonnontilaisten koealojen elävän puuston pohjapinta-alaa, jota kutsutaan itseharvenemisrajaksi. Se osoittaa puuntuotannon maksimitason ilman harvennuksia. Numerolla 2 merkitty viiva tarkoittaa nyt kysymyksessä olevien kestokokeiden voimakkaan käsittelyn ja numerolla 3 merkitty erittäin voimakkaan käsittelyn mukaista pohjapinta-alan kehitystä. Katkoviivana piirretty käyrä A on otettu V u o k i l a n ja V ä l i a h o n (1980) tutkimuksesta ja tarkoittaa viljelymetsien uusien harvennusmallien mukaista pohjapinta-alasuositusta ennen harvennusta, käyrä B taas vastaavaa suositusta harvennuksen jälkeen.

Itseharvenemisraja on istutuskuusikoissa seuraavan asetelman mukainen. Sen yli ei talousmetsän pohjapinta-ala saisi koskaan nousta.

Kasvupaikka- luokka H ₁₀₀ (Metsätyyppi)	15	Valtapituus, m		
		17,5	20	22,5
27 (MT)	28,0	33,5	39,0	(42,0)
30—33 (OMT+)	29,0	37,0	43,0	46,0

Kuvan 3 mukaan tarkasteltavina olevien kestokokeiden alhaisin tiheys (tavoite 60 % luonnontilaisesta) on harvennusmallien pääomaohjeiden perusteella arvostellen äärimmäistaso. Tässä käsittelyasteessa operoidaan pääomilla, jotka ovat keskimäärin sel-



Kuva 3. Puuston pohjapinta-alan keskimääräinen kehitys luonnontilaisilla (0), voimakkaasti (2) ja erittäin voimakkaasti (3) käsitellyillä koelohjoilla kokeissa 1 ja kokeissa 2—5. Katkoviivat A ja B viittaavat Vuokilan ja Väliähön (1980) vastaavaan harvennusmalliin.

Fig. 3. The average development of basal area per ha on unthinned (0), heavily (2) and very heavily (3) thinned plots in experiment 1 and in experiments 2—5. The curves A and B refer to the corresponding thinning model of Vuokila and Väliäho (1980).

västi pienempiä kuin harvennusmalleissa. Voimakkain käsittely on johtanut ensiharvennuksessa puustopääoman alenemiseen mallien vaatimustason alapuolelle. Yleensä on puustopääoma pysynyt kuitenkin mallien rajaamalla ”hyväksyttävällä” tiheysalueella. Voidaan sanoa, että käsittely 3 on hädin tuskin käytännössä hyväksyttävä nykyohjeiden mukaan, mutta harvennusmallien perusidean kannalta se operoi liian alhaisella puustopääomatasolla.

Käsittely 2, jonka tavoitetaso on 75 % luonnontilaisen puuston pohjapinta-alasta, on johtanut harvennusmalleja keskimäärin jonkin verran korkeampaan puustopääomatasoon. Kun käsittely 3 on pohjapinta-alan kehityksen perusteella arvostellen äärimmäiskäsittely, käsittelyä 2 voidaan pitää verraten konservatiivisena. Edelleen voidaan karkeasti todeta, että Vuokilan ja Väliähön (1980) harvennusmallit vastaavat puustopääoman perusteella arvostellen käsittelyiden 2 ja 3 keskiarvoa. Harvennusmalleissa tosin oletetaan käsittely alkavaksi aikaisemmin kuin tarkasteltavissa kestokokeissa ja keskittyvän kolmeen suhteellisen voimakkaaseen (30 %) harvennukseseen. Kestokokeiden tarkoitus on ollut vain pääomaa tietyllä vakiotasolla pitämällä selvittää sen merkitystä puuston kasvuun ja tuotukseen.

Seuraava asetelma osoittaa koko aineiston keskiarvona pohjapinta-alan kasvun 12- ja 17-vuotiskausina vaihtelevan käsittelyn jälkeen:

Käsittely	Pohjapinta-alan kasvu, m ² /ha	
	12 vuodessa	17 vuodessa
0	14,3	18,5
1	14,3	18,1
2	14,3	18,6
3	14,0	18,3

Harvennuksen jälkeen puu tukee tyveään (Vuokila 1960). Osittain johtuneen juuri tästä, että pohjapinta-alan kasvu on varsin väljissä rajoissa riippumaton puustopääomasta, kuten asetelma osoittaa. Mitä parempi on kasvupaikka, sitä voimakkaampaa harvennusta puusto sietää kasvutappioita, kuten seuraava asetelma osoittaa:

Käsittely	Pohjapinta-alan kasvu 17 vuodessa, m ² /ha	
	Koe 1	Kokeet 2—5
0	15,3	20,4
1	15,7	19,5
2	15,3	20,6
3	14,6	20,6

Mustikkatyyppiä edustavassa kokeessa 1 (ks. myös kuva 4) on syntynyt arviolta 5 %:n kasvutappio. Vaikka ero ei ole tilastollisesti merkitsevä, mittaustuloksista ilmenee, että käsittelyn 3 kohteeksi joutuneet puustot ovat kasvaneet koko ajan keskimäärin heikommin kuin muut. Lievä kasvutappio voi siis olla todellinen. Lehtomaisilla kankailla (kokeet 2—5) kasvutappiota ei varmasti ole syntynyt.

