MÄNNYN LAATUKASVATUS

TUTKIMUSHANKKEEN LOPPURAPORTTI

KELLOMÄKI S. , LÄMSÄ P. , OKER – BLOM P. JA UUSVAARA O.



MÄNNYN LAATUKASVATUS

Tutkimushankkeen loppuraportti

Summary: Management of Scots pine for high quality timber: final report of the study project

Kellomäki S., Lämsä P., Oker-Blom P. ja Uusvaara O.

Tätä monistetta jakaa: Metsäntutkimuslaitos,
metsäteknologian tutkimusosasto, Unioninkatu 40A
00170 Helsinki, p. 90-661401

Alkusanat

Mäntysahatavara muodostaa tärkeän osan sahateollisuuden tuotteista. Ohutsyinen ja vähäoksainen mäntysahatavara on erityisen arvokasta puusepänteollisuudessa. Vaikka uudet materiaalit korvaavat puun monissa rakenteissa, on hyvälaatuisella mäntysahatavaralla edelleenkin menekkiä. Tämän vuoksi hyvälaatuisten mäntysahatukkien tuottaminen on myös tulevaisuudessa perusteltua, kun määritellään metsänkasvatuksen tavoitteita.

Mäntysahatukkien laatu on saanut suurta huomiota viime vuosien metsäpoliittisessa keskustelussa - keskeisiä teemoja on ollut metsänhoidon vaikutus puuaineen laatuun. Esimerkiksi viljelymänniköiden on väitetty tuottavan heikkolaatuisia sahatukkeja, joista saatava sahatavara ei ole kelvollista vientiin. Samalla sahatukkien laatuvaatimukset ovat kiristyneet, ja laatuluokitusta on ryhdytty soveltamaan entistä tiukemmin. Tukkien laatuun perustuva maksutapa on edelleen muuttanut raakapuumarkkinoita.

Tämä tutkimus pyrkii vastaamaan osaltaan niihin kysymyksiin, joita on esitetty metsänkäsittelyn ja metsänhoidon vaikutuksista mäntysahatukkien laatuun. Lisäksi tavoitteena on antaa tietoa männyn laatukasvatuksen perusteista ja suosituksia käytännön menetelmistä. Tutkimus muodostaa samalla loppuraportin, jossa esitetään keskeiset tulokset Joensuun yliopiston, Metsäntutkimuslaitoksen ja Suomen Akatemian tukemasta tutkimuksesta, joka käsittelee männyn laatukasvatusmenetelmiä.

Tutkimuksen näin päättyessä esitämme parhaimmat kiitoksemme kaikille työtämme tukeneille yhteisöille ja henkilöille.

Marraskuussa 1988

Olli Uusvaara Paavo Pelkonen

Kellomäki Seppo, Lämsä Pertti, Oker-Blom Pauline & Uus-vaara Olli 1988. **Männyn laatukasvatus: tutkimushankkeen loppuraportti.** Summary: Management of Scots pine for high quality timber: final report of the study project.

Tutkimuksessa selvitettiin nuorten mäntyjen (Pinus sylvestris L.) oksien paksuuden riippuvuutta kasvupaikan viljavuudesta ja puuston tiheydestä. Aineiston muodosti 12 kanervatyypin, 13 puolukkatyypin, kahdeksan mustikkatyypin ja kolme käenkaali-mustikkatyypin männikköä sekä 14 mänty-koivusekametsikköä. Puhtaiden männiköiden ikä oli 17 - 26 vuotta. Puuston tiheys vaihteli 1000 - 5000 runkoa/ha. Koepuista mitattiin kaikkien elävien oksien paksuudet. Oksien läpimitan vaihtelu rinnastettiin metsätyyppiin sekä maan ja neulasten ravinneanalyyseihin, puuston tiheyteen ja maan raekoostumukseen.

Empiirisen aineiston lisäksi tutkimuksessa käytettiin simulointimallia, jonka avulla voidaan kuvata, miten puiden kasvu ja runkojen ulkoinen oksikkuus kehittyvät harvennuksen ja pystykarsinnan jälkeen. Puiden sisäistä oksikkuutta tutkittiin simuloiduilla koesahauksilla, jolloin arvioitiin eri tavoin kasvatetuista rungoista saadun sahatavaran laatua. Simulointien ja empiiristen tulosten avulla laadittiin kasvupaikkakohtaiset viljely- ja kasvatustiheys- sekä toimenpidesuositukset järeän ja vähäoksaisen sahapuun tuottamiseksi.

Oksien syntyminen, kasvu ja **kuoleminen** sekä **puiden kasvutila** kytkeytyivät toisiinsa puuston tiheyden ja latvuksen valaistusolojen kautta siten, että viljavilla kasvupaikoilla ja vallitsevissa puissa oli enemmän oksia kuin karuilla kasvupaikoilla ja vallituissa puissa. **Kasvupaikan viljavuus** määräsi aina puiden oksikkuuden yleistason käytetystä laatuindikaattorista (**oksien** keskiläpimitta, paksuin oksa, oksakulma, vuosiluston **leveys**, kesäpuuosuus, runkojen **kuiva-tuoretiheys**) huolimatta. **Puuston tiheys** pienensi puiden oksikkuutta sitä paremmin, **mitä karu**mmasta kasvupaikasta oli kysymys. Mitä aikaisemmin ja voimakkaammin alkutiheydeltään suuri ($\geq$ 2500 ha^{-1}) puusto **harven**nettiin taimikko- tai ensiharvennusvaiheessa, **sitä suurempi** oli runkojen oksikkuus. **Karsinnasta** oli eniten hyötyä alhaisilla kasvatustiheyksillä ($\leq$ 2500 ha^{-1}). Harvennuksen ja karsinnan **yhdistäminen** paransi selvästi sahatavaran laatujakaumaa pelkästään harvennettuun metsikköön verrattuna, mutta karsinnalla ei kuitenkaan voitu täysin eliminoida harvennuksen aiheuttamaa laadun heikkenemistä.

This study aims to recognise how the site fertility and stand density affect on the branch diameter of young Scots pines (Pinus sylvestris L.). The study material consists of 12, 13, 8 and 3 Scots pine stands on sites of Calluna, Vaccinium, Myrtillus and Oxalis-Myrtillus types and 14 mixed pine and birch stands. The stand age of pure pine stands was 17 - 26

years and the stand density 1000 - 5000 stems/ha. In the analysis the mean diameter of all the branches of the sample trees as well as the mean diameters of the three uppermost and the uppermost whorls was related to the type of site and the nutrient concentrations of soil and needles, soil composition and stand density.

The effects of stand density (thinning) and pruning on the timber quality of Scots pine in terms of branchiness were also studied based on models of tree growth and the structural development of the tree crown. The stand densities and silvicultural management practicies needed to achieve a certain branch diameter (timber quality) on different site types were computed with the help of computer simulations and empirical results.

The **birth**, **growth** and **death** of **branches** was influenced by the stand density (the **growing space**) and the light conditions in the crown, so that dominant trees on the rich sites had more branches than dominated trees on the poor sites. All quality indicators of trees (the mean diameter of branches, the thickest branch in a crown, the branch angle, the width of annual ring, the share of late wood, the basic density of stems) were closely related to the **site fertility**. The branch diameter was inversely related to the **stand density**, especially on the poor sites. **Thinning**, when done early and strongly (the initial stand density $\geq$ 2500 ha^{-1}), increased clearly the branchiness of stems. The quality of sawn pieces were most improved by **pruning** in a stand of wide spacing ($\leq$ 2500 ha^{-1}). Thinning and pruning **together** decreased the branchiness of stems when compared to the stand only thinned, but pruning could not quite eliminate the quality loss of stems as a result of thinning.

Key words: Branchiness, Scots pine, Pinus sylvestris, site fertility, stand density, timber quality.

Correspondence: University of Joensuu, Faculty of Forestry, P.O.Box 111, SF-80101, Finland, Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

MÄNNYN LAATUKASVATUS: tutkimushankkeen loppuraportti

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 1

1.1. Viljelymänniköiden laatu 1
1.2. Sisäinen ja ulkoinen oksikkuus 1
1.3. Puiden kasvu ja rungon laatu 4
1.4. Rungon laatu, kasvuympäristö ja metsänkäsittely 5
1.5. Rungon ulkoisen ja sisäisen laadun keskinäinen yhteys 9

2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ 11

2.1. Ongelman asettelu 11
2.2. Ongelman käsittely ja tutkimuksen kulku 11

3. TUTKIMUSAINEISTO 13

3.1. Koealat ja koepuut 13
3.2. Koepuiden mittaus ja laboratorioanalyysit 16

4. OKSIEN SYNTYMINEN JA KARSIUTUMINEN: EMPIIRISIÄ TULOKSIA JA MALLILASKELMIA LATVUKSEN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVISTA PERUSTEKIJÖISTÄ 17

4.1. Oksien syntymis- ja kuolleisuustaulukot 17
4.2. Oksien populaatiodynamiikka 19
4.3. Oksien karsiutuminen 24

5. OKSIEN PAKSUUS JA LATVUKSEN OMINAISUUDET SEKÄ RUNKOJEN LAATU: EMPIIRISIÄ TULOKSIA 26

5.1. Käytetyt laatutunnukset 26
5.2. Oksien paksuusvaihtelu 26
5.3. Paksuimmat oksat 35
5.4. Oksakulma 42
5.5. Runkojen laatu 44
5.6. Oksien paksuusvaihtelun ja puuaineen laadun yhteys puuston tiheyteen ja kasvupaikan ominaisuuksiin 52
5.7. Lehtipuusekoituksen vaikutus mäntyjen oksikkuuteen 63

6. PUIDEN KASVUTILA JA RUNKOJEN OKSIKKUUS: EMPIIRISIÄ TULOKSIA JA MALLEIHIN PERUSTUVAA TARKASTELUA 69

6.1. Puiden oksa- ja runkomassan suhteet 69
6.2. Puuston tiheys ja kasvutila 70
6.3. Puiden kasvutila ja massan kertyminen 73
6.4. Latvuksen suuruus, oksien määrä ja runkojen oksikkuus 77
6.5. Puuston tiheys ja puiden oksikkuus 79

7. OKSIKKUUS JA KASVUPROSESSIT: PUIDEN KASVUA JA OKSIKKUUTTA SIMULOIVA MALLI 85

7.1. Mallin yleispiirteet 85
7.2. Yksittäisen puun kasvu ja kehitys 85
7.3. Metsikön kasvu ja kehitys 96
7.4. Runkojen ja puuaineen laadun arviointi 97
7.5. Esimerkkejä simulointimallin toiminnasta 97
7.6. Tulosten luotettavuus 103

8. METSÄNKÄSITTELYN VAIKUTUS RUNKOJEN ULKOISEEN JA SISÄISEEN OKSIKKUUTEEN: SIMULOINTIIN PERUSTUVIA TULOKSIA 104

8.1. Tarkastelutapa ja syöttötiedot 104
8.2. Pystykarsinta laatutekijänä 104
8.3. Harvennus laatutekijänä 107
8.4. Karsinnan ja harvennuksen yhteisvaikutus 108

9. PUUSTON TIHEYDEN JA KÄSITTELYN VAIKUTUS SAHATAVARAN LAATUUN: MALLILASKELMIA 111

9.1. Laskentaperiaate 111
9.2. Käsittelemättömästä metsiköstä saatava sahatavara 113
9.3. Pystykarsitusta metsiköstä saatava sahatavara 114
9.4. Harvennetusta metsiköstä saatava sahatavara 114
9.5. Karsitusta ja harvennetusta metsiköstä saatava sahatavara 115

10. TARKASTELU JA LOPPUPÄÄTELMÄT 117

10.1. Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys 117
10.2. Männyn laatukasvatuksen menetelmät: suosituksia 119
10.3. Männyn laatukasvatuksen menetelmät: toimenpiteiden ketjutus 127

11. YHTEENVETO - SUMMARY 130

KIRJALLISUUS - REFERENCES 133

Liite: Projektin aikana syntyneet julkaisut

1. JOHDANTO

1.1. Vijelymänniköiden laatu

Metsää viljellään maassamme vuosittain noin 140 000 ha (Metsätilastollinen...1984). Tästä suurin osa on männyn istutusta. Vaikka viljelyyn usein liittyy ongelmia, mm. odottomattoman suurta taimien kuolemista (Yli-Vakkuri ym. 1969, Leikola ym. 1977, Räsänen ym. 1985), on mäntyviljelmien **kasvu** yleensä ollut ripeää. Runkojen ulkoinen **laatu** on kuitenkin jäänyt usein heikoksi (Uusvaara 1974, Varmola 1982, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Huuri ym. 1987). Erityisesti **viljavien** kasvupaikkojen **harvat** taimikot näyttävät tuottavan oksikkaita runkoja, joista saadaan heikkolaatuista **sahatavaraa** (Heiskanen 1965, Kärkkäinen 1980). Viljavilla kasvupaikoilla on männyntaimikoissa myös runsaasti tyvimutkaisuutta (Huuri 1976), joka yhdessä oksikkuuden kanssa heikentää runkojen ulkoista laatua.

1.2. Sisäinen ja ulkoinen oksikkuus

Rungon laatu tarkoittaa rungon ja puuaineen sopivuutta eri **käyttötarkoituksiin.** Tämän vuoksi laatua ei voida ilmaista yksiselitteisillä mittasuureilla, sillä hyvä laatu riippuu rungon käyttötarkoituksesta. Hyvällä laadulla voidaan käyttötarkoituksesta riippuen tarkoittaa esimerkiksi järeää ja suoraa runkoa, ohuita oksia, tiheätä puuainetta tai pitkiä puukuituja. Hyvä laatu voidaan määritellä myös vikojen puuttumiseksi, jolloin vikoja ovat kaikki poikkeamat normaalista puuaineesta.

Mekaanisessa puunjalostuksessa rungon järeys ja oksikkuus määräävät rungon ja puuaineen laadun. Oksikkuus jaetaan ulkoiseen ja sisäiseen oksikkuuteen. **Ulkoinen oksikkuus** tarkoittaa oksien (elävät ja kuolleet) esiintymistä puun rungolla tarkasteluhetkellä. **Sisäinen oksikkuus** (puuaineen oksikkuus) ilmaisee puuaineessa olevaa oksapuuta (elävien ja kuolleisen oksien puuainetta). Sisäinen oksikkuus riippuu ulkoisesta oksikkuudesta siten, että sisäiseen oksikkuuteen vaikuttavat myös aiemmin kuolleet ja jo karsiutuneet oksat, jotka eivät enää vaikuta ulkoiseen oksikkuuteen. Ulkoista oksikkuutta käytetään mm. sahatukkien laadun arvioinnissa laatumaksutavan perustana. Runkojen sisäinen oksikkuus ilmenee sahatavaran oksikkuutena, joka vaikuttaa mm. sahatavaran lujuuteen ja ulkonäköön (taulukko 1.1)

Taulukko 1.1. Erilaisia puun laatuindikaattoreita.
Table 1.1. Different quality indicators of trees.

Indikaattori Indicator	Mittayksikkö Measuring unit	Vaikutus Effect
Ulkoinen laatu - external quality		
Rungon laatu Quality of stem -järeys (tilavuus) volume -suoruus (tai lenkous) straightness	m^3	Käyttöpuun määrä ja omin. Quantity and quality of useful wood 1)
Oksien laatu Quality of branches -läpimitta diameter --> oksapinta-ala cross-sectional area of branches *)	mm, cm mm^2	Runkojen ulkoinen oksikkuus External branchiness of stems
-lukumäärä number --> latvuksen pituus crown length --> *)	kpl/cm, m, m^3 branches/cm, m, m^3 m	
-oksamassa/runkomassa branch biomass/stem biomass	kg/kg	Kuitupuun arvo Value of pulp wood
-oksakulma branch angle --> *)	1°	
-elävät/kuolleet oksat living/dead branches		Sahatavaran arvo Value of sawn timber
Sisäinen laatu - internal quality		
Puuaineen laatu Quality of wood -tiheys basic density -puukuitujen pituus length of wood fibres -vuosiluston leveys width of annual ring	g/cm^3, kg/m^3 mm, cm mm	kesä/kevätpuuosuus share of early/latewood --> -massasaanto pulp supply -paperin omin. paper quality 2) -sahatavaran omin. timber quality 3)
Oksien laatu Quality of branches -ks. ulkoinen laatu see external quality		Runkojen sisäinen oksikkuus Internal branchiness of stems

1) runkomuoto - stem form
2) veto- ja puhkaisulujuus - pull and break through strength

läpikuultavuus - translucence
sileys, tiheys - smoothness, basic density
3) lujuus, ulkonäkö - strength, looks

Rungon ja puuaineen oksikkuus kuvaa **tilannetta tietyllä hetkellä**, joten oksikkuus riippuu lähes yksinomaan puun menneestä kehityksestä. Tämän vuoksi runkojen oksikkuus tietyllä hetkellä ei välttämättä anna yksikäsitteistä kuvaa puuaineen sopivuudesta eri käyttötarkoituksiin, esimerkiksi sahatavaran valmistukseen. Erityisesti puiden nuoruusvaiheen kehityksen vaikutusta puuaineen laatuun on vaikea ennakoida sahatukin ulkoisen oksikkuuden (ulkoisen laadun) avulla. Rungon sisäosien oksikkuutta voidaan kuitenkin ennakoida epäsuorasti mm. puun nuoruusvaiheen kasvunopeudella tai kuivien oksien sijainnilla rungolla (Heiskanen 1965, Kärkkäinen 1980).

Puuaineen ja/tai sahatukin laatua oksikkuuden avulla ilmaistuna voidaan **indikoida** eri tavoilla. Tarkoitukseen on käytetty mm. paksuimman **oksan paksuutta** (elävät, kuolleet oksat) (esim. Uusvaara 1974), **latvusrajan korkeutta** (elävät, kuolleet oksat) (esim. Kärkkäinen 1980), elävien ja kuolleiden **oksien määrää** rungon pituus- tai tilavuusyksikköä kohti (esim. Jokinen ja Kellomäki 1982), **oksien poikkileikkauspinta-alan** osuutta rungon vaipan pinta-alasta (Kellomäki ja Tuimala 1981), **oksapuun massaa** puun kokonaismassasta (Kellomäki ja Väisänen 1986), **oksien esiintymistä sahatavarassa** (elävien ja kuolleiden oksien lukumäärä ja koko) ja sen mukaista sahatavaran laatujakaumaa (Miettinen ja Uusvaara 1983) jne. Runkojen ja sahatavaran oksikkuuslaatu on täten aina eri tavoin ilmaistu **arvio** oksien vaikutuksesta sahatukkien ja sahatavaran tai viilun raaka-aineen ominaisuuksiin ja käyttöarvoon.

Rungon käyttöarvoa pyritään ennakoimaan myös puiden **nuoruusajan kasvun** avulla, sillä runkojen ja puuaineen oksikkuus on yhteydessä rungon ytimen ympäriltä mitattuun sädekasvuun. Esimerkiksi Uusvaara (1983) on osoittanut koesahausten avulla, että tyvitukista saatavan U/S-laadun määrä on suurimmillaan, kun sädekasvu ytimen ympärillä (mitattuna keskikasvuna 12 cm läpimittaisesta osasta ytimen ympäriltä) on keskimäärin 1.5-2.0 mm (katso myös Heiskanen 1965, Halinen 1985).

Runkojen ja puuaineen oksikkuus vaikuttavat puuaineen käyttöarvoon myös **kemiallisessa puunjalostuksessa**. Oksikkuuden lisäksi puuaineen sellu- ja paperiteknisiä ominaisuuksia kuvataan puuaineen tiheydellä (tilavuuspainolla) ja puuaineen kesäpuuosuudella. Myös puukuitujen pituutta käytetään arvioitaessa puuaineen sopivuutta sellun ja sellupohjaisten tuotteiden valmistukseen. Puuaineen ominaisuudet vaihtelevat rungon pituussuunnassa sekä riippuvat rungon läpimitasta ja iästä. Tämän vuoksi eri puutavaralajien massatekniset ominaisuudet ovat erilaisia.

Puuaineen tiheydellä tarkoitetaan absoluuttisesti kuivan puun massaa tilavuusyksikköä kohti (kg/m^3), kun tilavuus määritellään tuoreesta puusta (kuiva-tuoretiheys), virheettömästä puuaineesta. Puuaineen tiheys on kiinteässä yhteydessä puusolujen seinämien paksuuteen. Kysymys on itse asiassa soluseinien tilavuuden suhteesta solujen sisäisten ja solujen välis-

ten onteloiden tilavuuteen: mitä paksuseinäisempiä puusolut ovat, sitä suurempi on tilavuuspaino. Puuaineen tiheyden kasvaessa lisääntyy mm. sahatavaran lujuus ja sellun saanto puuaineyksikköä kohti, joten puuaineen tiheys kuvaa monipuolisesti rungon käyttöarvoa mekaanisessa ja kemiallisessa metsäteollisuudessa.

Havupuiden puuaineen tiheyden ja **kesäpuuosuuden** (kesäpuun osuus puun poikkileikkauspinta-alasta) välillä on selvä positiivinen korrelaatio: mitä suurempi on kesäpuun osuus (kesäpuun tiheys on suuri), sitä suurempi on myös puuaineen tiheys. Lehtipuilla puuaineen tiheyden kasvu merkitsee lähinnä puukuitujen osuuden kasvua puuaineen massasta. Sellun ja paperin valmistuksessa paksuseinäiset kesäpuusolut (kesäpuukuidut) säilyvät suhteellisen pyöreinä, mikä lisää paperin läpikuultavuutta mutta vähentää veto- ja puhkaisulujuutta. Ohutseinäiset kevätpuusolut (tiheys on pieni) muodostavat nauhamaista kuitumassaa, josta saadaan läpikuultamatonta ja sileää paperia jonka veto- ja puhkaisulujuus ovat suuria. Täten puuaineen kesäpuuosuus antaa monipuolisen kuvan puuaineen käyttöarvosta sellupohjaisten tuotteiden valmistuksessa.

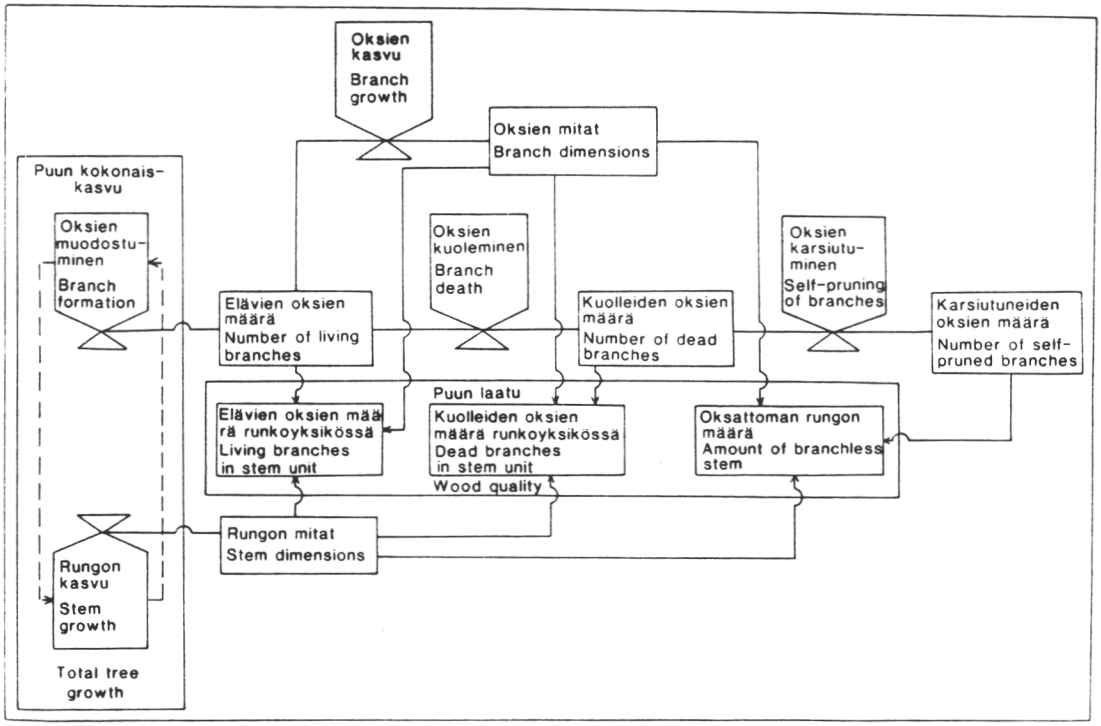
1.3. Puiden kasvu ja rungon laatu

Runkojen laatu ja puuaineen ominaisuudet kytkeytyvät kiinteästi puiden **kasvuun**, sillä anatomisesti puuaine on ksyleemiä. Tämä syntyy jälsisolukon toiminnan tuloksena jälsisolukon sisäpuolelle siten, että vedenvirtaus maasta juurien, rungon ja oksien kautta lehtiin ja neulasiin tapahtuu ksyleemissä. Puiden ksyleemillä on siis sama toiminnallinen tehtävä kuin muiden putkilokasvien johtojänteiden ksyleemillä. Vanhetessaan puiden ksyleemi vähitelleen kuolee. Kuollutta ksyleemiä kutsutaan **sydänpuuksi** erotukseksi elävästä, jota nimitetään **mantopuuksi**. Esimerkiksi männyn mantopuu käsittää likimain yhtä monta ulointa vuosilustoa kuin puussa on eläviä oksakiehkuroita (Hari ym. 1985). Loput rungosta on kuollutta ksyleemiä.

Oksikkuuden kytkeytyminen puiden kasvuun on myös organologisesti **kiinteä, sillä** oksat syntyvät **kärkikasvusilmun ympärille ryhmittyneistä** sivusilmuista. **Männyn monopodiaaliselle kasvutavalle on sa**malla tyypillistä, **että ylimpien oksakiehkuroiden oksien** kasvu noudattaa **lineaarisesti pääteverson kasvua (Kellomäki** ja Tuimala 1981). **Samalla rungon** kasvu **latvuksen alueella** noudattaa lehvästön (**lehdet ja/tai neulaset**) **kasvua, sillä** rungon läpimitan **kasvu tietyssä pisteessä** riippuu **lineaarisesti** tämän pisteen **yläpuolella** olevasta **lehvästöstä (massa** ja/tai pinta-ala) (**Shinozaki ym.** 1964a, b). **Tämän vuoksi** latvuksen alueella **rungon kasvu merkitsee aina tietyn suuruista** oksien kasvua, **jolloin oksapuu** rungon **laajetessa muodostuu** osaksi rungon puuainetta.

Oksikkuuden yhteyttä puiden kasvuun **voidaan havainnollistaa** kuvan 1.1 **kaaviolla**, jossa esitetään **periaatepiirroksena oksien kasvun ja** rungon kasvun suhteita. **Oksien kasvu** oletetaan olevan suorassa suhtessa **rungon kasvuun**, kuten esimerkiksi Uusvaaran (1974), Varmolan (1980) **sekä** Kellomäen ja Väisäsen (1986) tutkimukset osoittavat. **Latvuksen** kasvu ja **kehitys voidaan jakaa** vaiheisiin, jotka erottavat toisistaan

oksien **syntyminen, kasvu** ja **kuoleminen.** Näiden osaprosessien lisäksi vaikuttaa rungon oksikkuuteen kuolleiden oksien **karsiutuminen.**



Kuva 1.1. Oksikkuuden ja rungon kasvun välisiä suhteita.
Fig. 1.1. The relationships between branchiness and stem growth.

Hahmotelmasta havaitaan, että puuaineen laatu syntyy niiden prosessien tuloksena, jotka ohjaavat rungon ja latvuksen kasvua ja kehitystä. Puuaineen **oksikkuus ja muut laatuominaisuudet** ovat rungon ja latvuksen kasvua ja kehitystä ohjaavien **prosessien lopputulos valitulla hetkellä.** Tämän vuoksi esimerkiksi puuaineen oksikkuuteen voidaan vaikuttaa rungon ja latvuksen kasvuprosessien välityksellä. Koska rungon ja oksien kasvu ovat toisistaan riippuvia, ei näitä prosesseja voida muuttaa toisistaan riippumatta. Rungon kasvuun vaikuttavat toimenpiteet vaikuttavat väistämättä myös latvuksen kasvuun ja päinvastoin.

1.4. Rungon laatu, kasvuympäristö ja metsänkäsittely

Oksikkuus

Puiden kasvun ja laadun kiinteä yhteys kytkee laadun myös puiden kasvuympäristön ominaisuuksiin ja metsien käsittelyyn (metsänhoitoon). Erityisesti puuston tiheys ja kasvupaikan viljavuus näyttävät vaikuttavan runkojen laatuun, sillä samat tekijät vaikuttavat suuresti myös puiden kasvuun ja kehitykseen. Varsinkin nuorten mäntyjen kasvu ja laatu näyttää kytkeytyvän kiinteästi näihin tekijöihin (Kärkkäinen ja Uusvaara 1982).

Mäntyjen **oksikkuuden** yhteyttä kasvatustiheyteen on selvitetty useissa tutkimuksissa (esim. Varmola 1980, Kellomäki ja Tuimala 1981, Jokinen ja Kellomäki 1982, Kellomäki ja Väisänen 1986, Huuri ja Lähde 1985, Huuri ym. 1987). Tutkimuksissa erottuu kaksi erilaista näkemystä siitä, mitä **mahdollisuuksia** viljely- ja kasvatustiheys tarjoaa mäntyrunkojen ulkoisen laadun parantamisessa. Esimerkiksi Huuri ja Lähde (1985, s. 303) esittävät, että viljely- ja kasvatustiheys tulee nostaa yli 10 000 ha^{-1}, ennen kuin viljely- ja kasvatustiheydellä on merkitystä (katso myös Huuri ym. 1987). Kellomäki ja Tuimala (1981) pitävät kuitenkin jo tiheyttä 2500-3000 ha^{-1} riittävänä (myös Jokinen ja Kellomäki 1982, Kellomäki 1984, Kellomäki ja Väisänen 1986).

Oksien paksuuden muutos puuston tiheyden muutoksen suhteen sekä oksien absoluuttinen paksuus tietyllä puuston tiheydellä antavat erilaisen kuvan oksikkuuden ja puuston tiheyden välisestä suhteesta. **Oksikkuuden muutos** suhteessa kasvatustiheyden muutokseen osoittaa rajahyödyn olevan suurimmillaan (puuston tiheyden kasvattamisesta saatava oksikkuuden väheneminen), kun viljelytiheys kasvaa 1000 rungosta 2500 runkoon hehtaarilla (esim. Kellomäki 1984, Kellomäki ja Väisänen 1986). Myös **absoluuttinen oksanpaksuus** pienenee voimakkaasti tällä tiheysalueella (Kellomäki ja Tuimala 1981, Huuri ym. 1987). Absoluuttinen oksanpaksuus pienee myös tätä suuremmilla tiheyksillä, kuten Huuri ja Lähde (1985) osoittavat tutkimuksessaan. Rajahyöty puuston tiheyden suhteen on tiheissä metsiköissä (tiheys > 2500 ha^{-1}) kuitenkin selvästi pienempi kuin harvoissa (tiheys < 2500 ha^{-1}) (Kellomäki ja Väisänen 1986).

Pienen kasvutiheyden synnyttämiä haittoja on esitetty poistettavaksi mm. siten, että männyntaimikoita kasvatettaisiin **sekataimikkoina**. Lehtipuiden on oletettu tällöin täydentävän männyn puuttuvaa tiheyttä, jolloin mäntyjen oksien kasvu jäisi vähäiseksi. Tämä mahdollisuus on tietenkin olemassa vain riittävän viljavilla kasvupaikoilla, jossa myös lehtipuut kasvavat riittävän nopeasti. Tällaisissa olosuhteissa nuoret männyt näyttävät kuitenkin muodostuvan tiheissäkin puustoissa oksikkaiksi kasvupaikan viljavuuden vuoksi, joten lehtipuiden merkitys mäntyjen oksikkuuden vähentämisessä voi jäädä merkityksettömäksi. Eräät männyntaimikoiden perkauskokeet viittaavat kuitenkin siihen, että runsas lehtipuusekoitus voi vähentää oksien kasvua (Jakkila ja Pohtila 1978, Ikäheimo ja Norokorpi 1986).

Syitä erilaisiin päätelmiin puuston tiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen voidaan etsiä mm. käytetyistä **aineistoista**. Esimerkiksi Huurin ja Lähteen (1985) aineisto edustaa pintakasvillisuuden ja maaperän perusteella arvioiden hyville puolukkatyypin kasvupaikoille istutettuja männiköitä, jotka pituusboniteetiltaan vastaavat kuitenkin mustikkatyypin ja käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikkoja (Huuri ym. 1987). Kellomäki ja Tuimala (1981), Jokinen ja Kellomäki (1982), Kellomäki (1984) sekä Kellomäki ja Väisänen (1986) tekevät päätelmänsä aineistoista, jotka edustavat mustikka- ja puolukkatyypin mäntyviljelmiä sekä kanervatyypin luontaisesti uudistuneita männiköitä. Yhdessäkään näistä tutkimuksista ei kasvupaikan viljavuutta ole määritelty metsätyyppiä täsmällisemmin, esimerkiksi ravinneanalyysien avulla. On kuitenkin

ilmeistä, että kasvatustiheyden merkitystä suuresti korostavat päätelmät perustuvat kaikkein viljavimpia kasvupaikkoja edustaviin aineistoihin.

Kasvupaikkojen **viljavuusvaihtelu** voi vaikeuttaa yksikäsitteisten päätelmien tekemistä puuston tiheyden vaikutuksesta nuorten mäntyjen oksikkuuteen myös sen vuoksi, että tiheyden vaikutus oksien paksuuteen voi vaihdella kasvupaikan viljavuudesta riippuen. Tähän mahdollisuuteen viittaa esimerkiksi Kärkkäisen ja Uusvaaran (1982) tutkimus nuorten mäntyjen ulkoisen laadun yhteydestä erilaisiin kasvupaikka- ja metsikkötekijöihin. Tutkimuksen mukaan erityisesti puolukkatyypin kasvupaikoilla oksaisuuslaatu parani, kun puuston tiheys kasvoi. Puolukkatyyppiä paremmilla kasvupaikoilla ei havaittu vastaavaa oksaisuuslaadun paranemista puuston tihentyessä.

Puuston tiheyden ja kasvupaikan viljavuuden keskinäisistä vaikutussuhteista on vaikea tehdä täsmällisiä päätelmiä, koska kasvupaikan viljavuuden määrittäminen on tähän mennessä tehdyissä tutkimuksissa jäänyt pelkästään metsätyyppien tasolle. Tämän vuoksi samaa metsätyyppiä edustavat havainnot voivat vaihdella varsin paljon ilman selvää kytkentää puuston tiheyteen (esim. Kellomäki ja Tuimala 1981). Vaihtelun voidaan tulkita ilmaisevan mm. metsätyypin sisäistä viljavuusvaihtelua, joka vaikeuttaa myös kasvu- ja tuotosennusteiden laadintaa. On mahdollista, että tähän mennessä tehtyjen tutkimusten ristiriitaiset tulokset johtuvat metsätyyppien huonosta kyvystä ennakoida puiden kasvua. Näin saattaa olla erityisesti taimikko- ja riukuvaiheen metsiköissä, joita tähän mennessä tehdyt tutkimukset pääasiassa edustavat.

Kärkkäinen ja Uusvaara (1982) osoittavat työssään nuorten mäntyjen ulkoisen laadun kytkeytyvän kiinteästi puiden **kasvunopeuteen**. Tuloksen he tiivistävät seuraavaksi toteamukseksi: **"tarkasteltaessa samankokoisia puita laatu heikkenee kasvun parantuessa, johtuipa hyvä kasvu mistä tekijöistä tahansa"**. Näitä tekijöitä voivat olla mm. viljava kasvupaikka, alhainen kasvatustiheys tai puun vallitseva metsikköasema (Heikinheimo 1953, Kellomäki 1982, Oker-Blom ja Kellomäki 1982, Vuokila 1982, Kellomäki ja Väisänen 1986).

Paitsi taimikoiden harvuus ja kasvupaikkojen viljavuus voi nuorten mäntyjen oksikkuus kytkeytyä myös taimien kylvösiementen **alkuperään**. Esimerkiksi Persson (1976) on osoittanut, että Etelä-Ruotsista peräisin olevat männyt ovat aina oksikkaampia kuin Pohjois-Ruotsista peräisin olevat. Nuorissa männyissä (ikä < 30 a) tämä ilmenee mm. oksien läpimitan pienenemisenä ja oksien lukumäärän vähenemisenä yhdellä, kahdella oksalla syntyvää kiehkuraa kohti, kun verrataan samaa kasvatustiheyttä edustavia etelä- ja pohjoisruotsalaisia mäntyjä keskenään.

Mäntyjen alkuperän vaikutus voi olla eräs syy siihen, että nuoria viljelymäntyjä pidetään oksikkaampina kuin samanikäisiä luonnontaimia (luontaisesti syntyneet tai luontaisen uudistamisen tuloksena syntyneet taimet) (Huuri ja Lähde 1985), sillä tuotosnäkökohdat puoltavat eteläisten alkuperien suosimista metsänviljelyssä. Tätä tärkeämpi syy lienee kuitenkin männyn luontaisen uudistamisen käyttäminen pelkästään karuilla ja karuhkoilla kankailla, joilla kasvupaikan karuus

ja taimikoiden suuri tiheys rajoittavat oksien kasvua (Heikinheimo 1953). Toistaiseksi ei ole kuitenkaan tehty koetta, jossa mäntyä olisi uudistettu luontaisesti ja viljellen sekä viljavilla että karuilla kasvupaikoilla siten, että taimikot saisivat varttua alusta lähtien likimain yhtä tiheinä. Vasta tällainen koe voisi antaa tyhjentävän vastauksen kysymykseen, onko **uudistamistavalla** sinänsä vaikutusta nuorten mäntyjen oksikkuuteen.

Puuaineen ominaisuudet

Puuaineen **tiheys** on vain välillisesti yhteydessä puuston tiheyteen siten, että tiheys riippuu vuosiluston leveydestä (Hakkila 1966, 1979, Kärkkäinen 1985, Uusvaara 1985): vuosiluston leveyden kasvaessa puuaineen tiheys pienenee. Tiheyden ja vuosiluston leveyden välinen riippuvuus on yhteydessä **kevät- ja kesäpuun määräsuhteisiin** vuosilustossa. Tiheässä metsikössä kasvaneessa puussa on kevyttä kevätpuuta suhteellisesti vähemmän kuin raskasta kesäpuuta, jolloin tiheässä metsikössä kasvaneen puun puuaineen tiheys kokonaisuutena kasvaa. Esimerkkinä voidaan mainita Kellomäen (1988, s. 294) havainnot, joiden mukaan nuorten mäntyjen (ikä < 25 a) puuaineen tiheys oli puuston tiheydellä < 2000 ha^{-1} keskimäärin 350 kg/m^3 ja puuston tiheydellä > 7000 ha^{-1} keskimäärin 400 kg/m^3. Puuston tiheydellä > 30000 ha^{-1} puuaineen tiheys kohosi noin 450 kg/m^3. Puuaineen tiheyden ja vuosiluston leveyden välinen yhteys merkitsee samalla sitä, että tiheys vähenee kasvupaikan viljavuuden lisääntyessä.

Kasvatustiheyden vaikutusta puuaineen tiheyteen ja sahatavaran ominaisuuksiin havainnollistavat esimerkiksi Harrisin ym. (1976) tutkimukset radiatamännyn (Pinus radiata) lujuusominaisuuksista. Nämä tutkimukset osoittavat, että oksikkuuden ja puuaineen tiheyden välillä on yhdysvaikutusta: esimerkiksi 10 %:n tiheyslisäys kompensoi 60 %:n lisäyksen oksien läpimitassa (soirojen mitat olivat 100 x 50 mm). Tässä tapauksessa on syytä korostaa, että puuston tiheyden kasvattaminen vähensi puiden oksien paksuutta samalla, kun puuaineen tiheys kasvoi. Myös massansaanto raaka-aineyksikköä kohti kasvaa suoraviivaisesti suhteessa puuaineen tiheyden kasvuun (Persson 1976).

Vuosiluston leveyttä käytetään myös sellaisenaan, kun pyritään ennakoimaan tukeista saatavan sahatavaran laatua. Esimerkiksi Halinen (1985) havaitsi, että mäntysahatavaran U/S-laadun osuus maksimoitui, kun tyvitukin ytimen ympäriltä mitatuttujen vuosilustojen leveys oli 1.5 - 2.0 mm (luston keskimääräinen leveys läpimitaltaan 12 cm:n suuruisessa kiekossa ytimen ympärillä). Myös Uusvaara (1985) tuli samanlaisiin päätelmiin, kun hän tutki koesahauksien avulla luontaisesti uudistuneista ja viljelyistä männiköistä saatujen runkojen laatua. Vuosiluston leveys ja puiden **järeytyminen** sellaisenaan on kiinteässä yhteydessä puuston kasvatustiheyteen ja kasvupaikan viljavuuteen, kuten laaja metsäpuiden kasvua ja tuotosta koskeva kirjallisuus osoittaa.

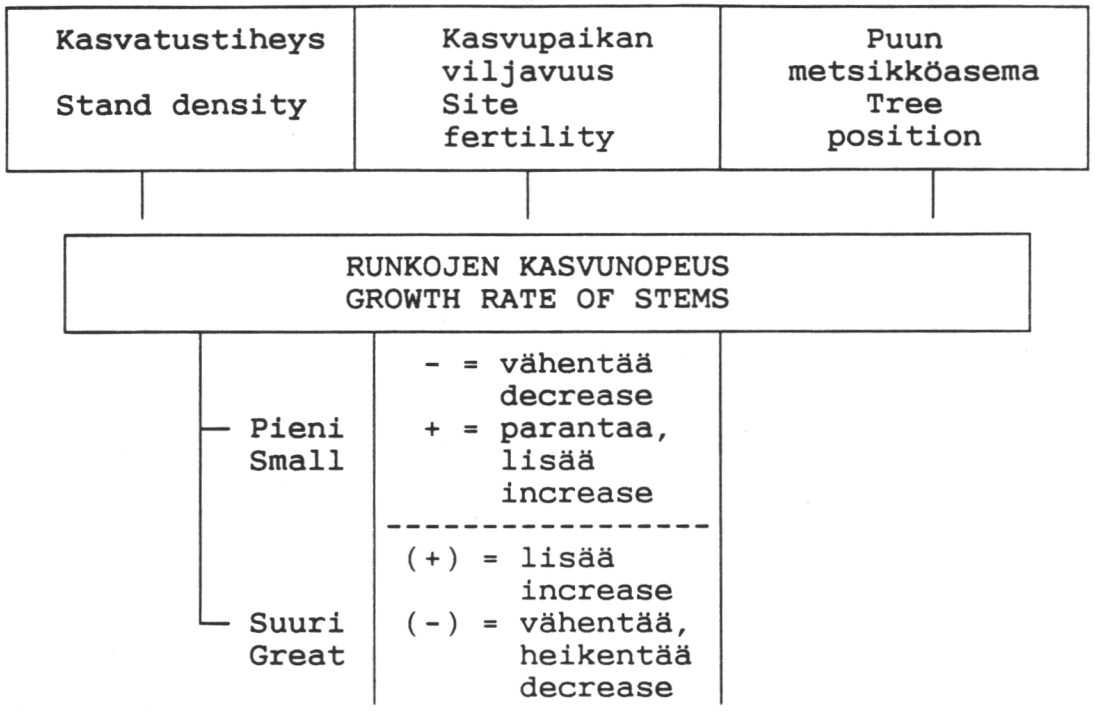
Puuston kasvatustiheys vaikuttaa myös rungon **muotokasvuun**: metsikön tiheyden kasvaessa runko lähestyy muodoltaan lieriötä ja kasvatustiheyden pienentyessä kartiota. Varsinkin

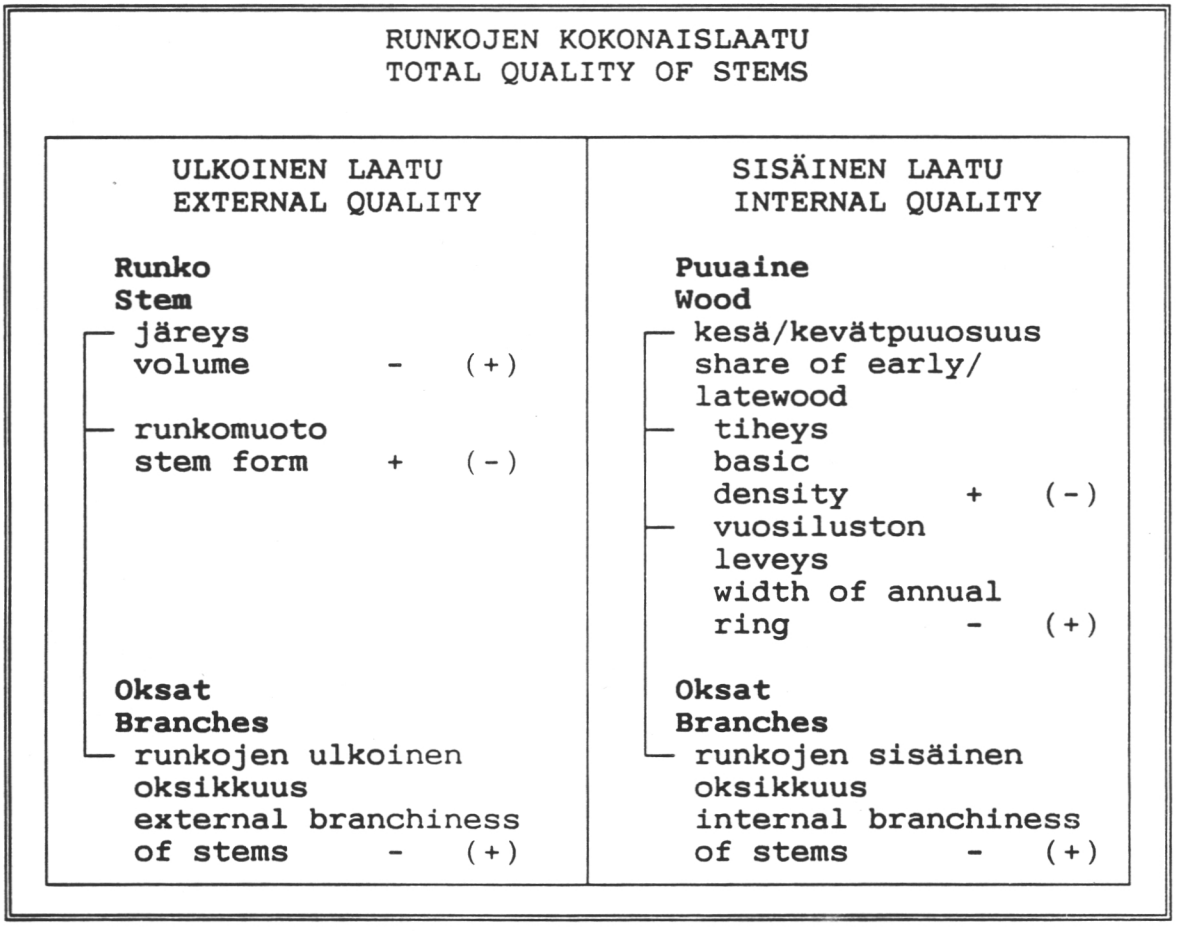
viljavilla kasvupaikoilla muotokasvun ja kasvatustiheyden välinen yhteys on selvä. Vaikutus on samanlainen kuin puun metsikköaseman siten, että vallittujen puiden runkomuoto on lieriömäisempi kuin vallitsevien. Suureen kasvatustiheyteen liittyvä hyvä runkomuoto merkitsee kuitenkin rungon hidasta järeytymistä, joten hyvämuotoisten ja järeiden runkojen kasvattaminen edellyttää tiettyä kompromissia em. tekijöiden kesken puuston kasvatustiheyden valinnassa.

1.5. Rungon ulkoisen ja sisäisen laadun keskinäinen yhteys

Runkojen ulkoinen laatu (oksikkuus, järeys, runkomuoto) ja sisäinen laatu (puuaineen oksikkuus, puuaineen tiheys, luston leveys, kesäpuuosuus) riippuvat puiden kasvunopeudesta, joka kytkee eri laatutekijät yhteen. Runkojen ulkoinen ja sisäinen laatu näyttävät molemmat paranevan, kun puiden kasvunopeus hidastuu, lukuunottamatta runkojen järeytymistä (kuva 1.2). Tämän vuoksi tavoite kasvattaa nopeasti järeitä ja myös muissa suhteissa laadukkaita runkoja on ristiriitainen. Esimerkiksi viljava kasvupaikka ja harva kasvatustiheys tuottavat järeitä runkoja, mutta nämä voivat olla muilta laatuominaisuuksiltaan heikkoja.

Runkojen ulkoinen ja sisäinen laatu näyttävät muuttuvan eri tavoin suhteessa kasvupaikan viljavuuteen ja puuston tiheyteen. Esimerkiksi tyvitukeista saatavan U/S-laatuisen sahatavaran määrä riippuu käyräviivaisesti vuosilustojen keskipaksuudesta, jolloin pieni ja suuri kasvutiheys voi heikentää laatujakaumaa (Halinen 1985). Samanaikaisesti puiden kasvunopeuden pieneneminen näyttää aina parantavan runkojen oksikkuuslaatua. Tämän vuoksi runkojen kokonaislaatu (runkojen ulkoisten ja sisäisten ominaisuuksien kokonaisvaikutus runkojen käyttöarvoon) suhteessa kasvupaikan viljavuuteen ja puuston kasvatustiheyteen painottuu eri tavoin eri laatutunnusten suhteen, jolloin kokonaislaatu muodostuu eri tekijöiden yhteisvaikutuksen tuloksena.





Kuva 1.2. Puiden laatutekijöiden keskinäinen yhteys.
Fig. 1.2. The connection of different quality factors of trees.

2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ

2.1. Ongelman asettelu

Pohjoismaissa tehdyt tutkimukset osoittavat mäntytukkien laatuongelmien kytkeytyvän kiinteästi puiden kasvuprosesseihin sekä metsänkasvatukseen (katso esim. Persson 1975, Vuokila 1972, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982). Tämän vuoksi nyt raportoitavan tutkimushankkeen tavoitteena oli tutkia nimenomaan männyn laatukasvatuksen menetelmiä. Ongelma jaettiin neljään osaongelmaan seuraavasti:

1) Puuston kasvatustiheyden vaikutus oksikkuuteen ja rungon järeyteen.

2) Kasvupaikan viljavuuden vaikutus oksikkuuteen ja rungon järeyteen.

3) Puuston kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden yhdysvaikutus oksikkuuteen ja rungon järeyteen.

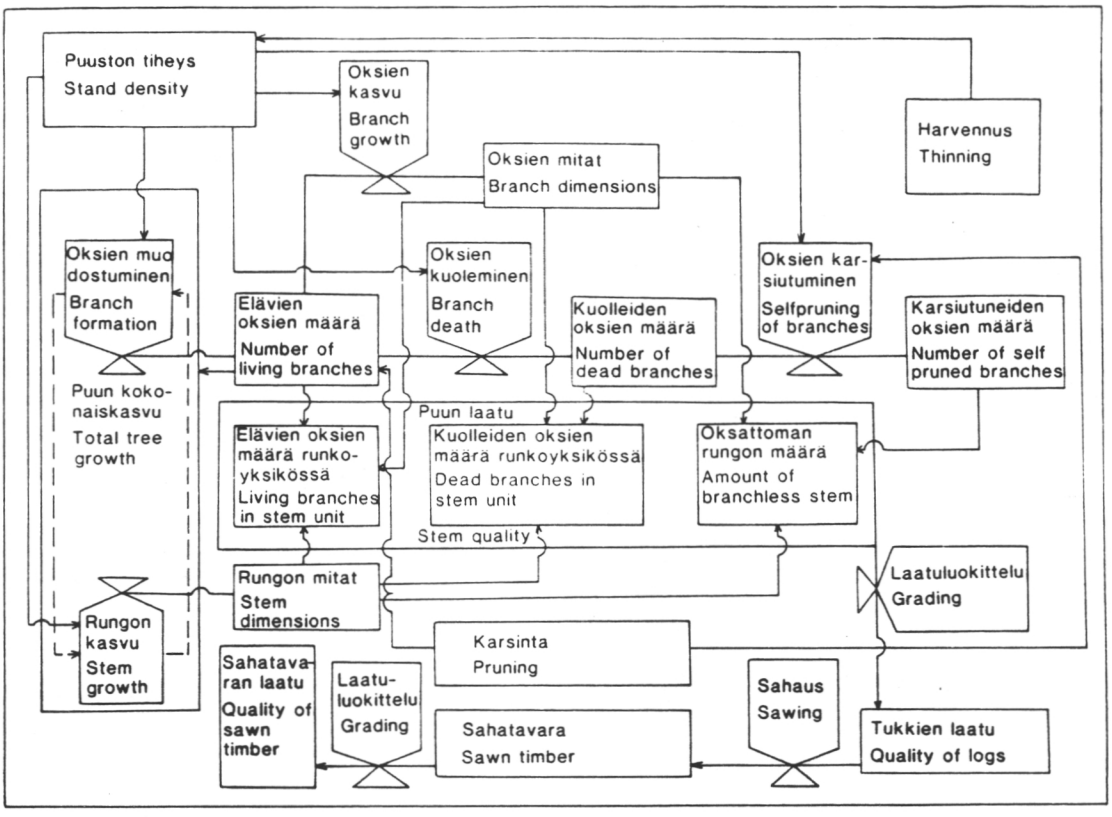
4) Rungon järeyden maksimoiva ja oksikkuuden minimoiva viljely- ja kasvatustiheys eri kasvupaikoilla.

Osaongelmien ratkaisun pohjalta haluttiin edelleen laatia kasvupaikkakohtaiset viljely- ja kasvatustiheyssuositukset, joiden avulla pyritään järeän ja vähäoksaisen sahapuun tuottamiseen. Perinnöllisten tekijöiden vaikutus oksikkuuteen jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle.

2.2. Ongelman käsittely ja tutkimuksen kulku

Oksikkuuden ja puuston tiheyden välistä suhdetta tutkittiin aluksi empiirisesti mittaamalla nuorten (ikä < 25 a) mäntyjen oksien ja runkojen ominaisuuksia tiheydeltään vaihtelevissa metsiköissä. Puustot edustivat samalla viljavuudeltaan erilaisia kasvupaikkoja. Oksikkuudella tarkoitettiin tässä tapauksessa pelkästään runkojen ulkoista oksikkuutta, jota kuvattiin myöhemmin esitettävien indeksien avulla.

Tutkimusongelmaa käsiteltiin myös ekofysiologista mallitusta hyväksi käyttäen. Mallitarkastelu kuvaa oksikkuutta rungon ja latvuksen kasvu- ja kehitysprosesseista lähtien siten, että puuston tiheys säätelee rungon kasvunopeutta sekä oksien syntymistä, kasvua, kuolemista ja karsiutumista (kuva 2.1). Malliin sisällytettiin myös harventaminen ja pystykarsinta, jolloin simuloitujen koesahausten avulla voitiin arvioida myös näiden tekijöiden vaikutusta runkojen ulkoiseen ja sisäiseen laatuun sekä sahatavaran ominaisuuksiin. Ekofysiologinen mallittaminen ja empiirinen työ muodostavat kaksi erillistä linjaa tutkimusongelman ratkaisussa.



Kuva 2.1. Työn yleismalli.
Fig. 2.1. The general study approach.

3. TUTKIMUSAINEISTO

3.1. Koealat ja koepuut

Tutkimusaineisto kerättiin vuosina 1984 - 1985 (taulukko 3.1). Se edusti pääasiassa männyn luontaisia kasvupaikkoja: 8 mustikkatyypin (MT), 13 puolukkatyypin (VT) ja 12 kanervatyypin (CT) metsikköä. Aineistoa täydennettiin edelleen vuosina 1986 ja 1987, jolloin mitattiin 14 koivusekoitteista viljelymännikköä (taulukko 3.2) ja 3 puhdasta käenkaali-mustikkatyypin (OMT) viljelymännikköä (ks. taulukko 3.1). Koivusekoitteiset männiköt edustivat mustikkatyypin kasvupaikkoja. Kaikki käenkaali-mustikkatyypin, mustikkatyypin ja puolukkatyypin metsiköt olivat istutettuja. Osa kanervatyypin metsiköistä oli luontaisesti syntyneitä. Viljelyssä käytettyjen taimien ja siementen alkuperää ei tunneta. Koealametsiköitä oli siis yhteensä 50.