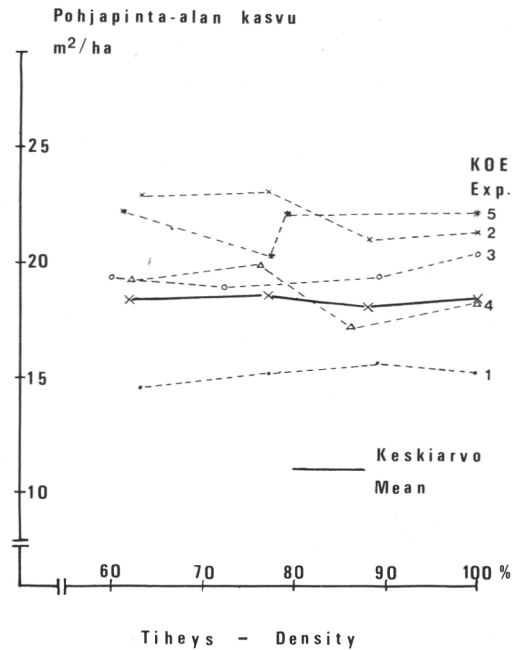
Koemetsiköiden koko tähänastisen elämän aikana — siis myös kokeen perustamista edeltävä aika mukaan lukien — pohjapinta-alan kokonaiskasvu on ollut seuraavan aselman osoittama:

Käsittely	Pohjapinta-alan kokonaiskasvu, m ² /ha	
	Koe 1	Kokeet 2—5
0	42,0 (41,0)	50,6 (48,6)
1	42,4	46,9
2	42,9	51,7
3	41,9	50,4

Koalojen lähtöpuustot ovat olleet siinä määrin erilaisia, että myös tuloksissa esiintyy selittämätöntä vaihtelua. Joka tapauksessa on ilmeistä, ettei kokeen 1 edellä todettu lievä kasvutappio käsittelyn 3 seurauksena kiertoajan puitteissa merkitse mitään. Luonnontilaisen (0) puuston kohdalla suluisa annetut luvut tarkoittavat kokeen nykyvaiheessa elossa olevaa puustoa. Itseharveneminen on ollut vähäinen, vain 1—2 m²/ha, mutta se vaikuttaa niin paljon, että luonnontilaisen elävän puuston pohjapinta-alan kokonaiskasvu on pienempi kuin harvennuksin käsiteltyjen. Ero on pienuudestaan huolimatta todennäköisesti merkitsevä.

Luonnontilaisen puuston itseharvenemisen vähäisyys, 2—4 %, on pantava myönteisenä merkille. Tarkasteltavina olevissa metsiköissä istutustiheys oli 2500 kpl/ha. Vaikka runkoluku pieneni noin 10 % varhaisessa vaiheessa, se on ollut kuitenkin suurempi kuin nykytaimistojen lähtötiheys. Istutusmetsiköissä ei tarvinne pelätä syntyvän niin tehokasta itseharvenemistä kuin mitä I l v e s s a l o n (1920) luontaisesti syntyneiden kuusikoiden kasvu- ja tuotostaulukot osoittavat. I l v e s s a l o n (mt.) mukaan luonnonkuusikoiden itseharveneminen on nykyisin kiertoaikaosuutuksin 17—26 % puuston tilavuudesta ja selvästi enemmän pohjapinta-alasta.

Harvennusvapaata kuusen viljelytaloutta voitaneen harjoittaa tarvitsematta pelätä



Kuva 4. Kasvustiheyden vaikutus pohjapinta-alan kasvuun ensiharvennusta seuraavana 17-vuotiskautena eri kokeissa.

Fig. 4. The effect of stand density on the basal area increment during the 17-year period after the first thinning in each experiment.

luonnonpoistuman muodostuvan ratkaisevan suureksi, jos lähtötiheys on noin 2000 kpl/ha. Harvennusten motiiveina ovat lähinnä järeyskehityksen jouduttaminen, siitä johtuva kiertoajan lyheneminen, metsänomistajalle tarpeelliset hakkuutulot sekä teollisuuden raakapuun tarve.

33. Tilavuus

Tilavuudella tarkoitetaan puiden kuorellisten runkotilavuuksien summaa hehtaaria kohden.

Kokeiden 17-vuotisena kestoaikana tilavuuskasvu on ollut seuraavan aselman mukainen:

Käsittely	Tilavuuskasvu, m ³ /ha/17 v		
	Koe 1	Kokeet 2—5	Kokeet 1—5
0	200	291	273
1	207	273	260
2	208	293	276
3	185	278	260

Mustikkatyyppiä edustavassa kokeessa 1 käsittely 3, 62 %:n pohjapinta-alan taso,

on aiheuttanut runsaan 10 %:n tilavuuskasvutappion suhteessa lievemmin harvennetuihin puustonosiin. Käsittely 2, 76 %:n pohjapinta-alataso, on johtanut korkeimpaan mahdolliseen tilavuuskasvuun. Mustikkatyypillä kasvatustiheyden optimi sijaitsee siis mainittujen käsittelyiden rajaamalla alueella. Kun edellä todettiin uusien harvennusmallien (V u o k i l a ja V ä l i a h o 1980) olevan puustopääomavaatimuksiltaan käsittelyiden 2 ja 3 keskiarvo, voidaan päätellä, että kyseisissä malleissa on onnistuttu löytämään korkeimpaan mahdolliseen kasvuun johtava harvennusohjelma.

Lehtomaisella kasvupaikalla, kokeissa 2—5, ei voimakkaimman käsittelyn aiheuttamasta kasvutappiosta ole tarkasteltavan kestokoeaineiston pohjalta yhtä selvää näyttöä kuin mustikkatyypillä. Jos tilavuuskasvutappiota syntyy käsittelyn 3 seurauksena, se on joka tapauksessa selvästi pienempi

kuin mustikkatyypillä. Asetelmassa on ero käsittelyiden 2 ja 3 välillä noin 5 % viimeksi mainitun tappioksi. Lievä kasvutappio vaikuttaa todennäköiseltä, kun muistetaan (ks. s. 00), että lehtomaisten kankaiden kokeissa oli puustopääomaa alennettu harvennusmalleihin nähdessä enimmänsä. Kasvupaikalla liepee kuitenkin merkitystä siten, että sen parantuksessa käsittelyn voimistamisen tilavuuskasvua pienentävä riski vähenee.

Kaiken kaikkiaan voidaan arvioida, että harvennuksin käsitellyissä istutuskuusikoissa korkein mahdollinen tilavuuskasvu saavutetaan 30—33 % alhaisemmalla, pohjapinta-alana ilmaistulla pääomalla kuin luonnontilaisissa hoitamattomissa puustoissa. Kasvatettava pääoma on siis 67—70 % maksimita. Kasvutappio on kuitenkin lehtomaisilla kankailla yllättävän vähäinen, kenties merkityksetönkin, vaikka pääoma alennetaan 60 %:n tasolle luonnontilaiseen verrattuna.

4. PUUSTOPÄÄOMAN VAIKUTUS TUOTOKSEEN

41. Järeytyminen

Kun kasvatustiheys vaikuttaa edellä kuvattun mukaisesti vain vähän tai ei lainkaan puuston tilavuuskasvuun, looginen johtopäätös on, että puusto järeyytyy sitä nopeammin, mitä alhaisempana puustopääoma säilytetään.

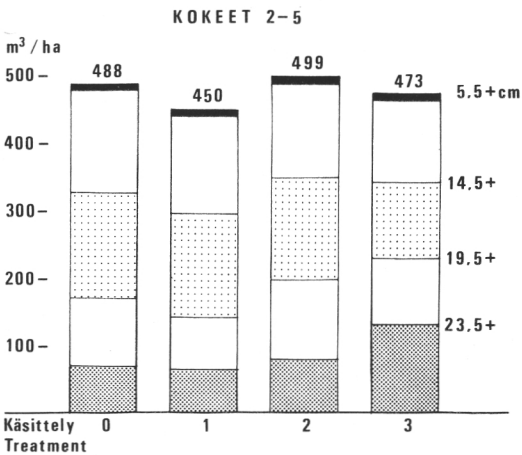
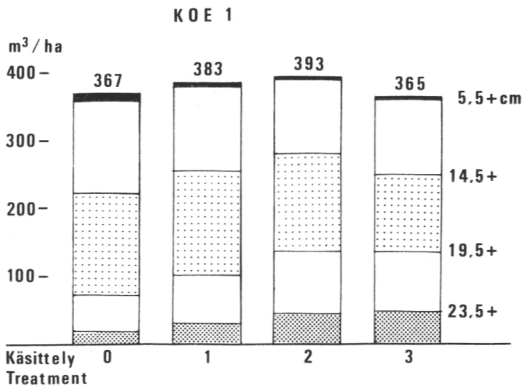
Järeytymiseen ei kuitenkaan vaikuta vain se, että kasvu säilyy muuttumattomana puustopääoman vaihtelusta huolimatta. Mitä voimakkaammin puustoa käsitellään, sitä enemmän poistetaan alaharvennusta sovellettaessa puita pienimmästä päästä ja sitä suurempi on näennäinen, vain käsittelystä johtuva järeytymisen.

Järeytymistä voidaan tarkastella esim. siten, että selvitetään, kuinka paljon on tietyn ajanjaksona syntynyt tukin tai pölkyn latvapäästä mitaten tiettyä minimiläpimittaa järeämpää puuta. Seuraavassa tarkastelussa on käytetty neljää vaihtelevaa minimivaatimusta: 5,5, 14,5, 19,5 ja 23,5 cm. Alin läpimitta, 5,5 cm, on ns. käyttöpuun minimivaatimus ja sitä pienempi osa runkoa on hukkapuuta. Järeän puun minimivaatimuk-

sena pidetään seuraavassa 14,5 cm latvasta mitattuna olettamatta, että tukille tulisi pituutta käytännössä edellytetty vähimmäismäärä. Järeimmät läpimittavaatimukset, 19,5 ja 23,5 cm, on valittu mielivaltaisesti, ja niiden tarkoituksena on valaista yksityiskohtaisesti järeysrakennetta.

Kuvassa 5 on esitetty em. minimivaatimuksia käyttäen tuotoksen järeysrakenteen tilavuusmitoin erikseen kokeelle 1 ja kokeille 2—5 yhteisesti. Tulokset eivät tarkoita ensiharvennusta seurannutta 17-vuotiskautta, vaan tutkimusmetsiköissä viime mittaukseen mennessä kaiken kaikkiaan tuotetun puuston järeysrakennetta. Mustikkatyypillä (koe 1) kysymys on noin 20 m:n valtapituusvaiheeseen mennessä tuotetun puuston rakenteesta. Lehtomaisella kasvupaikalla (kokeet 2—5) valtapituus on viime mittauksessa ollut noin 23 m.

Käyttöpuun (5,5 + cm) tuotoksessa ei kasvatustiheyksien välillä ole merkitseviä eroja. Erot selittyvät luontaisella vaihtelulla. Kun järeän puun läpimitan vähimmäisvaatimus on niinkin pieni kuin 14,5 cm, eivät käsittelystä aiheutuvat tuotoserot ole tilas-

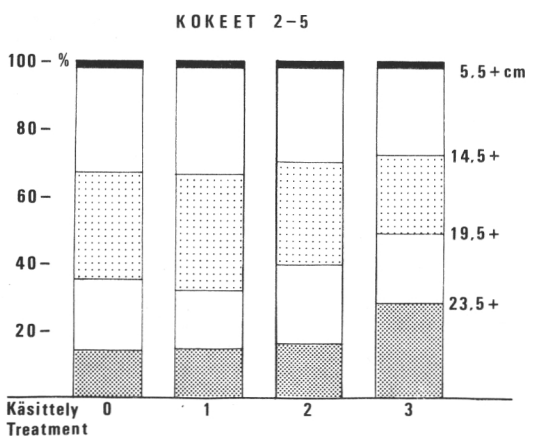
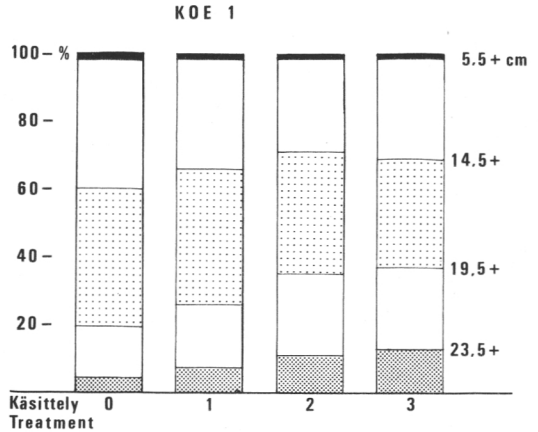


Kuva 5. Tutkimusmetsikössä 1 ja tutkimusmetsiköissä 2—5 syntymästä viime mittaukseen mennessä tapahtuneen kokonaistilavuuskasvun jakaantuminen vaihtelevin minimiläpimitoin ilmaistuihin järeysluokkiin (5,5—23,5 cm pölkyn latvasta kuoren päältä).