Kustakin metsiköstä mitattiin 100 m^2:n suuruinen **ympyräkoeala**, joka sijoitettiin tyypilliseen ja puustoltaan yhtenäiseen kohtaan metsikössä. Koealan ympärillä oli joka suuntaan vähintään 10 m:n levyinen vaippa. Koepuiden valitsemiseksi mitattiin puuston runkolukusarja 1 cm:n luokitusta käyttäen. Kustakin läpimittaluokasta otettiin koepuuksi ensimmäinen eteen sattuva puu ja tämän jälkeen kunkin läpimittaluokan joka kuudes puu. Koivusekoitteisia puustoja edustavilla koealoilla tehtiin myös puuston kartoitus siten, että mitattiin kunkin puun etäisyys koelan keskipisteestä (cm) sekä määritettiin koepuun kompassisuunta koealan keskipisteestä katsoen (asteina). Kaikkiaan mitattiin 492 koepuuta (ks. taulukot 3.1 ja 3.2), jotka muodostivat tutkimuksen perusaineiston.

Tutkimusmetsiköiden puusto oli 17 - 26 vuotiasta (taulukko 3.1). Aineisto edusti varsin suurta puuston tiheys- ja kokovaihtelua, sillä puuston tiheysvaihtelu oli käenkaali-mustikkatyypillä 1500 - 3000 ha^{-1}, mustikkatyypillä 1000 - 3200 ha^{-1}, puolukkatyypillä 1000 - 5000 ha^{-1} ja kanervatyypillä 1100 - 3700 ha^{-1}. Puuston keskiläpimitta oli käenkaali-mustikkatyypillä 8.6 - 16.3 cm, mustikkatyypillä 8.5 - 11.5 cm, puolukkatyypillä 6.4 - 12.6 cm ja kanervatyypillä 5.5 - 7.8 cm sekä keskipituus käenkaali-mustikkatyypillä 6.6 - 10.5 m, mustikkatyypillä 5.5 - 8.4 m, puolukkatyypillä 5.0 - 9.0 m ja kanervatyypillä 3.5 - 5.5 m. Keskiläpimitat ja keskipituudet laskettiin koepuiden aritmeettisina keskiarvoina.

Mänty-koivusekametsiköissä (taulukko 3.2) puiden ikä vaihteli männyllä 15 - 21 ja koivulla 12 - 21 vuoteen. Puuston tiheys oli viidessä puhtaassa männikössä 1500 - 5000 ha^{-1} ja koivusekoitteisissa männiköissä 1500 - 4000 ha^{-1}. Mäntyjen keskiläpimitta oli 7.4 - 12.3 cm ja koivujen 5.0 - 11.2 cm. Keskipituus oli männyillä 4.8 - 9.9 m ja koivuilla 6.1 - 10.6 m. Lehtipuun osuus vaihteli koivusekoitteisissa metsiköissä 10 - 80 %.

Taulukko 3.1. Koealojen yleiskuvaus.
Table 3.1. General description of the study areas.

Koeala Sample plot	Metsä tyyppi Site type	Tiheys Density ha-1	Koepuiden lukumäärä Number of sample trees	Ikä Age a	Pituus Height m	Lpm Diameter cm	Sij. Loc.
1	CT	1100	6	21	4.7	7.3	Ni
2	CT	1300	7	25	5.6	7.7	Ni
3	CT	1500	6	26	5.1	7.8	Ni
4	CT	1800	6	20	3.5	5.3	Ni
5	CT	2000	8	24	4.3	6.1	Ni
6	CT	2100	6	23	3.8	5.5	Ni
7	CT	2200	7	23	4.1	6.5	Ni
8	CT	2300	6	23	3.8	5.5	Ni
9	CT	2400	6	24	4.1	6.1	Ni
10	CT	2500	7	23	3.9	5.5	Ni
11	CT	3300	9	26	4.9	6.3	Ni
12	CT	3700	11	24	5.3	6.2	Ni
13	VT	1000	7	19	8.2	12.6	Pa
14	VT	1300	8	18	6.2	10.2	Jy
15	VT	1700	9	18	5.9	8.3	Ju
16	VT	2000	7	17	7.6	10.6	Al
17	VT	2100	9	21	7.5	8.7	Äh
18	VT	2300	9	17	7.0	9.5	Jy
19	VT	2400	10	17	7.1	9.7	Hy
20	VT	2600	11	18	7.4	8.6	No
21	VT	3000	9	19	5.0	7.2	Äh
22	VT	3300	10	19	5.7	7.9	No
23	VT	3700	10	18	5.6	6.4	Ta
24	VT	4600	14	18	6.8	7.8	Ha
25	VT	5000	16	20	9.0	9.3	Ha
26	MT	1000	6	19	6.0	11.5	Pa
27	MT	1600	8	17	5.5	8.5	Äh
28	MT	2100	9	18	8.1	10.9	Tu
29	MT	2200	9	18	8.1	11.3	Al
30	MT	2300	9	18	6.6	8.9	No
31	MT	2500	9	19	7.4	10.7	Ju
32	MT	2700	9	19	8.4	11.1	Äh
33	MT	3200	10	18	7.6	10.4	No
34	OMT	1500	7	22	10.5	16.3	Ru
35	OMT	2200	10	19	8.0	12.5	Ha
36	OMT	3000	9	19	6.6	8.6	Ha

selitteet: CT = Calluna, VT = Vaccinium,
symbols: MT = Myrtillus, OMT = Oxalis-Myrtillus tyyppi (type)
Ni = Niinisalo, Pa = Padasjoki, Jy = Jyväskylä,
Ju = Juupajoki, Al = Alastaro, Äh = Ähtäri,
Hy = Hyytiälä, No = Noormarkku, Ta = Tammela,
Ha = Hartola, Tu = Tuusula, Ru = Ruotsinkylä

Taulukko 3.2. Mänty-koivusekametsiköiden yleiskuvaus

Table 3.2. General description of the mixed pine and birch stands.

Koe-ala S. plot	Tiheys Stand dens. ha^{-1}	Lehtipuun osuus Share of broad-leaved trees, %	Puiden lkm Number of sample trees	Ikä Age a	Pituus Height m	Lpm Diam. cm	Puulaji Tree species	Sij. Loc.
1	4000	50	10	21	9.2	12.1	mä	Pa
			7	17	10.5	6.1	ko	
2	5000	0	17	21	9.9	9.4	mä	Pa
3	2500	32	9	20	8.3	12.3	mä	Dr
			6	13	7.2	5.8	ko	
4	2000	25	9	21	8.3	11.8	mä	Dr
			5	21	9.8	9.1	ko	
5	1500	60	4	17	7.8	10.4	mä	No
			7	14	10.6	11.2	ko	
6	2000	80	3	19	7.8	10.3	mä	Po
			8	16	9.9	8.2	ko	
7	2500	52	6	21	7.7	8.3	mä	Po
			8	15	9.1	7.1	ko	
8	3500	31	9	21	8.5	10.8	mä	Po
			6	15	8.0	6.0	ko	
9	3500	17	13	20	8.4	11.0	mä	Po
			5	12	7.6	5.0	ko	
10	3500	0	13	20	7.2	8.6	mä	Po
11	2500	0	11	20	8.0	9.9	mä	Po
12	2000	0	8	18	6.5	9.1	mä	Po
13	2000	10	9	15	4.8	7.4	mä	Te
			2	14	6.1	5.7	ko	
14	1500	0	8	18	6.2	10.4	mä	Te

selitteet: mä = mänty (pine)
symbols: ko = koivu (birch)

Pa = Parainen, Dr = Dragsfjärd, No = Noormarkku,
Po = Pomarkku, Te = Tenhola

3.2. Koepuiden mittaus ja laboratorioanalyysit

Koepuista mitattiin pituus, latvusraja ja latvuksen pituus, läpimitat rinnankorkeudelta ($D_{1.3}$) ja 10 cm päästä tyvileikkauksesta ($D_{0.1}$). Koepuiden jokaisesta oksakiehkurasta mitattiin kiehkuran etäisyys latvasta, elävien ja kuolleiden oksien lukumäärä, elävien ja kuolleiden oksien läpimitta, oksakulma ja elävien oksien pituus. Koepuista arvottiin edelleen noin puolet eli kuusi runkoa koealaa kohti **puuainenäytteiden** ottoa varten. Näissä mittauksissa keskityttiin kasvatettavan peruspuuston tutkimiseen: selvät ylispuut ja kasvussa selvästi jälkeen jääneet (aluspuut ja välipuut) jätettiin aineiston ulkopuolelle.

Puuainenäytteiksi sahattiin kustakin koepuusta 3 - 4 cm paksut näytekiekot 1.3 m:n korkeudelta sekä rungon suhteellisilta korkeuksilta 10 %:n välein puun tyveltä (0-korkeudelta) lähtien. Runko- ja oksapuun kuiva-tuoretiheyden välisen riippuvuuden tutkimiseksi otettiin kanervatyypin metsiköissä kustakin rungosta myös näyte rungon paksuimman elävän oksan tyvestä sekä saman oksan puolivälistä. Samasta kiehkurasta otettiin samanlaiset näytteet myös kiehkuran ohuimmasta oksasta.

Runkokiekoista määritettiin rungon läpimitta kiekkoa vastaavalta korkeudelta, vuosiluston leveys, kuiva-tuoretiheys ja kesäpuuprosentti. Oksanäytteistä määritettiin pelkästään puuaineen kuiva-tuoretiheys. Vuosilustojen leveys ja kesäpuuosuus mitattiin lustomittarilla ja kuiva-tuoretiheys veteenupotusmenetelmällä. Kesäpuuprosentti laskettiin kesäpuun pinta-alan osuutena puun poikkileikkauspinta-alasta.

Kasvupaikkojen **viljavuus** määriteltiin metsätyyppien (pintakasvillisuus) ja ravinneanalyysien avulla. Ravinneanalyysejä varten otetiin kultakin koealalta neljästä osanäytteestä koostunut **maanäyte** kivennäismaan pintakerroksesta (0 - 10 cm). Tämän lisäksi otettiin neulasnäytteet koepuiden ylimmistä oksakiehkuroista. **Näyteneulaset** olivat yhden vuoden ikäisiä. Maanäytteitä ja neulasnäytteitä otettiin koealan mittausajankohdasta riippuen toukokuun puolesta välistä lähtien syyskuun loppuun lukuun ottamatta heinäkuuta. Maa- ja neulasnäytteet pakattiin muovipusseihin ja lähettiin laboratorioon, jossa ne pakastettiin (lämpötila < - 20 ^{0}C) välittömästi.

Näytteitä säilytettiin pakastettuina muutamasta päivästä useaan kuukauteen ennen niiden analysointia. Neulasnäytteistä määritettiin typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet sekä maanäytteistä kokonaistyppi, helppoliukoinen fosfori sekä vaihtuva kalium, kalsium ja magnesium. Ravinnemäärityksissä noudatettiin Halosen ym. (1983) laatimia ohjeita. Maanäytteistä määritettiin lisäksi raekoostumus seulomalla.

4. OKSIEN SYNTYMINEN JA KARSIUTUMINEN: EMPIIRISIÄ TULOKSIA JA MALLILASKELMIA LATVUKSEN OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVISTA PERUSTEKIJÖISTÄ

4.1. Oksien syntymis- ja kuolleisuustaulukot

Oksien määrään puiden latvuksissa vaikuttavat oksien syntyminen, kasvu, kuoleminen ja kuolleiden oksien karsiutuminen. Oksien **määrä** tietyllä hetkellä voidaan kuvata näiden prosessien nopeuksien ja puiden iän avulla siten, että elävien ja kuolleiden oksien määrä tietyllä hetkellä saadaan syntymis- ja kuolemisnopeuksien erotuksen kertymänä sekä kuolleiden oksien määrä oksien kuolemisen ja karsiutumisen erotuksen kertymänä. Elävien ja kuolleiden oksien massa voidaan samalla laskea oksien lukumäärien ja keskimassojen avulla.

Oletetaan puun latvus oksien muodostamaksi **populaatioksi** siten, että oksien syntyminen, kasvu ja kuoleminen määrittelevät oksapopulaation dynamiikan. Tätä voidaan kuvata yksinkertaisimmin oksien **syntymis- ja kuolleisuustaulukoiden** avulla siten, että taulukkoon sisältyy oksakiehkuroittaiset tiedot elävien ja kuolleiden oksien lukumääristä. Oksakiehkura muodostaa oksien kohortin, jonka iänmukaista kehitystä kuvataan syntymis- ja kuolleisyystaulukoiden avulla.

Tässä tutkimuksessa käytetyn aineiston mukaan syntyi nuoriin mäntyihin (ikä 15 - 25 a) vuosittain keskimäärin 4.7 oksaa eli ylimmässä oksakiehkurassa oli tämä määrä oksia (taulukko 4.1). Puittainen vaihtelu oli kuitenkin suurta riippuen kasvupaikan viljavuudesta ja puun asemasta metsikössä: viljavilla kasvupaikoilla ja vallitsevissa puissa oli enemmän oksia kuin karuilla kasvupaikoilla ja vallituissa puissa. Oksia kuoli vähän ja satunnaisesti kuudesta ylimmästä oksakiehkurasta. Tämän jälkeen oksia alkoi kuolla siten, että kiehkuroiden oksien lukumäärä vähenee likimain lineaarisesti kiehkuran iän funktiona. Oksien kuolemisnopeus oli keskimäärin 0.70 ± 0.06 oksaa vuotta kohti, jolloin kiehkuran oksamäärä puoliintui 4 - 5 vuodessa.

Taulukko 4.1. Oksien jakautuminen kiehkuroittain: elävät (s) ja kuolleet (d) (Kellomäki ja Väisänen 1986).
Table 4.1. Distribution of surviving (s) and dead (d) branches per whorls in the total material (Kellomäki ja Väisänen 1986).

Kiehkura Whorl	Oksia kiehkurassa, tapauksia Branches per whorl, number of cases 1	2	3	4	5 s/d	6	7	8	9	10
1	2/	5/	19/	46/	77/	39/	6/	4/		
2	2/1	3/	13/	44/	81/	40/	8/	4/	2/	
3	/6	3/4	14/1	27/	65/	49/	28/	9/	2/	1/
4	2/2	3/	23/	47/1	65/	36/	11/	8/	1/	
5	1/9	5/3	16/	50/	78/	24/	20/	2/		1/
6	3/12	1/5	13/1	46/1	81/	34/1	15/	3/	1/	
7	1/27	10/11	20/7	48/3	64/3	28/	18/	3/		
8	17/44	11/23	15/6	27/9	51/12	34/9	8/6	7/2		
9	21/38	17/24	26/21	36/17	35/25	9/9	4/2	/2		
10	16/26	17/19	11/9	21/18	29/41	9/25	7/15	/7	/3	/1
11	10/11	9/14	11/15	13/32	12/46	7/26	1/20	/13	/4	/2
12	12/9	8/16	4/14	3/36	3/53	/31	/20	/11	/4	/2
13	8/5	5/7	/23	/33	/65	1/29	/12	/17	/1	/1
14	1/11	1/19	/13	/32	/54	/39	/14	/9		
15	/14	/17	/26	/33	/47	/23	/5	/4		/2
16	/18	/28	/21	/28	/26	/17	/7			
17	/23	/21	/19	/21	/18	/12	/3		/1	
18	/17	/17	/16	/8	/12	/1		/1		
19	/9	/13	/9	/7	/4	/1				
20	/6	/8	/3	/4	/2					
21	/4	/3		/1	/1					
22	/1									
Yhteensä - Total	96/293	185/204		641/409		126/104			6/13	
		98/252	408/284		310/223		40/66			2/8

Oksien elämän kaari voidaan esittää myös todennäköisyystaulukkona, joka ilmaisee eri-ikäisten oksakiehkuroiden elossaolotodennäköisyyden ja kuolleisuuden siten, että oksakiehkuran määrittelemä kohortti on hengissä yhdenkin siihen kuuluvan oksan ollessa hengissä (taulukko 4.2). Kun käytetystä aineistosta eliminoitiin vuotuisen säävaihtelun aiheuttama vaihtelu oksien kiehkurakohtaisista lukumääristä, havaittiin oksien kuolevan vain poikkeuksellisesti viidestä ylimmästä oksakiehkurasta. Tämän jälkeen oksien odotettavissa oleva elinikä väheni nopeasti siten, että elävän oksan ikä ylitti vain satunnaisesti 14 vuoden iän.

Taulukko 4.2. Nuorten mäntyjen oksakiehkuroiden elossaolotodennäköisyys ja kuolleisuus (Kellomäki ja Väisänen 1986).
Table 4.2. Surviourship and mortality in branch population of canopy of young Scots pine stands in the total material (Kellomäki ja Väisänen 1986).

Ikäluokka Age interval a	Elossaolo tn. Surviourship o/oo	Keskim. kuolleisuus/vuosi Average mortality rate/year o/oo
0 - 1	1000	0
1 - 2	1000	0
2 - 3	1000	0
3 - 4	1000	0
4 - 5	1000	0
5 - 6	992	8
6 - 7	853	147
7 - 8	714	286
8 - 9	575	425
9 - 10	437	563
10 - 11	298	702
11 - 12	159	841
12 - 13	21	979
13 - 14	0	1000

4.2. Oksien populaatiodynamiikka

Mallin perusrakenne

Oksapopulaation dynamiikkaa voidaan kuvata myös **populaatiomalleilla**, jossa oksien syntyminen ja kuoleminen määrittelevät populaation suuruuden tietyllä hetkellä. Olkoon N(t) keskipuun oksien lukumäärä puun iällä t ja N(t-1) iällä t-1 sekä / N oksien lukumäärän muutos aikavälillä (t-1, t), jolloin

$$N(t) = N(t-1) + / N. \qquad (4.1)$$

Oksien lukumäärän muutos voidaan ilmaista pelkästään oksien syntymisen (B) ja kuolemisen (D) avulla, sillä latvukseen ei tule eikä sieltä poistu muilla tavoin oksia, jolloin

$$/ N = B - D. \qquad (4.2)$$

Oksapopulaation keskimääräinen kasvunopeus per capita (R) aikavälillä (t-1, t) voidaan ilmaista muodossa (Berryman 1985, ss. 36-52)

$$R = / N/N(t-1) = (B - D)/N(t-1)$$

$$= (N(t) - N(t-1))/N(t-1) \qquad (4.3)$$

Oksien lukumäärä puun latvuksessa hetkellä t voidaan kirjoittaa yhtälöiden (4.1) ja (4.2) avulla muodossa

$$N(t) = N(t-1) + R \cdot N(t-1). \qquad (4.4)$$

Merkitään R_m:llä oksien lukumäärän maksimaalista kasvunopeutta olosuhteissa, joissa muut puut eivät vaikuta ko. puun kasvuun. Oksien keskimääräinen kasvunopeus voidaan kirjoittaa maksimaalisen kasvunopuden funktiona muodossa

$$R = R_m - sN(t) \qquad (4.5)$$

missä s tarkoittaa puiden välistä kilpailutekijää ko. metsikössä. Oksien lukumäärän suuruus voidaan tämän jälkeen ilmaista muodossa

$$N(t) = N(t-1) + (R_m - sN(t-1)) \cdot N(t-1) \qquad (4.6)$$

On perusteltua olettaa, että sulkeutuneessa metsikössä oksia syntyy ja kuolee samalla nopeudella. Oksien lukumäärä vastaa kasvuympäristön tarjoamia mahdollisuuksia: oksapopulaation tiheys on yhtä suuri kuin kasvuympäristön kapasiteetti (K), eikä oksapopulaation ole enää mahdollista kasvaa eli

$$R_m = sK \qquad (4.7)$$

Oksapopulaation suuruus (N(t)) hetkellä t voidaan yhtälön (4.1) avulla kirjoittaa muotoon

$$N(t) = N(t-1) + (R_m - R_m N(t-1)/K) \cdot N(t-1) \qquad (4.8)$$

tai

$$N(t) = N(t-1) + R_m \cdot (1 - N(t-1)/K) \cdot N(t-1) \qquad (4.9)$$

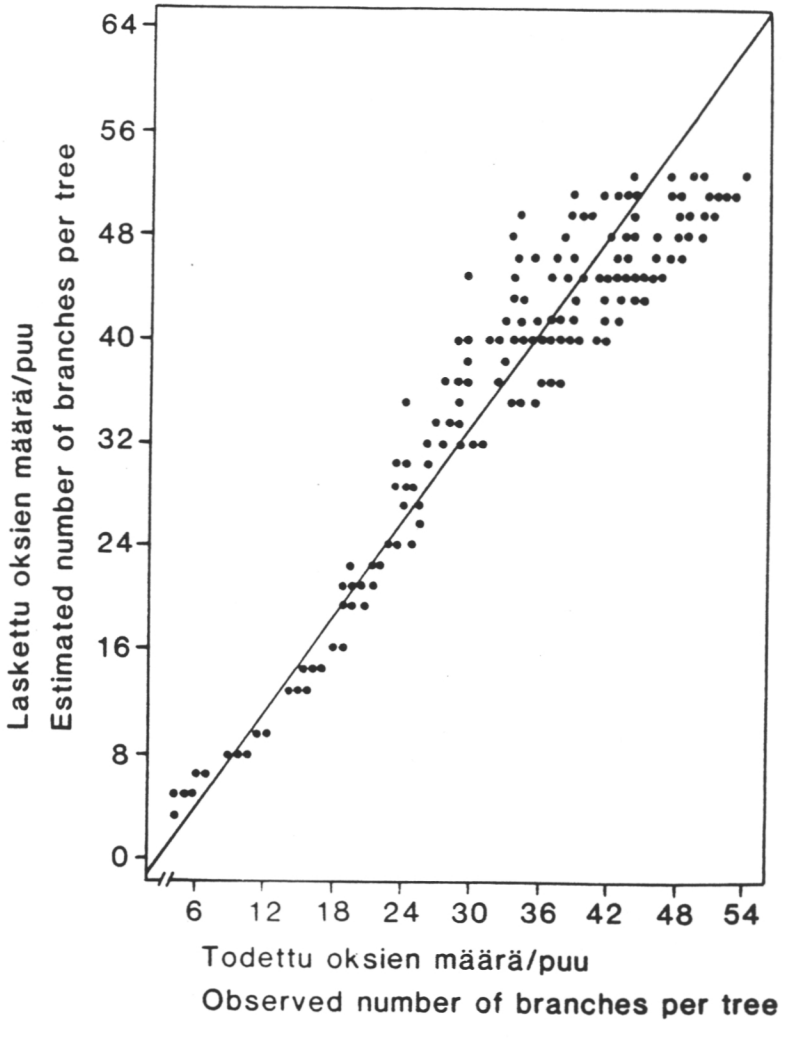
Yhtälön (4.9) parametrit R_m ja K on estimoitavissa empiirisestä aineistosta, jossa tekijät N(t) ja N(t-1) ilmaisevat latvuksen oksien määrää hetkillä t ja t-1 eli tarkasteluvuonna ja sitä edeltäneenä vuonna.

Elävien oksien esiintyminen ja lukumäärä

Parametrien R_m ja K arvot laskettiin käytettävissä olevasta aineistosta siten, että parametrin R_m arvo on periaatteessa yhtä suuri kuin lausekkeen $R_m(t) = (N(t) - N(t-1))/N(t-1)$ maksimiarvo kun $t \leq 14$ vuotta. Paras yhteensopivuus mallin ja empiirisen aineiston välille saatiin kuitenkin silloin, kun parametrin R(t) toiseksi suurinta arvoa käytetttiin R_m:n arvona. Parametrin K arvo on puolestaan yhtä suuri kuin N(t):n maksimiarvo kun $t \leq 14$ vuotta. Parametrin arvot laskettiin metsiköittäin, mutta niissä ei havaittu mitään metsikkörakenteen mukaista vaihtelua. Metsätyypeittäin saatiin parametreille seuraavat arvot:

Metsätyyppi	R_m	K
VT	0.58±0.04	45.21±5.71
MT	0.52±0.04	47.50±4.94
Keskimäärin	0.56±0.05	46.08±4.94

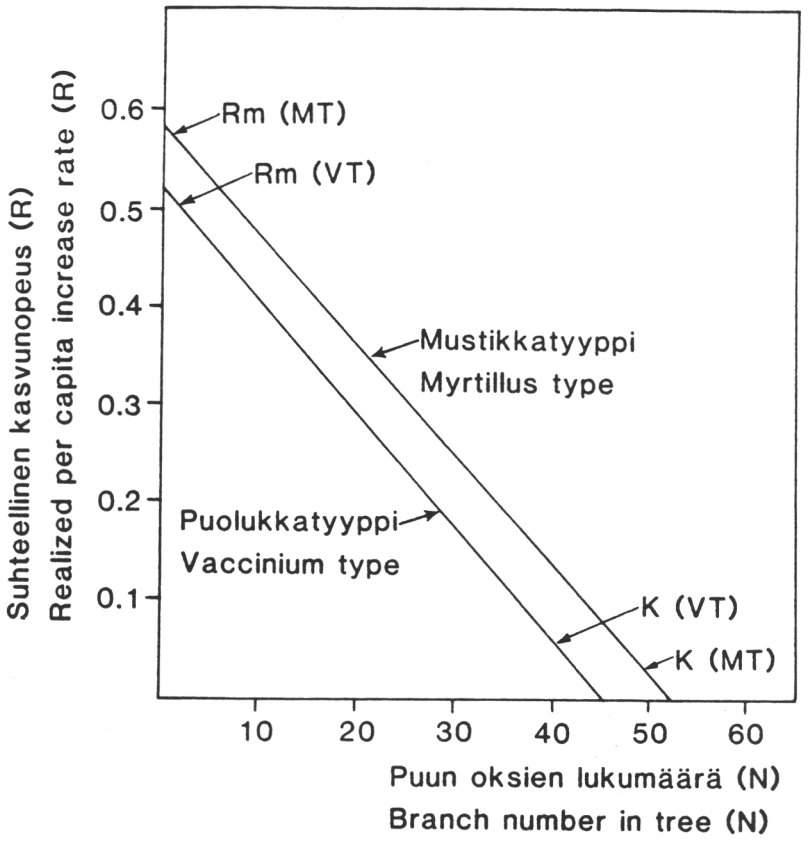
Mittausaineistoon verrattuna yhtälö (4.9) antoi tyydyttävän tuloksen, joskin se aliarvio latvuksen yläosan ja yliarvioi latvuksen alaosan oksien määrää (kuva 4.1). Jälkimmäisessä tapauksessa tulokseen vaikuttaa oksien kuolemisen satunnaisuus, jota käytetty populaatiomalli ei ota huomioon.



Kuva 4.1. Yhtälöllä (4.9) laskettu ja todettu puun elävien oksien lukumäärän välinen yhteensopivuus puolukkatyyppiä vastaavilla kasvupaikoilla (Kellomäki ja Väisänen 1986).
Fig. 4.1. Example of the relationship between observed and predicted values of the number of surviving branches on sites of Vaccinium type as calculated with the help of Equation (4.9) (Kellomäki ja Väisänen 1986).

Parametrien R_m ja K avulla voidaan tutkia myös puiden välistä vuorovaikutusta ja oksikkuuden yhteyttä siihen. Yhtälön (4.5) mukaan $R = R_m - sN(t)$, jossa parametri s ilmaisee oksien välisen vuorovaikutuksen suuruutta metsikössä. Tämän parametrin arvo vaihteli metsikköin välillä 0.0090 - 0.145 siten, että vaihtelu ei ollut kytkettävissä metsiköiden rakenteeseen. Parametrin arvo oli keskimäärin 0.0123 ± 0.0012 puolukkatyypin ja 0.0101 ± 0.00012 mustikkatyypin kasvupaikoilla, jolloin arvot poikkesivat toisistaan suuntaa-antavasti ($p < 0.20$). Puolukkatyypin metsiköissä vallitsi täten keskimäärin 1.217 kertaa suurempi kilpailu oksien kesken kuin mustikkatyypin kasvupaikoilla (laskettuna metsätyypeittäisten parametrien suhteena). Täten tietyn suuruinen puuston tiheys on puolukkatyypillä 1.217 kertaa tehokkaampaa verrattuna mustikkatyypin puustoon.

Oksiston kasvunopeus (R) riippuu latvuston potentiaalisesta kasvunopeudesta (R_m): kun N(t):n arvo lähestyy puolukkkatyypillä arvoa 45.4 ja mustikkatyypillä arvoa 51.9 (latvuksen alaosa), joka on sama kuin parametri K:n arvo (kuva 4.2). Vastaavasti kun N:n arvo lähestyy arvoa nolla (latvuksen yläosa), niin toteutuva ja potentiaalinen oksiston kasvunopeus saavat yhtä suuria arvoja. Täten latvukseen kertyvien oksien kokonaismäärä säätelee latvuksessa olevien oksien kokonaismäärää, joka ei voi ylittää parametri K:n määräämää tasoa.



Kuva 4.2. Oksiston kasvunopuden (R) ja puun oksien lukumäärän (N) välinen regressio. Parametri K ilmaisee keskipuun latvuksen suurinta mahdollista oksien lukumäärää (Kellomäki ja Väisänen 1986).
Fig. 4.2. Regression between the actual values of the per capita growth rate (R) and the number of branches (N) in tree. Parameter K indicates the carrying capasity of branches per the mean tree (Kellomäki ja Väisänen 1986).

Kuolleiden oksien esiintyminen ja lukumäärä

Myös kuolleiden oksien määrä voidaan kytkeä oksiston populaatiodynamiikkaan, sillä kuolleiden oksien määrä voidaan kirjoittaa muodossa

$$D(t) = B(t) - R \cdot N(t-1) = B(t) - R_m s N(t) \cdot N(t-1) \qquad (4.10)$$

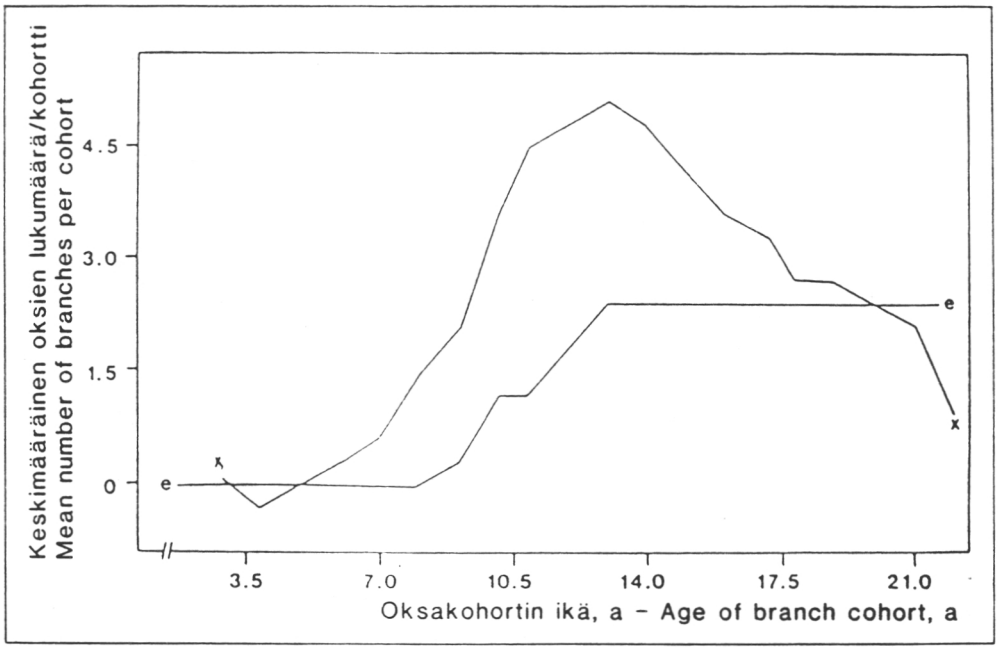
Yhtälön (4.10) mukaan oksien kuoleminen on yhteydessä oksien syntymisnopeuteen sekä oksiston potentiaaliseen kasvunopeuteen, latvuksessa jo olevien oksien kokonaismäärään ja oksien (puiden) väliseen kilpailuun. Tällöin

(i) oksien kuoleminen vähenee oksiston potentiaalisen kasvunopeuden (R_m) lisääntyessä,

(ii) oksien syntymisnopeuden kasvaessa kasvaa myös oksien kuoleminen, koska oksien kertyminen latvukseen nopeutuu ja oksien välinen kilpailu lisääntyy,

(iii) Oksien kuoleminen on verrannollinen oksien määrän toiseen potenssiin.

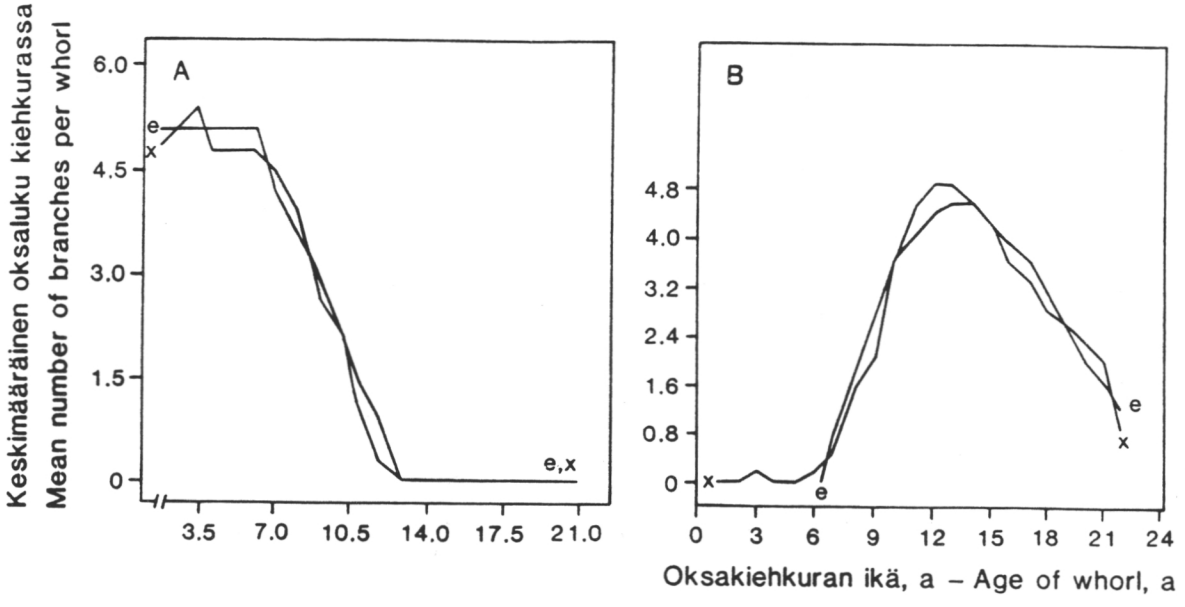
Mallin perusteella on pääteltävissä, että odotusten mukaisesti oksikasta genotyyppiä edustavissa puissa tai tiheässä kasvaneissa puissa on runsaasti kuolleita oksia. Malli ei kuitenkaan antanut erityisen hyviä tuloksia laskettaessa kuolleiden oksien esiintymistä koepuissa (kuva 4.3).



Kuva 4.3. Keskipuun havaittu (x) ja yhtälön (4.10) avulla ennustettu (e) kuolleiden oksien lukumäärä oksakohortin iän funktiona (Kellomäki ja Väisänen 1986).
Fig. 4.3. Observed (x) and predicted (e) number of dead branches per the mean tree as a function of the age of branch cohort as calculated with the help of Equation (4.10) (Kellomäki ja Väisänen 1986).

4.3. Oksien karsiutuminen

Kun oksakiehkuran ikä oli 11 - 13 vuotta, siinä oli likimain yhtä monta kuollutta oksaa kuin alunperin eläviä oksia (taulukko 4.1). Kuolleeet oksat karsiutuivat kuitenkin vähitellen siten, että kuolleiden oksien ikä oli niiden syntymästä lukien harvoin suurempi kuin 20 vuotta. Oksien karsiutumiseen oksien kuolemasta lukien kului 8 - 10 vuotta, joten oksa vaikutti puuaineen laatuun kuolleena likimain yhtä kauan kuin elävänä (kuva 4.4). Täten oksien karsiutuminen näyttää vaikuttavan likimain yhtä paljon puuaineen oksikkuuteen kuin elävät oksat, jos vaikutuksen suuruutta mitataan elävien ja kuolleiden oksien läsnäolon pituudella.



Kuva 4.4. Elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien kokonaismäärä oksakiehkuran iän funktiona nuorissa (ikä 15 - 20 a) puolukkatyypin viljelymänniköissä (Kellomäki ja Väisänen 1986). Merkkien selitys: x = todettu, e = laskettu arvo.
Fig 4.4. The total number of living (A) and dead (B) branches as a function of the age of the whorl in young plantation grown Scots pine stands (15 - 20 a, Vaccinium type) (Kellomäki ja Väisänen 1986). Legend: x = observed, e = predicted value.

5. OKSIEN PAKSUUS JA LATVUKSEN OMINAISUUDET SEKÄ RUNKOJEN LAATU: EMPIIRISIÄ TULOKSIA

5.1. Käytetyt laatutunnukset

Runkojen **ulkoista laatua** tarkasteltiin elävien ja kuolleiden oksien avulla siten, että laadun tunnuksina käytettiin oksien keskimääräisiä ja suurimpia läpimittoja. Tätä varten lasketiin elävistä oksista (i) jokaisen oksakiehkuran elävien oksien keskiläpimitta, (ii) ylimmän oksakiehkuran oksien keskiläpimitta, (iii) kolmen ylimmän kiehkuran elävien oksien keskiläpimitta, (iv) kaikkien elävien ja kuolleiden oksien keskiläpimitta. Kaikkien tunnusten vaihtelu rinnastettiin kasvupaikan viljavuuteen ja puuston tiheyteen.

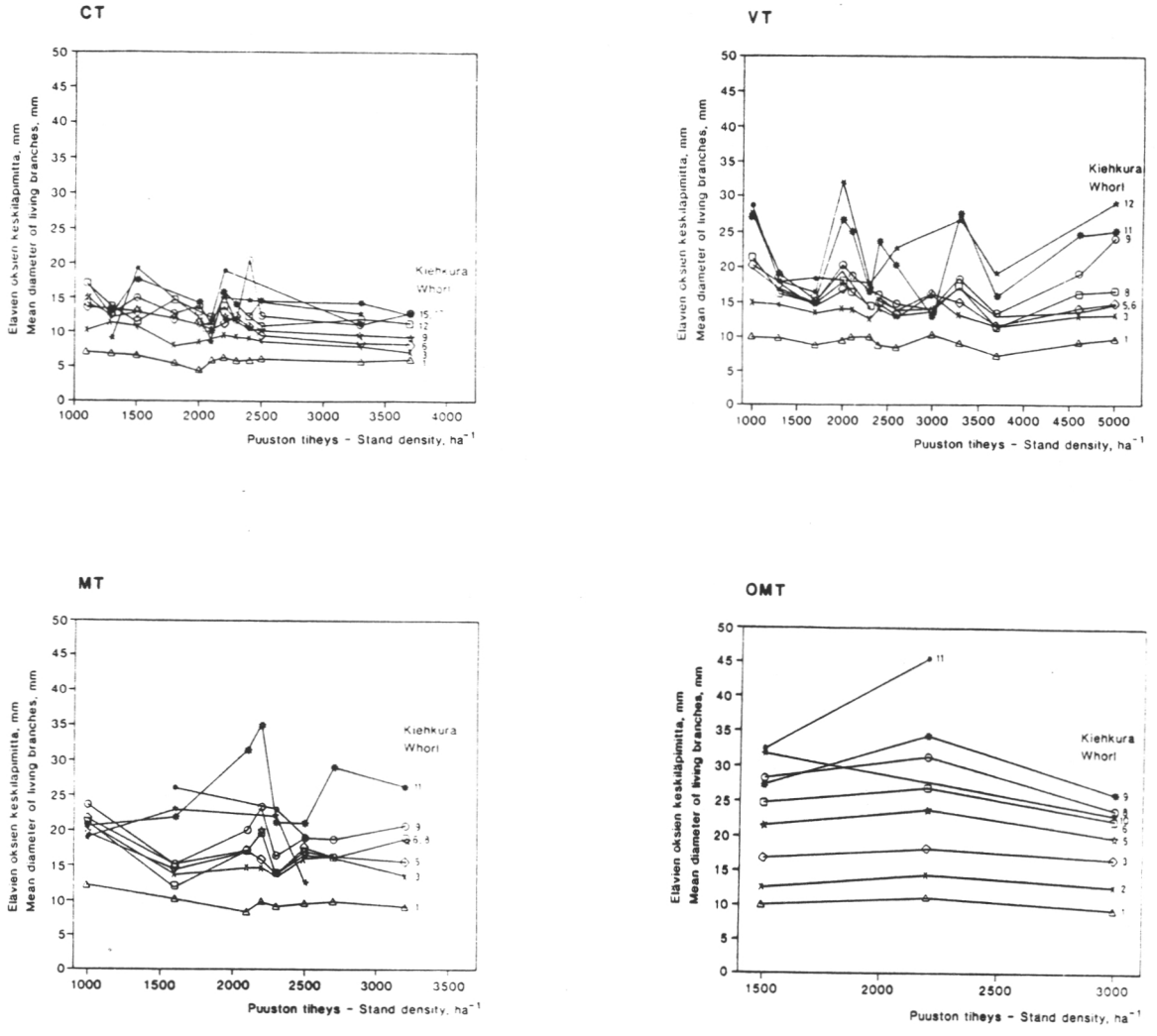
Oksakiehkuroiden elävien oksien sekä puun kaikkien elävien oksien keskiläpimitat kuvaavat latvuksen **yleisrakennetta**, josta rungon ulkoinen laatu riippuu. Oksien läpimitta ylimmässä ja kolmessa ylimmässä oksakiehkurassa ilmaisee oksien vuotuista ja kolmen vuoden keskimääräistä **kasvua**. Koska sahatukkien laatu kytkeytyy kiinteästi runkojen paksuimpiin eläviin ja kuolleisiin oksiin, tarkasteltiin myös runkojen paksuimpien elävien ja kuolleiden oksien läpimitan yhteyttä puuston tiheyteen ja kasvupaikan viljavuuteen.

Runkojen ulkoista ja **sisäistä laatua** tarkasteltiin myös puiden pystykarsintakelpoisuuden sekä puuaineen kuivatuoretiheyden, vuosilustojen leveyden ja puuaineen kesäpuuprosentin avulla. Kaikki tunnukset rinnastettiin puuston tiheyteen ja kasvupaikan viljavuuteen siten, että tulokset ovat vertailukelpoisia oksatunnusten kanssa. Puuaineen ja rungon laatutunnusten perusteella pyritään päättelemään syntyvän sahapuun ja siitä saatavan sahatavaran laatuominaisuuksia.

5.2. Oksien paksuusvaihtelu

Oksien paksuus oksakiehkuroittain

Elävien oksien keskiläpimitta oli oksakiehkuroittain sitä suurempi, mitä viljavammalla kasvupaikalla puut olivat kasvaneet (kuva 5.1). Samalla oksien läpimitta kasvoi oksien iän kasvaessa. Kasvu näytti kuitenkin tyrehtyvän, kun oksien ikä ylitti yhdeksän vuotta. Oksat saattoivat tosin elää tämän jälkeenkin vielä pitkään (esim. kanervatyypin kasvupaikalla jopa yli kymmenen vuotta) ilman, että oksien läpimitta kasvoi. Oksien läpimitan riippuvuus oksien iästä oli peruspiirteiltään samanlaista kasvupaikan viljavuudesta ja puuston tiheydestä riippumatta, joskin metsiköiden kesken esiintyi suurta vaihtelua.

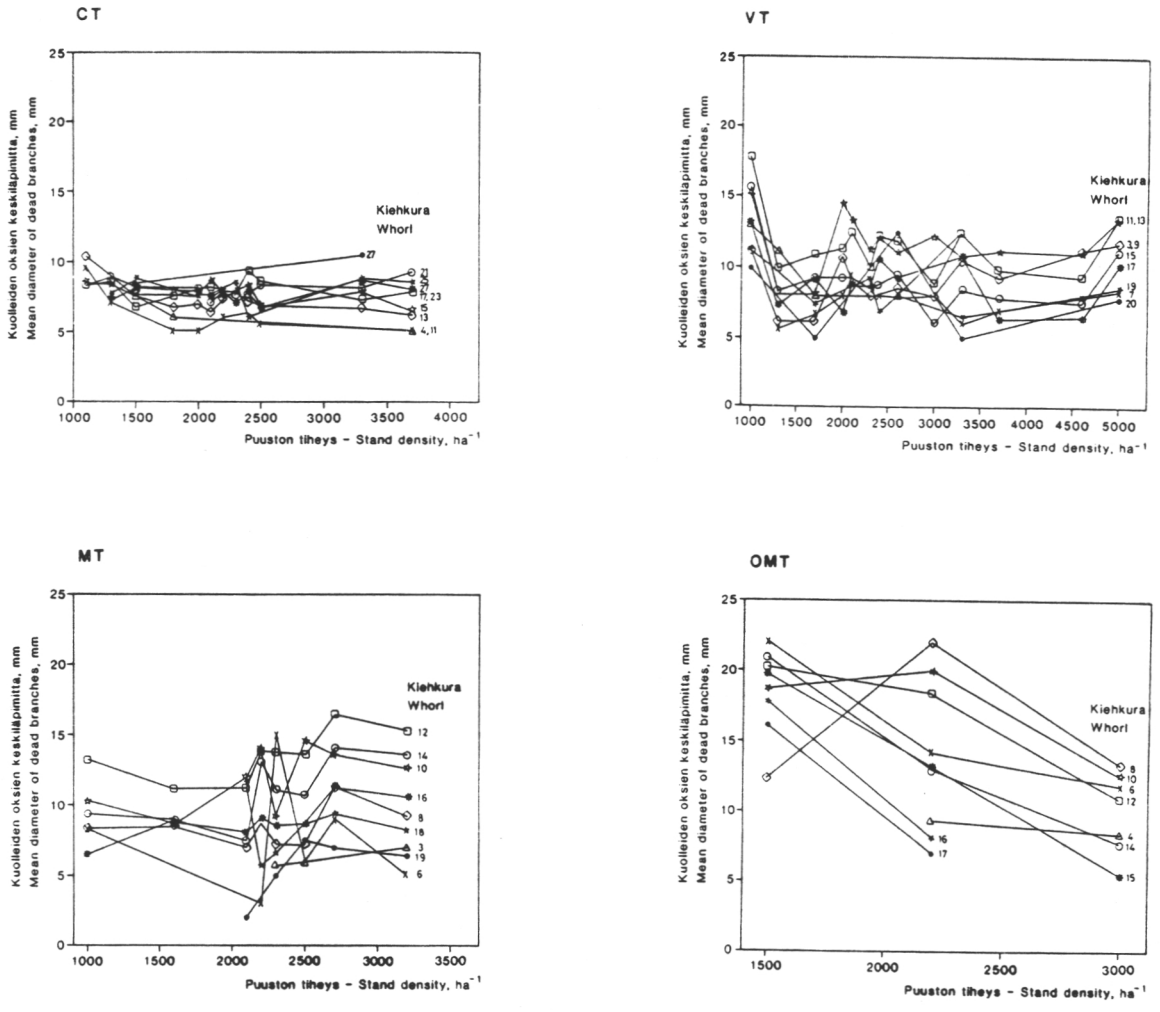


Kuva 5.1. Elävien oksien keskiläpitta oksakiehkuroittain eri metsätyypeillä puuston tiheyden funktiona.
Fig 5.1. The mean diameter of living branches in whorls on different site types as a function of the stand density.

Puuston tiheyden suhteen eri kiehkuroihin kuuluvien oksien keskiläpimitan yhteys oli löyhä siten, että kaikkein paksuimmat oksat eivät välttämättä olleet kaikkein harvimmissa metsiköissä (kuva 5.1). Ilmiö oli samanalainen kaikilla kasvupaikoilla, jolloin saman kasvupaikan metsiköiden kesken esiintyi suurta vaihtelua. Vaihtelu oli erityisen suurta vanhimmissa oksakiehkuroissa (alalatvuksessa), joskin jo ylimpien oksien läpimitta saattoi vaihdella ilman selvää yhteyttä metsikön tiheyteen.

Kuolleita oksia alkoi esiintyä puissa jo kolmannesta, neljännestä oksakiehkurasta lähtien, joskin kuolleet oksat alkoivat yleistyä vasta viidennestä, kuudennesta oksakiehkurasta lähtien (kuva 5.2). Kuolleiden oksien läpimitat olivat elävien oksien tapaan suurimmillaan viljavimmilla kasvupaikoilla siten, että kuolleiden oksien

keskiläpimitta kasvoi oksan iän kasvaessa. Myös kuolleiden oksien läpimitta vaihteli suuresti metsiköittäin siten, että vaihtelun yhteys metsikön tiheyteen oli löyhä.



Kuva 5.2. Kuolleiden oksien keskiläpimitta oksakiehkuroittain eri **metsätyypeillä** puuston tiheyden funktiona.
Fig 5.2. The mean diameter of dead branches in whorls on **different site types** as a function of the stand density.

Olkoon t aika (puun ikä), h oksan pituus, h_0 oksan alkupituus (pituus ylimmässä oksakiehkurassa), h_{max} oksan maksimipituus, d oksan läpimitta, d_0 oksan alkuläpimitta (läpimitta ylimmässä oksakiehkurassa), d_{max} oksan maksimiläpimitta, m oksan massa, m_0 oksan alkumassa (massa ylimmässä kiehkurassa), m_{max} oksan maksimimassa, a_1, a_2 ja a3 parametreja sekä i oksan ikä. Merkitään

$$d(i) = d_0(t) + d_{max}(t)\cdot(i/(1 + a_1\cdot i)) \qquad (5.1)$$

$$h(i) = h_0(t) + h_{max}(t)\cdot(i/(1 + a_2\cdot i)) \qquad (5.2)$$

$$m(i) = m_0(t) + m_{max}(t)\cdot(i/(1 + a_3\cdot i)) \qquad (5.3)$$

Yhtälöiden (5.1)...(5.3) mukaan oletetaan, että oksan paksuus, pituus ja massa tyrehtyvät iällä i siten, että vanhassa (suuressa) puussa oksan suurin paksuus/pituus on suurempi kuin pienessä (nuoressa puussa). Samalla oksan kokonaispaksuuteen, -pituuteen tai -massaan vaikuttavat oksan alkumitat, joiden suuruus riippuu puun koosta.

Yhtälöiden (5.1) ja (5.3) parametrit (taulukko 5.1) estimoitiin kuvissa 5.1 ja 5.2 esitetystä aineistosta siten, että käenkaali-mustikkatyyppi jätettiin tarkastelun ulkopuolelle aineiston suppeuden vuoksi. Kunkin oksan massa laskettiin oksan läpimitan ja pituuden perusteella käyttäen hyväksi Hytösen (1987) laatimia yhtälöitä. Koska puiden ikävaihtelu oli vähäistä, eivät tästä aineistosta estimoidut parametrit sisällä sanottavasti puiden iänmukaista vaihtelua.

Taulukko 5.1. Mallien (5.1)...(5.3) parametrit sekä selitysasteet.
Table 5.1. Parameters and R squares for Eqs. (5.1) ... (5.3).

Parametri Parameter	Metsätyyppi Site type CT	VT	MT
d_0, mm	5.927±0.939	7.978±1.722	8.201±1.918
h_0, cm	10.380±2.769	16.689±4.254	18.108±4.391
m_0, g	0.365±0.129	0.702±0.324	0.750±0.284
d_{max}, mm	19.624±5.863	23.474±7.642	26.702±8.034
h_{max}, cm	113.325±33.302	141.521±43.863	165.403±48.089
m_{max}, g	15.129±9.059	29.673±20.892	37.676±23.064
a_i, yr^{-1}			
d(i)	3.446±0.004	3.135±0.004	3.038±0.006
h(i)	1.922±0.005	1.834±0.004	1.922±0.006
m(i)	2.889±0.005	2.675±0.005	2.649±0.007
R^2			
d(i)	0.893	0.896	0.882
h(i)	0.856	0.862	0.845
m(i)	0.668	0.659	0.642

Kaikki mallit ja niiden yksittäiset parametrit olivat ainestosta riippumatta tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0.01$) sekä mallien selitysasteet tyydyttäviä ($R^2 > 0.85$) lukuun ottamatta oksien massan mallia, jonka selitysaste jäi arvoon 0.64 - 0.67. Oksien kasvun tasoa kuvaavat parametrit saivat sitä suurempia arvoja, mitä viljavammasta kasvupaikasta oli kysymys. Erot eri kasvupaikkojen kesken eri parametrien suhteen olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.01$).

Kasvun muotoa kuvaavan parametrin (a_i) arvot kasvoivat, kun kasvupaikan viljavuus väheni. Tämä voidaan tulkita siten, että karulla kasvupaikalla oksien läpimitan kasvu tyrehtyy

aikaisemmin kuin viljavalla kasvupaikalla. Erot eri metsätyyppien kesken olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.01$). Parametri a_i arvot pienivät myös oksan massan suhteen kasvupaikan viljavuuden vähentyessä, joskaan ei yhtä selvästi kuin läpimitan suhteen. Oksan pituus näytti kehittyvän samalla tavalla eri kasvupaikoilla, sillä parametri a_i:n arvot eivät riippuneet kasvupaikan viljavuudesta.

Yhtälöiden (5.2) ja (5.1) parametrit h_0 ja d_0 sekä h_{max} ja d_{max} oletetaan olevan puun rinnankorkeusläpimitan (D) funktioita eli $h_0(t) = b_1D(t)$, $h_{max}(t) = b_2D(t)$, $d_0(t) = b_3D(t)$ ja $d_{max}(t) = b_4D(t)$. Tämän olettamuksen tutkimiseksi kutakin kasvupaikkaa edustavat koepuut ryhmiteltiin yhden senttimetrin läpimittaluokkiin, ja parametrit estimoitiin ryhmitellystä aineistosta (Taulukko 5.2).

Taulukko 5.2. Yhtälöiden (5.1)...(5.3) parametrit läpimittaluokittain.
Table 5.2. Parameters for Eqs. (5.1) ... (5.3) as a function of diameter classes.

Parametri Parameter	Läpimittaluokka Diameter class, cm			
	2	3	4	5
Kanervatyyppi (CT) **Calluna type**				
d_0, mm	5.7±1.1	5.6±0.6	5.9±0.8	6.7±1.1
h_0, cm	11.1±2.7	9.4±2.8	10.2±2.2	12.1±2.4
m_0, g	0.4±0.1	0.3±0.1	0.3±0.1	0.4±0.1
d_{max}, mm	13.9±2.9	18.8±4.4	23.2±4.1	27.3±3.7
h_{max}, cm	83.4±14.5	109.4±32.8	133.0±22.7	151.2±15.3
m_{max}, g	6.9±2.5	13.6±8.1	19.4±5.9	29.5±4.1
Puolukkatyyppi (VT) **Vaccinium type**				
d_0, mm	6.7±1.1	7.6±1.8	8.2±1.6	8.5±1.7
h_0, cm	15.9±4.4	16.7±3.9	17.4±4.0	16.5±4.7
m_0, g	0.6±0.2	0.7±2.4	0.7±0.3	0.7±0.4
d_{max}, mm	13.6±5.9	17.1±3.1	22.7±4.3	30.8±5.2
h_{max}, cm	88.2±38.5	106.5±19.1	138.0±29.1	179.6±32.9
m_{max}, g	11.4±14.1	13.7±4.9	25.2±11.6	47.2±20.7
Mustikkatyyppi (MT) **Myrtillus type**				
d_0, mm	6.4±0.5	7.9±2.1	8.3±1.7	8.3±2.0
h_0, cm	15.7±2.9	18.5±5.4	19.9±4.2	17.3±4.1
m_0, g	0.5±0.1	0.7±0.3	0.8±2.3	0.7±0.3
d_{max}, mm	11.3±0.9	16.4±3.0	23.4±3.5	31.1±6.8
h_{max}, cm	83.5±4.3	103.4±14.2	148.7±29.4	189.4±41.5
m_{max}, g	5.9±0.2	11.9±2.9	29.4±12.9	48.2±22.6

Oksan **alkuarvoja** kuvaavista parametreista oksan alkuläpimitta (d_0) kasvoi rinnankorkeusläpimitan suhteen. Myös alkupituus (h_0) kasvoi läpimitan kasvaessa, joskin tulos oli varsin

epämääräinen. Tämän vuoksi myös oksan alkumassa vaihteli epämääräisesti läpimitan suhteen. Oksan **maksimiarvoja** kuvaavat parametrit sen sijaan kasvoivat puun läpimitan lisääntyessä siten, että parametrien arvot kasvoivat nopeammin kuin lineaarinen riippuvuus edellyttäisi. Tulos on yhdenmukainen kaikilla kasvupaikoilla, kuten puiden rakenteen (allometrinen rakenne) perusteella on odotettavissa.