Fig. 5. The distribution of total volume growth into diameter classes of varying minimum requirement (5,5—23,5 cm top diameter above bark) during the stand life in experiment 1 and in experiments 2—5.

tollisesti merkitseviä. Varsinaiset erot käsittelyiden välillä ovat havaittavissa minimivaatimuksilla 19,5 ja 23,5 cm, etenkin viimeksi mainitulla. Mitä suurempi minimivaatimus asetetaan, sitä edullisemmiksi käyvät harvat kasvatustiheydet. Merkillepantavaa on, että ainakin hyvillä kasvupaikoilla (kokeet 2—5) on havaittavissa selvä järeytymisoero myös käsittelyiden 2 ja 3 välillä.

Jos verrataan keskenään toisaalta kokeen 1 käsittelyiden 0 ja 1 sekä toisaalta käsittelyiden 2 ja 3 välistä tuotossuhdetta minimiläpimitan ollessa 19,5 cm, todetaan viimeksi mainittujen tuottaneen toistaiseksi 60 % enemmän kuin edellisten. Vaatimuksen ollessa 23,5 cm tukin latvasta kaksi harvinta

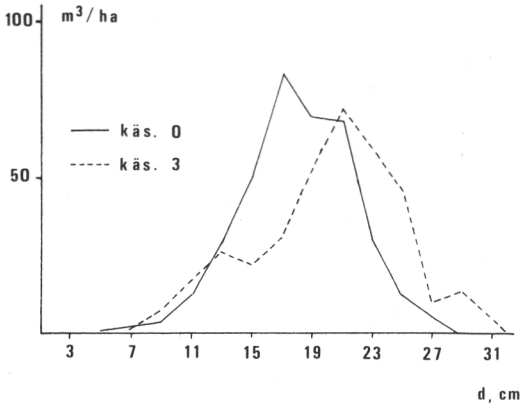


Kuva 6. Kuvaa 5 vastaava suhteellinen jakauma.
Fig. 6. The relative distribution corresponding to Fig. 5.

kasvatustiheyttä ovat tuottaneet tiheimpiin verrattuina kaksinkertaisen määrän. Kokeissa 2—5 vastaavat suhdeluvut ovat 37 ja 59 % harvojen kasvatustiheyksien eduksi.

Kuva 6 esittää vastaavaa järeysrakennetta suhteellisin luvuin, ts. tuotoksen tasoerot eliminoiden. Vertailun tulos ei olennaisesti muutu. Kahdella harvimmalla kasvatusohjelmalla on saavutettu toistaiseksi noin 70 % tuotoksesta järeänä puuna (14,5 + cm), kun vastaava osuus kahdella tiheimmällä kasvatusvaihtoehdolla on 65 %. Näin alhaisella läpimittatasolla eroa on siis vain 5 prosenttiyksikköä.

Kaikissa kokeissa keskimäärin on alhaisimmalla kasvatustiheydellä (62 %) kokonaistuotoksessa noin kaksinkertainen määrä yli 23,5 cm:n järeää puuta verrattuna kahteen tiheimpään kasvatusvaihtoehtoon.



Kuva 7. Kokeen 1 luonnontilaisen (0) ja erittäin voimakkaasti (3) käsitellyn puuston kokonaistilavuuskasvun jakautuminen rinnankorkeudelta mitattuihin läpimittaluokkiin tutkimusmetsikön koko elinaikana.
 Fig. 7. The distribution of total volume growth on the unthinned (0) and very heavily thinned (3) plots of experiment 1 into dbh. classes during the stand life.

Järeytymiseroa kahden äärimmäiskäsittelyn välillä kuvaa lisäksi kuva 7. Siinä on nähtävänä metsikön syntymästä viime mittaukseen mennessä tuotetun puuston jakautuminen rinnankorkeudelta mitattuihin 2 cm:n laajuisiin läpimittaluokkiin kokeessa 1.

Kasvatustiheys ei vaikuta ohuimpien läpimittaluokkien puiden tuotokseen. Nämä puut tuotetaan jo ensiharvennukseen mennessä, ts. ennen pääomaporrastusta. Kasvatushakkuiden avulla yleensä ja voimakkaimmilla niistä erityisesti vähennetään ns. keskivahvojen läpimittaluokkien tuotosta, mikä siirtyy kartuttamaan järeimpiä läpimittaluokkia. Tilavuusjakaantumisarja muodostuneen tällöin usein normaalijakaumasta poiketen kaksihuippuiseksi kuvan 7 osoittamaan tapaan.

Kuvan 7 havainnollistamalla siirtymällä on suuri vaikutus metsänkasvatuksen ekonomiaan. Se on hyvä syy keskitettyjen, voimakkaiden harvennusten suosimiseen ja näpertelevän käsittelyn välttämiseen. Voimakkaita harvennuksia ja mahdollisimman alhaista kasvatustiheyttä puoltavat myös ne tavanomaista suuremmat ja aikaisemmat harvennustulot, joita metsänomistaja saa tätä kautta metsästään.

42. Tukkipuun tuotos

Tukkipuun tuotosta koskevissa laskelmissa on tukkien keskipituudeksi oletettu 49 dm ja vaihtelualueeksi 37—61 dm. Pituusluokitain on minimivaatimus ollut seuraava:

Tukin pituus dm	Minimiläpimitta (läpimittaluokka) tukin latvasta kuoren päältä cm
37	19,5 (20)
40	17,5 (18)
43 +	15,5 (16)

Minkäänlaisia laatuvehennyksiä ei ole laskelmissa voitu soveltaa, vaan kaikki minimivaatimukset täyttävä puu on katsottu tukkipuiksi. Kuitu- ja hukkapuun välinen raja on ollut 5,5 cm pölkyn päästä kuoren päältä.