Oksien paksuusvaihtelun yhteys kasvupaikan viljavuuteen

Ylimpien oksien keskiläpimitat olivat 9 - 12 mm mustikkatyypin, 7 - 10 mm puolukkatyypin ja 4 - 7 mm kanervatyypin metsiköissä. Kaikissa tapauksissa oksien läpimitta pieneni puuston tiheyden kasvaessa, joskin tiheissäkin puustoissa oksien läpimitta saattoi olla odottamattoman suuri. Ylimpien oksien keskiläpimitta pieneni johdonmukaisimmin kanervatyypin kasvupaikoilla (taulukko 5.3). Oksien vanhetessa läpimitta ja vaihteluväli kasvoivat: **kolmen ylimmän** kiehkuran oksien keskimääräinen läpimitta oli 11 - 17 mm mustikkatyypin, 9 - 13 mm puolukkatyypin ja 7 - 9 mm kanervatyypin metsiköissä. **Kaikkien** oksien keskiäpimitta oli 14 - 20 mm mustikkatyypin, 11 - 19 mm puolukkatyypin ja 9 - 14 mm kanervatyypin metsiköissä. Oksien paksuuttaa luonnehti siis suuri kasvupaikoittainen vaihtelu sekä läpimitaltaan yhtä suurien oksien esiintyminen viljavuudeltaan erilaisilla kasvupaikoilla.

Taulukko 5.3. Elävien oksien keskiläpimitat ja hajonnat eri metsätyyppejä edustavilla koealoilla.
Table 5.3. Mean diameter and its standard deviation of living branches in different sections of the crown as a function of the sample plots representing various site types.

Metsä-tyyppi Site type	Puuston tiheys Stand density ha^{-1}	Elävien oksien keskiläpimitta Mean diameter of living branches, mm: Kaikki oksat All branches x	s	Kolme ylintä oksakiehkuraa Three uppermost whorls x	s	Ylin oksakiehkura Uppermost whorl x	s
CT	1100	13.99	3.78	8.95	1.46	7.05	1.22
CT	1300	11.74	2.57	8.98	1.71	6.83	1.49
CT	1500	11.91	3.11	8.31	0.77	6.54	0.71
CT	1800	11.85	2.44	7.15	1.40	5.50	1.10
CT	2000	10.48	2.77	7.00	1.20	4.33	1.11
CT	2100	10.27	1.72	7.71	1.05	5.78	0.92
CT	2200	11.49	2.60	7.89	1.46	6.28	1.36
CT	2300	10.66	2.04	7.87	1.89	5.66	1.36
CT	2400	10.31	2.38	7.39	1.20	5.81	1.16
CT	2500	9.79	1.41	7.52	1.83	6.11	1.36
CT	3300	9.66	3.45	8.76	3.65	5.75	1.32
CT	3700	9.12	2.59	6.89	2.36	6.04	2.29
VT	1000	19.11	7.75	12.78	4.90	9.97	2.43
VT	1300	15.97	6.41	12.70	4.77	9.79	3.44
VT	1700	13.44	5.96	11.09	5.04	8.71	2.17
VT	2000	16.06	6.99	12.15	4.39	9.43	2.37
VT	2100	15.44	6.63	12.09	4.28	9.89	2.49
VT	2300	13.83	5.31	11.39	3.89	9.89	2.34
VT	2400	14.45	6.06	11.47	4.45	8.73	2.37
VT	2600	13.31	5.58	10.80	3.95	8.40	1.93
VT	3000	14.03	5.35	12.98	4.66	10.32	2.94
VT	3300	14.42	6.41	11.11	4.12	9.02	2.19
VT	3700	11.23	4.32	9.32	3.45	7.18	1.77
VT	4600	13.03	5.34	11.16	4.34	9.10	4.28
VT	5000	13.80	6.06	11.68	4.66	9.57	3.11
MT	1000	19.89	6.96	17.39	5.98	12.18	2.95
MT	1600	14.10	5.35	12.02	3.62	10.19	2.12
MT	2100	15.45	7.49	11.64	4.98	8.28	2.18
MT	2200	16.49	7.99	12.47	4.85	9.93	3.05
MT	2300	13.80	5.87	11.09	4.35	9.15	2.67
MT	2500	16.01	6.29	13.14	4.94	9.69	2.76
MT	2700	15.92	6.60	12.76	4.45	9.90	2.01
MT	3200	15.12	6.19	11.32	3.86	9.15	2.18

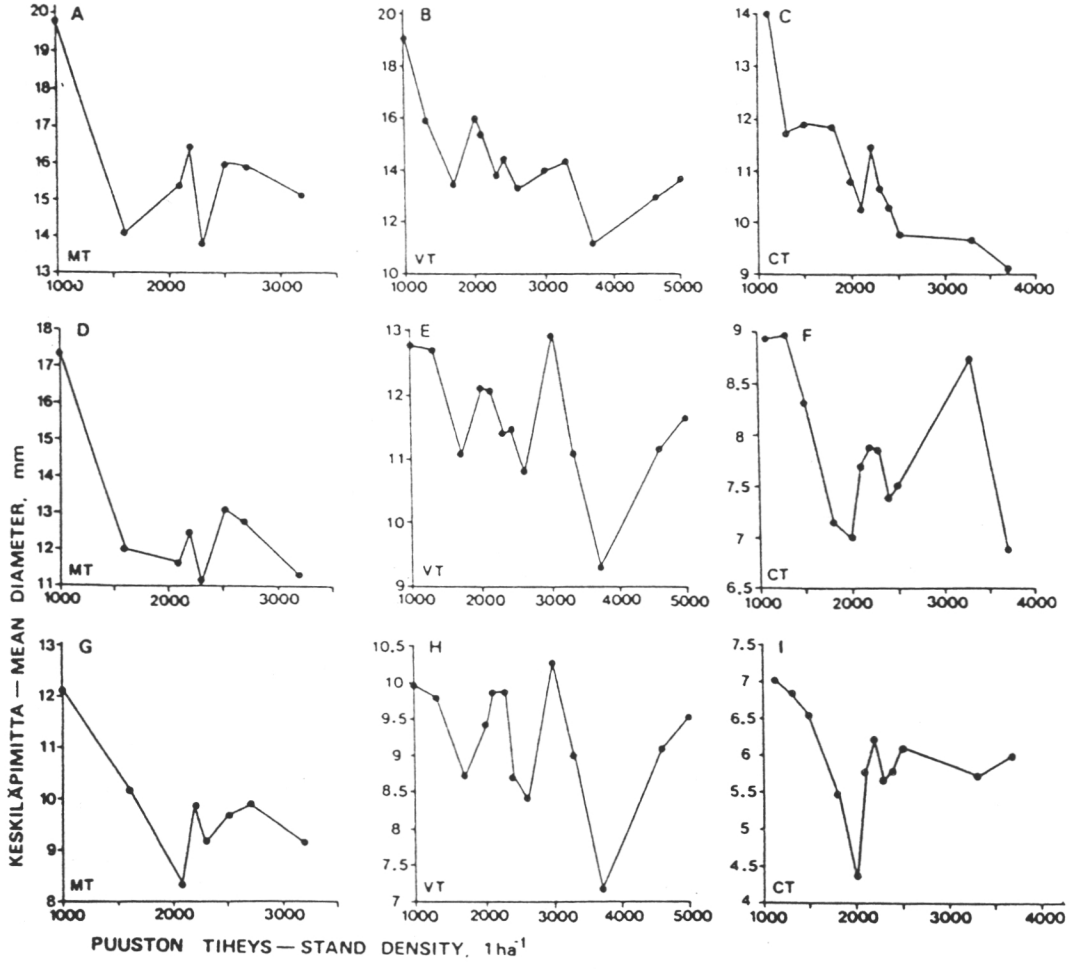
Myös varianssianalyysillä tehty testaus osoitti, että kaikkien oksien keskiläpimitta vaihteli kasvupaikan sisällä lähes yhtä paljon kuin kasvupaikkojen välillä (testitulos suuntaa-antavasti merkitsevä, $p < 0.10$). Kaikkien oksien keskiläpimitat olivat suurimmillaan mustikkatyypin kasvupaikoilla, joilla kaikkien oksien keskiläpimitta oli 4.88 mm suurempi kuin kanervatyypillä (taulukko 5.4). Vastavat erot kolmen ylimmän ja ylimmän oksakiehkuran keskiläpimitassa olivat 4.86 mm ja 4.83 mm. Mustikkatyypin ja puolukkatyypin väliset erot olivat sen sijaan pieniä: 1.37 mm kaikkien oksien keskiläpimitan sekä mm sekä 1.13 mm ja 0.57 mm kolmen ylimmän ja ylimmän oksakiehkuran oksien keskiläpimitan suhteen.

Taulukko 5.4. Elävien oksien keskiläpimitat ja hajonnat metsätyypeittäin.
Table 5.4. Mean diameter and its standard deviation of living branches as a function of the site type.

Metsätyyppi Site type	Elävien oksien keskiläpimitta Mean diameter of living branches, mm Kaikki oksat All branches		Kolme ylintä oksakiehkuraa Three uppermost whorls		Ylin oksakiehkura Uppermost whorl	
	x	s	x	s	x	s
CT	10.96	1.32	7.86	0.73	5.97	0.70
VT	14.47	1.89	11.59	0.98	9.23	0.84
MT	15.84	1.87	12.72	2.01	9.80	1.13

Oksien paksuusvaihtelun yhteys puuston tiheyteen

Mustikkatyypillä kaikkien oksien keskiläpimitta pieneni aluksi jyrkästi tiheysarvoon 2300 ha^{-1} saakka, jonka jälkeen oksan oheneminen hidastui (kuva 5.3). Tiheys vaikutti ylimpienkin oksien läpimittaan. Ylimmän kiehkuran oksien keskiläpimitan ero harvimman ja tiheimmän metsikön välillä oli 3 mm. Kolmen ylimmän kiehkuran oksien keskiläpimitan ero harvimman ja tiheimmän metsikön välillä oli 6 mm.



Kuva 5.3. Kaikkien elävien oksien (A, B, C), kolmen ylimmän kiehkuran (D, E ,F) oksien ja ylimmän kiehkuran (G, H, I) oksien keskiläpimitta puuston tiheyden funktiona (Turkia ja Kellomäki 1987).
Fig. 5.3. Mean diameter of all living branches (A, B, C), the branches of three uppermost whorls (D, E, F) and the uppermost whorl (G, H, I) as a function of the stand density (Turkia ja Kellomäki 1987).

Puolukkatyypillä oksien läpimitta pieneni puuston tihentyessä siten, että läpimitan pieneneminen tyrehtyi tiheydellä 2300 - 3700 ha^{-1} (kuva 5.3). Kaikkien oksien keskiläpimitta pieneni kuitenkin tiheyteen 3700 ha^{-1} saakka. Tämän jälkeen oksat olivat yllättäen jälleen paksumpia siten, että tiheydellä 5000 ha^{-1} oksien keskiläpimitta oli likimain yhtä suuri kuin tiheydellä 2300 ha^{-1}. Puolukkatyypillä puuston tiheys ei vaikuttanut sanottavasti ylimpien oksien paksuuteen, sillä ylimpien oksien läpimittaero harvimman ja tiheimmän metsikön välillä oli noin yksi millimetri.

Kanervatyypillä kaikkien oksien keskiläpimitta pieneni tiheyden koko vaihtelualueella siten, että läpimitta pieneni nopeimmin tiheysalueella 1100 - 2500 ha^{-1} (kuva 5.3). Kaikkien oksien keskiläpimitta oli harvimmassa metsikössä

4.87 mm suurempi kuin tiheimmässä. Kanervatyypilläkään tiheys ei vaikuttanut sanottavasti ylimpien oksien läpimittaan.

Oksien keskiläpimitta korreloi kaikilla metsätyypeillä tilastollisesti suuntaa-antavasti ($p < 0.10$) puuston tiheyden kanssa (taulukko 5.5), kun korrelaatiokerrointen arvot laskettiin logaritmimuunnoksella linearisoidusta aineistosta. Oksien läpimitan kytkeytyminen puuston tiheyteen lisääntyi kasvupaikan viljavuuden vähentyessä siten, että yhteys oli vahvin kanervatyypin ja heikoin mustikkatyypin kasvupaikoilla. Mustikkatyypin kasvupaikoilla puuston tiheyden vaikutus ulottui myös ylimpiin oksiin toisin kuin muilla kasvupaikoilla.

Taulukko 5.5. Oksien läpimittojen korrelaatioita puuston tiheyden (puita/ha) kanssa.
Table 5.5. Correlations of the branch diameters with the stand density (stem/ha).

Oksatunnus Indicator of branch diameter	Metsätyyppi - Site type 1) MT		VT		CT	
	Correlation and its significance					
	r	p<	r	p<	r	p<
Kaikki oksat All the branches	-0.58	0.06	-0.74	0.00	-0.92	0.00
Kolme ylintä kiehkuraa Three uppermost whorls	-0.76	0.01	-0.49	0.04	-0.52	0.00
Ylin kiehkura Uppermost whorl	-0.73	0.01	-0.33	0.13	-0.38	0.10

1) MT = Myrtillus type, VT = Vaccinium type,
CT = Calluna type

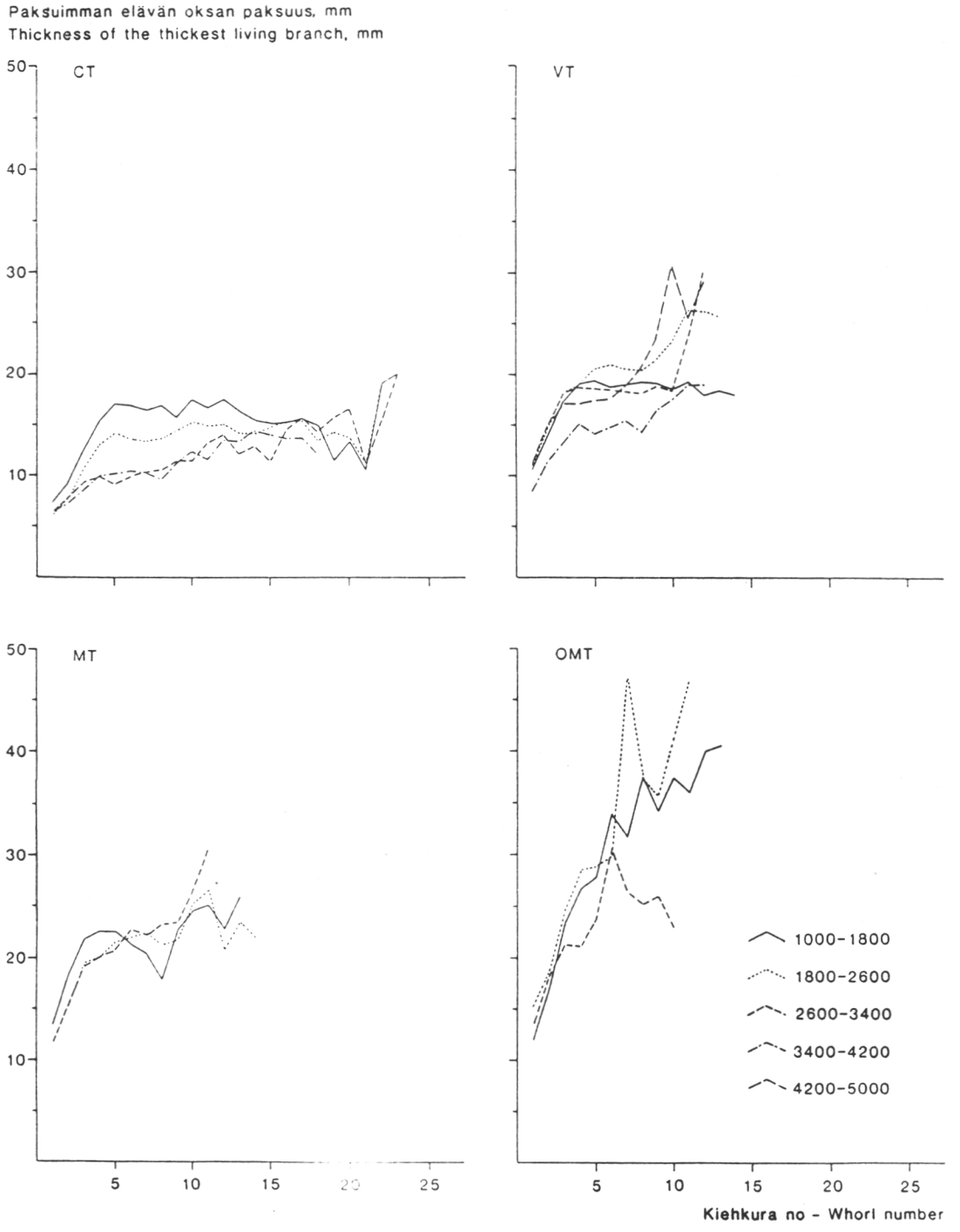
5.3. Paksuimmat oksat

Paksuimpien **elävien** oksien läpimittasuhteet noudattivat yksittäisten oksien välisiä suhteita (taulukko 5.6): mustikka- ja puolukkatyypin kasvupaikkojen välillä erot olivat suhteellisen vähäisiä samalla, kun kanervatyypin kasvupaikoilla paksuimmatkin oksat olivat tuntuvasti ohuempia kuin mustikka- ja puolukkatyypin kasvupaikoilla. Paksuimpien elävien oksien läpimitta oli kuitenkin suurimmillaan käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikoilla, missä paksuimmat oksat olivat 25 - 39 mm. Mustikkatyypillä paksuimman oksan keskiläpimitta oli 21 - 33 mm, puolukkatyypillä 18 - 29 mm ja kanervatyypillä 15 - 28 mm. Myös paksuimpien elävien oksien läpimittavaihtelu osoitti, että oksien läpimitta saattaa yksittäistapauksissa olla riippumaton kasvupaikan viljavuudesta.

Taulukko 5.6. Paksuimpien elävien ja kuolleiden oksien keskiläpimitat ja hajonnat eri metsätyyppejä edustavilla koealoilla.
Table 5.6. Mean diameter and its standard deviation of the thickest living and dead branches as a function of the sample plots representing various site types.

Metsätyyppi Site type	Puuston tiheys Stand density ha^{-1}	Paksuimpien oksien keskiläpimitta Mean diameter of the thickest branches, mm: Elävät oksat Living branches x	Elävät oksat Living branches s	Kuolleet oksat Dead branches x	Kuolleet oksat Dead branches s
CT	1100	23.33	6.56	14.83	2.32
CT	1300	28.43	26.13	13.00	3.61
CT	1500	20.67	6.68	13.17	3.13
CT	1800	23.00	6.87	11.83	3.66
CT	2000	19.88	5.44	12.63	2.39
CT	2100	18.00	3.46	12.50	2.26
CT	2200	20.14	7.90	12.14	2.34
CT	2300	18.33	3.20	13.00	2.45
CT	2400	18.17	6.55	13.50	2.35
CT	2500	16.14	3.98	11.57	1.62
CT	3300	15.89	5.60	13.44	3.97
CT	3700	14.64	2.01	11.73	3.69
VT	1000	28.57	8.16	24.43	6.37
VT	1300	26.63	9.53	16.00	3.63
VT	1700	19.33	7.38	15.56	6.98
VT	2000	27.00	7.83	23.00	5.77
VT	2100	25.44	8.97	21.56	8.44
VT	2300	22.89	6.23	16.00	3.54
VT	2400	22.40	7.50	19.00	4.85
VT	2600	20.82	6.79	16.91	5.11
VT	3000	21.89	5.44	15.33	3.50
VT	3300	21.10	9.39	16.30	5.46
VT	3700	17.80	4.69	15.50	3.10
VT	4600	19.71	6.72	16.29	5.04
VT	5000	21.06	8.23	19.25	5.70
MT	1000	32.83	8.95	19.50	3.94
MT	1600	22.25	7.57	15.88	4.39
MT	2100	25.89	8.12	19.78	5.29
MT	2200	29.22	9.34	25.44	7.67
MT	2300	20.67	7.18	18.33	5.55
MT	2500	26.33	9.07	22.22	5.31
MT	2700	26.67	7.23	24.00	6.54
MT	3200	26.30	6.46	26.10	4.01
OMT	1500	39.43	9.95	33.43	6.24
OMT	2200	37.10	16.88	30.40	6.13
OMT	3000	25.22	8.97	21.67	6.84

Paksuimman elävän oksan läpimitta kasvoi oksan ikääntymisen myötä sitä selvemmin, mitä viljavammasta kasvupaikasta oli kysymys (kuva 5.4). Kanervatyypin kasvupaikoilla elävien oksien paksuus saavutti puuston tiheydestä riippumatta maksiminsa viidennessä oksakiehkurassa, jonka jälkeen paksuimpien oksien läpimitta säilyi likimain samana. Myös puolukkatyypin ja mustikkatyypin kasvupaikoilla oksien paksuuden kasvu tasaantui viidennessä, kuudessa kiehkurassa voimistuakseen jälleen uudelleen alalatvuksessa, jossa sijaitsivat kaikkein paksuimmat oksat. Käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikoilla paksuimpien elävien oksien läpimitta lisääntyi lähes lineaarisesti oksakiehkuran iän funktiona.



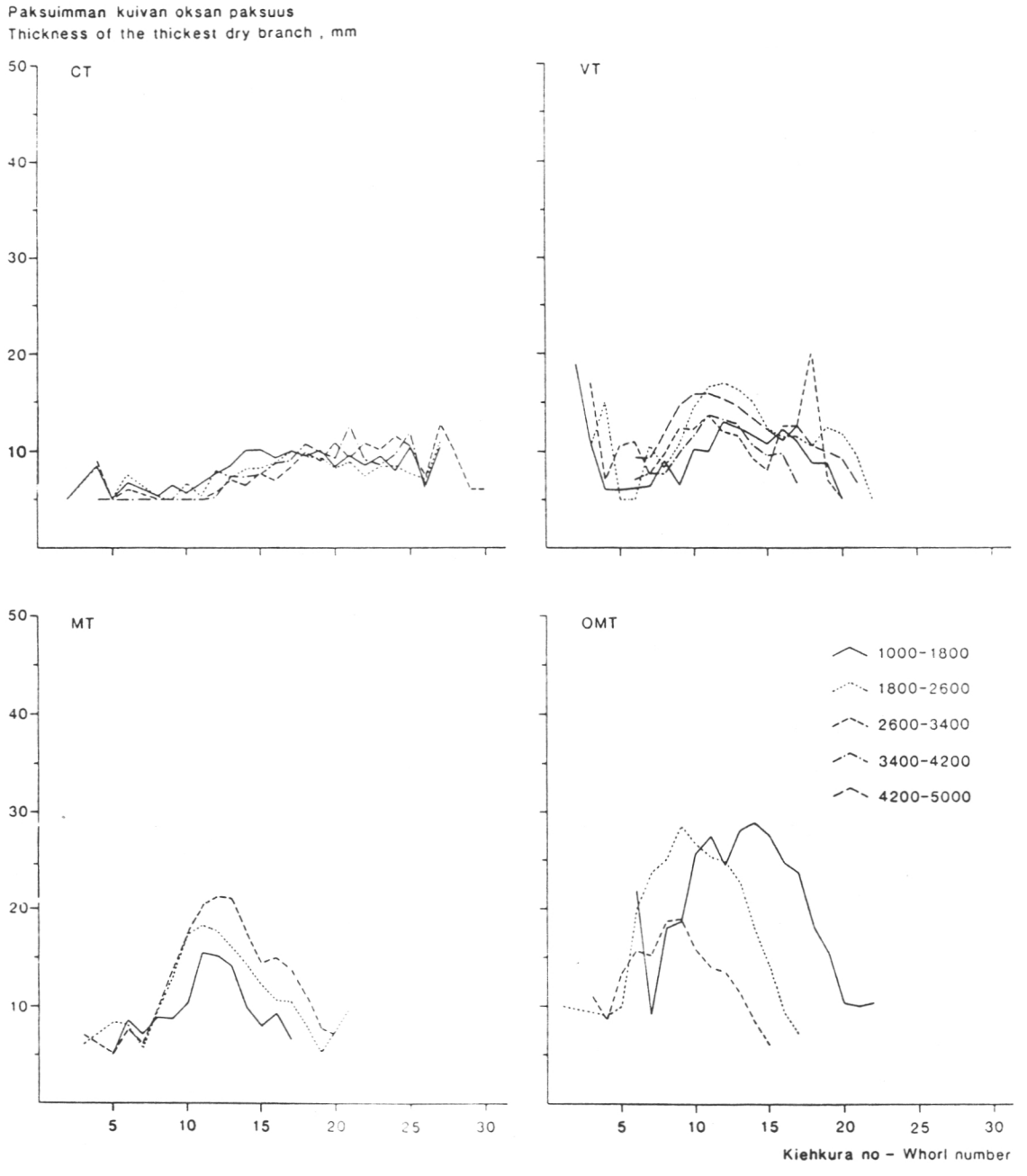
Kuva 5.4. Paksuimman elävän oksan paksuus metsätyypeittäin eri tiheyksillä oksakiehkuran iän (numeron) funktiona.
Kuva 5.4. The diameter of the thickest living branch on different site types as a function of the whorl age.

Paksuimpien **kuolleiden** oksien läpimittasuhteet olivat samanlaisia kuin paksuimpien elävien oksien (taulukko 5.6). Läpimitan keskiarvo oli 22 - 33 mm käenkaali-mustikkatyypin, 16 - 26 mm mustikkatyypin, 15 - 24 mm puolukkatyypin ja 12-15 mm kanervatyypin kasvupaikoilla. Täten paksuimpien

kuolleiden oksien läpimitta jäi kanervatyypin kasvupaikoilla tuntuvasti pienemmäksi kuin mustikka- ja puolukkatyypin kasvupaikoilla. Myös paksuimpien kuolleiden oksien läpimittavaihtelu osoittaa, että oksien läpimitta saattaa yksittäistapauksissa olla lähes riippumaton kasvupaikan viljavuudesta.

Paksuimpien kuolleiden oksien läpimitta on suurimmillaan välittömästi elävän latvuksen alapuolella, sillä paksuimmista elävistä oksista tulee paksuimpia kuolleita oksia (kuva 5.5). Tulos on tulkittavissa myös siten, että oksakiehkuroista kuolee ensimmäiseksi pienimmät oksat. Kaikkein vanhimmat kuolleet oksat (kuolleen latvuksen alaosassa olevat oksat) ovat tuntuvasti ohuempia kuin nuoremmat kuolleet oksat. Tämä on seurausta siitä, että puiden nuoruusiällä paksuimpienkin oksien läpimitta jää tuntuvasti pienemmäksi kuin myöhemmin. Kaikkein vanhimmat kuolleet oksat olivat iältään 20 - 30 vuotta oksan syntymähetkestä lukien, jolloin oksien ikä oli suurin kanervatyypin kasvupaikoilla. Täten oksien karsiutumiseen kului aikaa (10 - 20 vuotta) sitä enemmän, mitä karummasta kasvupaikasta oli kysymys.

Paksuimpien **elävien** oksien läpimitta **tyvitukin alueella** (rungon 5 m:n pituinen tyviosa) vaihteli suuresti puuston tiheydestä ja kasvupaikan viljavuudesta riippumatta (taulukko 5.7). Eri metsätyyppien kesken oli kuitenkin tuntuvia eroja siten, että selvimmin erottuivat kanervatyypin ja käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikat. Mustikkatyypin ja puolukkatyypin kasvupaikoilla paksuusvaihtelu meni osittain päällekkäin. Sama tulos saadaan, kun paksuimman oksan sijasta käytetään **kolmen paksuimman elävän** oksan keskiläpimittaa, joka oli 17 mm kanervatyypin, 19 mm puolukkatyypin, 23 mm mustikkatyypin ja 28 mm käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikoilla.



Kuva 5.5. Paksuimman kuolleen oksan **paksuus metsätyypeittäin eri tiheyksillä oksa**kiehkuran iän (numeron) **funktiona.**
Kuva 5.5. The diameter of the thickest dead branch on **different site types** as a function **of the whorl age.**

Taulukko 5.7. Tyvitukin ja koko rungon oksikkuus metsätyypeittäin ja tiheyksittäin.
Table 5.7. The branchiness of stems as a function of the site type and the stand density.

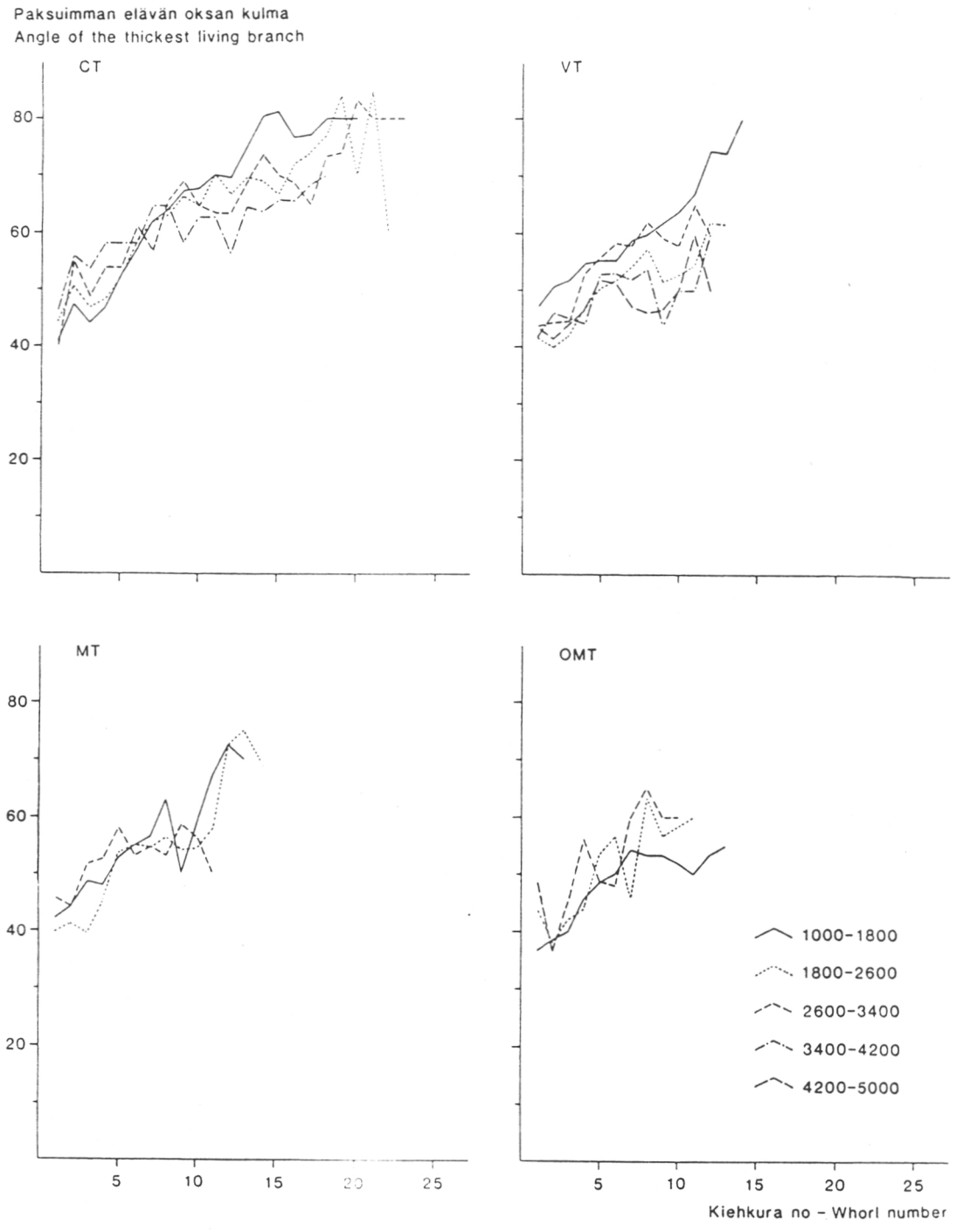
Tiheys Density, ha^{-1}	Paksuin oksa 5 m tyveltä Thickest branch 5 m from butt, mm				Kolme paksuinta oksaa Three thickest, mm				Koko runko Whole stem, mm	
	E/L		K/D		E/L		K/D		E/L	
	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
CT										
1100	23.3	6.6	14.8	2.3	21.3	5.2	12.8	1.6	13.4	5.3
1300	19.7	4.8	13.0	3.6	18.1	4.7	11.9	3.1	12.0	4.6
1500	20.7	6.7	13.1	3.1	19.5	6.2	11.8	2.9	12.0	5.2
1800	23.0	6.8	11.8	3.7	20.5	6.1	10.3	2.6	11.8	5.3
2000	19.9	5.4	12.6	2.4	18.0	5.3	10.9	1.2	11.0	4.6
2100	18.0	3.5	12.5	2.2	16.2	3.4	10.7	1.5	10.4	3.6
2200	20.1	7.9	12.1	2.3	18.0	6.6	10.3	1.7	11.4	4.8
2300	18.3	3.2	13.0	2.4	16.8	3.5	11.3	2.2	10.7	3.9
2400	18.2	6.5	13.5	2.3	16.3	4.8	11.5	2.3	10.5	4.2
2500	16.1	4.0	11.6	1.6	15.0	3.0	10.3	1.7	9.8	3.4
3300	15.9	5.6	13.4	4.0	14.6	5.0	11.8	3.0	10.2	4.2
3700	14.6	5.0	11.7	4.0	13.7	4.7	10.5	3.3	9.3	3.7
VT										
1300	26.6	9.5	15.9	3.6	24.5	8.3	14.1	2.9	16.0	6.4
1700	19.3	7.4	16.6	7.0	18.0	7.3	14.2	6.5	13.4	5.9
2000	27.0	7.8	23.0	5.8	25.1	6.9	21.3	5.8	16.1	7.0
2100	25.1	8.9	21.6	8.4	22.9	7.5	18.8	6.0	15.4	6.6
2300	22.4	5.9	16.0	3.5	20.6	5.4	14.4	3.1	13.8	5.3
2400	22.3	7.5	19.0	4.8	20.3	6.3	17.3	4.6	14.5	6.1
2600	23.2	8.5	19.8	6.6	21.7	7.8	18.5	6.4	15.7	7.2
3000	21.9	5.4	15.3	3.5	20.1	5.5	14.1	3.6	14.0	5.3
3300	21.1	9.4	16.3	5.5	19.7	8.1	15.2	5.3	14.4	6.4
3700	17.3	4.8	15.5	3.1	14.8	6.0	14.2	2.9	11.2	4.3
4600	19.6	6.9	16.3	5.0	17.9	5.9	14.9	3.9	13.0	5.3
5000	13.6	11.8	19.2	5.7	9.7	9.2	17.9	5.5	13.8	6.1
MT										
1000	32.8	9.0	19.5	3.9	29.7	6.9	17.0	3.6	19.9	7.0
1600	22.2	7.6	15.9	4.4	21.3	7.0	14.6	4.2	14.1	5.3
2100	24.1	6.7	19.8	5.3	22.8	6.7	18.3	5.4	15.5	7.5
2200	28.0	6.8	25.4	7.7	25.3	7.7	23.7	7.4	16.5	8.0
2300	19.8	6.4	18.3	5.5	18.9	6.3	16.6	5.2	13.8	5.8
2500	26.1	9.2	22.2	5.3	23.4	6.8	20.2	4.6	16.0	6.3
2700	26.4	7.2	24.0	6.5	24.0	6.6	22.3	6.2	15.9	6.6
3200	25.7	5.8	26.1	4.0	23.3	5.0	23.0	3.8	15.1	6.2
OMT										
1500	30.2	15.8	33.4	6.2	25.9	15.2	31.4	6.0	21.7	10.2
2200	40.2	21.3	30.4	6.1	32.6	11.7	29.0	6.0	20.8	10.4
3000	25.4	8.3	21.7	6.8	23.3	8.1	19.6	6.0	16.6	7.5

Selitteet - Symbols: E/L = elävät/living, K/L = kuolleet/dead

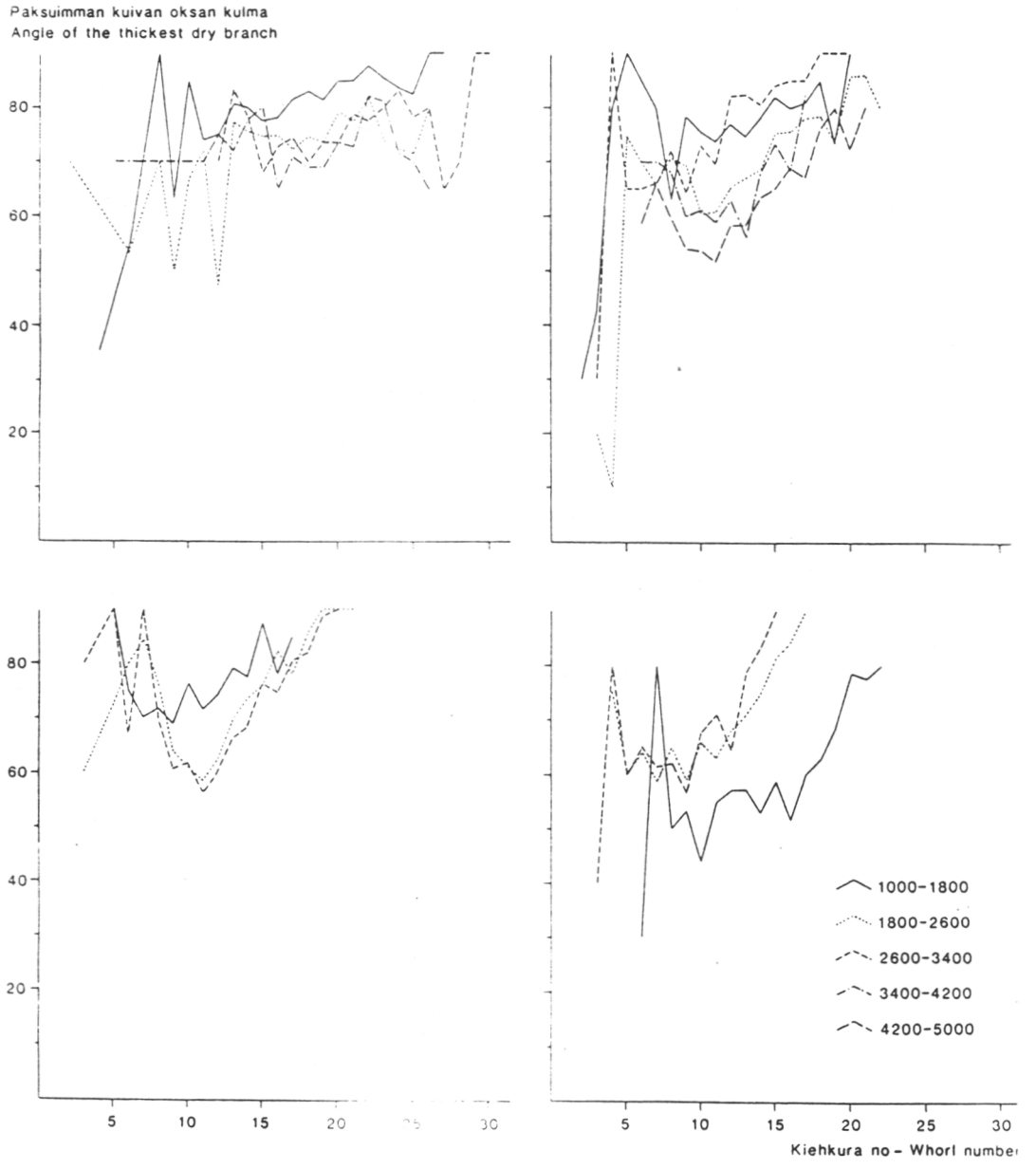
Kuolleita oksia oli kaikkialla latvuksessa ylimpiä oksakiehkuroita lukuunottamatta, joskin kuolleiden oksien osuus kasvoi nopeasti siirryttäessä ylälatvuksesta alalatvukseen. Oksien paksuuserot latvuksen eri osien kesken voimistuivat kasvupaikan viljavuuden parantuessa (kuvat 5.4 ja 5.5), joskin kaikilla kasvupaikoilla paksuimmat kuolleet oksat sijaitsivat latvuksen (rungon) puolivälin alapuolella. Kolmen paksuimman kuolleen oksan läpimitta oli 11 mm kanervatyypin, 16 mm puolukkatyypin, 20 mm mustikkatyypin ja 26 mm käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikoilla siten, että läpimitta pieneni puuston tihentyessä. Puuston tiheyden ja paksuimpien kuolleiden oksien läpimitan välinen suhde oli selväpiirteisin kanervatyypin kasvupaikoilla.

5.4. Oksakulma

Männyn oksakulman suuruus riippuu puun perinnöllisistä ominaisuuksista sekä oksien kasvuympäristöstä ja iästä siten, että perintötekijöiden vaikutus on selvimmillään ylimmissä oksakiehkuroissa. Tässä aineistossa ylimpien oksien kulma oli 40° - 50° (kuva 5.6). Latvuksen alaosassa oksakulma oli 80° -90° siten, että oksakulma pieneni hieman kaikkein alimmissa oksissa. Viljavilla kasvupaikoilla oksakulma oli pienempi kuin karuilla. Puuston tiheyskään ei vaikuttanut sanottavasti oksakulman suuruuteen, joskin oksakulma näytti kasvavan hieman kasvatustiheyden suurentuessa. Kuolleiden oksien oksakulman vaihtelu (kuva 5.7) oli perusmalliltaan samanlaista kuin elävien, mutta vaihtelu metsiköiden sisällä ja kesken oli tuntuvasti suurempaa.



Kuva 5.6. Paksuimman elävän oksan oksakulma metsätyypeittäin eri tiheyksillä oksakiehkuran iän funktiona.
Fig 5.6. The branch angle of the thickest living branch on different site types as a function of whorl age.



Kuva 5.7. Paksuimman kuolleen oksan oksakulma metsätyypeittäin eri tiheyksillä oksakiehkuran iän funktiona.
Fig 5.7. The branch angle of the thickest dead branch on different site types as a function of whorl age.

5.5. Runkojen laatu

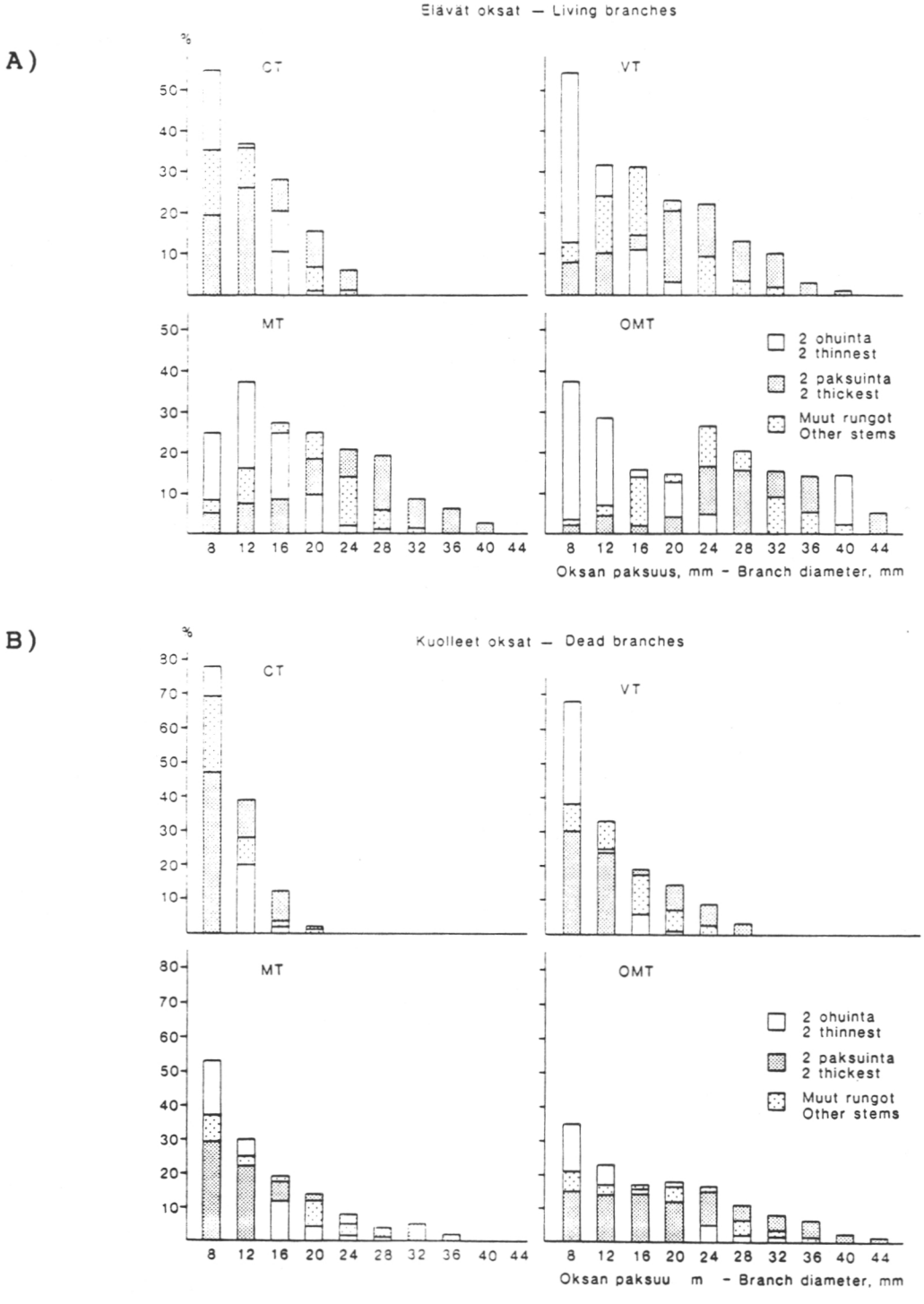
Pystykarsintakelpoisuus

Runkojen ulkoista ja sisäistä laatua tarkasteltiin myös runkojen pystykarsintakelpoisuuden avulla. Pystykarsintakelpoisuutta arvioitiin karsintaohjeiden perusteella siten, että puut oletettin karsittavaksi viiden

metrin korkeuteen (Pystykarsintaohjeet 1982). Puu kelpasi karsittavaksi, jos sen rinnankorkeusläpimitta ($D_{1.3}$) oli 9-15 cm. Tämän lisäksi karsittavan puun karsittavassa osassa sai olla (i) kuolleita oksia, (ii) harvakseltaan läpimitaltaan ≤ 25 mm:n paksuisia eläviä oksia sekä (iii) kohtuullisesti läpimitaltaan ≤ 20 mm:n paksuisia eläviä oksia. Puiden koon vaikutus poistettiin jakamalla aineisto kolmeen osaan: ensimmäiseen ryhmään kuului metsikön kaksi läpimitaltaan suurinta ja toiseen kaksi pienintä puuta (ryhmät edustivat tiheyttä 200 ha^{-1}). Kolmannen ryhmän muodostivat jäljelle jääneet puut.

Kanervatyypin kasvupaikoilla pääosa puista täytti karsintakelpoisuudelle asetetut ehdot (kuva 5.8). Myös **puolukkatyypin** kasvupaikoilla oli runsaasti karsintakelpoisia puita, kun valinta tehtiin kuolleiden oksien perusteella. Valtapuiden elävistä oksista oli kuitenkin noin 25 % paksumpia kuin 20 mm, joten vain osa puista täytti karsintakelpoisuuden ehdot. **Mustikkatyypin** kasvupaikoilla osassa valtapuita (suurimmat puut) oli liikaa kuolleita oksia sekä noin 30 % oksista oli paksumpia kuin 20 mm. Mustikkatyypin kasvupaikoilla pienimmät puut kelpasivat karsittaviksi. **Käenkaali-mustikkatyypin** kasvupaikoilla kaikki puut olivat kelvottomia karsittaviksi lukuunottamatta ohuimpia runkoja.

Rungon karsintakelpoisuutta kuvaavat myös **koko rungon paksuimmat** oksat, sillä nuorissa puissa ne sijaitsevat karsittavalla alueella (karsintakorkeus 5 m). Tämäkin tarkastelu osoitti, että kanervatyypin metsiköt olivat aina karsintakelpoisia ja käenkaali-mustikkatyypin karsintakelvottomia. Puolukka- ja mustikkatyypillä karsinta oli perusteltua vain, jos karsittavat puut olisi valittu huolellisesti ottamalla huomioon puiden koko ja runkojen laatu. Koska karsinta olisi kohdistunut metsikön pienimpiin ja hidaskasvuisimpiin puihin, ei karsintaa olisi käytännössä tehty.



Kuva 5.8. Pystykarsintakelpoisuus eri metsätyypeillä: puiden jakautuminen elävien (A) ja kuolleiden (B) oksien paksuuden suhteen.
Fig. 5.8. Fitness for pruning on different site types: distribution of trees to different branch diameter classes (A = living, B = dead branches).

Vuosiluston leveys

Vuosiluston leveys kasvoi, kun kasvupaikan viljavuus parani, mutta yhteys puuston tiheyteen jäi epäselväksi. Runkojen

tyveltä (0-taso) mitatun luston leveyden ja puuston tiheyden välinen korrelaatio ei ollut millään kasvupaikalla tilastollisesti merkitsevä ($p > 0.10$). Kaikissa tapauksissa vuosiluston leveys kasvoi tyveltä latvaa kohti (kuva 5.9). Vuosiluston leveyden perusteella (≤ 3 mm) päätellen kaikissa kanervatyypin ja tiheimmissä puolukkatyypin metsiköissä syntyy hyvälaatuisia tukkeja, joista saadaan pääasiassa u/s-laatuluokkiin kuuluvaa sahatavaraa. Harvemmista puolukkatyypin ja kaikista mustikkatyypin sekä käenkaali-mustikkatyypin metsiköistä saataneen tukkeja, jotka tuottavat pääasissa kvintta-seksta -laatuista sahatavaraa.

Vuosiluston leveys korreloi kiinteästi paksuimpien elävien ja kuolleiden oksien läpimitan kanssa (kuva 5.10). Tämä riippuvuus ilmaisee oksien kasvun ja rungon kasvun kiinteän suhteen, vaikka vuosiluston leveys ja oksan paksuus eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään (rungon kasvu ja oksien kasvu olisivat olleet rinnakkaisia tunnuksia). Täten vuosiluston leveys näyttää ennakoivan hyvin runkojen ulkoista ja sisäistä oksikkuuslaatua ja siten sahatavaran laatua.

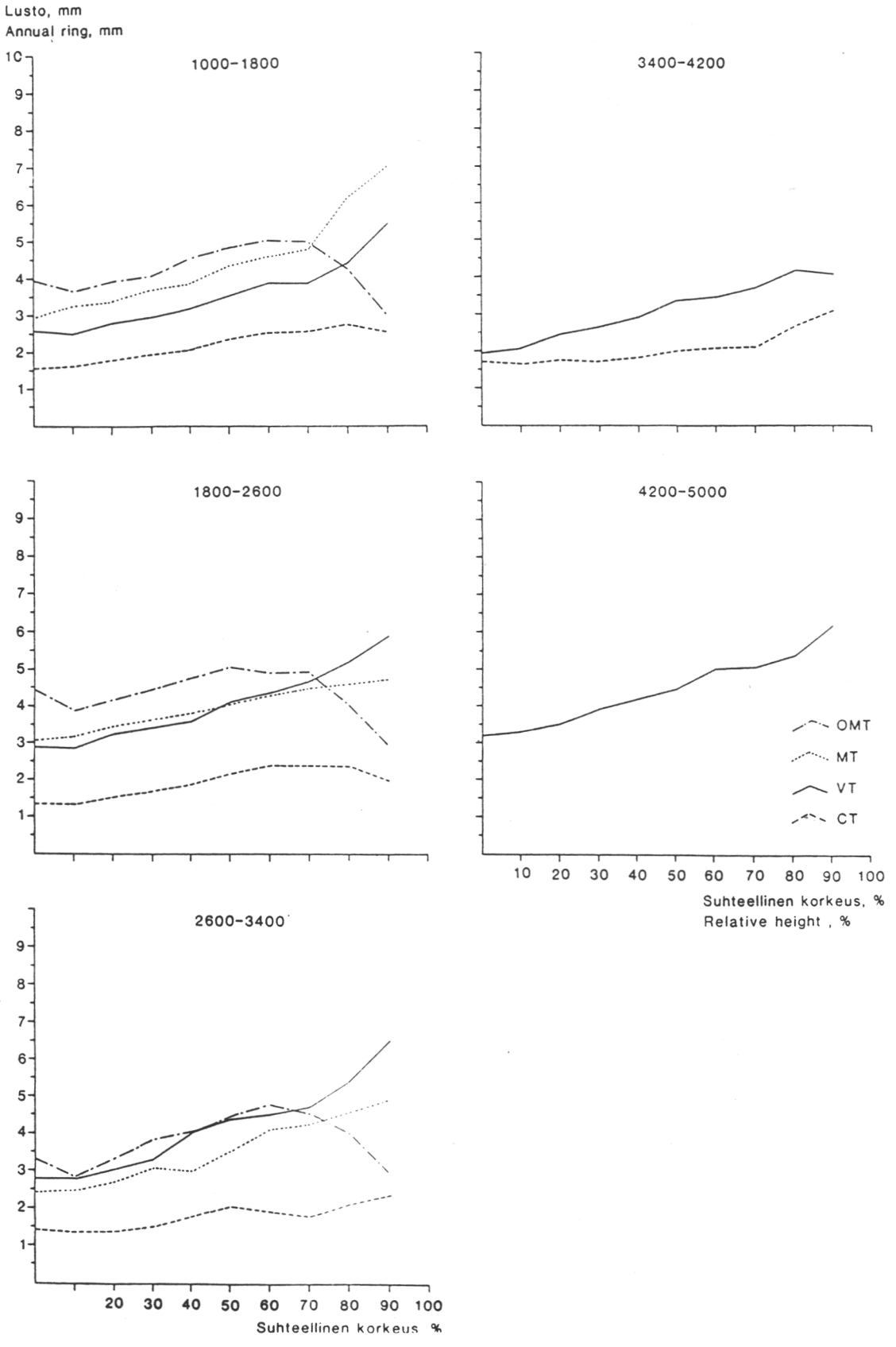
Kesäpuuprosentti

Kesäpuun osuus (kesäpuuprosentti) oli mustikka- ja puolukkatyypin metsiköissä likimain yhtä suuri (kuva 5.11). Käenkaali-mustikkatyypillä kesäpuun osuus jäi pienemmäksi kuin muilla kasvupaikoilla. Kaikissa tapauksissa kesäpuun osuus korreloi negatiivisesti vuosiluston paksuuden kanssa aivan äärimmäisiä olosuhteita lukuunottamatta siten, että kesäpuun osuus laski tyvestä kohti latvaa. Kesäpuun osuus vastasi suuruudeltaan aiemmin saatuja tuloksia nuorten viljelymänniköiden laatuominaisuuksista (katso esim. Uusvaara 1974).

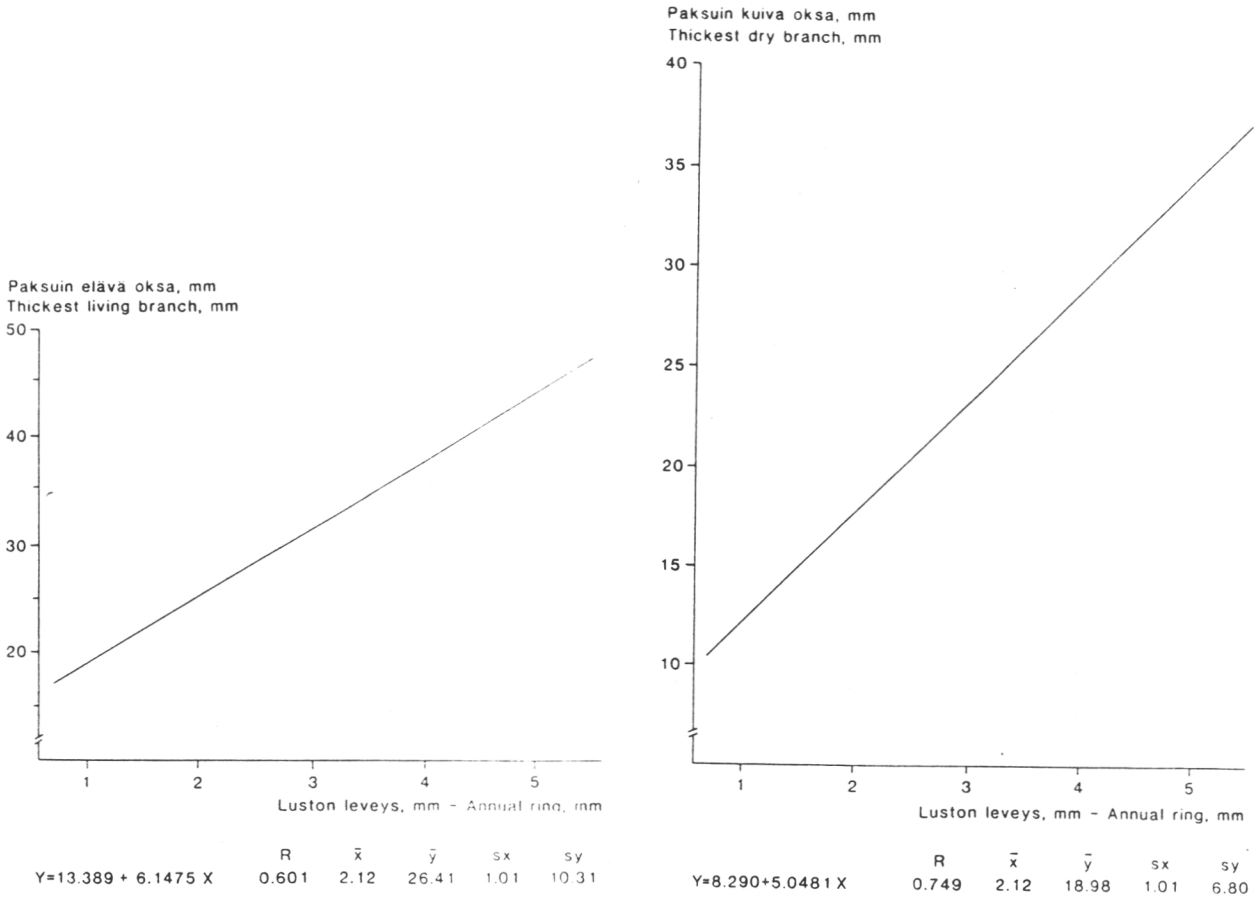
Kuiva-tuoretiheys

Runkojen kuiva-tuoretiheys oli suurin kanervatyypin ja pienin käenkaali-mustikkatyypin metsiköissä (kuva 5.12). Puolukka- ja mustikkatyypin metsiköiden arvot sattuivat näiden ääripäiden väliin siten, että kuiva-tuoretiheys sai molemmilla kasvupaikoilla likimain yhtä suuria arvoja. Kuiva-tuoretiheyden yhteys puuston tiheyteen oli epämääräinen kaikilla kasvupaikoilla. Poikkeuksen muodostivat puolukkatyypin metsiköt, joiden tiheys oli 3400 - 4200 ha^{-1}. Näissä tapauksissa suuri kuiva-tuoretiheys kytkeytyi pieneen läpimitan kasvuun ja puuaineen suureen kesäpuuosuuteen.

Runkojen kuiva-tuoretiheys korreloi selvästi paksuimpien elävien ja kuolleiden oksien läpimitan kanssa: mitä suurempi oli kuiva-tuoretiheys, sitä pienemmäksi jäi oksien läpimitta (kuva 5.13). Täten puiden pieni kasvunopeus parantaa puiden oksikkuuslaatua ja lisää puuaineen tiheyttä, jotka molemmat lisäävät puuaineen käyttöarvoa. Pieneen kasvunopeuteen kytkeytyy lisäksi suuri kesäpuuprosentti, joten puuston suuri kasvatustiheys erityisesti karuilla kasvupaikoilla parantaa monipuolisesti runkojen ja puuaineen laatua.

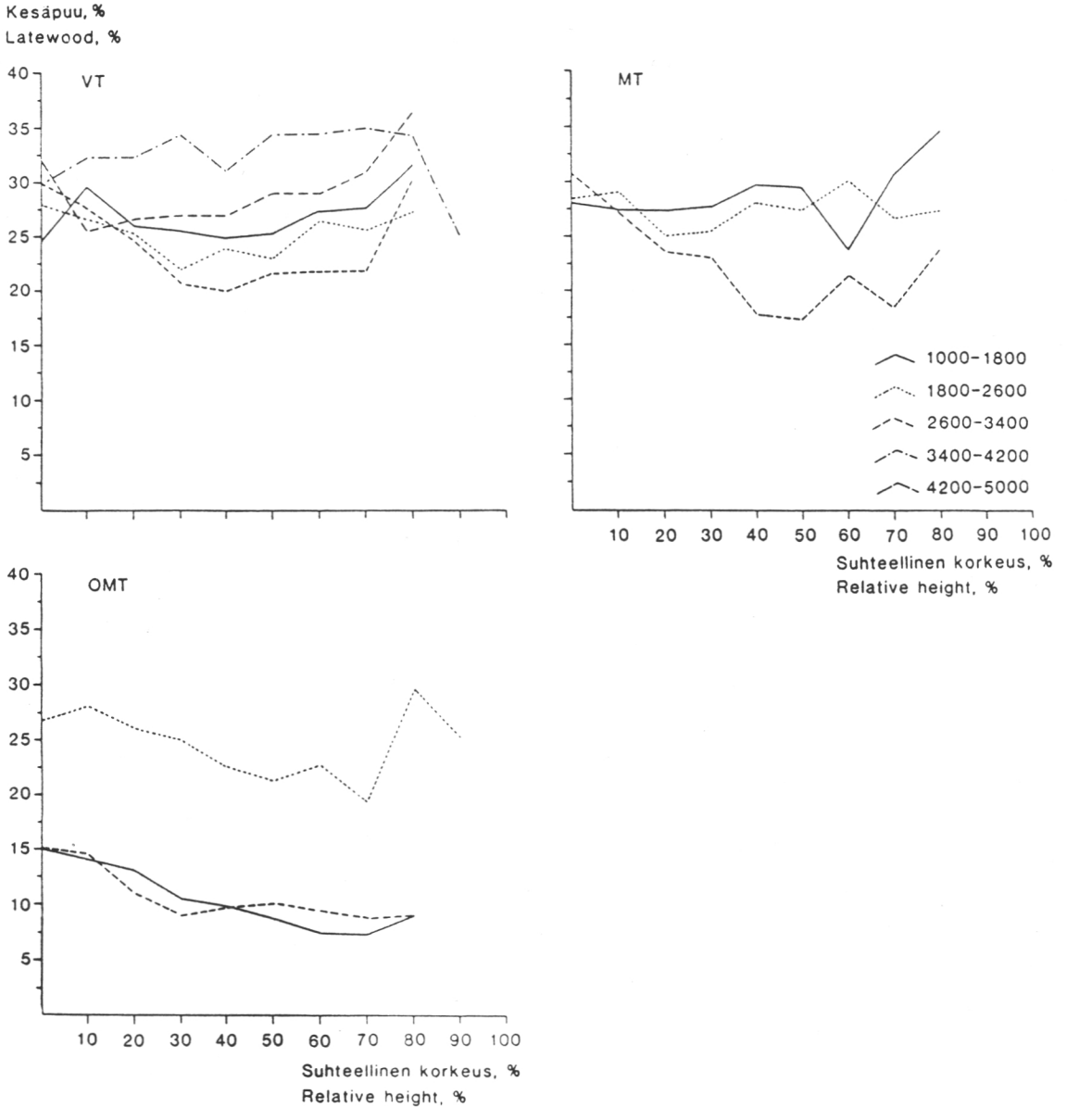


Kuva 5.9. Vuosiluston leveys metsätyypeittäin eri tiheyksillä puun suhteellisen korkeuden funktiona.
Fig. 5.9. The width of annual ring on different site types as a function of relative tree height.

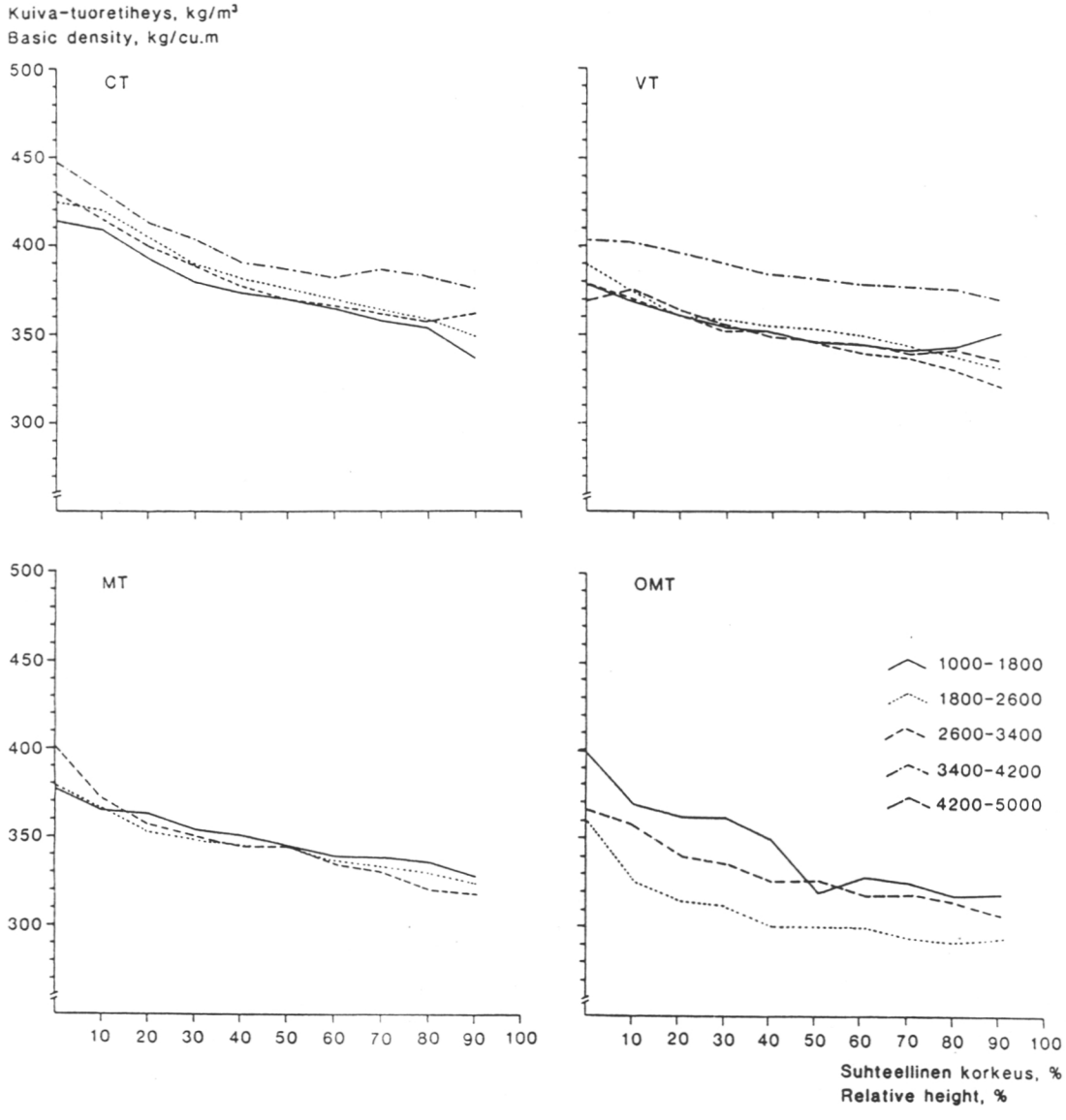


A) B)

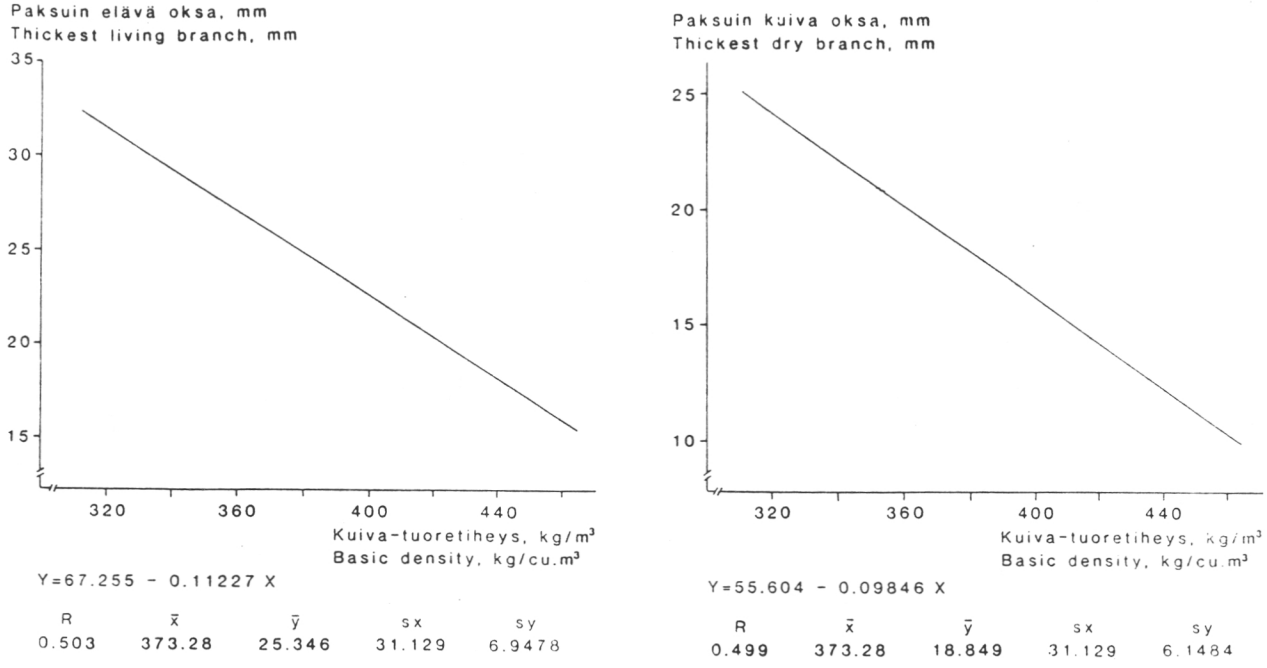
Kuva 5.10. Paksuimman elävän (A) ja kuolleen (B) oksan paksuus luston leveyden funktiona.
Fig. 5.10. The diameter of the thickest living (A) and dead (B) branch as a function of the width of annual ring.



Kuva 5.11. Kesäpuun osuus metsätyypeittäin **eri** tiheyksillä **puun suhteellisen** korkeuden funktiona.
Fig. 5.11. The share of latewood on **different site types** as a **function of the relative** tree height.



Kuva 5.12. Runkojen kuiva-tuoretiheys metsätyypeittäin eri kasvatustiheyksillä puun suhteellisen korkeuden funktiona.
Fig. 5.12. The basic density of stems on different site types as a function of the relative tree height.



A) B)

Kuva 5.13. Paksuimman elävän (A) ja kuolleen (B) oksan läpimitta runkojen kuiva-tuoretiheyden funktiona.
Fig. 5.13. The diameter of the thickest living (A) and dead (B) branch as a function of the basic density of stems.

5.6. Oksien paksuusvaihtelun ja puuaineen laadun yhteys puuston tiheyteen ja kasvupaikan ominaisuuksiin

Oksien läpimitan korrelaatio neulasten ja maan ravinnetunnusten kanssa

Kasvupaikan viljavuutta voidaan metsätyypin ohella kuvata myös maa- ja neulasanalyysien antamilla ravinnetunnuksilla, jolloin metsätyyppien edustamat viljavuusluokat korvataan jatkuvilla ravinnemuuttujilla. Näin voidaan välttää metsätyyppiluokitteluun liittyvät rajanveto-ongelmat, jotka voivat vaikuttaa suuresti analyysin tuloksiin ja niiden tulkintaan. Seuraavassa elävien oksien oksatunnukset on korreloitu suoraan neulasten ja maan ravinnetunnuksiin ottamatta huomioon metsiköiden välisiä tiheyseroja ja sen vaikutusta oksien paksuuteen.

Elävien oksien kaikki oksatunnukset korreloivat tilastollisesti suuntaa-antavasti ($p < 0.10$) maan ja neulasten ravinnepitoisuuksien kanssa (taulukko 5.8). Oksan läpimitta korreloi kiinteämmin neulasten kuin maan ravinnepitoisuuksien kanssa. Varsinkin kaikkien elävien oksien keskiläpimittojen ja neulasten **typpipitoisuuden** väliset korrelaatiot olivat kiinteitä ja selvästi suurempia kuin muiden ravinteiden kanssa. Ylimpien oksien keskiläpimitat korreloivat kiinteästi kaikkien ravinteiden kanssa kaliumia lukuunottamatta. Oksien vanhetessa

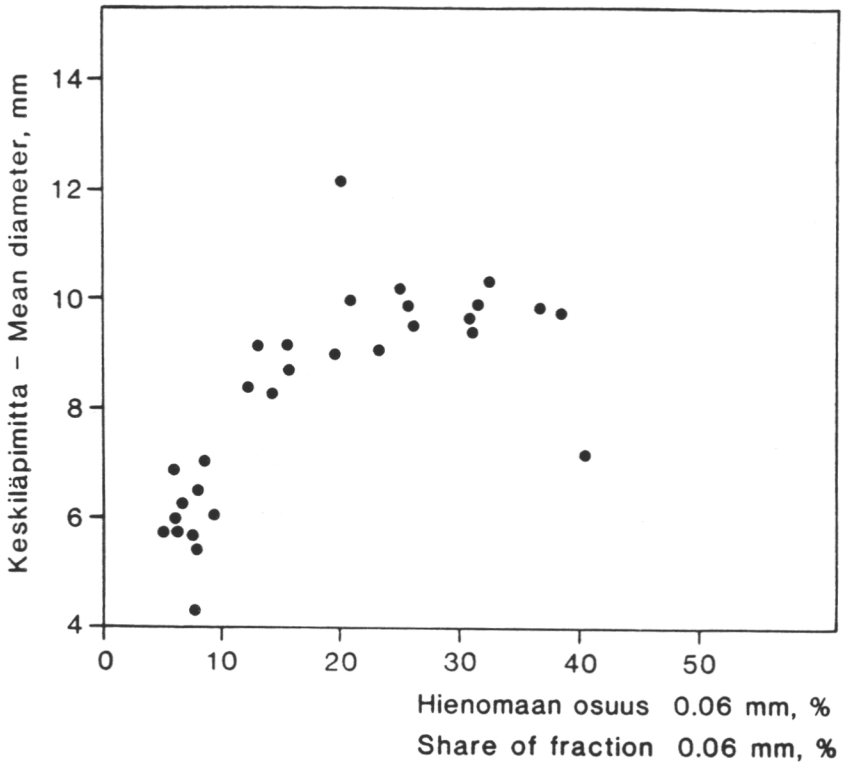
korrelaatiot muiden ravinteiden kuin typen kanssa heikkenivät.

Taulukko 5.8. Oksien läpimitan sekä maan ja neulasten ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiot.
Table 5.8. Correlations for the relationship between branch diameter and the nutrient concentrations of soil and needles.

Näyte ja ravinne Sample and nutrient		Kaikki oksat All branches		Kolme ylintä kiehkuraa Three uppermost whorls		Ylin oksa-kiehkura Uppermost whorl	
		r	p<	r	p<	r	p<
Maa Soil	N	0.27	0.06	0.39	0.01	0.34	0.02
	P	0.37	0.01	0.37	0.01	0.44	0.00
	K	0.34	0.02	0.30	0.04	0.35	0.02
	Ca	0.63	0.00	0.64	0.00	0.69	0.00
	Mg	0.43	0.00	0.38	0.01	0.42	0.00
Neulaset Needles	N	0.74	0.00	0.83	0.00	0.81	0.00
	P	0.72	0.00	0.76	0.00	0.75	0.00
	K	0.51	0.00	0.57	0.00	0.55	0.00
	Ca	0.57	0.00	0.71	0.00	0.77	0.00
	Mg	0.56	0.00	0.70	0.00	0.76	0.00

Oksien läpimitan ja maan raekoostumuksen välinen korrelaatio

Oksatunnuksista vain ylimpien oksien keskiläpimitta korreloi maan lajitekoostumuksen kanssa (kuva 5.14) siten, että oksien läpimitan ja maan hienoaineksen (< 0.06 mm) suhteellisen osuuden (% kuivapainosta) välillä vallitsi tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.001$) posiitiivinen korrelaatio ($R = 0.82$). Korrelaatiokerroin laskettiin logaritmimuunnoksella linearisoidusta aineistosta (metsätyypit CT, VT ja MT). Hienoaineksen osuuden kasvaessa ylimpien oksien läpimitta kasvoi likimain suoraviivaisesti, kunnes hienoaineksen osuus ylitti 20 %. Tämän jälkeen ylimpien oksien läpimitta vakiintui noin 10 mm:n suuruiseksi.



Kuva 5.14. Ylimmän kiehkuran oksien keskiläpimitan riippuvuus hienojen maalajitteiden osuudesta (Turkia ja Kellomäki 1987).
Fig. 5.14. Mean diameter of the branches at the uppermost whorl as a function of the share of the silt in soil (Turkia ja Kellomäki 1987).

Oksien paksuus kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden funktiona

Käenkaali-mustikkatyypin tiedoilla täydennetyn aineiston (ks. aikaisemmin taulukko 3.1) regressioanalyysissa havaittiin, että nuorten mäntyjen oksien paksuus ei vähene yksikäsitteisesti puuston tiheyden kasvaessa, vaan kasvupaikan viljavuusvaihtelu voi aiheuttaa suurta vaihtelua oksien paksuuteen. Näiden suhteiden analysoimiseksi sisällytettiin puuston tiheys ja kasvupaikan viljavuus samaan malliin olettaen, että kaikkien oksien keskiläpimitta on kääntäen verrannollinen puuston tiheyteen ja suoraan verrannollinen kasvupaikan viljavuuteen. Viljavuutta kuvattiin neulasten ja maan ravinnepitoisuuksilla sekä hienomaan osuudella. Regressiomallit laadittiin kaikille eläville oksille sekä kolmen ylimmän ja ylimmän oksakiehkuran oksille. Samalla periaatteella laskettiin mallit myös latvuksen paksuimmille eläville ja kuolleille oksille (taulukko 5.9).

Taulukko 5.9. Eri oksatunnuksille lasketut regressiomallit ja mallien parametrit.
Table 5.9. Parameters of the regression models for different indicators of the branch diameter.

Malli - Model		R^2
Kaikki elävät oksat - All living branches		
$\ln(KLPM) = a + bN + cT + d\ln(KHT)$ (5.4)		0.85
	p<	
a	1.853411 ± 0.091125	0.001
b	0.706489 ± 0.108861	0.001
c	$-1.00227 \cdot 10^{-4} \pm 1.6427 \cdot 10^{-5}$	0.001
d	0.109753 ± 0.026537	0.001
Kolme ylintä oksakiehkuraa - Three uppermost whorls		
$\ln (KLPM) = a + bN + c\ln(KHT) + dT$ (5.5)		0.89
	p<	
a	1.268412 ± 0.089974	0.001
b	0.795748 ± 0.107487	0.001
c	0.160855 ± 0.026202	0.001
d	$-6.58825 \cdot 10^{-5} \pm 1.6220 \cdot 10^{-5}$	0.001
Ylin oksakiehkura - Uppermost whorl		
$\ln(KLPM) = a + b\ln(KHT) + cN$ (5.6)		0.82
	p<	
a	0.947867 ± 0.111406	0.001
b	0.179952 ± 0.033770	0.001
c	0.664866 ± 0.137257	0.001
Paksuin elävä oksa - Thickest living branch		
$\ln(PE) = a + bN + cT$ (5.7)		0.67
	p<	
a	2.598780 ± 0.140042	0.001
b	0.846621 ± 0.129718	0.001
c	$-1.42229 \cdot 10^{-4} \pm 2.5255 \cdot 10^{-5}$	0.001
Paksuin kuollut oksa - Thickest dead branch		
$\ln(PK) = a + bN + c(KHT)$ (5.8)		0.65
	p<	
a	1.785032 ± 0.185354	0.001
b	0.863097 ± 0.199848	0.001
c	0.010496 ± 0.003576	0.010

selitteet
symbols:

KLPM = oksien keskiläpimitta
mean diameter of the branches, mm
N = neulasten typpipitoisuus
nitrogen in needles, %
T = puuston tiheys
stand density, ha^{-1}
KHT = karkean hiedan (0.06 - 0.2 mm) osuus
share of the silt (fraction 0.06 - 0.2 mm) in soil, %
PE = paksuin elävä oksa
thickest living branch, mm
PK = paksuin kuollut oksa
thickest dead branch, mm

Malleja laadittaessa oli tavoitteena yksinkertainen ja selityskykyinen malli, jonka virhe jäisi mahdollisimman pieneksi ja satunnaiseksi. Tähän oli sikäli hyvät mahdollisuudet, että ravinnetunnukset eivät korreloineet puuston tiheyden kanssa tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0.10$) lukuun ottamatta maan typpipitoisuutta ja neulasten kalsiumpitoisuutta (taulukko 5.10). Tämän vuoksi kasvupaikan viljavuuden vaikutusta oksikkuuteen voitiin tarkastella erillään tiheyden vaikutuksesta.

Taulukko 5.10. Neulasten ja maan ravinnetunnusten korrelaatioita puuston tiheyden (puita/ha) kanssa.
Table 5.10. Correlation of nutrients of soil and needles with the stand density (stem/ha).

Näyte ja ravinne Sample and nutrient		Korrelaatio ja sen merkitsevyys Correlation and its significance r	 p <
Maa Soil	N	0.33	0.03
	P	0.20	0.12
	K	0.15	0.20
	Ca	0.15	0.20
	Mg	0.06	0.36
Neulaset Needles	N	0.17	0.16
	P	0.06	0.35
	K	0.22	0.11
	Ca	0.31	0.03
	Mg	0.31	0.37

Taulukossa 5.11 esitetään miten eri muuttujat selittivät männyn oksien läpimitan vaihtelua regressiomalleissa (5.4) ... (5.8). Neulasten typpipitoisuus selitti yleensä eniten (34 - 67 %) oksien läpimitan vaihtelusta. Lisäksi havaittiin, että puuston tiheyden vaikutus oksan paksuuteen oli sitä heikompi, mitä nuoremmista oksista oli kysymys. Vastaavasti kasvupaikan viljavuuden vaikutus oksien paksuuteen lisääntyi siirryttäessä ylimpiin oksakiehkuroihin.

Taulukko 5.11. Selitetyn vaihtelun (oksien läpimitat) jakaantuminen regressiomallien (5.4) ... (5.8) muuttujien kesken.
Table 5.11. Share of the composed variability of branch diameters (R square * 100 %) of the variables used in models (5.51) ... (5.55).

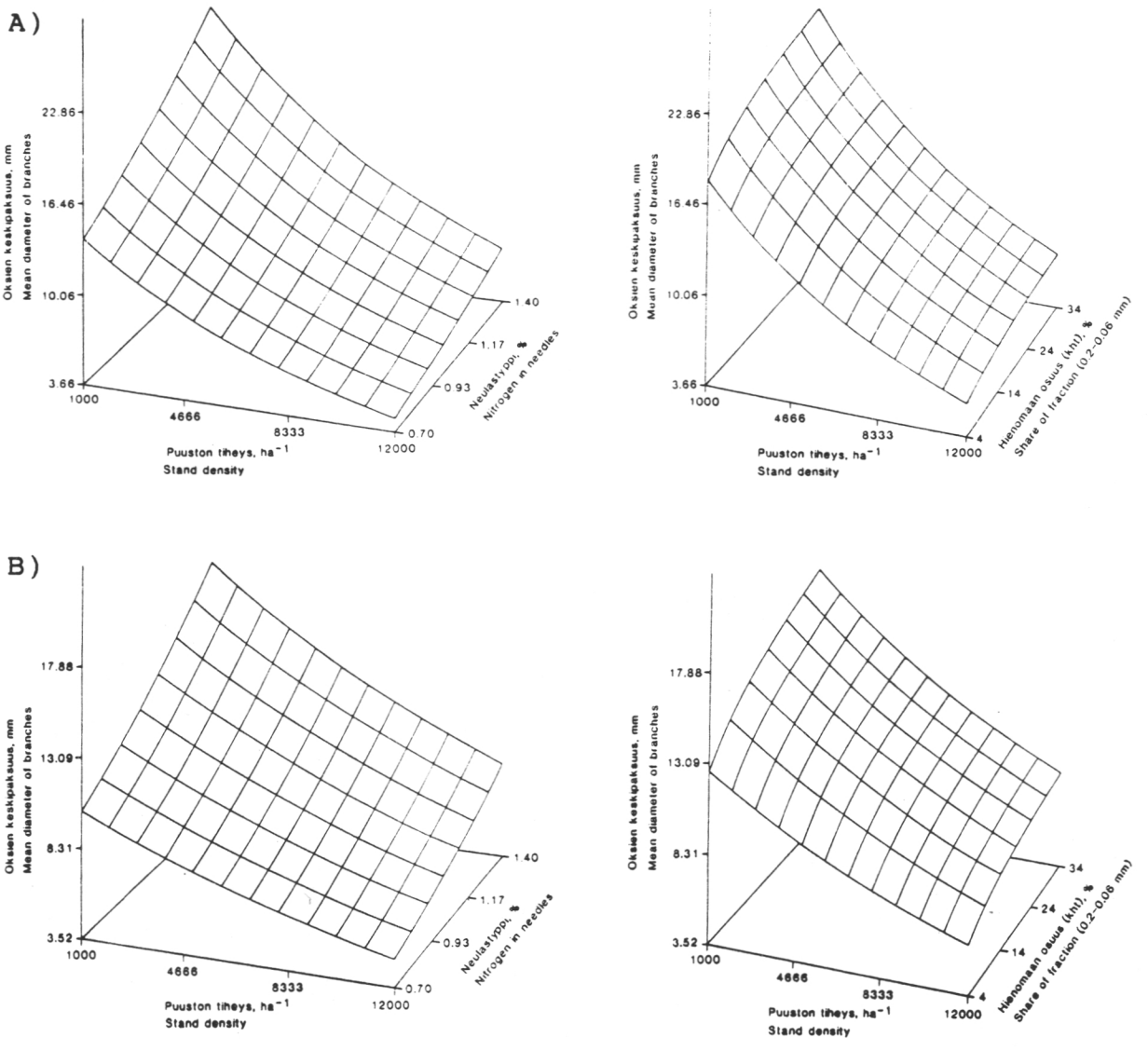
Malli - Model	Muuttujat - Variables					
	N	+	T	+	KHT	
(5.4)	58 %	-->	77 %	-->	85 %	
(5.5)	*)		89 %	<--	84 %	<-- 67 % *)
(5.6)	82 %	<----------			69 %	
(5.7)	34 %	-->	67 %			
(5.8)	55 %	---------->			65 %	

selitteet: ks. taulukko 5.9
symbols: see table 5.9

Puuston tiheys selitti kaikkien elävien oksien läpimitan vaihtelusta noin 19 % (mallin R^2 = 0.85). Sen sijaan kolmen ylimmän kiehkuran oksien regressiomallissa (R^2 = 0.89) kasvatustiheys selitti enää 6 % havaitusta läpimitan vaihtelusta ja ylimmän kiehkuran oksien mallista (R^2 = 0.82) puuston tiheys jäi kokonaan pois. Paksuimman elävän oksan regressiomallissa (R^2 = 0.67) tiheys selitti läpimitan vaihtelusta lähes yhtä paljon kuin kasvupaikan viljavuus eli 33 %, mutta paksuimman kuolleen oksan läpimittaan vaikutti tämän analyysin perusteella vain kasvupaikan viljavuus (mallin R^2 = 0.65).

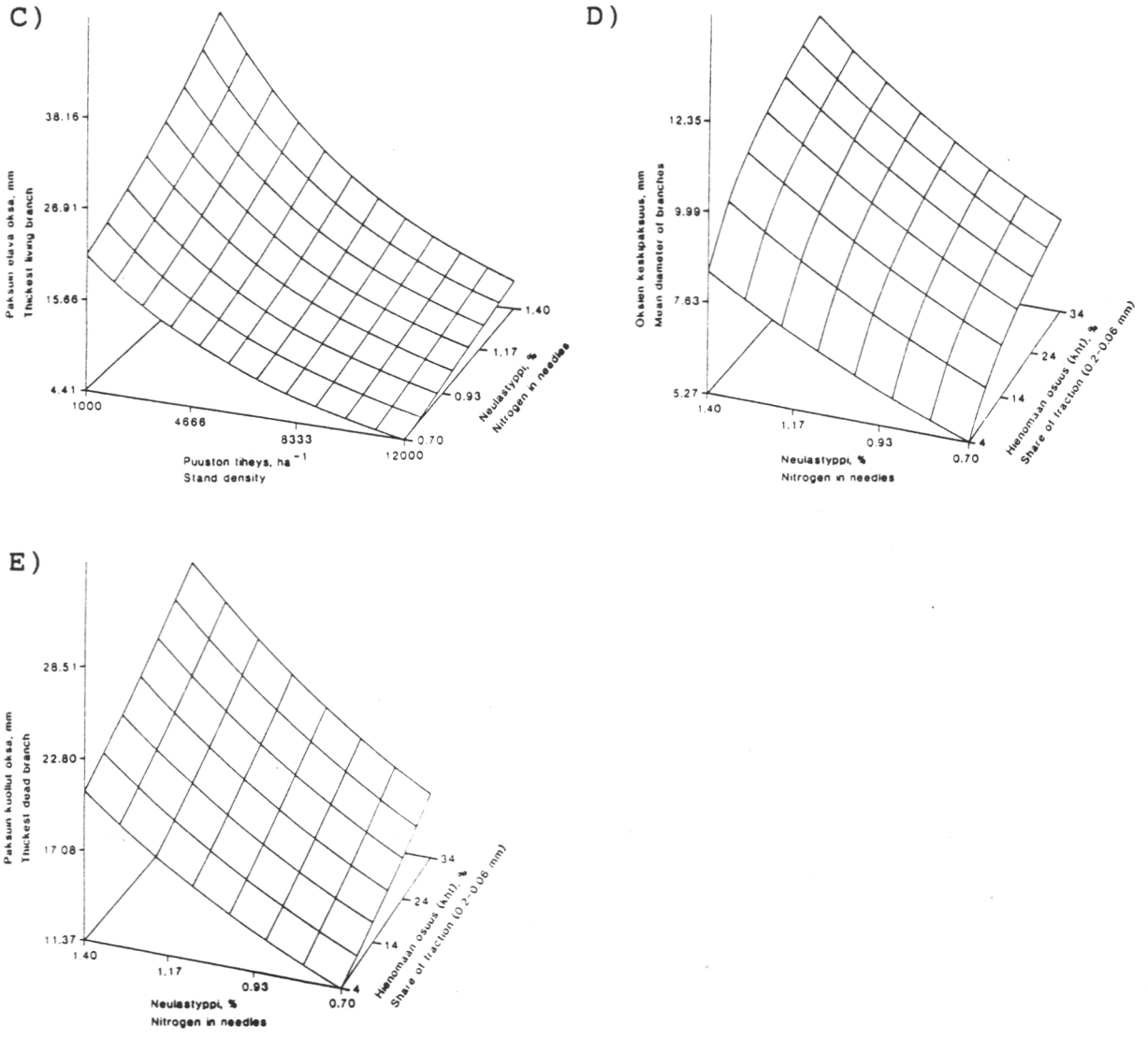
Oksien keskiläpimitan sekä kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden välisiä suhteita tutkittiin edelleen yhtälöiden (5.4) ... (5.8) avulla tehdyillä mallilaskelmilla. Neulasten typpipitoisuuden arvot vaihtelivat 0.7 - 1.4 % ja hienomaan osuuden 4 - 38 %. Ääriarvot saatiin empiirisestä aineistosta, jolloin vaihtelu kattoi kasvupaikat kanervatyypistä käenkaali-mustikkatyyppiin. Puuston tiheysvaihtelu (1000 - 12000 kpl/ha) oli sen sijaan laajempi kuin empiirisessä aineistossa.

Mallilaskelmista (kuva 5.15) havaitaan, että mitä viljavammasta kasvupaikasta ja harvemmasta puustosta oli kysymys, sitä paksummiksi nuorten mäntyjen oksat kasvoivat. Puuston tiheneminen tosin laski oksien keskiläpimittaa ((a) kaikki elävät oksat, (b) kolme ylintä oksakiehkuraa, (c) paksuin elävä oksa), mutta tiheys ei kuitenkaan pystynyt kokonaan kumoamaan kasvupaikan viljavuuden vaikutusta. Puuston tiheysvaikutuksen heikkeneminen näkyi sitä selvemmin, mitä nuoremmista oksista oli kysymys. Kaikkein voimakkaimmin neulasten typpipitoisuuden ja hienomaan osuuden kasvu vaikutti (d) ylimmän kiehkuran oksien ja (e) paksuimman kuolleen oksan läpimittaan.



Kuva 5.15. Oksien läpimitan riippuvuus puuston tiheydestä ja kasvupaikan viljavuudesta (neulasten typpipitoisuudesta, hienomaan osuudesta): A = Kaikki elävät oksat, B = Kolme ylintä oksakiehkuraa. Laskennassa käytetty yhtälöitä (5.4) ja (5.5).

Fig. 5.15. Computed results (Equations (5.4) and (5.5)) on the dependence of the branch diameter on the stand density and the site fertility (nitrogen in needles, share of the silt in soil): A = All living branches, B = Branches of the three uppermost whorls.

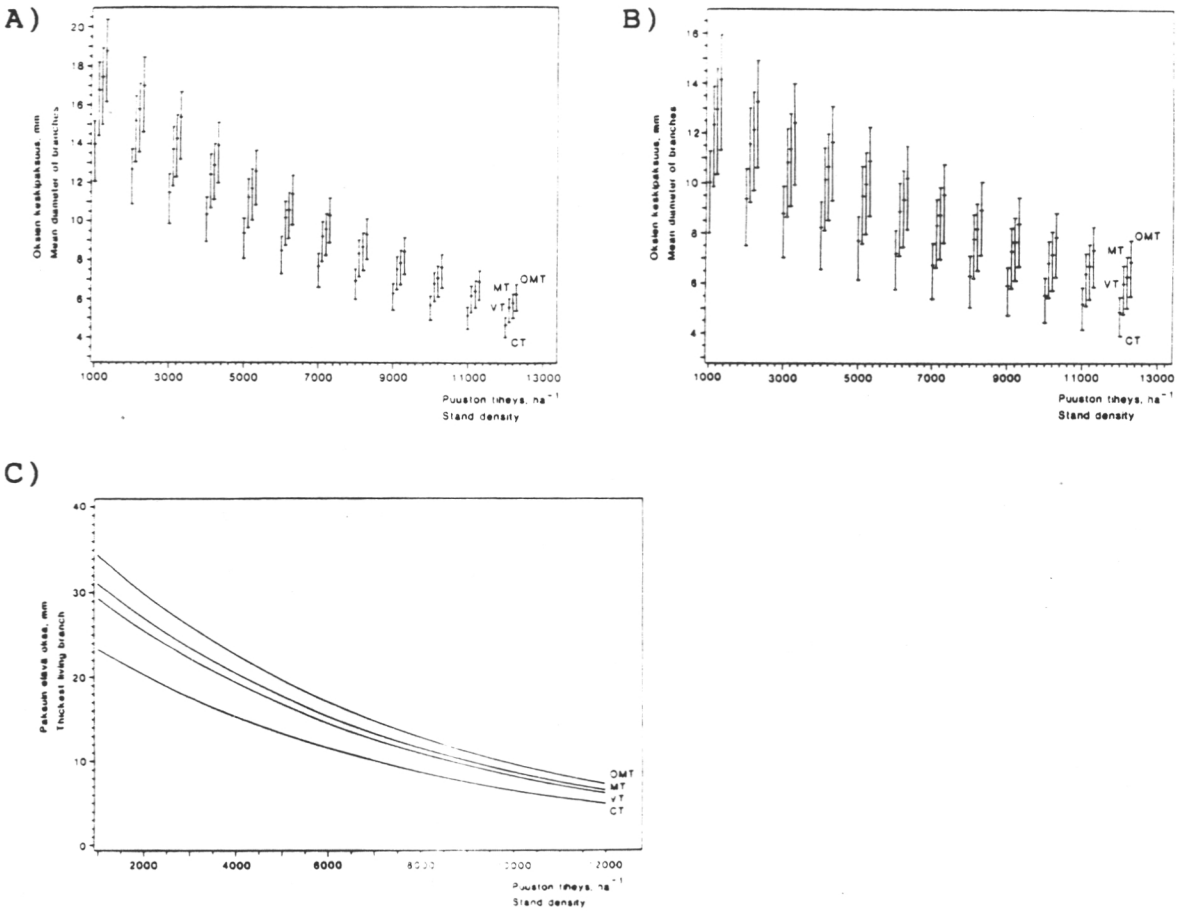


Kuva 5.15. Oksien läpimitan riippuvuus puuston tiheydestä ja kasvupaikan viljavuudesta (neulasten typpipitoisuudesta, hienomaan osuudesta): C = Paksuin elävä oksa, D = Ylin oksakiehkura, E = Paksuin kuollut oksa. Laskennassa käytetty yhtälöitä (5.6) ... (5.8).
Fig. 5.15. Computed results (Equations (5.6) ... (5.8)) on the dependence of the branch diameter on the stand density and the site fertility (nitrogen in needles, share of the silt in soil): C = Thickest living branch, D = Branches of the uppermost whorl, E = Thickest dead branch.

Kuvassa 5.16 on laskettu oksien keskiläpimitan ((a) kaikki elävät oksat, (b) kolme ylintä oksakiehkuraa) vaihtelu ja (c) paksuimman elävän oksan läpimitta puuston tiheyden funktiona metsätyypeittäin. Eri metsätyyppejä kuvattiin neulasten typpipitoisuuksilla, jolloin käytettiin seuraavia empiirisestä aineistosta laskettuja arvoja:

Metsätyyppi Site type	Neulasten typpipitoisuus Nitrogen in needles, % x	 s
CT	0.82	0.07
VT	1.09	0.09
MT	1.16	0.12
OMT	1.28	0.11

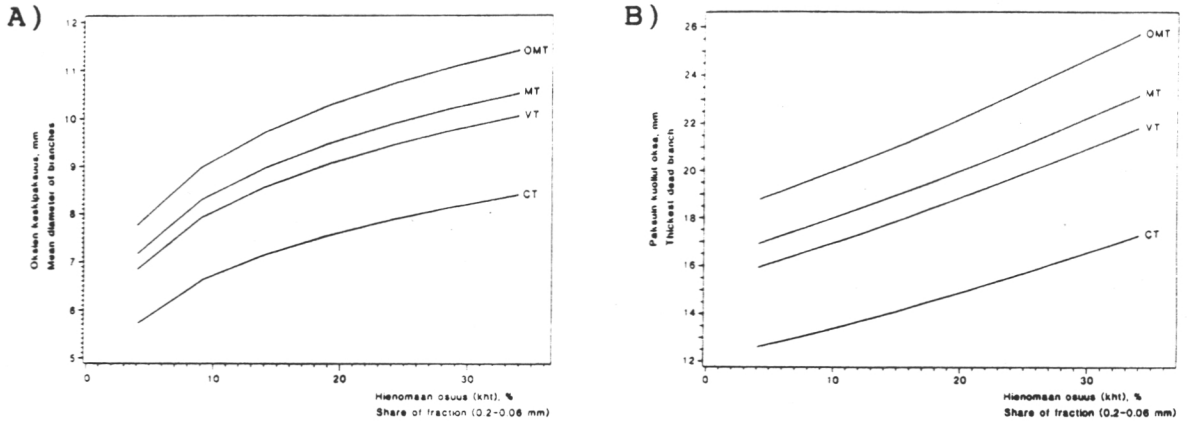
Hienomaan osuus vaihteli 4 - 38 % (pylväät kuvassa 5.16), mikä kuvasi samalla kasvupaikkojen sisäistä viljavuusvaihtelua ja edelleen tästä aiheutuvaa vaihtelua oksien keskiläpimittaan.



Kuva 5.16. Oksien läpimitta puuston tiheyden funktiona metsätyypeittäin: A = Kaikki elävät oksat, B = Kolme ylintä oksakiehkuraa, C = Paksuin elävä oksa. Kuvissa A ja B pylväät kuvaavat hienomaan osuutta (4 - 38 %). Laskennassa käytetty yhtälöitä (5.4, 5.5 ja 5.7).
Fig. 5.16. Computed results (Equations (5.4, 5.5 and 5.7) on the variability of the branch diameter as a function of the stand density and the site type: A = All living branches, B = Branches of the three uppermost whorls, C = Thickest living branch. The bars in figures A and B represent the share of silty morain (4 - 38 %).

Oksien keskiläpimitta pieneni eri metsätyypeillä hidastuvasti puuston tiheyden kasvaessa. Selvimmin oksien keskiläpimitan suhteen erottuivat toisistaan kanerva- ja käenkaali-mustikkatyyppi. Puolukka- ja mustikkatyypin välinen ero oli sen sijaan pieni, jolloin varsinkin metsätyyppien reuna-alueilla (hienomaan osuudet lähes samat) keskiläpimitat olivat likimain yhtäsuuret. Lisäksi puuston tiheysvaikutuksen heikkeneminen näkyi nyt entistä selvemmin: kasvupaikan viljavuuden muutokset saivat aikaan yhä suurempaa keskiläpimitan vaihtelua kolmen ylimmän kiehkuran oksissa.

Ylimmän kiehkuran oksille ja paksuimmalle kuolleelle oksalle laskettiin regressioyhtälöiden (5.6) ja (5.8) mukainen riippuvuus, jossa oksan läpimitta esitetään hienomaan osuuden funktiona metsätyypeittäin (kuva 5.17 (a) ja (b)). Jos ylimmän kiehkuran oksien läpimitaksi valitaan 10 mm havaitaan, että oksien keskiläpimitta ei parhaillakaan kanervatyypin kasvupaikoilla saavuta tätä arvoa. Puolukkatyypillä 10 mm:n keskiläpimittaan päästään kasvupaikoilla, joilla kivennäismaan hienojen lajitteiden osuus on regressiomallin (5.6) mukaan noin 33 %. Mustikka- ja käenkaali-mustikkatyypillä vastaavat hienomaan (karkea hieta) osuudet ovat likimain 26 % ja 17 %.



Kuva 5.17. Oksien läpimitta hienomaan osuuden funktiona metsätyypeittäin: A = Ylin oksakiehkura, B = Paksuin kuollut oksa. Laskennassa käytetty yhtälöitä (5.6 ja 5.8).
Fig. 5.17. Computed results (Equations (5.6 and 5.8) on the dependence of the branch diameter on the share of the silt in soil as a function of the site type: A = Branches of the uppermost whorl, B = Thickest dead branch.

Jos paksuimman kuolleen oksan läpimittavaatimuksena pidetään 20 mm, kuvasta 5.17 havaitaan, että tätä läpimittaa ei saavuteta parhaillakaan kanervatyypin kasvupaikoilla. Sen sijaan jo hyvällä puolukkatyypillä 20 mm:n läpimitta saavutetaan mallin (5.8) mukaan silloin, kun hienomaan osuus on noin 25 %. Mustikka- ja käenkaali-mustikkatyypin vastaavat osuudet ovat noin 20 % ja 10 %.

Yhtälöillä (5.4) ja (5.7) laskettiin vielä miten suuri puuston tiheys tarvitaan eri metsätyypeillä, jotta oksien keskiläpimitta (kaikki elävät oksat) ja latvuksen paksuimman elävän oksan läpimitta ei ylittäisi haluttua arvoa (taulukko 5.12). Hienomaan osuuksina käytettiin yhtälöllä (5.4) tehdyissä laskelmissa seuraavia empiirisestä aineistosta laskettuja arvoja:

Metsätyyppi Site type	Karkean hiedan osuus Share of fraction 0.06 - 0.2 mm in soil, %	
	x	s
CT	5.24	0.07
VT	22.18	7.46
MT	23.24	1.50
OMT	33.00	7.07

Tarvittava puuston tiheys kasvaa sitä nopeammin, mitä pienemmäksi oksien läpimitan halutaan jäävän ja mitä viljavammasta kasvupaikasta on kysymys. Jos kaikkien elävien oksien keskiläpimitaksi asetetaan 10 mm, puuston tiheyden on mallin (5.4) mukaan oltava kanervatyypillä vähintään 3100, puolukkatyypillä 6600, mustikkatyypillä 7100 ja käenkaali-mustikkatyypillä 8400 ha^{-1}.

Taulukko 5.12. Eri metsätyypeillä tarvittava puuston tiheys halutun oksan läpimitan saavuttamiseksi. Laskennassa käytetty yhtälöitä (5.4) ja (5.7).
Table 5.12. Computed results (models (5.4) and (5.7)) on the stand density needed to achieve a certain branch diameter on the different site types.

Elävien oksien keskiläpimitta Mean diameter of living branches, mm	Tarvittava tiheys Needed stand density, ha^{-1}			
	CT	VT	MT	OMT
20				1500
19				2000
18			1300	2500
17		1300	1800	3100
16		1900	2500	3700
15		2500	3000	4300
14		3200	3800	5000
13		4000	4500	5700
12	1300	4800	5300	6500
11	2100	5600	6200	7400
10	3100	6600	7100	8400

Paksuimman elävän oksan läpimitta Thickest living branch , mm	Tarvittava tiheys Needed stand density, ha^{-1}			
	CT	VT	MT	OMT
30			1300	2000
25		2100	2500	3300
20	2100	3700	4100	4800
15	4100	5700	6100	6800
10	7000	8600	9000	9700

Jos paksuimman elävän oksan läpimittarajana pidetään hyvälaatuisessa puustossa 20 mm, on kasvatustiheyden oltava regressiomallin (5.7) mukaan kanervatyypillä vähintään 2100, puolukkatyypillä 3700, mustikkatyypillä 4100 ja käenkaali-mustikkatyypillä 4800 ha^{-1}.

5.7. Lehtipuusekoituksen vaikutus mäntyjen oksikkuuteen

Oksien keskipaksuudet

Männyn oksien keskiläpimitta pieneni mänty-koivu-sekametsiköissä, kun puuston **kokonaistiheys** (männyt ja koivut yhteensä)) kasvoi (taulukko 5.13). Riippuvuus ei ollut tosin aivan yhtä selkeä kuin vertailuun käytetyissä puhtaissa männiköissä. Näyttää kuitenkin ilmeiseltä, että koivusekoitus lisäsi muutoin harvaksi jääneiden männiköiden tiheyttä,

jolloin mäntyjen oksien paksuus ei kohonnut niin suureksi kuin pelkästään mäntyjen tiheyden perusteella olisi ollut odotettavissa. Puuston kokonaistiheys vaikutti myös mäntyjen paksuimpien elävien ja kuolleiden oksien paksuuteen.

Taulukko 5.13. Elävien oksien keskiläpimitat ja hajonnat eri koealoilla.
Table 5.13. Mean diameter and its standard deviation of the living branches as a function of the sample plot.

Koe-ala	Tiheys	Lehtipuun osuus	Elävät oksat Living branches, mm: Kaikki oksat		Kolme ylintä oksakiehkuraa		Ylin oksakiehkura	
S. plot	Stand dens.	Share of broad-leaved trees, %	All branches		Three uppermost whorls		Uppermost whorl	
	ha^{-1}		x	s	x	s	x	s
14	1500	0	18.54	8.26	13.61	5.57	10.32	3.47
5		60	17.05.	7.46	12.72	5.29	9.81	2.60
12	2000	0	15.59	5.89	13.87	4.60	11.77	3.01
13		10	15.94	6.61	13.64	5.09	10.91	3.62
4		25	18.65	9.90	12.50	5.22	9.21	2.75
6		80	15.91	6.28	12.89	4.32	11.36	2.84
11	2500	0	15.52	5.86	12.88	4.65	10.45	3.31
3		32	19.80	10.14	13.37	5.76	10.20	2.75
7		52	11.54	5.16	7.89	3.02	7.16	1.77
10	3500	0	13.98	5.08	11.79	3.94	10.17	3.03
9		17	15.81	6.80	13.18	5.42	10.35	3.55
8		31	16.10	7.44	12.00	5,79	9.22	3.40
1	4000	50	16.57	8.98	11.50	5.42	10.13	3.08
2	5000	0	14.73	6.72	10.64	4.42	8.32	2.16

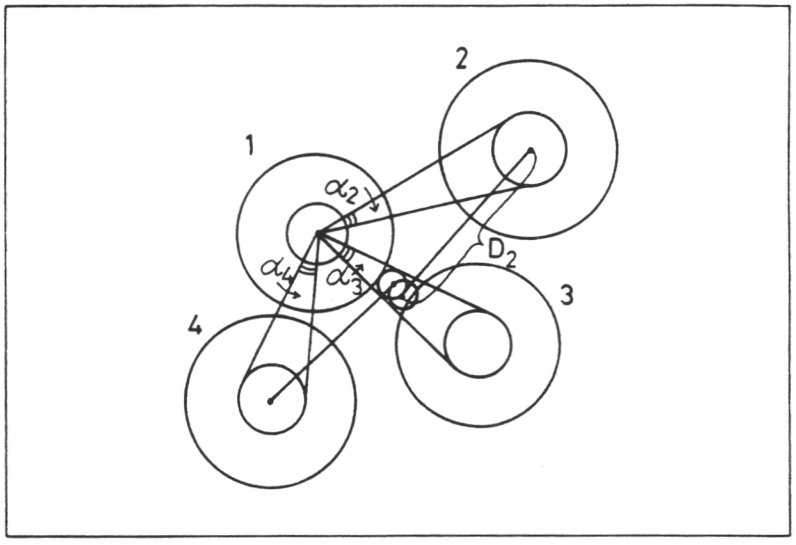
Koivusekoituksen suuruudella sen sijaan ei ollut vaikutusta oksien paksuuteen: oksien paksuudet olivat kokonaistiheydeltään tietynlaisissa metsiköissä likipitäen yhtäsuuret riippumatta siitä, oliko kysymyksessä puhdas männikkö tai koivusekoitteinen männikkö (taulukko 5.14). Oksien läpimitoissa havaittavat erot puulajisekoituksen suhteen olivat siis luonteeltaan satunnaisia ($p > 0.10$): lehtipuiden esiintymisen vaikutus mäntyjen oksikkuuslaatuun näytti rajoittuvan siihen, että lehtipuut lisäsivät muutoin harvaksi jääneiden männiköiden tiheyttä ja rajoittivat siten mäntyjen oksien kasvua ja kehitystä.

Taulukko 5.14. Oksien läpimitat puhtaissa männiköissä ja sekametsiköissä.
Table 5.14. Branch diameter in Scots pine stands and mixed pine and birch stands.