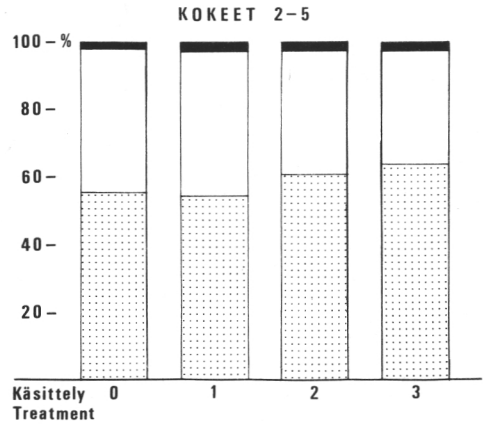
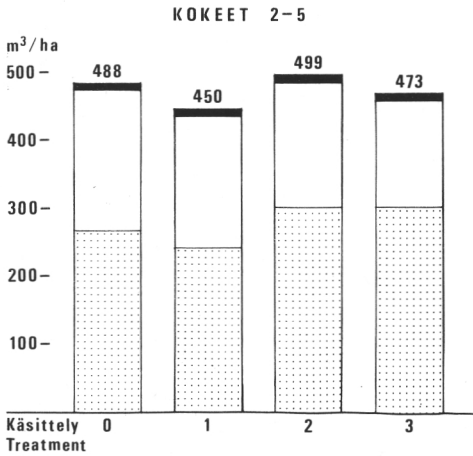
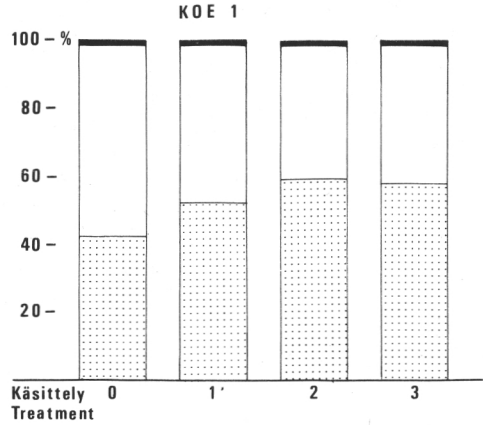
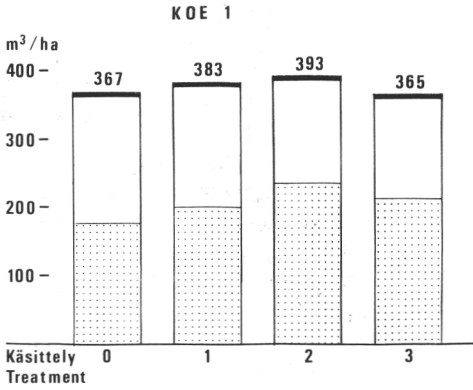
Kuva 8 osoittaa tuotoksen absoluuttisen ja kuva 9 suhteellisen jakaantumisen tukki-, kuitu- ja hukkapuun kesken erikseen kokeessa 1 ja yhteisesti kokeissa 2—5 metsikön syntyhetkestä viime mittauksen ajankohtaan mennessä. Pylväiden rasteroitu osa tarkoittaa tukkipuuta, rasterioimatonta kuitupuuta ja tummennettua hukkapuuta.

Kuvan 8 mukaan käyttöpuun tuotos (tukki- ja kuitupuun tuotos yhteensä) on kasvatustiheydestä riippumaton. Erot johtuvat luontaisesta vaihtelusta, eivätkä ole merkittäviä.

Kuvasta 9 voidaan laskea seuraava asetelma, jossa verrataan keskenään kahta lievintä (0 ja 1) ja kahta voimakkainta (2 ja 3) käsittelyä:

Koe	Käsittely	Tukkipuuta	Kuitupuuta %	Hukkapuuta
1	0 ja 1	47,5	50,0	1,6
1	2 ja 3	58,8	39,9	1,3
2—5	0 ja 1	54,9	42,8	2,3
2—5	2 ja 3	62,5	35,0	2,5

Laskelmissa käytetyin perustein on kahta harvinta kasvatustiheyttä käytettäessä saatu 59—63 % kokonaistilavuuskasvusta tukkipuuna. Tämä on 8—11 prosenttiyksikköä enemmän kuin luonnontilaisessa ja lievästi käsitellyssä puustossa keskimäärin. Vastavasti on kuitupuuta kertynyt väljillä kasvatustiheyksillä 35—40 % ja tiheillä 43—51 %. Hukkapuun osuus on ollut kaikissa käsitelyissä merkityksetön, 1,3—2,5 %.



Kuva 8. Syntymästä viime mittaukseen mennessä tuotetun runkopuun jakautuminen tukki-, kuitu- ja hukkapuun kesken kokeessa 1 ja kokeissa 2—5. Rasteroitu alaosa tarkoittaa tukkipuuta, rasterioimaton keskiosa kuitupuuta ja musta yläosa hukkapuuta.

Fig. 8. The distribution of total volume growth into timber assortments in experiment 1 and in the experiments 2—5. The hatched lower part of the columns refers to sawtimber, the unhatched one to fiberwood and the darkened one to wastewood.

Kuva 9. Kuvaa 8 vastaava suhteellinen jakauma.
Fig. 9. The relative distribution corresponding to Fig. 8.

5. TIIVISTELMÄ

Tutkimus perustuu eteläsuomalaisissa istutuskuusikoissa sijaitseviin kestokokeisiin, joissa tutkitaan vaihtelevan kasvatustiheyden vaikutusta puuston kehitykseen. Koe-metsiköitä on viisi. Niissä on 32 koealaa, neljä kasvatustiheyttä kahdeksan kertaa toistettuina.

Ensiharvennukseen (13—15 metrin valtapuuteen) mennessä kasvatustiheys on ollut kaikilla koealoilla sama, mutta sen jälkeen

on harvennettuja koealoja pyritty pitämään koko ajan 90, 75 tai 60 %:n puustopääomasalla luonnontilaiseen (100 %) metsikönosaan verrattuna. Tosiasiassa tiheysporrastus, joka on ilmaistu pohjapinta-alan avulla, on kokeen alussa ollut 100-88-78-66, siis vähäisempi kuin alunperin oli suunniteltu. Keskimäärin kokeiden 17 vuoden pituisena kesto-ajana tiheysporrastus on ollut 100-87-76-62. Viime mittauksen hetkellä valtapuuteus

vaihteli kokeissa rajoissa 20—23 m.