Läpimitta Diameter,mm	Hajonta Standard deviation	T:n arvo T value	P P	
Kaikki elävät oksat - All living branches				
15.67	1.73	-0.65	0.527	männikkö pine stand
16.38	2.28			sekametsä mixed stand
Kolme ylintä kiehkuraa - Three uppermost whorls				
12.56	1.34	0.44	0.667	männikkö pine stand
12.19	1.74			sekametsä mixed stand
Ylin oksakiehkura - Uppermost whorl				
10.20	1.23	0.51	0.626	männikkö pine stand
9.86	1.20			sekametsä mixed stand

Lehtipuiden vaikutus yksittäisten mäntyjen oksien paksuuteen

Lehtipuiden vaikutusta mäntyjen oksien kasvuun tutkittiin myös tarkastelemalla koepuiden oksien paksuuden riippuvuutta lähimpien puiden etäisyydestä ja puulajista. Tarkastelu perustui Pukkalan (1988) kehittämään spatiaaliseen kasvumalliin, joka kuvaa puiden välistä kilpailua kulmasumman ja painopiste-etäisyyden avulla (kuva 5.18).



Kuva 5.18. Menetelmä kulmasumman (KS; horisontaaliset kulmat α_2, α_3 ja α_4 puulle 1) laskemiseksi ja puiden välisen kilpailun kuvaamiseksi (D_2 on etäisyys puusta 2) (Pukkala 1988).
Fig. 5.18. Method for calculating the horizontal angles (α_2, α_3 and α_4 for tree 1) for the angle sum (KS) and the location of the center of competition (for trees 2 and 4; D_2 is the distance to the competition center from tree 2) (Pukkala 1988).

Kulmasumman laskennassa määritettävät kulmat muodostuvat koepuun keskipisteestä katsottuna niistä kulmista, joita rajoittavat koepuun keskipiste (M) sekä katselinjojen tangentit (T_1, T_2) kunkin lähipuun rinnankorkeudella. Jokainen kulma painotettiin koepuun ja lähipuiden läpimittojen suhteella, joka korotettiin empiiriseen parametriin (kaava 5.9). Kullekin koepuun lähipuulle laskettiin sama tunnus sekä laskettiin tämän arvot yhteen, jolloin saatiin puiden välistä kilpailua kuvaavan kulmasumman arvo.

$$KS_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} \alpha_i (d_{1.3i}/d_{1.3j})^a \qquad (5.9)$$

missä KS_j on kulmasumma puulle j (rad), α_i vaakakulma puun j koordinaattipisteestä molemmille puolille runkoa i (rad), $d_{1.3i}$ ja $d_{1.3j}$ puiden i ja j rinnankorkeusläpimitat (cm), n laskentaan mukaan tulevien puiden lukumäärä ja a empiirinen vakio. Laskennassa otetiin huomioon koepuusta kolmen metrin säteellä, vähintään yhden metrin etäisyydellä koealan reunasta olevat puut. Täten voidaan olettaa kullakin laskennassa mukana olevalla puulla olevan vaikutusta koepuun oksien kasvuun, jolloin kulmasumma riippuu kilpailijoiden lukumäärästä, koosta ja etäisyydestä. **Painopiste-etäisyys** (PPE) on kilpailun yksipuolisuutta selittävä indeksi, joka

laskettiin lähipuiden x- ja y-koordinaattien keskiarvona yhtälöiden (5.10) - (5.12) avulla seuraavasti.

$$x_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} w_i \cdot x_i \; / \; \sum w_i \qquad (5.10)$$

$$y_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} w_i \cdot y_i \; / \; \sum w_i \qquad (5.11)$$

$$PPE = \sqrt{(x_j - x_j)^2 + (y_j - y_j)^2} \qquad (5.12)$$

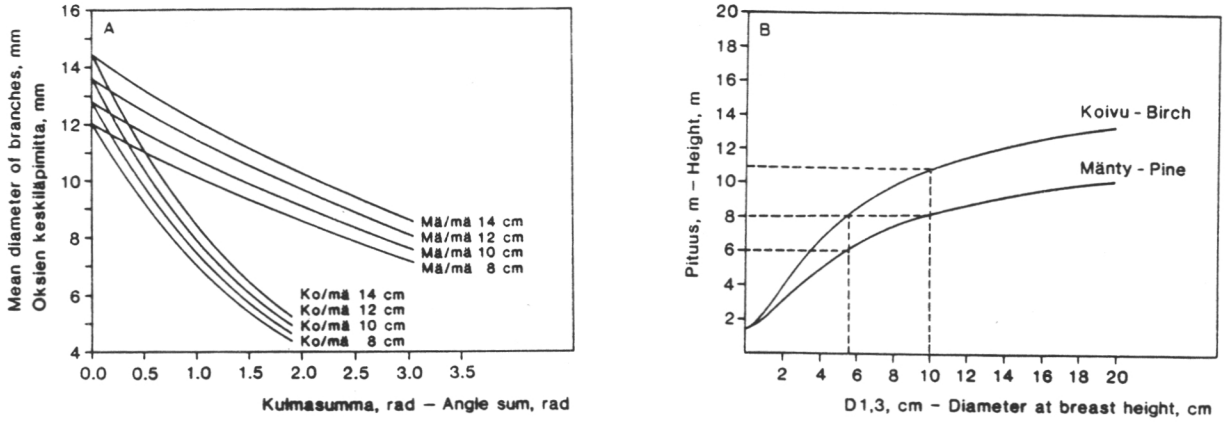
missä x_j ja y_j ovat kilpailijoiden x- ja y-koordinaattien keskiarvot, x_i ja y_i puun i x- ja y-koordinaatit, w_i painokerroin puulle i sekä n laskennassa mukana olevien lähipuiden lukumäärä. Painokerroin (w_i) riippuu lähipuiden etäisyydestä koepuusta sekä lähipuun ja koepuun rinnankorkeusläpimittojen suhteesta, jolloin painopiste-etäisyys-tunnuksella kuvataan lähipuiden jakautumista koepuuun ympärille: mitä vahvempi kilpailija koepuu on sitä, sitä paremmin se kasvaa, jolloin myös sen oksien kasvu on suurta.

Puiden välinen kilpailu vaikuttaa rungon kasvun välityksellä oksien paksuuksiin. Tämän vuoksi tutkittiin kunkin koepuun kolmen ylimmän oksakiehkuran oksien keskiläpimitan yhteyttä kullekin koepuulle laskettuun kulmasummaan ja painopiste-etäisyyteen. Näistä kuitenkin vain kulmasumma selitti oksien paksuusvaihtelua (kuva 5.19a). Odotusten mukaisesti puiden välisen kilpailun kasvaessa oksien läpimitta pieneni, joskin koepuiden kesken esiintyi suurta vaihtelua. Vaihtelu oli yhteydessä koepuiden kokoon ja kilpailevien puiden puulajiin (mänty, koivu). Näiden tekijöiden vaikutusten analysoimiseksi laadittiin yhtälön (5.13) mukainen regressiomalli, jolla selitettiin koepuiden kolmen ylimmän oksakiehkuran oksien läpimitan vaihtelua.

$$\ln(D_o) = a + b_1 D_{1.3} + b_2 KS_{mä} + b_3 KS_{ko} \qquad (5.13)$$

missä D_o on kolmen ylimmän oksakiehkuran oksien läpimittojen keskiarvo, $KS_{mä}$ ja KS_{ko} mänty- ja koivukilpailijoille laskettu kulmasumma sekä a ja b_i parametrejä. Malli (5.13) selitti 45 % oksien paksuusvaihtelusta (R^2 = 0.65), keskivirhe oli 1.24 mm. Selittämättä jäänyt vaihtelu jakautui satunnaisesti. Parametrien arvot olivat: a = 2.243, b_1 = 0.036, b_2 = 0.171 ja b_3 = 0.539.

A) B)



Kuva 5.19. (A) Kolmen ylimmän kiehkuran oksien paksuus läpimitaltaan erilaisilla puilla puhtaassa männikössä ja sekametsikössä kulmasumman funktiona. (B) Männyn ja koivun pituus rinnankorkeusläpimitan funktiona.
Fig. 5.19. (A) Mean diameter of the branches of three uppermost whorls as a function of KS (rad) and tree size (diameter at breast height) in Scots pine stands and mixed pine and birch stands. (B) The height of pine and birch as a function of diameter at breast height.

Malli (5.13) voidaan tulkita siten, että läpimitaltaan samanlaisista mänty- tai koivulähipuista koivu kilpaili koepuun kanssa voimakkaammin kuin mänty ($|b_2| < |b_3|$). Tämä oli odotettavissa, sillä samanpaksuinen koivu on aina pitempi kuin mänty (5.19b). Tämän vuoksi kilpailevan koivun vaikutus ylimpien oksien kasvuun (kuten myös muiden oksien kasvuun) on suurempi kuin männyn ollessa kilpailevana puulajina (kuva 5.19a).

6. PUIDEN KASVUTILA JA RUNKOJEN OKSIKKUUS: EMPIIRISIÄ TULOKSIA JA MALLEIHIN PERUSTUVAA TARKASTELUA

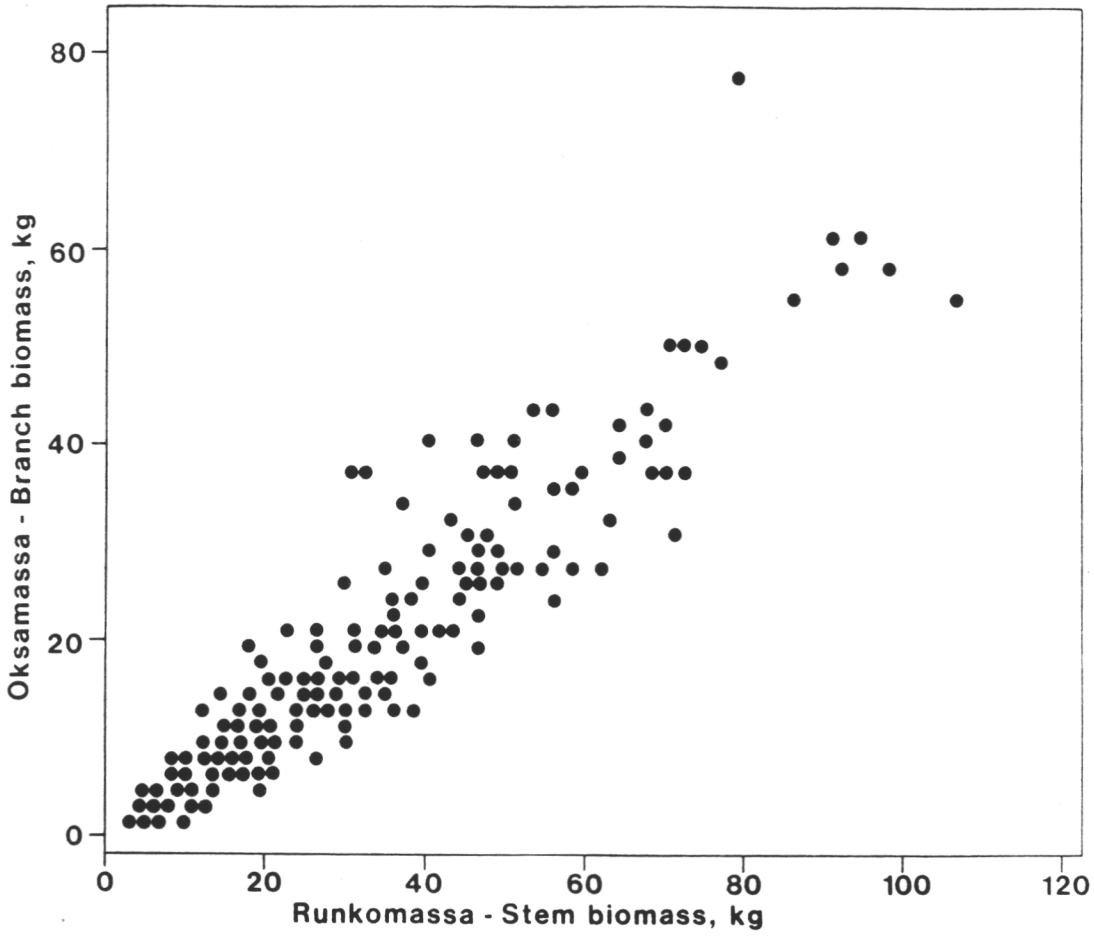
6.1. Puiden oksa- ja runkomassan suhteet

Empiiriset tulokset osoittavat, että nuorten mäntyjen oksien määrän ja rungon suuruuden kesken kesken vallitsee kiinteä riippuvuus. Esimerkiksi oksa- ja runkomassan välistä suhdetta voidaan kuvata lineaarisella regressiolla, jonka kulmakerroin oli puolukka- ja mustikkatyypillä likimain yhtä suuri taulukon 6.1 osoittamalla tavalla (kuva 6.1).

Taulukko 6.1. Parametrit runkomassan ja oksamassan väliselle regressiolle $Y_B = e + E \cdot Y_S$.
Table 6.1. Parameters for regression between stem and branch biomass ($Y_B = e + E \cdot Y_S$).

Metsätyyppi Site type	Parametrit Parameters e kg	E $kgkg^{-1}$	R^2
VT	-0.154±0.644	0.576±0.018	0.889
MT	-1.059±1.463	0.644±0.033	0.847

Koska vakioiden arvot poikkesivat toisistaan vain vähän, voidaan molemmilla metsätyypeillä käyttää yhteistä yhtälöä, joka kulkee origon kautta (kulmakerroin 0.609). Täten jokaista runkomassayksikköä kohti oli puiden eliniän aikana kertynyt 0.609 oksamassayksikköä. Jos eri metsätyypeille lasketut kulmakertoimet tulkitaan eri suuruisiksi, oli mustikkatyypillä kertynyt jokaista runkomassayksikköä kohti 0.644 yksikköä oksapuuta ja puolukkatyypillä 0.576 (ks. taulukko 6.1.). Tämä voidaan edelleen käsittää siten, että mustikkatyypin kasvupaikoilla puut olivat 1.12 kertaa oksikkaampia kuin puolukkatyypin kasvupaikoilla.



Kuva 6.1. Puiden runkomassan ja oksamassan välinen suhde koko aineistossa.
Fig. 6.1. Regression between stem and branch biomass in the total material.

6.2. Puuston tiheys ja kasvutila

Empiiristen tulosten perusteella on pääteltävisssä, että yksittäisten puiden oksikkuus riippuu niiden kasvutilan suuruudesta (katso myös Kärkkäinen ja Uusvaara 1982). Paitsi puuston tiheydestä riippuu kasvutilan suuruus myös puun metsikköasemasta siten, että vallitsevilla puilla voidaan olettaa olevan suhteellisesti enemmän kasvutilaa kuin vallituilla. Tämän vuoksi on odotettavissa, että vallitsevat puut kasvavat puuston tiheydestä riippumatta aina oksikkaammiksi kuin vallitut. Puuston tiheyden ja puiden aseman vaikutusta tarkastellaan seuraavassa yksinkertaisen tilamallin avulla, joka samalla tiivistää empiiristen mittausten antamia tuloksia.

Tarkastellaan homogeenisia metsiköitä, joissa puut ovat metsiköittäin identtisiä ja sijoittuvat tasaisesti metsikköön. Merkitään Ar:llä metsikön pinta-alaa ja n:llä tällä alalla kasvavien puiden lukumäärää. Puuta kohti on kasvutilaa käytettävissä määrä (s_i)

$$s_i = \frac{Ar_j}{n_j} \qquad (6.1)$$

missä i tarkoittaa puuta ja j metsikköä. Puuston tiheys on kasvutilan käänteisluku eli

$$\lambda_j = \frac{n_j}{Ar_j} = s_i^{-1} \qquad (6.2)$$

missä λ on ilmaistu runkolukuna hehtaarilla (ha^{-1}). Oletetaan, että puiden kasvutila (s_i) on yhtä suuri kuin niiden latvusprojektion (A_{Ci}) suuruus eli

$$s_i = A_{Ci} = \pi r_i^2 \qquad (6.3)$$

missä r_i tarkoittaa i:nen puun latvuksen sädettä latvuksen leveimmältä kohdalta. Latvuksen teoreettinen maksimisäde voidaan kirjoittaa muodossa

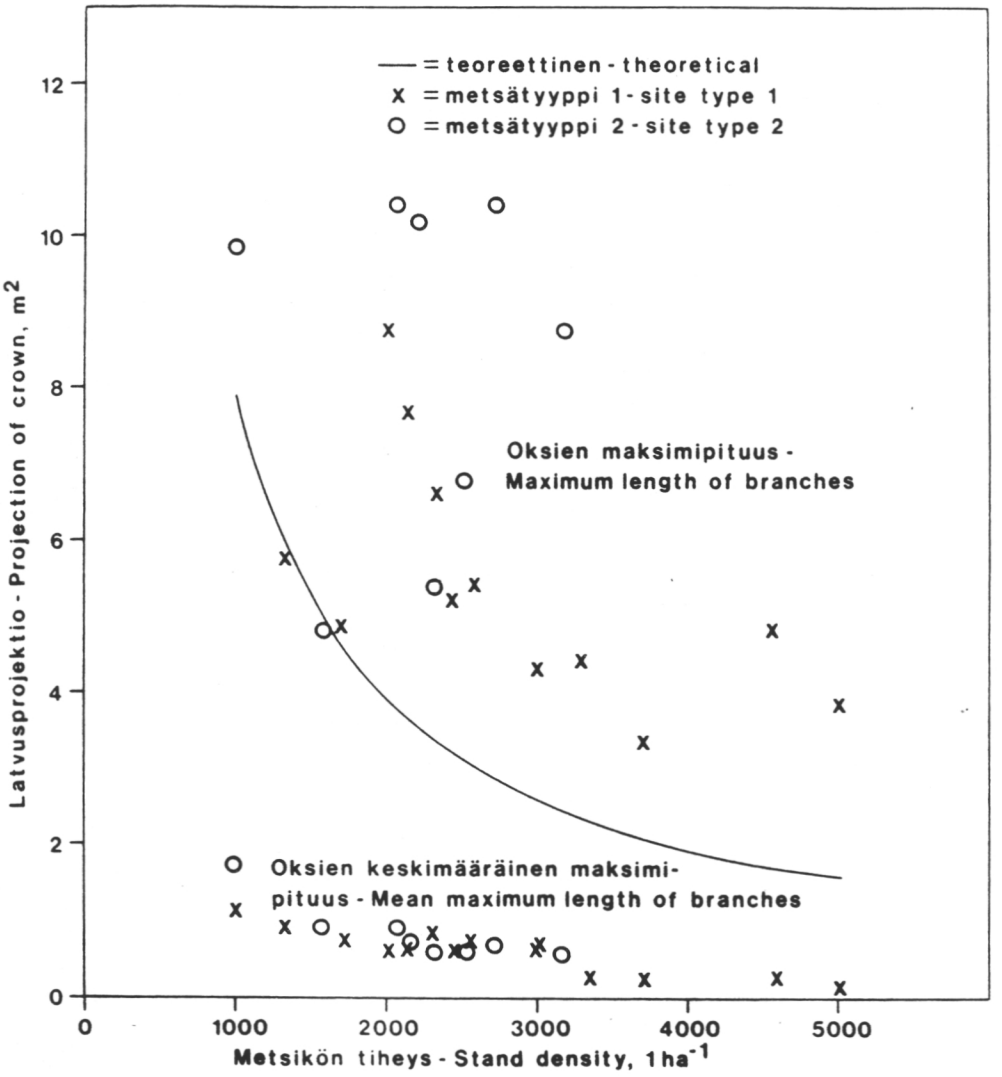
$$r_i = \frac{1}{2}\left(\frac{Ar_j}{n_j}\right)^{1/2} = \frac{1}{2} s_i^{1/2} = 50\, \lambda_j^{-1/2} \qquad (6.4)$$

Yhtälön (6.4) mukaan puiden teoreettinen latvusprojektio (ja siten niiden potentiaalinen kasvutila) puoliintuu jokaista puuston tihentymisen kaksinkertaistumista kohti (taulukko 6.2). Empiirisessä aineistossa latvussäde on kuitenkin selvästi suurempi kuin ennustettu, joskin todellinen latvussäde pienenee odotetulla tavalla puuston tiheyden funktiona (kuva 6.2). Latvusprojektion pinta-ala vaihtelee esimerkiksi tiheydellä 1000 ha^{-1} 10 - 12 m^2 ja tiheydellä 3000 ha^{-1} 4 - 6 m^2, jota tiheämmissä metsiköissä latvusprojektio näyttää vakiiintuvan arvoon 3 - 5 m^2.

Taulukko 6.2. Latvusprojektion teoreettinen suuruus puuston tiheyden funktiona (oletus: puut sijaitsevat tasaisesti metsikössä).
Table 6.2. The theoretical crown projection as a function of the stand density (assumption: trees are located evenly).

Tiheys Stand density, ha^{-1}	Latvusprojektio Crown projection, m^2	Suhteellinen projektio Relative projection, %
1000	7.85	100
1500	5.23	67
2000	3.94	50
2500	3.14	40
3000	2.60	33
3500	2.26	29
4000	1.96	25

Tämän tutkimuksen empiirisiin aineistoihin ei sisältynyt poikkeuksellisen harvoja puustoja (tiheys < 1000 ha^{-1}). On kuitenkin odotettavissa, ettei nuorten mäntyjen latvusprojektio kasva enää sanottavasti arvosta 10 - 12 m^2, vaikka puusto vielä harvenisi tuntuvasti. Tätä väitettä tukee mm. se, etteivät yli kaksimetriset oksat ole yleisiä nuorissa männiköissä (ikä < 25 vuotta).



Kuva 6.2. Puiden keskimääräinen latvusprojektio puuston tiheyden funktiona. Ristit tarkoittavat puolukkatyypin ja ympyrät mustikkatyypin metsiköitä. Käyrä kuvaa yhtälöllä (6.4) laskettua teoreettista oksan maksimipituutta ja vastaavaa latvusprojektion suuruutta.
Fig. 6.2. Mean projection area of trees as a function of the stand density. Crosses indicate stands of Vaccinium and circles stands of Myrtillus type. The curve indicates the expected values of the maximum branch length and crown projection as predicted on the basis of Eq. (6.4).

Latvusprojektion suuruuden ja puuston tiheyden välinen suhde näyttää muodostuvan kaksiosaiseksi: harvoissa puustoissa (puuston tiheys $\leq$ 1000 ha^{-1}) projektion suuruus on likimain vakio (10 - 12 m^2) minkä jälkeen projektion suuruus pienenee eksponentiaalisesti puuston tiheyden funktiona. Kun puuston tiheys ylittää arvon 2000 - 3000 ha^{-1}, vähenee latvusprojektion suuruus enää hitaasti puuston tiheyden kasvaessa.

6.3. Puiden kasvutila ja massan kertyminen

Merkitään L:llä puun minkä tahansa osan mittaa. Drewin ja Flewellingin (1977, 1979) mukaan puun kasvutila on verrannollinen ko. mitan neliöön ja massa (Y) kuutioon, jolloin

$$s \; \alpha \; L^2 \text{ ja } Y \; \alpha \; L^3 \qquad (6.5)$$

Yhtälöiden (6.5) perustellaa voidaan kirjoittaa

$$s \; \alpha \; L^2 \; \alpha \; (L^3)^{2/3} \approx (Y)^{2/3} \qquad (6.6)$$

jolloin yhtälöstä (6.6) saadaan edelleen

$$Y \; \alpha \; s^{3/2} \; \alpha \; \lambda^{-3/2}. \qquad (6.7)$$

Yhtälön (6.7) mukaan sulkeutuneessa, homogeenisessa metsikössä puun massa on verrannollinen kasvutilan potenssiin 3/2 tai puuston tiheyden potenssiin -3/2. Jälkimmäisessä muodossa yhtälöä (6.7) kutsutaan -3/2 -potenssimalliksi (Yoda ym. 1963). Malli sopii myös sulkeutuneiden epähomogeenisten puustojen massan ja tiheyden välisen suhteen kuvaukseen, jolloin kokonaismassan sijasta käytetään keskimassaa (Y)

$$Y_{ji} = C\lambda_j^{-3/2} = C\lambda_j^{k} \qquad (6.8)$$

missä alaindeksi j tarkoittaa metsikköä ja i puuta sekä C ja k parametreja, joista k:n arvo on likimain -3/2. homogeenisessa kasvustossa yhtälö (6.8) saa muodon $Y_{ji} = C\lambda_{ji}^{k}$.

Kun metsikkö on homogeeninen, voidaan olettaa, että jokaisen puun käytössä on sen latvusprojektion rajaama alue (A_{cji}). Latvusprojektion rajaamalla alueella puuston tiheys on siis $1/A_{cji}$, jolloin tämän puun massa (Y_{ji}) voidaan kirjoittaa muodossa

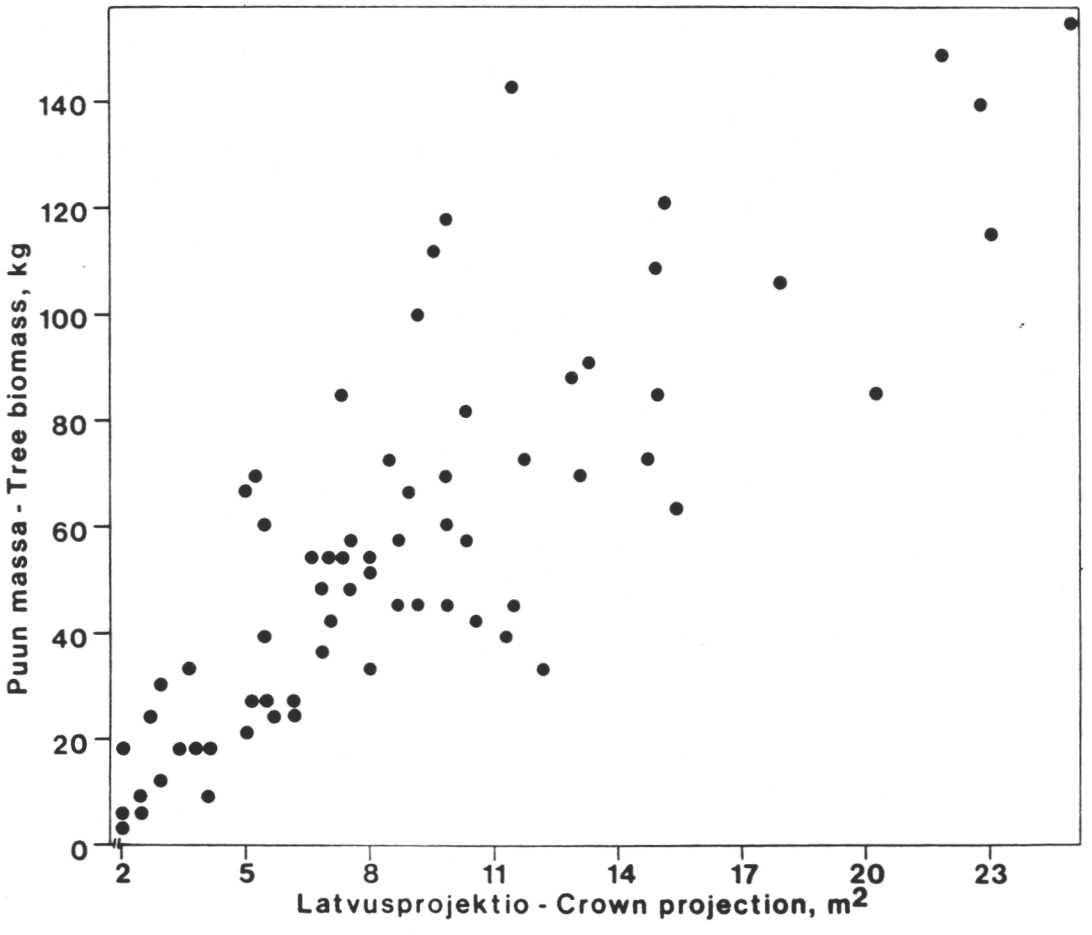
$$Y = C^{*}(A_{cji})^{-k} = C^{*}(A_{cji})^{3/2} \qquad (6.9)$$

Myös käytettävissä olleessa aineistossa puun massan ja latvusprojektion välinen suhde noudatti yhtälön (6.9) mukaista mallia, kuten taulukosta 6.3 ilmenee (kuva 6.3 esimerkkinä mustikkatyypin metsiköistä).

Taulukko 6.3. Parametrit puiden kokonaismassan ja latvusprojektion väliselle regressiolle (yhtälö 6.9).
Table 6.3. Parameters for regression between total biomass and crown projection (Eq. (6.9)).

Metsätyyppi Site type	Vakio C Constant C $kg \cdot m^2$	Eksponentti Exponent k	R^2
VT	1.504±0.084	1.208±0.048	0.834
MT	1.839±0.152	1.014±0.072	0.746

Molempia metsätyyppejä edustavassa aineistossa latvusprojektion ja puiden massan välinen regressio oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0.001$). Molemmat parametri k:n arvot olivat kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0.001$) pienempiä kuin ennakoitu arvo 3/2.



Kuva 6.3. Puun kokonaismassan ja latvusprojektion suhde mustikkatyypin metsiköissä.
Fig. 6.3. Relationship between the total biomass of trees and their crown projection area on Myrtillus sites.

Yhtälö (6.9) ei sisällä metsikön rakennetta kuvaavia tekijöitä, joten se on pätevä myös silloin, kun puut ovat kooltaan eriytyneitä mutta metsiköittäin samanikäisiä. Täten missä tahansa nuoressä männikössä (ikä < 25 vuotta) puun kokonaismassa on suoraan verannollinen potenssiin 1.0 - 1.5, jolloin latvusprojektio on puun käytettävissä olevan kasvutilan mitta.

Kun homogeenisen puuston keskimääräinen latvusprojektio A_{cj} ratkaistaan yhtälöiden (6.10) ja (6.11) suhteen puuston tiheyden funktiona saadaan

$$Y_j = C \cdot \left(2500 \cdot \frac{\pi}{\lambda}\right)^{3/2} = 696041 \cdot C \cdot \lambda^{-3/2} \qquad (6.10)$$

Kun yhtälö (6.10) derivoidaan puuston tiheyden (λ) suhteen saadaan

$$\frac{dY}{d\lambda} = 1044062 \cdot C \cdot \lambda^{-5/2} \qquad (6.11)$$

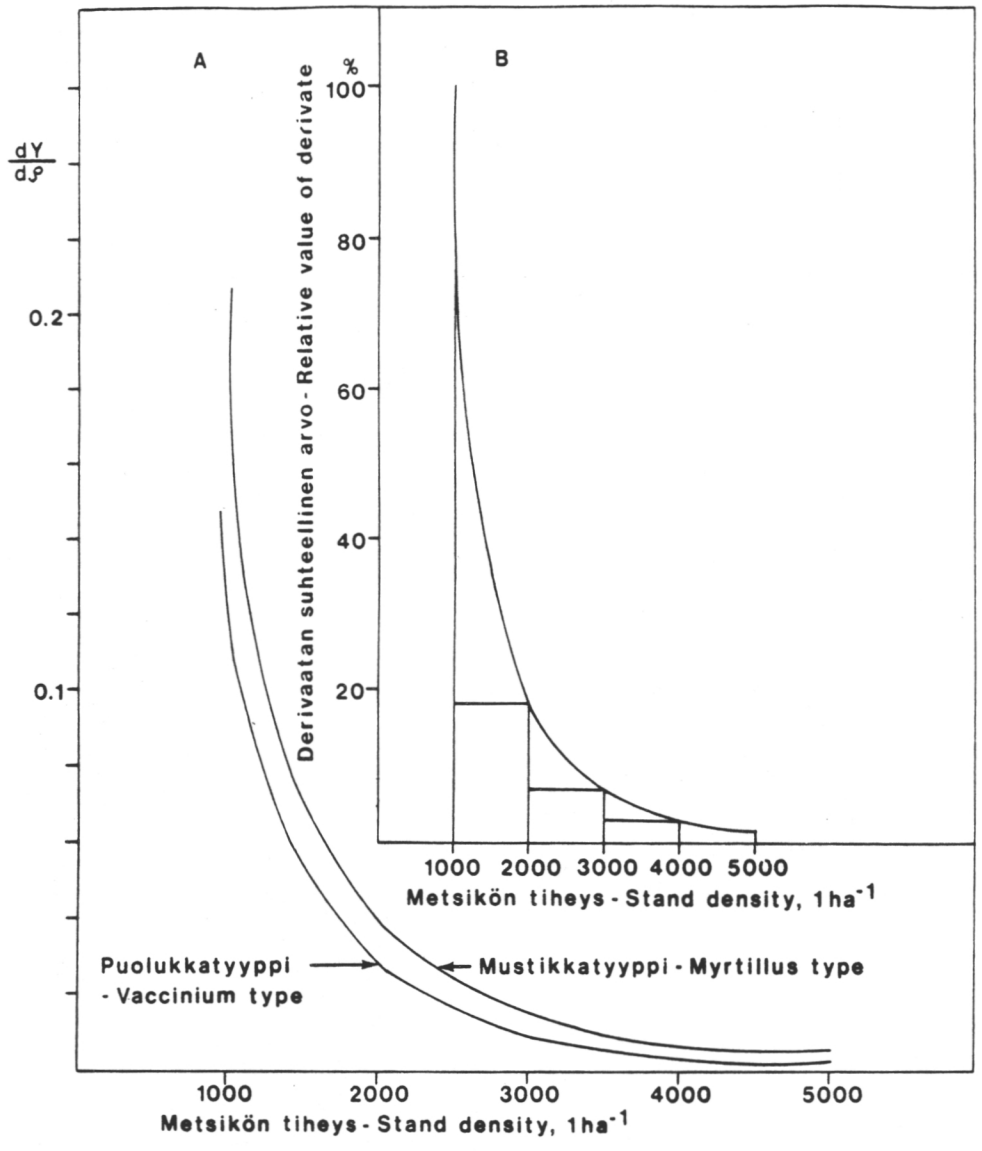
Yhtälön (6.11) mukaan homogeenisen metsikön keskipuun massa vähenee voimakkaasti puuston tiheyden kasvaessa arvosta 1000 ha^{-1} arvoon 2500 ha^{-1} (kuva 6.4). Tämän jälkeen puuston tiheyden lisäys vähentää enää hitaasti keskipuun massaa.

Koska puiden runkomassa ja oksamassa riippuvat kiinteästi toisistaan (allometrinen riippuvuus), voidaan yhtälö (6.9) kirjoittaa erikseen runkomassalle ja oksamassalle (katso Hozumi 1977)

$$Y_{Sji} = C_S \cdot (A_{cji})^{-kS} \qquad (6.12)$$

$$Y_{Bji} = C_B \cdot (A_{cji})^{-kB} \qquad (6.13)$$

missä alaviitte S tarkoittaa runkoa ja B oksia. Yhtälöiden (6.12) ja (6.13) mukaiset riippuvuudet olivat käytetyssä aineistossa tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0.001$) sekä selitysasteet kohtuullisen hyviä ($R^2 > 0.65$), kuten ilmenee taulukosta 6.4.

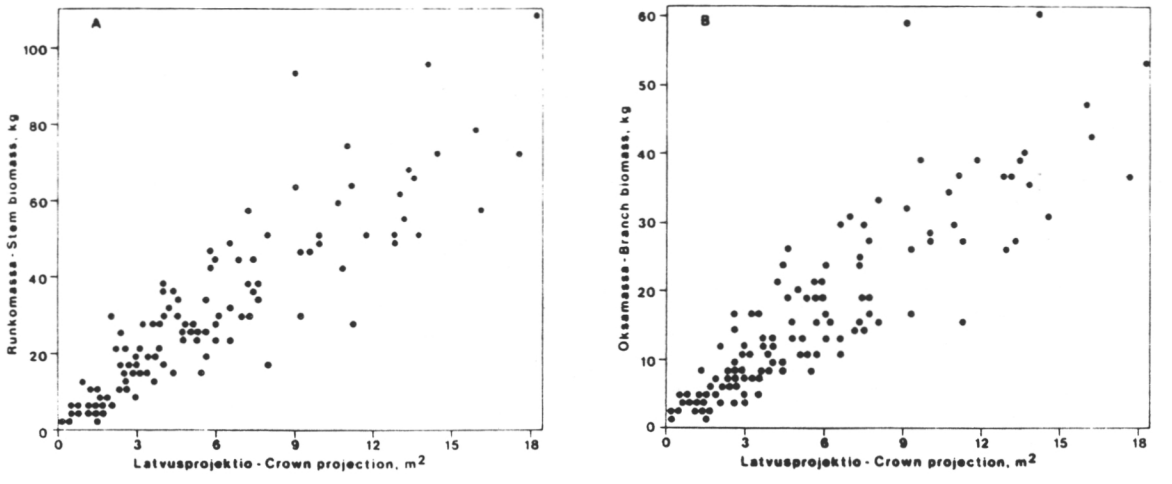


Kuva 6.4. Puiden kokonaismassan ja puuston tiheyden välisen funktion (6.10) derivaatafunktion (6.11) kulku homogeenisissa metsiköissä. (A) funktio absoluuttisina ja (B) suhteellisina arvoina.
Fig. 6.4. Derivate function (6.11) for the relationship between tree biomass and the stand density in homogenous stands. (A) the function in absolute and (B) in relative terms.

Taulukko 6.4. Yhtälöiden (6.12) ja (6.13) parametrit kasvupaikan viljavuuden funktiona.
Table 6.4. Parameters in Equations (6.12) and (6.13) as a function of site type.

Osite Component	Kasvupaikka Site type	Parametrit Parameters k	lnC, kgm^2	R^2
Runkopuu Stem wood	VT MT	1.188±0.049 1.008±0.069	1.101±0.087 1.392±0.146	0.819 0.759
Oksapuu Branch wood	VT MT	1.244±0.055 1.014±0.089	0.409±0.097 0.854±0.188	0.800 0.654

Riippuvuudet hajautuivat latvusprojektion kasvaessa: oksien pituuskasvu ei ollut aina ennakoitavissa puuston tiheyden avulla. Kasvutila ilmaistuna puiden latvusprojektion suuruudella näytti kuitenkin olevan selvässä yhteydessä puiden runko- ja oksamassan suuruuteen (kuva 6.5 esimerkkinä puolukkatyypin metsiköistä).



Kuva 6.5. Puun (A) runkomassan, (B) oksamassan ja latvusprojektion väliset suhteet puolukkatyypin metsiköissä.
Fig. 6.5. Relationship between (A) stem and (B) branch biomass and crown projection area on sites of Vaccinium type.

6.4. Latvuksen suuruus, oksien määrä ja oksikkuus

Oksamassa kertyy puihin yksittäisinä oksina, jolloin latvuksen massan kasvaessa joko oksien lukumäärä tai niiden yksilömassa kasvaa. Empiiristen tulosten perusteella tiedetään, että oksien kokonaiskertymä tiettyyn hetkeen mennessä on sitä suurempi, mitä vähemmän puun elinaikana syntyneistä oksista kuolee. Samalla oksien yksilömassa kasvaa sitä suuremmaksi, mitä pidempään ne elävät.

Rinnastetaan puun latvus metsikköön: oksia syntyy latvustilaan, jossa ne kasvavat ja kuolevat oksien ikääntyessä (oksakohortin iän kasvaessa). Oksien kuollessa tapahtuu puihin verrattavaa itseharvenemista, jota voidaan kuvata Yodan ym. (1963) kehittämällä potenssimallilla

$$Y = C \cdot \lambda^{k+1} \qquad (6.14)$$

missä Y tarkoittaa puuston kokonaismassaa, λ puuston tiheyttä (ha^{-1}) ja C parametriä (tiheyden konversio massaksi).

Oletetaan puun latvus oksien muodostamaksi populaatioksi (itseharvenemistilassa), joka kasvaa latvusprojektion rajaamassa tilassa. Tarkastellaan oksamassan kertymistä oksatiheyden funktiona siten, että oksatiheys (δ) määritellään oksien lukumääräksi pinta-alayksikköä kohti eli

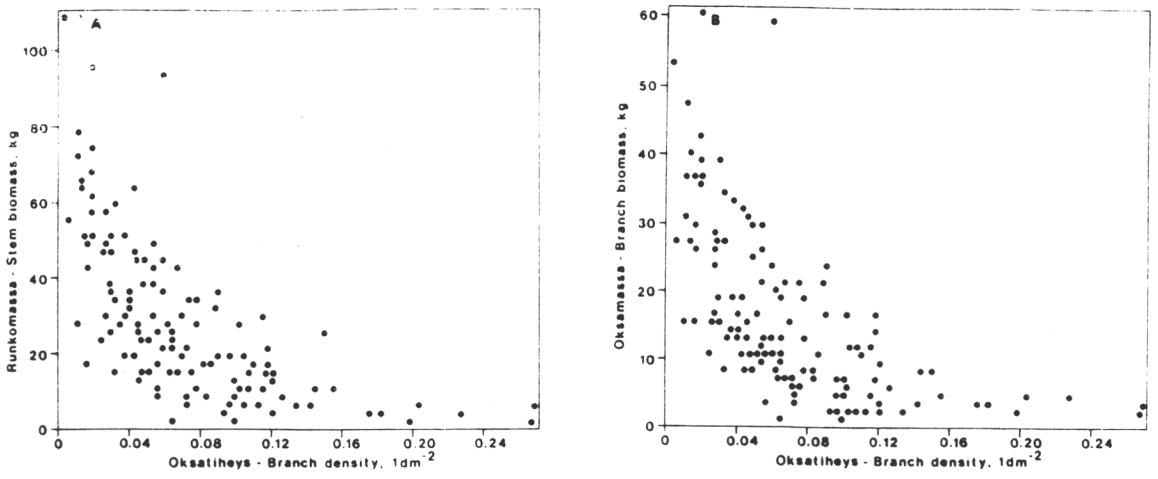
$$\delta = N/A_C. \qquad (6.15)$$

Puun oksamassa voidaan kirjoittaa yhtälön (6.14) oksatiheyden funktiona seuraavasti (Kellomäki 1986)

$$Y = C \cdot (N/A_C)^{k+1} \quad \text{tai} \quad Y = C \cdot (A_C/N)^{-(k+1)} \qquad (6.16)$$

Yhtälö (6.16) kuvaa puun oksamassan ylärajaa siten, että uusien oksien syntyminen lisää oksatiheyttä ja voimistaa oksien kuolemista. Jos latvuksen säde (kasvutila) kuitenkin kasvaa samalla, kohoaa oksamassa potentiaalinen määrä. Oksatiheys kuvaa takaisinkytkentää, joka säätää oksamassan suuruutta kasvutilan asettamissa rajoissa. Koska parametri $k < 0$ ja $|k| \geq 1$, on oksamassan suuruus suoraan verrannollinen latvusprojektion suuruuteen ja kääntäen verrannollinen oksien lukumäärään.

Yhtälön (6.16) vastaavuus empiiristen mittausten kanssa on tyydyttävä ($R^2 > 0.50$) (kuva 6.6 esimerkkinä puolukkatyypin metsiköistä) siten, että oksamassa kasvaa eksponentiaalisesti oksatiheyden pienentyessä. Erityisesti valtapuissa oksien massa muodostuu suureksi: valtapuissa on lukuisista oksista huolimatta pieni oksatiheys laajan latvusprojektion vuoksi. Myös puiden runkomassan kertymä voidaan rinnastaan oksatiheyteen, sillä runkomassan ja oksamassan välillä vallitsee kiinteä allometrinen riippuvuus.



Kuva 6.6. Puun (A) runkomassan, (B) oksamassan ja oksatiheyden väliset suhteet puolukkatyypin metsiköissä.
Fig. 6.6. Relationship between (A) stem and (B) branch biomass and branch density on sites of Vaccinium type.

6.5. Puuston tiheys ja puiden oksikkuus

Tarkastellaan samanikäisiä metsiköitä, joiden puusto metsiköittäin on homogeeninen. Puuston tiheyden vaikutus puuston kokonaismassaan tai erikseen puuston oksa- ja runkomassaan voidaan kirjoittaa muodossa

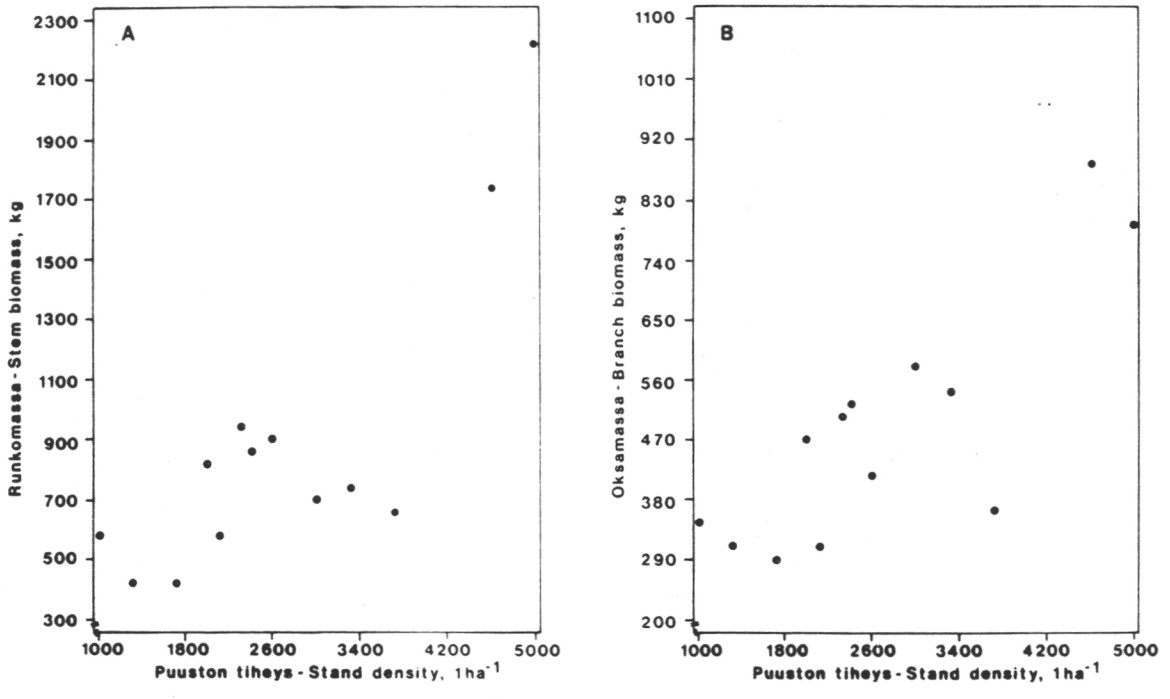
$$Y_j = \frac{\lambda_j}{A^* \lambda_j + B} \qquad (6.17)$$

missä Y tarkoittaa kokonais-, oksa- tai runkomassaa, j metsikköä ja λ puuston tiheyttä sekä A ja B parametrejä. Käytettävissä olevasta aineistosta saatiin parametreille taulukossa 6.5 esitetyt arvot, jolloin malli (6.17) antoi kaikissa tapauksissa kohtuullisen selitysasteen ($R^2 > 0.48$). Myös kokonaismalli ja sen parametrit olivat vähintään suuntaa antavasti merkitseviä ($p < 0.10$), lukuunottamatta parametria A mustikkatyypin aineistossa (kuva 6.7).

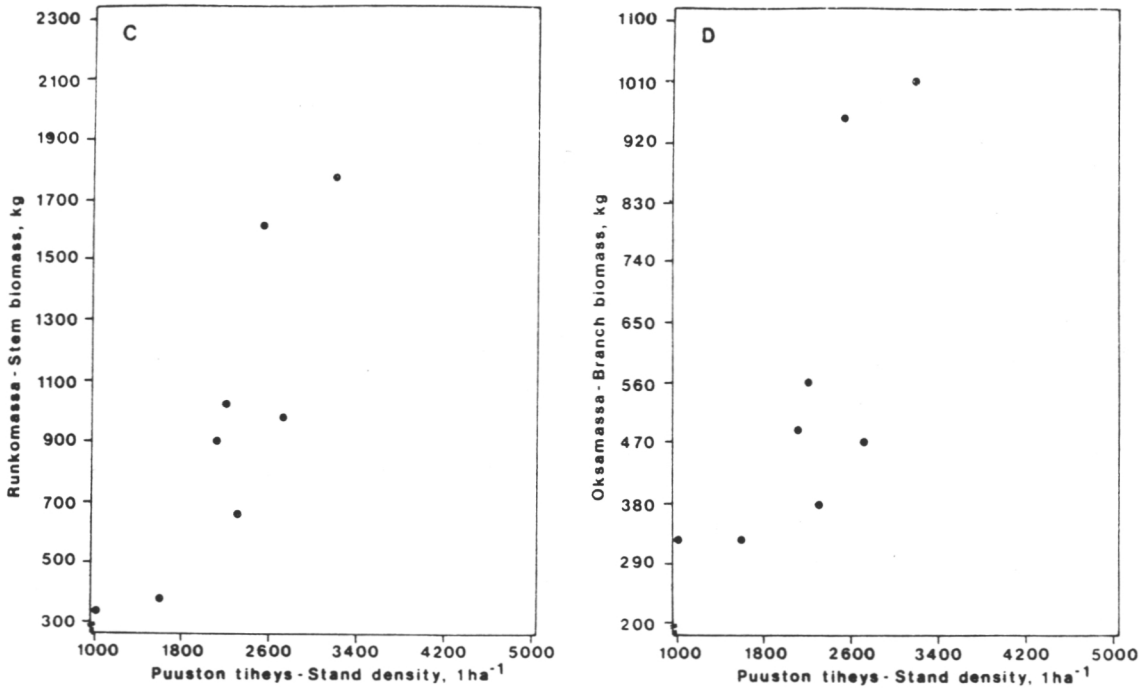
Taulukko 6.5. Yhtälön (6.17) parametrien arvot runko- ja oksapuulle puolukka- ja mustikkatyypin kasvupaikoilla.
Table 6.5. Parameters in Equation (6.17) for stem and branch wood on sites of Vaccinium and Myrtillys types.

Osite Comp.	Metsätyyppi Site type	Parametrit Parameters A, kg	 B, $kgha^{-1}$	R^2
Runko Stem	VT MT	$5.572 \cdot 10^{-4} \pm 2.766 \cdot 10^{-4}$ $-4.193 \cdot 10^{-1} \pm 4.332 \cdot 10^{-4}$	1.822±0.549 3.625±0.789	0.499 0.778
Oksat Branch.	VT MT	$1.249 \cdot 10^{-3} \pm 3.735 \cdot 10^{-4}$ $7.024 \cdot 10^{-4} \pm 5.812 \cdot 10^{-4}$	.358±0.743 773±1.059	0.478 0.533

Odotusten mukaisesti massan kertyminen puustoon oli suurempaa mustikkatyypin kuin puolukkatyypin kasvupaikoilla, samalla kun massaa kertyi sitä enemmän mitä tiheämpää puusto oli. Puuston tihentyessä oksamassan kertyminen hidastui verrattuna runkomassaan: puuston tiheyden kasvu vähensi siten oksikkuutta (oksamassan ja runkomassan suhdetta) oksien kuolemisen voimistuessa. Oksamassa ja runkomassa sinänsä näyttivät kasvavan samassa suhteessa puuston tiheydestä riippumatta, kuten puukohtainen tarkastelu osoitti.



Kuva 6.7. Puuston tiheyden sekä rungon (A) ja oksien (B) kokonaismassojen väliset suhteet puolukkatyypin aineistossa.
Fig. 6.7. Relationship between stand density and total stem (A) and branch (B) biomass in stands of Vaccinium type.



Kuva 6.7. Puuston tiheyden sekä rungon (C) ja oksien (D) kokonaismassojen väliset suhteet mustikkatyypin aineistossa.
Fig. 6.7. Relationship between stand density and total stem (C) and branch (D) biomass in stands of Myrtillus type.

Metsikön kasvatustiheyden vaikutus puuston oksikkuuteen välittyy yksittäisten puiden kautta, jolloin puuston tiheys säätelee puiden latvusdynamiikkaa. Homogeenisessa metsikössä puuston tiheyden ja yksittäisten puiden välinen vuorovaikutus voidaan ilmaista keskipuun avulla siten, että keskipuun oksa- ja runkomassa on ilmaistu puun oksatiheyden funktiona. Puuston tiheyden sekä puuston oksa- ja runkomassan välinen suhde ja puuston tiheyden vaikutus oksikkuuteen (oksamassan ja runkomassan suhde) voidaan kirjoittaa oksatiheyden avulla muodossa

$$Y_B = \lambda \cdot Y_B = \lambda \cdot C_1 \cdot \delta^{k'} = C_2 \cdot \lambda (A' \cdot \lambda + B')^{-k1} \qquad (6.18)$$

$$Y_S = \lambda \cdot Y_S = \lambda \cdot C_3 \cdot \delta^{k'} = C_4 \cdot \lambda (A' \cdot \lambda + B')^{-k2} \qquad (6.19)$$

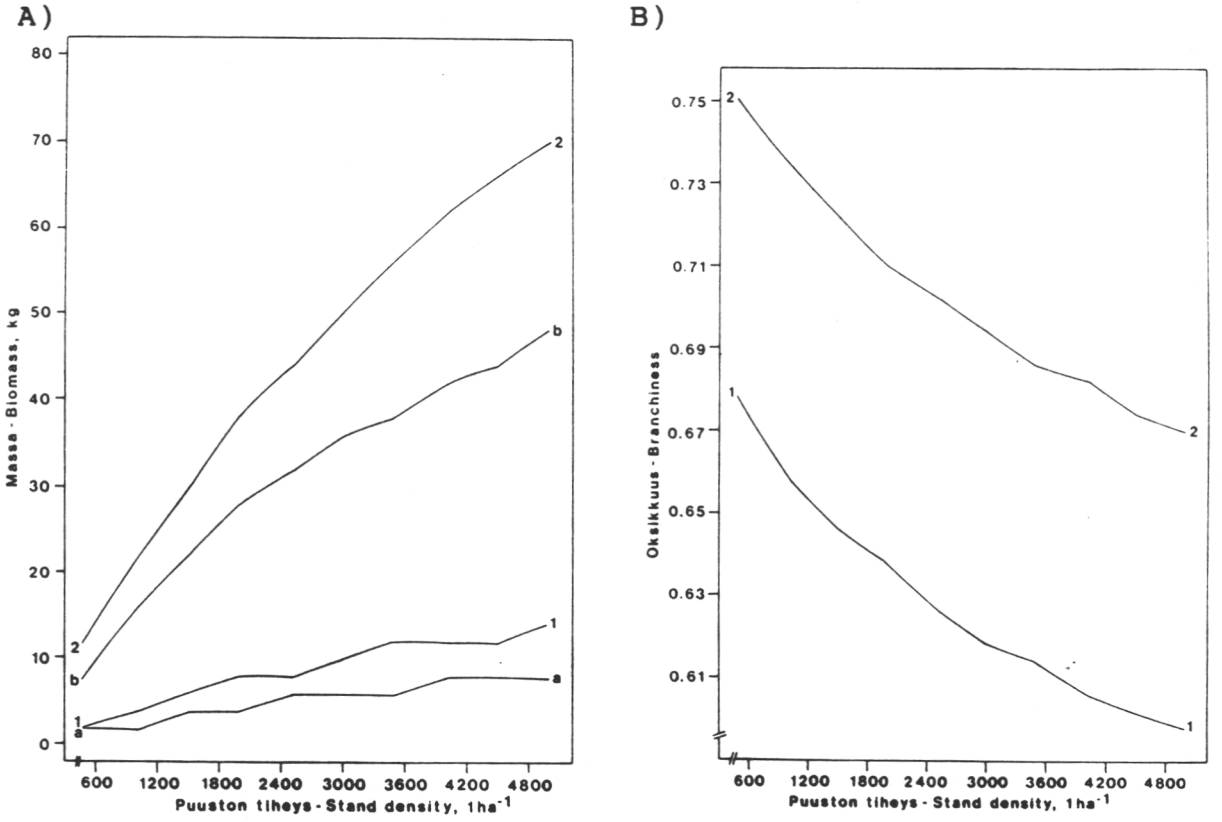
$$Y_B/Y_S = C_5 \cdot (A' \cdot \lambda + B')^{-k3} \qquad (6.20)$$

missä C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, k1, k2, k3, A' ja B' ovat parametreja. Parametrit A' ja B' on laskettu lausekkeesta

$$BA^{-1} = A' \cdot \lambda + B'$$

jossa BA tarkoittaa metsikön keskipuun pohjapinta-alaa (Kellomäki ja Väisänen 1986).

Yhtälöt (6.18)...(6.20) antavat kuvassa 6.8 esitettyjä tuloksia puuston tiheyden vaikutuksesta puuston oksa- ja runkomassan suuruuteen sekä keskipuun oksikkuuteen. Odotusten mukaisesti oksa- ja runkomassa kasvavat hidastuvasti puuston tiheyden kasvaessa. Samalla puuston kokonaisoksikkuus (keskipuun oksikkuus) vähenee siten, että kaikilla tiheysasteilla nuoret männyt (ikä 15 - 25 vuotta) olivat mustikkatyypin kasvupaikoilla oksikkaampia kuin puolukkatyypin kasvupaikoilla.



Kuva 6.8. (A) Puuston tiheyden sekä puuston kokonaisbiomassan väliset suhteet laskettuna yhtälöillä (6.18) ja (6.19). Merkkien selitykset: 1 = oksamassa ja 2 = runkomassa mustikkatyypin kasvupaikalla sekä a = oksamassa ja b = runkomassa puolukkatyypin kasvupaikalla. (B) Yhtälöllä (6.20) laskettujen oksikkuusarvojen ja puuston tiheyden välinen suhde. Merkkien selitykset: 1 = puolukkatyyppi, 2 = mustikkatyyppi.
Fig. 6.8. (A) Relationship between stand density and the total stem and branch biomass as estimated with the help of Eqs. (6.18) and (6.19). Explanation: 1 = branch and 2 = stem biomass on Myrtillus site, a = branch and b = stem biomass on Vaccinium site. (B) Relationship between estimated (Eq. (6.20)) values of branchiness of trees and stand density. Explanation: 1 = Vaccinium type, 2 = Myrtillus type.

Metsikön tiheyden vaikutus keskipuun oksa- ja runkomassaan antaa vain karkean kuvan puuston tiheyden vaikutuksesta yksittäisiin puihin, joiden asema (läpimitta) vaihtelee

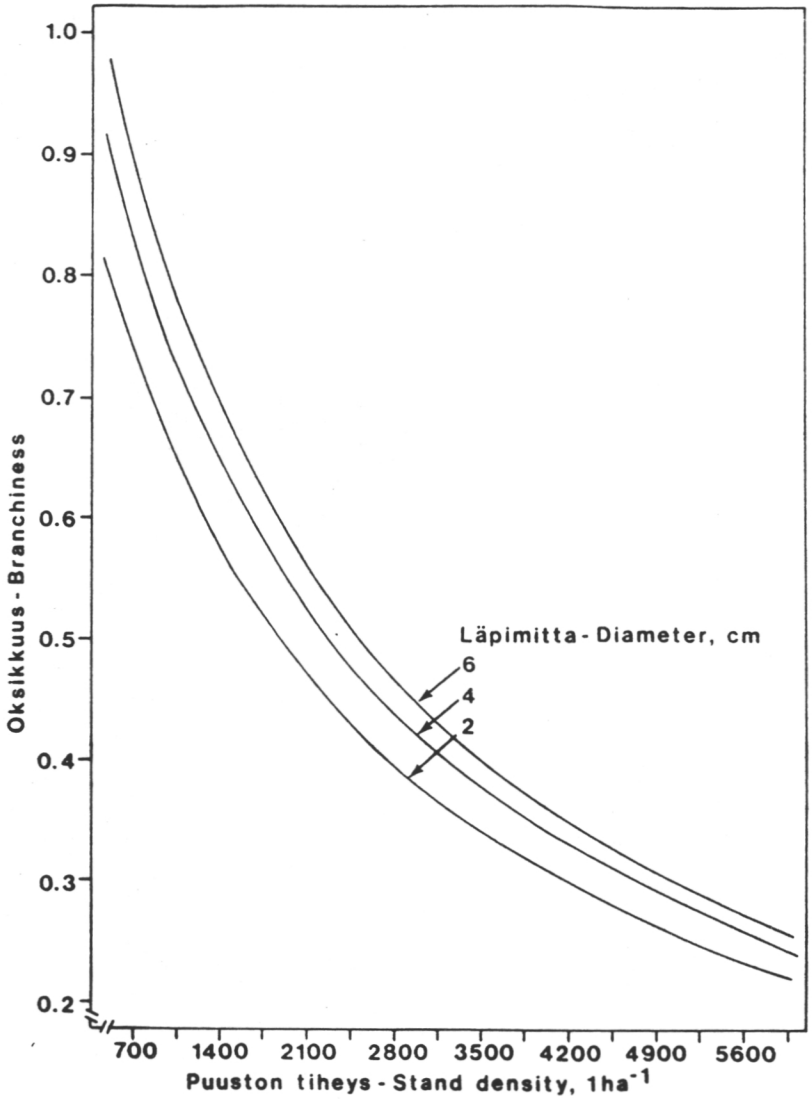
metsikössä. Tämän vuoksi yhtälöitä (6.18)...(6.20) kehitettiin edelleen siten, että yksittäisten puiden oksa- ja runkomassa sekä oksikkuus (oksa- ja runkopuun suhde) voitiin esittää puuston tiheyden ja puiden läpimitan funktiona seuraavasti:

$$Y_{Bji} = \frac{C_6 \cdot D_{ji}^{k4} \cdot (A' \cdot \lambda_j + B')^{k1}}{A \cdot \lambda_j + B} \qquad (6.21)$$

$$Y_{Sji} = \frac{C_7 \cdot D_{ji}^{k5} \cdot (A' \cdot \lambda_j + B')^{k2}}{A \cdot \lambda_j + B} \qquad (6.22)$$

$$Y_{Bji}/Y_{Sji} = C_8 \cdot D_{ji}^{k6} \cdot (A' \lambda_j + B')^{k3} \qquad (6.23)$$

Yhtälöt (6.21)...(6.23) antavat kuvassa 6.9 (esimerkki mustikkatyypin metsiköistä) esitettyjä tuloksia. Tietynpaksuisen puun runkomassa on harvassa metsikössä pienempi kuin tiheässä, sillä tiheässä metsikössä ko. puu on aina vanhempi. Ilmiö on selvin metsikön vallitsevissa puissa. Samalla oksamassa vähenee puuston tiheyden kasvaessa, mikä osoittaa samalla oksien kuolemisen voimistuvan. Puiden oksikkuus (oksa- ja runkomassan suhde) vähenee siten, että vallitsevien puiden oksikkuus on hieman suurempi kuin vallittujen metsikön tiheydestä riippumatta. Tämän vuoksi puuston kokojakaumalla on selvä vaikutus siihen, miten oksikasta metsikön puusto on kokonaisuutena.



Kuva 6.9. Puiden oksikkuus läpimitan ja puuston tiheyden funktiona mustikkatyypin metsiköissä. Numerot tarkoittavat vastaavaa läpimittaluokkaa.
Fig. 6.9. Branchiness of trees as a function of stem diameter and stand density in stands of Myrtillus type. The numbers indicate the tree diameter.

7. OKSIKKUUS JA KASVUPROSESSIT: PUIDEN KASVUA JA OKSIKKUUTTA SIMULOIVA MALLI

7.1. Mallin yleispiirteet

Puiden kasvua ja kehitystä kuvaava malli sisältää kaksi päälohkoa: yksittäisen puun kasvu ja kehitys sekä metsikön kasvu ja kehitys. **Yksittäisen puun** kasvu ja kehitys oletettiin riippuvan puun neulasmassan tuottavuudesta (fotosynteesituotteet), fotosynteesituotteiden jakautumisesta puun eri osiin (allokaatio) ja puun eri osien (elinten) eliniästä (kuva 7.1). Tässä mallissa puuston tiheys vaikuttaa puun kasvuun ja kehitykseen siten, että neulasten tuottavuus riippuu metsikön sisällä vallitsevista säteilyoloista. Nämä kytkettiin puuston tiheyteen siten, että säteilyn voimakkuus vähene eksponentiaalisesti neulasmassan määrän kasvaessa (Beer-Lambertin laki).

Metsikön kasvun ja kehityksen oletettiin vastaavan yksittäisten puiden kasvua ja kehitystä siten, että puusto oletettiin homogeeniseksi (puut yhtä suuria ja sijaitsevat tasaisesti metsikössä). Lisäksi puuston alkutiheyden (viljelytiheys) oletettiin metsikön kehityksen myötä vähenevän siten, että metsikön tiheys ja yksittäisten puiden massan olivat kääntäen verrannollisia (Yodan ym. 1963). Mallin aika-askel oli yksi vuosi sekä yksittäisen puun että metsikön tapauksessa.

7.2. Yksittäisen puun kasvu ja kehitys

Fotosynteesi ja kasvu

Yleistä. Kirjoitetaan yksittäisen puun biomassakomponentin (i) vuotuinen kasvu muodossa G_i, jolloin

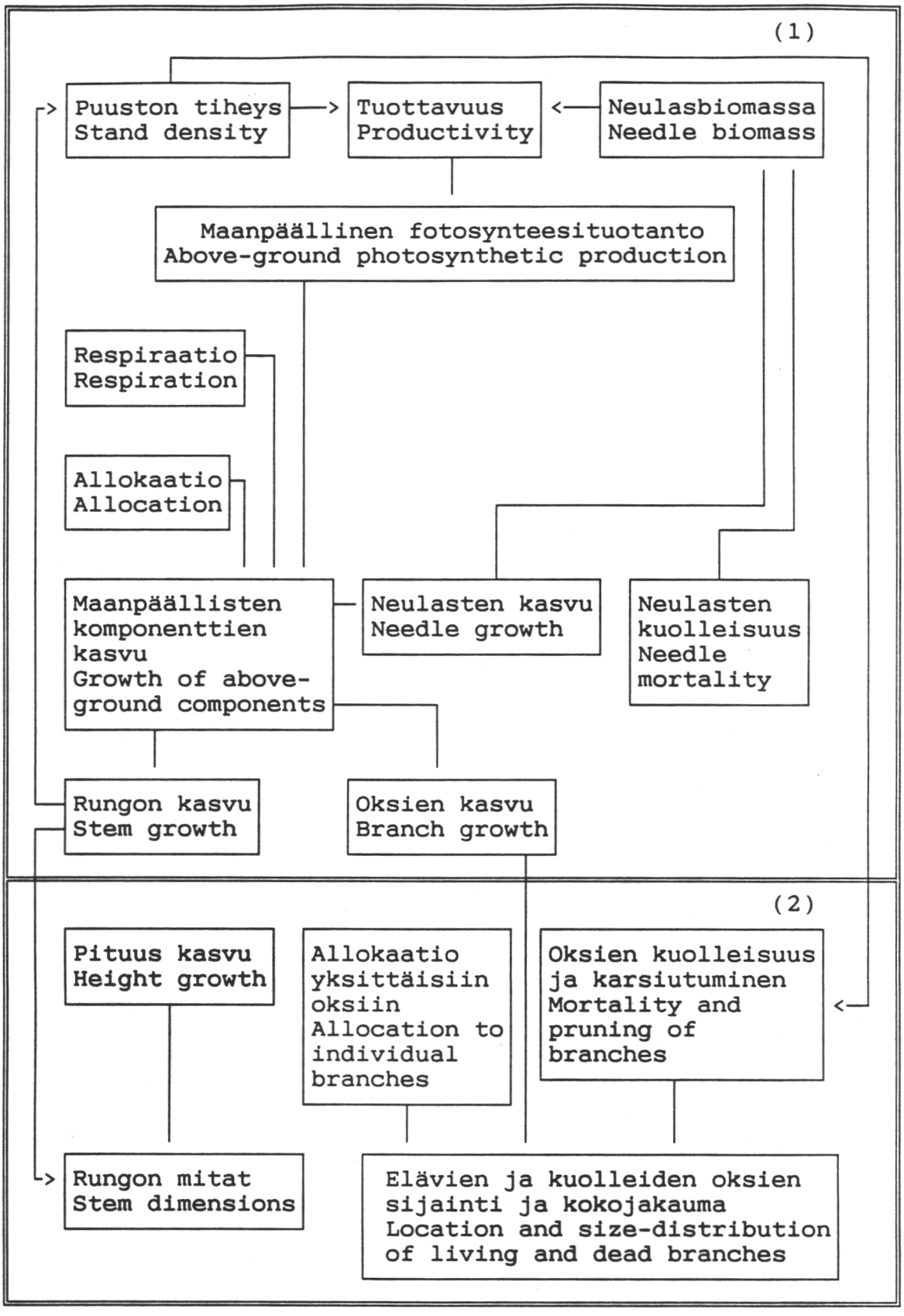
$$G_i = a_i c(P_g - R_m). \qquad (7.1)$$

Merkintä P_g tarkoittaa vuotuista kokonaisfotosynteesiä, R_m vuotuista ylläpitohengitystä, c muunnoskerrointa fotosynteesituotteista kuiva-aineeksi ja a_i jakotekijää (allokaatiotekijää), jolloin a_1 tarkoittaa neulasten, a_2 oksien ja a_3 rungon osuutta vuotuisesta nettofotosynteesistä. Juurten oletettiin saavan kaikissa tilanteissa samansuuruisen osuuden fotosynteesituotannosta, jolloin $a_1 + a_2 + a_3 = 1$. Puun massan vuotuinen kasvu maanpinnan yläpuolella oli siten muotoa

$$G = c(P_g - R_m). \qquad (7.2)$$

Fotosynteesi. Puun fotosynteesin oletettiin olevan verrannollinen puun latvukseen sitoutuneen säteilyn (PAR) määrään. Kun oletetaan säteilyn sammuvan eksponentiaalisesti metsikön latvuksessa, saadaan puun vuotuiselle fotosynteesituotannolle seuraava lauseke.

$$cP_g = p(1 - \exp(-kL))/\lambda \qquad (7.3)$$



Kuva 7.1. Mallin yleispiirteet.
Fig. 7.1. Schematic presentation of the model.

missä L tarkoittaa metsikön lehtipinta-alaindeksiä, k valon sammumiskerrointa, λ metsikön tiheyttä (puita pinta-alayksiköllä) ja p verrannollisuuskerrointa. Lehtipinta-alaindeksi L (m^2/m^2) saadaan metsikön neulasmassan (kg/m^2) ja neulasten ominaispinta-alan tulona (m^2/kg). Homogeenisessä metsikössä neulasmassa (M) saadaan tulona $\lambda \cdot m_n$, missä m_n tarkoittaa yksittäisen puun neulasmassaa. Yhtälö (7.3) voidaan tämän jälkeen kirjoittaa muodossa

$$cP_g = p(1 - \exp(-k_m \lambda m_n))/\lambda \qquad (7.4)$$

missä L/M on neulasten ominaispinta-ala ja k_m = kL/M valon sammumiskerroin laskettuna neulasmassan avulla.

Respiraatio. Ylläpitohengityksen oletettin olevan verrannollinen elävän biomassan määrään, jolloin hengityshäviö ilmaistiin muodossa

$$cR_m = b_1 m_n + b_2 m_n h \qquad (7.5)$$

missä b_1 ja b_2 ovat vakioita sekä h pituus (m). Lause $m_n h$ on verrannollinen mantopuun poikkileikkauspinta-alan ja puun pituuden tuloon ja siten verrannollinen rungon elävän biomassaan (Hari ym. 1985).

Nettokasvu. Puiden vuotuinen biomassan kasvu voidaan ilmaista yhtälöiden (7.1), (7.4) ja (7.5) avulla seuraavasti

$$G = p(1 - \exp(-k_m \lambda m_n))/\lambda - b_1 m_n - b_2 m_n h \qquad (7.6)$$

Lause G/m_n ilmaisee neulasten tuottavuuden (vuosittain tuotetun biomassan määrä neulasyksikköä kohti). Lauseen rajaarvoksi saadaan

$$g = \lim G/m_n = b_0 - b_1 - b_2 h \qquad (7.7)$$

kun $m_n \rightarrow 0$. Yhtälössä (7.7) $b_0 = pk_m$, jolloin vuotuinen kasvu (G) ja sen jakautuminen eri ositteisiin voidaan ilmaista muodossa

$$G = b_0(1 - \exp(-k_m \lambda m_n))/(\lambda k_m) - b_1 m_n - b_2 m_n h \qquad (7.8)$$

$$G_1 = a_1 G$$

$$G_2 = a_2 G$$

$$G_3 = a_3 G$$

Neulasmassan (m_n), oksamassan (m_b) ja runkomassan (m_s) vuotuinen nettokasvu voidaan ilmaista muodossa

$$dm_n = G_1 - d_1 \qquad (7.9)$$

$$dm_b = G_2 - d_2$$

$$dm_s = G_3 - d_3$$

missä d_1, d_2 ja d_3 tarkoittavat neulasmassan, oksamassan ja runkomassan vuosittain kuolevaa (poistuvaa) osaa.

Puun rakenne

Runko. Pelkän massan kasvun ja puiden kokonaismassan avulla saadaan puutteellinen kuva siitä, millaiseksi rungon ulkoinen ja sisäinen laatu muotoutuvat: runkojen ja puuaineen laatu kytkeytyy kiinteästi siihen, miten kasvu jakautuu rungon eri osiin ja millaiseksi latvuksen rakenne muotoutuu kussakin metsikön kehitysvaiheessa. Kasvun jakautuminen rungon eri osiin (paksuuskasvu rungon eri osissa) määritettiin Laasasenahon (1982) kehittämien yhtälöiden avulla seuraavasti:

$$\frac{d_1}{d_{0.2h}} = \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^5 + \beta_5 x^8 + \beta_6 x^{13} + \beta_7 x^{21} + \beta_8 x^{34} \qquad (7.10)$$

missä $d_{0.2h}$ tarkoittaa perusläpimittaa suhteellisella korkeudella 20%, d_1 läpimittaa suhteellisella korkeudella 1 ja $x = 1 - 1/h$ (suhteellinen etäisyys latvan huipusta) sekä $\beta_1 - \beta_8$ parametreja (taulukko 7.1).

Taulukko 7.1. Yhtälöissä käytetyt parametrit.
Table 7.1. Parameters used in the study.

Symboli Symbol	Selitys Explanation	Dimensio ja arvo Dimension and value	
k_m	Parametri yhtälössä (7.8) Parameter in Eq. (7.8)	gm^{-2}	0.0025
b_0	" "	gg^{-1}	3.8
b_1	" "		0.1
b_2	" "	m^{-1}	0.05
β_i	Parametrit yhtälössä (7.10) Parameters in Eq (7.10)		
β_1			2.1288
β_2			-0.6340
β_3			-1.6082
β_4			2.4886
β_5			-2.4147
β_6			2.3619
β_7			-1.7539
β_8			1.0817
α_i	Parametrit yhtälössä (7.15) Parameters in Eq. (7.15)		
α_1		yr^{-2}	0.009739
α_2		yr^{-1}	-0.111327
α_3			-0.269301
α_4			112.233333
H	Parametri yhtälössä (7.19) Parameter in Eq. (7.19)	m	21.0
h_1	" "		20.4425
h_2	" "		-0.0637

Oksat. Puiden runkojen ja puuaineen laatu kytkeytyy kiinteästi siihen, millainen latvus on rakenteeltaan tietyssä metsikön kehitysvaiheessa. Tämän vuoksi oksien kokonaiskasvu mallitettiin oksiksi, joiden sijainti ja paksuus (oksan tyvellä) tunnetaan kunakin vuonna. Samalla mallitettiin oksien kuoleminen ja karsiutuminen, jolloin voitiin tutkia myös puuaineessa olevien oksien laadun (elävä, kuollut) vaikutusta puuaineen ominaisuuksiin.

Puiden kasvaessa syntyy vuosittain yksi oksakiehkura puun pituuden h(t-1) määräämään kohtaan. Syntyvän oksakiehkuran oletettiin koostuvan viidestä oksasta. Oksakiehkura katsottiin eläväksi, jos siinä oli vähintään yksi elävä oksa. Elävien oksien lukumäärä (nlb(j,t) kussakin oksakiehkurassa nlw(j,t) (oksakiehkurassa j latvasta lukien, ajankohtana t) laskettiin seuraavasti

$$nlb(j,t) = \begin{cases} 5, & j \le \min(5, nlw(t)) \\ 5 - \dfrac{4(j-5)}{nlw(t)-5}, & 5 < j \le nlw(t) \\ 0, & j > nlw(t) \end{cases} \qquad (7.11)$$

missä nlw(t) on elävien oksakiehkuroiden lukumäärä vuonna t (vrt. yhtälö 7.18). Kuolleiden oksien lukumäärä kussakin oksakiehkurassa ndb(j, t) laskettiin seuraavasti

$$ndb(j,t) = \begin{cases} 5 - nlb(j,t), & j \le nlw(t) \\ 5 - 0.5(j - nlw(t) - 1), & nlw(t) < j \le nlw(t) + 9 \\ 0, & j > nlw(t) + 9 \end{cases} \qquad (7.12)$$

Arvo 9 yhtälössä (7.12) ilmaisee kuolleiden oksien karsiutumiseen kuluvan ajan vuosina. Luku saatiin Kellomäen ja Väisäsen (1986) työstä, joka edustaa nuoria männiköitä (ikä < 25 a).

Oksien kokonaiskasvu (G_2) jaettiin elävien oksakiehkuroiden kesken siten, että oksakiehkuran j oksien yhteen laskettu kasvu vuonna t (gb(j,t)) saatiin seuraavasti

$$gb(j,t) = G_2 \cdot (2nlw(t) + 1 - 2 \cdot j) \cdot (nlw(t))^{-2} \qquad (7.13)$$

missä $G_2 = 0.19G$ (vrt. yhtälö 7.16). Laskelmissa ylimmän oksakiehkuran oksien koon (laskelman alkuarvo) oletettiin jakautuvan normaalisti siten, että keskiarvo oli yhtä suuri kuin gb(1,t)/5 ja oksien massan variaatiokerroin 0.25. Tämän jälkeen oksakiehkuran kasvu (gb(j,t)) jakautui kiehkuran oksien kesken yksittäisten oksien koon suhteessa: suurin oksa kasvoi eniten ja pienin oksa vähiten. Oksakiehkuran vanhetessa kuoli pienin oksa ensimmäisenä ja suurin oksa viimeisenä. Kuolleiden oksien oletettiin karsiutuvan samassa järjestyksessä.

Kunkin oksan läpimitta (D_b) kunakin vuonna laskettiin seuraavaa empiiristä yhtälöä hyväksi käyttäen (Esko Valtonen, Metla, suullinen tieto)

$$D_b^2 = 92.90 + 2.13m_b \qquad (7.14)$$

missä m_b tarkoittaa oksan massaa. Kuolleen oksan läpimitta oli laskelmissa yhtä suuri kuin oksan läpimitta viimeisen elinvuoden lopussa.

Metsänkäsittely

Metsikön **alkutiheys** (viljelytiheys) voidaan määritellä halutun suuruiseksi samalla, kun puita voidaan **poistaa** metsiköstä (kasvatushakkuut) missä metsikön kehitysvaiheessa tahansa. Kasvatushakkuisiin voidaan yhdistää pystykarsinta tai pystykarsinta voidaan tehdä ilman harvennusta. **Pystykarsinnassa** poistetaan aina kaikki kuolleet oksakiehkurat sekä haluttu määrä eläviä oksakiehkuroita.

Elävien oksien poistamisen aiheuttama kasvun muutos laskettiin olettamalla, että puun kokonaisneulasmassa jakautuu yksittäisten oksien kesken siten, että kunkin oksan osuus kokonaisneulasmassasta oli suoraan verrannollinen oksan läpimitan neliöön (Hari ym. 1985). Tämän vuoksi elävien oksien poistaminen vähentää puun kokonaisneulasmassaa määrällä, joka on verrannollinen poistettavien oksien poikkileikkausten summaan. Neulasmassan pieneneminen vähentää puun kokonaismassan kasvua, jolloin rungon massa vähenee vastaavassa suhteessa. Tämä vähentää sekä läpimitan että pituuden kasvua (Vuokila 1968). Tämän vuoksi karsittujen puiden pituuskasvua vähennettiin suhteella, joka laskettiin Vuokilan (1968) esittämistä empiirisistä tuloksista:

$$rhg(t) = \alpha_1 \cdot i_p \cdot t^2 + \alpha_2 \cdot i_p \cdot t + \alpha_3 \cdot i_p + \alpha_4 \qquad (7.15)$$

missä rhg tarkoittaa karsitun ja vastaavan karsimatoman puun pituuskasvujen suhdetta (0 - 1), p karsintavoimakkuutta (poistettujen elävien oksakiehkuroiden osuutta latvuksen oksakiehkuroista, %) ja t karsinnnasta kulunutta aikaa (a), sekä α_1, α_2, α_3 ja α_4 parametrejä (ks. aikaisemmin taulukko 7.1). Koska puiden massa tunnettiin, voitiin puiden pituutta ja pituuskasvun muutosta hyväksi käyttäen laskea myös, kuinka paljon karsinta vähensi läpimitan kasvua.

Parametrien estimointi

Fotosynteesi ja respiraatio. Valon sammumiskertoimen k_m (yhtälö (7.4)) arvona käytettiin lukuarvoa 0.0025 m^2/g, joka perustuu Oker-Blomin ja Kellomäen (1982) tekemiin teoreettisiin laskelmiin sekä Harin ym. (1985) tekemiin empiirisiin mittauksiin männiköistä. Ylläpitohengityksen parametrien arvoina käytetiin b_1 = 0.1 ja b_2 = 0.05 m^{-1} (vrt. Hari ym. 1985).

Neulasten kuoleminen. Neulasten kuoleminen (d_1) arvioitiin vertaamalla neulastiheyttä (neulasten lukumäärä pituusyksikköä kohti) eri-ikäisissä versoissa. Tällä perusteella määriteltiin neulasten hengissäsäilyvyys p_i, joka tarkoittaa neulasikäluokasta i-1 hengissä olevien osuutta vastaavassa ikäluokassa i. Laskelmissa käytettiin lähtökohtana yhdenvuodenikäisiä versoja olettaen, että näistä versoista neulasia ei ollut vielä kuollut. Empiiriseen aineistoon sisältyi toisaalta vain vähän yli viisivuotiaita neulasia, joten neulasten maksimi-ikänä pidettiin viittä vuotta. Eri-ikäisille neulasille saatiin seuraavat hengissäsäilyvyysarvot

$p_1 = 1$, $p_2 = 0.90$, $p_3 = 0.69$, $p_4 = 0.22$ ja $p_5 = 0$

jolloin neulasten vuotuinen kuoleminen (d_1) saatiin lausekkeesta

$$d_1 = (1 - p_2)m_{n2} + (1 - p_3)m_{n3} + (1 - p_4)m_{n4} \qquad (7.16)$$

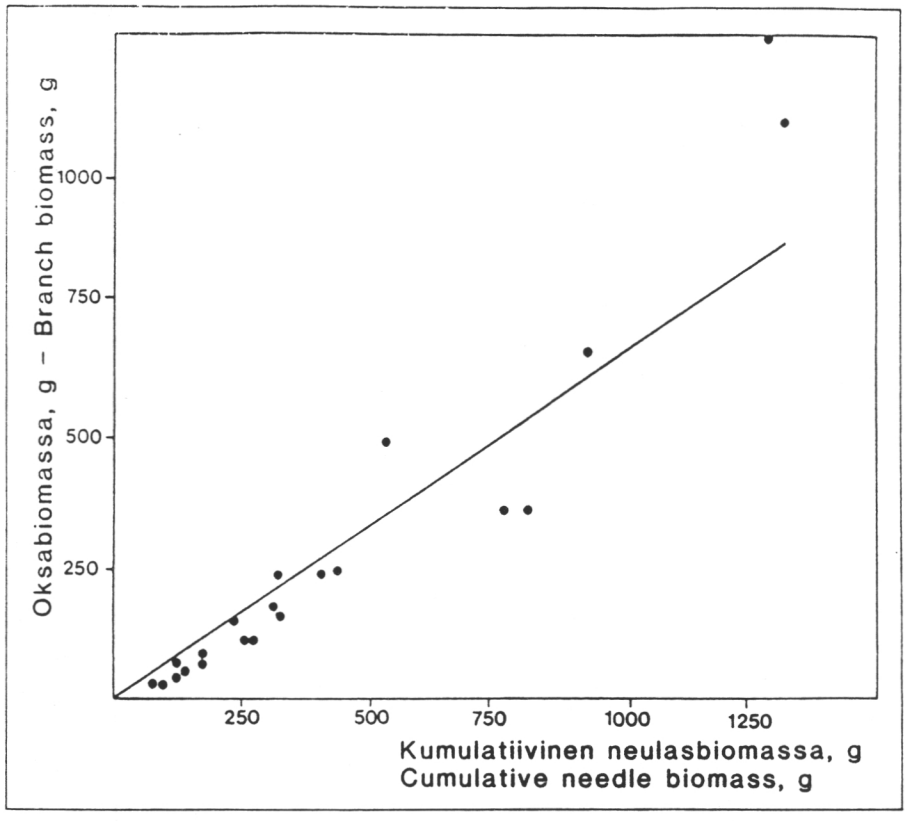
missä m_ni tarkoittaa neulasikäluokan i biomassaa. Koska neulasten hengissäsäilyvyyteen vaikuttaa neulasten ikä, puiden neulasmassan kuolemisnopeus (d_1/m_n) riippuu neulasten ikäjakaumasta. Samalla neulasmassan kuolemisnopeus muuttuu puiden ikääntymisen myötä.

Fotosynteesituotteiden jakautuminen puun eri osiin. Fotosynteesituotteiden jakautumista oksiin ja neulasiin tutkittiin samasta aineistosta kuin neulasten kuolemista vertaamalla koepuiden oksamassaa ja kumulatiivista neulasmassaa keskenään. Kumulatiivinen neulasmassa tarkoittaa oksaan sen elinaikana syntyneen neulasmassan kokonaismäärää. Tämä arvioitiin kertomalla koepuun oksien kokonaispituudella oksan pituusyksikköä kohti laskettu neulasmassa, joka laskettiin yhdenvuodenikäisten versojen avulla. Tällä tavalla laskien saatiin koepuiden oksien kokonaismassan ja neulasten kumulatiivisen massan väliseksi suhteeksi (a_2/a_1) 0.66 (kuva 7.2). Suhteen mahdollisia muutoksia puiden ikääntymisen myötä ei käytettävissä olleesta aineistosta voitu tutkia, joten laskelmissa käytettiin vakiosuhdetta.

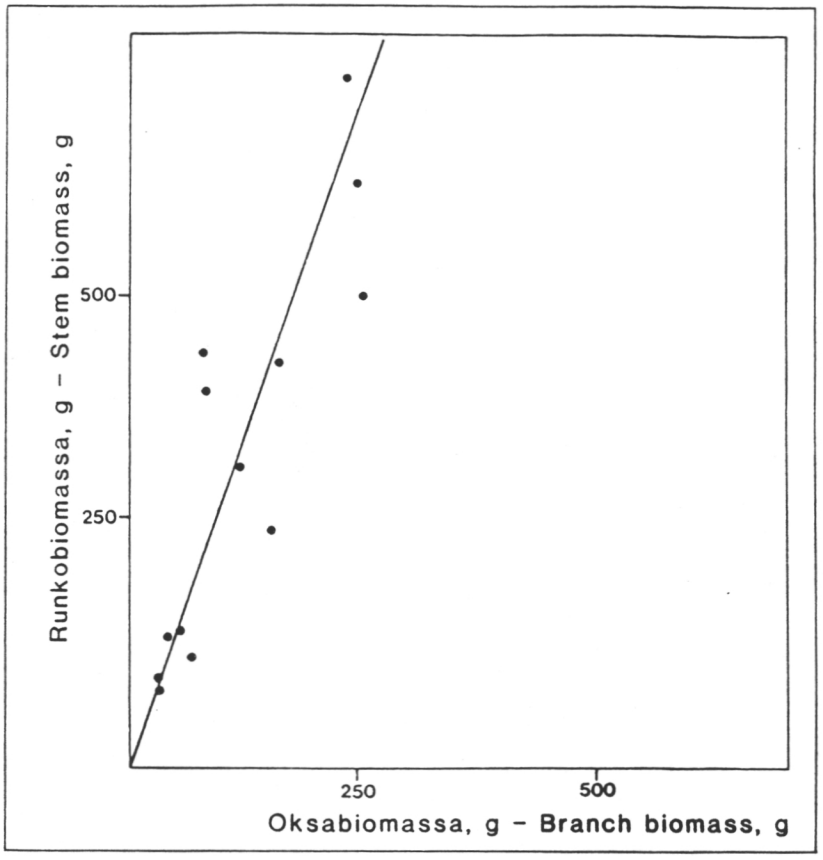
Fotosynteesituotteiden jakautuminen rungon ja oksien kesken laskettiin samalla tavalla kuin oksien ja neulasten kesken. Koska ennen mittausta kuolleiden ja karsiutuneiden oksien biomassaa ei voitu arvioida, tehtiin laskelmat tutkimusaineiston nuorimmista puista (ikä < 10 a), joista oksia oli kuollut vain vähän ja silloinkin massaltaan kaikkein pienimpiä. Runkomassan ja oksamassan suhteeksi (a_3/a_2) saatiin 2.85 (kuva 7.3), jolloin runkomassan ja neulasmassan suhteeksi (a_3/a_1) tuli 1.88. Täten neulasten, oksien ja rungon osuudeksi puiden vuotuisesta kasvusta tulivat seuraavat arvot

$$a_1 = 0.28,\ a_2 = 0.19 \text{ ja } a_3 = 0.53 \qquad (7.17)$$

Mallilaskelmissa oletettiin, että oksakiehkuroiden (oksien) kasvu vähenee suoraviivaisesti oksakiehkuran iän funktiona. Oksakiehkuran oksien kesken kasvun oletettiin jakautuvan suorassa suhteessa oksien kokoon.



Kuva 7.2. Koepuiden oksabiomassan ja kumulatiivisen neulasbiomassan välinen suhde.
Fig. 7.2. The relationship between branch biomass and cumulative needle biomass for the sample trees.



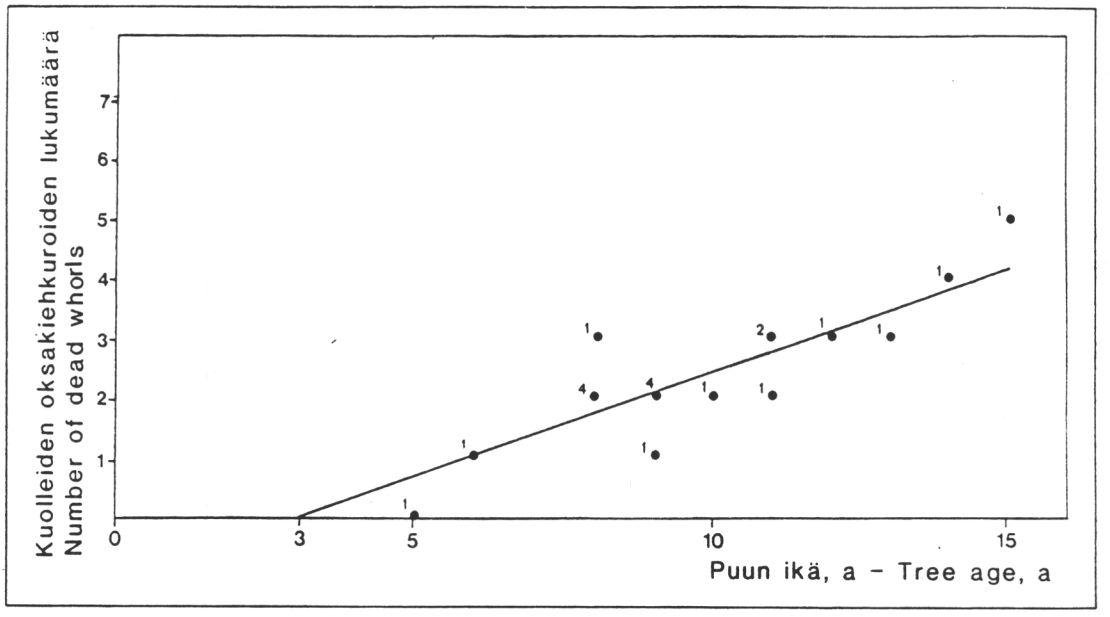
Kuva 7.3. Koepuiden runkobiomassan ja oksabiomassan välinen suhde.
Fig. 7.3. The relationship between stem biomass and branch biomass for the sample trees.

Neulasten tuottavuus. Neulasten kokonaistuottavuuden (G/m_n) arvio perustui neulasten kasvuun neulasmassyksikköä kohti sekä allokointitekijöiden puukohtaisiin arvioihin. Neulasten kasvu neulasyksikköä kohti vaihteli 0.96 - 1.54 g/g pienille puille (pituus noin 1 m) sekä neulasten kokonaistuottavuus (neulas-, oksa- ja runkomassan kasvu neulasyksikköä kohti) 2.40 - 3.65 g/g (keskiarvo 3.20 g/g). Mallilaskelmissa käytettiin arvoa 3.65 g/g, jolloin parametrille b_0 saatiin arvo 3.8.

Oksien kuoleminen. Oksien kokonaiseliniän oletettiin riippuvan oksan syntyhetkellä vallitsevasta puun iästä ja metsikön tiheydestä samalla, kun taimien ensimmäisten oksien eliniäksi arvioitiin vain muutama vuosi (< 3 a) (kuva 7.4). Elävien oksakiehkuroiden lukumäärän ja puiden iän välistä riippuvuutta (nlw(t)) ennen latvuston sulkeutumista kuvattiin seuraavasti

$$nlw(t) = \begin{cases} t, \text{ kun } t < t_0 \\ t_0 + s(t - t_0), \text{ kun } t > t_0 \end{cases} \qquad (7.18)$$

Parametrien arvoiksi saatiin t_0 = 3 ja s = 0.65. Elävien oksakiehkuroiden lukumäärä oletettin jäävän vakioksi, kun latvusto sulkeutui. Latvuston sulkeutuminen määriteltiin ajankohdaksi, jolloin metsikön itseharveneminen alkaa.



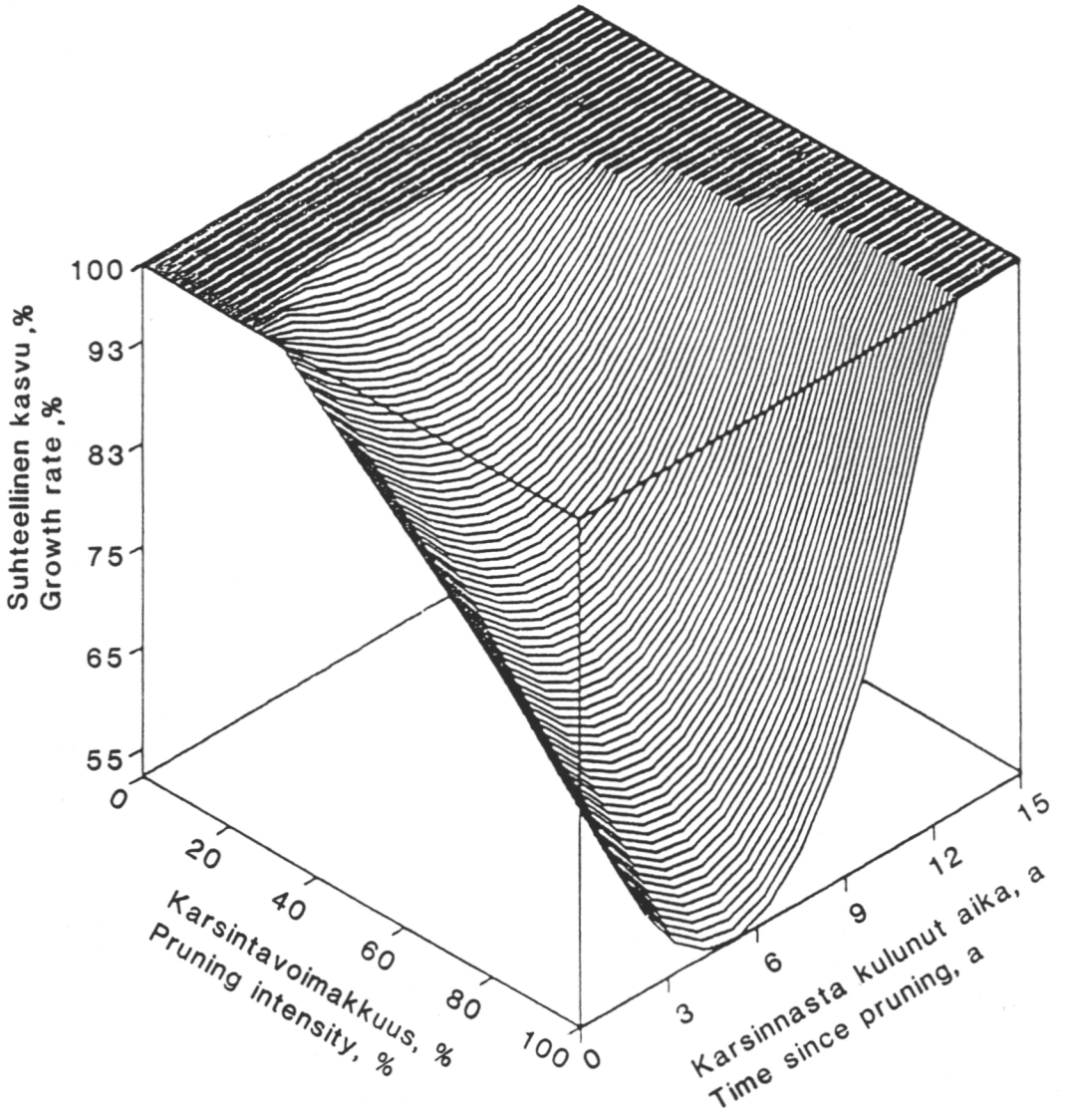
Kuva 7.4. Koepuiden kuolleiden oksakiehkuroiden lukumäärä puun iän funktiona. Numero pisteen vieressä tarkoittaa havaintojen lukumäärää.
Fig. 7.4. Number of dead whorls in the sample trees as a function of tree age. The number of observations is marked beside each point.

Pituuskasvu. Puiden pituuskasvu oletettiin riippumattomaksi metsikön tiheydestä, jolloin pituuskasvu (h(t)) ilmaistiin logistisella yhtälöllä

$$h(t) = H/(1 + h_1 \exp(-h_2\, t)) \qquad (7.19)$$

Parametrien H (puiden maksimipituus) sekä h_1 ja h_2 arvoiksi valittiin 21 m, 20.4 ja 0.064, jolloin puuston pituuskehitys vastasi luonnonnormaalien puolukkatyypin männiköiden pituuskehitystä (Koivisto 1962).

Karsinta. Karsinnan vaikutukset pituuskasvuun laskettiin Vuokilan (1968, taulukko 5 sivulla 24) esittämien empiiristen tulosten avulla (kuva 7.5), jolloin tulokset edustavat karsittujen puiden pituuskasvua kymmenen vuoden ajalta karsinnan jälkeen puolukkatyypin kasvupaikoilla. Karsintavoimakkuus oli 20, 50 ja 80 % latvuksen pituudesta, jolloin yhtälön (7.15) parametrit saivat arvot α_1 = 0.010, α_2 = -0.111, α_3 = -0.269 ja α_4 = 112.233. Parametrien estimointi tehtiin epälineaarisella regressiolla pienimmän neliösumman menetelmää käyttäen.



Kuva 7.5. Männyn (Pinus sylvestris) suhteellinen pituuskasvu karsintavoimakkuuden ja karsinnasta kuluneen ajan funktiona (Vuokila 1968).
Fig. 7.5. Relative height growth of Scots pine (Pinus sylvestris) as a function of pruning intensity and time since pruning (Vuokila 1968).

7.3. Metsikön kasvu ja kehitys

Metsikön kasvun ja kehityksen mallitus perustui yksittäisten puiden kasvumalliin siten, että puiden kasvu ja kehitys riippuivat metsikön tiheydestä ja ympärillä kasvavien puiden kuolemisen ajoittumisesta. Metsikön oletettiin kehittyvän annetulla lähtötiheydellä (\), kunnes kasvutila ei enää riittänyt kaikkien puiden kasvamiseen. Tämä käynnisti metsikön itseharvenemisen, jonka oletettiin alkavan silloin, kun puiden keskitilavuus ($v_s(t)$) ylitti yhtälön (7.20) määräämän arvon

$$v_s(t) = c\,\lambda^{-k} \qquad (7.20)$$

missä c ja k ovat parametreja. Itseharvenemisen käynnistyttyä muuttui metsikön tiheys vuosittain siten, että yhtälön (7.21) määräämä suhde säilyi

$$\log \lambda(t) = -(1/k)\log(v_s(t)/c) \qquad (7.21)$$

Laskelmissa käytettiin seuraavia Kellomäen ja Nevalaisen (1983) laskemia arvoja luonnonnormaaleille puolukkatyypin männiköille: logc = 7.956 ja k = 1.81.

7.4. Runkojen ja puuaineen laadun arviointi

Ulkoinen oksikkuus. Runkojen ulkoisen laadun arvioiminen tapahtuu pelkästään oksien ominaisuuksien avulla. Tarkoitukseen voidaan käyttää mm. paksuimman elävän ja/tai kuolleen oksan paksuutta ja sijaintia. Runko voidaan myös jakaa tukeiksi ja luokitella tukit voimassaolevia tukkien laatuluokitusohjeita noudattaen (oksien läpimittojen ja laadun (elävä, kuollut) sekä tukin latvaläpimitan avulla). Laskelman tuottamasta perusaineistosta voidaan kehittää myös muita ulkoisen laadun tunnuksia eri käyttötarkoituksiin.

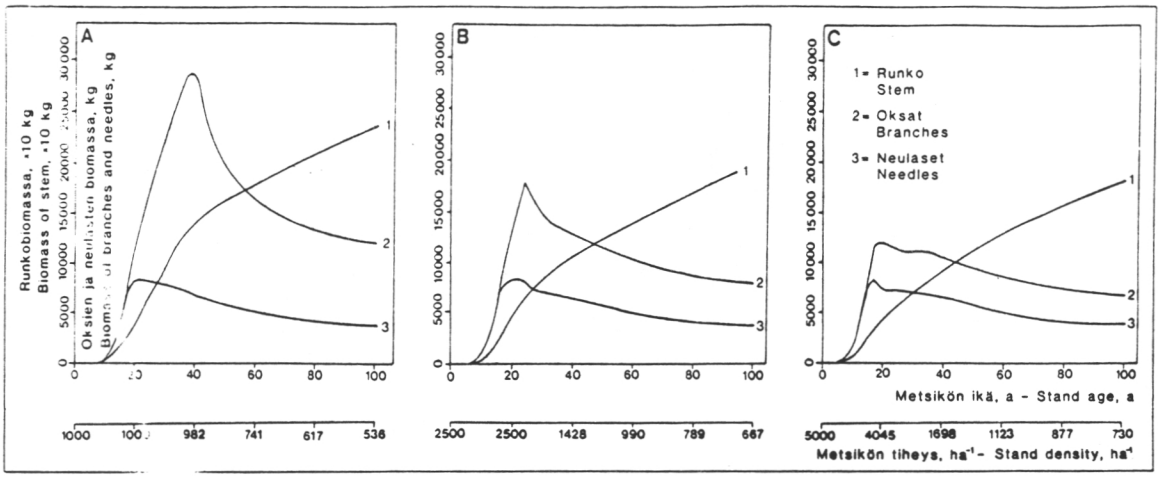
Sisäinen oksikkuus. Myös runkojen sisäistä oksikkuutta voidaan tutkia eri tavoin, mm. laskemalla elävien ja kuolleiden oksien pinta-alat ja niiden osuudet rungosta sahatukista sorvatusta viilusta. Tukit voidaan myös sahata alutunkokoisiksi laudoiksi, jotka luokitellaan voimassaolevia vientisahatavaran laatuluokitteluohjeita noudattaen. Tätä varten tutkitaan elävien ja kuolleiden oksien esiintymistä lautojen kaikilla pinnoilla sekä määritellään laudoissa esiintyvien oksien läpimitat. Havaintoja verrataan laatuluokitusohjeiden antamiin normeihin, joiden perusteella annetaan kullekin laudalle oksien määrämä laatuluokka.

7.5. Esimerkkejä simulointimallin toiminnasta

Massan kasvu

Kehitetyn mallin toiminnasta esitetään seuraavassa simulointiesimerkki, joka kuvaa neulas-, oksa- ja runkomassan kehitystä puuston alkutiheyden ollessa 1000, 2500 ja 5000 runkoa hehtaarilla. Samalla on esitetty metsikön tiheys puuston eri ikävaiheissa. Laskenta kuvaa luonnonnormaalien puolukkatyypin männiköiden kehitystä, kun puuston alkutiheys vaihtelee (ks. parametrien arvot taulukko 7.1).

Kun puuston alkutiheys on pieni, kasvavat neulasten, oksien ja rungon massat nopeasti (kuva 7.6). Metsikön kokonaismassa jää pienellä tiheydellä kehityksen alkuvaiheissa pienemmäksi kuin suurella tiheydellä. Metsikön kehittyessä edelleen kohoaa kokonaismassa pienellä tiheydellä kuitenkin suuremmaksi kuin suurella, sillä jälkimmäisessä tapauksessa puiden kuoleminen on nopeampaa.

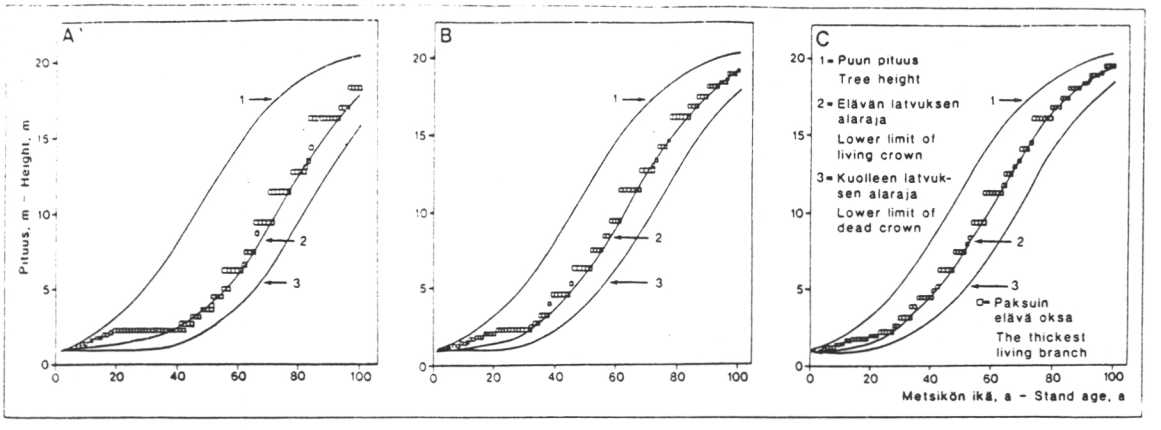


Kuva 7. ksittäisen puun neulas-, oksa- ja runkobiomassan kehitys sikön iän ja tiheyden funktiona. Puuston alkutiheydet c : A = 1000, B = 2500 ja C = 5000 ha^{-1}.
Fig. 7.6. ne development of needle, branch and stem biomass for an in. ·idual tree as a function of stand age and density. The in. tial stand densities are: A = 1000, B = 2500 and C = 5000 ha^{-1}.

Sadan vuoden iällä lisääntyi puuston kokonaismassa 235 000 kg/ha, 195 000 kg/ha ja 180 000 kg/ha, kun puuston alkutiheys oli 1000, 2500 ja 5000 runkoa hehtaarilla. Samana ajankohtana keskipuun runkomassa oli 435 kg (tilavuus 1.03 m^3, puuaineen tiheys 420 kg/m^3) puuston tiheydellä 1000 runkoa hehtaarilla ja 250 kg (tilavuus 0.60 m^3) tiheydellä 5000 runkoa hehtaarilla.

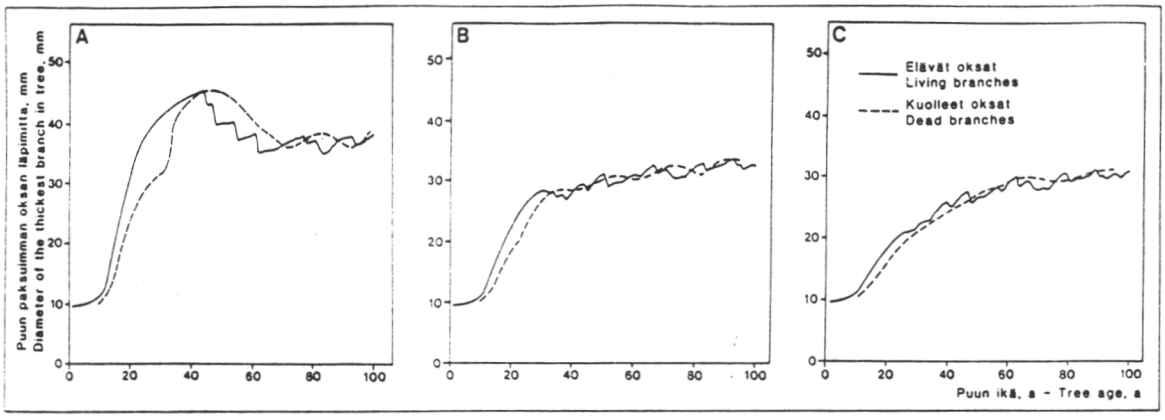
Latvuksen rakenne ja rungon ulkoinen oksikkuus

Elävän ja kuolleen latvuksen pituus ovat kääntäen verrannollisia puuston tiheyteen (kuva 7.7). Tämän vuoksi oksattoman rungon osuus puun kokonaispituudesta kasvaa puuston tiheyden kasvaessa. Samalla tavalla oksien poikkileikkauspinta-ala on rungon kokonaispinta-alasta sitä pienempi, mitä suurempi on metsikön alkutiheys. Varsinkin kehityksen alkuvaiheessa (ikävaihe 20 - 40 a) erot ovat selviä. Kehityksen loppuvaiheessa erot vähenevät eri alkutiheyksen kesken, joten varttuneissa metsiköissä rungot ovat ulkoiselta oksikkuudeltaan likimain samanlaisia puuston alkutiheydestä riippumatta.



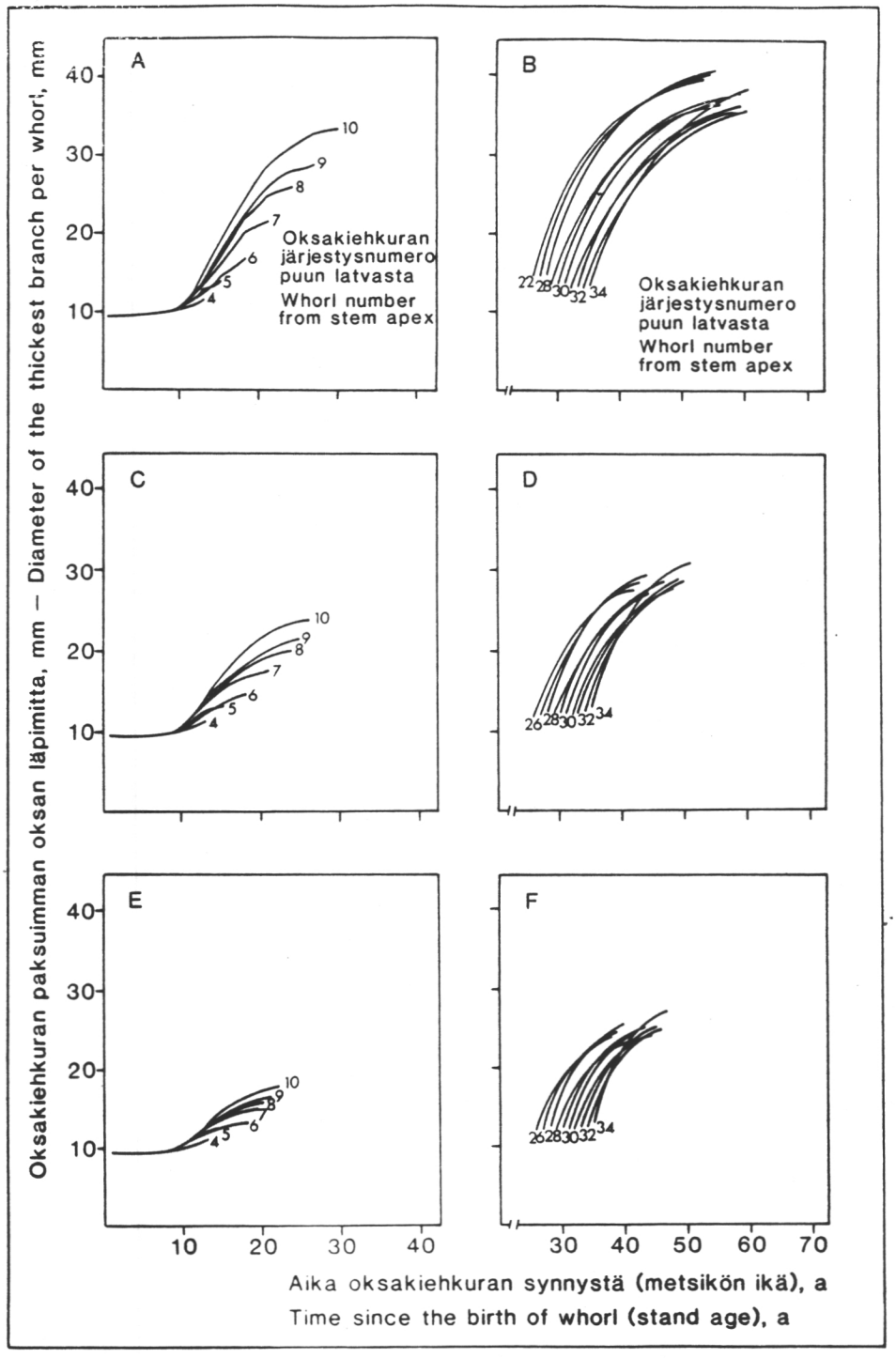
Kuva 7.7. Puun pituus sekä elävän ja kuolleen latvuksen alarajan korkeus metsikön iän funktiona. Rungon paksuin elävä oksa on merkitty neliöllä. Puuston alkutiheydet ovat: A = 1000, B = 2500 ja C = 5000 ha^{-1}.
Fig. 7.7. Tree height and heights of the lower limit of the living and dead crown, respectively, as a function of stand age. The position of the thickest living branch is marked with square. The initial stand densities are: A = 1000, B = 2500 and C = 5000 ha^{-1}.

Oksien pinta-alan osuuden suuruus pienellä alkutiheydellä merkitsee samalla sitä, että oksat kasvavat paksuiksi. Alkutiheydellä 1000 runkoa hehtaarilla elävien oksien paksuuskasvu kulminoituu 40 vuoden iällä, jonka jälkeen paksuimman oksan paksuus alkaa pienentyä (kuva 7.8). Paksuimman kuolleen oksan paksuuskehitys noudattaa muutaman vuoden viiveellä paksuimman elävän oksan kehitystä (eli paksuimmasta elävästä oksasta tulee paksuin kuollut oksa!). Oksien paksuuskehitys alkutiheyksillä 2500 ja 5000 runkoa hehtaarilla on varsin samanlaista siten, että paksuimmat elävät ja kuolleet oksat jäävät selvästi ohuemmiksi kuin alkutiheydellä 1000 runkoa hehtaarilla.



Kuva 7.8. Paksuimman elävän ja kuolleen oksan läpimitta puun (metsikön) iän funktiona. Puuston alkutiheydet ovat: A = 1000, B = 2500 ja C = 5000 ha^{-1}.
Fig. 7.8. The maximum diameter of living and dead branch as a function of tree age (stand age). The initial stand densities are: A = 1000, B = 2500 and C = 5000 ha^{-1}.

Oksien nopea kasvu pienellä alkutiheydellä näkyy myös eri aikoina syntyneiden oksakiehkuroiden paksuimpien oksien läpimitan kehityksessä (kuva 7.9). Esimerkiksi kymmenennen oksakiehkuran (puun tyveltä lukien) paksuin oksa oli noin 33 mm paksu, kun alkutiheys oli 1000 runkoa hehtaarilla. Vastaavat arvot olivat 24 mm ja 18 mm, kun alkutiheydet olivat 2500 ja 5000 runkoa hehtaarilla. Oksakiehkuroissa 26 - 34 (puun tyveltä lukien) paksuimpien oksien läpimitta vaihteli 27 - 40 mm:iin puuston alkutiheydestä riippuen. Eri oksakiehkuroiden oksien maksimiläpimitta kasvoi siten puuston kehittyessä, kunnes latvuston sulkeutuminen ja kasvutilan loppuminen vähensivät oksien kasvua. Kasvu kulminoitui sitä aikaisemmin, mitä suurempi oli puuston alkutiheys.

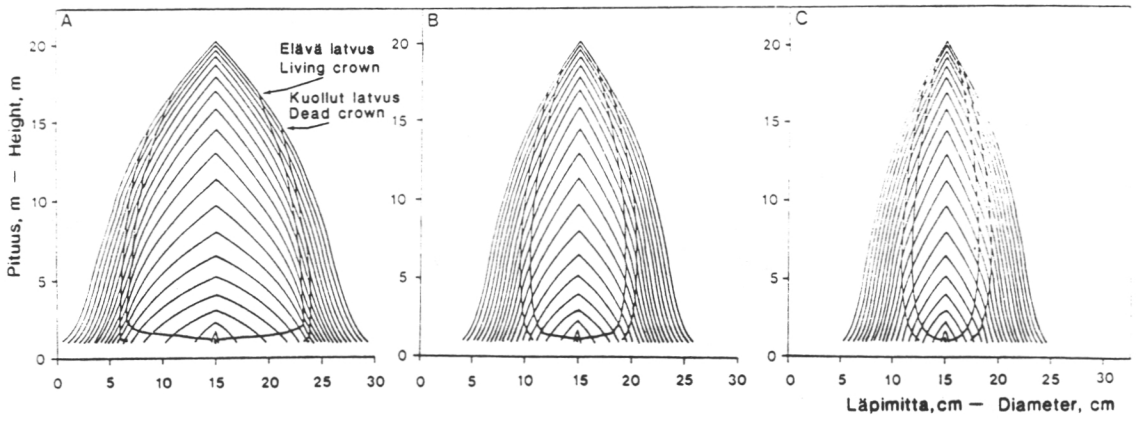


Kuva 7.9. Oksakiehkuran paksuimman oksan läpimitta metsikön iän funktiona. Numerot käyrien päässä tarkoittavat oksakiehkuran järjestysnumeroa puun tyveltä lukien. Puuston alkutiheydet ovat: A ja B: 1000, C ja D: 2500 sekä E ja F: 5000 ha^{-1}.

Fig. 7.9. The diameter of the thickest branch per whorl as a function of stand age. The numbers with each curve indicate the whorl number from stem apex. The initial stand densities are: A and B: 1000, C and D: 2500, E and F: 5000 ha^{-1}.

Rungon sisäinen oksikkuus

Puuston alkutiheyden vaikutus puiden kasvuun ja kehitykseen tulee havainnollisesti esiin myös silloin, kun tarkastellaan elävien ja kuolleiden oksien sijaintia rungon sisällä (rungon sisäinen oksikkuus) (kuva 7.10). Suurella alkutiheydellä oksien kuoleminen voimistui latvuksen sulkeutuessa aikaisemmin kuin pienellä alkutiheydellä: tiheydellä 5000 ha^{-1} oksien kuoleminen voimistui 15 vuoden, tiheydellä 2500 ha^{-1} 20 vuoden ja tiheydellä 1000 ha^{-1} 35 vuoden iällä. Samalla kuolleet oksat karsiutuivat tiheässä metsikössä aikaisemmin, jolloin oksatonta puuainetta syntyi suhteellisesti enemmän kuin harvassa metsikössä.



Kuva 7.10. Esimerkki sahatukin laatukehityksestä alkutiheydeltään erilaisissa käsittelemättömissä (ei harvennusta eikä karsintaa) metsiköissä. Tukin laatua kuvataan rungon läpimitan kasvulla sekä elävän ja kuolleen latvuksen alarajan sijainnilla. Puuston alkutiheydet ovat: A = 1000, B = 2500 ja C = 5000 ha^{-1}.
Fig. 7.10. An example demonstrating the quality of a saw log in terms of the thickness of the radial growth and the location of the base of the living and dead crowns in the growing tree. The initial stand densities are: A = 1000, B = 2500 and C = 5000 ha^{-1}. No thinning and pruning are applied to the stands.

Puuaineen laatuun vaikuttaa myös puiden kasvunopeus, joka tiheässä metsikössä oli tuntuvasti pienempi kuin harvassa. Näin oli erityisesti puuston nuoruusvaiheessa (taimikko- ja riukuvaihe), jolloin vuosilustojen leveys oli erityisen suuri rungon sisäosissa. Pintapuussa eri alkutiheyksien välillä ei ole sanottavia eroja, sillä latvuston sulkeutumisen jälkeen puuston alkutiheydellä ei ole vaikutusta metsikön kehitykseen. Täten puuston alkutiheyden vaikutus runkojen ulkoiseen ja sisäiseen oksikkuuteen rajoittuu aikaan ennen latvuston sulkeutumista: latvusto sulkeutuu ja puiden kasvu hidastuu sitä nopeammin ja aikaisemmin, mitä suurempi on puuston alkutiheys.

7.6. Tulosten luotettavuus

Puiden kasvua ja oksikkuutta simuloivan mallin (ks. aikaisemmin luku 7.1) tulosten luotettavuutta tutkittiin vertaamalla simulointimallilla laskettuja puun runko- ja oksatuoremassoja Hakkilan ym. (1977) esittämien tuoremassayhtälöiden antamiin tuloksiin (taulukko 7.2). Tuoremassayhtälöt oli laadittu ensiharvennusvaiheessa olevalle puolukkatyypin männikölle. Runkotuoremassojen osalta simulointimallilla lasketut tuoremassat olivat yhteneviä Hakkilan ym. (1977) esittämien tulosten kanssa yli koko puuston iän. Myös oksatuoremassat olivat likimain samansuuruisia puuston nuoruusvaiheessa (ikä alle 40 vuotta). Puuston vanhetessa simulointimalli antoi vertailuaineistoa suurempia tuloksia. Tosin Hakkila ym. (1977) ovat todenneet, että oksatuoremassojen tulisikin olla hieman suurempia kuin heidän yhtälönsä antoivat.

Taulukko 7.2. Simulointimallilla laskettujen tuoremassojen (harventamaton metsikkö, alkutiheys 2500 ha^{-1}) vertailu Hakkilan ym. (1977) esittämiin tuloksiin.
Table 7.2. Biomass of stems and branches computed by using simulation model of tree growth: unthinned, stand density 2500 ha^{-1} (reference: Hakkila et al. 1977).

Puusto Stand			Tuoremassa (kg/puu) Biomass (kg/tree)					
Ikä	$D_{1.3}$	Pituus	Runko		Oksat		Koko puu	
Age	Dia-	Height	Stem		Branches		Total	
	meter$_{1.3}$		malli	vrt.	malli	vrt.	malli	vrt.
a	cm	m	model	ref.	model	ref.	model	ref.
20	7.5	3.0	10.1	-	14.4	-	24.5	-
30	10.5	5.0	24.9	26.2	32.3	32.3	57.2	58.5
40	12.4	8.0	49.0	50.2	40.4	30.2	89.4	80.4
50	13.7	11.0	76.1	76.2	46.3	27.8	122.4	104.0
60	14.9	15.0	114.1	111.4	49.6	24.6	163.7	136.0
70	16.2	17.0	148.9	142.8	51.1	27.2	200.0	170.0
80	17.7	19.0	193.7	182.7	51.9	31.0	245.6	213.7
90	19.3	20.0	240.7	223.1	53.4	37.6	294.1	260.7
100	21.1	20.0	287.0	263.9	55.0	48.9	342.0	312.8

8. METSÄNKÄSITTELYN VAIKUTUS RUNKOJEN ULKOISEEN JA SISÄISEEN OKSIKKUUTEEN: SIMULOINTIIN PERUSTUVIA TULOKSIA

8.1. Tarkastelutapa ja syöttötiedot

Metsänkäsittelyn vaikutusta runkojen ulkoiseen ja sisäiseen oksikkuuteen tarkastellaan seuraavassa **mallilaskelmilla**: metsänkäsittely rajoitetaan pystykarsintaan ja harvennukseen, joiden vaikutusta tutkitaan erikseen ja yhdessä. Toimenpiteet kohdistetaan harvaan (alkutiheys 1000 ha^{-1}), tiheään (alkutiheys 2500 ha^{-1}) ja erittäin tiheään (alkutiheys 5000 ha^{-1}) puustoon, jolloin saadaan kuva myös **alkutiheyden** ja **käsittelyn** yhteisestä vaikutuksesta. Mallimetsiköiden oletetaan kasvavan puolukkatyypin kasvupaikoilla. Kiertoajan pituus on 100 vuotta.

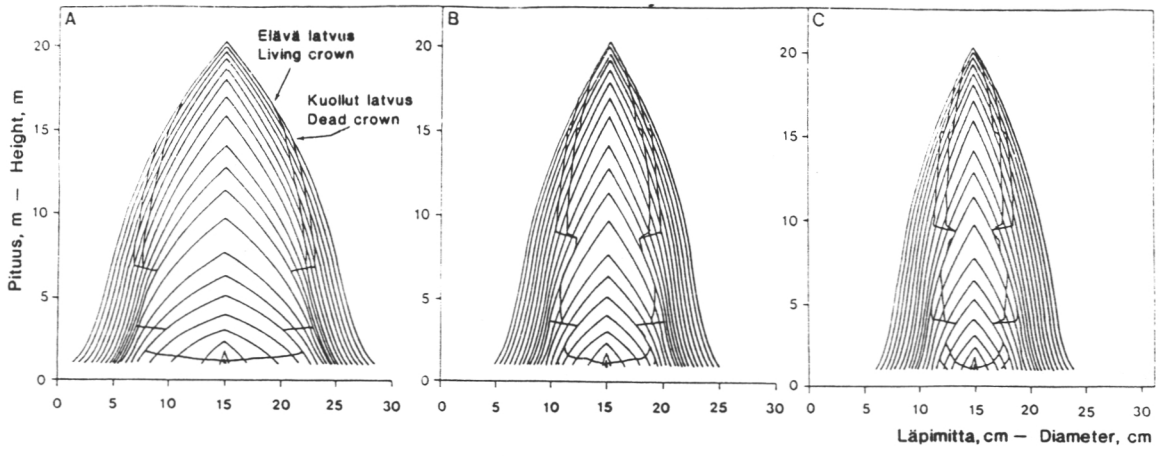
Karsinnassa poistettiin kaikki kuolleet oksakiehkurat sekä 40 % elävistä oksakiehkuroista. Karsittua metsikköä verrattiin vastaaviin karsimattomiin puustoihin. **Harvennuksissa** pyrittiin noudattamaan Vuokilan ja Väliahon (1980, taulukko M24, s. 226) suosituksia puolukkatyypin viljelymänniköiden harvennuksista

Metsikön ikä, a	Puuston tiheys harvennuksen jälkeen, ha^{-1}
20	1800
40	1126
50	734
65	493

Tiheisiin alkupuustoihin kohdistunut ensimmäinen hakkuu (iällä 20 a) oli luonteeltaan **taimikon harvennusta**. Vasta toinen harvennus (iällä 40 a) tuotti ainespuuta. Karsinta tehtiin yhtäaikaa harvennuksen kanssa.

8.2. **Pystykarsinta** laatutekijänä

Karsinta nopeuttaa rungon puhdistumista elävistä ja **kuolleista oksista**, jolloin **oksaton puuaine muodostuu karsituissa puissa** paksummaksi **kuin karsimattomissa** (kuva 8.1). **Erityisesti** harva kasvatustiheys (tiheys 1000 ha^{-1}) voimisti oksattoman puuaineen muodostumista, sillä harvassa kasvavat puut järeytyvät nopeasti. Suuri kasvatustiheys (tiheys $\geq$ 2500 ha^{-1}) sen sijaan näytti jo sellaisenaan antavan lähes saman tuloksen kuin karsinta: oksia alkoi kuolla ja karsiutua varhain, joten oksatonta puuainetta kertyi runsaasti ilman karsintaakin.



Kuva 8.1. Esimerkki karsinnan vaikutuksesta sahatukin laatukehitykseen alkutiheydeltään erilaisissa (harventamattomissa) metsiköissä. Tukin laatua kuvataan rungon läpimitan kasvulla sekä elävän ja kuolleen latvuksen alarajan sijainnilla. Puuston alkutiheydet ovat: A = 1000, B = 2500 ja C = 5000 ha^{-1}.
Fig. 8.1. An example demonstrating the effect of pruning on the quality of a saw log in terms of the thickness of the radial growth and the location of the base of the living and dead crowns in the growing tree. No thinning is subjected to the stand. The initial stand densities are: A = 1000, B = 2500 and C = 5000 ha^{-1}.

Käytetty karsintaohjelma oli sikäli sopimaton tiheisiin puustoihin, että kuolleita oksia ilmaantui latvuksiin ja latvuksen kehitys palautui luontaiseksi karsintojen välillä. Karsinnan vaikutus tiheissä puustoissa jäi siten lyhytaikaiseksi verrattuna harvoihin puustoihin (taulukko 8.1). Puuston kasvatustiheys näyttää siis vaikuttavan karsintaohjelman luonteeseen, kun karsinnalla pyritään maksimoimaan oksattoman puuaineen määrää.

Taulukko 8.1. Karsinnan vaikutuk[illegible] kesto (aika, joka kuluu karsinnasta uusien kuolleiden [illegible]ien ilmestymiseen) sekä tänä aikana tapahtunut muutos el[illegible]ten ja kuolleiden oksien pinta-alassa alkutiheydeltään [illegible]rilaisissa metsiköissä. Selitteet: A ja C = elävien oksien pinta-ala, B ja D = kuolleiden oksien pinta-ala.
Table 8.1. Duration of the effect of pruning (effective time, i.e. time during which the number of branches will reach the same level as before pruning) and the resultant change in surfaces with living and dead branches during the effective time as a function of stand density. Legend: A and C = surface with living branches, B and D = surface with dead branches.

Tiheys Stand density ha^{-1}	Kesto Duration a	Kumulatiivinen pinta-ala Cumulative surface area, dm^2				Muutos Reduction, %	
		Karsimaton Nonpruned		Karsittu Pruned			
		A	B	C	D	C/A	D/B
1000	12	3340	1280	2820	540	84	46
2500	8	1030	730	900	400	87	50
5000	6	490	530	440	331	90	62

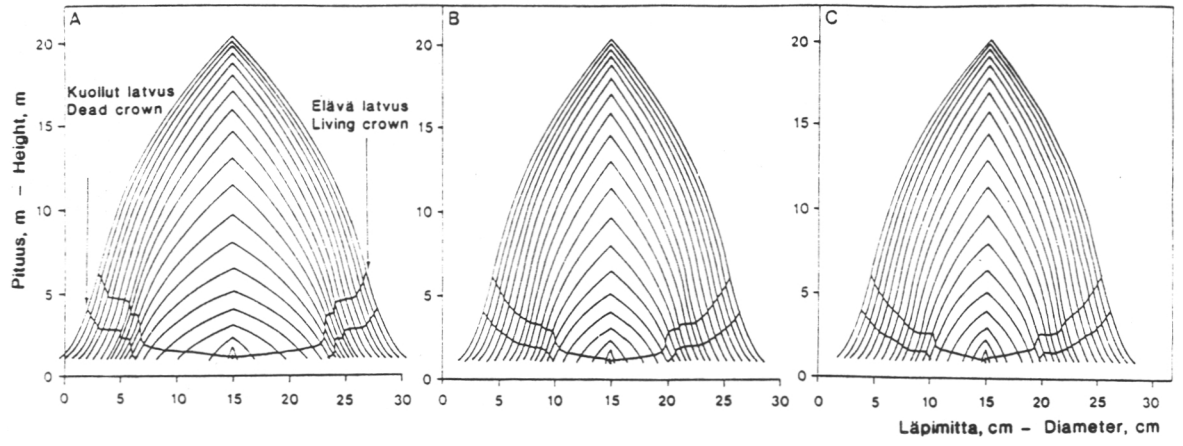
Karsituissa tyvitukeissa oksien osuus väheni karsimattomiin verrattuna (taulukko 8.2). Karsinta ei kuitenkaan parantanut tukkien laatua, sillä karsimattomatkin tukit olivat ensiluokkaisia kasvatustiheydestä riippumatta. Karsinta vähensi kuitenkin tukkien järeyttä (latvaläpimittaa) 5 - 9 % siten, että järeytyminen heikkeni eniten harvassa puustossa. Tiheässä puustossa suuri kasvatustiheys peitti osittain alleen sen, miten karsinta heikensi runkojen järeytymistä.

Taulukko 8.2. Puuston kasvatustiheyden ja karsinnan vaikutus elävien ja kuolleiden oksien peittämän sekä oksattoman vaipan alaan rungon kokonaisvaipasta sadan vuoden kiertoajalla. Selitteet: L = elävien oksien pinta-ala, D = kuolleiden oksien pinta-ala, B = oksaton vaippa ja T = rungon kokonaisvaippa (T = L + D + B).
Table 8.2. Effects of stand density and pruning on the cumulative surface area of the stem occupied by living, dead and no branches during a rotation of one hundred years. Legend: L = surface with living branches, D = surface with dead branches, B = surface with no branches and T = total surface area (T = L + D + B).

Tiheys Density ha^{-1}	Pinta-ala Surface area, dm^2				Suhteellinen pinta-ala Relative surface area, %			
	L	D	B	T	L	D	B	T
			Karsimaton - Not pruned					
1000	8300	5370	25880	39560	100	100	100	100
2500	2500	2900	22400	27810	30	54	87	70
5000	1240	2080	20520	23840	15	39	79	60
			Karsittu - Pruned					
1000	7680	4300	27200	39180	93	80	105	99
2500	2330	2320	22940	27590	28	43	87	70
5000	1170	1690	20810	23680	14	31	80	60

8.3. Harvennus laatutekijänä

Harvennus vaikutti tuntuvimmin tukkien ominaisuuksiin suuren alkutiheyden (tiheys ≥ 2500 ha^{-1}) vallitessa: harvennus eliminoi alkutiheyden vaikutuksen, jolloin metsiköt kehittyivät alkutiheydestä riippumatta likimain samalla tavalla (kuva 8.2). Harvennuksen seurauksena oksien kuoleminen hidastui ja oksattoman puuaineen muodostuminen väheni. Puiden järeytyminen tosin voimistui, joten absoluuttisessa mielessä harvennetuissakin metsiköissä muodostui runsaasti oksatonta puuainetta.

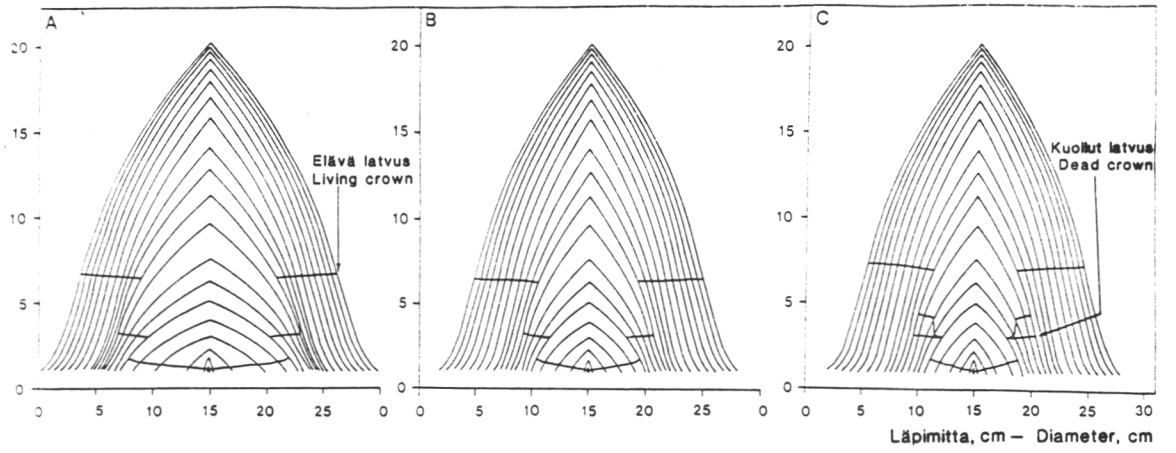


Kuva 8.2. Esimerkki harvennuksen vaikutuksesta sahatukin laatukehitykseen alkutiheydeltään erilaisissa (karsimattomissa) metsiköissä. Tukin laadun kuvaus ja alkutiheydet, ks. kuva 8.1.
Fig. 8.2. An example demonstrating the effect of thinning on the quality of a saw log. Quality terms of saw log and initial stand densities, see Fig. 8.1.

Paitsi runkojen järeytymisenä näkyi harvennuksen vaikutus myös oksien esiintymisenä tyvitukkien latvaosissa. Tämä ei kuitenkaan alentanut tukkien laatua, sillä kaikilla alkutiheyksillä tukit olivat ensiluokkaisia, kuten vastaavissa käsittelemättömissä tai karsituissa metsiköissä. Samalla harvennus lisäsi tukkien latvaläpimittaa 8 – 40 % siten, että läpimitan kasvu oli voimakkainta suurimmalla alkutiheydellä. Runkojen järeytyminen harvennuksen seurauksena kompensoi siten lisääntynyttä oksikkuutta.

8.4. Karsinnan ja harvennuksen yhteisvaikutus

Karsinta ja harvennus vaikuttavat yhdessä puiden kehitykseen siten, että rungon ominaisuudet kytkeytyvät molempiin käsittelytapoihin (kuva 8.3): rungon järeytyminen voimistuu harvennuksen seurauksena, mutta järeytyminen jää pienemmäksi kuin pelkästään harventaen. Samalla karsinta eliminoi harvennuksen voimistamaa oksittumista, joten oksattoman puuaineen muodostuminen voimistuu tuntuvasti verrattuna pelkästään harvennettuihin puustoihin.



Kuva 8.3. Esimerkki harvennuksen ja karsinnan vaikutuksesta sahatukin laatukehitykseen alkutiheydeltään erilaisissa metsiköissä. Tukin laadun kuvaus ja alkutiheydet, ks. kuva 8.1.
Fig. 8.3. An example demonstrating the effects of thinning and pruning on the quality of a saw log. Quality terms of saw log and initial stand densities, see Fig. 8.1.

Erityisesti alkutiheys 2500 ha^{-1} antoi hyvän tuloksen käytetyillä karsinta- ja harvennusohjelmilla: runko järeytyi nopeasti ja oksikkuus jäi vähäiseksi, eikä kuolleita oksakiehkuroita ilmaantunut latvukseen kuten alkutiheydellä 5000 ha^{-1}. Myös alkutiheys 1000 ha^{-1} tuotti hyvän tuloksen, mutta muutos käsittelemättömiin tai pelkästään harvennettuihin tai karsittuihin metsiköihin verratuna oli vähäisempi kuin alkutiheydellä 2500 ha^{-1} (taulukko 8.3). Tyvitukit olivat aina ensiluokkaisia puuston alkutiheydestä ja käsittelystä riippumatta.

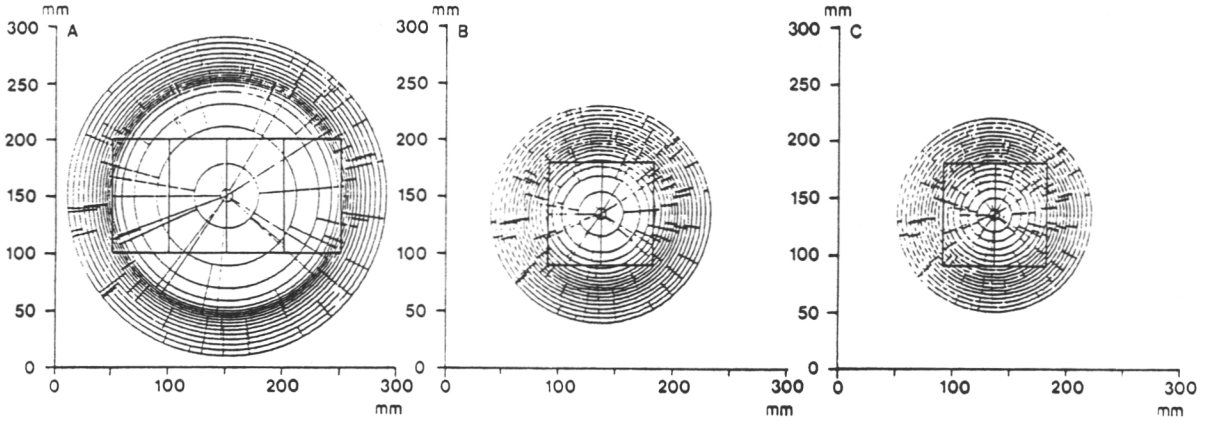
Taulukko 8.3. Elävien ja kuolleiden oksien peittämä sekä oksaton vaippa puun kokonaisvaipasta karsitussa ja harvennetussa metsikössä. Puusto (alkutiheys 1000 ha^{-1}) harvennettiin tiheyteen 700 ha^{-1} vuonna 40, jolloin myös karsittiin 40 % elävistä oksakiehkuroista ja kaikki kuolleet oksat. Selitteet: ks. taulukko 8.2.
Table 8.3. The total accumulation of the stem surface area during the rotation as a function of the pruning and thinning. The initial stand density of 1000 ha^{-1} was thinned to a density of 700 ha^{-1} at the age of 40 years, when the pruning was also carried out at an intensity of 40 % of living whorls and of all dead branches. Legend: see table 8.2.

Pinta-ala Surface area, dm^2				Suhteellinen pinta-ala Relative surface, %			
L	D	B	T	L	D	B	T
		Karsimaton, harventamaton Not pruned, not thinned					
8300	5370	25880	39560	100	100	100	100
		Karsittu, harventamaton Pruned, not thinned					
7680	4300	27200	39180	93	80	105	99
		Harvennettu, karsimaton Thinned, not pruned					
15820	6450	19120	41390	191	150	74	105
		Harvennettu, karsittu Thinned, pruned					
14080	4320	22460	40860	170	80	87	103

9. PUUSTON TIHEYDEN JA KÄSITTELYN VAIKUTUS SAHATAVARAN LAATUUN: MALLILASKELMIA

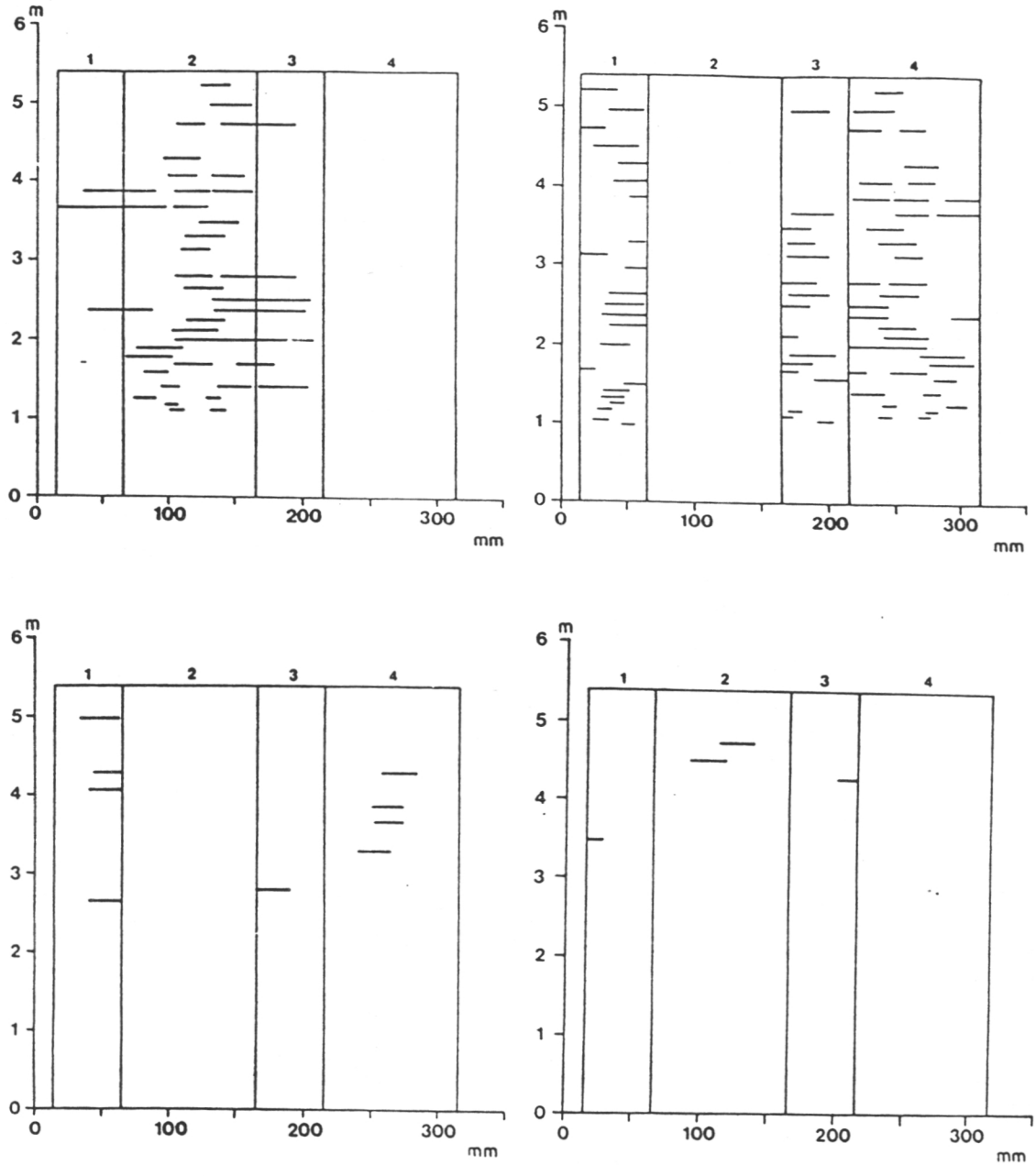
9.1. Laskentaperiaate

Puuston tiheyden ja käsittelyn vaikutusta sahatavaran laatuun tutkittiin koesahauksilla, joissa tyvitukista sahatut laudat luokiteltiin vientisahatavaran laatuluokitusohjeiden (Vientisahatavaran ... 1979) perusteella. Sahatukin pituutena käytettiin 5.2 metriä. Perusasetteeksi otettiin sahoilla yleisesti käytetty alkuasete 50 x 100 mm. Alkuasete oli sama puuston alkutiheydestä ja käsittelystä riippumatta. Sahausta on havainnollistettu kuvassa 9.1 siten, että sahauskaavio on sijoitettu tukkien tyvileikkaukselle.



Kuva 9.1. Sahatukin tyvileikkaus, johon on sijoitettu perusasete (50 x 100 mm) havainnollistamaan alkutiheydeltään erilaisissa metsiköissä kasvaneiden tukkien sahausta. Puuston alkutiheydet ovat: A = 1000, B = 2500 ja C = 5000 ha^{-1}.
Fig. 9.1. The grid (50 x 100 mm) put on the cross-section of a log demostrate the principles to saw the log into pieces of selected dimensions. The initial stand densities are: A = 1000, B = 2500 and C = 5000 ha^{-1}. No thinning and pruning are applied to the stands.

Sahaustavasta seuraa, että pieni kasvatustiheys tuottaa enemmän sydäntavaraa kuin pintalautoja verrattuna suureen kasvatustiheyteen. Samalla harvassa kasvaneet tukit tuottavat suhteellisen paljon oksikkaita lautoja, jotka edustavat rungon nopean kasvun vaihetta (kuva 9.2). Myös tiheässä kasvaneiden rungon sisäosissa on runsasoksainen osa, mutta se jää pääosin vähäoksaisten pintalautojen sisälle. Täten tukin järeys ja sahaustapa voivat vaikuttaa suuresti sahatavaran laatujakaumaan.



Kuva 9.2. Esimerkki oksien esiintymisestä saheiden syrjissä (osat 1 ja 3) ja lappeissa (osat 2 ja 4). Puuston alkutiheydet ovat 1000 ha^{-1} (ylin kuva) ja 2500 ha^{-1} (alin kuva). Metsiköt, joissa kasvaneista tukeista saheet saatiin, ovat harventamattomia ja karsimattomia.
Fig. 9.2. An example demonstrating the occurence of knots on the surfaces of sawn pieces representing the initial stand densities 1000 ha^{-1} (upper part) and 2500 ha^{-1} (lower part). The edges of the sawn pieces are sections 1 and 3, the faces of the sawn pieces are sections 2 and 4. No thinning and pruning are applied to the stands.

9.2. Käsittelemättömästä metsiköstä saatava sahatavara

Tutkitaan aluksi käsittelemättömästä metsiköstä saatavan sahatavaran ominaisuuksia. Pieni kasvatustiheys tuottaa tässä tapauksessa sekä lukumääräisesti että tilavuudeltaan tuntuvasti enemmän sahatavaraa kuin pieni kasvatustiheys (taulukko 9.1). Harvasta metsiköstä saatavassa sahatavarassa on sekä eläviä että kuolleita oksia. Näiden osuus sahatavarakappaleiden pintojen (lappeiden ja syrjien) kokonaisalasta vaihtelee 0.3 - 1.8 % samalla, kun saheet kuuluvat alhaisimpaan laatuluokkaan.

Taulukko 9.1. Elävien ja kuolleiden oksien poikkileikkauspinta-ala ja sen osuus sahatavarakappaleiden pinta-alasta (162 dm^2) sekä saheiden laatuluokat alkutiheydeltään erilaisissa harventamattomissa metsiköissä.
Table 9.1. The total cross-sectional area of living and dead branches occupying the surfaces of the sawn pieces, the amount of branch cross-sectional area of the total surface area of the sawn pieces (162 dm^2 per each piece) and the grade of the sawn pieces as a function of stand density in unmanaged stands.

Saheen nro No of sawn piece	Oksien poikkileikkauspinta-ala Cross-sectional area of branches Elävät Living		Kuolleet Dead		Saheen laatu Grade of sawn piece
	mm^2	%	mm^2	%	
Puuston tiheys **Stand density 1000 ha^{-1}**					
1	17562	1.1	11545	0.7	6
2	28766	1.8	9093	0.6	6
3	20915	1.3	12521	0.8	6
4	17697	1.1	4946	0.3	6
Puuston tiheys **Stand density 2500 ha^{-1}**					
1			4889	0.3	6
2			1610	0.1	5
Puuston tiheys **Stand density 5000 ha^{-1}**					
1	Ei oksia - No knots				1
2	"		"		1

Tiheässä kasvaneista tukeista (alkutiheys 2500 ha^{-1}) saatiin selvästi vähemmän sahatavaraa kuin harvassa kasvaneista tukeista (taulukko 9.1), mutta saheiden laatujakauma parani hieman. Sahatavarassa oli nyt pelkästään kuolleita oksia, joiden osuus sahatavarakappaleiden pintojen kokonaisalasta vaihteli 0.1 - 0.3 %. Kaikkein suurin kasvatustiheys (alkutiheys 5000 ha^{-1}) tuotti vain laatuluokkaan I kuuluvia lautoja, joissa ei ollut oksia ollenkaan.

9.3. Pystykarsitusta metsiköstä saatava sahatavara

Karsinta paransi tuntuvimmin sahatavaran laatua silloin, kun sahatukit edustivat suurta kasvatustiheyttä (alkutiheys ≥ 2500 ha^{-1}). Tämä johtui siitä, että tiheässä metsikössä oksat alkoivat kuolla varhain, jolloin jo ensimmäisessä karsinnassa poistettiin huomattava osa tyvitukin alueelle syntyneistä oksakiehkuroista. Tämän vuoksi metsikön alkutiheyden vaikutus puuaineen laatuun rajoittui rungon ytimen välittömään läheisyyteen, johon sijoittuvat oksat jäivät pääosin sydäntavaran ympäriltä sahattujen lautojen sisään.

Oksia esiintyi vain harvaa kasvatustiheyttä (alkutiheys 1000 ha^{-1}) edustavissa laudoissa, mutta myös tässä tapauksessa karsinta paransi sahatavaran laatujakaumaa (taulukko 9.2). Koska karsinta pienensi kaikkein vähiten harvassa kasvaneiden puiden kasvua, alhainen laatujakauma kompensoitui osittain suuremmalla sahatavaran määrällä.

Taulukko 9.2. Elävien ja kuolleiden oksien poikkileikkauspinta-ala ja sen osuus sahatavarakappaleiden pinta-alasta (162 dm^2) sekä saheiden laatuluokat karsitussa metsikössä, jonka alkutiheys oli 1000 ha^{-1}.
Table 9.2. The total cross-sectional area of living and dead branches occupying the surfaces of the sawn pieces, the amount of branch cross-sectional area of the total surface area of the sawn pieces (162 dm^2 per each piece) and the grade of the sawn pieces representing pruned stands of density 1000 ha^{-1}.

Saheen nro No of sawn piece	Oksien poikkileikkauspinta-ala Cross-sectional area of branches Elävät Living		Kuolleet Dead		Saheen laatu Grade of sawn piece
	mm^2	%	mm^2	%	
1	16923	1.1	9589	0.6	6
2	28126	1.8	9644	0.6	6
3	20247	1.3	13189	0.8	6
4	17697	1.1	4657	0.3	6

9.4. Harvennetusta metsiköstä saatava sahatavara

Harvennetusta metsiköstä saadun sahatavaran laatujakauma jäi kaikilla alkutiheyksillä tuntuvasti heikommaksi kuin käsittelemättömästä tai karsitusta metsiköstä saadun sahatavaran (taulukko 9.3): oksien hidas kuoleminen näkyi lukuisina elävinä ja kuolleina oksina saheiden kaikilla pinnoilla kasvatustiheydestä riippumatta. Erityisesti rungon sisäosista saadut saheet olivat oksaisia. Sahatavaran oksikkuutta tosin kompensoi sahatukkien järeys ja sahatavaran määrä, joka ylitti tuntuvasti käsittelemättömästä ja karsitusta metsiköstä saatavan määrän.

Taulukko 9.3. Elävien ja kuolleiden oksien poikkileikkauspinta-ala ja sen osuus sahatavarakappaleiden pinta-alasta (162 dm^2) sekä saheiden laatuluokat alkutiheydeltään erilaisissa harvennetuissa metsiköissä.
Table 9.3. The total cross-sectional area of living and dead branches occupying the surfaces of the sawn pieces, the amount of branch cross-sectional area of the total surface area of the sawn pieces (162 dm^2 per each piece) and the grade of the sawn pieces as a function of stand density in thinned stands.

Saheen nro No of sawn piece	Oksien poikkileikkauspinta-ala Cross-sectional area of branches				Saheen laatu Grade of sawn piece
	Elävät Living		Kuolleet Dead		
	mm^2	%	mm^2	%	
Puuston tiheys **Stand density 1000 ha^{-1}**					
1	20896	1.3	24515	1.6	6
2	28753	1.8	9098	0.6	6
3	20915	1.3	12521	0.8	6
4	17697	1.1	21795	1.4	6
Puuston tiheys **Stand density 2500 ha^{-1}**					
1	8586	0.6	12795	0.8	6
2	18887	1.2	18704	1.2	6
3	10816	0.7	17864	1.1	6
Puuston tiheys **Stand density 5000 ha^{-1}**					
1	1115	0.1	11558	0.7	6
2	4738	0.3	18737	1.2	6
3	2541	0.2	13396	0.9	6

9.5. Karsitusta ja harvennetusta metsiköstä saatava sahatavara

Karsinnan ja harvennuksen yhdistäminen paransi hieman sahatavaran laatujakaumaa verrattuna harvennettuun metsikköön, mutta pelkkään karsittuun metsikköön verrattuna laatujakauma jäi kuitenkin tuntuvasti heikommaksi (taulukko 9.4). Karsinta ei siis täysin eliminoinut laadun heikkenemistä, jonka harvennus aiheutti oksien voimistuvan kasvun ja hidastuvan kuolemisen kautta. Erityisesti pientä alkutiheyttä edustavissa metsiköissä sahatavaran laatujakauma jäi alhaiseksi. Myös suurella alkutiheydellä rungon sisäosista saatiin oksikasta sahatavaraa, koska karsinnan vaikutus rajoittui rungon pintaosiin (pintalautoihin). Lisäksi sahatavaran heikko laatujakauma johtui osittain siitä, että karsinta aloitettiin liian myöhään.

Taulukko 9.4. Elävien ja kuolleiden oksien poikkileikkauspinta-ala ja sen osuus sahatavarakappaleiden pinta-alasta (162 dm^2) sekä saheiden laatuluokat alkutiheydeltään erilaisissa harvennetuissa ja karsituissa metsiköissä.
Table 9.4. The total cross-sectional area of living and dead branches occupying the surfaces of the sawn pieces, the amount of branch cross-sectional area of the total surface area of the sawn pieces (162 dm^2 per each piece) and the grade of the sawn pieces as a function of stand density in the thinned and pruned stands.

Saheen nro No of sawn piece	Oksien poikkileikkauspinta-ala Cross-sectional area of branches Elävät Living		Kuolleet Dead		Saheen laatu Grade of sawn piece
	mm^2	%	mm^2	%	
Puuston tiheys **Stand density 1000 ha^{-1}**					
1	16923	1.1	14187	0.9	6
2	28126	1.8	9644	0.6	6
3	20247	1.3	13189	0.8	6
4	17697	1.1	10775	0.7	6
Puuston tiheys **Stand density 2500 ha^{-1}**					
1	7752	0.5	4711	0.3	1
2	15675	1.0	9288	0.6	6
3	7924	0.5	4578	0.3	1
Puuston tiheys **Stand density 5000 ha^{-1}**					
1	1115	0.1	5383	0.3	1
2	3172	0.2	10821	0.7	6
3	2057	0.1	5438	0.3	1

10. TARKASTELU JA LOPPUPÄÄTELMÄT

10.1. Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Nuorten mäntyjen ulkoista laatua on viime vuosina käsitelty useissa tutkimuksissa. Perusteen näille tutkimuksille antaa se, että puiden tyvitukin lopullinen laatu muotoutuu suureksi osaksi taimikko- ja riukuvaiheen aikana. Tämän työn tavoitteena oli tutkia **kasvupaikan viljavuuden** ja **kasvatustiheyden** vaikutusta mäntyjen oksikkuuteen sekä erikseen sekä yhdessä, jolloin saataisiin selville myös näiden tekijöiden mahdolliset yhdysvaikutukset (empiirinen osa). Simulointimallin avulla tutkittiin edelleen erilaisten **metsänkäsittelytoimenpiteiden** vaikutusta männyn laatukehitykseen (teoreettinen osa).

Nuorten mäntyjen ulkoisen laadun perusteella ei voida kuitenkaan tehdä lopullisia päätelmiä aikanaan saatavien tukkien laadusta. Kun oksikkuuden tunnuksena käytetään esimerkiksi elävien oksien läpimittaa, oksien vaikutus puun laatuun ei ole vielä loppunut eikä tyvitukin oksikkuus täysin määräytynyt. Tämä ei kuitenkaan kumoa sitä tosiasiaa, että nuorten puiden oksat ovat osa tulevan tyvitukin puuainetta vaikuttaen näin myöhemmin varttuneista puista saatavan sahatavaran laatuun (Kärkkäinen ja Uusvaara 1982).

Tutkimusaineisto oli puolukka- ja kanervatyypin osalta varsin kattava, mutta mustikkatyypiltä aineistossa ei ollut kovin tiheitä metsiköitä. Käenkaali-mustikkatyypin aineisto oli lisäksi pieni (3 metsikköä), mutta vertailuaineistona se erosi kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi (riskitaso 5-10 %) muista metsätyypeistä lähes kaikkien tarkasteltujen oksatunnusten suhteen.

Kanervatyyppiä lukuunottamatta aineisto edusti pelkästään istutusmänniköitä. Kanervatyypin metsiköihin sisältyi lisäksi luontaisesti uudistettuja metsiköitä, mutta niitä oli kuitenkin harvennettu, joten tässä suhteessa ne vastasivat muiden metsätyyppien puustoja. Nämä taimikoiden syntytapoihin ja kehityshistoriaan liittyvät erot on pidettävä mielessä vertailtaessa puiden oksikkuutta eri kasvupaikoilla, vaikka esimerkiksi Kärkkäinen ja Uusvaara (1982) eivät havainneetkaan mäntyjen syntytavan vaikuttavan niiden oksikkuuteen. Kanervatyypin aineisto edustaa lähinnä karun kasvupaikan vertailuaineistoa, sillä tällaisille kasvupaikoille mäntyä istutetaan hyvin vähän.

Simulointitulokset vastasivat puolukkatyypin kasvupaikalla tehtäviä toimenpiteitä, joten niiden soveltaminen muille kasvupaikoille vaatii kasvupaikkakohtaista tarkentamista. Sen sijaan puolukkatyypillä simulointimallin antamien tulosten tarkkuus oli hyvä erityisesti runkotuoremassojen suhteen (ks. luku 7.6).

Tutkimuksen empiirisessä osassa kasvupaikan viljavuutta kuvattiin puiden yläoksien neulasten ja maan pintakerroksen ravinnepitoisuuksilla. Näin voitiin välttää maastossa tehdyt metsätyyppien luokitusvirheet, joita esiintyy varsinkin

metsätyyppien raja-alueilla. Kasvupaikkojen suuren sisäisen viljavuusvaihtelun vuoksi esimerkiksi mustikka- ja puolukkatyypin kasvupaikoiksi luokitelluissa metsiköissä oksien läpimitat saattoivat olla lähes yhtä suuret.

Parhaiten elävien oksien läpimitat korreloivat neulasten ravinnepitoisuuksien, erityisesti neulasten typpipitoisuuden kanssa. Neulasten typpipitoisuuden käyttökelpoisuus puiden oksien läpimitan ennakoimiseen riippuu siitä, kuinka hyvin analysoidun aineiston ravinteisuusvaihtelu vastaa metsämaan yleistä ravinteisuus-vaihtelua. Neulastypen käyttökelpoisuuden arvioimiseksi kerättiin eri tutkimuksista taulukoihin 10.1 ja 10.2 arvoja samoista ravinnetunnuksista, joita käytettiin tässä tutkimuksessa. Vertailua tosin vaikeuttaa se, että ravinneanalyyseissä käytetyt perusaineistot ja menetelmät vaihtelevat tutkimuksesta toiseen.

Taulukko 10.1. Maan ravinnepitoisuus eri tutkimusten mukaan.
Table 10.1. Values for the nutrient concentrations of forest soil in different studies.

	Metsätyyppi Site type	N %	P	K mg/100g	Ca	Mg
Tämä tutkimus - This study						
	MT	3.96	46.24	91.33	57.32	221.34
	VT	3.92	63.46	82.31	50.22	165.37
	CT	2.60	28.67	40.34	12.52	73.19
Viro (1952)						
	MT	2.94	40.1	12.34	14.60	41.2
	VT	2.42	30.8	6.12	9.24	23.6
	CT	2.64				
Mälkönen (1974)						
	MT	5	9	37	113	
	VT	5	8	32	42	
	CT					
Lehtonen ym. (1976)						
	VT	1.1	15	70	34	36

Maan typpipitoisuus oli mustikka- ja puolukkatyypillä suurempi kuin Viron (1952) moreenimaille esittämä arvo. Kanervatyypillä maan typpipitoisuus vastasi Viron esittämää arvoa lajittuneen maan kanervatyypille (vrt. myös Urvas ja Erviö 1974, Lipas 1986). Maan kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat kuitenkin selvästi suurempia kuin Viron vastaavat arvot. Neulasten ravinnepitoisuudet sen sijaan näyttivät vastaavan likimain aiemmissa tutkimuksissa saatuja tuloksia. Tämän vuoksi on perusteltua olettaa, että neulasten ravinnepitoisuuksien suhteen saadut tulokset ovat myös laajemmin yleistettävissä koskemaan männyn tärkeimpiä kasvupaikkoja.

Taulukko 10.2. Neulasten ravinnepitoisuus eri tutkimusten mukaan.
Table 10.2. Values for the nutrient concentrations of needles in different studies.

	Metsä-tyyppi Site type	Pitoisuus - Content, % N	P	K	Ca	Mg
Tämä tutkimus - This study						
	MT	1.163	0.112	0.382	0.374	0.066
	VT	1.097	0.122	0.388	0.440	0.071
	CT	0.832	0.089	0.312	0.212	0.044
Mälkönen (1974)						
	MT	1.21	0.125	0.540	0.394	
	VT	1.20	0.130	0.455	0.280	
Lehtonen ym. (1976)						
	VT	1.12	0.276	0.508	0.217	0.062
Derome ym. (1986)						
	MT	1.22	0.150	0.491	0.228	0.112
	VT	1.25	0.147	0.494	0.227	0.108
	CT	1.15	0.127	0.503	0.229	0.099

Maalajin vaikutus oksien paksuuteen on yhteydessä kasvupaikkojen ravinteisuusvaihteluun siten, että maan hienojen lajitteiden osuuden kasvaessa maan typpipitoisuus kasvaa (Viro 1952, Kuusipalo 1984). Tämän vuoksi oksien paksuuntuminen hienojen lajitteiden osuuden kasvaessa ilmaisee typen saatavuuden paranemista ja neulasten korkeaa typpipitoisuutta. Tähän viittaa mm. se, että maan ja neulasten typpipitoisuuden välillä vallitsi tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ($r = 0.58$, $p < 0.01$). Täten maalaji ei yksin kovin hyvin selitä oksien paksuusvaihtelua, vaikka sillä voi olla merkitystä männyn laatukasvatukseen sopivien kasvupaikkojen valinnassa.

10.2. Männyn laatukasvatuksen menetelmät: suosituksia

Perinnölliset tekijät

Vaikka perinnöllisten tekijöiden vaikutus puiden oksikkuuteen jätettiin varsinaisesti tämän loppuraportin ulkopuolelle, ansaitsee se kuitenkin oman huomionsa kaiken lähtökohtana männyn laatukasvatuksen menetelmiä arvioitaessa. Siemen- ja taimimateriaalin valinta metsänviljelyssä tulee olemaan sitä tärkeämpää, mitä pidemmälle metsänjalostus etenee omalla sektorillaan. Vuokilan (1982) esittämä suositus on edelleen ajankohtainen: mikäli halutaan kasvattaa laadukasta sahapuuta, se edellyttää aina rodullisesti parhaan siemen- ja taimimateriaalin käyttöä.

Vellingin (1978, 1981) mukaan rungon suoruus ja kapeneminen (runkomuoto) sekä karsiutuminen ja oksakulma ovat voimakkaasti periytyviä ominaisuuksia. Toisaalta rungon oksikkuutta kuvaavat ominaisuudet (oksien paksuus, pituus ja lukumäärä kiehkuroissa) ovat selvästi heikommin periytyviä, ts. ympäristötekijät vaikuttavat enemmän näihin ominaisuuksiin (ks. myös Tigerstedt ja Velling 1985). Lisäksi laatuominaisuuksien välillä voi olla ikäviä sidonnaisuuksia: esimerkiksi mutkaisuus voi olla kytkeytynyt hieno-oksaisuuteen ja suureen oksakulmaan.

Kasvupaikka

Vaikka metsänjalostuksella voitaisiinkin tuottaa jatkuvasti entistä laadukkaampaa siemen- ja taimimateriaalia, jalostuksella ei kyetä kuitenkaan korjaamaan virheitä, joita saatetaan tehdä kasvupaikan valinnassa. Jos mäntyä istutetaan liian hyvälle kasvupaikalle (ts. männyn luontaisten kasvupaikkojen ulkopuolelle), kehittyy yleensä myös perinnöllisiltä ominaisuuksiltaan hyvä taimi oksikkaaksi (Velling 1978, 1981). Tässä tapauksessa ympäristötekijöiden vaikutus muodostuu siis puiden laatukehityksen kannalta perinnöllisiä tekijöitä tärkeämmäksi.

Kotimaisen männyn varhaiskehitystä erilaisilla kasvupaikoilla koskevissa tutkimuksissa (Varmola 1980, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982) on toisaalta havaittu, että männyn laatuerot eri kasvupaikoilla eivät välttämättä ole niin suuret kuin on oletettu. Käytännössä tehdyt silmävaraiset havainnot ovat kuitenkin johtaneet päätelmään, että männyn laatuongelma on sitä suurempi, mitä paremmasta kasvupaikasta on kysymys. Esimerkiksi Vuokila (1982) on esittänyt suosituksissaan männyn viljelemistä vain sen luontaisilla kasvupaikoilla, jolloin parhaat kasvupaikat (lehdot, lehtomaiset kankaat ja pellot) jäävät ilman muuta viljelyn ulkopuolelle.

Myös tämän tutkimuksen perusteella laadukkaan mäntysahapuun kasvatus on mahdollista vain karuimmilla kasvupaikoilla (huono mustikkatyyppi ja sitä sitä karummat metsätyypit). Kasvunopeuden hidastuessa puut kehittyvät jo luontaisesti korkealaatuisiksi, jolloin myös todellisen huippulaadun tavoitteleminen on realistista ja taloudellisesti kannattavaa mm. puuston pystykarsinnan avulla.

Metsikön kasvatustiheyden lisäämisellä ei voida täysin korjata kasvupaikan viljavuuden paranemisen aikaansaamaa puuston laadun heikkenemistä. Tämän tutkimuksen mukaan tärkein oksikkuuteen vaikuttava tekijä oli nimenomaan kasvupaikan viljavuus, joka määräsi puiden oksikkuuden yleistason. Puuston tiheyden avulla voitiin kuitenkin vaikuttaa oksien läpimittaan sitä tehokkaammin, mitä karummasta kasvupaikasta oli kysymys. Kun oksien paksuus rajoitettiin mallilaskelmissa tietyn suuruiseksi (esim. paksuin oksa $\leq$ 20 mm), kasvatustiheys lisääntyi selvästi sitä nopeammin, mitä viljavammalle kasvupaikalle siirryttiin (luku 5.6.). Kanervatyypillä oksien 20 mm:n läpimittaraja saavutettiin tiheydellä 2100, puolukka-, mustikka- ja käenkaali-mustikkatyypillä tiheyksillä 3700,

4100 ja 4800 ha^{-1}. Puolukkatyypin osalta tulos oli likimain sama kuin esimerkiksi Huurin ym. (1987) esittämä.

Nuorten mäntyjen oksien paksunemista rajoitetaan siis tehokkaimmin välttämällä männyn viljelyä sellaisilla moreenimailla, joilla on runsaasti tarjolla typpeä puiden tarpeeseen nähden. Käytännössä tämä tarkoittaa männyn viljelemistä vain sen luontaisilla kasvupaikoilla, joiden maaperä koostuu karkeista lajitteista.

Perustamis- ja kasvatustiheys

Lukuisat tutkimukset nuorten mäntyjen oksikkuudesta (mm. Heikinheimo 1953, Heiskanen 1954, Nylinder 1959, Heiskanen 1965, Uusvaara 1974, 1983, 1985, Persson 1975, 1976, 1977, Varmola 1980, Kellomäki ja Tuimala 1981, Jokinen ja Kellomäki 1982, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Kellomäki 1984, Saksa ja Lyly 1984, Lähde 1985, Kellomäki ja Väisänen 1986, Huuri ym. 1987, Turkia ja Kellomäki 1987) osoittavat yhdenmukaisesti, että männyn teknisen laadun kannalta on tärkeää, miten nopeasti taimikon latvusto sulkeutuu, oksien paksuuskasvu hidastuu ja oksien kuoleminen alkaa. Tähän vaikuttaa eniten metsikön perustamis- ja ennen kaikkea nuoruusvaiheen kasvatustiheys. Laatukehityksen kannalta oksien paksuuskasvunopeuden rajoittaminen on siis tarpeen vain metsikön nuoruusvaiheessa, jolloin taimikon varhaistiheyden on oltava mahdollisimman suuri.

Erityisen suurta mäntyjen oksikkuus on harvoissa taimikoissa tuoreilla kasvupaikoilla (Kärkkäinen ja Uusvaara 1982). Hyvissä valaistusolosuhteissa oksien paksuuskasvun tiedetään voimistuvan (Kellomäki 1981a) ja runsaiden käytettävissä olevien ravinteiden lisäksi puiden kasvua kiihdyttää usein vielä suuri taimikuolleisuus puuston nuoruusvaiheessa: taimien elossasäilyminen 14 - 16 vuoden kuluttua viljelystä saattaa olla pahimmassa tapauksesa vain noin 30 % viljelytaimien lukumäärästä (ks. esim. Leikola ym. 1977).

Vaikka puuston kasvatustiheyden vaikutus männyn oksien läpimittaan jäi tämän tutkimuksen mukaan selvästi pienemmäksi kuin kasvupaikan viljavuuden vaikutus, puuston viljely- ja kasvatustiheydellä on kuitenkin selvä vaikutus oksien kasvuun. Erityisesti paksuimman elävän oksan läpimittaa tarkasteltaessa, puuston tiheys vaikutti lähes yhtä paljon oksien paksuuteen kuin kasvupaikan viljavuus. Paksuin oksa indikoi puolestaan luotettavasti sekä sahatukkien että niistä saatavan sahatavaran laatua (Kärkkäinen 1980, Uusvaara 1985), joten tulosten perusteella kasvatustiheyttä lisäämällä on olemassa hyvät mahdollisuudet vaikuttaa tulevan sahapuun laatuun, mikäli männyn kasvupaikka ei ole liian rehevä (huonoa MT:tä paremmat kasvupaikat).

Tässä työssä puuston tiheys vaikutti oksien läpimittaan kaikilla metsätyypeillä likimain samalla tavalla: oksien läpimitta pieneni hidastuvasti puuston tiheyden kasvaessa. Tulos on sama kuin monissa aiemmissa tutkimuksissa saatu (esim. Varmola 1980, Kellomäki ja Tuimala 1981, Jokinen ja

Kellomäki 1982, Huuri ja Lähde 1985, Huuri ym. 1987). Puuston tiheneminen vaikutti eniten kanervatyypin kasvupaikoilla, joilla oksien läpimitta pieneni johdonmukaisesti yli koko tutkitun tiheysvaihtelualueen. Puuston tiheyden vaikutus oksikkuuteen näyttää siten olevan sitä selväpiirteisempää, mitä karummasta kasvupaikasta on kysymys. Tulos on yhdenmukainen Kärkkäisen ja Uusvaaran (1982) tulosten kanssa.

Empiirisen aineiston analyysin (ks. luku 5.6.) perusteella näyttää siltä, että oksien paksuuden rajoittamiseksi tietyn suuruiseksi tarvitaan selvästi sitä suurempi viljelytiheys, mitä viljavammasta kasvupaikasta on kysymys. Käytännössä tämä tarkoittaa viljely- ja kasvutustiheyksien porrastamista metsätyypeittäin entistä selvemmin. Jos 20 mm:n oksaläpimittaa (latvuksen paksuin elävä oksa) pidetään kriittisenä rajana puuston laadun kannalta, riittävät viljelytiheydet olisivat käsillä olevan työn perusteella **kanervatyypillä** noin **2000** ja **puolukka-** sekä **mustikkatyypillä** noin **4000 ha^{-1}**. Hyvälaatuisen männyn kasvatus esimerkiksi käenkaali-mustikkatyypiä vastaavilla kasvupaikoilla on tuskin kannattavaa tai edes mahdollista.

Metsänuudistamismenetelmä

Puuston suuri alkutiheys luo perustan hyvälaatuisten mäntyjen kasvattamiseksi. Suuri lähtötiheys on helpoimmin ja edullisimmin saavutettavissa luontaisen uudistamisen keinoin, sillä perustamistiheyden nostaminen esimerkiksi istutustiheyksiä lisäämällä ei ole taloudellisesti mahdollista. Toisaalta männyn luontainen uudistaminen onnistuu kaikkein parhaiten karuimmilla kasvupaikoilla (ks. esim. Hänninen ym. 1972, Kinnunen ja Mäki-Kojola 1980), jolloin myös kasvupaikan puolesta on olemassa edellytykset laatupuun kasvatukselle. Vuokila (1982) pitää myös kylvöä sille sopivilla kasvupaikoilla istutusta suositeltavampana.

Vaikka luontainen uudistaminen ja kylvö antavat mahdollisuuden ylitiheyden käyttöön männyn laatukehityksen parantamiseksi, uudistamistavalla sinänsä ei ole havaittu olevan vaikutusta mäntyjen oksikkuuteen silloin, kun rungot ovat muuten kasvaneet samanlaisissa olosuhteissa (Kärkkäinen ja Uusvaara 1982). Uudistamistapaa ratkaisevampi tekijä runkojen oksikkuuden kannalta on siten puiden kasvunopeus. Hyvällä kasvupaikalla ja harvassa asennossa myös luontaiset taimet saattoivat kehittyä nopeakasvuisina paksuoksaisiksi. Hyvälaatuinen luontaisesti syntynyt taimikkokin voidaan siis helposti pilata liian varhaisella ja voimakkaalla taimikonharvennuksella.

Ylitiheys saattaa tosin aiheuttaa ainespuun kasvutappioita, jotka ilmenevät myöhemmin ensiharvennusvaiheessa kuitu- ja tukkipuun tuotoksen vähenemisenä. Puiden järeytymisen hidastuessa joudutaan varautumaan lisäksi kiertoajan merkittävään pidentymiseen (Vuokila 1982). On siis todennäköistä, että ylitiheydestä ei voida saada täyttä hyötyä puuston laatukehityksen kannalta ilman, että jouduttaisiin samalla luopumaan

puuntuotannon määrällisistä tavoitteista. Ylitiheys saattaa myös lisätä lumi- ja myrskytuhojen riskiä.

Edellä todetusta seuraa, että männyn laatuongelmaa ei voida ratkaista yksin käyttämällä metsänuudistamisessa menetelmää, joka johtaa mahdollisimman suureen alkutiheyteen. Tämän vuoksi ylitiheyden käyttö puuston laadun parantajana on perusteltua vain silloin, kun tiheydellä voidaan kaikkein tehokkaimmin vaikuttaa oksien kasvuun, ts. taimikon nuoruusvaiheessa. Huippulaatua tavoiteltaessa joudutaan turvautumaan lisäksi muihin laatukasvatuksen menetelmiin, mm. puiden pystykarsintaan (ks. myöhemmin).

Taimikonhoito

Taimikonhoito rajoittuu istutusmänniköissä yleensä vain koivun perkaamiseen. Perkausta ei tule kuitenkaan kiirehtiä liiaksi, vaan myös lehtipuusekoituksen avulla on pyrittävä lisäämään taimikon varhaistiheyttä ja näin heikentämään männyn oksien kasvua. Tässä tutkimuksessa koivusekoituksen havaittiin vähentävän männyn oksien paksuuskasvua nimenomaan puuston kokonaistiheyden lisäyksen kautta (ks. luku 5.7). Esimerkiksi Vuokilan (1982) mukaan tavoitteena tulisikin olla koivusekoituksen säilyttäminen ainakin puuston ensiharvennusvaiheeseen saakka.

Erityisesti rauduskoivun aiheuttaman voimakkaan kilpailun (varjostus, juuristokilpailu) vuoksi männyn kasvu voi kuitenkin helposti jäädä koivun jalkoihin, mikäli taimikon annetaan kehittyä liian vapaasti. Mielikäisen (1980) tuotostutkimusten mukaan ainoastaan lievä koivusekoitus (≤ 20 % puuston tilavuudesta) joko ei vaikuta ollenkaan männyn kasvuun tai hieman parantaa sitä, sen sijaan suurempi osuus heikentää männyn kasvua. Nuoressa sekametsikössä koivusekoitus saa olla hieman suurempi kuin vanhemmassa ilman että syntyy kasvutappioita.

Tuotoksen kannalta ei ole siis mitään syytä täysin poistaa rauduskoivusekoitusta istutusmänniköistä, mikäli on odotettavissa, että männyn laatukehitystä voidaan näin parantaa (vrt. myös tästä tutkimuksesta saatu tulos). Perkauksessa kasvamaan jätettävien koivujen tulee kuitenkin olla riittävän pieniä, jotta ne eivät esimerkiksi männyn latvuksia piiskaamalla aiheuta mekaanisia vaurioita ja heikennä laatukehitystä. Mielikäisen (1980) mukaan männylle tulee antaa metsikön syntyvaiheessa koivuun nähden noin 7 - 8 vuoden etumatka.

Havupuutaimikon harvennus tulee kysymykseen yleensä vain luontaisesti syntyneissä ja kylvetyissä taimikoissa. Taimikon harvennukseen ja kasvatustiheyteen liittyvissä tutkimuksissa (mm. Eklund 1956, Carbonnier 1964, Heiskanen 1965, Vuokila 1972, 1982, Elfving 1975, Parviainen 1978, Varmola 1980, 1982, Kellomäki ja Tuimala 1981, Norokorpi 1985) on kaikissa päädytty yhtäpitävästi samaan lopputulokseen: mitä aikaisemmin ja voimakkaammin taimikko harvennetaan, sitä heikommaksi muodostuu puuston tekninen laatu. Yleensä laadun kannalta on vielä tärkeämpää nimenomaan harvennuksen ajankohta, ei niinkään voimakkuus (Vuokila 1982). Sama tulos saatiin myös tässä

tutkimuksessa simuloitaessa alkutiheydeltään erilaisten metsiköiden harvennuksia taimikkovaiheessa (ks. luku 8.3).

Luontaisesti syntyneen tai kylvetyn taimikon harvennusta ei ole siten syytä kiirehtiä, koska tällöin on olemassa hyvät edellytykset puuston laadun säätelyyn ylitiheyttä käyttäen. Tosin hyvä laatu on tässäkin tapauksessa saavutettavissa osittain muiden puuntuotannollisten tekijöiden (määrä, järeys) kustannuksella. Yleisenä ohjeena taimikon harvennuksessa pyrittäessä laadukkaan puuston kasvatukseen on ollut, että männyn taimikon ensimmäinen harvennus tulisi tehdä vasta silloin, kun oksat ovat kuolleet koko tyvitukin matkalta. Tällöin ensimmäinen voimakas harvennus olisi vasta ensiharvennus 8 - 10 metrin pituudessa. Jos harvennus tehdään tätä ennen, alkuperäisestä tiheydestä ei saada laadun kannalta täyttä hyötyä.

Myös tämän tutkimuksen tietokonesimuloinneissa (puolukkatyyppiä vastaavalla kasvupaikalla) havaittiin, että mikäli männyn taimikon alkutiheys on 3000 ha^{-1} tai pienempi tulisi **taimikonkäsittely jättää** laatukehityksen turvaamiseksi **kokonaan pois**. Laatukriteerinä käytettiin tällöin rungon oksattoman vaipan pinta-alaa. Taimikonkäsittelyn hylkääminen hidasti kuitenkin samalla puiden järeyskehitystä siten, että simulointijakson lopussa harventamattomista puista sahattujen tukkien (5.2 m) latvaläpimitta oli 3 - 15 % pienempi kuin kaikkein järeimmiksi kehittyneiden puiden.

Sen sijaan alkutiheyksillä 4000 ja 5000 ha^{-1} **paras ajankohta taimikonkäsittelylle** oli puuston laadun kannalta harvennus noin **5 metrin** pituusvaiheessa tiheyteen 2000 ha^{-1}. Tulos on sama kuin esimerkiksi Tapion ... (1986) ohjeissa (s. 198) annettu suositus. Tätä myöhäisemmät käsittelyt lisäsivät edelleen oksattoman vaipan osuutta, mutta puiden järeyskehitys alkoi selvästi taantua, jolloin puuston kokonaistuotos jäi pienemmäksi kuin kaikkein parhaimmassa käsittelyssä (maksimi järeys, minimi oksikkuus).

Kasvatushakkuut (ensiharvennus)

Taimikon käsittelyn lisäksi puuston laatukehitykseen vaikuttaa kasvatushakkuista merkittävimmin ensiharvennus. Myöhemmillä harvennuksilla ei puiden teknistä laatua voida edistää muuten kuin heikkolaatuisia puita poistamalla (laatuharvennus). Tärkeimpiä kasvatustoimenpiteitä puiden laatukehityksen kannalta ovat siis ns. hoitovaiheen (Vuokila 1980) toimenpiteet. Myös ensiharvennuksessa puuston laadun kannalta on tärkeintä harvennuksen ajankohta ja vasta sen jälkeen voimakkuus. Ensiharvennuksen siirtämisestä myöhemmäksi on hyötyä vain silloin, kun metsikköä on alusta alkaen kasvatettu niin tiheänä, että oksien kasvu on hidastunut ja karsiutuminen alkanut.

Tämän tutkimuksen tietokonesimuloinneissa saatiin alkutiheyksillä 1000 - 3000 ha^{-1} (ei taimikonkäsittelyä) laadun kannalta **parhaaksi ensiharvennuksen** ajankohdaksi **8 - 10 metriä**. Tällöin puusto harvennettiin alkutiheydestä riippuen joko

tiheyteen 900 tai 1200 ha^{-1}. Sen sijaan alkutiheyksillä **4000 - 5000 ha^{-1}**, jolloin taimikkoa harvennettiin ensimmäisen kerran jo 5 metrin pituudessa, **paras** ajankohta **ensiharvennukselle** oli noin **12 metriä**. Saadut tulokset ovat puolukkatyypin kasvupaikkoja koskien hyvin pitkälle samansuuntaisia kuin esimerkiksi Vuokilan (1982) esittämät suositukset männyn laatukasvatuksen tehostamiseksi.

Koska puiden tekninen laatu määräytyy suurimmaksi osaksi jo hoitovaiheen aikana, myöhemmissä kasvatushakkuissa on tärkeintä huolehtia siitä, että harvennusten avulla estetään latvusten liiallinen supistuminen ja ylläpidetään laadultaan hyviksi kehittyneiden puuyksilöiden kasvua mahdollisimman pitkään. Näin varmistetaan, että alkuperäinen tavoite tuottaa laadukasta mäntypuuta ei valu hukkaan, vaan puuston parempi laatutaso voidaan hyödyntää myöhemmin kasvavina hakkuutuloina.

Pystykarsinta

Pystykarsinnalla, jossa poistetaan kuolleet ja osa elävistä alaoksista, voidaan jouduttaa muutoin hitaasti tapahtuvaa oksien karsiutumista ja oksattoman puuvaipan muodostumista. Karsinnan vaikutuksia puun kasvuun ja puuaineen laatuun on käsitelty useissa tutkimuksissa (mm. Heikinheimo 1953, Vuokila 1960, 1968, 1982, Heiskanen ja Taipale 1963, Heiskanen 1965) ja se on todettu tehokkaaksi keinoksi pyrittäessä tuottamaan huippulaatuista mäntysahapuuta jo olemassa olevista taimikko-ja riukuvaiheen männiköistä.

Kuitenkin myös karsittavaksi aiottua metsikköä on kasvatettava nuoruusvaiheesta alkaen riittävän tiheänä (Kellomäki 1981b, Varmola 1982), sillä karsinnalla ei voida korjata muita laatukasvatukseen tähtäävässä metsänhoitoketjussa tehtyjä virheitä. Erityisesti istutusmänniköissä karsiminen on välttämätöntä, koska viljelytiheyksiä ei voida kustannussyistä olennaisesti lisätä nykyisestä ($\leq$ 3000 ha^{-1}). Karsittavien oksien maksimiläpimittana pidetään yleensä 20 - 30 mm (Varmola 1980). Tässä tutkimuksessa paksuimman elävän oksan läpimitta puolukkatyyppiä vastaavalla kasvupaikalla jäi 20 mm:n alapuolelle puuston tiheydellä 2100 ha^{-1} (ks. myös aikaisemmin kohdasta "Kasvupaikka"). Huurin ym. 1987 tutkimusaineistossa (viljelytiheys noin 2000 ha^{-1}) paksuimman elävän ja kuolleen oksan läpimitaksi saatiin vastaavalla kasvupaikalla 25 mm ja 20 mm. Tutkitut metsiköt olivat kuitenkin vielä liian nuoria ainakin yksivaiheiseen karsintaan. Tämän vuoksi sopivaa karsintaikää ja -vaihettaa odoteltaessa oksat ehtivät kasvaa lisää paksuutta verrattuna tässä työssä esitettyihin arvoihin.

Vuokilan (1982) mukaan (ks. myös Tapion ... (1986), s. 210) karsinta on tehtävä istutusmänniköissä kahdessa vaiheessa, jotta se olisi riittävän tehokasta. Tämän tutkimuksen tietokonesimuloinneissa, jotka vastasivat puolukkatyypin kasvupaikalla tehtäviä toimenpiteitä, päädyttiin samanlaisiin tuloksiin. Alkutiheyksillä **1000 - 2500 ha^{-1}** antoi selvästi parhaan tuloksen puuston laatukehityksen kannalta **kaksivaiheinen**

karsinta. Karsinnan ensimmäinen vaihe tehtiin 6 - 8 ja toinen vaihe noin 13 **metrin** pituudessa. Tällä tavalla voitiin tuottaa helposti jo alkutiheydellä 2500 ha^{-1} oksattomia pintalautoja ja sydäntavaraa (50 x 100 mm), jonka laatuluokka oli I. Sen sijaan tätä alhaisemmilla tiheyksillä sahatavaran laatuluokka pysyi karsinnasta huolimatta edelleen kvinttana tai sekstana.

Tiheyksillä 3000 - 5000 ha^{-1} parhaan tuloksen antoi **yksivaiheinen karsinta**, koska puiden runkojen puhdistuminen oksista oli edennyt pitkälle jo ilman karsintaakin. Tiheänä syntyneiden metsiköiden ainutkertainen karsinta tehtiin välittömästi ensiharvennuksen jälkeen noin 13 **metrin** pituudessa. Karsinnassa poistettiin tässä tapauksessa 40 % elävistä oksakiehkuroista ja kaikki kuolleet oksat. Puuston järeyskehityksen kannalta karsintavoimakkuus ja karsinnan ajankohta vaikuttivat samansuuntaisesti: mitä voimakkaammin ja aikaisemmin puita karsittiin, sitä enemmän taantui puiden kasvu ja sitä pienemmäksi jäi myös puuston kokonaistuotos (laadun ja järeyden suhde). Simuloinneissa käytetty karsintavoimakkuus on kuitenkin nykykäytäntöä huomattavasti voimakkaampi, sillä karsinnassa poistetaan tavallisesti vain pari alinta, kaikkein heikentyneintä oksakiehkuraa.

Tiheyksillä 3000 - 4000 ha^{-1} myös kaksivaiheinen karsinta (6 - 8 sekä ja 13 metrin pituudessa) lisäsi rungon oksatonta vaippaa käsittelemättömään metsikköön verrattuna. Parhaimpaan yksivaiheiseen karsintaan (13 metrin pituudessa) verrattuna puiden järeyskehitys tosin hieman hidastui. Kahteen kertaan karsitun metsikön puista sahatun 5.2 metrin pituisen tukin latvaläpimitta oli kuitenkin vain noin 2 % pienempi kuin kertaalleen karsitusta metsiköstä sahatun. Tämän vuoksi aktiivisen metsänomistajan olisi siten mahdollista ja suositeltavaakin käyttää **kaksivaiheista karsintaa** ilman suurempia järeyskehitystappioita **myös** sellaisissa **metsiköissä**, joiden **kasvatustiheys** on **normaalia viljelytiheyttä suurempi**. Samalla voitaisiin varmistaa todella huippulaatuisen sahatavaran tuotanto, koska myös tyvitukin sisäosa saataisiin intensiivisen karsinnan ja hyvän luontaisen karsiutumisen ansiosta mahdollisimman vähäoksaiseksi.

Lannoitus ja kiertoajan pidentäminen

Laatukasvatuksen viimeisenä lenkkinä noin 10 - 15 vuotta ennen päätehakkuuta voidaan käyttää vielä lannoitusta, jonka avulla lisätään teknisesti hyvälaatuisten puiden järeytymistä, ts. oksatonta pintapuuvaippaa. Vaihtoehtona päätelannoitukselle tai sen rinnalla laatupuun tuotantoa voidaan tehostaa myös pidentämällä metsikön kiertoaikaa - oksaton ja korkealaatuinen tukkipuusto on sitä arvokkaampaa, mitä vanhemmaksi ja järeämmäksi se tulee. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että metsän terveydentila on muutoin moitteeton.

Esimerkiksi Vuokilan ja Väliahon (1980) viljelymetsiköiden kasvatusmalleja esittelevän tutkimuksen mukaan tukkipuun tuotos lisääntyy Etelä-Suomen puolukka- ja mustikkatyypin männiköissä noin 20 %, mikäli kiertoaikaa jatketaan 10 vuotta

nykyisten ohjeläpimittojen (ks. Yksityismetsien ... 1981) saavuttamisen jälkeen. Erityisen arvokasta kiertoajan loppuvaiheen tuotoksen lisäys on karsituissa metsiköissä.

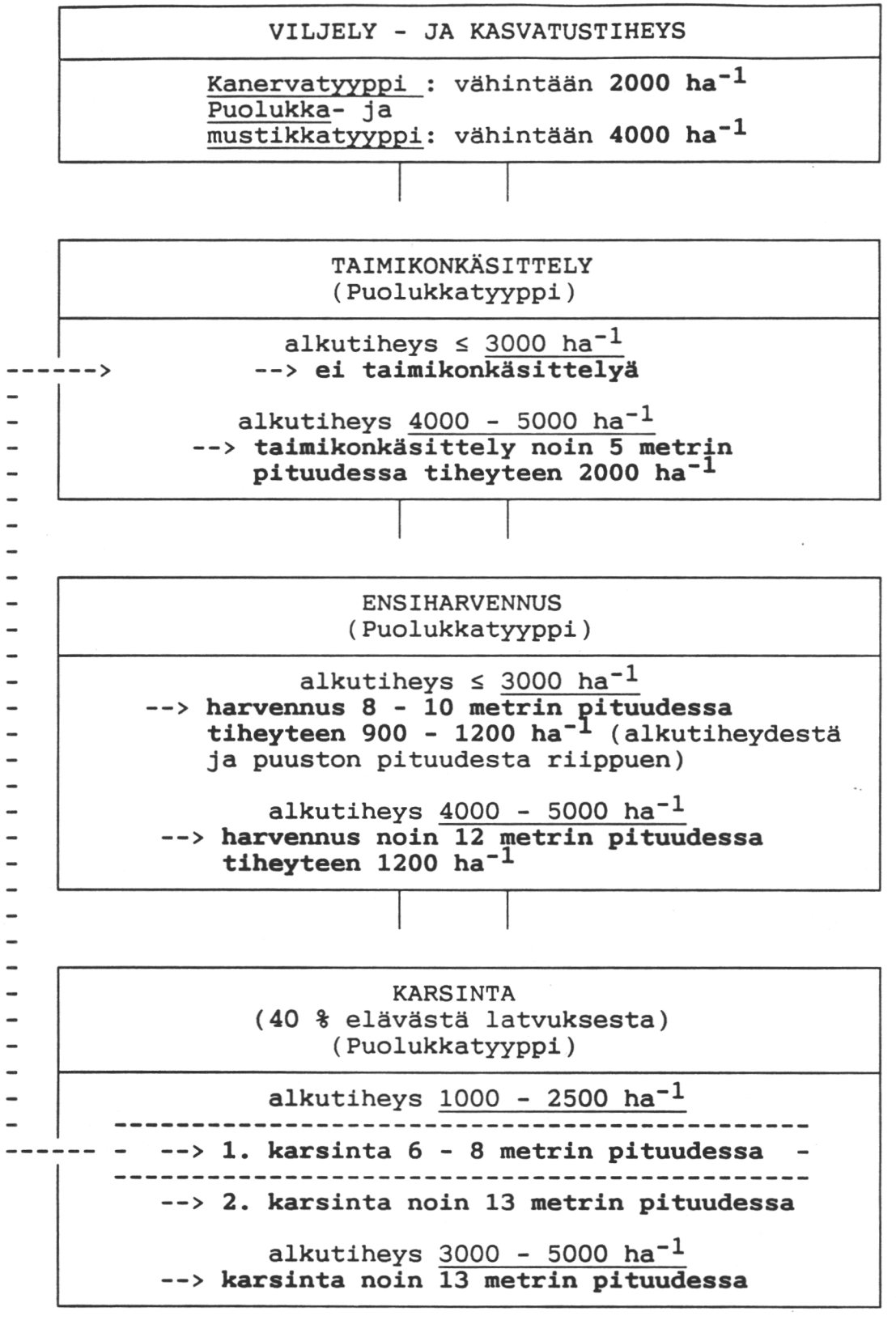
Päätelannoituksesta aiheutuva vuosilustojen leveneminen puiden nopeutuneen kasvun seurauksena ei vaikuttane oleellisesti puun lujuusomonaisuuksiin (Vuokila 1972, 1982). Esimerkiksi Saikku (1975) havaitsi, että 100 - 200 kg suuruinen typen lisäys hehtaaria kohti vähensi männyn puuaineen tiheyttä noin 4 %. Hyvälaatuista metsikköä voidaan lannoittaa jo aikaisemminkin kasvatushakkuiden alettua, kunhan puustoa ei lannoiteta taimikkovaiheessa, jolloin laatukehitys kärsii helposti.

Kuten muutkin laatukasvatuksen menetelmät, myös lannoitus ja kiertoajan pidentäminen edellyttävät, että männikköä on nuoruusvaiheesta alkaen kasvatettu riittävän tiheänä. Erityisesti paksut kuivat oksat heikentävät suuresti esimerkiksi lannoituksella lisätyn oksattoman pintapuuvaipan arvoa, mikäli oksien kasvua ei ole saatu hidastumaan ja kuolleita oksia karsiutumaan tarpeeksi varhain jo ennen lannoitusta.

10.3. Männyn laatukasvatuksen menetelmät: toimenpiteiden ketjutus

Kuvassa 10.1. esitetään pääkohdat edellä kuvatuista männyn laatukasvatuksen menetelmistä ja suosituksista. Kaavion laadinnan tavoitteena oli kuvata mahdollisimman yksinkertaisesti sitä, miten eri kasvatustoimenpiteet on yhdistettävä toisiinsa hyvälaatuisen sahapuun kasvattamiseksi. Viljely- ja kasvatustiheyden osalta suositukset perustuvat tämän tutkimuksen empiirisiin tuloksiin, jolloin puiden laatukriteerinä pidettiin 20 mm:n oksanpaksuutta (latvuksen paksuin elävä oksa). Toimenpidesuositukset laadittiin tietokonesimulointien pohjalta ja ne vastaavat puolukkatyypin kasvupaikoilla tehtäviä harvennuksia ja karsintoja. Puiden laatu arvioitiin tällöin suoraan rungoista saaduista saheista. Puustonkäsittelyä koskevissa suosituksissa sovellettiin voimassa olevia yksityismetsien käsittelyohjeita pyrkien ensisijaisesti **korkealaatuisen** mäntysahapuun kasvattamiseen.

Suositusten lähtökohtana on käyttää hyväksi puuston suuri alkutiheys mahdollisimman pitkään. Käytännössä tämä tarkoittaa harvennuksien lykkäämistä niin pitkälle kuin se puuston järeyskehityksen kannalta on järkevää. Puita kasvatetaan nuoruusvaiheessa tiheässä laatukehityksen turvaamiseksi ja vasta myöhemmin, kun tyvitukki on jo karsiutunut oksista, puustoa aletaan järeyttää harvennuksilla. Hoitovaiheen viimeisenä lenkkinä on puuston pystykarsinta, jolla varmistetaan tyvitukin korkea laatu. Aktiivinen metsänomistaja voi halutessaan käyttää kaksivaiheista karsintaa myös tiheissä metsiköissä ($\geq$ 2500 ha^{-1}), mikäli tavoitteena on tuottaa todella huippulaatuista sahatavaraa.



Kuva 10.1. Männyn laatukasvatus.

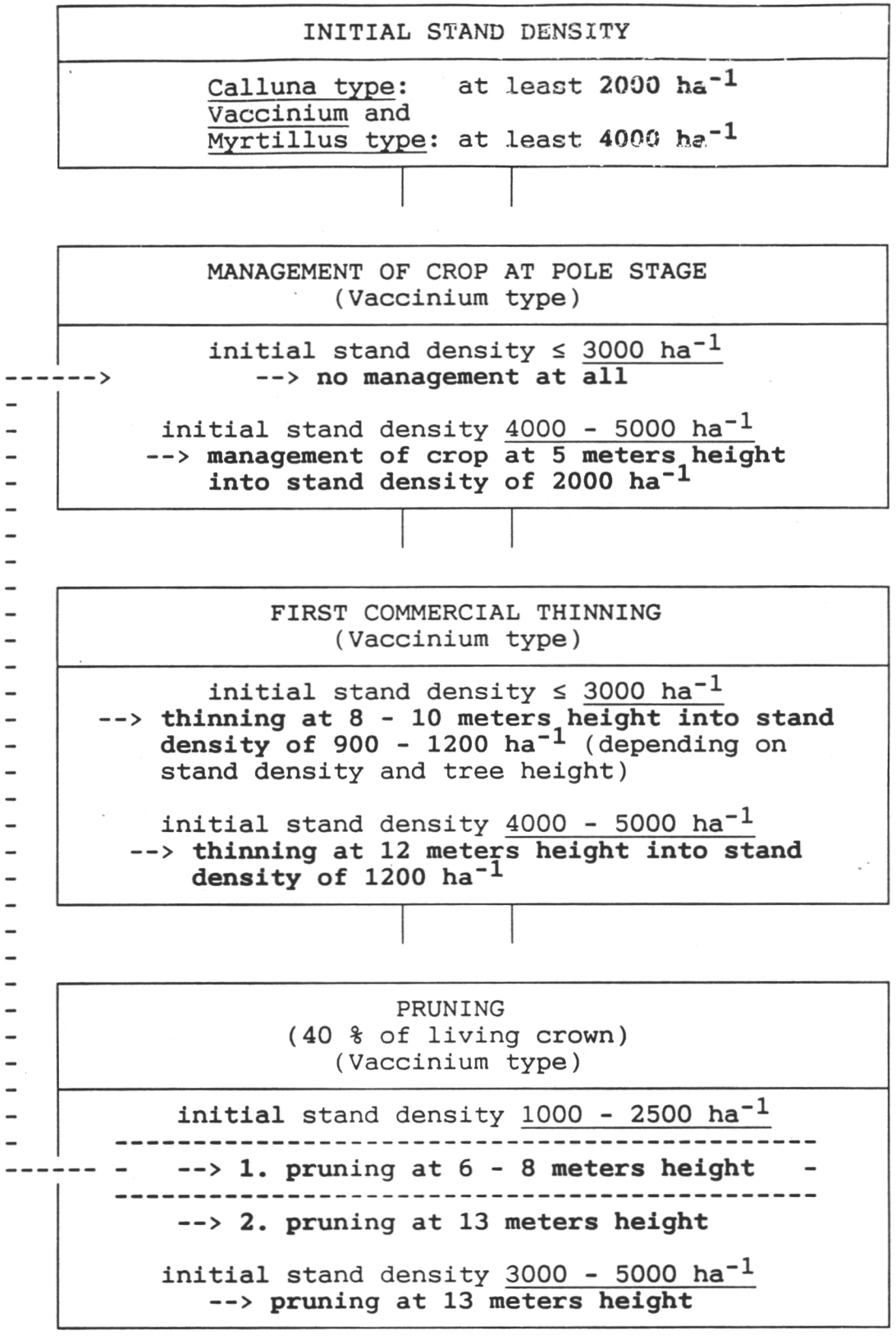


Fig. 10.1. Management of Scots pine for high quality timber.

11. YHTEENVETO - SUMMARY

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat. **Oksien syntymisnopeuteen** (oksien lukumäärä ylimmässä oksakiehkurassa) ja oksien kuolemiseen sekä karsiutumiseen vaikuttivat puuston tiheys ja latvuksen valaistusolot siten, että viljavilla kasvupaikoilla ja vallitsevissa puissa oli enemmän oksia kuin karuilla kasvupaikoilla ja vallituissa puissa. **Oksien kuoleminen** väheni aluksi oksiston potentiaalisen kasvunopeuden lisääntyessä, kunnes oksatiheys saavutti kasvuympäristön kapasiteetin: oksien syntymisnopeuden kasvaessa myös oksien kuoleminen kasvoi, koska oksien kertyminen latvukseen nopeutui ja oksien välinen kilpailu lisääntyi.

Oksien keskiläpimitta ja latvuksen **paksuimman oksan** (elävä, kuollut) **läpimitta** kytkeytyi kiinteästi kasvupaikan viljavuuteen: eniten oksien läpimitan vaihtelusta selitti yleensä neulasten typpipitoisuus (34 - 67 %), mutta myös maaperän hienojen lajitteiden kasvava osuus lisäsi selvästi varsinkin nuorempien oksien läpimittoja. **Metsätyyppi** sinänsä ennakoi huonosti oksien läpimitan vaihtelua, sillä oksien paksuus vaihteli suuresti metsätyypeittäin: huonoilla mustikkatyypin ja hyvillä puolukkatyypin kasvupaikoilla oksien paksuus oli likimain yhtä suuri. Oksien läpimitat pienenivät **puuston tiheyden** kasvaessa erityisesti kanervatyypin kasvupaikoilla, mutta muilla metsätyypeillä kasvupaikkojen sisäinen viljavuusvaihtelu aiheutti suurta vaihtelua oksien paksuudessa: kasvupaikan viljavuus määräsi siten puiden oksikkuuden yleistason. Männyn oksien keskiläpimitta pieneni **mäntykoivusekametsikössä**, kun mäntyjen ja koivujen välinen etäisyys pieneni ja puiden välinen kilpailu kasvoi.

Oksakulma oli viljavilla kasvupaikoilla pienempi kuin karuilla, sen sijaan puuston tiheydellä ei ollut vaikutusta oksakulman suuruuteen - rungon paksuimpien oksien perusteella kanervatyypin metsiköt olivat aina karsintakelpoisia, mutta heti tätä viljavimmilla kasvupaikoilla (VT, MT) runkojen karsinta olisi ollut mahdollista vain tarkan koko- ja laatuvalinnan pohjalta. **Vuosiluston leveys** kasvoi ja **kesäpuuosuus** laski selvästi kasvupaikan viljavuuden parantuessa siirryttäessä kanervatyypiltä käenkaali-mustikkatyypille. Vastaavasti **runkojen kuiva-tuoretiheys** oli suurin kanervatyypin ja pienin käenkaali-mustikkatyypin metsiköissä. Em. laatuindikaattoreiden yhteys puuston tiheyteen oli sen sijaan löyhä.

Puiden kasvutila (latvusprojektio) puoliintui jokaista puuston tiheyden kaksinkertaistumista kohti, mutta latvusprojektion suuruus riippui myös puiden metsikköasemasta. Vallitsevilla puilla oli aina suhteellisesti enemmän kasvutilaa kuin vallituilla puilla, joten puuston läpimittajakauma vaikutti suuresti metsiköstä saatavien puiden laatuun (oksikkuuteen).

Mitä aikaisemmin ja voimakkaammin puusto **harvennettiin** taimikko- tai ensiharvennusvaiheessa, sitä suurempi oli runkojen oksikkuus ja sitä heikompi rungoista saadun sahatavaran laatujakauma - harvennus alensi eniten runkojen laatua suurilla alkutiheyksillä ($\geq$ 2500 ha^{-1}). **Karsinnasta** oli eniten hyötyä alhaisilla kasvatustiheyksillä ($\leq$ 2500 ha^{-1}), jolloin karsinta pienensi tehokkaasti runkojen oksikkuutta ja paransi sahatavaran laatua - toisaalta kaikkein parhaaseen tulokseen päästiin männyn teknisen laadun kannalta tiheissä puustoissa ($\geq$ 2500 ha^{-1}), joissa puiden laatu oli jo luontaisesti hyvä. **Karsinnan ja harvennuksen yhdistäminen** pienensi runkojen oksikkuutta ja paransi sahatavaran laatujakaumaa pelkästään harvennettuun metsikköön verrattuna, mutta pelkästään karsittuun metsikköön verrattuna tulos oli päinvastainen: karsinnalla ei siten täysin voitu eliminoida harvennuksen aiheuttamaa laadun heikkenemistä.

The main results of the study were as follows. **The birth rate** (the number of branches at the uppermostst whorl), the death and the self-pruning of branches were influenced by the stand density and the light conditions in the crown, so that dominant trees on the rich sites had more branches than the dominated trees on the poor sites. **The dying of branches** decreased at first when the potential growth rate of branches was increasing, but when the branch density of the crown reached the capasity of the growth environment, the dying of branches began to increase, too.

The mean diameter of branches as well as **the diameter of the thickest branch** (living, dead) of the crown were closely related to the site fertility: the nitrogen concentration of the needles composed most (34 - 67 %) of the variability of the branch diameter, but also the share of the silt in soil had a clear effect on the branch diameter, especially on the mean diameter of the younger branches. **The site type** alone was a poor predictor of the branch diameter: the within-site variability of the site fertility resulted in the branch diameter being nearly the same on poor sites of Myrtillus and rich sites of Vaccinium types. The branch diameter was inversely related to the **stand density**, especially on the sites of Calluna type: on other sites this relationship was obscured by the within-stand variability of the site fertility. When pine and birch were **grown mixed**, the mean diameter of the branches of pine decreased.

The branch angle was smaller on rich sites than on poor sites, but the stand density had not a clear effect on this one - only the sites of Calluna types were fit for pruning, as the quality of stems was indicated by the diameter of the thickest branch. **The width of annual ring** increased and **share of late wood** decreased when site fertility was getting better. On the other hand **the basic density of stems** was greatest on sites of Calluna types and smallest on the sites

of Oxalis-Myrtillus types - the stand density had not a clear effect on these quality indicators.

The growing space (the crown projection) is halved each time the stand density doubles, but the area of the crown projection is also related to the position of individual trees. Dominant trees have always greater growing space than dominated trees, therefore the diameter distribution of the stand greatly affects branchiness.

Thinning, when done early and strongly, increased clearly the branchiness of stems and decreased the quality of sawn pieces: this was especially true when the initial stand density was great ($\geq$ 2500 ha^{-1}). The branchiness of stems was most decreased and the quality of sawn pieces most improved by **pruning** in a stand of wide spacing ($\leq$ 2500 ha^{-1}) - in narrowly-spaced stands ($\geq$ 2500 ha^{-1}) the effect of pruning was to a great extent offset by the effect of stand density: self-prunig of stems was naturally good. **Pruning** and **thinning together** decreased the branciness of stems and improved the quality of sawn pieces when compared to the stand only thinned, but when the stand only pruned was concerned the result was opposite - it was also apparent that pruning could not quite eliminate the quality loss of stems as a result of thinning.

KIRJALLISUUS - REFERENCES

Carbonnier, C. 1964. Aktuella synpunkter på föryngrings-frågorna speciellt med tanke på förbandets inflytande på kvantitets- och kvalitetsproduktionen. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 6: 1 - 15.

Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnishexperiments. National Swedish Environmental Protection Board. Report 3084: 1 - 107.

Drew, T. J. & Flewelling, J. W. 1977. Some recent Japanise theories of yield-density relationship and their application to Montery pine plantations. For. Sci. 23: 517 - 534.

--- 1979. Stand density management: An alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. For. Sci. 25: 518 - 532.

Eklund, B. 1956. Ett förbandsförsök i tallskog. Summary: An experiment in sowing and planting pine with different spacing. Medd. Stat. Skogsf. Instn. 46(10): 1 - 98.

Elfving, B. 1975. Volym och struktur i ogallrade tallbestånd. Summary: Volume and structure in unthinned stands of Scots pine. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 35: 1 - 128.

Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of finish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5): 1 - 98.

--- 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Comm. Inst. For. Fenn. 96(3): 1 - 59.

---, Kalaja, H., Salakari, M. ja Valonen, P. 1977. Wholetree harvesting in the early thinning of pine. Seloste: Kokopuuna korjuu männikön ensiharvennuksessa. Folia For. 333: 1 - 58.

Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. Silva Fenn. 19(4): 377 - 385.

Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121: 1 - 28.

Hari, P., Kaipiainen, L., Korpilahti, E., Mäkelä, A., Nilson, T., Oker-Blom, P,, Ross, J. & Salminen, R. 1985. Structure, radiation and photosynthetic production in coniferous stands. Research notes N:o

54, 223 pp., University of Helsinki, Department of Silviculture.

Harris, J. M., James, R. N. & Collins, M. J. 1976. Case for improving wood density in radiata pine. New Zeal. J. For. Sci. 53: 347 - 354.

Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. Summary: On nature pruning of tree steams. Commun. Inst. For. Fenn. 41(5): 1 - 39.

Heiskanen, V. 1954. Vuosiluston paksuuden ja sahatukin laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. Commun. Inst. For. Fenn. 44(5): 1 - 31.

--- 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männikössä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80(2): 1 - 62.

--- & Taipale 1963. Tutkimuksia männyn karsimisesta. Summary: Studies on the pruning of pine. Commun. Inst. For. Fenn. 57(1): 1 - 66.

Huuri, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä. Tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265: 1 - 22.

--- & Lähde, E. 1985. Effect of planting density on the yield, quality and quantity of Scots pine plantations. Teoksessa: Crop physiology of forest trees (toim. P.M.A. Tigerstedt, P. Puttonen & V. Koski). ss. 295 - 304. Helsinki University Press. Helsinki. 336 s.

---, Lähde, E. & Huuri, L. 1987. Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen. Summary: Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations. Folia For. 685: 1 - 48.

Hytönen, K. 1987. Oksabiomassan määrä ja kasvu kolmessa eri-ikäisessä männikössä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 40 s.

Hänninen, T., Räsänen, P. K. & Yli-Vakkuri, P. 1972. Männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen antamia tuloksia Etelä-Suomen kangasmailla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 7.

Ikäheimo, E. & Norokorpi, Y. 1986. Perkauksen vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen, laatuun ja tuhoihin Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of cleaning on the incidence of damage and the development and

quality of Scots pine plantations in northern Finland. Folia For. 647: 1 - 49.

Jakkila, J. & Pohtila, E. 1978. Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa. Summary: Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland. Folia For. 360: 1 - 27.

Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvatustiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyn taimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. Folia For. 508: 1 - 12.

Kellomäki, S. 1981a. Effect of the within-stand light conditions on the share of stem, branch and needle growth on a twenty-year-old Scots pine stand. Seloste: Metsikön valaistusolojen vaikutus rungon, oksien ja neulasten kasvun osuuksiin eräässä kaksikymmenvuotiaassa männikössä. Silva Fenn. 15(2): 130 - 139.

--- 1981b. Karsiminenkin edellyttää riittävää viljelytiheyttä. Metsä ja Puu 2: 21 - 23.

--- 1982. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Commun. Inst. For. Fenn. 98(4): 1 - 80.

--- 1983. Männyn oksien murtolujuus. Summary: Strength of Scots pine branches. Silva Fenn. 17: 175 - 182.

--- 1984. Havaintoja puuston kasvatustiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines. Silva Fenn. 18(2): 101 - 114.

--- 1986. A model for the relationship between branch number and biomass in Pinus sylvestris crowns and the effect of crown shape and stand density on branch and stem biomass. Scand. J. For. Res. 1: 455 - 472.

--- 1988. Metsänhoito. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Silva Carelica 8. 403 s.

--- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. Folia For. 478: 1 - 27.

--- & Nevalainen, T. 1983. Näkökohtia puuston tiheyden ja puiden koon välisestä suhteesta. Summary: On relationship between stand density and tree size. Silva Fenn. 17(4): 389 - 402.

--- & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan hyvyyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko ja

riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models. Commun. Inst. For. Fenn. 139: 1 - 38.

Kinnunen, K. & Mäki-Kojola, S. 1980. Männyn luontaisesta uudistamisesta Pohjois-Satakunnassa. Summary: Natural regeneration of Scots pine in western Finland. Folia For. 449: 1 - 18.

Koivisto, P. 1962. Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51: 1 - 49.

Kuusipalo, J. 1984. Diversity pattern of the forest understorey vegetation in relation to some site characteristics. Seloste: Metsän pintakasvillisuuden lajirunsauden suhde eräisiin kasvupaikkatekijöihin. Silva Fenn. 18(2): 121 - 131.

Kärkkäinen, M. 1980. Mäntyrunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun. Inst. For. Fenn. 96(5): 1 - 152.

--- 1985. Puutiede. Moniste. Helsinki. 415 s.

--- & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. Folia For. 515: 1 - 28.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108: 1 - 74.

Lehtonen, J. & Westman, C. J. & Kellomäki, S. 1976. Ravinteiden kierto eräässä männikössä 1: Kasvillisuuden ja maaperän ravinnepitoisuuksien vaihtelu kasvukauden aikana. Summary: Nutrient cycle in a pine stand 1: Seasonal variation in nutrient content of vegetation and soil. Silva Fenn. 10: 182 - 197.

Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P.K. Taimisto, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967 - 1975. Summary: The development of Scots pine plantations in southwestern Finland in 1967 - 1975. Folia For. 312: 1 - 27.

Lipas, E. 1986. Maan ravinnetila siemenviljelyksillä. Abstract: Soil-fertility levels in Finnish seed

Lähde, E. 1985. Metsikön perustamistiheys - puun määrän ja laadun avain. Teoksessa: Harvennuspuun korjuu ja metsikön tuleva tuotto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 181: 3 - 5.

Metsätilastollinen vuosikirja 1984. Folia For. 620.

Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. Commun. Inst. For. Fenn. 99(3): 1 - 82.

Miettinen, R. & Uusvaara, O. 1983. Pystykarsitun männikön koesahaus. Abstract: Test sawing of pruned pine stand. Folia For. 566: 1 - 8.

Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Commun. Inst. For. Fenn. 84(5): 1 - 87.

Norokorpi, Y. 1985. Metsänuudistamisen ja taimikonhoidon periaatteet - lyhennelmä työryhmän mietinnöstä. Teoksessa: Tietojärjestelmien kehittäminen metsäalalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 196: 89 - 94.

Nylinder, P. 1959. Synpunkter på produktionens kvalitet. Summary: Aspects of quality production. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 2: 1 - 19.

Oker-Blom, P. & Kellomäki, S. 1982. Metsikön tiheyden vaikutus puun latvuksen sisäiseen valoilmastoon ja oksien kuolemiseen. Abstract: Effect of stand density on the within crown light regime and dying-off branches. Folia For. 509: 1 - 14.

Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kieferbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia For. 346: 1 - 40.

Persson, A. 1975. Ved och pappersmassa från gran och tall i olika förband. Summary: Wood and pulp of Norway spruce and Scots pine at various spacings. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 37: 1 - 145.

--- 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 42: 1 - 122.

--- 1977. Kvalitetsutvekling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 45: 1 - 152.

Pukkala, T. 1988. Methods to describe the competition process in a tree stand. Submitted to Scandinavian Journal of Forest Research. 20 p.

Pystykarsintaohjeet 1982. Suomen Sahanomistajayhdistys. Länsi-Savo Oy. Mikkeli. 32 s.

Räsänen, P., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuusen eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien

1978 - 1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of finland. Results from the inventories 1978 - 1979. Folia For. 637: 1 - 30.

Saikku, O. 1975. The effect of fertilization on the basic density of Scots pine (Pinus silvestris L.). A densitometric study on the X-ray chart curves of wood. Lyhennelmä: Lannoituksen vaikutuksesta männyn (Pinus silvestris L.) puuaineen tiheyteen. Densitometrinen tutkimus puuaineen röntgenkuvista. Commun. Inst. For Fenn. 85(3): 1 - 49.

Saksa, T. & Lyly, O. 1984. Istutustiheyden vaikutus nuoren männikön kehitykseen kuivalla kankaalla. Abstract: young Scots pine stands on a dry heath. Folia For.

Satoo, T. 1982. Forest biomass. Nijhoff. Hague. 152 s.

Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K. & Kira, T. 1964a. A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory I. Basic analysis. Jap. J. Ecol. 14: 97 - 105.

--- 1964b. A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory II. The evidence of the theory and its application in forest ecology. Jap. J. Ecol. 14: 133 - 139.

Tapion taskukirja 1986. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisuja: ss. 191 - 215.

Tigerstedt, P. M. A. & Velling, P. 1985. The genetic anatomy of harvest index in Scots pine and some suggestions for applications in breeding and silviculture. Teoksessa: Crown and canopy structure in relation to productivity (toim. T. Fujimori & D. Whitehead), ss. 49 - 69. International Union of Forest Research Organizations. Working Group S 1.06 - 02. Proceedings of an international workshop held in Japan 14. - 20. October 1985.

Turkia, K. & Kellomäki, S. 1987. Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimittaan. Abstract: Influence of the site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands. Folia For. 705: 1 - 16.

Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määrittäminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Maataloustieteellinen Aikakauskirja 46: 307 - 319.

Uusvaara, O. 1974. Wood quality of plantation grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Commun. Inst. For. Fenn. 80(2): 1 - 105.

--- 1983. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 122: 1 - 105.

--- 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. Seloste: Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Commun. Inst. For. Fenn. 130: 1 - 53.

Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia For. 451: 1 - 21.

--- 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stands after thinning. Folia For. 524: 1 - 31.

Velling, P. 1978. Puun laatu paremmaksi jalostamalla. Metsä ja Puu 10: 9 - 12.

--- 1981. Skogsträdsförädlingen som en del i produktionen av kvalitetsvirke. Skogsbruket 9: 208 - 211.

Vientisahatavaran lajitteluohjeet 1979. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. Helsinki. 51 s.

Viro, P. J. 1952. Nutrient status and fertility of forest soil. 1. pine stands. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus. Commun. Inst. For. Fenn. 39(4): 1 - 52.

Vuokila, Y. 1960. Elävien oksien karsimisen vaikutuksesta männyn kasvuun. Summary: The effect of green pruning on the growth of Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 52(1): 1 - 27.

--- 1968. Karsiminen ja kasvu. Summary: Pruning and increment. Commun. Inst. For. Fenn. 66(5): 1 - 61.

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

--- 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. Porvoo. 256 s.

--- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. Folia For. 523: 1 - 55.

--- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havupuumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2): 1 - 271.

Yksityismetsien käsittelyohjeet 3/1981. Keskusmetsälautakunta Tapio. Helsinki. 20 s.

Yli-Vakkuri, P., Räsänen, P. & Solin, P. 1969. Metsänviljelyn antamia tuloksia Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 2: 1 - 92.

Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. & Hozumi, K. 1963. Self-thinning in over-crowded pure stand under cultivated and natural conditions. Journ. of Biol., Osaka City Univ. 14: 107 - 129.

Liite: Projektin aikana syntyneet julkaisut.

Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 139:1-38.

Kellomäki, S. 1987. Tree crown as a population of branches. A paper given in International Symposium on Vegetational Structure, Utrecht, The Netherlands, 14-18 July, 1987. 14 s.

Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1988. Dynamics of branch population in the canopy of young Scots pine stands. Forest Ecology and Management 24:67-83.

Kellomäki, S., Oker-Blom, P., Valtonen, E. & Väisänen, H. 1988. Structural development of Pinus sylvestris stands with varying initial density: effect of pruning on branchiness of wood. Forest Ecology and Management. Painossa oleva käsikirjoitus. 17 s.

Lehtikangas, P. 1988. Koivusekoituksen vaikutus nuorten mäntyjen oksikkuuteen. Valmisteilla oleva metsänhoitotieteen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 39 s.

Lämsä, P. 1988. Männyn laatukasvatus: tietokonesimulointiin perustuva tarkastelu. Metsänhoitotieteen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 80 s.

Lämsä, P. 1988. Nuorten mäntyjen oksien läpimitan vaihtelu-regressiomalleihin perustuva tarkastelu. Abstract: Variability of the branch diameter of young Scots pines -A study based on regression models. Folia Forestalia-sarjaan tarjottu käskirjoitus. 32 s.

Oker-Blom, P., Kellomäki, S., Valtonen, E. & Väisänen, H. 1988. Structural development of Pinus sylvestris stands with varying initial density: a simulation model. Scandinavian Journal of Forest Research 3:185-200.

Turkia, K. 1986. Nuorten mäntyjen oksien läpimitan riippuvuus puuston tiheydestä ja kasvupaikan viljavuudesta. Metsänhoitotieteen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 47 s.

Turkia, K. & Kellomäki, S. 1987. Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimittaan. Abstract: Influence of the site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands. Folia Forestalia 705:1-16.

Uusvaara, O. 1988. Istutusmänniköiden oksikkuus ja sisäinen laatu. Valmisteilla oleva käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto.

Väisänen, H., Kellomäki, S., Oker-Blom, P. & Valtonen, E. 1988. Structural development of Pinus sylvestris stands with varying initial density: a preliminary model for quality of sawn timber as affected by silvicultural measures. Scandinavian Journal of Forest Research. Painossa oleva käsikirjoitus. 23 s.

VAPK Kampin VALTIMO
Helsinki 1988