Tutkimuksen käsittämässä rajoissa kasvatustiheys ei näytä vaikuttavan merkittävästi *valtapituuden kehitykseen*, jos lähtötiheys on alunperin harva, kuten se istutuskuusikoissa yleensä on suhteessa luonnonmetsiköihin. Harvennushakkuita suoritettaessa ei siten tarvitse ottaa huomioon sitä mahdollisuutta, että puuston pituuskehitys siitä heikkenisi. Mitä tiheämpänä puustoa on pitkään kasvatettu, sitä todennäköisempää on, että harvennus aiheuttaa myönteisen pituuskasvureaktion. Viitteitä siihen suuntaan antaa tämänkin tutkimuksen aineisto.

Vain mustikkatyyppejä edustavassa kokeessa 1 on todettu lievä, noin 5 %:n *pohjapinta-alan* kasvutappio tutkittuna 17-vuotiskautena väljimmän kasvatustiheyden (62 % maksimista) seurauksena. Koko kiertoajan puitteissa — ensiharvennusta edeltänyt aika mukaan lukien — tämäkin kasvutappio on pienimerkityksinen. Itseharveneminen aiheuttaa jopa sen, että elävän puuston määrä on kokeiden nykyvaiheessa luonnontilaisilla koealoilla pienempi kuin harvimmalla-kin kasvatusasennolla tuotettu kokonaispohjapinta-ala. Näin on siitä huolimatta, että kuolleisuus on nyt kysymyksessä olevien kokeiden käsittelemättömillä koealoilla vähäinen, 2—4 %.

Mustikkatyypillä 62 %:n puustopääoma on aiheuttanut 17 vuoden kuluessa ensiharvennuksen jälkeen runsaan 10 %:n *tilavuuskasvutappion*. Tällä on merkitystä kiertoajan mittakaavassakin. Kasvupaikalla lienee vaikutusta niin, että kasvutappion riski pienenee metsätyypin parantuessa. Kokeissa näyttää kuitenkin myös lehtomaisilla kankailla syntyneen lievä, 5 %:n suuruusluokkaa oleva tilavuuskasvutappio. Tilavuuskasvun kannalta 67—70 %:n puustopääoma, nyt kysymyksessä olevien kokeiden kahden väljimmän kasvatustiheyden keskiarvo, takaa todennäköisesti sen, ettei merkittävää tappiota synny. Aina 60 %:n puustopääomaan asti tilavuuskasvutappio on kuitenkin lehtomaisilla kankailla esim. järeytymi-

nen huomioon ottaen hyväksyttävä.

Käyttöpuun (yli 5,5 cm pölkyn latvasta) tuotoksessa ei tutkittujen kasvatustiheyksien välillä ole todettu merkittäviä eroja, kun huomioon on otettu koko tähänastinen kiertoaika, siis myös ensiharvennusta edeltänyt kausi. Mitä suurempi järeytysvaatimus tuotetulle puulle asetetaan, sitä edullisempää tulevat kaksi harvinta kasvatusasentoa (62—76 %:n puustopääomat). Jos *järeän puun* miniminä pidetään 19,5 cm:n minimilatlaväpimitä, harvat kasvatustiheydet ovat johtaneet mustikkatyypillä 60 % ja lehtomaisilla kasvupaikoilla 37 % korkeampaan tuotokseen kuin tiheet metsikön syntymästä viime mittauksen ajankohtaan mennessä. Vaatimuksen ollessa vähintään 23,5 cm:n latlaväpimitä harvat kasvatusasennot ovat mustikkatyypillä tuottaneet kaksinkertaisen määrän ja lehtomaisilla kasvupaikoilla 59 % enemmän kuin kaksi tiheintä vaihtoehtoa.

Kasvatustiheys ei vaikuta ohuimpien läpimittaluokkien puiden tuotokseen. Mitä väljempi on kasvatusasento, sitä suuremmassa määrin tapahtuu *siirtymää* keskivahvoista läpimittaluokista järeimpiin.

Tutkimuksessa sovelletuilla kahdella väljimmällä kasvatustiheydellä (62—76 %:n pääomilla) on toistaiseksi (20—23 m:n valtapituuteen mennessä) saatu 59—63 % kokonaiskasvusta *tukkipuuna*. Tämä on 8—11 prosenttiyksikköä enemmän kuin käsittelemättömissä ja lievimmässä käsittelyssä keskimäärin. Vastaavasti on *kuitupuuta* kertynyt väljillä kasvatusasunnoilla 35—40 % ja tiheillä 43—51 %. *Hukkapuun* osuus on vain 1,3—2,5 %.

Tutkimuksen tulokset antavat aiheetta todeta, että *V u o k i l a n* ja *V ä l i a h o n* (1980) istutuskuusikoille laatimat uudet harvennusmallit osoittavat käytännössä suositeltavan kasvatustiheyden. Ne takaavat korkeimman mahdollisen tilavuuskasvun ja järeytymisen aiheuttamatta toisaalta liiallista tuhoalttiutta.

KIRJALLISUUS

- ILVESSALO, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstabeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta For. Fenn. 15: 1—94.
- VUOKILA, Y. 1960. Männyn kasvusta ja sen vaihte- lusta 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.
- 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuo- tannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. Folia For. 247: 1—24.
- 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. 256 s. WSOY. Porvoo.
- & VÄLIAHO, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköi- den kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer plantations in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2): 1—271.

SUMMARY

The investigation is based on permanent experiments located in Southern Finland (61° N. lat.). The purpose of the experiments is to study the effect of stand density of the growth and yield of spruce (*Picea abies*) plantations. The research material consists of 5 stands in which 4 treatments have been replicated 8 times. The total number of sample plots is 32 (V u o k i l a 1975).

Up to the first thinning (dominant height 13—15 m) the density was equal on all 32 plots. In the first thinning it was planned to bring the basal area down to 90, 75 or 60 % of the maximum (= unthinned plots). The plots were then to be maintained at this constant level during the whole experiment. In reality, the density variation in 1961—62, when the experiments were established and thinned for the first time, was 100-88-78-66. During the 17-year period up to the year 1979, when the experiments were for the third time remeasured, the average density of the different treatments was 100-87-76-62. The dominant height of the stands in 1979 was 20—23 m.

Within the range 100—62 % of the reference density no significant difference in the development of dominant height was detected. If differences occur, they are in favour of the low densities. When thinning spruce plantations there is no risk of decreasing the height increment.

Only on the medium site, a minor loss (5 %) of basal area increment during the 17-year period after the first thinning was found as a result of the lowest density alternative (62 % level). On the scale of the whole rotation — including the period up to the first thinning — this loss in basal area increment is negligible. Due to mortality, the lowest production is encountered in unthinned stands.

The loss in volume increment varied from 5 % (best sites) to 10 % (medium site) during the 17 years after the first thinning. This is meaningful for the whole rotation as well. From the point of view of volume production the average growing stock level of 67—70 %

(of the maximum) appears to be safe. It leads to the highest possible volume production on the typical spruce sites. Considering the benefits obtainable in the dimensional development of trees, the loss likely to be caused in the volume production by the 60 % density can be considered acceptable, however.

When taking into account the whole life of the experimental stands — including the time before the first thinning — no significant difference was found in the production of stem wood with minimum top diameter of 5,5 cm above bark. The higher the requirement for dimensions, the more advantageous are the two lowest densities experimented with in the present investigation (62—76 % levels). Should the minimum requirement be for 19,5 cm top diameter above bark, the two low densities bring about a 60 % increase in the production on the medium site and a 37 % increase on the good sites. Presupposing a minimum requirement of 23,5 cm, the low densities result in a two-fold production on the medium site and in an increase of 59 % on the good sites.

The stand density does not affect the production of the smallest dbh. dimensions, while these are produced before the first thinning. Thinnings result in a higher production of the largest dbh. dimensions at the expense of the medium ones.

Up to the dominant height 20—23 m, 59—63 % of the total growth was found to fulfill the minimum requirement of sawtimber at densities 62—76 % of the maximum. This is 8—11 %-units more than for the higher densities tested. The production of fiberwood was 35—40 % for the low densities and 43—51 % for the high densities. The wastewood amounted to 1,3—2,5 % only.

The investigation clearly indicates that the thinning models of V u o k i l a and V ä l i a h o (1980) are on a sound basis. They guarantee the highest possible volume production and dimensional development with a reasonable risk of natural damages.

ODC 562.2:228.1:174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0471-x
ISSN 0015-5543

VUOKILA, Y. 1980. Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotookseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. *Folia For.* 448:1—15.

Based on 32 sample plots, 8 replications of 4 treatments, the growth and yield of spruce plantations of varying density is discussed. It is concluded that the growing stock with a basal area 67—70 % of the maximum (basal area of unthinned stands) will guarantee the maximum volume increment. On the best sites no major increment loss is caused by maintaining a 60 % level of growing stock. This low density brings about a considerable increase in the yield of large dimensions.

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

ODC 562.2:228.1:174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0471-x
ISSN 0015-5543

VUOKILA, Y. 1980. Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotookseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. *Folia For.* 448:1—15.

Based on 32 sample plots, 8 replications of 4 treatments, the growth and yield of spruce plantations of varying density is discussed. It is concluded that the growing stock with a basal area 67—70 % of the maximum (basal area of unthinned stands) will guarantee the maximum volume increment. On the best sites no major increment loss is caused by maintaining a 60 % level of growing stock. This low density brings about a considerable increase in the yield of large dimensions.

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

ODC 562.2:228.1:174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0471-x
ISSN 0015-5543

VUOKILA, Y. 1980. Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotookseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. *Folia For.* 448:1—15.

Based on 32 sample plots, 8 replications of 4 treatments, the growth and yield of spruce plantations of varying density is discussed. It is concluded that the growing stock with a basal area 67—70 % of the maximum (basal area of unthinned stands) will guarantee the maximum volume increment. On the best sites no major increment loss is caused by maintaining a 60 % level of growing stock. This low density brings about a considerable increase in the yield of large dimensions.

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

ODC 562.2:228.1:174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0471-x
ISSN 0015-5543

VUOKILA, Y. 1980. Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotookseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. *Folia For.* 448:1—15.

Based on 32 sample plots, 8 replications of 4 treatments, the growth and yield of spruce plantations of varying density is discussed. It is concluded that the growing stock with a basal area 67—70 % of the maximum (basal area of unthinned stands) will guarantee the maximum volume increment. On the best sites no major increment loss is caused by maintaining a 60 % level of growing stock. This low density brings about a considerable increase in the yield of large dimensions.

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

- No 402 Sepponen, Pentti, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa.
On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland.
- No 403 Kanninen, Kaija, Uusvaara, Olli & Valonen, Paavo: Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet.
Measuring and properties of whole tree raw-material.
- No 404 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan met-sityksestä.
Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas.
- No 405 Sepponen, Pentti & Haapala, Heikki: Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin.
On the effect of drainage on the chemical properties of peat.
- No 406 Elovirta, Pertti: Metsätyövoiman allापsyyvyys 1969—1977.
Permanence of forest labour in Finland 1969—1977.
- No 407 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella.
Variation in tree growth in Finland based on the 6th National Forest Inventory.
- No 408 Lilja, Arja: Koivun siemenen sienet ja niiden patogeenisuus.
Fungi on birch seeds and their pathogenicity.
- No 409 Kallio, Tauno & Häkkinen, Risto: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja *Phlebia gigantea* (Fr.) Donk vaikutus pellolle istutettujen kuusen, männyn, terva-lepän ja rauduskoivun taimien pituuskasvuun ja elossapysymiseen.
Effect of *Heterobasidion annosum* and *Phlebia gigantea* infection on the height growth and survival rate of *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Alnus glutinosa* and *Betula pendula* seedlings planted on old fields.
- No 410 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuun kiintomittaus kourakasoissa.
Measurement of solid volume of pulpwood grapple heaps.
- No 411 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1977—79.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1977—79.
- No 412 Raitio, Hannu: Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopel- lolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta.
Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms.
- No 413 Kellomäki, Seppo & Salmi, Juhani: Koivuvaneritukkien kuoren määrä.
Bark quantity of birch logs.
- No 414 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results.
- No 415 Teivainen, Terttu: Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus peltomyyrälle (*Microtus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan.
Palatability of some cultivated willows to field voles (*Microtus agrestis* L.) in feeding trials.
- No 416 Velling, Pirkko: Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa.
Wood density in two *Betula pendula* Roth progeny trials.
- No 417 Mattila, Eero: Kangasmaiden luppometsien ominaisuuksia Suomen pronhoitoalueella 1976—1978.
Characteristics of the mineral soil forests with arboreal lichens (*Alectoria*, *Bryoria* and *Usnea* spp.) in the Finnish reindeer management area, 1976—1978.
- 1980 No 418 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Harvesting fuel chips with the Pallari swath harvester.
Polttopuun korjuu Pallarin leikkuuhakkurilla.
- No 419 Kinnunen, Kaarlo & Lemmetyinen, Markku: Paakkukoon vaikutus männyn taimien alkukehitykseen.
Initial development of containerized pine seedlings as affected by the size of earth ball.
- No 420 Keipi, Kari & Laakkonen, Olavi: Päätehakkuuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja.
Profitability comparisons of urea fertilization in old stands.
- No 421 Lipas, Erkki & Levula, Teuvo: Urealannoitus eri vuodenaikoina.
Urea fertilization at different times of the year.
- No 422 Weissenberg, Kim, von & Kurkela, Timo (Eds.): Proceedings of the meeting of the IUFRO Working Party S2.05—05, Resistance in pines to *Melampsora pinitorqua*, June 1979, Suomenjoki, Finland.
IUFRO:n työryhmän S2.05—05, Versoruosteenkestävyys männynsä, kesäkuussa 1979 Suomenjoella pidetyn kokouksen esitelmät.
- No 423 Kylmänen, Pekka: Ennakkotuloksia nuorissa männyn siemenviljelyksissä syntyvän Pohjois-Suomi x Etelä-Suomi -kaukoristeytys siemenen käyttömahdollisuuksista.
Preliminary results concerning usability of North Finland x South Finland hybrid seed born in young Scots pine seed orchards.
- No 424 Sievänen, Risto: A preliminary simulation model for annual photosynthetic production and growth in a short rotation plantation.
Alustava lyhytkiertoviljelmän vuotuisen fotosynteesin tuotoksen ja kasvun simulointi-malli.

- No 425 Kohmo, Ilkka: Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971—1976.
Increment percentage of forest stands in Finland 1971—1976.
- No 426 Rautiainen, Olavi & Räsänen, Pentti K.: Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976.
Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976.
- No 427 Tiihonen, Paavo: ATK-karttamenetelmän kokeilu työkohteiden etsinnässä Pohjois-Savossa 1976—1978.
Experimenting with the ADP-map method for locating working sites in northern Savo, East Finland, 1976—1978.
- No 428 Ryytänen, Leena: Männyn siemenen varastointi ja vanheneminen.
Storage of Scots pine seed and seed ageing.
- No 429 Raivonen, Marjut & Leikola, Matti: Hakkuutähteiden poistamisen vaikutus istutettujen kuusen taimien alkukehitykseen.
The influence of the removal of logging waste on the initial development of planted Norway spruce seedlings.
- No 430 Metsätilastollinen vuosikirja 1979.
Yearbook of Forest Statistics 1979.
- No 431 Kyttä, Timo: Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu.
Stand damage during thinnings. — Literature review.
- No 432 Silfverberg, Klaus: Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet.
Micronutritional growth disorder in Norway spruce.
- No 433 Hakkila, Pentti & Wójcik, Tomasz: Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland.
Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa.
Próba zastosowania ciągnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych w Polsce.
- No 434 Seppälä, Heikki, Kuuluvainen, Jari & Seppälä, Risto: Suomen metsäsektori tienhaarassa. Tutkimus Suomen metsäsektorin kehityksestä ja tulevaisuuden vaihtoehdoista.
The Finnish forest sector at a cross road.
- No 435 Julkaisut 1979. Metsäntutkimuslaitos.
Abstracts of publications, 1979. The Finnish Forest Research Institute.
- No 436 Mattila, Eero & Kujala, Matti: Utsjoen, Inarin ja Enontekiön metsävarat 1978.
Forest resources of Utsjoki, Inari and Enontekiö, North Finland, in 1978.
- No 437 Kurvinen, Pekka & Harstela, Pertti: Haketuiston ergonomia ja työn järjestely.
Ergonomics and work organizing of chipping work.
- No 438 Nisula, Pentti: Neulasten pitolujuuden mittari.
Needle retention gauge.
- No 439 Nisula, Pentti: Tutkimuksia kantoherbisidin levittämisestä raivaussahalla.
Studies on stump herbicide spraying using a brush saw.
- No 440 Nisula Pentti: Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta.
Aspects of the drying of fuel chips.
- No 441 Kujala, Matti: Runkopuun kuorellisen tilavuuskasvun laskentamenetelmä.
A calculation method for measuring the volume growth over bark of stemwood.
- No 442 Päivinen, Risto: Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta.
On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics.
- No 443 Veijalainen, Heikki: Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu.
Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis.
- No 444 Tervonen, Markku & Issakainen, Jorma: Sarkaleveyden ja lannoituksen vaikutus männyn sädekasvun elpymiseen ohutturpeisella piensararämeellä.
Effect of ditch spacing and fertilization on the revival of radial growth of Scots pine on shallow-peated small sedge bog.
- No 445 Huuri, Olavi: Juurten hienfosfaattikäsitteilyn vaikutus männyn ja kuusen istutus-taimien alkukehitykseen kivennäismailla.
Effect of milled rock phosphate root coating on the initial development of Scots pine and Norway spruce transplants on mineral soils.
- No 446 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977—1979.
Forest resources in the Province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977—1979.
- No 447 Uusvaara, Olli: Pelkkahakkureilla tehdyin hakkeen ja sahatavaran pinnan laatu.
Quality of chips and surface of sawn timber made by chipper headrigs.
- No 448 Vuokila, Yrjö: Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotokseen.
The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland.
- No 449 Kinnunen, Kaarlo & Mäki-Kojola, Sakari: Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa.
Natural regeneration of Scots pine in western Finland.

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 17 341.
Merkintä O D C tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää.