

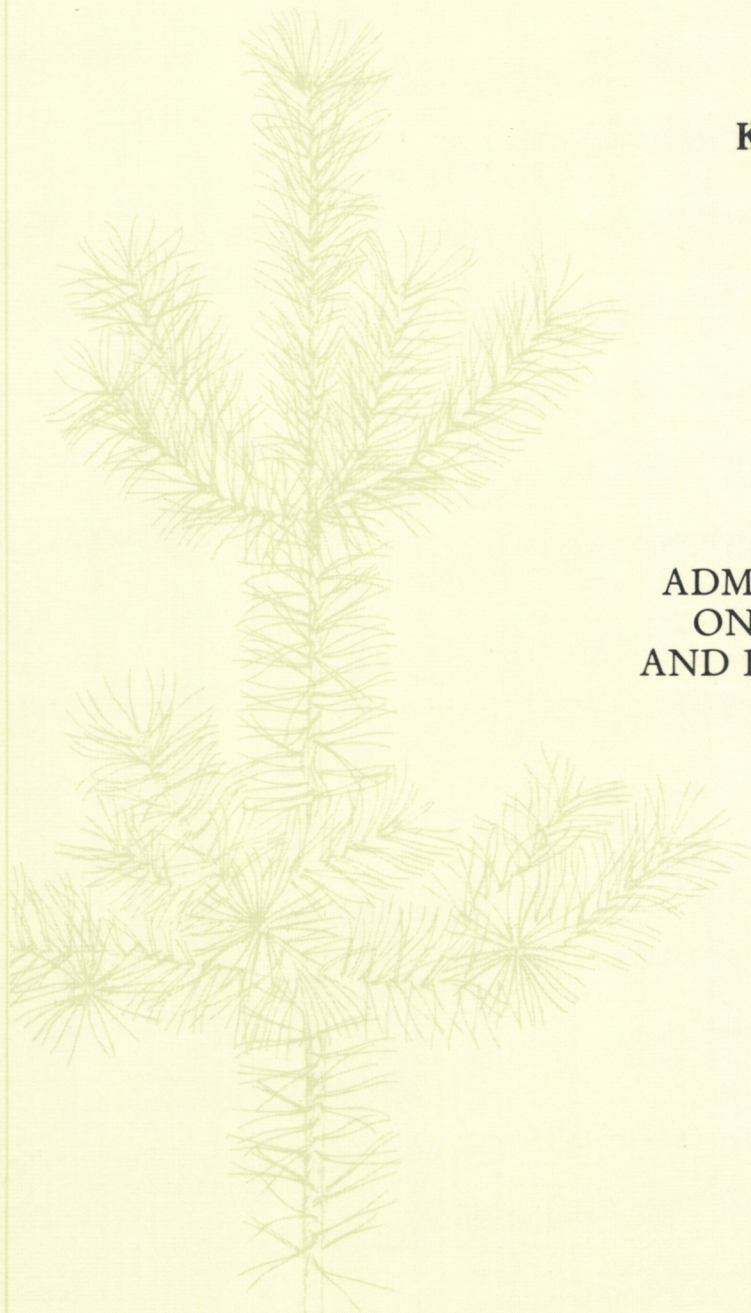
**KOIVUSEKOITUKSEN VAIKUTUS
KUUSIKON RAKENTEeseen JA
KEHITYKSEEN**

KARI MIELIKÄINEN

SUMMARY

**EFFECT OF AN
ADMIXTURE OF BIRCH
ON THE STRUCTURE
AND DEVELOPMENT OF
NORWAY SPRUCE
STANDS**

HELSINKI 1985



COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE



THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE (METSÄNTUTKIMUSLAITOS)

Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND

telex: 125181 hyfor sf
attn: metla/

phone: 90-661 401

Director:
Professor Olavi Huikari

Head of Information Office:
Olli Kiiskinen

Distribution and exchange of publications:

The Finnish Forest Research Institute
Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND

Publications of the Finnish Forest Research Institute:

- Communicationes Instituti Forestalis Fenniae (Commun. Inst. For. Fenn.)
- Folia Forestalia (Folia For.)
- Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja

Cover (front & back): Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is the most important tree species in Finland. Pine dominated forest covers about 60 per cent of forest land and its total volume is nearly 700 mil. cu.m. The front cover shows a young Scots pine and the back cover a 30-metre-high, 140-year-old tree.

KARI MIELIKÄINEN

**KOIVUSEKOITUKSEN VAIKUTUS KUUSIKON
RAKENTEeseen JA KEHITYKSEEN**

*Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan suostumuksella
julkisesti tarkastettavaksi 20. joulukuuta 1985 klo 12 yliopiston pääraennuksen
luentosalissa XII, Fabianinkatu 33.*

SUMMARY

**EFFECT OF AN ADMIXTURE OF BIRCH
ON THE STRUCTURE AND DEVELOPMENT
OF NORWAY SPRUCE STANDS**

HELSINKI 1985

MIELIKÄINEN, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 133: 1—79.

Tutkimuksessa tarkastellaan luontaisesti syntyneen kuusi-koivusekametsikön kasvua sekä puuston käsitteilyn vaikutusta kiertoajan kokonaiskasvuun ja tukkipuun tuotokseen.

Tutkimusaineisto käsitti 65 tilapäistä metsikkökoealaa Etelä-Suomen kivennäismailla. Koealoilla oli seka-puuna sekä raudus- (37 kpl) että hieskoivua (28 kpl). Esitettävät tulokset kuvaavat puulajien välitöntä vaikutusta sekametsikön kasvuun. Lehtipuuston pitkäaikaisista vaikutuksista maaperään ei tutkimuksen tilapäisaineisto selvittä.

Rauduskoivut kasvoivat kuusi-koivusekametsikössä sitä paremmin, mitä pienempi koivun osuus oli puuston kokonaistilavuudesta. Runsa rauduskoivusekoitus heikensi kilpailullaan myös kuusten tilavuuskasvua. Hieskoivun %-osuudella ei ollut vaikutusta sekametsikön kuusten kasvuun.

Lievän rauduskoivusekoituksen (25 %) säilyttäminen kuusikossa merkitsi 80—90 v:n kiertoajan kuluessa 3—5 %:n runkokuun tuotoksen lisäystä verrattuna vaihtoehtoon, jossa kaikki koivu poistettiin jo ensimmäisissä harvennushakkuissa. Tukkipuun tuotos ja kantorahatulo olivat sekametsikössä 6—11 % korkeammat kuin kuusikossa edellyttäen, etteivät laatunäkökohdat vaikuta tukkipuun tuotoksen määrään. Runsaampi rauduskoivusekoitus merkitsi lievää tukkipuun tuotostappiota karuimmilla kasvupaikoilla.

Hieskoivusekoitus pienensi runkokuun tuotosta noin 5 % ja tukkipuun tuotosta 10—30 % kuusikkoon verrattuna.

The effect of different management treatments on the total growth and saw-timber production of naturally regenerated spruce-birch mixed stands is examined in the study.

The material comprises 65 temporary sample plots growing on mineral soil sites in southern Finland. *Betula pendula* (37 plots) and *B. pubescens* (28 plots) were present as admixtures in the sample plots. The results depict the direct effect of the individual tree species on the growth of mixed stands. The long-term effect of deciduous stands on the soil was not studied.

The growth of *B. pendula* in spruce-birch mixed stands is the better, the smaller its proportion out of the total volume of the stand. The competing effect of a high proportion of *B. pendula* also weakens the volume growth of the spruce trees. The proportion of *B. pubescens* has no effect on the growth of spruce in a mixed stand.

According to the calculations, retaining a low proportion (25 %) of *B. pendula* in a spruce stand with a rotation of 80—90 years resulted in an increase of 3—5 % in volume growth compared to the alternative where all the birches are removed already in the first thinning. The saw-timber production and the stumpage revenue were 6—11 % higher in mixed stands than in spruce stands provided no reduction of saw-timber production due to technical quality is assumed. A large admixture of *B. pendula* resulted in a slight loss in saw-timber production on the most infertile sites.

An admixture of *B. pubescens* resulted in a reduction of 5 % in the volume growth and 10—30 % in the saw-timber production in comparison to the corresponding figures for pure spruce stands.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	7
2. TUTKIMUSMENETELMÄ	10
21. Menetelmän perusteet	10
22. Metsiköiden valinta	10
23. Maastomittaukset	10
24. Metsikkötunnusten laskenta	11
25. Metsikön kasvun simulointi	11
3. AINEISTON KERUU	13
31. Aineiston maantieteellinen sijainti, määrä ja laatu	13
32. Koealojen koko	14
33. Kasvupaikkojen luokitus	14
34. Kasvun ilmastollinen vaihtelu	17
4. KUUSI-KOIVUSEKAMETSIKÖIDEN RAKENNE	19
41. Puulajien ikäerot	19
42. Puuston tiheys	19
43. Pituustunnukset	20
44. Keskiläpimitta	22
45. Runkolukusarja ja tukkipuusto	24
46. Terveystila ja tekninen laatu	25
47. Latvuksen pituus	28
5. KASVUYHTÄLÖT	31
51. Puuyhtälöt	31
511. Yleistä	31
512. Harjaestimointi	31
513. Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt	32
514. Pituuskasvuyhtälöt	36
52. Metsikköyhtälöt	37
521. Yleistä	37
522. Pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvuyhtälöt	38
6. KASVUYHTÄLÖIDEN TARKASTELUA	41
61. Puuyhtälöt	41
611. Pohjapinta-alan kasvu	41
612. Pituuden kasvu	43
62. Metsikköyhtälöt	47
63. Kasvuyhtälöiden luotettavuus	49
7. KUUSI-KOIVUSEKAMETSIKÖN PUUNTUOTOSKYKY	51
71. Laskentamenetelmä	51
72. Lähtöpuusto	52
73. Metsiköiden käsittelyvaihtoehdot	52
74. Kiertoajan kokonaiskasvu	54
75. Simulointien luotettavuus	58
76. Liiketaloudellisia laskelmia	59
8. MÄNTY-KOIVU- JA KUUSI-KOIVUSEKAMETSIKÖIDEN VERTAILUA	61
9. YHDISTELMÄ JA PÄÄTELMÄ	63
KIRJALLISUUS—REFERENCES	65
SUMMARY	68
LIITTEET—APPENDICES	74

MERKINNÄT — SYMBOLS

PUU — TREE

b	= kuoren paksuus rinnankorkeudelta, mm <i>bark thickness at breast height, mm</i>
cr	= latvuksen osuus puun pituudesta, % (latvussuhde) <i>crown ratio, %</i>
d	= läpimitta rinnantasalla kuorineen, cm <i>diameter at breast height incl. bark, cm</i>
d _k	= kantoläpimitta kuorineen, cm <i>stump diameter incl. bark, cm</i>
h	= pituus, m <i>height, m</i>
i _{g5+}	= tulevan 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kasvu, cm ² <i>basal area growth during the following 5-year period, cm²</i>
i _h	= vuotuinen pituuskasvu, cm <i>annual height growth, cm</i>
i _{h5-}	= menneen 5-vuotiskauden pituuskasvu, m <i>height growth during the preceding 5-year period, m</i>
i _{h5+}	= tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvu, m <i>height growth during the following 5-year period, m</i>
t	= biologinen ikä, a <i>biological age, a</i>
t _{1,3}	= rinnankorkeudelta mitattu ikä, a <i>age at breast height, a</i>

METSIKKÖ — STAND

B-%	= koivun osuus puuston pohjapinta-alasta, % <i>birch percentage of stand basal area</i>
\bar{D}	= keskiläpimitta (pohjapinta-alalla painotettu), cm <i>mean diameter (weighted by basal area), cm</i>
G	= pohjapinta-ala, m ² /ha <i>basal area, m²/ha</i>
\bar{H}	= keskipituus (pohjapinta-alalla painotettu), m <i>mean height (weighted by basal area), m</i>
H _{dom}	= valtapituus (100 paksuimman puun/ha keskipituus), m <i>dominant height (mean height of 100 thickest trees/ha), m</i>

H ₅₀	= koivun valtapituus 50 vuoden iällä (pituusboniteetti) <i>dominant height of birch at the age of 50 years (site index)</i>
H ₁₀₀	= kuusen valtapituus 100 vuoden iällä (pituusboniteetti) <i>dominant height of Norway spruce at the age of 100 years (site index)</i>
I _{g5+}	= tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen pohjapinta-alan kasvu, % puuston pohjapinta-alasta <i>annual basal area increment during the following 5-year period, % of present basal area</i>
I _{v5+}	= tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen tilavuuskasvu, % puuston tilavuudesta <i>annual volume increment during the following 5-year period, % of present volume</i>
N	= runkoluku, kpl/ha tai havaintojen lukumäärä yhtälöissä <i>number of stems per hectare, or number of observations</i>
T	= biologinen ikä, a <i>biological age, a</i>
T _{1,3}	= rinnankorkeudelta mitattu ikä, a <i>age at breast height, a</i>
V	= puuston tilavuus kuorineen, m ³ /ha <i>stand volume incl. bark, m³/ha</i>

MUITA — OTHERS

R ²	= selityssaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin) <i>coefficient of determination (R = multiple correlation coefficient)</i>
S _f	= jäännöshajonta <i>residual standard deviation (standard deviation of the dependent variable about the function)</i>
S _m	= selitettävän muuttujan alkuperäinen keskihajonta <i>original standard deviation of the dependent variable</i>
S _{e%}	= arvion suhteellinen keskivirhe <i>relative standard error of the estimate</i> $= 100 \cdot \sqrt{e^{sf^2} - 1}$

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on toinen osa Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnalla vuodesta 1976 käynnissä olleista sekametsiköiden kasvututkimuksista. Tutkimus on sittemmin laajentunut useiden eri osastojen yhteistutkimukseksi.

Tutkimusaiheen olen saanut silloiselta esimieheltäni professori Yrjö Vuokilalta, jonka antama tuki työn kaikissa vaiheissa on ollut erittäin merkittävä.

Mittausryhmien johtajina ovat toimineet silloiset metsätieteen ylioppilaat Klaus Toikka ja Risto Hilska. Tutkimuskohteiden etsinnässä ovat avustaneet lukuisat käytännön metsäammattilaiset.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja arvokkaita neuvoja antaneet professorit Pekka Kilkki, Kullervo Kuusela, Aarne Nyysönen,

Simo Poso ja Yrjö Vuokila sekä tohtori Jouko Laasasenaho. Myös MMK Risto Ojansuu on tehnyt käsikirjoitusvaiheessa varteenotettavia huomautuksia.

Kairanlastujen mittauksesta on huolehtinut tutkimusmestari Tapio Huttunen, aineistojen ATK-tallennuksesta laskuapulainen Hannele Alhola, konekirjoituksesta ja piirroksista tutkimussihteeri Anja Sanaslahti ja tutkimusapulainen Marja-Liisa Herno sekä käännöstyöstä MMK John Derome.

Kaikille edellä mainituille ja myös muille työssä auttaneille lausun parhaat kiitokseni.

Mikkeli, maaliskuu 1985

Kari Mielikäinen

1. JOHDANTO

Suhtautuminen koivu-havupuusekametsiköiden kasvatukseen vaihtelee jossakin määrin lehtipuun menekkiolojen mukaan. Milloin koivua pidetään ”valkeana valheena”, milloin taas hyödyllisenä maanparantajana. Yleinen asenne sekametsiä kohtaan on metsätaloudessa kuitenkin varovaisen positiivinen.

Lehtipuiden myönteinen vaikutus kasvu-paikkaan (Sirén 1955, Mezibovskij ym. 1977) ja puuston terveydentilaan (Kallio 1979) tiedetään, mutta lehtipuusekoituksen puuntuotannollinen merkitys on puutteellisesti tunnettu. Metsänkasvatuksen menetelmien erityispiirteet ovat niinkään paljolta selvittämättä.

Suurimmat vaikeudet sekametsiköiden kasvatuksessa liittyvät puuston nuoruusvaiheeseen. Nykyinen metsänuudistamisen tekniikka suosii lehtipuiden ”luontaista uudistumista”. Avohakkuut, maanpinnan muokaus ja havupuun viljelyn viivästyminen muutamalla vuodella saavat yleensä aikaan ylitiheän, nopeakasvuisen lehtipuuesakon, jossa istutetut havupuut eivät ilman apua menesty.

Nykymetsien toinen tyypillinen piirre on luontainen kuusettuminen. Varjoa sietävä kuusi uudistuu erityisen helposti harvennettuun koivikkoon. Näin syntyvien alikasvosten kehityskelpoisuus vaihtelee ja niiden käsittely on metsänomistajille usein ongelmallinen.

Voimakas kuusettuminen näkyy myös valtakunnan metsien inventointien tuloksissa. Kuusivaltaisten metsien määrä on tällä hetkellä huomattavasti suurempi kuin mitä parin vuosikymmenen takaisten uudistamistilastojen valossa olisi odottanut (Laiho 1983).

Sekametsiköitä muodostavat Suomessa yleisimmin mänty ja kuusi sekä keskenään että koivun kanssa. Mänty-koivusekametsiköiden kehitystä ja tuotosta ovat tutkineet Suomessa Lappi-Seppälä (1930) ja Mielikäinen (1980). Vastaavaa kuusi-koivusekametsiköiden tutkimusta ei ole toistaiseksi tehty Suomessa.

Kuusi (*Picea abies* Karsten) ja koivu (*Betula pendula* Roth. ja *Betula pubescens* Ehrh.) muodostavat erilaisen kasvurytminsä ja kuusen hyvän varjostuksensietokyvyn vuoksi sekä yksi- että monijaksoisia metsiköitä. Langhammerin (1971) mukaan toisistaan mahdollisimman paljon poikkeavat puulajit sopivat erityisen hyvin kasvatettaviksi sekametsikköinä.

Kaksijaksoisen sekametsikön kasvatusta harjoitetaan lähinnä kuusen hallanarkuuden vuoksi (Leikola ja Rikala 1983). Kaksijaksoisuudesta pyritään mahdollisimman pian eroon kuusen pituuden ylitettyä hallarajan.

Seuraava asetelma kuvaa kuusen ja rauduskoivun kasvurytmien erilaisuutta. Luontaisesti syntyneen hoidetun rauduskoivikon eri kasvutunnusten suhteet samanikäisen kuusikon vastaaviin tunnuksiin ovat seuraavat (Koivisto 1959):

Metsikön ikä Stand age	Kokonaiskasvu Total yield	Keskipituus Mean height	Keskiläpimitta Mean diameter
a	Suhde koivikko/kuusikko, % <i>B. pendula</i> / <i>Norway spruce</i> , %		
20	472	274	203
30	182	173	141
40	127	136	121
50	102	121	111
60	90	114	103
70	84	110	99

Puhtaita metsiköitä vertailemalla saadaan kuitenkin vain suuntaa antava käsitys sekametsikön kasvusta. Puulajien vaikutus toisiinsa ja maaperään voi muuttaa kasvusuhteita. Toinen puulaji saattaa hyötyä ja toinen kärsiä sekametsikkörakenteesta (Mielikäinen 1980).

Tutkimukset puulajien vaikutuksesta toisiinsa ovat valtaosaltaan kohdistuneet lehtipuuesakossa kasvavan havupuutaimikon alkukehitykseen. Lehtipuuston ei ole yleensä todettu aiheuttaneen vakavaa vaaraa kuusten kehitykselle (Karlsson 1978, Folkesson ja Barring 1982, Frivold 1982). Walfridssonin (1976) mukaan koivun mekaaninen piiskaus on männyllä yleisempää kuin kuusella. Vauriot esiintyvät pääasiassa sivusilmuissa. Vain



Kuva 1. Lehtipuuston maan happamuutta vähentävä vaikutus on tullut erityisen huomion kohteeksi ilman saastumisen lisääntyessä. Erityisen vakava ongelma on kuusikoissa, jotka luonnostaan ovat maapohjaltaan happamia. Valokuva: Metsäkuva-arkisto

Fig. 1. The rise in the level and effects of air pollution has resulted in increased attention being paid to the ability of deciduous stands to lower the acidity of forest soils. The situation is particularly serious in the naturally acidic soils characteristic of spruce stands. Photo: Metsäkuva-arkisto

erittäin tiheä lehtipuusto vahingoittaa latvasilmuja. Anderssonin (1982) tutkimissa männynntaimikoissa alle 1 m:n etäisyydellä kasvavilla koivuilla oli männyn pituuskasvua hidastava vaikutus. Muutoin koivun osuuden lisääntyminen paransi männyn kasvua.

Koetuloksia (Jakkila ja Pohtila 1978, Folkesson ja Barring 1982 jne.), joiden mukaan

peratun havupuuston kehitys on nopeampaa kuin perkaamattoman, tulkitaan käytännössä usein väärin. Tulokset osoittavat ensi sijassa puuston tiheyden, eikä pelkästään sekapuulajin vaikutusta puiden järeytymiseen. Samanlaisen verhopuuston tiheyden vaikutuksen ovat todenneet myös Heikinheimo (1941) ja Hannelius (1978). Heidän tutki-

mustensa mukaan kuuset kasvavat koivu-verhoppuuston alla hitaammin kuin koivusta vapautettuina.

Varttuneiden kuusi-koivusekametsiköiden kasvua ovat pohjoismaissa perusteellisesti tutkineet Jonsson (1961), Fries (1974) ja Frivold (1982). Jonsson tuli puukohtaisissa tutkimuksissaan siihen tulokseen, että kuusen välittömässä läheisyydessä kasvava koivu saattaa piiskauksellaan heikentää pituuskasvua. Muulloin koivun osuuden lisääntyminen parantaa kuusen pituus- ja paksuuskasvua.

Fries (1974) on tehnyt puhtaan kuusikon ja sekametsikön kasvatuksen kannattavuusvertailuja koivututkimustaan (Fries 1964) varten kerätyn aineiston perusteella. Hänen mukaansa kuusi-koivusekametsikkö tuottaa tietyn edellytyksin vähintään yhtä hyvän taloudellisen tuloksen kuin kuusikko. Näin on erityisesti, jos koivun perkauskustannukset ovat korkeat tai jos kuusi syntyy koivikkoon luontaisesti. Piiskausvaurioiden välttämiseksi koivun tulisi olla 10—15 v kuusta vanhempiä.

Frivoldin (1982) mukaan kuusi-koivusekametsiköiden tuotoksen selvittelyä vaikeuttavat puuston ikäerot ja monijaksoisuus sekä eri olosuhteissa kasvavien puiden pituuskasvun puutteellinen tunteminen. Vertailu puhtaisiin metsikköihin on myös hankalaa, koska sekametsiköt ovat usein ylitieheitä. Tämä koskee erityisesti koivua. Frivold esittää ohjeena koivun asteittaista poistamista 40 v:n ikään mennessä viljavimmilla ja 70 v:n iällä karuimmilla kasvupaikoilla, mikäli tavoitteena on mahdollisimman suuri runkopuun tuotos.

Neuvostoliitossa kuusi-koivusekametsiköitä ovat tutkineet mm. Cuprov (1976) ja Mezibovskij ym. (1977). Mezibovskijin tulokset perustuvat Moskovan itäpuolella (56—57 N) mitattuihin kuusi-, koivu- ja sekakoealoihin. Hänen mukaansa 40—50 %:n koivusekoitus puuston tilavuudesta merkitsee huomattavaa fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien paranemista maan 25—30 cm:n pintakerroksessa. Kuusi ei kärsi koivun

läsnäolosta ensimmäisten 40—50 v:n kuluessa, mutta tämän jälkeen sekä kuusen että koko sekametsikön kasvu alkaa jäädä jälkeen puhtaasta kuusikosta.

Mezibovskij totesi koivun muuttuvan kuusen ”viholliseksi” noin 70—80 v:n iällä. Kuusen heikentyvän aineenvaihdunnan tutkija arvioi johtuvan koivun juuriston erittämistä aineista, jotka vaikuttavat kuusen juuristoon. Käytännön ohjeena Mezibovskij ehdotti kuusikkoon 40—50 %:n koivusekoitusta, joka ikävälillä 50—70 v vähennetään 20 %:iin. Näin menetellen voidaan parantaa ja ylläpitää kuusen kasvua ja välttää myrskytuhoja.

Lehtipuuston maan happamuutta vähentävä vaikutus on tullut erityisen huomion kohteeksi ilman saastumisen lisääntyessä (ks. Skogen 9/83, s. 24). Teollisuuden rikkipäästöistä aiheutuvat happamet sateet alentavat maaperän pH:ta ja saavat pahimmassa tapauksessa aikaan puuston kuoleman. Erityisen vakava ongelma on kuusikoissa, jotka jo luonnostaan ovat maapohjaltaan happamia.

Edellämainitut tutkimukset ovat selvitelleet pääasiassa lehtipuuston vaikutusta havupuuston kehitykseen, usein vain yksittäisten puiden pituuskehitykseen. Sekametsikön kasvu on kuitenkin kahden tai useamman toisiinsa vaikuttavan puulajin yksilöiden kasvujen summa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella kuusen ja koivun välitöntä vaikutusta toisiinsa ja metsikön tuotoksen muodostumiseen. Nämä välittömät vaikutukset voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia. Tutkittavia aiheita ovat:

1. Puulajien iänmukainen pituuskasvurytmi. Kuinka suuren etumatkan kuusi tarvitsee, jotta lopputuloksena olisi likimain yksijaksoinen metsikkö?
2. Puulajien välitön vaikutus toisiinsa. Onko metsikön puulajisuhteilla vaikutusta puulajien kasvuun, terveydentilaan ja tekniseen laatuun?
3. Puulajien yhteinen kasvu. Kuinka paljon puulajisuhteiltaan vaihtelevat kuusi-koivusekametsiköt tuottavat nuorella ja varttuneella iällä?
4. Sekametsikön käsittely. Kuinka jo syntyneen sekametsikön käsittelyllä voidaan vaikuttaa metsikön puuntuotantoon?

2. TUTKIMUSMENETELMÄ

21. Menetelmän perusteet

Sekametsikön kasvun ja kasvatusohjelman tutkiminen on vaikeampaa kuin yhden puulajin muodostaman metsikön. Tasaikäisen, yksijaksoisen männikön, kuusikon tai koivikon kasvatus on karkeasti ottaen tietyn kaavamaisen harvennusohjelman toteuttamista. Tärkeimmät kasvua ohjaavat toimenpiteet ovat harvennustapa sekä harvennusten voimakkuus ja kertauminen. Kasvutiheyden säätelyllä on vaikutusta lähinnä puiden järeytymiseen ja tekniseen laatuun.

Sekametsikön kasvatusohjelmassa on vaihtoehtoja moninverroin enemmän. Kun kuusikon kasvattajan tarvitsee pohtia vain sopivinta hakkuiden ajankohtaa ja voimakkuutta, kuusi-koivusekametsikön kasvattaja joutuu ottamaan huomioon myös puuston monijaksoisuuden, eri-ikäisyyden, puulajisuhteet ja niiden muutokset sekä tietyt biologiset ja ekonomiset näkökohdat. Harvennustavassa voi olla puulajeista ja tavoitteista riippuen enemmän sekä alaharvennuksen että harsinnan piirteitä kuin puhtaissa metsiköissä.

Sekametsikön optimikasvatusohjelmaa määrittäessä on otettava ainakin seuraavat tekijät tarkasteltaviksi:

A. Puulajisuhteet

Sekoitusvaihtoehdot ovat puhdas havupuumetsikkö, lievä, keskimääräinen tai runsas lehtipuusekoitus sekä puhdas lehtipuumetsikkö. Sekoitus voi olla rungoittainen, ryhmittäinen tai riveittäinen.

B. Ikäero

Puulajit voivat syntyä yhtä aikaa tai eri aikaan. Lehtipuusto voi syntyä aikaisemmin kuin kuusi (ylempi jakso), samanaikaisesti, tai se voi täydentää havupuutaikikon jälkeensä.

C. Käsitteilytapa

Hakkuu voi kohdistua samanlaisena molempiin puulajeihin tai jompaa kumpaa puulajia suosien. Lehtipuusto saatetaan poistaa kokonaan jo ennen päätehakkuuta. Harvennustapa voi olla molemmille puulajeille sama tai puulajeittain vaihteleva.

Mainitut kolme tekijää muodostavat yhdessä suuren määrän biologisesti ja ekonomisesti arvioiden erilaisia vaihtoehtoja. Luotettavan vastauksen antaminen kaikkiin esitettyihin ongelmiin edellyttää laajojen kestokokeiden perustamista. Kuusi-koivusekametsiköt ovat usein pienialaisia sekä ikä- ja puulajisuhteiltaan niin vaihtelevia, että kestokokeisiin tarvittavia kohteita on lähes mahdotonta löytää olemassaolevista metsistä. Kokeet olisi tästä syystä perustettava viljelemällä. Metsiköitä onkin perustettu viime vuosina, mutta niistä saatavia tuloksia joudutaan odottamaan vuosikymmeniä.

Koska kestokokeita ei tätä tutkimusta varten ole ollut käytettävissä, on ollut pakko tyytyä tilapäiskoealoilta saatavaan tietoon. Tilapäiskoealoilla voidaan metsikön historian puutteellisen tuntemisen vuoksi selvittää

lähinnä puulajisuhteiden vaikutusta puuston kasvuun. Aineiston tilastollinen käsittely edellyttää melko suurta koealamäärää. Tämän vuoksi tämä tutkimus on jouduttu rajoittamaan suurin piirtein yksijaksoisiin ja tasaikäisiin kuusi-koivumetsiköihin. Metsikön historiaa on pyritty valaisemaan runkoanalysein.

22. Metsiköiden valinta

Koemetsiköt valittiin subjektiivisesti ammattimiesten ehdotusten pohjalta. Kustannussyistä ei ollut mahdollista käyttää objektiivisia otantaan perustuvia menetelmiä. Kuusi-koivusekametsiköt ovat puustoltaan niin vaihtelevia, että koealojen sijoittaminen subjektiivisestikin valittuihin metsiköihin oli vaikeaa. Tutkimus perustuu lähinnä puukohtaisin kasvumallein tehtäviin vertailuihin, joihin metsikkövalinnalla ei liene ratkaisevaa merkitystä.

Aineistoa valittaessa rajoitettiin kuuselle ja koivulle soveltuville kivennäismaan metsätyypeille. Aineiston valtaosa edustaa Etelä-Suomen käenkaali-mustikka-(OMT) ja mustikkatyypin (MT) kasvupaikkoja.

Mitattavaksi hyväksyttiin yksijaksoisia tai yksijaksoiksi kehittyviä sekametsiköitä, joissa koivun osuus vaihteli välillä 10–70 %. Sekä raudus- että hieskoivu hyväksyttiin. Metsiköiden valintaa vaikeutti puulajien erilainen kasvurytmi. Etukäteen oli vaikea arvioida, olivatko varttuneet yksijaksoiset sekametsiköt olleet nuoruudessaan enemmän tai vähemmän kaksijaksoisia.

Metsiköiden tuli olla kasvunmittausjakson aikana hakkaamattomia ja lannoittamattomia. Viimeisen viiden vuoden aikana hakatuissa tai lannoitetuissa metsiköissä tarkasteltiin tätä toimenpidettä edeltävää kasvua. Kasvun välitöntä reaktiota hakuuun ei aineistosta näin voida selvittää. Hakkuun vaikutus näkyy kasvumalleissa vain puuston vähenevän tiheyden kautta.

23. Maastomittaukset

Kussakin metsikössä mitattiin yksi ympyräkoela, jonka tavoitekoko oli 100 puuta. Jokaisesta koealan puusta mitattiin suunta ja etäisyys koealan keskipisteestä, läpimitta 1,3 m:n korkeudelta maasta kahdesta suunnasta, puun pituus, sekä elävän latvuksen pituus. Arvioitavia puutunnuksia olivat latvuserros, rungon tekninen laatu, terveydentila ja tukkivähennys. Tukki-vähennyksellä tarkoitetaan vikaisuusien aiheuttamaa tukkiosuuden vähenemistä tukkirungon mitat täyttävissä puissa.

Koepuiksi valittiin ositettua otantaa käyttäen 15 kuusta ja 15 koivua puulajin koko runkolukusarjan alueelta. Keskiläpimittaa suurempia puita mitattiin suhteellisesti enemmän kuin tätä pienempiä puita.

Kaikista koepuista mitattiin selvitettyjen tunnusten

lisäksi ikä ja sädekasvu rinnankorkeudelta. Sädekasvu kairattiin kahdelta puolelta runkoa. Lämpimittä 6 m:n korkeudelta mitattiin latvakaulaimella ja kuusen pituuskasvu arvioitiin kiikarin avulla.

Metsikön historian ja koivun pituuskasvun selvittämiseksi kultakin koealalta kaadettiin yksi kuusi ja yksi koivu. Kaatopuiksi valittiin pohjapinta-alan mediaaneja vastaavat puut.

Kaatopuiden läpimitat ja kuoren paksuudet mitattiin 0,2, 1,3 ja 3 m:n korkeudelta sekä tästä eteenpäin 1,5 m:n välein. Ytimeen ulottuva kairanlastu otettiin 3 m:n välein. Kuusen vuotuiset pituuskasvut mitattiin niin pitkältä ajalta kuin pystyttiin.

24. Metsikkötunnusten laskenta

Puiden tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) yhtälöillä, joissa selittävinä muuttujina ovat puulaji, rinnankorkeusläpimitta, pituus ja kapeneminen. Kapeneminen saatiin läpimitan funktiona koealoittain laaditulla tasoitusuuralla. Kullekin puulajille laskettiin omat suoras. Koepuiden kapenemisena käytettiin mitattua arvoa.

Jokaisen rungon jakautuminen tukki-, kuitu- ja hukkapuuhun laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen matemaattisen osaston runkokäyräohjelmilla. Kustakin puusta arvioitiin maastossa tukkivähennys, jonka oletettiin siirtyvän kuitupuuksi.

Puuston keskilämpimittä ja keskipituus ovat puiden pohjapinta-aloilla painotettuja aritmeettisiä keskiarvoja. Valtapituus laskettiin puulajeittain hehtaaria kohti sadan paksuimman puun aritmeettisenä keskipituutena. Metsikön keski-ikä on koepuiden tilavuuksilla painotettu rinnankorkeusikä.

Puuston suhteellinen pohjapinta-alakasvu ja tilavuuskasvu laskettiin vertaamalla koepuiden kasvujen summia vastaavien tunnusten kokonaissummiin alkutilanteessa. Laskennassa kokeiltiin myös menetelmää, jossa koepuiden pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvut tasoitettiin läpimitan funktiona. Molemmilla tavoilla lasketut metsikön kasvut vastasivat pääpiirtein toisiaan. Tasoituskäyrän ollessa joissakin tapauksissa herkkä yksittäisten, poikkeavien koepuiden vaikutukselle, päädyttiin käyttämään ensiksi mainittua laskentatapaa.

Kiikarilla mitatuissa kuusen pituuskasvuissa havaitun systemaattisen yliarvion vuoksi (ks. Tiuhonen 1967) pituuskasvuja korjattiin kaatokoepuiden perusteella. Yliarvion todennäköisiä syitä ovat heikosti erottuvat oksakiehkurat ja latvasilmujen kuolemista aiheutuva kasvainkato, joka voidaan todeta vain vuosilustomittauksista.

Kuusikoepuiden kiikarilla mitatut pituuskasvut kerrottiin seuraavan yhtälön antamalla korjauskertoimilla. Kaikissa tämän tutkimuksen logaritmiyhtälöissä on vakiotermissä mukana logaritimuunnoksesta johtuva korjaus.

$$\ln(k) = -3,229 - 0,2638 \ln(h) + 1,074 \ln(H_{100}) \quad (1)$$

missä k = korjauskorroin

$$N = 316 \quad R^2 = 0,244$$

Koivun menneen kauden pituuskasvu laskettiin seuraavilla, kaatokoepuihin perustuvilla yhtälöillä:

Rauduskoivu

$$\ln(i_{h5-}) = -8,605 + 2,328 \cdot \ln(h) - 0,5565 \cdot (\ln(h))^2 + 2,119 \cdot \ln(H_{100}) \quad (2)$$

$$N = 268 \quad R^2 = 0,608$$

Hieskoivu

$$\ln(i_{h5-}) = -5,848 + 0,8255 \cdot \ln(h) - 0,2533 \cdot (\ln(h))^2 + 1,789 \cdot \ln(H_{100}) \quad (3)$$

$$N = 157 \quad R^2 = 0,359$$

Kuoren kasvu laskettiin erotuksena kaatokoepuista laadituilla kuorenpaksuusyhtälöillä:

Kuusi

$$\ln(2 \cdot b) = -1,537 + 0,5305 \cdot \ln(d) - 0,1341 \cdot \ln(cr) \quad (4)$$

$$N = 63 \quad R^2 = 0,521$$

Koivu

$$\ln(2 \cdot b) = +2,674 + 0,001426 \cdot d^2 - 0,1717 \cdot \ln(cr) \quad (5)$$

$$N = 68 \quad R^2 = 0,770$$

Kannoista mitatun hakkuupoistuman selvittämiseksi koepuiden perusteella laskettiin koealoittain rinnankorkeusläpimitan (d) ja kantolämpimitan (d_k) suhteen ilmaiseva regressioyhtälö:

$$d = a + b \cdot d_k$$

Hakkuussa poistettujen puiden pituus ja kapeneminen laskettiin pystypuiden perusteella laadituilla malleilla, minkä jälkeen puiden tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) yhtälöillä. Tässä tutkimuksessa kaikki tulokset kuvaavat lähimenneisyydessä hakkaamatonta metsikköä. Aiempien hakkuiden vaikutus näkyy vain puuston määrässä ja järeydessä.

25. Metsikön kasvun simulointi

Metsikön pitkän ajan kasvun ennustaminen voi perustua joko metsikkö- tai puukohtaisiin kasvumalleihin. Puumallit jaetaan lähiympäristöstä riippuviin ja siitä riippumattomiin (Munro 1974). Näistä ensisimainitut edellyttävät puuston kartoitusta ja soveltuvat parhaiten eri tekijöiden kasvuvaikeuksien yksityiskohtaiseen tarkasteluun.

Puuston kehityksen simuloinnissa metsikkömallit ovat olleet helpokäyttöisyytensä vuoksi puumalleja suosittumia (Eriksson 1976, Saramäki 1977, Mielikainen 1980, Vuokila ja Väliho 1980). Kasvun laskemiseksi on tarpeen tuntea ainoastaan kasvumalleissa selittävinä muuttujina käytetyt metsikön keskitunnukset, kuten puuston ikä, tilavuus, puulajisuhteet ja kasvupaikan laatu. Keskitunnuksiin perustuva kasvun ennustaminen soveltuu parhaiten tasaisiin, yksijaksoisiin metsikköihin.

Puittaisessa simuloinnissa tarvitaan metsikkötunnusten lisäksi puittaiset tiedot kasvumallien selittävästä muuttujista. Puustoa harvennetaessa on tiedettävä poistuman määrän lisäksi myös se, mitkä puut poistetaan.

Puittainen menetelmä vaatii metsikköittäiseen verrattuna moninkertaisen määrän laskentaa. Menetelmä antaa vastineeksi paremmat mahdollisuudet erilaisten metsänkäsitelymenetelmien vertailuun. Myös tuotetun puuston järeyssuhteet saadaan selville luotettavammin.

Tulokset eivät kuitenkaan voi olla tausta-aineistoan parempia. Aineiston on käsiteltävä puukohtaisesti simulointien koko vaihtelualue. Esim. harsinta- tai käytäväharvennuksen simulointiin alaharvennuksin käsitelty koepuuaineiston perusteella on syytä suhtautua varauksin.

Metsikön kasvun puittainen ennustaminen on laskentamahdollisuuksien parantuessa tullut yhä yleisemmäksi (Lemon ja Schumacher 1962, Newnham 1964,

Vuokila 1965, Eriksson 1977). Pisimmälle kehittyneissä järjestelmissä voidaan ennustaa jokaisen puun läpimitan, pituuden, oksien ja juurten kasvut, samoin kuin oksien karsiutuminen ja koko puun kuoleminen (Mitchell ym. 1982).

Puuston keskitunnukset, kuten ikä, keskiläpimitta ja keskipituus, eivät kuvaa monijaksoista metsikköä kovinkaan hyvin. Yksijaksoinenkin kuusi-koivusekametsikkö on kasvutekijöistä kilpailevien, toisistaan huomattavasti eroavien puiden yhteisö. Tämän vuoksi on

luonnollista, että tämän tutkimuksen päätulokset perustuvat metsikön kasvun puukohtaiseen simulointiin. Myös Eriksson (1976) toteaa yksittäisen puun kasvumallien soveltuvan metsikkömalleja paremmin sekametsikön kasvun ennustamiseen.

Tutkimusaineistosta laskettiin myös metsikön kasvuyhtälöt. Niiden pääasiallinen käyttö rajoittuu kuitenkin puulajien lyhyen ajan kasvujen vertailuun. Josain määrin metsikkömalleja on käytetty myös varsinainen simulointiajojen tukena.

3. AINEISTON KERUU

31. Aineiston maantieteellinen sijainti, määrä ja laatu

Aineisto käsittää 65 koemetsikköä, joista valtaosa sijaitsee Kuopio—Seinäjoki -linjan (63° N) eteläpuolella. Sekä Itä- että Länsi-Suomi ovat tasapuolisesti edustettuina. Koealoista 38 on mitattu v. 1980 ja loput 27 v. 1981. Metsiköt ovat kahta lukuunottamatta luontaisesti syntyneitä.

Koemetsiköt sijaitsevat viljavilla kasvu- paikoilla, mikä näkyy seuraavan asetelman luvuista. Yli puolet metsiköistä on luokiteltu käenkaali-mustikkatyyppiin (OMT) kuuluviksi.

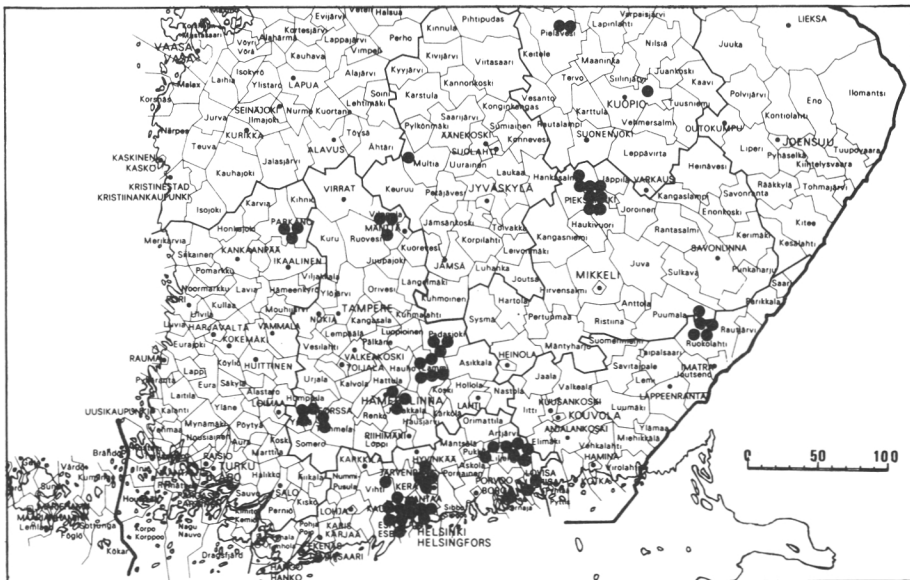
	Metsätyyppi — Forest site type						Yhteensä Total
	OMT	OMTk	OMT ₁	MT	MTk	MT ₁	
Koealoja, kpl — Number of sample plots	35	8	5	11	3	3	65
Yhteensä All stands							
Ku-raud. Norway spruce - <i>B. pendula</i>	21	6	2	7	1	—	37

Taulukko 1. Koealojen jakautuminen ikä- ja puuston tilavuusluokkiin.

Table 1. The mixed stand plots by age and volume classes.

Puuston tilavuus Stand volume (V) m ³ /ha	Rinnankorkeusikä (T _{1,3}), a Age at breast height					Yhteensä Total
	0—19	20—39	40—59	60—79	80+	
100—149	1					1
150—199	2	4	7	2	1	16
200—249		3	18	4	4	29
250—299	1	2	10	4		17
300—349		1	1			2
Yhteensä Total	4	10	36	10	5	65

Taulukossa 1 on esitetty mitattujen koealojen jakautuminen ikä- ja puuston tilavuusluokkiin. Suurin osa koemetsiköistä on 20—80-vuotiaita. Tätä nuorempien ja vanhempien koemetsiköiden löytäminen oli vaikeaa. Aivan nuoret metsiköt ovat joko hoitamattomia tai juuri perattuja ja näin sovel-



Kuva 2. Koealojen maantieteellinen jakauma.
Fig. 2. Location of the sample plots.

tumattomia tutkimukseen. Vanhat metsiköt puolestaan muuttuvat kiertoajan loppupuolella puhtaksi kuusikoiksi hakkuiden kohdistuessa voimakkaampina lyhytikäisempään koivuun.

Puuston tilavuus vaihtelee rajoissa 150–300 m³/ha, joten metsiköt ovat runsaspuu-
toisia.

Pääosassa aineistoa koivun osuus vaihtelee seuraavan asetelman mukaan rajoissa 20–60 % keskiarvon ollessa lievästi kuusivaltainen.

Koivun osuus pohjapinta-alasta, % (B-%)				
Birch, % of basal area				
10–19	20–29	30–39	40–49	50–59
Koealoja, kpl — Number of sample plots				
2	14	15	16	14

Erillisen, puhtaita kuusikoita ja koivikoita käsittävän vertailuaineiston keräämistä ei pidetty välttämättömänä, koska siihen perustuva vertailu ei olisi merkittävästi luotettavampaa kuin vertaaminen olemassaoleviin kasvu- ja tuotostaulukkoihin. Myös kartoite-
tuissa sekametsikoissä on mahdollista löytää puuyksilöitä, joiden kilpailutilanne vastaa yhden puulajin metsikön olosuhteita.

Mitatusta koemetsiköistä 14 oli hakattu ja 3 lannoitettu viime 5-vuotiskaudella. Näillä koealoilla tarkasteltiin käsittelyä edeltävän ajan kasvua.

32. Koealojen koko

Kasvututkimuksissa käytettävien koealojen optimikoko riippuu mitatun tiedon käyttötavasta. Puuston runkolukusarjan ja keskitunnusten määrittäminen edellyttää vähintään 100 puuta käsittävän koealan mitausta (Nyyssönen 1954). Puukohtaisten kasvumallien laadinnassa saattavat jopa yhden puun ”koealat” tulla kysymykseen. Tällöinkin on tavallisesti jonkinlainen tieto puun lähiympäristöstä tarpeen.

Tässä tutkimuksessa tavoiteltu ympyräkoealan koko, noin 100 puuta, sekä puuston kartoitus mahdollistavat kasvun puu- ja metsikkökohtaisen tarkastelun. Koealojen jakautuminen kokoluokkiin on esitetty oheisessa asetelmassa. Koealojen aritmeettinen keskikoko on 940 m².

Koealan pinta-ala, 100 m ² — Plot size, 100 m ²						
<2.5	2.5–5	5–7.5	7.5–10	10–12.5	12.5–15	15–17.5
Koealoja, kpl — Number of sample plots						
2	15	10	7	5	10	11

Parhaan pohjan puulajivertailulle antavat samanlaisella kasvupaikalla lähekkäin kasvat yhden puulajin metsiköt ja sekametsiköt (Mielikäinen 1980). Metsiköiden koko ja puuston pienipiirteinen vaihtelu tekivät tällaisten koealojen mittaamisen mahdotto-
maksiksi.

33. Kasvupaikkojen luokitus

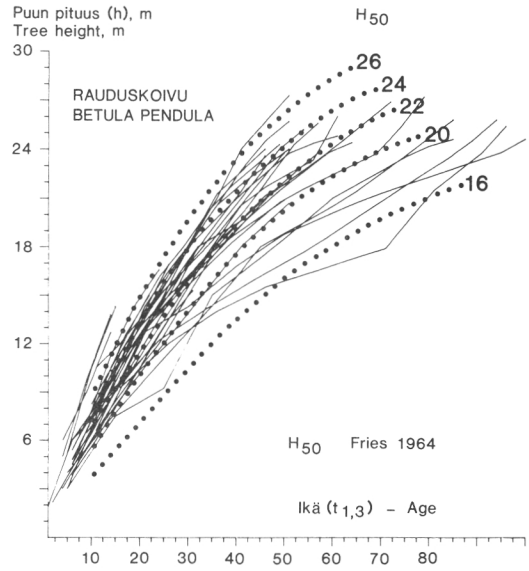
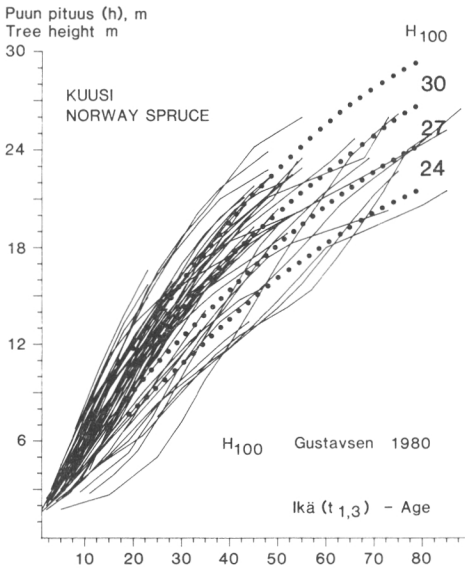
Kasvupaikat voidaan luokitella joko met-
sikön kasvupaikkatekijöiden tai puuston pe-
rusteella. Näistä ensiksi mainittuja ovat mm.
maaperän ravinteisuus, maantieteellinen si-
jainti ja korkeus merenpinnasta (Y. Ilvessalo
ja M. Ilvessalo 1975).

Suomessa kasvupaikkatekijöitä kuvataan
pintakasvillisuuteen pohjautuvilla metsätyy-
peillä (Cajander 1909). Metsätyypit ovat
tutkimuskäyttöä ajatellen karkeita, minkä li-
säksi puulajisuhteiden aiheuttama valaistus-
olojen vaihtelu vaikeuttaa sekametsikön
metsätyypin määrittystä.

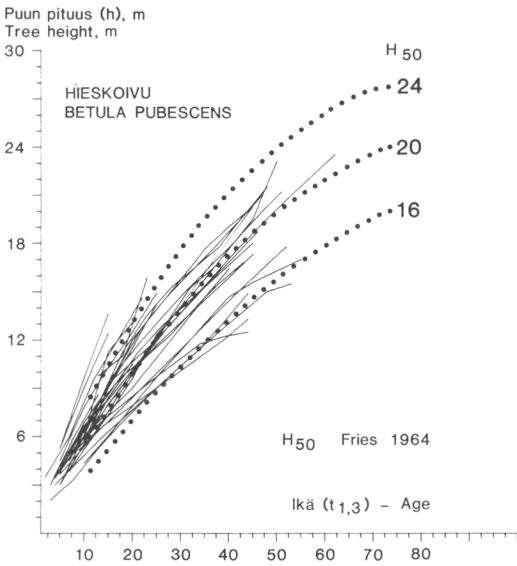
Puuston tunnuksiin, tavallisimmin valta-
pituuteen ja ikään perustuvan luokittelun ei
ole liioin katsottu soveltuvan sekametsik-
köihin (Jonsson 1961, Hägglund 1981, Fri-
vold 1982). Syynä tähän on puulajien vaiku-
tus toisiinsa ja maaperään. Sekametsikköra-
kenteen vaikutus voi olla positiivinen tai ne-
gatiivinen. Puulajit taistelevat valta-asemas-
ta. Nuorina nopeakasvuiset lehtipuut voivat
hoitamattomassa metsikössä heikentää ha-
vupuiden pituuskasvua. Lehtikarikkeen ja
vähenevän juuristiklopailun arvellaan toi-
saalta saavan sekametsikössä aikaan positiivi-
sen kasvureaktion havupuissa.

Mielikäisen (1980) mukaan männiköissä ja
sekametsikoissä kasvaneiden mäntyjen val-
tapituuksissa ei ollut merkittävää eroa. Ky-
seisessä tutkimuksessa lehtipuuston karie
on voinut kuitenkin vaikuttaa jossakin mää-
rin molempien, lähellä toisiaan sijaitsevien
vertailukoealojen maaperään. Sen sijaan puu-
lajien välisellä latvuskilpailulla on tuskin ol-
lut vaikutusta valtapituuteen.

Kuvassa 3 runkoanalyysipuiden pituuskeh-
itystä on verrattu puhtaisten metsiköiden
pituusboniteettikäyrästäisiin (Fries 1964,



Kuva 3. Kaatettujen valtapuiden pituuskehitys.
Fig. 3. Height development of felled dominant trees.



Gustavsen 1980). Koepuiden pituuskehitys noudattaa sekä kuusen että koivun osalta pääpiirtein ko. käyrästöjä. Selvää sekametsikkövaikutusta ts. boniteettiluokasta toiseen siirtymistä ei ole metsikköaineiston vaihtelualueella havaittavissa. Osasyynä tähän voi olla se, että myös Gustavsenin luontaisesti syntyneet kuusikot ovat saattaneet nuoruudessaan olla sekametsiköitä. Koivu puolestaan pysyy pioneeripuulajina valtasemassa kuusen pystymättä sitä häiritsemään.

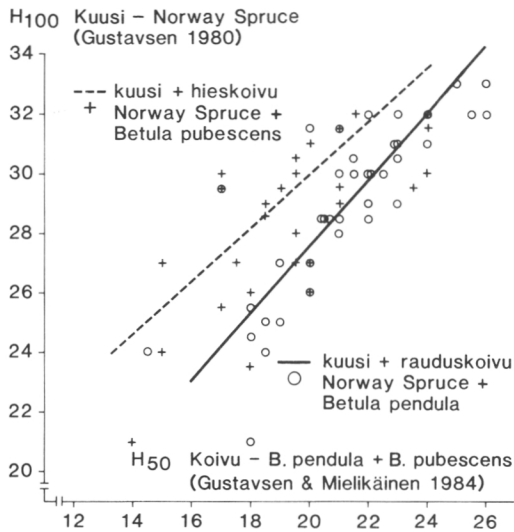
Mahdollisen sekametsikkövaikutuksen yksityiskohtaista analysointia varten valtapuita edustavien kaatokoepuiden pituuskehitys jaettiin 5-vuotijaksoihin. Kasvupaikat luokitettiin kullakin iänkohdalla iän ja pituuden perusteella (Gustavsen 1980). Jokaisesta yli 50-vuotiaasta kuusesta hyväksyttiin tarkasteluun ikävälillä 20—50 v, jotta saataisiin selville runkoanalyysipuiden aito pituuskehitys. Saadut valtapituusboniteettien arvot tasoitettiin iän funktiona laaditulla regressioyhtälöllä

$$H_{100} = 28,13 - 0,0334 T + 0,000768 T^2 \quad (N = 217) \quad (6)$$

Pituusboniteettien ikäluokittaiset keskiarvot on esitetty seuraavassa asetelmassa:

	Puuston ikä (T), a — Stand age, a			
	20	30	40	50
H ₁₀₀	27,8	27,8	28,0	28,4

Asetelman luvut osoittavat kaatokoepuiden siirtyneen boniteettiasteikossa lievästi ylöspäin iän lisääntyessä. Nousu on kuitenkin vähäistä, ja on mahdotonta todeta, onko kyseessä aineistojen välinen ero vai vähäinen sekametsikkövaikutus.



Kuva 4. Kuusen ja koivun pituusboniteettien H_{100} — H_{50} vastaavuus.
Fig. 4. Correspondence between site indices for Norway spruce and birch.

Saadut tulokset viittaavat siihen, että tutkitut sekametsiköt ovat olleet koko ajan hoidettuja tai jostakin muusta syystä riittävän harvoja. Tiheän verhopuuston alla kituvien kuusten pituuskehitys olisi jäänyt oletettavasti jälkeen puhtaan kuusikon kehityksestä (Heikinheimo 1941, Hannelius 1978).

Kuusen myöhempi kehitys näyttää aineiston perusteella olevan melko riippumaton puun alkukehityksestä, ts. biologisen iän (kokonaisuuden) ja rinnankorkeusiän erosta.

Maan kautta tulevan sekametsikkövaikutuksen hitaus mahdollistaa sen, että yksijakoiset, hoidetut sekametsiköt voidaan luokitella puhtaiden metsiköiden boniteettikäyrästä käyttäen.

Kuva 4 ilmaisee kuusen ja rauduskoivun boniteettiluokkien vastaavuudet. Kuusen indeksi perustuvat 100 ja koivun 50 v:n biologiseen ikään. Rauduskoivun kasvupaikkaluokasta H_{50} päästään kuusen luokkaan H_{100} lisäämällä siihen 7—8 m ja hieskoivulla 10 m. Saatua tulosta voidaan käyttää sekametsikkövaikutuksen puuttuessa (vrt. kuva 3) myös puhtaiden metsiköiden kasvupaikkavertailuun.

Koemetsiköt ovat maapohjaltaan reheviä. Yli puolet metsiköistä on luokiteltu lehdok-

Taulukko 2. Valtapituusboniteettien (H_{100} kuusi = Gustavsen 1980; H_{50} koivu = Gustavsen ja Mielikäinen 1984) ja metsätyyppien vastaavuus.

Table 2. The correspondence between site index and forest site type in the study stands.

H_{100} kuusi spruce	Arvioitu metsätyyppi — Site type				Yhteensä Total
	OMT	OMT kiv. OMT soist.	MT	MT kiv. MT soist.	
24	3		2	2	7
25	1	2		1	4
26	1		1	1	3
27	3	1	2		6
28	3	3	1		7
29	4	1	3	1	9
30	7	4			11
31	5	1	1	1	8
32	7				7
33	1	1			2
Yhteensä Total	35	13	10	6	64

Keskiarvot metsätyypeittäin
Means by site type

	OMaT, OMT	MT, OMT k.s.	MT k.s
H_{100} Kuusi — Spruce	29,4 (2,85)	28,2 (2,14)	26,3 (3,78)
H_{50} Rauduskoivu — B. pendula	22,4 (2,19)	20,1 (2,41)	
H_{50} Hieskoivu — B. pubescens	19,3 (2,69)	19,2 (2,69)	14,3 (1,60)

() = keskihajonta (s)
standard deviation

si tai lehtomaiseksi kankaaksi (OMaT, OMT). Kuusi-rauduskoivumetsiköissä keskimääräinen H_{100} on kuuselle 28,9 m ja kuusi-hieskoivumetsiköissä 28,3 m.

Taulukossa 2 on esitetty kuusen valtapiuusboniteetti ja arvioidun metsätyyppien vastaavuus. Vaihtelu sekä metsätyyppien että pituusboniteettiluokkien sisällä on suuri. Vaihtelun yhtenä syynä ovat luokitteluvirheet. Metsätyyppien määrittäminen on sekametsiköissä tavallista vaikeampaa.

Indeksien metsätyyppitöiset keskiarvot ovat suurempia kuin Vuokilan (1983) ja selvästi suurempia kuin Gustavsenin (1980) luvut. Vuokilan mukaan käenkaali-mustikka-tyyppejä vastaa kuusen pituusboniteetti 27 (25,5—28,5) m ja Gustavsenin mukaan pituusboniteetti 24 (22,5—25,5) m. Tämän tutkimuksen kuuset saavuttavat OMT:llä 100 v:n iällä 29,4 m:n valtapiuuden.

Tämän tutkimuksen mukaan OMT-rauduskoivikon valtapiuus 50 v:n iällä on 22,4 m ja MT-koivikon 20,1 m. Tulokset vastaavat Gustavsenin ja Mielikäisen (1984) luontaisesti syntyneille koivikoille esittämiä lukuja. Tämä on luonnollista, koska näiden tutkimusten aineistot ovat osittain samat. Boniteetti-indeksien hajonta (s) on samaa

luokkaa Sepposen, Lähteen ja Roiko-Jokelan (1979) tulosten kanssa.

Erot viljelykoivikoiden kasvupaikkaluokkiin ovat suuret. Oikarisen (1983) mukaan metsätyyppien ja valtapituusboniteettien (H_{50}) vastaavuudet ovat viljelykoivikoissa: OMT = 26 m, MT = 24 m ja VT = 22 m.

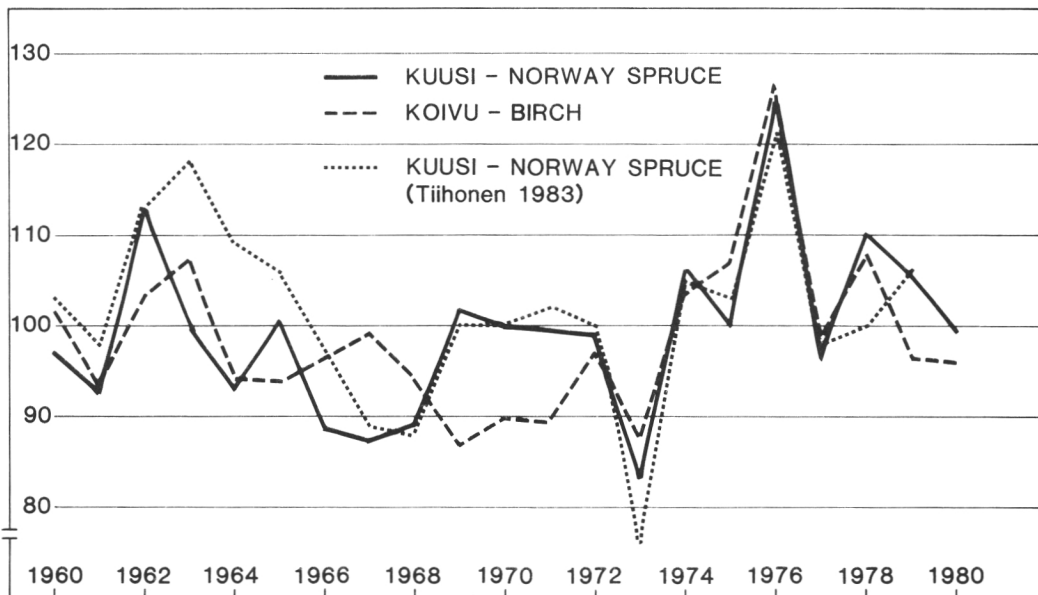
Osa eroista aiempiin tutkimuksiin selittyi eroilla metsätyypin määrittämisessä. Tämän tutkimuksen metsiköt ovat myös nuoria. Vanhimmat runkoanalyysikuuset olivat iältään noin 90 v; parhailla kasvupaikoilla vain 65 v. Tästä syystä ei voida olla varmoja, jatkuuko valtapuiden pituuskehitys boniteettiluokan osoittamaa vauhtia 100 v:n iälle saakka.

Luokituserot osoittavat metsätyypeittaisen valtapituusboniteetin riippuvan aineistosta. Sama boniteettiluokka ei myöskään takaa kahden kasvupaikan puuntuotoskyvyn yhtäsuuruutta (ks. Kilkki ja Ojansuu 1981). Puuntuotokseen vaikuttaa pituuskasvun lisäksi myös runkomuodon kehitys, joka voi eri ilmastoalueilla olla erilainen. Pituusboniteetti on kuitenkin hyvä keino luokitella alueellisesti suppea tutkimusaineisto kasvupaikkaluokittaiseen paremmuusjärjestykseen.

34. Kasvun ilmastollinen vaihtelu

Tärkeimmät kasvun vaihtelua aiheuttavat säätökijät ovat kasvukauden lämpötila ja sademäärä. Puulajit reagoivat ilmaston vaihteluihin eri tavalla, minkä vuoksi mitatut kasvuluvut on korjattava keskimääräisilmaston tasoon ennen puulajien kasvujen vertailua. Ilmastolliset vuosilustoindeksit vaihtelevat alueittain ja kasvupaikkaluokittain. Koska alueittaisia indeksejä ei ollut käytettävissä vuoteen 1980 saakka, ne laadittiin tämän tutkimuksen aineiston perusteella.

Hägglundin (1981) mukaan vuosilustoindeksin laskennassa käytettävän tasoituskäyrän tulee perustua vähintään 60 v:n jaksoon. Tämän tutkimuksen metsiköt ovat hakkuin käsiteltyjä ja suhteellisen nuoria. Tämän vuoksi ei ollut mahdollista käyttää 20 v pidempää tasoitusjaksoa. Mahdollisimman hyvään iänmukaiseen tasoitukseen pyrittiin poistamalla laskelmista viimeisten 20 v:n aikana hakatut metsiköt. Aineiston karsinnassa käytettiin hyväksi metsänomistajilta saatuja hakkuutietoja ja koealoittaisia vuosilustosarjoja. Näin valikoidun aineiston kooksi tuli noin 300 kuusta ja 300 koivua. Raudus- ja hieskoivulle laskettiin yhteiset indeksit



Kuva 5. Kasvun ilmastollinen vaihtelu tutkimusaineistossa.
Fig. 5. Climatic variation of the diameter increment in the study stands.

(ks. Fries 1964) Timosen kehittämällä ohjelmistolla.

Kuvassa 5 ja taulukossa 3 ovat nähtävissä kuusen ja koivun vuosilustoindeksit vuosille 1960—80. Vertailuna on esitetty Tiihosen indeksiluvut vuodelta 1983. Kuusen osalta on taulukossa 3 myös vertailu Thamminchan (1981) ja koivun osalta kirjoittajan omiin indekseihin mänty-koivusekametsiköissä (1980).

Indeksisarjat ovat keskenään yhdenmuukaisia. Sekä kuusen että koivun kasvu on ollut v. 1976 kaikkien sarjojen mukaan huomattavasti keskitason yläpuolella. Myös kuusen epäsuotuisa kasvukausi 1973 näkyy selvästi kaikissa indekseissä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavien jaksosten 1975—79 ja 1976—80 indeksit ovat koivun osalta 107 ja 105 ja kuusen osalta 107 ja 107. Tiihosen indeksi kuuselle v. 1975—79 on 106. Kuusen ja koivun indeksit ovat tarkastelujakson aikana niin yhtenäiset, ettei indeksikorjaus pelkästään kasvujen vertailun vuoksi olisi välttämätöntä.

Taulukko 3. Kuusen ja koivun vuosilustoindeksit v. 1960—80.

Table 3. Climatic variation of diameter increment in the study stands.

Vuosi Year	Kuusi Spruce			Koivu Birch		
	1	2	3	4	5	6
1960	97	103	102	102	123	112
1961	93	98	93	93	113	100
1962	113	113	104	103	112	107
1963	99	118	113	107	122	115
1964	93	109	101	94	105	102
1965	101	106	106	94	98	97
1966	88	97	104	96	100	101
1967	87	89	101	99	97	100
1968	89	88	97	94	88	100
1969	102	100	105	87	83	88
1970	100	100	104	90	83	86
1971	99	102	101	89	81	94
1972	99	100	104	97	84	86
1973	83	76	81	87	83	95
1974	106	105	99	104	84	88
1975	100	103	102	107		112
1976	124	121	115	127		127
1977	97	98	100	98		
1978	110	100		108		
1979	105	106		97		
1980	99			96		

Selitys

Explanation

- 1 = Tutkimusaineisto — *This material*
- 2 = Tiihonen 1983
- 3 = Thammincha 1981
- 4 = Tutkimusaineisto — *This material*
- 5 = Tiihonen 1983
- 6 = Mänty-koivusekametsiköt (Mielikäinen 1980)

4. KUUSI-KOIVUSEKAMETSIKÖIDEN RAKENNE

41. Puulajien ikäerot

Oheisessa asetelmassa on esitetty puulajien keski-ikäien erot ikäluokittain. Yksijaksoiset kuusi-koivumetsiköt ovat rinnankorkeudelta mitaten lähes tasaikäisiä. Sekä raudus- että hieskoivut ovat tutkituissa metsiköissä rinnankorkeudelta keskimäärin 1,6 v kuusia vanhempia.

Puulaji Tree species	Metsikön rinnankorkeusikä ($T_{1,3}$), a Age at breast height					
	< 30	30-39	40-49	50-59	60-69	> 70
	Ikäero (kuusi-koivu) rinnankorkeudelta Age difference (spruce-birch) at breast height					
Raudus- koivu <i>B. pendula</i>	- 2,3	- 1,0	- 3,7	+ 1,3	- 1,8	- 5,3
Hieskoivu <i>B. pubescens</i>	- 0,6	- 3,3	- 2,3	- 2,0		+ 8,0

Likimain samansuuruisen, mutta päinvastaiseen suuntaan olevan ikäeron totesi Mielikäinen (1980) mänty-koivusekametsiköissä. Mänty ei ilmeisesti valopuuna menesty koivun kanssa kilpailussa, mikäli koivu on kehityksessään sen edellä rinnankorkeusvaiheessa. Kuusi sen sijaan varjopuuna selviää kilpailusta, vaikka koivu pääsisi nuoruudessaan valta-asemaan. Liian myöhään syntyvät koivuntaimet eivät enää pysty pääsemään tasavertaiseen asemaan voimakkaasti varjostavan kuusen kanssa.

Tilanne muuttuu, jos tarkasteltavaksi otetaan puiden kokonaisikä. Joka kolmanesta pystykoepuusta kairattiin puiden alkukehityksen selvittämiseksi ikä myös kannonkorkeudelta. Noin 200 kuusen ja 200 koivun mittaukseen perustuen on esitetty kuusella ja koivulla rinnankorkeuden saavuttamiseen kuluva aika (taulukko 4). Lukuihin on lisättävä aika, joka on kulunut siemenestä kannonkorkeudelle. Koivulla tarvittava lisäys on 1—2 v; kuusella lisäys on suurempi.

Sekä kuusella että koivulla rinnankorkeuden saavuttamiseen kuluva aika riippuu kasvupaikan viljavuudesta. Runsas koivusekoi-

Taulukko 4. Rinnankorkeuden saavuttamiseen kuluva aika. Kuusi ja koivu sekametsiköissä (tk- $t_{1,3}$).
Table 4. Difference between stump age and breast-height age.

Koivu- % Birch-%	Kuusen valtipituusboniteetti ($H_{1,00}$) Dominant height index for spruce		
	24	27	30
	Kuusi — Norway Spruce		
25	11,0	9,5	8,2
50	12,9	11,1	9,7
75	14,2	12,2	10,6
	Koivu (raudus + hies) — <i>B. pendula + pubescens</i>		
	5,3	4,9	4,6

tus hidastaa kuusen alkukehitystä. Tällöin on otettava huomioon, että koivun osuutta koemetsiköiden syntyvaiheessa ei tunneta vaan koivun osuutena on käytetty mittaustajankohdan arvoja. Friesin (1964) mukaan koivu saavuttaa 1,3 m:n pituuden kasvupaikasta riippuen 5—8 v:ssä ja kuusi Gustavseinin (1980) mukaan 11—13 v:ssä.

Tutkimusaineiston kuuset ovat syntyneet keskimäärin 5—6 v ennen koivua, eli ne ovat olleet pituudeltaan noin 0,5 m koivujen syntyvaiheessa.

42. Puuston tiheys

Koemetsiköt ovat runsaspuustoisia (kuva 6). Noin 30 % koealoista on Kml. Tapion ohjeiden mukaan harvennuksen tarpeessa. Vastaavasti vain 7 metsikköä alittaa harvennuksmallien leimauksen jälkeisen minimimitason. Yksikään metsikkö ei kuitenkaan ole puuston määrän puolesta ao. ohjeiden mukaan vajaatuottoinen.

Runkoluku on varttuneissa metsiköissä samaa suuruusluokkaa Vuokilan (1956) tutkimien toistuvien harvennuksien käsiteltyjen kuusikoiden kanssa. Tämän tutkimuksen nuoret metsiköt ovat selvästi Vuokilan kuusikoita tiheämpiä.

Syynä runsaspuustoisuuteen on osittain koealojen subjektiivinen sijoittelu, jossa vältetään metsiköissä yleisesti esiintyviä aukkoja. Toisena syynä on metsiköiden jonkinasteinen monijaksoisuus, joka tekee mahdolliseksi yksijaksoista metsikköä suuremman puumäärän kasvatuksen tietyllä pinta-alalla.

43. Pituustunnukset

Rinnankorkeudelta mitaten tasaikäiset kuusi-koivusekametsiköt olivat silmämääräisesti tarkastellen suurin piirtein yksijaksoisia. Kuitenkin valtaosa koivusta kuului valitseviin latvuskerroksiin, kun melkoinen osa kuusen runkoluvusta oli vallittuja puita. Kuusista tosin osa oli syntynyt myöhemmin päällyspuuston alle.

Kuvassa 7 on esitetty kuusen ja koivun valtapituuskeskiarvot ikäluokittain. Valtapituudet on laskettu kullekin puulajille hehtaaria kohti 100 paksuimman puun aritmeettisena keskipituutena. Arvot on tasoitettu puuston ikään ja kuusen pituusboniteettiin perustuvilla yhtälöillä (yhtälöt 7—9). Tulokset on esitetty kuusen boniteettiluokille 27 ja 30, jotka vastaavat mustikka- (MT) ja käenkaali-mustikkatyyppettä (OMT).

Valtapituusyhtälöt:

Selitettävä muuttuja $\ln(H_{dom})$ — Dependent variable

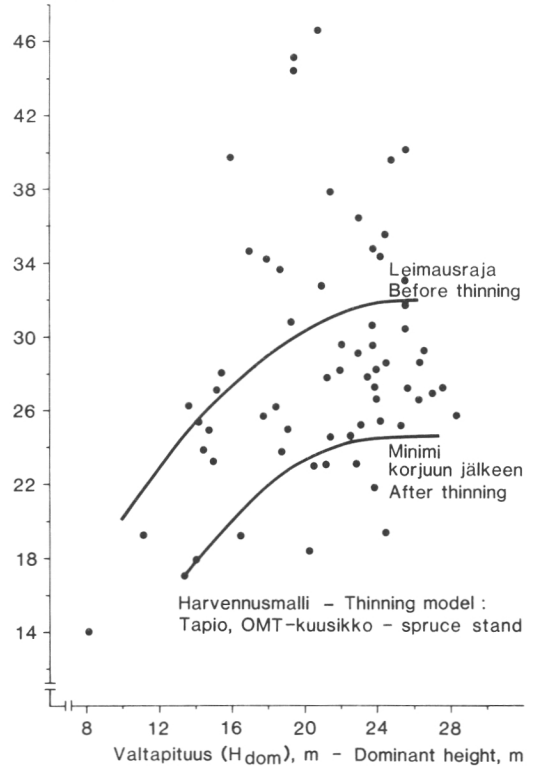
Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function		
	(7)	(8)	(9)
	Kertoimet — Coefficients		
Vakio — Constant	-2,98	-2,468	-2,865
$\ln(T_{1,3})$	+0,5036	+0,6118	+0,6867
$T_{1,3}$	+0,0029	-0,00165	-0,00208
$\ln(H_{100})$	+1,155	+0,9703	+0,9669
N	37	37	34

Selitys — Explanation:

Yhtälö — Function 7 = kuusi — Norway spruce
8 = rauduskoivu — *B. pendula*
9 = hieskoivu — *B. pubescens*

Rauduskoivun valtapituus on 10 v:n rinnankorkeusikäällä noin 1 m suurempi kuin kuusen valtapituus. Tämän jälkeen pituusero kasvaa ollen suurimmillaan, noin 2 m, 40 v:n iällä. Iän lisääntyessä tästä kuusi alkaa saavuttaa rauduskoivua. 80 v:n iällä kuusen ja rauduskoivun valtapituudet vastaavat toisiaan. Aineisto on parhailla kasvupaikoilla yli 70 v:n ikäisten metsiköiden osalta vähäinen. Tästä syystä puulajien vertailu vanhassa

Pohjapinta-ala (G), m²/ha
Basal area, m²/ha



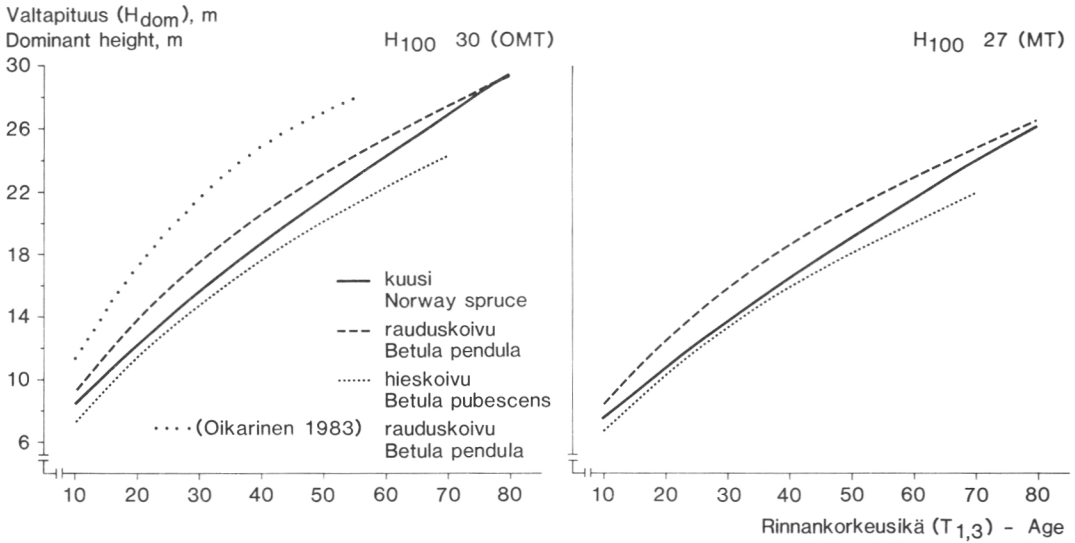
Kuva 6. Koemetsiköiden puustoisuus nykyisiin harvennusmalleihin verrattuna.

Fig. 6. Density of the study stands in relation to the present thinning guidelines.

sekametsikössä on kuvan 7 perusteella epävarmaa.

Kuvaan 7 on piirretty vertailuna myös Oikarisen (1983) OMT-viljelykoivikoiden valtapituuden kehitys. Viljelykoivikon valtapituus on enimmillään 30—40 v:n rinnankorkeusikäällä 4—5 m suurempi kuin sekametsikön. Näin suuri ero aiheutuu osaksi rodullisista eroista, jotka ovat koivulla suuremmat kuin havupuilla. On myös mahdollista, että Oikarisen koivikoiden kasvupaikka on parempi kuin tämän tutkimuksen kasvupaikka H_{100} (kuusi) = 30.

Hieskoivun ja kuusen valtapituudet ovat lähellä toisiaan 40 v:n rinnankorkeusikäällä saakka. Tämän jälkeen hieskoivun pituuskehitys hidastuu selvästi nopeammin kuin kuusen. 80-vuotiaassa sekametsikössä kuusen valtapituus on jo 2,5—3,5 m hieskoivun valtapituutta suurempi.



Kuva 7. Kuusen, raudus- ja hieskoivun valtapiisuudet sekametsikössä.
 Fig. 7. Dominant height of Norway spruce, *B. pendula* and *B. pubescens* in the study stands.

Metsikön valta- ja keskipituuden ero kuvastaa puuston rakennetta ja aiempaa käsittelyä. Alaharvennus lisää puuston keskipituutta mutta ei valtapiitua, mikä pienentää pituustunnusten erotusta.

Nyysösen (Tapion Taskukirja 1983) mukaan kuusikon valta- ja keskipituuden erotus on noin 2,5—3 m vaihdellen välillä 1—5 m. Männikoissä ja koivikoissa ero on pienempi.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty yhtälöt, jotka ennustavat puulajeittain lasketut valtapiitua ja keskipituuden erot.

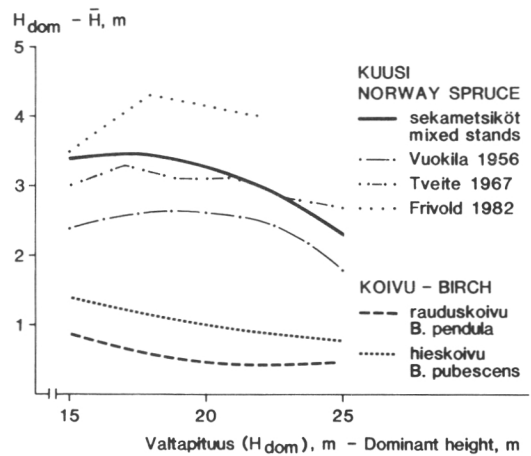
Selitettävä muuttuja $H_{dom} - \bar{H}$ — *Dependent variable*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>		
	(10)	(11)	(12)
	Kertoimet — <i>Coefficients</i>		
Vakio — <i>Constant</i>	-21,8	+14,83	+ 4,366
$\ln(H_{dom})$	+13,92	- 6,871	- 1,107
H_{dom}	- 0,830	+ 0,3133	

Selitys — *Explanation:*

Yhtälö — *Function* 10 = kuusi — Norway spruce
 11 = rauduskoivu — *B. pendula*
 12 = hieskoivu — *B. pubescens*

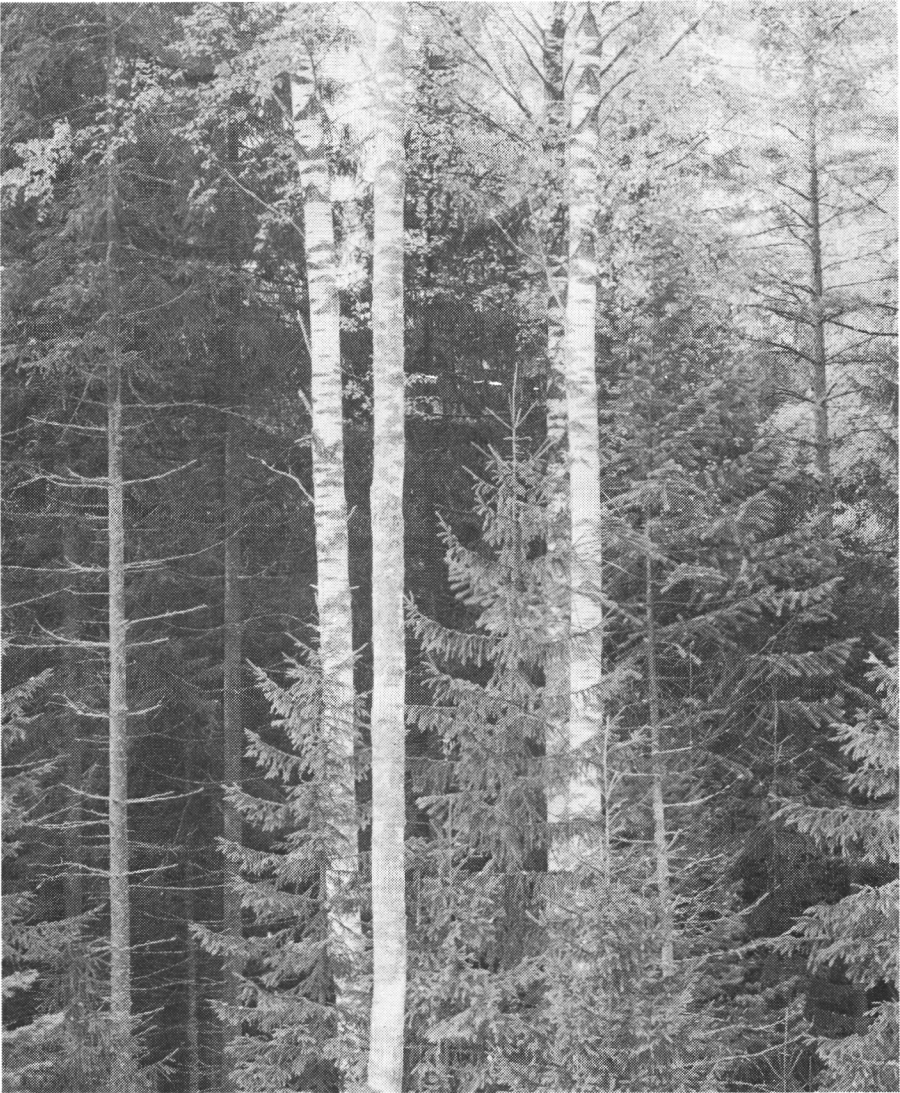
Kuvan 8 mukaan kuusen valta- ja keskipituuksien ero on sekametsiköissä noin 3 m. Koivun vastaava arvo on 0,5—1 m. Kuusella eron suuruus selittyy sillä, että puuston valituissa latvuserroksissa on runsaasti kuusta. Paljon valoa vaativa koivu ei sen sijaan menesty vallittuna vaan kuolee. Alaharven-



Kuva 8. Valta- ja keskipituuden erotus puulajeittain sekametsiköissä.
 Fig. 8. Difference between the dominant height and mean height of different tree species in the mixed stands.

nukset näkyvät eron pienemisenä puuston varttuessa.

Pituustunnusten erot vastaavat kuusen osalta Nyysösen ja Tveiten (1967) puhtaille kuusikoille esittämiä arvoja. Vuokilan (1956) hoidetuissa kuusikoissa valta- ja keskipituuksien erot olivat noin 0,5—1 m tämän



Kuva 9. Kuusi-koivusekametsikkö käyttää metsikön kasvutilan tehokkaasti hyväkseen. Varjoa sietävä kuusi menestyy myös hieman jälkeen jääneenä lisävaltapuuna. Valokuva: Metsäkuva-arkisto

Fig. 9. A spruce/birch mixed stand is able to utilise the space available for stand growth very efficiently. Spruce, being shade tolerant, thrives as a slightly dominated tree slightly behind. Photo: Metsäkuva-arkisto

tutkimuksen lukuja alhaisemmat. Sen sijaan Frivoldin (1982) tutkimissa sekametsiköissä kuusten vastaava pituusero oli noin 4 m eli puustot olivat selvästi epätasaisempia. Frivoldin sekametsiköistä huomattava osa oli kaksijaksoisia kuusten ollessa koivuja nuorempia.

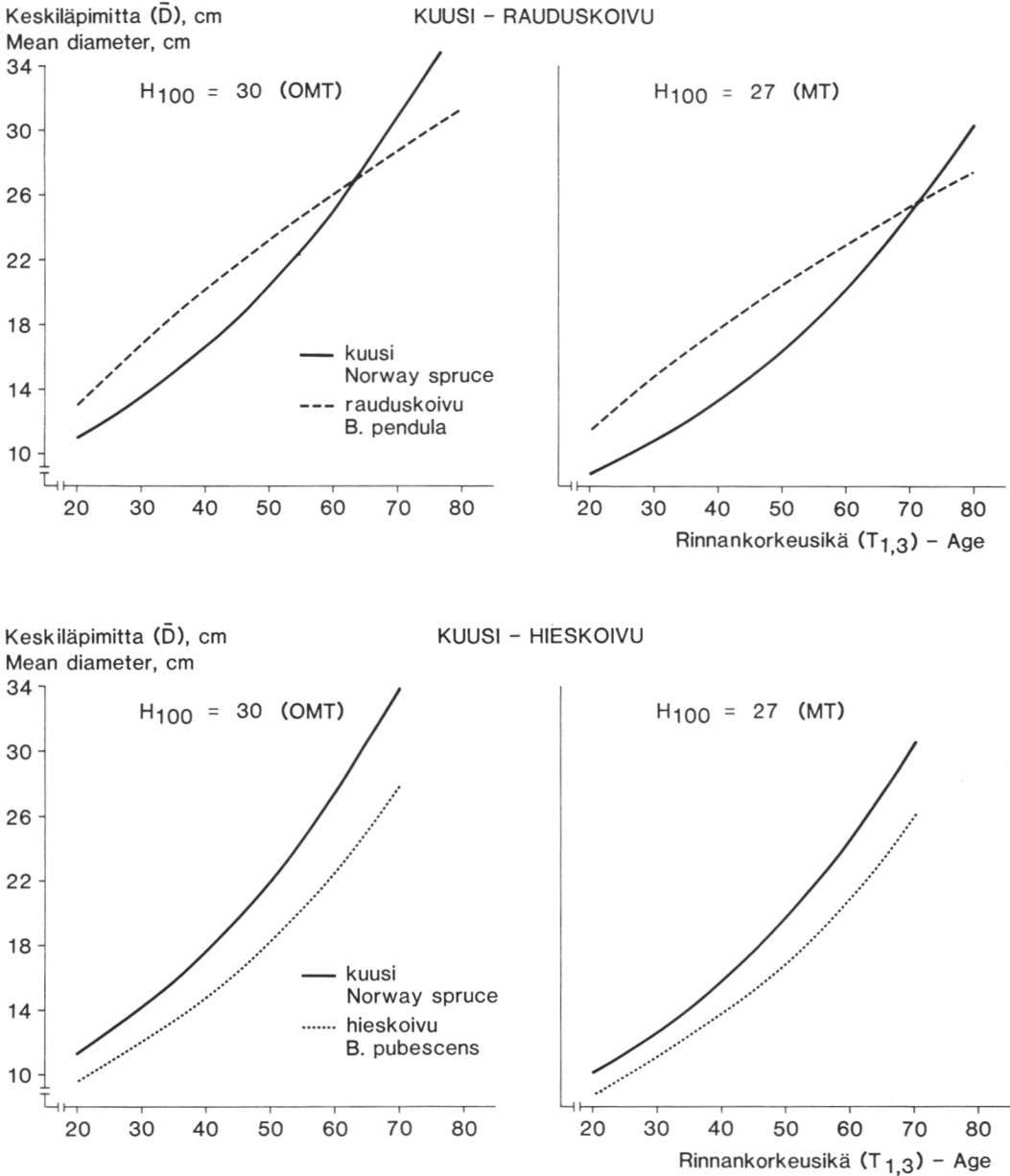
44. Keskiläpimitta

Keskiläpimitta kuvaa puuston keskimääräistä järeyttä. Hakuut vaikuttavat välittömästi keskiläpimittaan. Tämän vuoksi on syytä olla varovainen vertailtaessa eri metsiköiden tai puulajien kasvua pelkkien keski-

läpimittatunnusten perusteella. Kasvun aikaansaamaa järeytymistä keskiläpimitta kuvaa lähinnä hakkaamattomassa metsikössä.

Kuvassa 10 on esitetty kuusen, rauduskoivun

ja hieskoivun keskiläpimittakeskiarvot puuston iän funktiona. Keskiläpimitat on laskettu puiden pohjapinta-aloilla painotettuina keskiarvoina.



Kuva 10. Kuusen ja koivun keskiläpimitta sekametsikössä.
Fig. 10. Mean diameter of Norway spruce and birch in the mixed stands.

Pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan yhtälöt:
Selitettävä muuttuja ln (\bar{D}) — *Dependent variable*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>			
	(13)	(14)	(15)	(16)
	Kertoimet — <i>Coefficients</i>			
Vakio — <i>Constant</i>	- 4,900	- 1,690	- 3,487	- 0,6828
$T_{1,3}$	+ 0,0205	+ 0,02187		+ 0,02125
$\ln(T_{1,3})$			+ 0,6374	
$\ln(H_{100})$	+ 2,024	+ 1,083	+ 1,216	+ 0,7416
N	37	28	37	28

Selitys — *Explanation:*

Yhtälö — *Function* 13 = kuusi rauduskoivun seassa
Norway spruce with B. pendula
14 = kuusi hieskoivun seassa
Norway spruce with B. pubescens
15 = rauduskoivu — *B. pendula*
16 = hieskoivu — *B. pubescens*

Rauduskoivun keskiläpimita on nuorissa ja keski-ikäisissä sekametsiköissä selvästi kuusen keskiläpimitaa suurempi. Ero on 50—60 v:n rinnankorkeusialle saakka noin 3—4 cm. Kuusi alkaa saavuttaa rauduskoivua noin 40—50 v:n rinnankorkeusialta lähtien ja menee siitä ohi noin 65 v:n iällä.

Syynä kuusen koivua suurempaan järeyteen varttuneissa metsiköissä ovat puulajien erilaisen iänmukaisen kasvurytmin lisäksi käsitteyerot harvennushakkuissa. Kuusta käsitellään yleensä alaharventaen, kun taas ylispuun luonteisia koivuja hakataan myös ylhäältäpäin. Kilpailussa jälkeen jääneelle, mutta pitkäikäiselle kuuselle annetaan näin lisää kasvutilaa. Päätehakkuupuusto on yleensä joko puhdas kuusikko tai ainakin kuusivaltainen sekametsikkö.

Hieskoivu järeytyy tasaikäisessä kuusi-koivusekametsikössä jo nuorelta iältä lähtien kuusta hitaammin. Keskiläpimittojen ero on 20 v:n rinnankorkeusiallla noin 1 cm, mistä se kasvaa 70 v:n ikään mennessä 4—5 cm:iin.

45. Runkolukusarja ja tukkipuusto

Kuvassa 11 on esitetty puuston tilavuuden jakautuminen 2 cm:n läpimittaluokkiin. Y-akseli kuvaa läpimittaluokan %-osuutta puulajin kokonaistilavuudesta. Kuvien pohjana oleva aineisto käsittää noin 2500 kuusta sekä 1600 raudus- ja 600 hieskoivua. Puiden tilavuudet on laskettu läpimitaan ja pituuteen perustuvilla Laasasenahon (1982) tilavuusfunktioilla.

Kuusi-rauduskoivumetsiköiden jakaumas-
sa kuuset ovat keskittyneet koivua pienem-
piin läpimittaluokkiin. Rauduskoivun nopea
kasvu nuorella iällä näkyy alle 50-vuotiaiden
metsiköiden tilavuusjakaumassa. Yli 50-vuo-
tiaissa metsiköissä kuusi on jo saavuttanut
rauduskoivun järeyden. Hieskoivut ovat sekä
nuorissa että varttuneissa metsiköissä sel-
västi pienempiä kuin kuuset.

Puuston tukkiosuuden laskennassa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen matemaat-
tisen osaston kirjasto-ohjelmia, jotka perus-
tuvat Laasasenahon (1982) runkokäyrämal-
leihin. Aluksi kullekin pystypuulle laskettiin
runkokäyrä mitatun läpimitan ja pituuden
sekä koepuiden perusteella lasketun kape-
nemisen funktiona. Tämän jälkeen puutava-
ralajien osuudet laskettiin ohjelmalla, jonka
apteerausohjeet ovat peräisin valtakunnan
metsien 7. inventoinnin ohjeista vuodelta
1977. Hyväksytyt tukkien pituudet ja mini-
mäläpimitat latvasta kuoren päältä olivat
seuraavat:

Sallitut tukkipituudet:

Mänty ja kuusi 31—61 dm (keskim. 49 dm)

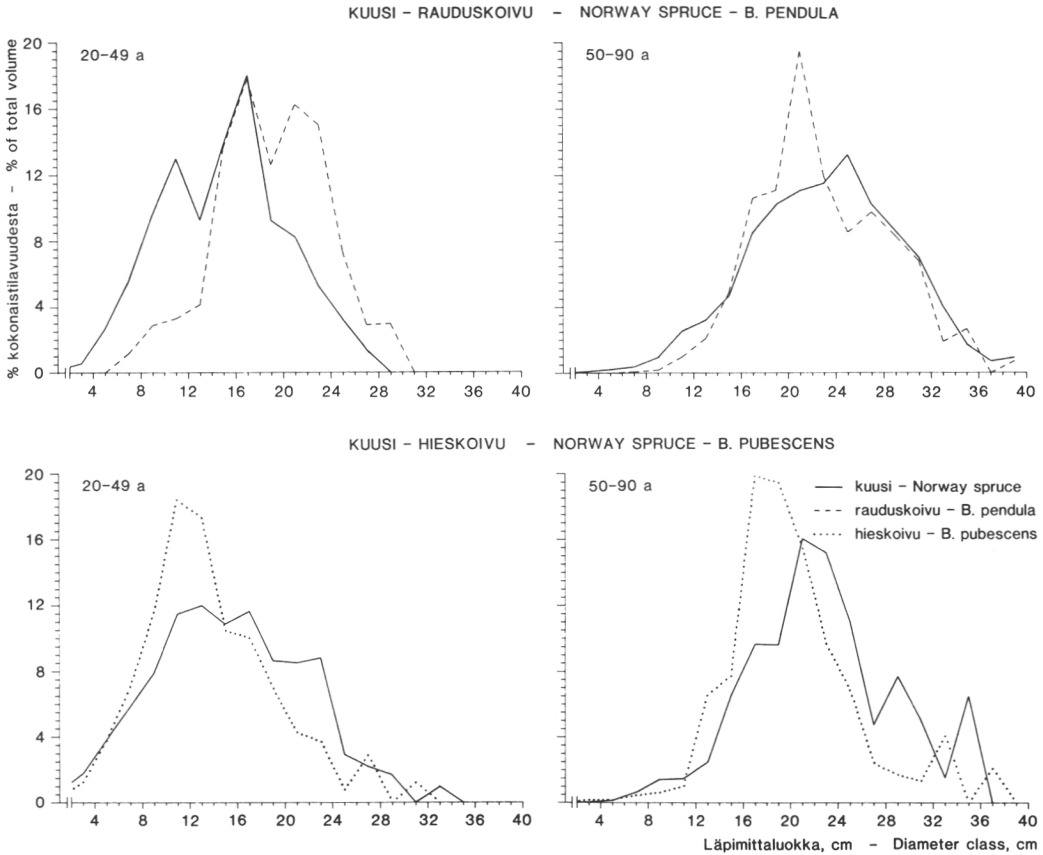
Vanerikoivu 31—73 dm

Tukin pituus <i>Stock length dm</i>	Minimiläpimittamitta, cm (kuoren päältä) <i>Minimum top diameter, cm (over bark)</i>		
	Mänty <i>Pine</i>	Kuusi <i>Spruce</i>	Koivu <i>Birch</i>
31	20,5	—	16,5
34	18,5	—	16,5
37	18,5	19,5	16,5
40	16,5	17,5	16,5
43	14,5	15,5	16,5
46	14,5	15,5	16,5
...			
61	14,5	15,5	16,5

Näin saatiin kunkin puun teoreettinen
tukkipuuosuus olettaen, että puu oli terve ja
laadultaan normaali. Tämän jälkeen siirret-
tiin kustakin puusta metsässä arvioidun
tukkivähennyksen verran tukkipuuta kui-
tupuuksi. Tulosten yleistettävyyttä vaikeut-
taa kuitenkin se, että koemetsiköiksi on va-
littu ulkonäöltään terveitä metsiköitä.

Kuvassa 12a on esitetty kuusi-rauduskoiv-
vu- ja kuusi-hieskoivusekametsikön tukki-
puuosuus kuusen valtapituuden funktiona.
Kuusi-rauduskoivumetsikön tukkipuun tuos
on näistä selvästi korkeampi. Tukkipuu-
prosenttien erot ovat valtapituuden ylittäes-
sä 20 m noin 10—15 %-yksikköä.

Koivun määrällä ei ollut vaikutusta met-



Kuva 11. Puuston tilavuuden jakautuminen läpimittaluokkiin ikäluokittain.
 Fig. 11. Distribution of stem volume in different diameter classes in age classes.

sikön tukkipuusuuteen. Luonnolliselta kuitenkin tuntuisi, että runsas hieskoivusekoitus pienentäisi metsikön tukkipuusuutta. Hieskoivun tukkipuusuus oli 42 % kuusen valtapituudella 25 m, kun kuusen vastaava arvo oli 73 % (kuvat 12b ja c).

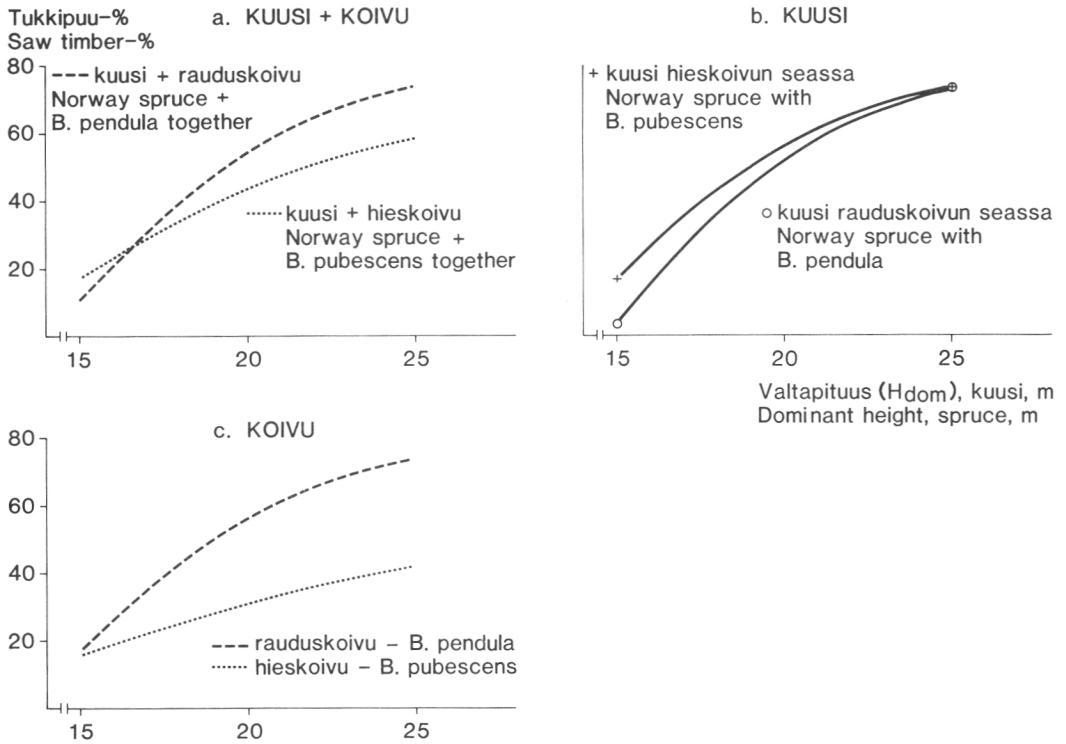
Rauduskoivu järeytyy nuoruudessaan selvästi kuusta nopeammin. Kuusi saavuttaa rauduksen järeyden noin 20 m:n valtapituudella, minkä jälkeen näiden puulajien tukkipuusuudet vastaavat toisiaan.

Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, ettei rauduskoivusekoitus kuusikossa vähennä metsikön tukkipuutuotosta. Tuloksia arvioitaessa on muistettava, että tämän tutkimuksen jokaiselle puulle on arvioitu mahdollisesta huonosta laadusta aiheutuva tukkipuuvähennys.

46. Terveydentila ja tekninen laatu

Koemetsiköiden subjektiivinen valinta merkitsi ulkonäöltään terveiden puustojen mittaamista. Täysin hoitamattomia tai pahojen tuhoja kärsineitä metsiköitä ei hyväksytty. Seuraavassa esitettävät puuston terveydentilaa ja teknistä laatua koskevat tulokset antavat sekametsikoistä keskimääräistä edullisemmän kuvan. Puun sisäiset viat, kuten laho, eivät paljastu täysin luotettavasti puita kaatamatta, mikä myös merkitsee aliarviointia. Puulajien väliseen vertailuun tulokset kuitenkin antavat pohjaa.

Kaikista koealan puista arvioitiin terveydentila, tekninen laatu ja tukkipuuvähennys. Tukkipuuvähennyksellä tarkoitetaan määrää, joka rungon tukkipuusuudesta siirtyy



Kuva 12. Kuusi-koivusekametsiköiden tukkipuuprosentti kuusen valtapiisuuden funktiona.

- Kuusi + koivu yhdessä — Norway spruce + birch
- Kuusi — Norway spruce
- Koivu — birch

Fig. 12. Saw-timber percentage of Norway spruce and birch in a mixed stand as a function of the dominant height of spruce.

vikaisuusien vuoksi kuitupuuksi. Esitettävät taulukot perustuvat 5085 pystypuun mittaustuloksiin.

Koivut ovat taulukon 5 mukaan sekametsikössä kuusta terveempiä. Noin 85 % kuusista ja vajaa 95 % koivuista luokiteltiin terveiksi. Kuusen yleisin vika löytyi latvasta. Piiskattu, murtunut tai kuollut latva oli 12 %:lla kuusten lukumäärästä ja 7 %:lla kuusten tilavuudesta. Suurin osa piiskatuista puista oli rinnankorkeudelta 10–20 cm:n paksuisia. Nuorissa, tasaikäisissä kuusi-koivusekametsiköissä koivun hennot oksat eivät vielä pysty vahingoittamaan kuusen latvaa, eikä puuston tiheyskään ole vielä tullut liian suureksi. Vanhoissa metsiköissä suurimpien kuusten pituus on jo ylittänyt koivun latvuksen leveimmän kohdan eikä latvavaurioita enää satu. Vaurioituneet puut on myös voitu poistaa harvennushakkuissa.

Osasyynä kuusen latvavaurioihin on myös ylitiehyys. Piiskauksesta kärsineiden puustojen keskimääräinen pohjapinta-ala oli yli 30 m²/ha eli metsiköt olivat harvennuksen tarpeessa.

Koivu on tulosten mukaan kuusta useammin laho. 5,7 % raudus- ja 3,5 % hieskoivuista oli tyvilahon vaivaamia. Kuusella lahoisuus oli 2,6 %. Lukuja tulkittaessa on otettava huomioon, että laho on arvioitu pystypuista silmänvaraisesti.

Tilanne muuttuu edellisestä huomattavasti, kun tarkasteltavaksi otetaan terveydentilan sijaan puuston ulkoisiin tunnuksiin perustuva tekninen laatu. Vain noin 2/3 koivuista on teknisesti moitteettomia, kun tähän yltää noin 92 % kuusista.

Sekä raudus- että hieskoivut ovat usein mutkaisia puun arvokkaimmalta eli tyvitukin osalta. Myös mutkat ja haarat rungon

Taulukko 5. Puuston terveydentila.
Table 5. The state of health of the mixed stands.

Terveydentila State of health	Puulaji — Tree species					
	Kuusi Norway spruce		Rauduskoivu <i>B. pendula</i>		Hieskoivu <i>B. pubescens</i>	
	V %	N %	V %	N %	V %	N %
Terve — Healthy	88,9	83,4	93,9	94,2	94,7	91,5
Piiskattu latva	5,7	8,3	—	—	0,2	0,1
Murtunut latva	0,3	1,3	—	—	0,1	0,8
Kuollut latva	1,4	2,6	0,1	0,3	0,2	1,5
Hyönteistuho Insect damage	0,1	0,4	—	—	0,6	0,4
Tyvilaho — Decay	2,6	1,4	5,7	4,8	3,5	2,7
Kuoleva/kuollut — Dying/dead	1,0	2,6	0,3	0,7	0,7	3,0

V = osuus puuston tilavuudesta
% of stand volume
N = osuus runkoluvusta
% of stem number

Taulukko 6. Puuston tekninen laatu.
Table 6. The technical quality of the stems.

Tekninen laatu Technical quality	Puulaji — Tree species					
	Kuusi Norway spruce		Rauduskoivu <i>B. pendula</i>		Hieskoivu <i>B. pubescens</i>	
	V %	N %	V %	N %	V %	N %
Normaali — Normal	91,7	92,2	65,1	67,6	66,3	69,8
Mutkainen tyvestä — Crooked butt	4,8	4,7	17,8	16,7	15,6	13,6
Mutkainen latvasta — Crooked crown	0,9	1,1	5,2	5,5	7,1	7,3
Haarainen tyvestä — Forked at the butt	0,6	0,4	2,3	1,8	1,7	1,3
Haarainen latvasta — Forked crown	0,7	0,8	9,1	8,1	8,6	7,5
Oksainen — Branchy	1,3	0,8	0,5	0,3	0,7	0,5

V = osuus tilavuudesta
% of stand volume
N = osuus runkoluvusta
% of stem number

yläosassa ovat koivulle tyypillisiä. Taulukon 6 lukuja ei tule tulkita niin, että 1/3 koivun järeän puun tuotoksesta jää saamatta huonon teknisen laadun vuoksi. Taulukossa on mukana myös nuoria metsiköitä, joista huonolaatuiset puut voidaan poistaa vielä harvennushakkuissa.

Kaikista tukkipuukokoisista ja sitä lähes tyivistä puista arvioitu tukkipuuvähennys on esitetty kuvassa 13. Vähennyksen syynä voivat olla sekä puun terveydentilaan (esim. laho) että tekniseen laatuun liittyvät tekijät.

Tukkipuuvähennys eli kuitupuuksi siirtyvä puumäärä vähenee selvästi puuston ikään-

tyessä. Pääsyy tähän on heikkolaatuisten puiden poistaminen harvennushakkuissa.

Koivun tukkipuuvähennys oli koivuvaltaisissa metsiköissä kuusen vähennyistä suurempi. Koivun suuri osuus on usein merkki hoitamattomuudesta. Puulajisuhteilla ei vastoin yleistä käsitystä ollut tässä aineistossa vaikutusta kuusen tukkipuuvähennykseen. Tällöin on kuitenkin muistettava aineiston pienuus ja subjektiivisuus. Kallion (1979) esittämän positiivisen tai Kärkkäisen (1982) joko negatiivisen tai nollavaikutuksen todentaminen vaatii laajemman inventointityyppisen aineiston.

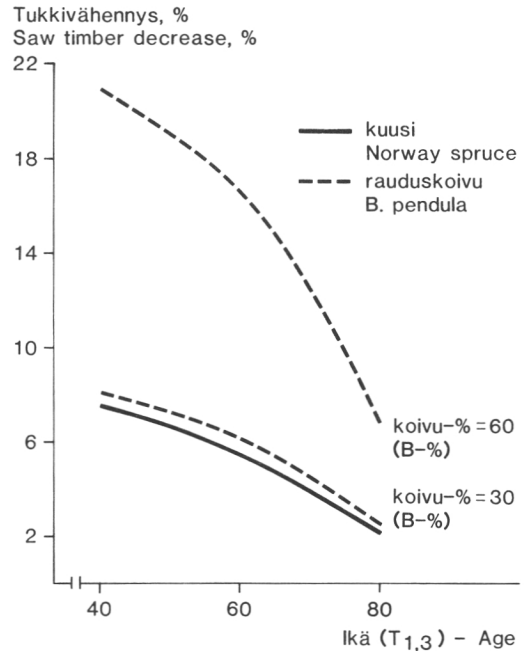
47. Latvuksen pituus

Suuri ja elinvoimainen latvus merkitsee yleensä voimakasta kasvua. Latvuksen koko kuvaa myös puuston aiempaa historiaa ja sitä voidaan näin ollen käyttää selittäjänä mm. puun runkomuotoa kuvaavissa malleissa (ks. Kilkki ja Varmola 1981). Vuokilan (1975) mukaan kuusen latvuksella on olemassa puun paksuuskasvun kannalta optimipituus. Sekä tätä lyhyempi että pitempi latvus merkitsee heikkenevää kasvua.

Kookas latvus voi aiheuttaa myös välillistä kasvutappiota naapuripuihin. Erityisesti lehtipuut, kuten koivu ja haapa, voivat runsaasti esiintyessään piiskata havupuiden latvoja.

Latvuksen pituutta kuvaavat yhtälöt laadittiin mitattujen pystykoepuiden perusteella. Kuusen keskimääräinen latvusprosentti laskenta-aineistossa oli 74, rauduskoivun 51 ja hieskoivun 53. Koivun latvuksen pituus vastaa Mielikäisen (1980) mänty-koivusekametsiköissä mitattamia arvoja.

Yhtälöitä ei laadittu metsiköittäin, mistä syystä ne soveltuvat vain latvussuhteen iänmukaisen kehityksen yleiseen tarkasteluun (vrt. Kärkkäinen 1980). Erikokoisten puiden vertailuun samassa metsikössä ne eivät sovi.



Kuva 13. Vikojen aiheuttama tukkivähennys sekametsikössä.

Fig. 13. Decrease in the amount of saw-timber due to poor quality stems in the mixed stands.

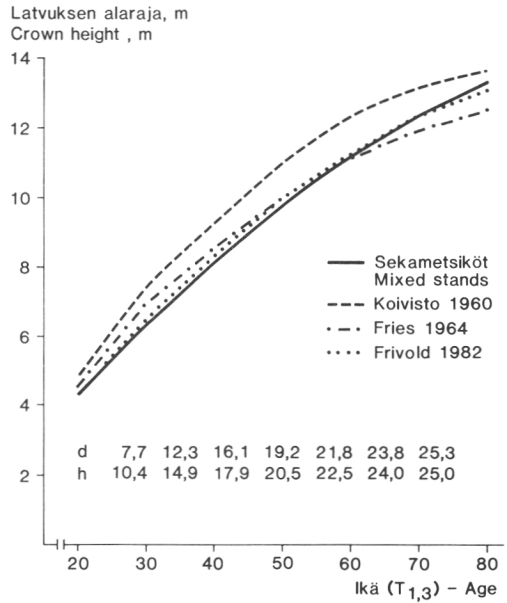
Puun latvussuhteen yhtälöt:
Selitettävä muuttuja ln(cr) — Dependent variable

Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function					
	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
	Kertoimet — Coefficients					
Vakio Constant	+ 5,157	+ 4,965	+ 5,332	+ 4,706	+ 6,573	+ 4,673
ln(d)	+ 0,1254	+ 0,1494	+ 0,2702	+ 0,2874	+ 0,2431	+ 0,3508
ln(t _{1,3})	- 0,1811	- 0,2403	- 0,3404	- 0,4084	- 0,2353	- 0,4308
h/d	- 0,1344	- 0,1828				
ln(G)	- 0,2192		- 0,2521		- 0,7169	
ln(B-%)	+ 0,09184					
N	815	815	495	495	414	414
R ²	0,31	0,23	0,47	0,42	0,62	0,19
S _m	0,170	0,170	0,193	0,193	0,272	0,272
S _f	0,142	0,145	0,141	0,148	0,167	0,246
S _e %	14,3	14,6	14,2	14,9	16,9	25,0

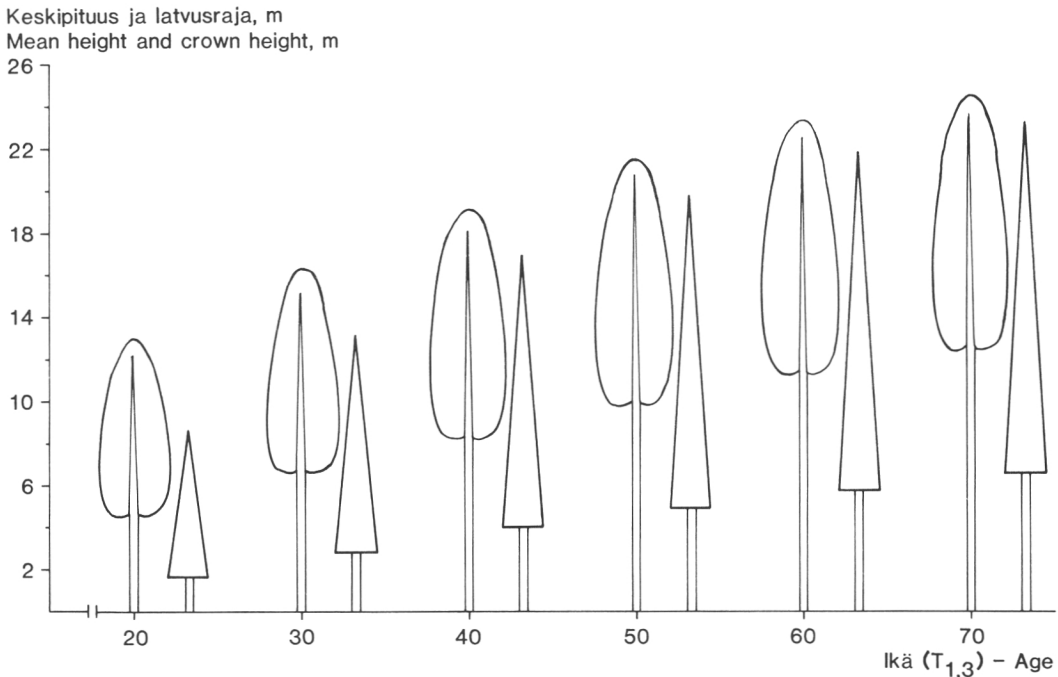
Selitys — Explanation:
Yhtälöt — Functions 17, 18 = kuusi — Norway spruce
19, 20 = rauduskoivu — B. pendula
21, 22 = hieskoivu — B. pubescens

Kuvassa 14 on esitetty yhtälöllä 20 lasketu rauduskoivun latvusrajan kehitys. Vertailuna on käytetty Friesin (1964), Frivoldin (1982) ja Koiviston (1960) koivulle esittämiä tuloksia. Näistä tosin vain Frivoldin aineisto on mitattu sekametsiköissä. Esitettävät latvuksen pituudet vastaavat melko tarkkaan Frivoldin norjalaisissa kuusi-koivusekametsissä mittaamia arvoja. Myös Friesin tulokset ovat suunnilleen samaa tasoa. Koiviston aineiston keskiarvot sen sijaan ovat noin 0,5—1 m suurempia. Syyt eroihin ovat metsiköiden historiassa. Koiviston hoidetut koivikot ovat oletettavasti olleet nuoruudessaan tasaisia ja tiheitä, kun taas sekametsiköt ovat syntyneet jossakin määrin kaksijaksosina ja epätasaisina.

Kuvaan 15 on piirretty puhtaiden, toistuvien harvennuksin käsiteltyjen koivikoiden (Koivisto 1957) ja kuusikoiden (Vuokila 1956) keskipituuden ja yhtälöllä lasketun latvusrajan kehitys. Koivikoiden ja kuusikoiden rinnankorkeusiat ovat samansuuruisia. Kuusen on tällöin arvioitu saavuttavan



Kuva 14. Rauduskoivun latvusrajan kehitys.
Fig. 14. Development of the crown height of *B. pendula*.



Kuva 15. Kuusen ja rauduskoivun keskipituuden ja latvuksen kehitys OMT-kuusikossa ja -rauduskoivikossa.
Fig. 15. Development of the mean height and crown height in pure Norway spruce and *B. pendula* stands.

1,3 m:n pituuden 10 ja rauduskoivun 5 v:ssa. Kuvan mukaan kuusikon keskipituus on 20 v:n iällä noin 4 m koivikon keskipituutta alhaisempi. Ero pienenee tästä 70 v:n ikään mennessä noin 1,5 m:iin. Kuusen latvat ovat käytännöllisesti katsoen koko ajan koivun latvusten puolivälin yläpuolella. Tämä viittaa siihen, ettei rinnankorkeudelta tasaikäisessä kuusi-koivusekametsikössä ole pelkoa huomattavista piiskavaurioista, mikäli metsikkö ei ole ylitieheä.

Toinen mahdollisuus kuusen piiskautumisen estämiseksi on selvästi kaksijaksoisen metsikön kasvatus. Tällöin koivulla on oltava niin suuri pituusetumatka, ettei kuusi saavuta koivun latvuksen alarajaa ennen koivun pätehakkuuta.

Puhtaiden metsiköiden pituuden ja latvuksen kehityksen perusteella arvioiden koivun tarvitsema etumatka on rinnankorkeudelta mitaten 40 v eli kuusi voi tulla koivikon alle koivun ollessa rinnankorkeudelta 30-vuotiasta. Todellisuudessa ylispuukoivut hidastavat varjostuksellaan kuusen pituuskasvua. Lisäksi koivun kaikkein alimmat oksat eivät välttämättä vielä aiheuta kuuselle latvavaurioita. Näin ollen esitetty 40 v:n ikäero on varmasti riittävä. Friesin (1974) mukaan jo noin 10—20 v:n ikäero mahdollistaa rauduskoivun kasvatuksen tukkipuuksi kuusta vahingoittamatta. Tämän tutkimuksen aineisto ei kuitenkaan anna mahdollisuutta kaksijaksoisen metsikön kasvudynamiikan pitkälle menevään arviointiin.

5. KASVUYHTÄLÖT

51. Puuyhtälöt

511. Yleistä

Puun tilavuuskasvu muodostuu paksuus- kasvusta, pituuskasvusta sekä runkokuodon kehityksestä. Runkokuodon ja pituuden kasvut yhdistetään usein ns. muotokorkeuden kasvuksi. Muotokasvu koostuu tosiasiallisesti paksuuskasvusta rungon eri korkeuksilla. Mikäli puun runkokäyrät kasvunlaskentajakson alussa ja lopussa tunnetaan, tilavuuskasvu saadaan integroitujen pyörähdykappaleiden erotuksena (Sloboda 1976, Kilkki ja Varmola 1981).

Puuntuotostutkimuksissa tarvitaan tavallisesti yleistämiskelpoista tietoa puiden kasvusta vaihtelevissa olosuhteissa. Kerättävien aineistojen laajuus rajoittaa usein kasvun mittauksen 1,3 ja 6 m:n korkeuksilta mitattavaan paksuus- ja pituuskasvuun.

Puun paksuuskasvuyhtälöissä selitettävänä muuttujana voi olla joko puun mitattu läpimitan kasvu (Jonsson 1980) tai tästä johdettava poikkileikkauspinta-alan kasvu (Söderberg 1981, Wykoff, Crookston ja Stage 1982). Kasvu ilmaistaan joko absoluuttisena tai suhteellisena.

Tässä tutkimuksessa puun kasvuyhtälöiden selitettävänä muuttujina on käytetty puun tulevan 5-vuotiskauden rinnankorkeudelta mitatun poikkileikkauspinta-alan ja pituuden kasvua. Kasvut ovat 5-vuotiskauden kokonaiskasvua ja mittayksiköt cm^2 ja m. Pohjapinta-alan kasvu on kuorellinen. Selittävät muuttujat ovat laskentajakson alkujankohdan arvoja.

Kasvututkimuksissa yleisesti käytetty malli perustuu oletukseen, että kasvutekijöiden vaikutus on tulomuotoinen (Baule 1917, Jonsson 1980). Puun kasvu aikavälillä t_2-t_1 voidaan tällöin esittää integraalina:

$$i(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} F_1(B(t)) \cdot F_2(W(t)) \cdot F_3(E(t)) dt$$

F_1 , F_2 ja F_3 ovat eri kasvutekijöiden vaikutuksia kuvaavia funktioita. Hägglundin

(1981) mukaan B kuvaa kasvupaikan viljavuutta, W kasvavan biomassan määrää ja E biomassan kykyä käyttää hyväkseen yhteyttämisuotteita.

Erottamalla kasvutekijöistä mittauskelvottomat yhteiseksi satunnaiskomponentiksi, käyttämällä integraalien keskiarvoteoreemaa ja olettamalla kasvutekijöiden pysyvän vakioina kasvunlaskentajakson ajan pelkistetty yhtälö muotoon:

$$i(t_1, t_2) = C \cdot F_1(B) \cdot F_2(W) \cdot F_3(E) \cdot \epsilon$$

ja logaritmimuodossa edelleen

$$\ln i(t_1, t_2) = \ln C + \ln F_1(B) + \ln F_2(W) + \ln F_3(E) + \ln \epsilon$$

ϵ = satunnaiskomponentti, jonka keskiarvo on 1.

Tämän tutkimuksen mallit ovat esitetyin kaltaisia tulomuotoisia malleja. Yhtälöiden molemmista puolista otettiin luonnolliset logaritmit, minkä jälkeen niiden ratkaiseminen oli mahdollista lineaarista regressioanalyysiä käyttäen.

512. Harjaestimointi

Mikäli kasvumallia käytetään kasvun ennustamiseen laskenta-aineistonsa edustamisessa metsiköissä, paras kasvuennuste saadaan korkeimman selitysasteen omaavalla yhtälöllä. Regressiomalli laaditaan tavallisesti pienimmän neliösumman menetelmällä (PNS).

Selittävien muuttujien väliset lähes lineaariset riippuvuudet eli multikollineaarisuus saavat aikaan vaikeuksia erityisesti, jos malleja käytetään kasvutekijöiden yksittäisvaikutusten analysointiin. Multikollineaarisuus heikentää selittävien muuttujien kertoimien luotettavuutta ja tekee ne epävakaisiksi. Kertoimien etumerkitkin voivat vaihtua selittäviä muuttujia lisättäessä. Esimerkkinä tästä mainittakoon joko metsätyyppinä tai pituusboniteettina ilmaistava kasvupaikan hyvyys. Kasvupaikan paranemisen vaikutus puun ja metsikön kasvuun on kasvuyhtälöissä lähes poikkeuksetta negatiivinen, kun ikä

otetaan mukaan malliin. Tämä on mahdollista, koska ikä korreloi voimakkaasti monien metsikkötunnusten kuten puuston määrän, järeyden ja latvuksen koon kanssa.

Multikollineaarisuuden haittojen välttämiseksi regressioanalyysissä esittivät Hoerl ja Kennard (1970) käytettäväksi harjaestimointia (ridge regression). Menetelmä sopii käytettäväksi sekä ennustemallin muuttujien valintaan että selitysmallin muuttujien luotettavuuden parantamiseen.

Menetelmän pääperiaatteena on se, että regressioanalyysissä kovarianssimatriisin diagonaalelementteihin lisätään pieni vakio k . Tämä lisäys saa aikaan selittävien muuttujien kertoimien keskivirheen pienenemisen, mutta myös jonkin verran harhaisen mallin. Mallin harhaisuus näkyy myös selitystasteen laskuna.

Tässä tutkimuksessa sekametsikön kasvua simuloidaan puun kasvumalleilla. Laskelmista tarkastellaan, mikä vaikutus metsikön

kasvuun on puun iän, koon, puuston määrän, kasvupaikan ja puulajisuhteiden muutoksilla. Tällöin ei olla niinkään kiinnostuneita kasvun absoluuttisesta tasosta tietyllä hetkellä, vaan puulajisuhteitaan eri suuntiin kehitettävien metsiköiden kasvusta toisiinsa verrattuna.

Kasvutekijöiden vaikutusten analysoimiseksi laadittiin tavanomaisten puun pohjapinta-alan kasvuyhtälöiden (PNS-mallit) lisäksi myös harjaestimoidut mallit, joita on käytetty metsikön kehityksen pitkän ajan simuloinnissa.

513. Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt

Puun kuorellisen pohjapinta-alan kasvulle tulevalla 5-vuotiskaudella laadittiin yhtälöt kairattujen pystykoepuiden perusteella. Kuusen kasvua tarkasteltiin erikseen rauduskoivu- ja hieskoivusekametsiköissä. Rauduskoivun kasvuyhtälöt perustuvat kuusi-raudus-

Taulukko 7. Kasvuyhtälöiden perustana olevien koepuuaineistojen vaihtelualue eri puu- ja metsikkötunnusten suhteen.

Table 7. The variation range of the sample tree material used as a basis for the growth equations.

	Minimi Minimum		Maksimi Maximum		Keskiarvo Mean	
	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Kuusi Spruce	Koivu Birch
Kuusi-rauduskoivumetsiköt — Norway spruce-B. pendula						
Puutunnukset — Tree characteristics						
i_{g5+} (cm ² /5a)	2	4	150	193	32	46
d (cm)	3,2	6,0	39,8	36,3	16,9	20,0
h (m)	2,9	7,9	27,8	31,4	14,9	21,3
cr (%)	29	20	98	84	69,5	49,0
$t_{1,3}$ (a)	7	12	96	101	43,9	50,4
h/H_{dom} kuusi	0,17		1,22		0,80	
Metsikkötunnukset — Stand characteristics						
$T_{1,3}$ (a)		13		89		47,6
G (m ² /ha)		11,3		39,5		24,2
B-%		21		66		37
H_{100} (m)		21		33		28,9
Kuusi-hieskoivumetsiköt — Norway spruce-B. pubescens						
Puutunnukset — Tree characteristics						
i_{g5+} (cm ² /5a)	1	3	160	180	30	24
d (cm)	3,0	3,2	38,9	33,1	12,6	12,7
h (m)	2,2	4,6	25,2	28,2	10,5	13,8
cr (%)	33	19	98	80	74,1	50,8
$t_{1,3}$ (a)	8	6	87	93	28,9	33,8
h/H_{dom} kuusi	0,19		1,33		0,77	
Metsikkötunnukset — Stand characteristics						
$T_{1,3}$ (a)		8		70		34,0
G (m ² /ha)		5,7		40,4		21,8
B-%		10		77		38
H_{100} (m)		21		32		28,3

koivu- ja hieskoivun yhtälöt kuusi-hieskoivusekametsiköiden koepuihin. Kaikki kasvuluvut ovat ilmastokorjattuja.

Kasvuyhtälöiden perustana olevien koe-puuaineistojen vaihtelualue eri tunnusten suhteen on esitetty taulukossa 7.

Kuusen kasvuyhtälöt perustuvat rauduskoivusekametsiköissä 503 ja hieskoivuseka-

metsiköissä 386 puun kairattuihin kasvuihin. Rauduskoivuaineiston koko on 474 ja hieskoivuaineiston 375 puuta. Aineistosta karsittiin pois joitakin muusta aineistosta huomattavasti poikkeavia puita. Karsinnassa käytetyt minimirajat olivat: läpimitta 3 cm, ikä 5 v, 5 v:n paksuuskasvu 2 mm ja latvusuhde 15 %.

Puun pohjapinta-alan kasvuyhtälöt:
Selitettävä muuttuja $\ln(i_{g5+})$ kuorineen
Dependent variable incl. bark

Kuusi rauduskoivun seassa — *Norway spruce with B. pendula*

Selitettävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function			
	(23)	(24)	(25)	(26)
		Kertoimet	Coefficients	
Vakio — Constant	+2,167	+0,9491	+4,184	-0,2157
d	+0,2551	+0,1142	+0,1081	
d ²	-0,004091	-0,00163	-0,001437	
ln(h)				+1,644
ln(cr)	+0,6708	+0,7742		+0,8931
ln(t _{1,3})	-0,5414			-0,4225
ln(G)	-0,5098	-0,3772	-0,5899	-0,5492
ln(H ₁₀₀)		+0,3392	+0,4755	
ln(t _{1,3} · B-%)	-0,1218	-0,2551	-0,2114	-0,1496
ln(h/H _{dom} kuusi)		+0,8393	+0,8846	
N	503	503	503	503
R ²	0,726	0,733	0,705	0,675
S _m	0,731	0,731	0,731	0,731
S _f	0,385	0,380	0,400	0,419
S _e %	40,0	39,5	41,6	43,8

Kuusi hieskoivun seassa — *Norway spruce with B. pubescens*

Selitettävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function			
	(27)	(28)	(29)	(30)
		Kertoimet	Coefficients	
Vakio — Constant	-3,661	-4,659	+0,3665	-0,6621
d	+0,1081	+0,1894	+0,1096	
d ²	-0,001517	-0,003075	-0,001518	
ln(h)				+1,639
ln(cr)	+0,8794	+0,9593		+0,9305
ln(t _{1,3})				-0,4068
ln(G)	-0,5078	-0,6906	-0,7183	-0,7635
ln(H ₁₀₀)	+1,184	+1,251	+1,307	
ln(h/H _{dom} kuusi)	+0,8788		+0,9291	
N	386	386	386	386
R ²	0,823	0,769	0,791	0,750
S _m	0,806	0,806	0,806	0,806
S _f	0,342	0,387	0,371	0,403
S _e %	35,2	40,2	38,4	42,0

Rauduskoivu — *B. pendula*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>			
	(31)	(32)	(33)	(34)
	Kertoimet — <i>Coefficients</i>			
Vakio — <i>Constant</i>	+2,127	+6,737	+7,055	−2,828
d	+0,2294	+0,2640	+0,2324	
d ²	−0,003271	−0,003781	−0,00322	
ln(h)				+1,842
ln(cr)	+0,8772			+1,433
ln(t _{1,3})	−0,3747	−0,5628		
ln(G)	−0,1844	−0,4224	−0,5776	−0,2031
ln(t _{1,3} · B-%)	−0,3736	−0,3961	−0,6243	−0,4989
N	474	474	474	474
R ²	0,641	0,605	0,579	0,442
S _m	0,692	0,692	0,692	0,692
S _f	0,417	0,438	0,451	0,517
S _e %	43,6	45,9	47,5	55,4

Hieskoivu — *B. pubescens*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>			
	(35)	(36)	(37)	(38)
	Kertoimet — <i>Coefficients</i>			
Vakio — <i>Constant</i>	−2,286	+2,647	−3,362	−4,762
d	+0,2108	+0,2628	+0,1212	
d ²	−0,002783	−0,003832	−0,0009563	
ln(h)				+1,896
ln(cr)	+0,7649			+1,270
ln(t _{1,3})	−0,8281	−0,9540		
ln(t _{1,3}) ²				−0,09758
ln(G)		−0,3083	−0,6015	−0,3901
ln(H ₁₀₀)	+0,8066	+0,6413	+2,110	+0,1448
ln(B-%)	+0,1248			
N	375	375	375	375
R ²	0,705	0,676	0,570	0,526
S _m	0,712	0,712	0,712	0,712
S _f	0,390	0,408	0,467	0,491
S _e %	40,5	42,6	49,4	52,2

Harjaestimoidut mallit
Ridge regression models
 Selitettävä muuttuja ln(i_{g5+}) kuorineen
Dependent variable incl. bark

Kuusi rauduskoivun seassa — *Norway spruce with B. pendula*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>			
	(39)		(40)	
	PNS-estimointi <i>Regression model</i>		Harjaestimointi <i>Ridge regression model</i>	
	Kerroin <i>Coefficient</i>	t-arvo <i>t-value</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	t-arvo <i>t-value</i>
Vakio — <i>Constant</i>	+6,169		+3,340	
ln(d)	+1,477	12,04	+0,7181	22,18
ln(t _{1,3})	−0,6785	6,50	−0,1367	4,03
ln(G)	−0,5644	6,20	−0,4924	7,77
ln(H ₁₀₀)	−0,5573	2,30	+0,3417	2,32
ln(t _{1,3} · B-%)	−0,06102	1,22	−0,08919	3,35
ln(h/H _{dom} kuusi)	+0,4244	3,44	+0,8750	19,18
N	503		503	
R ²	0,727		0,698	
S _m	0,731		0,731	
S _f	0,382		0,402	
S _e %	39,6		41,9	

Kuusi hieskoivun seassa — Norway spruce with *B. pubescens*

Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function			
	(41)		(42)	
	PNS-estimointi Regression model		Harjaestimointi Ridge regression model	
	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value
Vakio — Constant	+1,847		+0,1271	
ln(d)	+1,360	13,43	+0,6937	23,04
ln(t _{1,3})	-0,5490	5,84	-0,04185	1,27
ln(G)	-0,6141	10,85	-0,5869	14,38
ln(H ₁₀₀)	+0,6075	2,83	+1,128	7,26
ln(h/H _{dom} kuusi)	+0,4935	4,86	+0,8995	16,86
N		386		386
R ²		0,811		0,784
S _m		0,806		0,806
S _f		0,351		0,375
S _e %		36,2		38,8

Rauduskoivu — *B. pendula*

Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function			
	(43)		(44)	
	PNS-estimointi Regression model		Harjaestimointi Ridge regression model	
	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value
Vakio — Constant	+4,219		+4,384	
ln(d)	+2,051	25,19	+1,549	25,30
ln(t _{1,3})	-0,5373	5,29	-0,3416	6,62
ln(G)	-0,4421	4,28	-0,4389	5,63
ln(t _{1,3} · B-%)	-0,3859	6,32	-0,3101	9,12
N		474		474
R ²		0,603		0,568
S _m		0,692		0,692
S _f		0,436		0,455
S _e %		45,8		48,0

Hieskoivu — *B. pubescens*

Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function			
	(45)		(46)	
	PNS-estimointi Regression model		Harjaestimointi Ridge regression model	
	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value
Vakio — Constant	+0,6373		-2,230	
ln(d)	+1,907	22,68	+1,116	25,38
ln(t _{1,3})	-0,9852	11,30	-0,3171	7,90
ln(G)	-0,4294	6,51	-0,4363	8,79
ln(H ₁₀₀)	+0,7468	3,00	+1,488	8,15
ln(B-%) ²	+0,006658	0,77	+0,01359	1,87
N		375		375
R ²		0,673		0,591
S _m		0,712		0,712
S _f		0,407		0,455
S _e %		42,5		48,0

Puun pituuskasvun mittaukseen sisältyy huomattavasti enemmän virhemahdollisuuksia kuin paksuuskasvun mittaukseen. Pahin uhka on systemaattinen yliarvio. Synä tähän ovat epäselvät vuosikasvaimet ja puun latvasilmujen kuoleminen. Pituuskasvumittausten systemaattisen yliarvion on todennut mm. Tiihonen (1967). Hänen mukaansa virhe voi olla varttuneissa puustoissa useita kymmeniä prosentteja.

Riittävän tarkka pituuskasvuvarvio saadaan kaadetuista runkoanalyysipuista tehtävien mittausten perusteella. Lehtipuiden pituuskasvut voidaan selvittää ainoastaan kaatokoepuista. Runkoanalyysien heikkoutena on puun ja metsikön historian puutteellinen tuntemus.

Koemetsikoissä kaadettujen koepuiden perusteella laskettiin puulajeittaiset pituuskasvuyhtälöt. Aluksi kunkin kaatopuun pituuskehitys jaettiin 5-vuotisjaksoihin. Yhtälöitä laskettaessa kutakin jaksoa käsiteltiin erillisenä havaintona. Näin muodostettu laskenta-aineisto keskittyi puun nuoruusvaiheeseen. Noin 50 % aineiston kuusista ja 30

% rauduskoivuista oli pituudeltaan alle 12 m. Havaintojen väliset riippuvuudet ja epätasainen ikäjakauma saattavat aiheuttaa vinoutumia pituuden iänmukaiseen kehitykseen. Tulokset ovat näin ollen luotettavimmillaan nuorilla puilla.

Puun pituus- ja paksuuskasvu korreloivat yleensä voimakkaasti keskenään, minkä vuoksi paksuuskasvu on käytetty pituuskasvun selittäjänä (Wykoff ym. 1982). Tässä tutkimuksessa ei menetelty näin, koska tällöin metsikön kasvun simuloinnissa saattaisi tulla hankaluuksia. Puun paksuuskasvu riippuu voimakkaasti puuston tiheydestä, kun taas pituuskasvu on alikasvospuita lukuunottamatta lähes riippumaton hakkuista (Vuokila 1975). Pituuskasvun selittäjänä paksuuskasvu saisi hakkuureaktion näkymään myös pituuskasvussa. Toisaalta paksuuskasvu parantaa pituuskasvumallien selitysasetta.

Kuusen yhtälöt perustuvat 426, rauduskoivun 268 ja hieskoivun 157 havaintoon. Yhtälöt on laskettu kuusen valtapituusboniteetin (H_{100}) ja joko puun pituuden tai rinnankorkeusian funktiona. Selitettävä muuttuja on puun tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvu.

Puun pituuskasvuyhtälöt runkoanalyysien perusteella:
Selitettävä muuttuja $\ln(i_{h5+})$
Dependent variable (felled sample trees)

Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function					
	(47)	(48)	(49)	(50)	(51)	(52)
	Kertoimet — Coefficients					
Vakio Constant	-4,858	-2,602	-6,178	-3,338	-5,057	-3,719
$\ln(h)$	+1,301		+0,9128		+0,3497	
$\ln(h)^2$	-0,3877		-0,2975		-0,1664	
$\ln(\tau_{1,3})$		+0,5485		+0,07644		+0,3046
$\ln(\tau_{1,3})^2$		-0,1493		-0,07455		-0,1081
$\ln(H_{100})$	+1,409	+0,9132	+1,936	+1,343	+1,718	+1,313
N	426	426	268	268	157	157
R ²	0,561	0,517	0,647	0,641	0,443	0,513
S _m	0,417	0,417	0,481	0,481	0,348	0,348
S _f	0,277	0,291	0,287	0,289	0,263	0,245
S _e %	28,3	29,7	29,3	29,6	26,7	24,9

Selitys — Explanation:

Yhtälöt — Functions: 47, 48 = kuusi — Norway spruce
49, 50 = rauduskoivu — *B. pendula*
51, 52 = hieskoivu — *B. pubescens*

Puiden keskinäistä kilpailua kuvaavien muuttujien puuttuminen runkoanalyysiin perustuvista pituuskasvumalleista vaikeuttaa niiden käyttöä puiden pituuskehityksen en-

nustamisessa. Mallien mukaan tietyn ikäinen ja kokoinen puu kasvaa pituutta samalla tavalla riippumatta siitä, onko se valtapuu tai alikasvospuu. Tämä on ristiriidassa sen tie-

don kanssa, mitä on olemassa puiden jakautumisesta eri latvuserroksiin. Puut voisivat näin kohota ajan mittaan vallituista puista valtapuiksi ja päin vastoin. Näin ei todellisuudessa yleensä tapahdu (Nyyssönen 1950). Koska kaatokoepuut ovat valtapuita, soveltuvat niihin perustuvat pituuskasvuyhtälöt lähinnä valtapuiden kehityksen ennustamiseen.

Puun pituuskasvun ennustamisessa päädyttiin em. näkökohdat huomioon ottaen seuraavanlaiseen menettelyyn. Aluksi laadittiin kuusen pituuskasvuyhtälöt pystykoepuiden perusteella. Yhtälöt soveltuvat aineistonsa puolesta edellistä paremmin pituuskasvun puuttaiseen ennustamiseen, koska laskenta-aineisto sisältää sekä vallitseviin että vallittuihin latvuserroksiin kuuluvia puita.

Kuusen pituuskasvuyhtälöt kiikarimittausten perusteella:
 Selitettävä muuttuja $\ln(i_{h5+})$, kuusi
 Dependent variable, Norway spruce (standing sample trees)

Selittävä muuttuja Independent variable	Yhtälö — Function		
	(53)	(54)	(55)
	Kertoimet — Coefficients		
Vakio — Constant	+0,7238	-0,4304	+1,079
$\ln(d)$		+0,1832	
$\ln(h)$	-0,5537	-1,045	-0,5298
$\ln(t_{1,3})$		+0,2449	
$\ln(h/H_{dom}$ kuusi)	+1,197	+1,388	+1,174
$\ln(H_{100})$	+0,3806	+0,7814	+0,3333
B-%	+0,01448		
B-% ²	-0,0001755		
N	894	894	894
R ²	0,394	0,406	0,383
S _m	0,412	0,412	0,412
S _f	0,322	0,321	0,325
S _e %	33,1	33,0	33,3

Kaikissa yhtälöissä merkitsevimpänä muuttujana on puun pituuden suhde kuusen valtapituuteen (h/H_{dom} kuusi). Yhtälöiden mukaan vähäinen koivusekoitus joko ei vaikuta kuusen pituuskasvuun lainkaan tai parantaa sitä hieman. Koivuvaltaisessa metsikössä kuusi kärsii koivun varjostuksesta ja pituuskasvu heikkenee.

Kiikarimittauksiin perustuvien pituuskasvuyhtälöiden kokeilu puun pitkän ajan kasvun ennustamiseen paljasti huomattavan yliarvion. Yliarvio oli ikävälillä 30—100 vuotta OMT:llä noin 25 % ja MT:llä 34 %. Tarkastelun kohteena oli tällöin valtapuiden pituuskehitys.

Systemaattisen virheen korjaamiseksi laskettiin korjausyhtälöt runkoanalyysipuiden perusteella. Aluksi laskettiin kunkin kaatopuun pituuden suhde kuusen valtapituuteen mittaushetkellä (h/H_{dom}). Näin saatua suhteellista latvuserrosta käytettiin kuvaamaan puun asemaa ympäristöönsä nähden myös puun aiemmillä iänkohdilla. Perusteena tähän oli aiemmin mainittu valtapuiden pysyvyys. 5-vuotiskausiin jaetun aineiston kooksi saatiin yhteensä 316 kasvujaksoa.

Kunkin havainnon mitattu pituuskasvu jaettiin yhtälöllä (54) lasketulla kasvulla ja saadut suhteet on esitetty kuvassa 16 puun pituuden funktiona. Kuva osoittaa pituuskasvumittausten huomattavan yliarvion. Lasketut suhteet tasoitettiin regressioanalyysillä ja näin saatiin seuraavat korjauskertoimien yhtälöt:

$$\ln(i_{hm}/i_{hc}) = -3,341 - 0,1941 \cdot \ln(h) + 1,1072 \cdot \ln(H_{100}) \quad (56)$$

i_{hm} = kaatokoepuun todellinen pituuskasvu
 i_{hc} = yhtälöllä laskettu pituuskasvu

Yhtälöstä nähdään, että kiikarimittausten suhteellinen yliarvio on sitä suurempi, mitä pitempi puu on ja mitä karumpi on kasvupaikka. Tämä on luonnollista, koska suuri pituus ja karu kasvupaikka merkitsevät yleensä vanhaa puuta, jonka pituuskasvu on heikko ja oksakiehkurat epäselviä.

Oheisessa asetelmassa on esitetty pituuskasvun kiikarimittausten korjauskertoimet puun pituuden funktiona eri kasvupaikoilla.

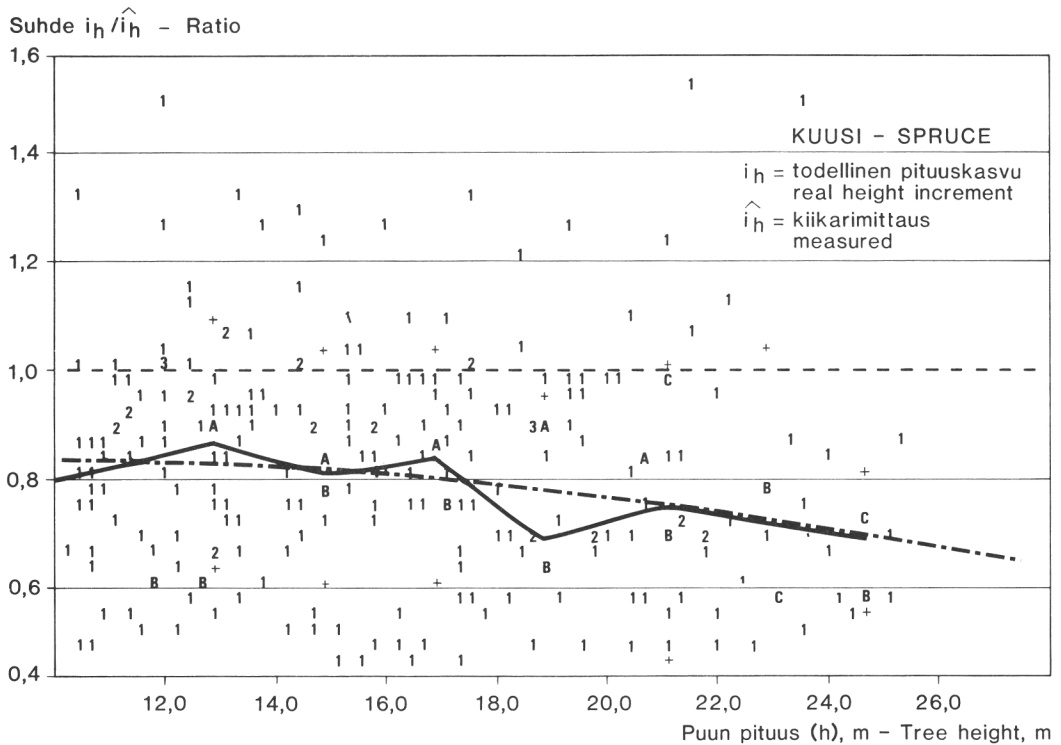
	Kuusen pituus (h), m — Height of spruce, m				
	5	10	15	20	25
	Korjauskertoimen — Correction factor				
H ₁₀₀ = 30 (OMT)	0,994	0,870	0,804	0,761	0,729
H ₁₀₀ = 27 (MT)	0,888	0,777	0,718	0,680	0,651
H ₁₀₀ = 24 (VT)	0,783	0,685	0,633	0,599	0,574

52. Metsikköyhtälöt

52.1. Yleistä

Laskenta-aineisto käsitti 37 kuusi-rauduskoivusekametsikköä ja 28 kuusi-hieskoivusekametsikköä. Aineiston suppeuden vuoksi on metsikön kasvuyhtälöt tarkoitettu lähinnä puukohtaisten laskelmien tueksi ja testaamiseksi.

Metsikön kasvuyhtälöiden suurimpana etu-



Kuva 16. Kaatokoepuiden todellinen pituuskasvu verrattuna kiikarilla mitattuun kasvuun.
Fig. 16. Actual height increment of the felled trees compared with that measured before felling.

na on laskelmien helppous. Puuston kasvu saadaan metsässä helposti mitattavien tai arvioitavien tunnusten, kuten keski-ian ja puuston määrän funktiona. Haittapuolena on se, etteivät puutavaralajisuhteiden muutokset selviä automaattisesti näitä malleja käytettäessä.

Puuston kasvuyhtälössä selitettävänä muuttujana voi olla joko pohjapinta-alan tai tilavuuden kasvu. Näistä edellämainittu on laskenta-aineistoltaan jälkimmäistä luotettavampi. Tilavuuskasvu lasketaan mitattujen läpimitta-, runkomuoto- ja pituuskasvujen perusteella, jolloin virhemahdollisuudet ovat suuremmat kuin pohjapinta-alan kasvua laskettaessa.

Puuston kasvun ennustaminen pohjapinta-alan kasvumalleilla vaatii myös em. runkomuodon ja pituuskasvun ratkaisemista. Ruotsalaiset (Ekö ja Agestam 1981) ovat ratkaisseet ongelman käyttämällä staattisia runkomuoto- ja pituusyhtälöitä. Muodon ja pituuden kasvut lasketaan kasvujakson loppu- ja

alkuajankohtien erotuksena. Etuna on se, että näin esim. pituuden kasvu on helpommin hallittavissa kuin laskettaessa se mittauksiin perustuvilla kasvumalleilla.

Sekametsikön kasvuyhtälöt, joilla puulajien yhteinen kasvu saadaan puuston iän, määrän ja puulajisuhteiden funktiona, ovat monimutkaisempia kuin puhtaisten metsiköiden yhtälöt. Yhtälöiden tulisi lisäksi antaa myös puhtaille metsiköille (sekapuuston osuus 0 tai 100 %) keskenään vertailukelpoisia tuloksia.

522. Pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvuyhtälöt

Puuston pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvuyhtälöt laadittiin puulajeittain. Kuusen yhtälöt laskettiin erikseen raudus- ja hieskoi-vusekametsiköille. Yhtälöiden selitettävänä muuttujana on tulevan 5-vuotiskauden suhteellinen kasvu. Sekametsikön kasvu laske-

taan puulajeittain yhtälöillä, joiden antamia kasvuja painotetaan metsikön puulajisuhteilla.

Pohjapinta-alan lopullisten kasvuyhtälöiden selittävät muuttujat ovat puuston ikä ja pohjapinta-ala sekä rauduskoivun yhtälössä myös koivun osuus. Sen sijaan puuston keskijäreys, kuten keskiläpimitta, ei kuvannut puuston kasvukykyä epätasaisissa sekametsiköissä. Myöskään valtapituusboniteetti ei ole mukana yhtälöissä. Syynä tähän on puuston iän ja pohjapinta-alan voimakas korrelaatio sekä kasvun että kasvupaikan laadun kanssa tutkimusaineistossa.

Tilavuuskasvuyhtälöiden selittävät muuttajat ovat puuston ikä ja tilavuus sekä rauduskoivun yhtälöissä koivun osuus. Kuusi-hieskoivusekametsiköissä myös kuusen valtapituusboniteetti (H_{100}) on selittävänä muuttujana. Osasyynä tähän on se, että tilavuuskasvun komponenttina esiintyvä pituuskasvu on voimakkaasti riippuvainen maapohjan hyvydestä.

Kasvuyhtälöiden perustana olevan aineiston vaihtelualue eri tunnusten suhteen on esitetty taulukossa 8.

Yhtälöt ovat seuraavat:

Metsikön puulajeittaiset pohjapinta-alan kasvuyhtälöt
Selitettävä muuttuja $\ln(I_{g5+})$ — *Dependent variable*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>			
	(57)	(58)	(59)	(60)
	Kertoimet — <i>Coefficients</i>			
Vakio — <i>Constant</i>	+6,177	+6,645	+6,816	+6,071
$\ln(T_{1,3})$	-0,8441	-1,026	-0,8409	-1,049
$\ln(G)$	-0,5989	-0,5163	-0,3634	-0,3182
$\ln(B-\%)$			-0,3331	
N	37	28	37	28
R^2	0,822	0,894	0,800	0,890
S_m	0,501	0,685	0,506	0,681
S_f	0,217	0,232	0,236	0,235
S_e %	22,0	23,5	24,0	23,8

Metsikön puulajeittaiset tilavuuskasvuyhtälöt
Selitettävä muuttuja $\ln(I_{v5+})$ — *Dependent variable*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Yhtälö — <i>Function</i>			
	(61)	(62)	(63)	(64)
	Kertoimet — <i>Coefficients</i>			
Vakio — <i>Constant</i>	+6,862	+4,061	+7,267	+3,601
$\ln(T_{1,3})$	-0,6477	-0,8555	-0,9317	-0,8436
$\ln(V)$	-0,5577	-0,3735	-0,2324	-0,2606
$\ln(H_{100})$		+0,7963		+0,7597
$\ln(B-\%)*$			-0,2354	
N	37	28	37	28
R^2	0,863	0,923	0,911	0,949
S_m	0,484	0,648	0,509	0,618
S_f	0,179	0,180	0,152	0,140
S_e %	18,1	18,1	15,3	14,1

* tässä B-% = koivun osuus puuston tilavuudesta, %
birch, % of stand volume

Selitys — *Explanation:*

Yhtälöt — *Functions* 57, 61 = kuusi rauduskoivun seassa
Norway spruce with B. pendula
58, 62 = kuusi hieskoivun seassa
Norway spruce with B. pubescens
59, 63 = rauduskoivu — *B. pendula*
60, 64 = hieskoivu — *B. pubescens*

Taulukko 8. Metsikön kasvuyhtälöiden perustana olevan aineiston vaihteluväli eri metsikkötunnusten suhteen.
 Table 8. The variation range of the material used as a basis for the stand growth models.

	Minimi <i>Minimum</i>		Maksimi <i>Maximum</i>		Keskiarvo <i>Mean</i>	
	Kuusi <i>Spruce</i>	Koivu <i>Birch</i>	Kuusi <i>Spruce</i>	Koivu <i>Birch</i>	Kuusi <i>Spruce</i>	Koivu <i>Birch</i>
Kuusi-rauduskoivu (N = 37) — <i>Norway spruce-B. pendula</i>						
I _{g5+} (%)	1,34	1,02	10,6	12,6	2,65	3,15
I _{v5+} (%)	1,93	1,83	16,0	21,2	3,81	4,54
T _{1,3} (a)	12	14	81	95	47	49
G (m ² /ha)		12,4		39,8		24,6
V (m ³ /ha)		59		337		220
B-%		19		72		40
Kuusi-hieskoivu (N = 28) — <i>Norway spruce-B. pubescens</i>						
I _{g5+} (%)	1,67	1,65	29,0	21,6	4,38	3,99
I _{v5+} (%)	2,63	2,92	39,8	30,4	6,58	6,52
T _{1,3} (a)	8	9	72	69	32	33
G (m ² /ha)		6,8		41,1		22,1
V (m ³ /ha)		24		326		148
H ₁₀₀ (m)		21		32		28

6. KASVUYHTÄLÖIDEN TARKASTELUA

61. Puuyhtälöt

611. Pohjapinta-alan kasvu

Yhtälöiden tarkastelu osoittaa, että puun pohjapinta-alan absoluuttinen kasvu on sitä parempi, mitä kookkaampi puu on. Myös kookas latvus ja hyvä boniteetti merkitsevät voimakasta paksuuskasvua.

Puun ikääntyminen ja puuston tiheyden lisääntyminen vähentävät paksuuskasvua. Iän vaikutus merkitsee sitä, että kahdesta samankokoisesta puusta vanhempi kasvaa heikommin.

Kuusen sekä pituus- että paksuuskasvuun vaikuttaa voimakkaasti latvuserros eli puun suhteellinen koko metsikössä (vrt. Jonsson 1980, Söderberg 1981, Wykoff ym. 1982).



Kuva 17. Luonteenomainen piirre sekametsikössä on runsaan rauduskoivu-sekoituksen kielteinen vaikutus sekä kuusen että myös koivun itsensä kasvuun. Valokuva: Metsäkuva-arkisto

Fig. 17. One of the features characteristic of certain types of mixed stand is that an abundant admixture of *Betula pendula* has a negative effect on the growth of both the spruce and birch trees themselves. Photo: Metsäkuva-arkisto

Erityisesti rauduskoivun kanssa kilpailevien kuusten suhteellinen pituus on erittäin merkittävä paksuuskasvun selittäjä. Pääosaltaan vallitseviin latvuskerroksiin kuuluvan koivun kasvuyhtälöissä puun suhteellisella koolla ei ole tässä aineistossa merkitystä.

Koivun osuus puuston pohjapinta-alasta on merkitsevä paksuuskasvun selittäjä kuusi-rauduskoivusekametsikössä. Muuttujan tilastollisen merkitsevyyden arviointia haittaa sen käyttö yhdistettynä iän kanssa. Koivun osuuden lisääntyminen heikentää kuusen ja erityisesti rauduskoivun omaa paksuuskasvua. Koivun välitön vaikutus kuusen kasvuun vaikuttaa luonnolliselta. Onhan rauduskoivun etenkin nuoruudessaan kuuselle lähes ylivoimainen kilpailija vedestä, ravinteista ja kasvutilasta (vrt. Mielikäinen 1980).

Rauduskoivun oman kasvun heikkeneminen koivun osuuden lisääntyessä selittyy myös kilpailun lisääntymisellä. Vallitsevat, harvassa kasvavat rauduskoivut ottavat käyttöönsä runsaasti ravinteita ja valoa kuusen kustannuksella. Koivun määrän lisääntyessä kilpailu kovenee, jolloin koivujen kasvu heikkenee. Sama ilmiö on nähtävissä myös mänty-koivusekametsiköissä (Mielikäinen 1980) sekä viljellen perustetuissa kuusi-koivusekametsiköissä (Pukkala 1981). Näissä tutkimuksissa koivun osuuden lisääntymisen heikensi sekä havupuiden että rauduskoivun kasvu.

Hieskoivun osuus puuston pohjapinta-

alasta ei mitatun aineiston perusteella vaikuta kuusen paksuuskasvuun. Sen sijaan kuusi heikentää kilpailullaan hieskoivun kasvua. Vaikutus on kuitenkin lievä verrattuna kilpailuun kuusi-rauduskoivumetsiköissä.

Kuvaan 18 on piirretty yhtälöillä 26 ja 34 lasketut kuusen ja rauduskoivun tulevan 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kasvut puun iän ja koivun osuuden funktiona. Puuston pohjapinta-alana (G) on laskelmassa käytetty 25 m²/ha ja latvussuhteena (cr) kuusella 70 % ja koivulla 50 %. Puiden pituudet vastaavat kasvupaikkaluokan H₁₀₀ = 27 (kuusi) puulajeittaisia valtapituuksia (kuva 7).

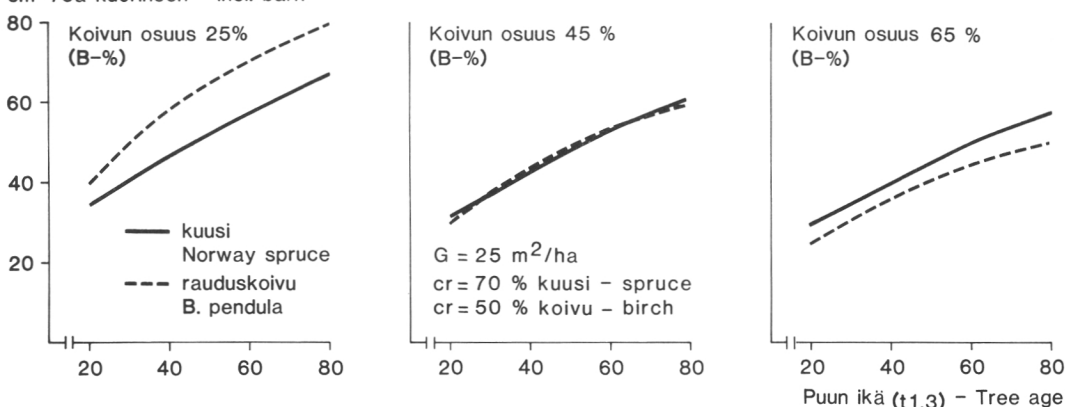
Rauduskoivun rinnankorkeudelta mitatun poikkileikkauspinta-alan kasvu on vähän koivua käsittävässä sekametsiköissä kaikissa ikävaiheissa selvästi kuusen kasvu suurempi. Koivun määrän lisääntyessä ero pienenee ja koivun pohjapinta-alaosuuden ollessa noin 50 % kuusen ja rauduskoivun kasvut vastaavat toisiaan. Tiheissä metsiköissä koivun ”paremmuus” on suurempi ja harvoissa pienempi.

Hieskoivu on kuuselle selvästi rauduskoivua vähäisempi kilpailija. Tämä näkyy hieskoivun seassa kasvavien kuusten parempana paksuuskasvuna (kuva 19). Hieskoivu kasvaa, päinvastoin kuin rauduskoivu, sitä paremmin, mitä suurempi on koivun osuus puuston määrästä. Syynä tähän saattaa olla se, että kuusen kilpailu on voimakkaampaa kuin hieskoivujen keskinäinen kilpailu. Kai-

Puun poikkileikkauspinta-alan kasvu (i_{G5+})

Basal area growth

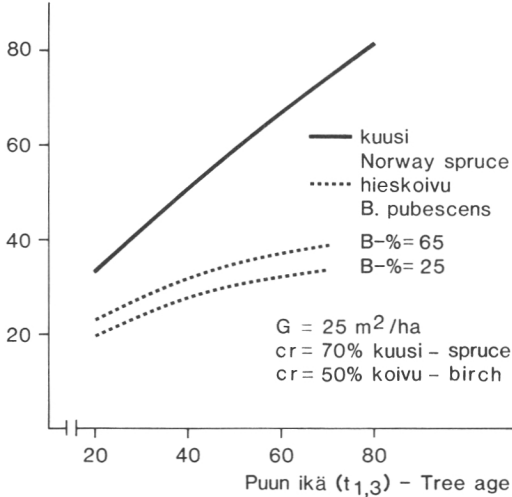
cm²/5a kuorineen - incl. bark



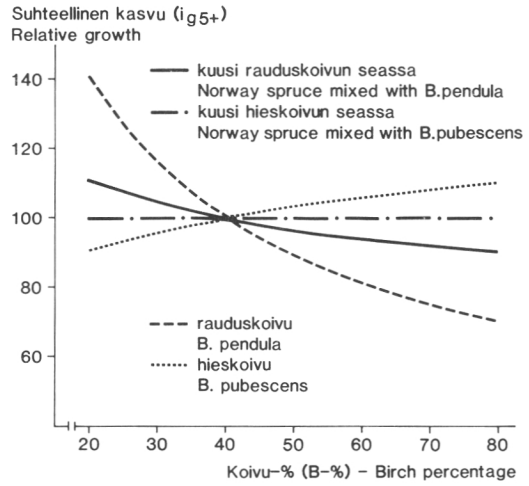
Kuva 18. Kuusi- ja rauduskoivualtapuiden pohjapinta-alan kasvu, cm²/5 a.

Fig. 18. Basal area growth of the dominant trees in a mixed stand of Norway spruce and *B. pendula*, cm²/5 a.

Puun poikkileikkauspinta-alan kasvu (i_{g5+})
Basal area growth
 $\text{cm}^2/5\text{a}$ kuorineen - incl. bark



Kuva 19. Kuusi- ja hieskoivuvaltapuiden pohjapinta-alan kasvu, $\text{cm}^2/5\text{ a}$.
Fig. 19. Basal area growth of the dominant trees in a mixed stand of Norway spruce and *B. pubescens*, $\text{cm}^2/5\text{ a}$.



Kuva 20. Koivun osuuden suhteellinen vaikutus kuusen, raudus- ja hieskoivun pohjapinta-alan kasvuun.
Fig. 20. Relative effect of the proportion of birch (%) on the basal area growth of Norway spruce and birch.

ken kaikkiaan kuusen poikkileikkauspinta-alan absoluuttinen kasvu on 1,5–2-kertainen hieskoivun kasvuun verrattuna.

Kuvaan 20 on piirretty kuusen ja raudus- sekä hieskoivun suhteellinen poikkileikkauspinta-alan kasvu koivun osuuden funktiona. Koivun osuuden keskiarvoa, 40 %, vastaavaa kasvua on merkitty 100:lla. Kuva ei osoita puulajien välisiä kasvusuhteita, vaan ainoastaan koivun suhteellisen vaikutuksen a. puulajin paksuuskasvuun. Tulokset ovat luotettavimmat lähellä keskiarvopistettä ja epävarmimmat lähes puhtaissa kuusikoissa ja koivikoissa.

Rauduskoivun osuuden muuttuminen 20 %:sta 80 %:iin merkitsee 20 %:n vähennystä kuusen ja lähes 50 %:n vähennystä rauduskoivun pohjapinta-alan kasvuun. Hieskoivun osuuden vastaavanlainen lisääntyminen ei vaikuta lainkaan kuusen kasvuun, mutta parantaa hieskoivun omaa kasvua noin 20 %.

Kuvia tulkittaessa on muistettava, että ne ovat vain pieni leikkaus monien kasvutekijöiden aikaansaamasta tuloksesta. Kaksiulotteisissa kuvissa monet selittävät tekijät on jouduttu vakioimaan. Näin ollen yhdenkin kasvutekijän muuttuminen aiheuttaa välittömästi kasvun ja puulajien kasvusuhteiden muuttumisen.

612. Pituuden kasvu

Kaatokoepuihin perustuvilla yhtälöillä lasketut tulevan 5-vuotiskauden keskimääräiset vuotuiset pituuskasvat on esitetty puulajeittain taulukossa 9 ja kuvissa 21–22. Tulosten mukaan pituuskasvun maksimi on kuusella noin 4–6 ja rauduskoivulla 3–4 m:n pituusvaiheessa. Hieskoivun pituuskasvu saavuttaa maksiminsa jo noin 2–3 m:n pituisena. On muistettava, että kyseessä on tulevan 5-vuotiskauden kasvu. Vuotuisen kasvun todellinen maksimi on noin 1–1,5 m myöhemmin.

Rauduskoivu kasvaa ennen vuotuisen pituuskasvun maksimia (noin 5 m) kuusta nopeammin. Tämän jälkeen puulajien kasvat vastaavat parhaimpia kasvupaikkoja lukuunottamatta toisiaan. Hieskoivu kasvaa aivan aluksi kuten rauduskoivu, mutta sen kasvu alkaa 4–5 m:n pituudelta lähtien jäädä jälkeen sekä rauduksesta että kuusesta. Hieskoivun nopean alkukehityksen on todennut myös Raulo (1981).

Edellä tapahtunut tarkastelu ei anna täysin oikeaa kuvaa puulajien pituuden kehityksestä tasaikäisessä sekametsikössä. Puulajeittaiset pituudet eivät kasvurytmien erojen vuoksi vastaa niissä toisiaan. Alussa jälkeen-

jäänyt ja kasvun maksimiaan lähestyvä puulaji saattaa kasvaa tietyllä hetkellä selvästi paremmin kuin jo maksimipisteen ohittanut puulaji.

Kuva 22 esittää puun vuotuisen pituuskasvun iänmukaisen alkukehityksen. Kuvaan on vertailuksi piirretty myös viljelyrauduskoivikon valtapuiden vuotuinen pituuskasvu käenkaalimustikkatyypillä (Raulo 1981).

Viljelykoivikon valtapuiden vuotuinen pituuskasvu on 20 v:n kokonaisuudelle saakka noin 10–15 cm tämän tutkimuksen rauduskoivujen kasvua suurempi. Tämän jälkeen ero pienenee nopeasti ja on 30-vuotiaassa koivikossa enää 5 cm/v.

Rauduskoivu kasvaa rinnankorkeuden saavuttamisen jälkeen noin 10 v:n ajan selvästi kuusta nopeammin. Tämän jälkeen kuusi ja rauduskoivu kasvavat rehevimmillä kasvupaikoilla samaa tahtia. Karummilla kasvupaikoilla kuusi kasvaa 10–15 v:n rinnankorkeusialtä lähtien hieman rauduskoivua nopeammin.

Kuvassa 23 on esitetty rinnankorkeudelta samanikäisten kuusi- ja koivuvaltapuiden pituuskehitys eri kasvupaikkaluokissa. Keskimääräistä karummilla kasvupaikoilla (H_{100} kuusi = 24, MT- ja VT) kuusen ja rauduskoivun pituuskasvut vastaavat toisiaan. MT:llä ja OMT:llä kasvavissa sekametsiköissä kuusi jää kuitenkin rauduskoivusta jälkeen. Kuusi ei tulosten mukaan saavuta rauduskoivun valtapituutta edes vanhalla iällä (vrt. kuva 8). Tällöin on muistettava, että käyrien perustana oleva runkoanalyysiaineisto on erityisesti parhailla kasvupaikoilla

Taulukko 9. Kuusen, rauduskoivun ja hieskoivun tulevan viisivuotiskauden keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu, cm/a sekametsikössä runkoanalyysin perusteella.

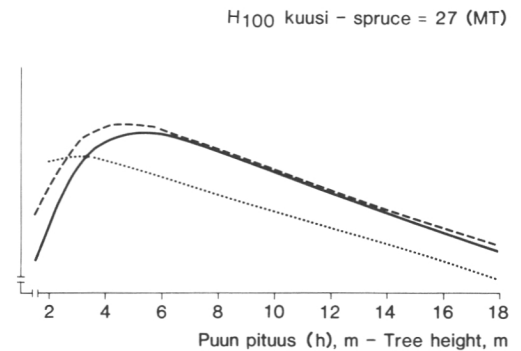
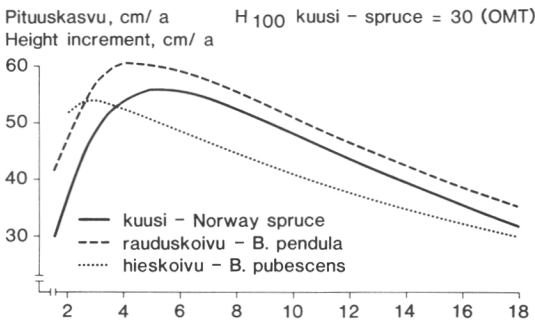
Table 9. Annual height increment of Norway spruce and birch during the following 5-year period. Felled sample trees.

H_{100} kuusi spruce	5	Puun pituus — Tree height (h), m			
		10	15	20	25
		Pituuskasvu — Height increment, cm/a			
		Kuusi — Norway spruce			
30	56	48	37	28	22
27	48	41	32	25	19
24	41	35	27	21	16
		Rauduskoivu — <i>B. pendula</i>			
30	60	51	40	32	26
27	49	41	33	26	21
24	39	33	26	21	17
		Hieskoivu — <i>B. pubescens</i>			
30	50	41	33	28	
27	42	34	28	23	
24	34	28	23	19	

60–70 v vanhempien puiden osalta vähäinen. Puulajien pituuskasvurytmien tarkka vertailu varttuneella iällä on sekä kuvan 8 että 23 perusteella epävarmaa.

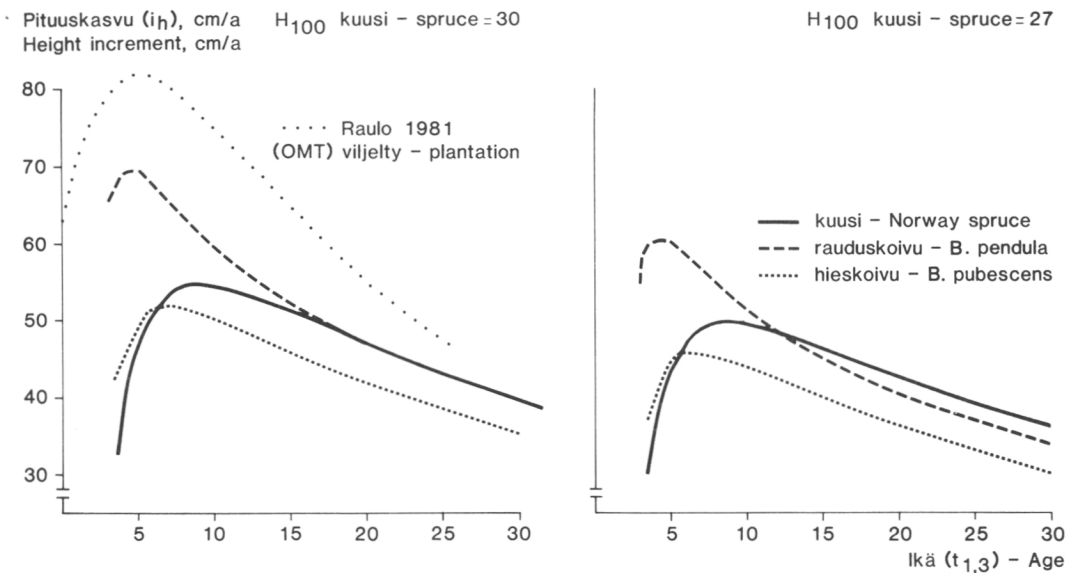
Hieskoivu kehittyy noin 8 m:n pituuteen saakka suurin piirtein rauduskoivun lailla. Kuusi saavuttaa rinnankorkeudelta samanikäisen hieksen pituuden 10–12 m:n valtapituudella. Tämän jälkeen hieskoivu jää pituuskehityksessään hitaasti kuudesta jälkeen erityisesti karummilla kasvupaikoilla.

Kuusen kasvuyhtälöllä 48 laskettu pituuskehitys vastaa 20 v:n rinnankorkeusialtä



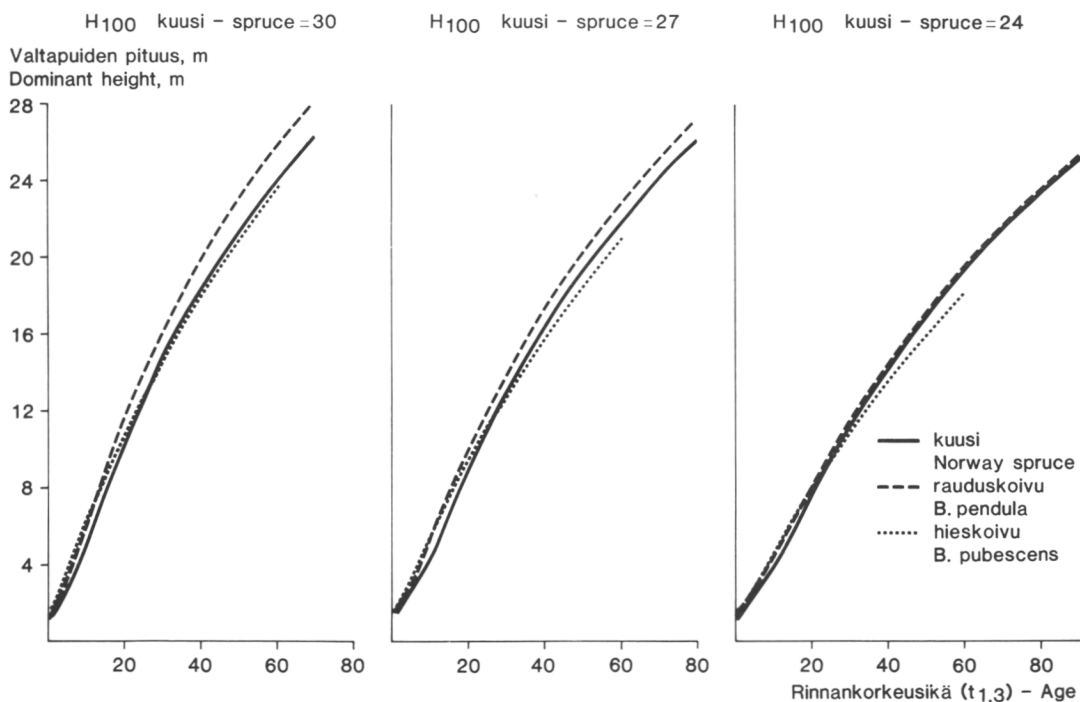
Kuva 21. Kuusen ja koivun tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvu cm/a pituuden funktiona. Runkoanalyysiin perustuvat yhtälöt 47, 49, 51.

Fig. 21. Annual height growth of Norway spruce and birch during the following 5-year period. Functions 47, 49, 51.



Kuva 22. Kuusen ja koivun vuotuinen pituuskasvu, cm/a rinnankorkeusiän funktiona. Runkoanalyysiin perustuvat yhtälöt 48, 50, 52.

Fig. 22. Current annual height growth of Norway spruce and birch. Functions 48, 50, 52.



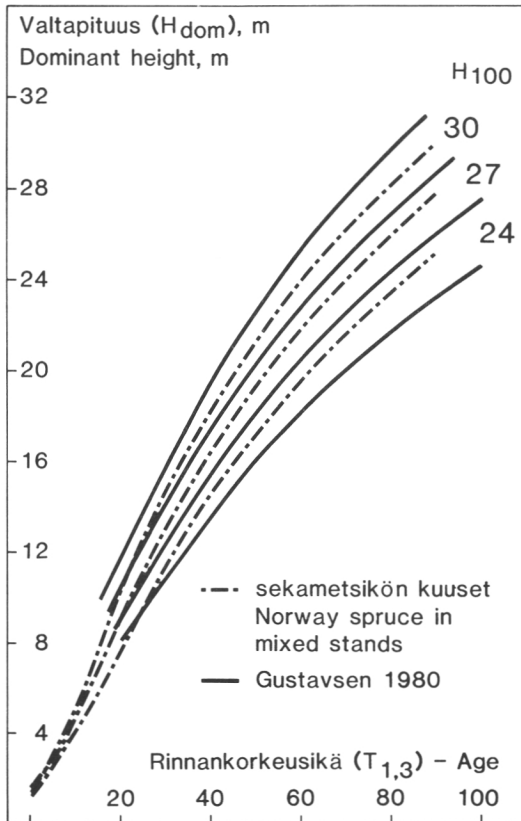
Kuva 23. Kuusen ja koivun valtapuiden pituuskehitys. Yhtälöt 47, 49, 51.

Fig. 23. Dominant height development of Norway spruce and birch. Functions 47, 49, 51.

lähtien Gustavsenin (1980) puhtaille kuusi-koille esittämiä boniteettikäyriä (kuva 24). Selvää sekametsikkörakenteesta aiheutuvaa pituuskasvueroa ei ole nähtävissä ikävälillä 20–90 v.

Gustavsenin aineisto ei anna mahdollisuutta alle 20-vuotiaiden metsiköiden vertailuun. Kuitenkin tämän tutkimuksen tuloksista on nähtävissä kuusen suhteellisen hidaskasvun alkukehitys noin 4 m:n pituuteen saakka. Osasyynä tähän on tiheän sekapuuston pituuskasvua hidastava vaikutus.

Taulukossa 10 on esitetty kuusen tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen pituuskasvu puun pituuden ja suhteellisen koon (latvuserroksen) funktiona. Tulokset on laskettu pystykoepuiden kasvumittauksista johdetulla yhtälöllä 55 ja niiden tasoa on korjattu runkoanalyysiin perustuvilla kertoimilla.



Kuva 24. Kuusen valtapituuden kehitys verrattuna Gustavsenin (1980) pituusboniteetteihin.

Fig. 24. Dominant height development of Norway spruce compared with the site indices of Gustavsen (1980).

Taulukon 10 mukaan puun suhteellinen koko vaikuttaa ratkaisevasti kuusen pituuskasvuun. Valtapuuna kasvavien tietynpituisten puiden pituuskasvu on yli kaksi kertaa niin suuri kuin vastaavan pituisten välipuiden ($h/H_{dom} = 0,5$). Kasvupaikkaluokan $H_{100} = 27$ m kuuset kasvavat varttuneella iällä noin 15 % ja luokan $H_{100} = 24$ m kuuset 25 % hitaammin kuin kasvupaikkaluokassa $H_{100} = 30$ m. Pituuskasvat on taulukossa esitetty 5 m:n pituusluokassa vain alikasvospuille. Syynä tähän on se, että aineiston nuorimpien metsiköiden valtapituus oli noin 10 m.

Vallittujen puiden valtapuita heikompi pituuskasvu merkitsee sitä, että eri latvuserrosten absoluuttiset pituuserot suurenevät jatkuvasti metsikön varttuessa (vrt. Nyssönen 1950). Pituuksien suhteelliset erot sen sijaan pienenevät (kuva 25).

Saadut tulokset pätevät tarkasti ottaen vain metsikön ollessa hakkaamattomana. Ne eivät sovellu päällyspuustosta vapautetun alikasvoksen pituuskehityksen ennustamiseen. Kuusen taimet elpyvät vapauttamisen jälkeen yleensä hyvin riippumatta siitä, min-

Taulukko 10. Kuusen tulevan viisivuotiskauden keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu kuusi-koivusekametsikössä, cm/a. Pystykoepuiden korjatut kasvut latvuserrosluokissa 1,0–0,2.

Table 10. Annual height increment of Norway spruce during the following 5-year period. Corrected growth of standing sample trees. Relative heights 1,0–0,2.

h/H_{dom}	5	Puun pituus — Tree height (h), m			
		10	15	20	25
		Pituuskasvu — Height increment, cm/a			
$H_{100} = 30$ (OMT)					
1,0	— (56)	47 (48)	35 (37)	28 (28)	24 (22)
0,8	—	36	27	22	—
0,6	43	26	19	—	—
0,4	26	16	—	—	—
0,2	12	—	—	—	—
$H_{100} = 27$ (MT)					
1,0	— (48)	41 (41)	30 (32)	24 (25)	21 (19)
0,8	—	31	23	19	—
0,6	37	22	17	—	—
0,4	23	14	—	—	—
0,2	10	—	—	—	—
$H_{100} = 24$ (MT ⁻ , VT)					
1,0	— (41)	34 (35)	26 (27)	21 (21)	18 (16)
0,8	—	26	20	16	—
0,6	31	19	14	—	—
0,4	19	12	—	—	—
0,2	9	—	—	—	—

() = kaatokoepuiden perusteella felled sample trees

kä ikäisiä ne ovat. Näin ollen muutaman metrin mittainen kuusi kasvaa muutamia vuosia ylispuiden poiston jälkeen kuten vastaavankokoinen, vapaana kasvanut kuusen taimi (Cajander 1934).

Taulukon suluissa olevat luvut on laskettu runkoanalyysipuihin perustuvalla yhtälöllä 47. Tulokset vastaavat hyvin toisiaan, mikä onkin luonnollista. Ovathan kiikarimitauksiin perustuvat kasvuluvut korjattuja juuri kaatokoepuista lasketuilla kertoimilla.

62. Metsikköyhtälöt

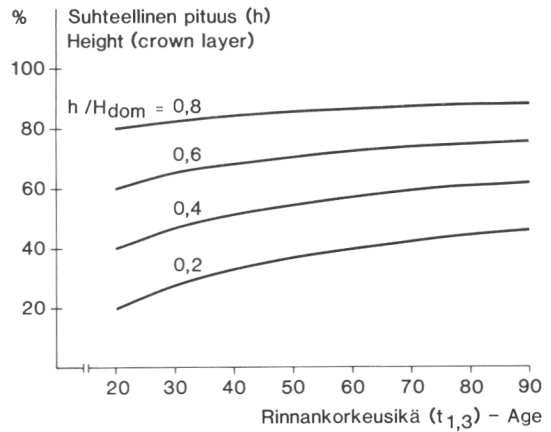
Puulajisuhteiden vaikutus sekametsikön pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvuun on erilainen. Pohjapinta-alan vuotuinen kasvu on parhaimmillaan, kun rauduskoivun osuus pohjapinta-alasta on noin 10 % harvoissa ja 20 % tiheissä metsiköissä. Optimin riippuminen puuston määrästä osoittaa kuusen kärsivän rauduskoivua enemmän kilpailun kiristymisestä tiheissä metsässä.

Tämän tutkimuksen suppean metsikköaineiston mukaan pohjapinta-alan kasvun kannalta optimaalinen rauduskoivun osuus ei sen sijaan riipu puuston iästä. Koivu kasvaa vähäisessä määrin esiintyessään myös vanhana kuusta paremmin.

Lievä 10–20 %:n rauduskoivusekoitus merkitsee metsikköyhtälöiden mukaan noin 5–10 %:n pohjapinta-alan lisäkasvua puhtaaseen, yhtä tiheään kuusikkoon verrattuna. Puhdas rauduskoivikko kasvaa kiristyvän kilpailun ja osittain myös suuremman järeytensä vuoksi vähäpuustoisissa metsiköissä ($G = 15 \text{ m}^2/\text{ha}$) noin 25 % ja runsaspuustoisissa metsiköissä ($G = 30 \text{ m}^2/\text{ha}$) lähes 20 % kuusi-rauduskoivusekametsikköä vähemmän.

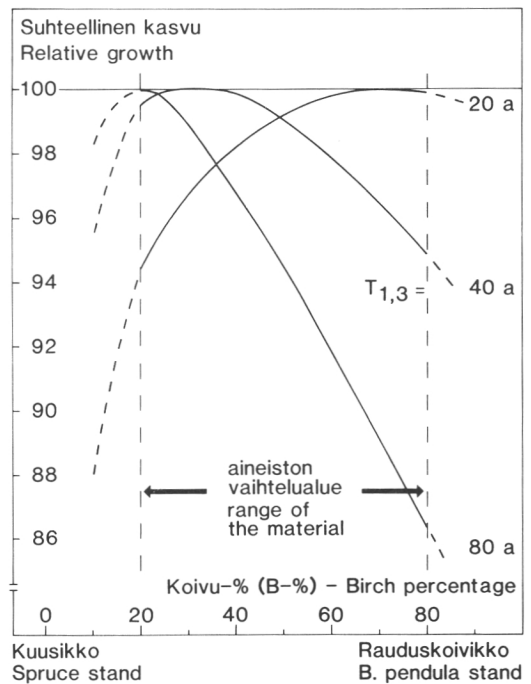
Vuotuisen tilavuuskasvun maksimi saavutetaan erityisesti nuorissa metsiköissä huomattavasti runsaammalla rauduskoivun osuudella. Syynä tähän on nuorten koivujen hyvä pituuskasvu. Kuvan 26 mukaan rinnankorkeusaltään 20-vuotiaan sekametsikön kasvu on parhaimmillaan, kun rauduskoivun osuus puuston tilavuudesta on noin 60 %. 40-vuotiaassa metsikössä koivun optimiosuus on noin 35 % ja 80 v:n iällä 20 %.

Edellä mainituissa laskelmissa puuston tilavuus oli yksinkertaisuuden vuoksi vakio $200 \text{ m}^3/\text{ha}$. Puulajisuhteiden optimi riippuu kuitenkin myös puuston määrästä. Kuvassa



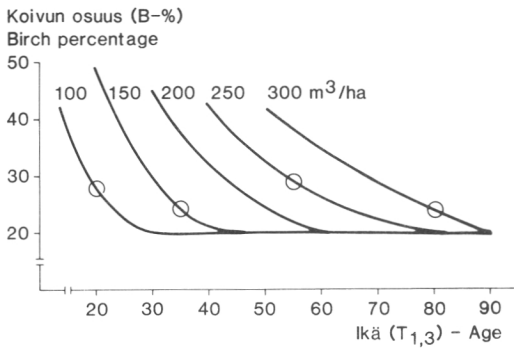
Kuva 25. Kuusen pituuskehitys iän ja suhteellisen pituuden funktiona. Valtapuiden pituus = 100. OMT ja MT.

Fig. 25. Relative height development of Norway spruce as a function of tree age and relative height. Dominant height = 100.



Kuva 26. Kuusi-rauduskoivusekametsikön suhteellinen tilavuuskasvu puuston iän, tilavuuden ja puulajisuhteiden funktiona. Puuston tilavuus = vakio $200 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Fig. 26. Relative volume increment of a mixed stand as a function of age, volume and birch percentage. Stand volume is constant, $200 \text{ m}^3/\text{ha}$.



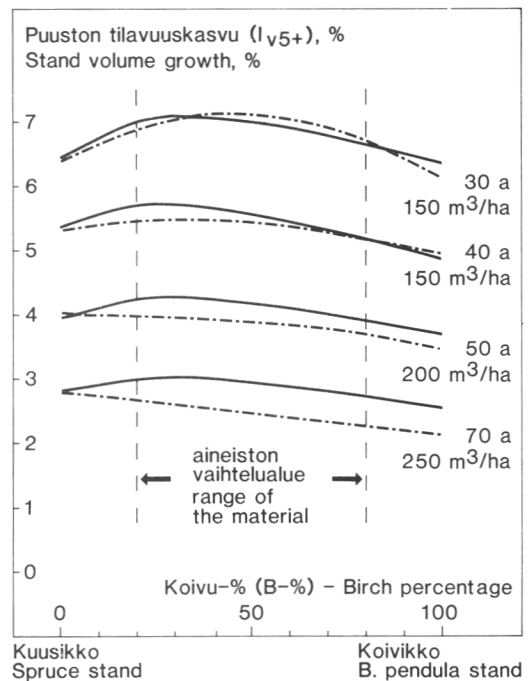
Kuva 27. Maksimitilavuuskasvun antava koivun osuus puuston iän ja tilavuuden funktiona.

Fig. 27. The birch percentage that gives maximum volume increment as a function of stand age and volume.

27 on esitetty metsikön vuotuisen tilavuuskasvun maksimia vastaava koivun osuus puuston iän ja tilavuuden funktiona. Puuston tilavuuden lisääntyminen iän pysyessä vakiona merkitsee sitä, että maksimikasvun antava metsikkö muuttuu entistä koivuvaltaisemmaksi. Näin ollen kuvassa 26 esitetyt koivun osuuden optimit eri iänkohdilla lähenevät käytännössä toisiaan. Kuvaan 27 on merkitty ympyröillä Vuokilan (1983) MT-kuusikoille esittämien harvennusmallien keskitasoa vastaavat optimipuulajisuhteet. Osuudet vaihtelevat iästä riippumatta välillä 20–30 %. Kasvuyhtälöissä selittävinä muuttujina esiintyvien iän ja tiheyden korrelaatio vaikeuttaa kuitenkin kasvutekijöiden vaikutusten tulkintaa.

Kuvassa 28 on verrattu kuusi-rauduskoivusekametsikön tulevan 5-vuotiskauden vuotuista suhteellista tilavuuskasvua Mielikäisen (1980) mänty-koivusekametsiköiden tuloksiin. Aineistot vastaavat kasvupaikkajakaumiltaan lähes toisiaan. Mänty-koivuaineisto käsitti sekametsiköiden lisäksi myös puhtaat mänty- ja koivukoelat. Tämän tutkimuksen aineistossa koivun osuus sen sijaan rajoittuu välille 20–80 %. Tällä välillä mänty-koivusekametsiköt kasvavat 40 v:n rinnankorkeudelle kuten kuusi-koivumetsiköt, mutta jäävät näistä myöhemmin selvästi jälkeen. Tulos on looginen, koska mänty ja rauduskoivu kasvavat nopeasti nuoruudessaan, kun kuusi taas jatkaa kasvuaan pitempään (vrt. Nyssönen ja Mielikäinen 1978).

Vähäpuustoisimpia metsiköitä lukuunottamatta näyttää hieskoivun osuuden lisää-



Kuusikko Spruce stand Koivikko B. pendula stand

— kuusi-rauduskoivu - Norway spruce - B. pendula
 -- mänty-rauduskoivu (Mielikäinen 1980)
 Scots pine - B. pendula

Kuva 28. Kuusi-rauduskoivusekametsikön tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu puuston iän, tilavuuden ja koivun osuuden funktiona.

Fig. 28. The annual volume increment of a mixed stand during the following 5-year period as a function of stand age, volume and birch percentage.

tyminen parantavan sekametsikön kasvua. Kasvun paraneminen perustuu aineiston pienikokoisten hieskoivujen korkeaan kasvuprosenttiin. Hieskoivun järeytyminen jää kuitenkin selvästi jälkeen kuusen järeytyksestä (vrt. kuva 19). Toisaalta hieskoivu ei myöskään vähennä kilpailullaan mainittavasti kuusen kasvua.

Esitetyjä tuloksia tulkittaessa on muistettava, että tutkimusaineistossa ei ole puhtaita vertailumetsiköitä. Myös aineiston koko, 37 kuusi-rauduskoivu- ja 28 kuusi-hieskoivumetsikköä, on tulosten yleistämiskelpoisuutta ajatellen pieni. Puhtaan kuusikon ja koivikon luvut perustuvat kasvuyhtälöillä tapahtuvaan ekstrapolointiin. Metsikkökohdittaiset tulokset viittaavat joka tapauksessa siihen, että lievä rauduskoivusekoitus ei ainakaan vähennä puuston pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvua, jos vertailukohtana on puhdas kuusikko. Myös puhtaan luonnon-

koivikon pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvu on sekametsikön kasvua alhaisempi.

63. Kasvuyhtälöiden luotettavuus

Kasvuyhtälöiden tilastollisten tunnuslukujen sekä erityisesti jäännösvaihtelukuvien tarkastelu kuvaa mallien luotettavuutta laskenta-aineistossaan. Tästä syystä tutkimusaineiston edustavuus ja laaja-alaisuus eri muuttujien suhteen on tärkeää. Mitä useampia selittäviä muuttujia käytetään, sitä laajempia aineistoja tarvitaan. Ei riitä, että yksittäisten muuttujien vaihtelualue tulee katetuksi. Aineiston tulee käsittää myös kaikki laskelmissa käytettävät muuttujajhdistelmät.

Laadittujen puun ja metsikön kasvuyhtälöiden jäännösvaihtelukuvien tarkastelu ei paljastanut systemaattista virhettä minkään selittävän muuttujan suhteen.

Luotettavin kuva kasvuyhtälöiden käytökelpoisuudesta saadaan sovellettaessa niitä erilliseen testiaineistoon. Kuusi-koivusekametsiköistä mitattua erillistä koepuuaineistoa ei ollut käytettävissä puuyhtälöiden testaamiseen. Tältä osin oli tyydyttävä mallien kertoimien loogisuuden ja tilastollisen luotettavuuden tarkasteluun sekä puu- ja metsikköyhtälöiden tulosten vertailuun. Testiaineiston puuttumisesta ei ole kuitenkaan suurta haittaa, koska puuyhtälöitä ei käytetä kasvu- ja tuotostaulukoiden laadintaan. Puitaisten laskelmien tarkoituksena on verrata eri metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikutusta jo syntyneen sekametsikön kasvuun tutkimusaineiston sisällä.

Metsikön kasvuyhtälöitä on testattu vertaamalla niiden antamia tuloksia puhtaisten kuusikoiden ja koivikoiden kasvulukuihin. Vertailun tulokset on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

Kuusen kasvua on verrattu Gustavsenin (1977) julkaisemiin kasvulukuihin. Rauduskoivun vertailuluvut ovat Koiviston (1957), Gustavsenin (1977) ja Mielikäisen (1980) tutkimuksista. Koivun ikäluokittaiset tilavuudet ovat Koiviston kasvu- ja tuotostaulukoista. Kasvut ja puuston tilavuudet ovat kuorellisia.

Vertailussa on otettava huomioon, että sekametsikköaineistossa ei ole puhtaita koealoja, vaan tässä suhteessa liikutaan aineiston ulkopuolella. Koivikon kasvua laskettaessa on tämän vuoksi koivun osuutena yhtälöissä käytetty 75 %. Toisin sanoen 25 %:n kuusisekoituksen ei oleteta vaikuttavan rauduskoivujen kasvuun. Esitetty kasvuprosentti

Taulukko 11. Sekametsikköyhtälöllä 61 laskettu kuusikon tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu ($m^3/ha/a$) sekä poikkeamat prosentteina Gustavsenin (1977) kasvutaulukoista.

Table 11. Annual volume growth of a spruce stand during the following 5-year period ($m^3/ha/a$, growth equation 61) and the divergence in per cent from Gustavsen's (1977) growth results.

V m^3/ha	Puuston ikä, a — Stand age, a						
	35	45	55	65	75	85	95
	Tilavuuskasvu m^3/a — Volume increment						
50	7,07	5,60					
	+20	+19					
100	9,61	7,61	6,41	5,60	5,00	4,55	—
	+9	+5	+4	+4	+4	+4	
150	11,50	9,10	7,67	6,70	5,99	5,44	5,01
	+2	-1	-2	-3	-2	-2	-1
200	—	—	8,71	7,60	6,80	6,18	5,69
			-7	-7	-7	-6	-6
250	—	—	9,61	8,39	7,50	6,82	6,28
			-9	-10	-10	-9	-9
300	—	—	—	9,10	8,13	7,39	6,80
				-12	-12	-12	-12

T-T_{1,3} = 12 a

Taulukko 12. Sekametsikköyhtälöllä 63 laskettu rauduskoivikon vuotuinen tilavuuskasvu verrattuna Mielikäisen (1980), Koiviston (1957) ja Gustavsenin (1977) kasvulukuihin.

Table 12. Annual volume increment of a *B. pendula* stand, calculated using increment function 63, compared with other yield studies.

Metsikön ikä, a Stand age (T)	Puuston tilavuus Stand volume (V) m^3/ha	Kasvuarvio — Estimate			
		1	2	3	4
		Vuotuinen kasvu m^3/ha Annual increment			
40	137	7,3	7,4	8,8	8,8
50	169	6,9	6,9	7,4	8,3
60	187	6,4	6,2	6,4	7,5
70	195	5,7	5,3	5,5	6,6
80	200	5,2	4,4	5,0	6,0

Kasvuarvio

Estimate

1 = rauduskoivu kuusi-koivusekametsikössä

B. pendula mixed with Norway spruce

2 = rauduskoivu mänty-koivusekametsikössä (Mielikäinen 1980)

B. pendula mixed with Scots pine

3 = Koiviston (1957) rauduskoivikot

B. pendula stand

4 = Gustavsenin (1977) raudus- ja hieskoivikot

B. pendula + *pubescens* stand

koskee kuitenkin vain koivun kasvua. Kuusen yhtälössä puulajisuhteet eivät ole selittävinä muuttujana.

Taulukosta 11 nähdään, että puuston tilavuuden ollessa 100—200 m³/ha eli Gustavsenin aineiston tyypillisimmällä alueella, sekametsikön kuusten suhteellinen kasvu vastaa suurin piirtein em. puhtaiden kuusikoiden tasoa. Runsaspuustoisissa sekametsiköissä kuuset kasvavat heikommin. Syynä tähän on rauduskoivu, jonka vaikutus kuusen kasvuun on suurimmillaan runsaspuus-

toisissa metsiköissä. Kuusi-hieskoivumetsiköissä puuston määrän lisääntyminen vaikuttaa kuusen kasvuun vähemmän.

Sekametsikköyhtälöllä 63 laskettu rauduskoivikon kasvu vastaa pääpiirtein vertailuarvoja (taulukko 12). Mainittavimmat erot ovat Gustavsenin muita korkeammat kasvuluvut sekä iän lievempi vaikutus sekametsikön koivujen kasvuun. Ensiksimainittuun ovat syynä pienikokoisten hieskoivujen korkea kasvu ja Gustavsenin koemetsiköiden vähäpuustoisuus.

7. KUUSI-KOIVUSEKAMETSİKÖN PUUNTUOTOSKYKY

71. Laskentamenetelmä

Puulajien kasvurytmierojen vuoksi vasta kiertoajan mittainen tuotoksen ja tuoton tarkastelu mahdollistaa sekametsikön edullisuuden arvioinnin. Tämän tutkimuksen päätulokset perustuvat metsikön kasvun puukohtaiseen simulointiin.

Laskelmien tavoitteena ei ole kasvu- ja tuotostaulukoiden laatiminen. Tutkimusaineisto on tarkoitukseen liian suppea. Koe-metsiköiden subjektiivinen valinta vaikeuttaa myös vertailua aiempien, puhtaita metsiköitä käsittelevien tutkimusten absoluuttisiin tuloksiin.

Simuloinnilla pyritään tässä tarkastelemaan puuston käsittelyn vaikutusta jo syntyneen kuusi-koivusekametsikön jatkokehitykseen. Vertailussa puulajeja käsitellään samalla tavalla tai hakkuissa suositaan jompaa kumpaa puulajia.

Puuston kasvatuksen simulointia varten laadittiin tietokoneohjelmisto, joka syötettävän puu- ja metsikkötiedon perusteella laskee kunkin puun paksuus- ja pituuskasvun. Kuorellisen paksuuskasvun laskennassa tarvittavat puustotiedot ovat pohjapinta-ala (G), pituusboniteetti (H_{100}), kuusen valtipituus (H_{dom}) sekä koivun osuus pohjapinta-alasta (B-%). Puutietoina tarvitaan läpimitta (d) ja ikä ($t_{1,3}$). Kasvut lasketaan harjanmalleilla 40, 42, 44 ja 46.

Kuusen pituuskasvu lasketaan puun pitiuden (h), latvuskerroksen (h/H_{dom} kuusi) ja pituusboniteetin (H_{100}) funktiona (yhtälö 55), ja sitä korjataan runkoanalyysiin perustuvilla korjauskertoimilla (yhtälö 56). Koivun pituuskasvu lasketaan yhtälöillä 49 ja 51.

Koska kasvuyhtälöiden pohjana oleva tutkimusaineisto käsittää pelkästään sekametsiköitä, on koivun osuutena käytetty myös puhtaan kuusikon kuusten kasvuja laskettaessa 20 %:a. Voidaan olettaa, että vähäisellä koivusekoituksella ei ole mainittavaa välitöntä vaikutusta kuusten kasvuun.

Puustoa kasvatetaan laskelmissa 5-vuotis-

kausittain. Kullakin simulointikierröksellä jokaisen puun rinnankorkeusläpimittaan ja pitiuteen lisätään malleilla saadut 5-vuotiskauden kasvujen odotusarvot ja ikään 5 v. Kun kaikki puut on käyty läpi lasketaan jakson lopun puustotunnukset. Pohjapinta-alaa verrataan harvennushakkuisiin ja jos puuston määrä ylittää leimausrajan, ohjelma siirtyy harvennukseen.

Odotusarvojen käyttö kasvun simuloinnissa ei vastaa tarkasti ottaen todellisuutta. Oletetaanhan tässä kaikkien tietyllä hetkellä samanlaisten puiden kasvavan täsmälleen samalla tavoin. Satunnaisvaihtelun puuttuminen laskelmista vähentää puiden erilaisuutta. Tällä on suurempi vaikutus puutaralajiosuuksiin kuin puuston kokonaistilavuuteen.

Harvennushakkuissa poistettavien puiden valintaan käytetään Isomäen ja Niemistön (1983) kehittämää leimausohjelmaa. Ohjelma vaatii syöttötiedoiksi tavanomaisten puutunnusten lisäksi puun sijainnin osoittavat koordinaatit.

Leimauksen aluksi metsikön pinta-ala, ts. kasvutila jaetaan sillä kasvavien puiden kesken. Kasvutilan jakoperusteena voidaan käyttää mitä tahansa puutunnusta tai niiden yhdistelmää. Puiden poistamisjärjestys harvennuksissa määräytyy puiden kasvutilojen päällekkäisyyden ja haluttujen puutunnusten suhteen lasketun valintakertoimen perusteella.

Nyt esitettävissä laskelmissa harvennusten voimakkuus perustui Kml. Tapion kuusikon harvennushakkuisiin. Puiden poistamisjärjestykseen vaikuttivat kasvutilojen päällekkäisyys, puiden pitiudet (alaharvennus) ja puulaji. Puulajikerroin oli tarpeen pyrittäessä muuttamaan metsikön puulajisuhteita harvennushakkuissa.

Kehitetyllä metsikkösimulaattorilla on mahdollista vertailla eri metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikutusta minkä tahansa metsikön pitkän ajan puuntuotukseen. Edellytyksenä on tällöin puustokartoitettu lähtöpuusto sekä tarpeelliset puun kasvuyhtälöt.

72. Lähtöpuusto

Simuloinnin lähtöpuustona on mahdollista käyttää joko mitattua tai mitatun tiedon perusteella tasoitettua runkolukusarjaa. Kunkin läpimittaluokan pituuksina käytetään mitattuja tai lasketulta pituuskäyrältä poimittuja pituuksia, joihin voidaan liittää satunnaisvaihtelua (ks. Kilkki ja Siitonen 1975). Mikäli tavoitteena on laatia absoluutiselta tasoltaan yleistämiskelpoiset tuotostaulukot, simulointi voidaan toistaa useita kertoja lähtöpuustoa vaihdellen. Lopullinen tuotostaulukko muodostuu simulointien keskiarvotuloksista.

Kuusi-koivusekametsiköt ovat puustoltaan niin vaihtelevia, että tyypillisen runkolukusarjan esittäminen on vaikeaa. Kuusi-rauduskoivu- ja kuusi-hieskoivusekametsiköiden kehityksen simulointi kolmessa kasvupaikkaluokassa erilaisia kasvatusohjelmia (puulajisuhteita) noudattaen merkitsi niin suurta laskelmien määrää, että tässä päädyttiin esittämään ainoastaan joidenkin esimerkkimetsiköiden simulointien tulokset.

Tämän tutkimuksen vertailevissa simuloinneissa lähtöpuustona on käytetty Piekämäellä mitattua koemetsikköä 52, jossa mitattiin kesällä 1983 kooltaan alkuperäiseen verrattuna kaksinkertainen koela. Koelan jokaisesta puusta mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja pituus sekä sijaintikoordinaatit. Koelatietojen tiivistelmä on esitetty taulukossa 13.

Koemetsikön koivu on pelkästään hieskoivua. Hies- ja rauduskoivun alkukehitys on etenkin pituuden osalta hyvin samanlainen. Tämän vuoksi mitattua koelaa käytettiin pienin muutoksin lähtöpuustona myös rauduskoivusekametsikölle. Puulajisuhteiltaan ja tilajärjestykseltään mahdollisimman samankaltaiset lähtöpuustot parantavat koivulajien vertailtavuutta.

Runkoanalyysipuiden perusteella selvitettiin raudus- ja hieskoivun pituuden ja läpimitan alkukehitys eri kasvupaikoilla. Tehdyn vertailun perusteella hieskoivujen alkupituuksiin lisättiin 4 % ja läpimitoihin OMT:llä ($H_{100} = 30$) 15 %, MT:llä ($H_{100} = 27$) 5 % ja MT-:llä ($H_{100} = 24$) 0 % muutettaessa metsikköä rauduskoivusekametsiköksi simulointia varten.

Eri kasvupaikkojen alkupuustot määritettiin vertailemalla puhtaiden metsiköiden valtapituuden ja puuston tilavuuden alkukehitystä eri kasvupaikoilla (Koivisto 1959). Eri

Taulukko 13. Simulointien pohjana olevan metsikön puustotietojen tiivistelmä.

Table 13. Summary of the stand data used as a basis for simulation.

Koelan numero — Number of sample plot	52
Pinta-ala, m ² — Area, m ²	707
Mittauspäivä — Measuring date	21.6.1983
Metsätyyppi — Forest site type	OMT
H ₁₀₀	29

	Mänty Pine	Kuusi Norway spruce	Hies B. pub.	Yht. Total
Puuston tilavuus (V), m ³ /ha Stand volume, m ³ /ha	1,4	52,9	21,4	75,6
Pohjapinta-ala (G), m ² /ha Basal area, m ² /ha	0,3	11,4	3,9	15,6
Keskiläpimitta (D), cm Mean diameter, cm		8,0	8,4	
Valtapituus (H _{dom}), m Dominant height, m		9,2	8,9	
Rinnankorkeusikä (T _{1,3}), a Age at breast height, a		14	16	
Runkoluku (N), kpl Number of stems	70	1556	736	2362
Aiempi poistuma, m ³ /ha Earlier drain, m ³ /ha			4,5	

kasvupaikkaluokissa käytettiin rauduskoivun läpimittaa lukuunottamatta samaa lähtöpuustoa ja vain ikää muutettiin. Simuloinnin alkupuustot eri vaihtoehtoissa on esitetty taulukossa 14.

73. Metsiköiden käsittelyvaihtoehdot

Käytännön leimaustilanteessa tarvitaan tietoa tai arviota yksittäisten puiden kasvukykyvystä, jotta harvennuksessa jätettäisiin kasvamaan mahdollisimman tuottoisa puusto. Tähän liittyy myös puulajisuhteiden säätely.

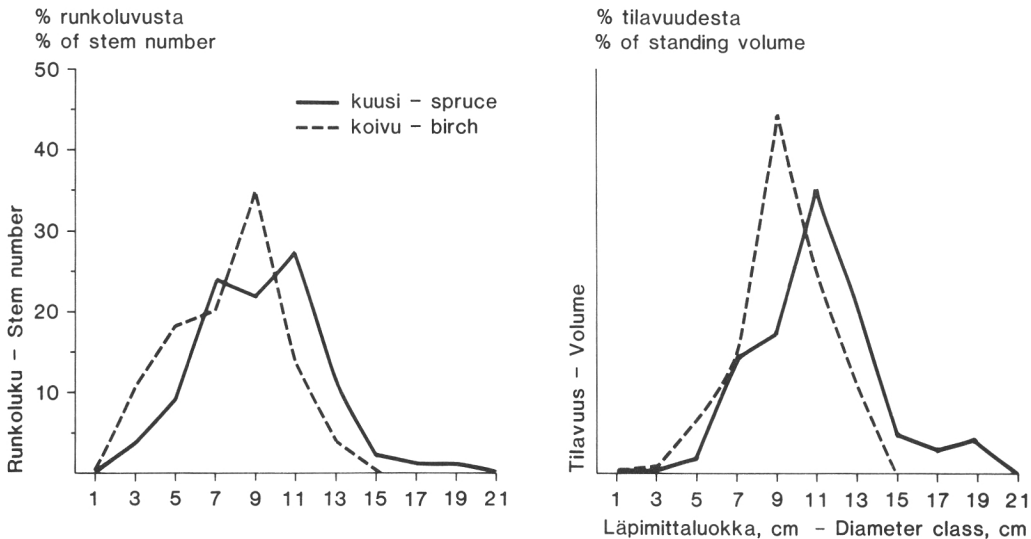
Tässä tutkimuksessa vertailtavat kuusi-koivusekametsikön kasvatusvaihtoehdot ovat seuraavat:

1. Puhdas kuusikko (100—0). Koivu poistetaan mahdollisimman pian harvennushakkuissa ja kuusikko kasvatetaan kiertoajan loppuun.
2. Lievä koivusekoitus (75—25). Metsikköä käsitellään niin, että noin 25 %:n koivusekoitus säilyy koko kiertoajan.
3. Sekametsikkö (50—50). Kuusen ja koivun osuudet puuston pohjapinta-alasta pyritään pitämään 50 %:na.
4. Koivuvaltainen sekametsikkö (30—70). Koivun osuus nostetaan kuusta poistaen vähitellen 70 %:iin.

Taulukko 14. Simulointien alkupuustot eri kasvupaikkojen kuusi-rauduskoivu- ja kuusi-hieskoivusekametsiköissä.

Table 14. The initial tree stands of the simulations in Norway spruce-Betula pendula and Norway spruce-B. pubescens mixed stands.

	Pituusboniteetti — Site index (H_{100})					
	30	27	24	30	27	24
	Kuusi-raudusk. Norway spruce- B. pendula			Kuusi-hiesk. Norway spruce- B. pubescens		
Ikä ($T_{1,3}$), a	15	20	25	15	20	25
Age, a						
Pohjapinta-ala (G), m ² /ha	16,9	15,9	15,6		15,6	
Basal area, m ² /ha						
Koivun osuus (B-%)	32,5	28,3	26,5		25,0	
Birch, %						
Kuusen valtapituus (H_{dom}), m	9,2	9,2	9,2		9,2	
Dominant height, spruce, m						
Koivun valtapituus (H_{dom}), m	9,2	9,2	9,2		8,9	
Dominant height, birch, m						
Kiertoaika, a	80	85	90	80	85	90
Rotation, a						
Harvennuksia	4	4	3	4	4	3
Thinnings						



Kuva 29. Koemetsikön 52 runkolukujakauma simuloinnin alussa. Tasaava luokitus 2 cm.
Fig. 29. Diameter distribution of study stand 52 at the beginning of the simulation. Class width 2 cm.

Metsikön muuttaminen kuusivaltaisesta koivuvaltaiseksi edellyttää jossakin määrin myös suurimpien kuusten poistoa. Näin se kuvaa aiemmin yleistä tukkipuihin kohdistuvaa poimintahakkuuta. Tämän tutkimuksen simuloinneissa harvennukset tapahtuvat kuitenkin yleisten harvennusmallien mukaisesti, mikä ei useinkaan toteudu poimintahakkuissa.

Puustoa harvennettiin laskelmissa Kml. Tapion Etelä-Suomen OMT- ja MT-kuusi-koiden harvennusmalleja noudattaen. Pituusboniteeteilla $H_{100} = 30$ ja 27 (OMT+, MT+) käytettiin OMT:n ja boniteetilla $H_{100} = 24$ MT:n mallia. Tämä merkitsi paremmilla kasvupaikoilla ($H_{100} = 30$ ja 27) 4 ja karummilla kasvupaikoilla 3 harvennusta kiertoajan kuluessa. Vastaavat kiertoajat oli-

vat 80, 85 ja 90 a.

Taulukossa 15 on esitetty esimerkki metsikön kehityksen kiertojan mittaisesta puukohtaisesta simuloinnista. Kasvupaikkaluokka $H_{100} = 27$ (MT), puuston ikä simulointia aloitettaessa (T) 30 a, pohjapinta-ala (G) $15,9 \text{ m}^2/\text{ha}$ ja koivun osuus $28,3 \%$ pohjapinta-alasta. Metsikköä on käsitelty harvennusmallien mukaisesti 4 kertaa. Koivun osuus on pidetty noin 25% :na. Metsikön harvennusohjelma on esitetty kuvassa 30.

Puulajisuhteita säädeltiin leimausohjelmassa puulajeittain annettavalla valintakertomella (ks. Isomäki ja Niemistö 1983), jonka pienentäminen sai aikaan leimauksen painotumisen ao. puulajiin.

Esimerkkimetsikön puukartta kasvatuksen alkaessa ja kunkin harvennuksen jälkeen

on esitetty kuvassa 31. Kartta osoittaa, että leimausohjelma on toiminut tilajärjestyksen kannalta katsottuna asiallisesti ja poistanut puita tasaisesti koko koealalta.

74. Kiertojan kokonaiskasvu

Kuusi-rauduskoivu- ja kuusi-hieskoivusekametsikoille laadittiin edellisessä kappaleessa kuvatulla menetelmällä neljä kiertojan mittaista käsittelyohjelmaa kolmelle kasvupaikkaluokalle. Vaihtoehtolaskelmia oli näin ollen 24. Tulokset on esitetty taulukossa 16 ja liitteissä 1—6.

Kasvulukujen vertailu osoittaa että kuusi-rauduskoivu- ja kuusi-hieskoivusekametsi-

Taulukko 15. Esimerkki sekametsikön kasvatusohjelmasta $H_{100} = 27$ (MT). Puulajit: kuusi 75% — rauduskoivu 25% .

Table 15. Development of a simulated stand. An example using tree models.

T	H_{dom}		G		B-%	V		N		\bar{D}	
	1	2	1	2		1	2	1	2	1	2
30	9,2	9,2	11,4	4,5	28,3	47,4	19,4	1556	736		
35	11,3	11,3	16,9	7,0	29,4	89,0	33,2			12,9	11,7
35	11,3	11,3	10,9	3,7	25,3	56,2	19,4	934	340		
40	13,2	13,2	14,9	5,3	26,4	87,9	32,2			15,5	14,7
45	15,0	14,9	18,5	7,0	27,5	121,4	47,0			17,1	16,7
45	14,8	14,8	14,3	4,6	24,5	95,3	31,4	679	226		
50	16,4	16,4	17,4	6,0	25,5	126,1	44,2			19,1	18,8
55	17,7	17,9	20,2	7,3	26,5	157,9	58,2			20,5	20,7
55	18,0	17,9	16,4	5,1	23,8	131,6	41,3	509	156		
60	19,3	19,3	18,9	6,2	24,7	160,8	53,0			22,6	23,1
65	20,5	20,6	21,1	7,2	25,5	190,6	65,5			23,8	24,9
70	21,7	21,8	23,3	8,2	26,2	221,3	78,6			24,5	26,5
70	21,5	21,6	17,7	5,5	23,7	169,1	53,0	382	113		
75	22,7	22,8	19,6	6,3	24,4	195,9	63,7			26,2	27,0
80	23,7	24,0	21,4	7,2	25,1	223,1	74,8			27,3	28,7
85	24,8	25,0	23,1	8,0	25,7	250,9	86,2			28,4	30,2

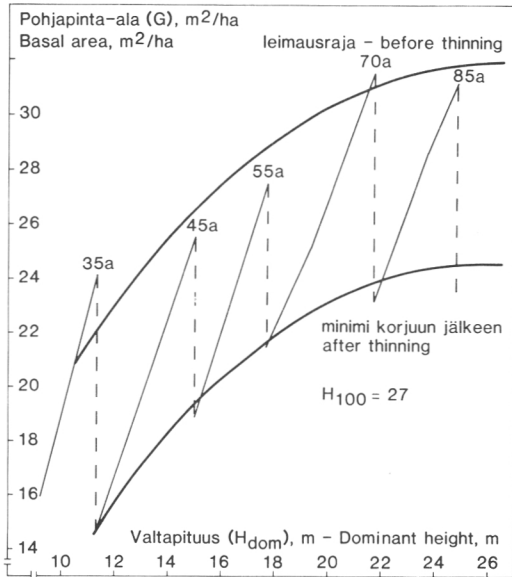
Selitys

Explanation

1 = Kuusi — Spruce

2 = Rauduskoivu — B. pendula

Harven- nukset Thinnings	Hakkuupoistuma — Drain					
	Pohjapinta-alasta m^2/ha Basal area		Tilavuudesta m^3/ha Volume		Tukkipuuta m^3/ha Saw-timber	
	1	2	1	2	1	2
35	6,0	3,3	32,8	13,8		
45	4,2	2,4	26,1	15,6	3,7	2,2
55	3,8	2,2	26,3	16,9	8,7	8,7
70	5,6	2,7	52,2	25,6	41,3	22,4
85	23,1	8,0	250,9	86,2	225,4	77,6
Yhteensä Total	42,7	18,6	388,3	158,1	279,1	110,9
	61,3		546,5		390	
Keskim. kasvu Mean annual growth	0,72		6,43		4,59	



Kuva 30. Esimerkki koemetsikön 52 kasvatusohjelmasta. Kuusi 75 %, rauduskoivu 25 %. H_{100} kuusi = 27. Harvennusmalli = Kml. Tapio, OMT-kuusikko.

Fig. 30. Example of the thinning programme used in the simulation. Norway spruce 75 %, *B. pendula* 25 %. $H_{100} = 27$.

köt ovat keskenään vertailukelpoiset. Molempien laskelmien puhtaan kuusikon kasvuluvut ovat lähes samat, vaikka ne on simuloitu erillisiin aineistoihin perustuvilla kasvuyhtälöillä. Pientä eroa aiheuttaa luonnollisesti metsikön alkukehitys ensiharvennukseen saakka. Tällöin lähtöpuuston lievä koivusekoitus saa aikaan kasvueron alussa rauduskoivua käsittäneen metsikön hyväksi.

Tulosten mukaan lievä rauduskoivusekoitus merkitsi kiertoajan kuluessa kasvupaikasta riippuen noin 3—5 %:n tilavuuskasvun lisäystä puhtaaseen kuusikkoon verrattuna. Rauduskoivun vaikutus tukkipuun kokonaistuotokseen on suurempi. 25 %:n rauduskoivusekoitus lisäsi tukkipuun tuotosta parhailla kasvupaikoilla noin 9 % ja karummilla kasvupaikoilla 5—6 %.

Myös runsaampi, 50—70 %:n rauduskoivusekoitus paransi kuusikon kokonaiskasvua 3—5 %. Kasvun lisäys tapahtui kuitenkin jo osittain järeytymisen kustannuksella. Koivun osuuden lisääntyminen heikentää sekä kuusten että koivujen paksuuskasvua. Tämä näkyy liitetaulukon 1 runkoluvuissa, keskilämpimöissä ja tukkipuun tuotoksessa. Run-

sas rauduskoivusekoitus lisäsi järeän puun määrää vain parhailla kasvupaikoilla. MT:llä ($H_{100} = 27$) runsas koivusekoitus alensi tukkipuun tuotosta 1—5 % ja tätä karummilla kasvupaikoilla (MT-, $H_{100} = 24$) noin 6—9 %.

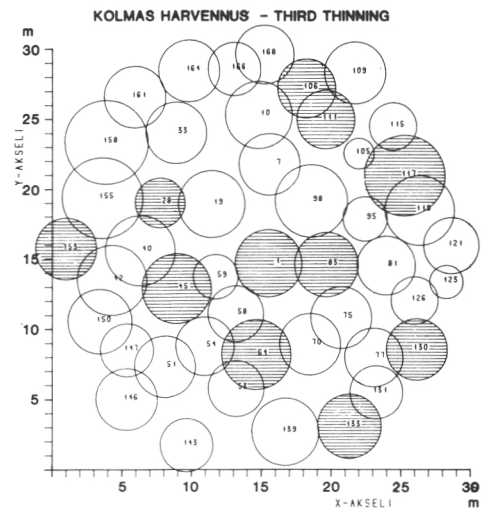
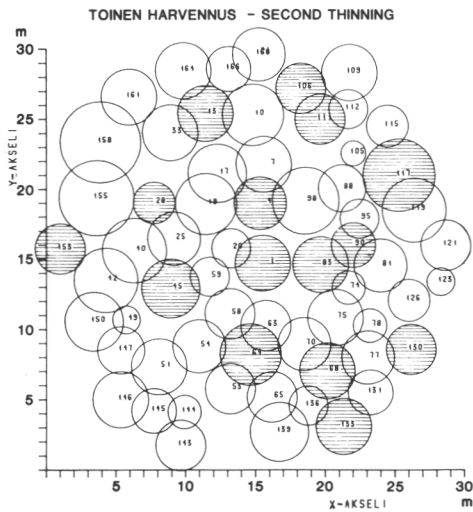
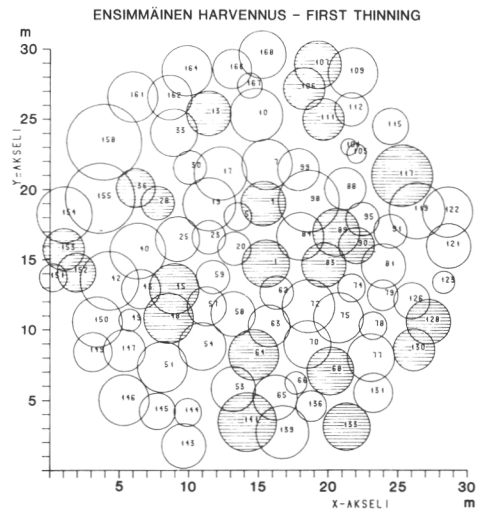
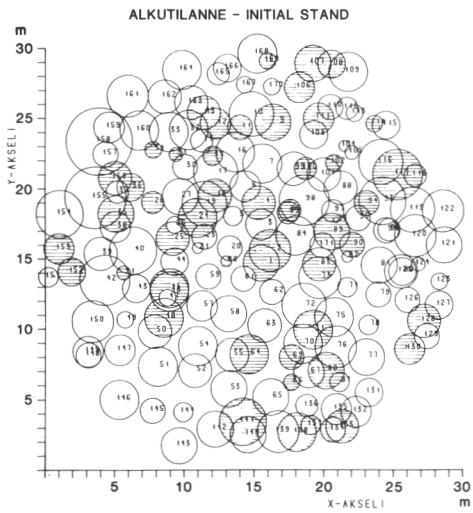
Laskelmissa tutkittiin myös vaihtoehtoa, jossa rauduskoivu poistettiin 50 tai 65 v:n iällä. Kokonaiskasvun ja tukkipuun tuotoksen kannalta lievä koivusekoituksen säilyttäminen päätähakkuuseen saakka oli kuitenkin niukasti paras vaihtoehto.

Edellä todetut lisäykset tukkipuun tuotoksessa edellyttävät kustakin rungosta saatavan järeyttään vastaava määrä tukkipuuta. Parhaiten tämä toteutuu toistuvasti harvennetussa sekametsikössä, josta huonolaatuiset koivut poistetaan jo ensimmäisissä harvennushakkuissa.

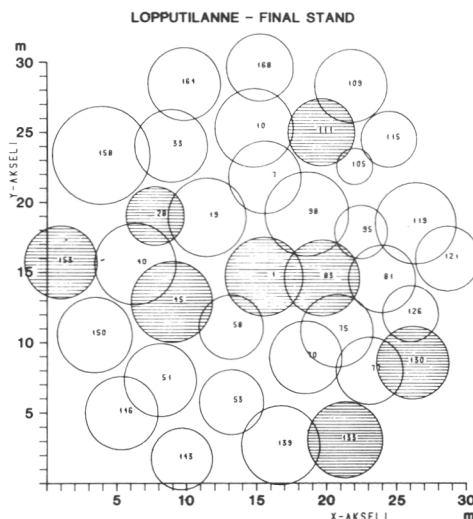
Hieskoivusekoitus saa aina aikaan kasvutappiota puhtaaseen täystiheään kuusikkoon verrattuna. Kasvutappio nousi kuitenkin laskelmien mukaan korkeintaan 6 %:iin kiertoajan kuluessa. Syynä pieneen kasvutappioon on pienikokoisten hieskoivujen korkea suhteellinen kasvu. Käytetyt kiertoajat 80—90 v ovat jo hieskoivuaineiston ulkopuolella. Tämä saattaa aiheuttaa harhaisia tuloksia erityisesti runsaasti hieskoivua käsittämissä metsiköissä.

Hieskoivujen pieni koko merkitsee huomattavaa tappiota metsikön tukkipuun tuotoksessa. Parhailla kasvupaikoilla sekametsikkö tuottaa noin 10 %, mutta karummilla kasvupaikoilla puulajisuhteista riippuen jopa 30 % vähemmän tukkipuuta kuin kuusikko.

Kuiva-ainetuotoksen katsotaan kuvaavan puuston kykyä käyttää hyväksi tarjolla olevia kasvutekijöitä. Runkopuun kuiva-ainetuotokseltaan kuusi-rauduskoivusekametsikkö on selvästi kuusikkoa parempi. Lievä 25 %:n rauduskoivusekoitus merkitsee noin 10 %:n ja runsaampi 50—70 %:n sekoitus noin 15 %:n lisäystä verrattuna puhtaan kuusikon runkopuun kuiva-ainetuotokseen. Myös kuusi-hieskoivusekametsiköt ylittävät niukasti kuusikon kuiva-ainetuotoksen. Kuusen puuaineen tiheydenä on laskelmissa käytetty 380 kg/m^3 ja koivun tiheydenä 483 kg/m^3 (Hakkila 1979, s. 23).



○ kuusi - spruce ● koivu - birch



Kuva 31. Esimerkki koemetsikön 52 puukartasta lähtötilanteessa sekä eri harvennusten jälkeen.
 Fig. 31. The map (tree coordinates) of study stand 52 during the simulation. An example.

Taulukko 16. Puulajisuhteiden (käsitteilyohjelman) vaikutus kuusi-koivusekametsän kasvuun, tukkipuun ja kuiva-aineen tuotokseen.

Table 16. The effect of tree species composition (thinning programme) on the total production of stemwood, sawtimber and dry weight in a mixed stand of Norway spruce and birch.

Vaihtoehto Alternative	Kokonaiskasvu Total yield		Tukkipuuta Saw-timber		Keskiläpimitta Mean diameter (D), cm		Kuiva- ainetta Dry weight
	m ³ /ha/a	%	m ³ /ha/a	%	Kuusi Spruce	Koivu Birch	
Kuusi-rauduskoivu — Norway spruce- <i>B. pendula</i>							
H ₁₀₀ = 30 (OMT), kiertoaika 80 a — Rotation 80 a							
Kuusikkona — Spruce stand	7,57	100	5,41	100	29,0	—	100
25 % koivua — Birch	7,92	104,7	5,90	109,2	29,7	34,9	110,7
50 % koivua — Birch	7,82	103,3	5,52	102,2	29,2	31,7	114,6
70 % koivua — Birch	7,84	103,7	5,48	101,4	28,6	29,4	117,4
Kuusi-hieskoivu — Norway spruce- <i>B. pubescens</i>							
H ₁₀₀ = 30 (OMT), kiertoaika 80 a — Rotation 80 a							
Kuusikkona — Spruce stand	7,52	100	5,52	100	29,3	—	100
25 % koivua — Birch	7,29	96,0	5,03	91,0	30,1	24,3	101,9
50 % koivua — Birch	7,45	99,0	5,01	90,7	29,9	24,0	108,3
Kuusi-rauduskoivu — Norway spruce- <i>B. pendula</i>							
H ₁₀₀ = 27 (MT), kiertoaika 85 a — Rotation 85 a							
Kuusikkona — Spruce stand	6,20	100	4,33	100	28,5	—	100
25 % koivua — Birch	6,43	103,7	4,59	105,9	28,4	30,2	109,8
50 % koivua — Birch	6,47	104,3	4,31	99,6	27,5	27,7	115,4
70 % koivua — Birch	6,46	104,3	4,12	95,0	27,9	25,4	117,5
Kuusi-hieskoivu — Norway spruce- <i>B. pubescens</i>							
H ₁₀₀ = 27 (MT), kiertoaika 85 a — Rotation 85 a							
Kuusikkona — Spruce stand	6,12	100	4,40	100	27,6	—	100
25 % koivua — Birch	5,92	96,7	3,93	89,2	28,3	21,4	101,4
50 % koivua — Birch	5,94	97,0	3,50	79,6	28,0	21,6	105,8
Kuusi-rauduskoivu — Norway spruce- <i>B. pendula</i>							
H ₁₀₀ = 24 (MT-, VT), kiertoaika 90 a — Rotation 90 a							
Kuusikkona — Spruce stand	4,72	100	2,96	100	26,6	—	100
25 % koivua — Birch	4,87	103,2	3,13	105,7	27,0	27,4	108,9
50 % koivua — Birch	4,81	101,8	2,79	94,3	26,4	24,7	111,4
70 % koivua — Birch	4,84	102,5	2,70	91,0	25,9	23,0	114,2
Kuusi-hieskoivu — Norway spruce- <i>B. pubescens</i>							
H ₁₀₀ = 24 (MT-, VT), kiertoaika 90 a — Rotation 90 a							
Kuusikkona — Spruce stand	4,60	100	2,86	100	25,2	—	100
25 % koivua — Birch	4,38	95,3	2,41	84,3	25,7	18,3	99,3
50 % koivua — Birch	4,33	94,3	2,04	71,4	25,1	18,4	101,2

75. Simulointien luotettavuus

Puukohtaisten simulointien luotettavuuden ensimmäinen testi on puiden summana saatavien metsikkötunnusten loogisuustarkastelu kiertoajan kuluessa. Liitetaulukoiden 1—6 luvut eivät osoita epäloogisuuksia puuston valtapituuden, keskiläpimitan, runkoluvun ja tilavuuden kehityksessä.

Taulukossa 17 on esitetty kuusi-rauduskoivusekametsikön kiertoajan kokonaiskasvu sekä puun että vertailua varten laadituilla metsikön kasvuyhtälöillä. Vertailu osoittaa, että myös metsikköyhtälöillä laskettu sekametsikön kasvu ylittää puhtaan kuusikon kasvun. Kasvunlisäys on hieman suurempi kuin puukohtaisissa laskelmissa.

Lähtöpuuston runkolukusarjan vaikutusta tuloksiin tutkittiin laskemalla edellä esitetyt simuloinnit metsiköstä 52 selvästi poikkeavalle koemetsikölle.

Koemetsikön 38 puusto poikkeaa varsinaisesta simulointiaineistosta siinä, että rauduskoivut ovat kuusta selvästi järeämpiä. Tämä merkitsee sekametsikön kasvua ajatellen epäedullista tilannetta. Pohjapinta-alaan perustuvia harvennuskäytöksiä käytettäessä sekametsikön runkoluku on tällöin huomattavasti alhaisempi kuin puhtaassa kuusikossa. Pieni runkoluku ja suuri järeys merkitsevät tavallisesti myös pientä kasvua.

Koemetsikön 38 puukohtaisten simulointien lähtöpuusto ja tulokset on esitetty taulukossa 18.

Myös koemetsikön 38 tulokset viittaavat siihen, ettei lievä rauduskoivusekoitus ainakaan vähennä kiertoajan kokonaiskasvua eikä tukkipuun tuotosta.

Mielenkiintoisen vertailukohdan antavat ruotsalaisten Ekön (Ekö ja Agestam 1981) ja Agestamin (1985) puulajeittaisiin metsikön kasvumalleihin (vrt. yhtälöt 57—60) perustuvat kasvun alustavat simuloinnit. Agestam on laatinut kasvuyhtälönsä puuntuotostutkimuksia varten kerätyn laajan mestikköaineiston pohjalta (Näslund 1971). Ekön koelat ovat peräisin Ruotsin valtakunnan metsien inventoinneista. Malleissa ei koivulajeja ole eroteltu.

Oheisessa asetelmassa tämän tutkimuksen tuloksia on verrattu mainittujen ruotsalaisten tutkijoiden esittämiin kasvulukuihin. Kuusen kasvupaikkaluokka H_{100} on 24 m (MT-). Tässä tutkimuksessa käytetty kiertoaika on 90 a, Agestamin 85 a ja Ekön keskimääräisen kasvun maksimia vastaava kiertoaika 95 a kuusikossa ja 113 a sekametsikössä.

	Kokonaiskasvu — <i>Total growth</i>		Sekametsikkö <i>Mixed stand</i>	
	<i>Spruce stand</i>		(50 % koivua- <i>birch</i>)	
	m ³ /ha/a	%	m ³ /ha/a	%
Tämä tutkimus <i>This material</i>	4,72	100	4,81	102
Agestam 1985	4,69	100	4,81	103
Ekö 1981		100		91

Tämän tutkimuksen tulokset vastaavat sekä absoluuttiselta että suhteelliselta tasoltaan Agestamin esittämiä kasvulukuja. Ekön mukaan sekametsikkö kasvaa 9 % puhdasta kuusikkoa heikommin. Tulosten vertailua vaikeuttaa paitsi erilainen kiertoaika myös aineistojen väliset erot. On mahdollista, että inventointityyppisessä (Ekö) aineistossa runsas koivusekoitus on merkinä hoitamatto-

Taulukko 17. Puuston tilavuuden ja pohjapinta-alan kokonaiskasvu puun ja metsikön kasvumalleilla.

Table 17. Total production of stem volume and basal area simulated using tree and stand models.

Vaihtoehto <i>Alternative</i>	Tilavuuskasvu <i>Volume growth</i>				Pohjapinta-alan kasvu <i>Basal area growth</i>			
	Puumallit <i>Tree models</i>		Metsikkö- mallit <i>Stand models</i>		Puumallit <i>Tree models</i>		Metsikkö- mallit <i>Stand models</i>	
	m ³ /ha/a	%	m ³ /ha/a	%	m ² /ha	%	m ² /ha	%
Kuusi-rauduskoivu — <i>Norway spruce-B. pendula</i>								
$H_{100} = 30$ (OMT), kiertoaika 80 a — <i>Rotation 80 a</i>								
Kuusikkona — <i>Spruce stand</i>	7,57	100	7,40	100	63,9	100	65,8	100
25 % koivua — <i>Birch</i>	7,92	104,7	7,87	106,4	65,9	103,1	69,3	105,3
50 % koivua — <i>Birch</i>	7,82	103,3	7,85	106,1	63,8	99,8	66,4	100,9

Taulukko 18. Puulajisuhteiden vaikutus kiertoajan kokonaiskasvuun ja tukkipuun tuotokseen vertailumetsikössä 38.

Table 18. The effect of tree species composition on the total production of stemwood and saw-timber in study stand 38.

Vaihtoehto Alternative	Pohja- pinta- alan kasvu Basal area	Tila- vuus kasvu Volume	Tukki- puun tuotos Saw- timber	Kiertoajan lopussa At the end of the rotation			
				N		D	
				Kuusi Spruce	Koivu Birch	Kuusi Spruce	Koivu Birch
Kuusikkona — Spruce stand	100	100	100	633	—	26,4	—
25 % koivua — Birch	100	101,5	104	487	65	26,4	40,0
50 % koivua — Birch	97,1	100,1	101,2	309	179	26,9	34,5

Simuloinnin alussa
At the beginning of the simulation
 $T_{1,3} = 25$ a
 $V = 133$ m³/ha
 $N = 1315$ kpl/ha

	Kuusi Spruce	Rauduskoivu B. pendula
\bar{D}	13,7 cm	17,6 cm
H_{dom}	13,3 m	16,5 m

muudesta, tai hieskoivun ollessa kyseessä, soistuneisuudesta. Tällaisesta aineistosta laadituilla kasvuyhtälöillä tuloksena on hoitettun sekametsikön kasvun aliarviointi.

76. Liiketaloudellisia laskelmia

Koemetsikölle 52 laskettiin kiertoajan alkuun diskontatut kantorahatulot simuloinnissa sovellettuja käsittelyvaihtoehtoja noudattaen. Hakkuussa poistettavan puuston kantoraha-arvon laskennassa kuusen hintana käytettiin Etelä-Suomen pitkän ajan keskihintoja. Näissä Metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomin tutkimusosastolta saaduissa tilastoissa tukin hinta perustui 22 ja lehtipuun hinta 11 v:n jakson tasoitukseen.

Koivun ja kuusen hintasuhde saatiin Aarnen ja Uusitalon (1983) tutkimuksesta. Kuusen ja koivun näin lasketut, vuoden 1983 rahatarvoista vastaavat kantohinnat olivat seuraavat:

	Tukki Saw timber mk/m ³	Kuitupu Pulpwood mk/m ³
Kuusi — Norway spruce	183	84,50
Koivu — Birch	205	68,00

Laskelmissa käytetyt diskonttoprosentit olivat 0 ja 4. Näistä ensiksi mainittu merkitsee sitä, ettei puuntuotantoon sidotulle pääomalle lasketa lainkaan korkoa. Toisin sanoen tulojen saamisen ajankohdalla ei ole merkitystä.

Tukkipuun hinnoissa ei käytetty rungon järeyteen perustuvaa hintaporrastusta. Myöskään minkäänlaista kantohinnan alennusta sekametsikön mahdollisesti korkeampien korjuukustannusten vuoksi ei tehty. Hintojen oletettiin pysyvän vakioina koko kiertoajan.

Taulukossa 19 on esitetty eri käsittelyvaihtoehtojen kiertoajan alkuun diskontatut kantorahatulot. Tulosten mukaan lievä (25 %) rauduskoivusekoitus on lisännyt hakuu- tulojen nykyarvoa noin 7—11 % kuusikkoon verrattuna. Korkokanta ei vaikuttanut olennaisesti lopputulokseen.

Runsas koivusekoitus on taulukon 19 mukaan selvästi edullisempi vaihtoehto kuin mitä tukkipuun tuotos (taul. 16) edellyttäisi. Syynä tähän on se, että pyrittäessä alkutilanteen lievästä koivusekoituksesta koivuvaltaiseen metsikköön, on harvennushakkuissa poistettu suhteellisesti arvokkaampaa kuusikuitupuuta. Tällöin puolestaan pätehakkuupuustossa on runsaammin arvokasta koivutukkaa. Tämä osa laskelmasta pitää

Taulukko 19. Puulajisuhteiden (käsittelyohjelman) vaikutus kiertoaajan hakkuutuloihin.

Table 19. The effect of tree species composition (thinning programme) on the total income in a mixed stand of Norway spruce and birch. Discount-% 0 and 4.

Vaihtoehto Alternative	Kuusi — rauduskoivu Norway spruce — <i>B. pendula</i>				Kuusi — hieskoivu Norway spruce — <i>B. pubescens</i>			
	0 %		4 %		0 %		4 %	
	mk	%	mk	%	mk	%	mk	%
H ₁₀₀ = 30 (OMT), kiertoaika 80 a — <i>Rotation 80 a</i>								
Kuusikkona — Spruce stand	93000	100	6940	100	93900	100	6740	100
25 % koivua — Birch	102200	109,9	7670	110,6	89700	95,5	6230	92,5
50 % koivua — Birch	100500	108,0	7360	106,1	92100	98,1	6740	100
H ₁₀₀ = 27 (MT), kiertoaika 85 a — <i>Rotation 85 a</i>								
Kuusikkona — Spruce stand	80200	100	4770	100	80400	100	4620	100
25 % koivua — Birch	86300	107,5	5230	109,6	75600	94,1	4350	94,0
50 % koivua — Birch	85400	106,4	5080	106,5	72800	90,6	4360	94,4
H ₁₀₀ = 24 (MT-, VT), kiertoaika 90 a — <i>Rotation 90 a</i>								
Kuusikkona — Spruce stand	61700	100	2860	100	60000	100	2610	100
25 % koivua — Birch	65700	106,6	3050	106,6	54200	90,4	2440	93,4
50 % koivua — Birch	62800	101,9	2890	101,0	50500	84,2	2340	89,7
Hinnat: tukkipuu Prices: saw-timber								
	kuusi	183	kuivu	205				
	Spruce		Birch					
kuitupuu pulpwood								
	kuusi	84,50	kuivu	68,00				
	Spruce		Birch					

paikkansa vain, jos kasvamaan jätettävät koivut ovat teknisesti hyvälaatuisia. On luonnollisesti helpompaa löytää metsiköstä lievää koivusekoitusta vastaava määrä hyvälaatuisia koivuja. Tästä syystä metsikön muuttaminen hakkuilla koivuvaltaiseksi ei käytännössä liene kovin perusteltua.

Lievä hieskoivusekoitus kuusikossa merkitsee laskelmien mukaan 6—7 %:n tulomenetystä kiertoaajan kuluessa. Tällöinkin kaikista puista oletetaan saatavan järeyytään vastaava määrä tukkipuuta. Tämä ei minimi-tukkirungon koon juuri saavuttaneiden lu-

kuisien hieskoivujen kohdalla pitäne paikkaansa. Rungas hieskoivusekoitus alentaa käytännössä tukkipuun tuotosta esitettyä enemmän.

Puu- ja puutavaralajien hintasuhteiden muuttuminen vaikuttaa sekametsikön optimikäsitteeseen. Koivukuitupuun suhteellisen hinnan lasku merkitsee koivun osuuden lisääntymistä. Samaan suuntaan vaikuttaa myös koivutukin hinnan kohoaminen. Kuusikuitupuun hinnan lasku samoin kuin kuusitukin hinnan nousu johtaa edellistä kuusivaltaisempaan pättehakkupuustoon.

8. MÄNTY-KOIVU JA KUUSI-KOIVUSEKAMETSIKÖIDEN VERTAILUA

Seuraavassa verrataan tämän tutkimuksen tuloksia aikaisemman mänty-koivututkimuksen (Mielikäinen 1980) tuloksiin.

Mänty ja koivu vaativat kuusta enemmän valoa. Tämän vuoksi mänty-koivusekametsikön kasvatus edellyttää huolellisuutta erityisesti nuorella iällä. Jomman kumman puulajin jälkeensä jääminen metsikön syntyvaiheessa saattaa aiheuttaa puulajin tuhoutumisen varjostukseen.

Kuusi menestyy mäntyä paremmin varjossa. Tämä mahdollistaa hallanaran kuusitaimikon kasvattamisen koivu- tai leppäverhopyöryllä. Verhopyöry poistetaan yleensä, kun kuusten pituus on ylittänyt ns. hallarajan.

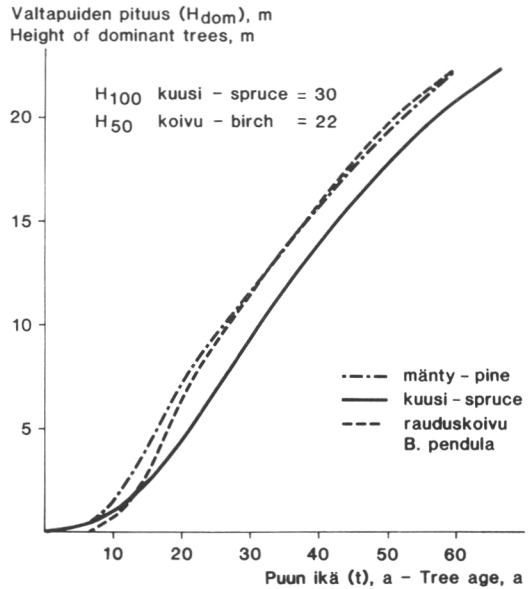
Puhdas kuusikko on männikköä pimeämpi ja kylmempi. Koivun merkitys metsikön lämpöolojen ja maan parantajana on näin ollen kuusikossa suurempi kuin männikössä.

Tämän tutkimuksen kuusi-koivusekametsiköt poikkeavat puuston rakenteeltaan alussa mainituista mänty-koivusekametsikoistä. Erot vaikuttavat myös tutkimusmenetelmiin. Tasaisten, yksijakoisten mänty-koivumetsiköiden tutkimustulokset perustuivat metsikön kasvumalleihin, kun taas tämän tutkimuksen tuotosluvut on laskettu kasvun puittaisella simuloinnilla.

Valtapuiden pituuskehityksessä ei ollut nähtävissä sekametsikkörakenteesta aiheutuvaa kasvueroa. Kasvupaikat luokiteltiin molemmissa tutkimuksissa käyttäen puhtaiden havumetsiköiden valtapituusboniteetteja.

Kuvassa 32 on esitetty mänty-, kuusi- ja koivunvaltapuiden pituuskehitys olettaen, että havupuulle on annettu rauduskoivuun nähden 7 v:n etumatka. Pituudessa aika vastaa noin yhtä metriä. Laskelman kasvupaikkaluokka on männyllä ja koivulla koivun $H_{50} = 22$ m ja kuusella tätä lähinnä vastaava $H_{100} = 30$ m.

Kuvan mukaan männylle riittää 1 m:n eli 7 v:n etumatka. Kuusen tarvitsema ikäero on parhailla kasvupaikoilla 12 v eli noin 1,5 m.



Kuva 32. Männyn, kuusen ja rauduskoivun valtapuiden pituuskehitys, kun havupuulle annetaan 7 vuoden etumatka.

Fig. 32. Dominant height development of Scots pine, Norway spruce and *B. pendula* if the conifers are 7 years older than birch.

Karummilla kasvupaikoilla vaadittu ero ei ole yhtä suuri. Rauduskoivu saavuttaa vielä mainitun etumatkan saaneet havupuut, mutta ei pääse niistä enää häiritsevästi edelle.

Runsas rauduskoivusekoitus heikentää kilpailullaan sekä männyn että kuusen kasvua. Myös koivun oma kasvu heikkenee rauduskoivun osuuden lisääntyessä. Hieskoivu ei heikennä havupuiden kasvua, kun vertailukohtaksi otetaan yhtä puustoisesta puusta havumetsikön puut.

Nuoren mustikkatyyppin mänty-rauduskoivusekametsikön kasvu on parhaimmillaan, kun molempia puulajeja on noin puolet puuston määrästä. Koivusekoitus varttuneessa männikössä merkitsee tilavuuskasvutappiota. Mänty-koivusekametsikön optimi-

käsittelyohjelma pelkän kasvun kannalta on näin ollen nuoren, runsaasti rauduskoivua käsittävän sekametsikön muuttaminen harvennushakkuuin vähitellen puhtaaksi männiköksi. Hyvä kokonaiskasvu saavutetaan vain nuoren koivun hyvän kasvun ansiosta, mikä puolestaan merkitsee runsasta pienikokoisen ja vähäarvoisen koivun tuottamista.

Kuusi-rauduskoivusekametsikössä koivun sijaan kasvaa vanhallakin iällä kuusta paremmin. Lievän koivusekoituksen säilyttäminen päätehakkuuseen tai viimeiseen harvennushakkuuseen saakka merkitsee kuusitukkia arvokkaamman vanerikoivun tuotta-

mista, mikä parantaa sekametsikön kasvatuksen taloudellista kannattavuutta.

Mänty-rauduskoivusekametsikkö tuottaa viljavalla kasvupaikalla 80 v:n kiertoajan kuluessa puuta saman verran tai hieman (+ 1—2 %) enemmän kuin puhdas männikkö. Tukkipuun tuotos on sekametsikössä noin 10 % alhaisempi kuin täystiheässä männikössä (Mielikäinen 1980).

Lievä rauduskoivusekoitus kuusikossa merkitsee tämän tutkimuksen mukaan 3—5 %:n lisäystä kiertoajan kokonaiskasvuun. Tukkipuun tuotos lisääntyy vastaavasti 6—9 %.



Kuva 33. Lievä rauduskoivusekoitus on kuusikossa sekä lyhyen että pitkän ajan puuntuotoksen kannalta suositeltavaa. Tämä koskee sekä tilavuuskasvua että tukkipuun tuotosta. Valokuva: Metsäkuva-arkisto

Fig. 33. A slight admixture of *B. pendula* in spruce stands is recommendable from the point of view of both short-term and long-term wood production. This holds true for both the volume growth and the production of saw-timber. Photo: Metsäkuva-arkisto

9. YHDISTELMÄ JA PÄÄTELMÄ

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään kuusen ja koivun kasvua sekametsikönä. Tutkittavina oli sekä raudus- että hieskoivua käsittäviä sekametsiköitä, jotka sijaitsivat Etelä- ja Keski-Suomen kivennäismailla. Metsikön kehityksen pitkän ajan simuloineilla pyrittiin selvittämään sitä, miten jo syntynyt kuusi-koivusekametsikkö tulisi käsitellä mahdollisimman korkean puuntuotoksen ja tuoton saavuttamiseksi. Puhtaina syntyneiden koivikoiden ja kuusikoiden tuotosvertailuun tutkimusaineisto ei anna mahdollisuutta. Myös tutkimusaineiston koko, kasvupaikat ja alueellinen jakauma on syytä ottaa huomioon arvioitaessa tulosten soveltamisaluetta.

Tilapäiskoealoihin perustuvat tulokset kuvaavat puulajien välitöntä vaikutusta toistensa kasvuun ja samalla myös koko metsikön kasvuun. Kun otetaan lisäksi huomioon lehtipuuston yleensä positiiviseksi oletettu vaikutus maaperään, voidaan todeta tässä esitettävien tulosten sekametsiköiden ”edullisuudesta” olevan varovaisia. Todisteita maan väsymisestä toisen ja kolmannen peräkkäisen kuusisukupolven aikana on saatu sekä Saksasta (Attenberger 1954) että Suomesta (Sirén 1955).

Sekametsiköiden ja puhtaiden metsiköiden tuotosvertailun suurimpia ongelmia on kasvupaikkojen luokittelu. Puulajien vaikutus metsikön aluskasvillisuuteen vaikeuttaa metsätyypin määrittystä. Myöskään puuston valtapituuden kehityksen ei katsota soveltuvan sekametsikköihin puiden pituuskasvussa ilmenevän ns. sekametsikkövaikutuksen vuoksi (Jonsson 1961).

Koemetsiköiden kaadettujen valtapuiden pituuskehityksessä ei ollut nähtävissä sekametsikkövaikutusta, sillä kehitys vastasi hyvin puhtaille kuusikoille ja koivikoille esitettyjä boniteetikäyriä. Sekametsikkörakenteen vaikutus puuston pituuskehitykseen on joka tapauksessa niin hidas, ettei se näy kaskeamisen jälkeen syntyneessä puusukupolvessa.

Kasvupaikkojen luokitus perustui tässä

tutkimuksessa puhtaiden kuusikoiden valtapituusboniteetteihin. Hitaan sekametsikkövaikutuksen mahdollinen esiintyminenkin valtapuiden pituuskehityksessä ei vaikuta sekametsikön käsittelyvaihtoehtojen vertaileviin tuloksiin.

Mitatut yksijaksoiset koemetsiköt olivat rinnankorkeudelta lähes tasaikäisiä. Koivut olivat koko aineiston keskiarvona rinnankorkeusältään vajaa 2 v kuusia vanhempia. Tulokset sopivat hyvin yhteen Björkdahlin (1983) perkauskoekoiden kanssa. Hänen mukaansa kuusen vaatima etumatka koivuun nähden on kasvupaikasta riippuen 1—2 m. Tällöin koivunvesat saavuttavat vielä kuusen pituuden, mutta eivät pääse siitä enää häiritsevästi edelle.

Yleensäkin näyttää siltä, että liian varhaisia kuusentaimiton perkauksia tulisi välttää. Varhaisesta perkauksesta on tuloksena tiheämpi vesakko ja entistä työlämpi uusi perkaus. Harvennettu, etukasvuihin kaan koivu ei vaikuta kuusen alkukehitykseen (Karlsson 1978, von Essen 1983), mutta estää aluskasvillisuuden ja vesakon villiintymisen. Samalla koivu itsekin tuottaa puuta.

Kuusen ja rauduskoivun pituus- ja paksuuskehityksen tarkastelu osoittaa koivun kasvavan kuusta paremmin sangen vanhalle iälle saakka. Tämä poikkeaa käsityksestä, jonka mukaan koivu on lyhytikäinen puulaji, jonka kasvu heikkenee nopeasti jo 50—60 v:n iällä. Syynä rauduskoivun kasvun säilymiseen on osittain sekametsikön puhdasta koivikkoa suurempi puuston tiheys. Toisten puulajien kilpailun takia koivu järeytyy sekametsikössä hitaammin ja säilyttää kasvukykyä kauemmin kuin puhtaassa koivikossa.

Luonteenomainen piirre sekametsiköissä on runsaan rauduskoivusekoituksen kielteinen vaikutus sekä kuusen että myös koivun itsensä kasvuun (ks. Mielikäinen 1980). Hieskoivu on kuuselle selvästi rauduskoivua helpompi kilpailija. Kuusi kasvaa näin ollen yhtä hyvin hieskoivujen kuin kuustenkin seassa.

Kuusi-koivusekametsikkö käyttää metsikön kasvutilan tehokkaasti hyväkseen. Puhtaaseen, lähes täystiheään koivikkoon mahtuu kuusta ilman, että koivujen latvukset tästä kärsivät. Samoin kuusi varjopuulajina menestyy myös hieman jälkeen jääneenä lisävaltapuuna. Näyttää siltä, ettei kuusi-koivusekametsikkö ole kasvatustiheydeltään kuusikon ja koivikon keskiarvo, vaan sekametsikköä voidaan kasvattaa vähintään yhtä tiheänä kuin kuusikkoa.

Kuusi-koivusekametsikön kiertoajan kokonaiskasvu, tukkipuun ja kuiva-aineen tuotosta sekä kantorahatulaja tutkittiin metsikön puukohtaisin simuloinein. Tulosten mukaan lievä rauduskoivusekoitus merkitsi kasvupaikasta riippuen 3—5 %:n lisäkasvu kiertoajan kuluessa verrattuna vaihtoehtoon, jossa kaikki koivu poistettiin jo ensimmäisissä harvennushakkuissa. Tukkipuun tuotos ja kantorahatulot olivat sekametsikössä 6—11 % korkeammat kuin puhtaassa kuusikossa.

Runkopuun kuiva-ainetuotos oli lievässä rauduskoivusekoituksessa 10 % ja selvästi koivuvaltaisessa sekametsässä 15—17 % korkeampi kuin muutettaessa sekametsikkö harvennushakkuin puhtaaksi kuusikoksi.

Hieskoivusekoitus kuusikossa merkitsee kasvutappiota. Kokonaiskasvutappio oli kiertoajan kuluessa 3—5 %, mutta tukkipuun tuotostappio 10—30 %. Hieskoivun suosiminen kuusen kustannuksella ei näytä näin ollen perustellulta.

Hieskoivun merkitystä arvioitaessa on muistettava, että joskus hieskoivu on vajaa-puustoisien kuusikon täydentäjänä ainoa vaihtoehto. Koska hieskoivu ei heikennä kilpailullaan kuusen kasvua yhtä paljon kuin

rauduskoivu, voidaan hieskoivutäydennystä pitää lähes ilmaisena lisäkasvuna. Maan kasvukunnon ylläpitäjänä koivun vaikutus on joka tapauksessa positiivinen.

Tämän tutkimuksen tuotosvertailuissa on oletettu, että sekä kuusesta että koivusta saadaan järeyttään vastaava määrä tukkipuuta. Tutkimusaineiston koivut olivat kuusia useammin mutkaisia, haaraisia tai lahoja. Tällöin on kuitenkin muistettava, että runsas koivusekoitus tutkimusaineiston varttu-neissa kuusikoissa merkitsee yleensä hoitamattomuutta. 25 %:n koivusekoitus puuston pohjapinta-alasta merkitsee tukkipuuvaiheessa 100—150 koivua/ha. Näin monen hyvälaatuisen rungon löytyminen toistuvien harvennuksin käsitellystä metsiköstä ei liene mahdotonta.

Saatuja tuloksia voidaan soveltaa verrattaessa puhtaan kuusikon ja kuusi-koivusekametsikön kasvuja toisiinsa. Verrattaessa sekametsikön kasvua puhtaan koivikon kasvuun on otettava huomioon noin 10 v:n aikasäästö, minkä koivun kuusta nopeampi pituuskasvu taimikkovaiheessa tuottaa. Vertailussa on myös muistettava koivun selvästi lyhyempi kiertoaika.

Kaiken kaikkiaan lievä rauduskoivusekoitus on kuusikossa sekä lyhyen että pitkän ajan puuntuotoksen kannalta edullista. Tämä koskee sekä tilavuuskasvu että myöskin tukkipuun tuotosta. Koivun salliminen sekapuuna havumetsikoissa on nykytilanteessa perusteltua myös vaneriteollisuuden raaka-ainetarpeen tyydyttämiseksi. Hieskoivusekoitus kuusikossa merkitsee kasvutappiota, mistä syystä hiestä kannattaa käyttää taimikon täydentäjänä, vain mikäli arvokkaampia ja tuottoisampia puulajeja ei ole tarjolla.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Aarne, M. & Uusitalo, M. 1983. Yksityisluontoisten metsien raakapuun kanto- ja hankintahinnat hakkuuvuoden 1982/83 alkupuoliskolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 88:1—3.
- Agestam, E. 1985. A growth simulator for mixed stands in Sweden and two examples of yield in birch-pine and birch-spruce mixed stands. Rapp. Instn. Skogssköttsel. Sveriges LantbrUniv. 14: 235—252.
- Andersson, B. 1982. Lövträdens inverkan på unga tallars överlevnad och tillväxt i Västerbottens kust- och inland. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 6:11—24.
- Attenberger, J. 1954. Mischwald in Vorland der Alpen. Beitrag zu Fragen des Bestockungsaufbaus und der Wuchsdynamik in Mischbeständen mit Buche-Tanne-Fichte im Bayerischen Wald. Forstwiss. Forsch. 3:1—71.
- Baule, B. 1917. Zu Mitscherlichs Gesetz der physiologischen Beziehungen. Landw. Jahrbuch 51:363—385.
- Björkdahl, G. 1983. Höjdtveckling hos stubbskott av vårt- och glasbjörk samt tall och gran efter mekanisk röjning. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. Stencil 18:1—54.
- Cajander, A.K. 1909. Ueber Waldtypen. Acta For. Fenn. 1(1):1—175.
- 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. Commun. Inst. For. Fenn. 19(5):1—59.
- Cuprov, N.P. 1976. Vozrasty spelosti i rubok bereznjakov. Lesnoe hozjajstvo 6:49—54.
- Ekö, P.-M. & Agestam, E. 1981. Prognoser baserade på provyteutveckling. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1—2:77—82.
- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway Spruce in Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 41:1—291.
- Eriksson, L. 1977. Simulation of stand development after cleaning. Research Notes No. 108, Dep. of Operational Efficiency, Royal College of Forestry, Sweden. 33 p.
- Essen, C. von 1983. Kan vi klara förväxande löv i ungskogen? Tidskr. Skogen 10:10—12.
- Folkesson, B. & Barring, U. 1982. Exempel på en riklig björkförekomst inverkan på utvecklingen av unga tall- och granbestånd i norra Sverige. Summary: Some Examples of the Influence of an Abundant Occurrence of Birch on the Development of Young Norway Spruce and Scots Pine Stands in North Sweden. Rapp. Uppsats. Avd. Skoglig Herbologi. Sveriges Lantbruksuniv. 1:1—64.
- Fries, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. Stud. For. Suec. 14:1—303.
- 1974. Björk och gran. Framtidsskogen — Skogsproduktionens mål och medel. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 33:30—46.
- Frivold, L.H. 1982. Bestandsstruktur og produksjon i blandingskog av bjørk (*Betula verrucosa* Ehrh., *B. pubescens* Ehrh.) og gran (*Picea abies* (L.) Karst.) i Sydøst-Norge. Summary: Stand structure and yield of mixed stands of birch and spruce in South East Norway. Norges Landbrukshøgsk. Instn. Skogskjøtsel. Vol 61, 18:1—108.
- Gustavsen, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvu-yhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. Folia For. 331:1—37.
- 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtipituuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. Folia For 454:1—31.
- & Mielikäinen, K. 1984. Talouskoivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtipituuden avulla. Summary: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia For. 597:1—20.
- Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stands in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys- ja kuivapainotaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 96(3):1—59.
- Hannelius, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability. Folia For. 359:1—51.
- Heikinheimo, O. 1941. Metsänistutusmenetelmistä. Referat: Versuche mit waldbaulichen Pflanzmethoden. Commun. Inst. For. Fenn. 29(4):1—63.
- Hoerl, A.E. & Kennard, R.W. 1970. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. Technometrics 12(1):55—67.
- Hägglund, B. 1981. Forecasting growth and yield in established forests. Sammanfattning: Prognoser över produktionen i etablerad skog. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstax. Sveriges Lantbrukshögsk. 31:1—145.
- Ilvessalo, Y. & M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotto-kyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144:1—101.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. 1983. Koelapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. Abstract: The selection of trees in thinning experiments: A computer method. Folia For 557:1—32.
- 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.
- Jonsson, B. 1961. Om barrblandskogens volymproduktion. Summary: Yield of mixed coniferous forests. Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. Band 50, 8:1—143.
- 1980. Funktioner för långsiktiga prognoser beträffande virkesförrådets storlek och sammansättning. Summary: Functions for long-term forecasting of the size and structure of timber yields. Rapp.

- Uppsats. Instn. biometri och skogsindelning. Sveriges Lantbrukshögsk. 7:1—121.
- Kallio, T. 1979. Kuusen tyvilaho ja männyn tyvitervas-tauti. Kansallis-Osake-Pankin Taloudellinen katsaus B 31. 40 s.
- Karlsson, L. 1978. Studie över lövvegetationens inverkan på granplanteringar i södra Sverige. Summary: A study of the influence of broad-leaved thicket on plantations of spruce in southern Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsförnygr. Skogshögsk. 102:1—54.
- Kilki, P. & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. 145:1—33.
- & Ojansuu, R. 1981. Pituusbonitoinnin ongelmia. Metsä ja Puu 3:26—28.
- & Varmola, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovellutuksia. Acta For. Fenn. 174:1—60.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotalukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51.8:1—49.
- 1960. Om tillväxtskillnader mellan vårt- och glasbjörk. Norrlands SkogsvFörb. Tidskr. 1:1—6.
- Kärkkäinen, M. 1980. Mäntytukkirunkojen laatuoluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun. Inst. For. Fenn. 96(5):1—152.
- 1982. Koivumyytti ja tiede. Metsänhoitaja 6:23—24.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuus-yhtälöt. Commun. Inst. For. Fenn. 108:1—74.
- Laiho, O. 1983. Kuusen luontaisesta uudistumisesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 94:32—41.
- Langhammer, A. 1971. Noen glimt fra blandingskogen. Tidsskr. Skogbr. 79(3):302—314.
- Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltriger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Seloste: Tutkimuksia tasaikäisen mänty-koivusekametsikön kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 15:1—241.
- Leikola, M. & Rikala, R. 1983. Verhoppuusto ja sen käyttö. Metsä ja Puu 4:4—6.
- Lemon, P.E. & Schumacher, F.X. 1962. Volume and diameter growth of Ponderosa pine as influenced by site index, density, age and size. For. Sci. 9: 236—249.
- Mezibovskij, A.M., Voronkova, A.B., Zuravleva, M.B. & Velikotnyj, A.A. 1977. Izmenenik nekotorych ekologiceskih svojestu eli v zavisimosti ot sostava nasazdenij. Lesovedenie 1:9—18.
- 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.
- Mitchell, K.J., Oswald, H. & Ottorini, J.M. 1983. Modelling the growth of Douglas Fir in France. Mitt. Forstl. VersAnst. Wien. 147:25—39.
- Munro, D. 1974. Forest growth models — a prognosis. IUFRO Working party S4.01-4. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 30:7—21.
- Newnham, R.M. 1964. The development of a stand model for Douglas fir. Thesis for the Ph. D. degree. University of British Columbia. Vancouver 8, B.C. 201 p.
- Nyysönen, A. 1950. Vertailevia havaintoja hoidettujen ja luonnontilaisten männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: Comparative observations on the structure and development of tended and natural pine stands. Silva Fenn. 68:1—48.
- 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60(4):1—194.
- Näslund, M. 1971. Nytt material för skoglig produktionsforskning. Stud. For. Suec. 89:1—124.
- Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoiviköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for silver birch (*Betula pendula* Roth.) plantations in southern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 113:1—75.
- Pukkala, T. 1981. Nuoren viljelysekametsikön kehitys. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Konekirjoite. 88 s.
- Raulo, J. 1981. Koivukirja. Gummerus. Jyväskylä. 130 s.
- Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoiviköiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern Central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2): 1—59.
- Sepponen, P., Lähde, E & Roiko-Jokela, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relationship between the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. Folia For. 402:1—31.
- Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta For. Fenn. 62:1—408.
- Sloboda, B. 1976. Die Beschreibung der Dynamik der Schaftformfortpflanzung mit Hilfe der Ähnlichkeits-differentialgleichung und der Affinität. Mitt. Forst. VersAnst. Wien. 120:53—60.
- Söderberg, U. 1981. Produktionsprognoser grundade på enskilda trädets tillväxt. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1—2:73—76.
- Tapion Taskukirja 1983. KML Tapion julk. 19. uusittu painos. Helsinki. 597 s.
- Thammincha, S. 1981. Climatic variation in radial growth of Scots pine and Norway spruce and its importance in growth estimation. Seloste: Männyn ja kuusen sädekasvun ilmastollinen vaihtelu ja sen merkitys kasvun arvioinnissa. Acta For. Fenn. 171:1—57.
- Tiihonen, P. 1967. Pituuskasvun arvioimisesta. Referat: Über der Abschätzung des Höhenzuwachses. Metsätal. Aikakausi. 5—6:190—191.
- 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. Folia For. 545:1—8.
- Tveite, B. 1967. Sambandet mellom grunnflateveid middelhøyde (HL) og noen andre bestandshøyder i gran- og furuskog. Summary: The relationship between mean height by Lorey's formula (HL) and some other stand heights in pine and spruce stands. Medd. Norske Skogforsk. 22:539—574.

- Walfridsson, E. 1976. Lövetts konkurrens i barrkulturen. *Skogen* 15:631—633.
- Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the development of managed spruce stands in southern Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 48(1):1—138.
- 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Seloste: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. *Commun. Inst. For. Fenn.* 60(4):1—86.
- 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. *Folia For.* 247:1—24.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 99(2):1—271.
- 1983. Viljelymetsiköiden harvennusmallit. Summary: Thinning models for forest cultures in Finland. *Folia For.* 556:1—15.
- Wykoff, W.R., Crookston, N.L. & Stage, A.R. 1982. User's GUIDE to the Stand Prognosis Model. Gen. Tech. Rep. INT-133. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. 112 p.

Total of 73 references

SUMMARY

Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands

1. INTRODUCTION

Attitudes towards the mixed birch and conifer stands are to some extent determined by the market conditions for hardwoods. However, the general attitude towards mixed stands among foresters at the present time is fairly positive.

A typical feature of forests in Finland is a spruce undergrowth. Spruce as a species tolerant to shade easily regenerates naturally in thinned birch stands, but the development potential of the spruce undergrowth varies a lot, and its proper management is problematic for the forest owner.

Jonsson (1961), Fries (1974) and Frivold (1982) have extensively studied the growth of mixed spruce/birch stands in the Nordic Countries. They have all come to the same conclusion — namely that, under certain conditions, the growth of mixed stands is viable from the point of view of wood production.

The studies carried out up to now have mainly concentrated on the effect of an admixture of hardwood on the development of the coniferous component of the stand, and in most cases only on the height development of individual coniferous trees. The aim of this study is to examine the direct effect of spruce and birch on each other, and on the growth and yield of the stand. The following features have been investigated:

1. The height growth rhythm of the individual tree species according to age.
How much of a start does spruce require if the end result is to be an approximately single-storied stand?
2. The direct effect of the individual tree species on each other.
Does the proportion of different tree species in the stand have any effect on the growth, health and technical quality of the individual tree species?
3. The combined growth of the individual tree species.
How do spruce/birch mixed stands of varying composition grow during different age phases?
4. The management of mixed stands.
How should mixed stands be managed in order to achieve as high a total production as possible?

2. METHODS

21. Principles of the method

It is more difficult to study the growth and management programme for a mixed stand than for a

pure one. In addition to the timing and intensity of cuttings, the manager of a mixed stand also has to take into account the multi-storied and uneven-aged nature of the stand and the species composition, as well as changes taking place in these properties. The sort of thinnings which have to be carried out are not stereotyped, since they may possess features characteristic of both thinning from below and above.

Since no permanent experiments were available, data from temporary sample plots had to be used in the study, which has been restricted to mixed spruce/birch stands as single-storied as possible. Stem analyses have been used to provide information about the history of the stand.

22. Simulation of stand growth

Prediction of the long-term growth of a stand can be based on growth models for either the whole stand or the individual trees. Stand models have been more popular owing to the fact that they are easier to use (Eriksson 1976, Saramäki 1977, Mielikäinen 1980, Vuokila and Väliho 1980). Estimation of growth on the basis of the stand models is best suited to even, single-story stands.

Prediction of stand growth by tree models has become more common as the computation techniques have been improved (Lemon and Schumacher 1962, Newnham 1964, Vuokila 1965, Eriksson 1977).

The mean parameters of the stand, such as age, mean diameter and mean height, do not very well describe the characteristics of a multi-story mixed stand comprising birch and spruce. Therefore, the main results of this study are based on the tree-wise simulation of stand growth. Eriksson (1976) has also noted that tree growth models are better suited to the prediction of the growth of mixed stands than stand models.

Stand growth equations were also developed from the material. However, their use is mainly restricted to the comparison of growth during short periods, and to the tests of the tree-wise simulations (cf. Vuokila 1965).

3. THE MATERIAL AND ITS PRELIMINARY TREATMENT

31. The material

The material comprises temporary sample plots containing Norway spruce and *Betula pendula* (37

stands) or Norway spruce and *B. pubescens* (28). The results presented here refer to naturally-regenerated mixed stands growing on mineral soils in southern and central Finland (60–63° N).

The study stands grow on fertile sites. Most of the stands are 20 to 80 years old and the volume of the growing stock varies between 150–300 m³/ha (Table 1, p. 13). The proportion of birch in most of the stands is 20–60 %. The collection of a test material comprising pure spruce and pure birch stands was not considered necessary since a comparison based on such a material would not be more reliable than that based on the existing yield tables.

32. Determination of site quality

Site classification based on the dominant height and age of a stand is not generally considered applicable to mixed stands (Jonsson 1961, Hägglund 1981, Frivold 1982). The reason for this is the assumed effect of the tree species on each other and on the soil.

The height development of felled sample trees compared with Gustavsen's (1980) site index curves is given in Fig. 3 (p. 15). The height development of spruce in a mixed stand seems to correspond to that of a pure spruce stand.

The absence of the instant mixed stand effect enables the use of the site index of pure spruce stands in the site classification of single-storied spruce/birch in the stands. In this respect the results correspond to those earlier reported by the author (Mielikäinen 1980) for pine/birch mixed stands.

The correspondence between the site indices of spruce and *B. pendula* is shown in Fig. 4 (p. 16). The classes are based on a biological age of 100 years for spruce and 50 years for birch. A site class of H_{100} for spruce is reached by adding 7–8 m to site class H_{50} for *B. pendula*, and 10 m to site class H_{50} for *B. pubescens*.

4. THE STRUCTURE OF SPRUCE/BIRCH MIXED STANDS

41. The age differences between the tree species

The single-storied spruce/birch mixed stands are almost even-aged when measured at breast height. The birches in the mixed stands were, on the average, 1.6 years older than the spruces at breast height.

The situation changes if the total age of the trees is examined. The different initial development of the different tree species (see Table 4, p. 19) means that the spruces are biologically 5–6 years (0.5 m) older than the birches.

42. Stand density

It can be seen from Fig. 6 (p. 20) that the stands are rather well stocked. According to the present thinning guides for pure spruce stands, about 30 % of the sample stands are in need of thinning. In addition to the subjective location of the sample plots, another reason for the high level of stocking is the fact that the mixed

stands are to some extent multi-storied, which permits a higher density than is possible in a single-storied stand.

43. Height and diameter characteristics

The dominant heights of spruce and birch are presented in Fig. 7 (p. 21) as a function of age. The figures are based on Eqs. 7–9 (p. 20).

The difference between the dominant heights of *B. pendula* and *P. abies* in the mixed stands is at its greatest at a breast-height age of 40 years; the difference is then 2 m. The difference decreases when the stand gets older. The dominant height of *B. pubescens* starts to lag behind that of spruce starting at an age of about 40 years.

The development of the dominant height to *B. pendula* plantations as presented by Oikarinen (1983) has been drawn in Fig. 7 (p. 21) for comparison. The dominant height of a birch plantation is about 4–5 m higher at a breast height age of 30–40 years than that of birches growing in a mixed natural stand. Such a large difference is due to both genetical and site quality differences.

The mean diameters of the individual tree species in the mixed stands are plotted as a function of stand age in Fig. 10 (p. 23). Thinnings have a considerably greater effect on the mean diameter of the stand than on the dominant height.

44. Quantity of saw-timber

An admixture of *B. pubescens* reduces the production of saw-timber in the spruce stand (Fig. 12). *B. pendula*, on the other hand, does not have a similar negative effect. The reduction in saw-timber production due to poor technical quality has been estimated for all of the trees measured in the study. The results thus correspond to the actual proportions of saw-timber in the mixed stands.

45. The health and quality of the trees

Due to the subjective selection of the stands the results concerning the health and technical quality of the growing stock may give a picture of the mixed stands more favourable than the actual one.

According to Table 5 (p. 27), the birches are healthier than the spruce trees. The most common defect in the spruces was a damaged crown. One reason for the damage was overdensity. The basal-area of the stands with damaged spruce crowns was over 30 m²/ha, i.e. the stands were in need of thinning.

The results show that birch is more often affected by rot than spruce. However, it should be remembered when interpreting these data that rot has been estimated ocularly, apart from taking increment cores from the sample trees.

The situation changes when the technical quality of the stems is examined. Only 2/3 of the birches were technically perfect, the corresponding value for the spruces exceeding 92 %. However, these figures should not be interpreted to mean that 1/3 of the production of the birch veneer logs will be lost owing to their poor technical quality. Poor-quality trees can be removed in young stands already during earlier thinnings.

5. GROWTH MODELS

51. Tree models

511. General

The height growth (m/5 a) and the growth in the cross-sectional area (cm²/5 a), measured at breast height, for the next five-year period has been used as the dependent variables in the tree growth models. The growth figures include bark, and the independent variables indicate values at the beginning of the calculation period.

The growth functions are multiplicative (cf. Jonsson 1980, Hägglund 1981). Natural logarithms were taken of both sides of the equations, thus making it possible to solve them by means of linear regression analysis.

The growth of the mixed stands was simulated in this study using individual tree models. The effects of changes in the tree age, the tree size, the volume of the growing stock, the site and the tree species composition on the growth of the stand are examined in the calculations.

The correlation between the independent variables, i.e. the multicollinearity, produces problems when the equations are used for analysing the main effects. Hoerl and Kennard (1970) proposed that this problem could be avoided by using a technique called ridge regression. Manipulation of the model using this method results in the reduction of the standard error of the coefficients of the independent variables, but also in a biased model.

In addition to ordinary growth equations, ridge regression models, used for the long-term simulation of the stand development, were prepared for analysing the effects of growth factors.

512. Tree growth models

Equations were prepared for the basal-area growth with bark on the basis of the bored standing sample trees. The growth of spruce was examined separately in mixed stands containing *B. pendula* and *B. pubescens*. The spruce growth equations were based on the growth calculated from increment cores of 503 trees growing in the *B. pendula* mixed stands and 386 trees in the *B. pubescens* mixed stands. The size of the *B. pendula* mixed stand material was 474 trees and the *B. pubescens* material 375 trees (Table 7, p. 32).

Height growth equations were calculated for each tree species on the basis of the sample trees felled in the sample stands. The height development of each tree was first divided into 5-year periods using the increment core data. Each period was treated as a separate observation. The spruce equations are based on 426 observations, the *B. pendula* equations on 268 observations, and the *B. pubescens* equations on 157 observations.

The fact that the variables depicting the competition between the trees were missing from the height growth models based on stem analyses, made it difficult to use them in simulating the stand growth. According to the models, the height growth of a tree of a certain age and size is independent of whether the tree is a dominating or an undergrowth individual. This conflicts with what is known about the distribution of trees into different crown layers.

Height growth equations were also prepared for spruce on the basis of measurements made on the standing sample trees using binoculars. These equations

were more suitable than the above ones for the simulation of the height growth of individual trees. The standing sample tree material comprises trees in both the dominated and dominant crown layers. The relative size of the tree (h/H_{dom}) is also an independent variable in the equations.

A considerable overestimate came to light when the equations based on binocular measurements were tested for the prediction of long-term growth (Fig. 16). The overestimate within the age range of 30–100 years was about 30 %.

Correction coefficients (Eq. 56) were calculated on the basis of the stem analyses in order to correct the systematic error. The coefficients varied, depending on the site and the tree height, between 0.6–1.0.

52. The stand growth equations

Stand basal-area and volume growth equations were prepared on the basis of measurements made in 37 spruce/*B. pendula* and 28 spruce/*B. pubescens* mixed stands. Owing to the small size of the material, the equations were primarily intended for testing the tree-wise simulations.

The growth equations for the mixed stands, which give the combined growth of the tree species as a function of stand age, growing stock and tree species composition, are more complicated to develop than the equations for pure stands. For instance the point of maximum growth falls, owing to the different growth rhythms of the tree species, at different tree species compositions in young and in mature stands, and the equations should also give reliable results for pure stands (*B.*-% 0 or 100).

The growth models were developed separately for each tree species. The growth of a mixed stand is calculated using equations for the individual tree species, the growth values which are obtained being weighted by the tree species composition of the stand.

6. EXAMINATION OF THE GROWTH EQUATIONS

61. The tree growth equations

Examination of the growth equations shows that the increasing proportion of *B. pendula* decreases the diameter growth of spruce, and especially of *B. pendula* itself. The direct effect of birch on the growth of spruce appears to have a natural explanation. *B. pendula* is an overwhelming competitor of spruce for water, nutrients and growing space, especially during the early year.

The weakening of the growth of *B. pendula* as its proportion is increased, is also explained by the increase in competition. The same phenomenon was also to be seen in pine/birch mixed stands (Mielikäinen 1980), and in planted spruce/birch mixed stands (Pukkala 1981).

According to the material measured in this study, *B. pubescens* does not affect the diameter growth of spruce. On the contrary, spruce weakens the growth of *B. pubescens* through competition.

The relative growth in the cross-sectional area of the individual tree species has been plotted in Fig. 20 (p. 43)

as a function of the proportion of birch. The growth corresponding to the mean value for the material, $B\% = 40$, is denoted by 100. The figure does not show the growth relationships between the different species, but only the relative effect of birch on the diameter growth of each tree species.

The height growth values for the trees have been calculated using the equations based on both felled and standing sample trees. According to the results, the maximum annual height growth is reached at a height of 5–7 m in spruce, 4–5 m in *B. pendula*, and 3–4 m in *B. pubescens* (Table 9, Figs. 21 and 22).

However, it should be borne in mind when examining the values in Fig. 21 (p. 44) that the heights of the tree species do not correspond to each other in mixed stands, owing to the differences in the growth rhythms. At the beginning, a tree species which is lagging behind but which is only just approaching its maximum growth phase, may grow at a particular instant clearly better than a tree species which has already passed its maximum growth phase.

The values given in Fig. 23 (p. 45), which are based on felled sample trees, show that the height growth of *B. pendula* growing in an even-aged (at breast height) mixed stand is better than that of spruce, except on the less fertile sites. The material on which the equations are based is small, especially as regards trees older than 60 years growing on the best sites. Accurate comparison of the height development of the tree species at a mature age is uncertain on the basis of Fig. 23.

The height development calculated on the basis of the dominant spruce trees corresponds to the site index curves for pure spruce stands presented by Gustavsen (1980). There are no visible height growth differences between the ages of 20–90 years, arising from the structure of the mixed stands.

The relative size of the stem has a decisive effect on the height growth of spruce (Table 10 and Fig. 25). The results are based on growth measurements made on standing sample trees (Eq. 55), and the growth level has been corrected using coefficients based on stem analyses.

The poorer height growth of the dominated trees in comparison to the dominant ones means that the absolute height differences between trees in different crown layers continue to increase as the stand gets older (cf. Nyssönen 1950).

62. The stand growth equations

The effect of the tree species composition on stand growth is dependent on whether the basal-area or the volume increment of the stand is examined. The annual basal-area increment of the stand is at its greatest when the proportion of *B. pendula* is about 10 % in lightly-stocked mixed stands, and 20 % in densely-stocked mixed stands. The results show that spruce suffers more than *B. pendula* from increased competition in heavily-stocked stands.

The maximum annual volume increment is reached at a considerably higher proportion of *B. pendula*, especially in young stands (Fig. 26). The optimum species composition is dependent, in addition to age, also on the volume of the growing stock. The optimum tree species compositions corresponding to the stand volume of managed spruce stands (Vuokila 1983) have been marked with rings in Fig. 27 (p. 48). The proportions vary, depending on age, between 20–30 %.

63. Reliability of the growth equations

Examination of the residual variation of the growth equations did not reveal any bias with respect to any of the variables. Thus the models give, on the average, correct results in their own material.

The stand growth equations have been tested by comparing their results with the growth values for pure spruce and birch stands. The results of the comparison are presented in Tables 11 and 12.

No separate material was available for testing the tree growth equations. The tree models were tested in conjunction with the stand simulation by comparing the results to those given by the stand models. Logicality examination of the stand parameters, such as stem number and stem size in the simulated stand, at the end of the rotation period gave a picture of the usability of the equations. The results from these two models revealed no marked differences.

7. WOOD PRODUCTION CAPACITY OF SPRUCE/BIRCH MIXED STANDS

71. Calculation technique

The main results of this study are based on the tree-wise simulation of stand growth. A computer programme was prepared for the growth prediction of the stand. The diameter and height increment of each tree was calculated on the basis of the input tree and stand data.

The growth during a five-year period was added to the height and breast height diameter of each tree in each simulation round, and the volume of the stand determined. If the basal area of stand exceeded the thinning limit, the thinning was executed.

The programme developed by Isomäki and Niemistö (1983) was used in choosing the trees to be removed in thinnings. The order in which the trees were removed was determined on the basis of the coefficients calculated with respect to the desired tree parameters and the overlapping of the growing space of the trees. An example of the thinning schedule during the rotation period is presented in Fig. 31 (p. 56).

72. The initial tree stand

The tree stand in spruce/birch mixed stands is so variable that the presentation of a typical stem distribution series of a mixed stand is almost impossible. For this reason, the results of only a few example stands is presented here. The extent to which the results are generally applicable was tested using stand growth models, as well as by simulating the development of stands which differed as much as possible from the actual simulation stands.

Stand 52 was used with small changes as the initial tree stand for the simulation of spruce mixed stands comprising both *B. pendula* and *B. pubescens* on different site types (Table 14).

73. The management alternatives

The alternative treatments for the young mixed stand were as follows:

1. Pure spruce stand (100—0). Birch is removed as soon as possible in thinnings, and the spruce stand is grown to the end of the rotation period.
2. A slight admixture of birch (75—25). The stand is treated in such a way that the stand contains about 25 % birch right through the rotation period.
3. Mixed stand (50—50). The proportions of birch and spruce are kept as far as possible at 50 %.
4. A birch-dominated stand (30—70). The proportion of birch is increased, as spruce is gradually removed, to 70 %.

According to the thinning models (see Fig. 30, p. 55) applied in the calculations, 3—4 thinnings should be carried out, depending on the site, when using a rotation period of 80—90 years. An example of the tree-wise simulation of stand development is presented in Table 15 (p. 54). A tree map of the same simulation stand at the beginning and after each thinning is presented in Fig. 31 (p. 56).

The calculations covering the whole rotation period were done for the above mentioned four management programmes, three site classes and for spruce/B. pendula and spruce/B. pubescens mixed stands separately. Thus there are 24 different alternatives.

74. Total growth during the rotation period

The results of the simulation calculations are presented in Table 16 (p. 57) and Appendix 1—6.

A slight admixture of *B. pendula* resulted, depending on the site type, in an additional volume increment of 3—5 % during the rotation period in comparison to that of a pure spruce stand. The increase in saw-timber production was 6—9 %.

A larger admixture of *B. pendula*, e.g. 50—70 %, also increased the total growth by 3—5 %, but reduced the production of saw-timber especially on the less fertile sites.

The alternative in which *B. pendula* was removed at an age of 50 or 65 years was also examined in the calculations. Retaining a slight admixture of birch up until final cutting was, however, the best alternative from the point of view of wood production.

An admixture of *B. pubescens* always results in growth losses in comparison to pure spruce stands. According to the calculations, the growth loss was not higher than 6 %. This is partly due to the high growth of small-sized *B. pubescens* trees.

The small size of *B. pubescens* trees means a considerable production loss of saw-timber. On the best sites a mixed stand produced 10 % less saw-timber than a pure spruce stand, while on the poorer sites the loss was, depending on the species composition, as much as 30 %. The dry-matter production levels of both spruce/*B. pendula* and spruce/*B. pubescens* mixed stands exceeded the production of spruce stands.

75. The reliability of the results

The reliability of the calculations has been tested by comparing the results to those obtained using the stand models. The stand growth models also indicated that the spruce/*B. pendula* mixed stands produced more than spruce stands (Table 17, p. 58).

The effect of the diameter distribution of the initial tree stand on the results was studied by making simulations for stands which differed considerably from the actual simulation stands. The results (Table 18) of this simulation also indicate that a slight admixture of *B. pendula* does not at least reduce the total production, nor the production of saw-timber, during the rotation period.

The simulations based on the stand models of Ageštam (1985) and Ekö (Ekö and Ageštam 1981) represent an interesting reference. The rotation periods used in the site class $H_{100} = 24$ are 90 years in this study, 85 years in Ageštam's and 95 years in Ekö's spruce stands, and 113 years in the mixed stands.

Both the absolute and relative level of the results correspond to those presented by Ageštam. According to Ekö, the growth of a mixed stand is 9 % poorer than that of a spruce stand within the rotation period. Comparison of the results is made difficult, on addition to the different length of the rotation periods, by the differences between the materials. It is possible that the high admixture of birch in the inventory material (Ekö) is a sign of poor silviculture or in the case of *B. pubescens*, of paludification. As a result, the growth equations prepared from such a material give an underestimate for the growth of the mixed stand.

76. Economic aspects

The discounted cutting incomes at the beginning of the rotation period are presented for stand 52 in Table 19 (p. 60). The discount rates used in the calculation are 0 and 4 %. The former percentage means that the time when the income is received is of no importance.

According to the results, a slight admixture of *B. pendula* has given an increased cutting income of 7—11 % in comparison to a pure spruce stand. A larger admixture of birch is a more favourable alternative than would be supposed on the basis of the saw-timber production (Table 16). The reason for this is that in the thinnings given by the calculations, relatively more valuable spruce pulpwood is removed, and in the final cutting valuable birch saw-timber. The results are only valid if all the birches left to grow are of good technical quality.

An admixture of *B. pubescens* in a spruce stand means, according to the table, a loss of 6—7 % in income during the rotation period. The losses may however be larger due to the poor quality of the *B. pubescens* veneer logs. A large admixture of *B. pubescens* in practice reduces the monetary income more than that presented here.

8. COMPARISON OF PINE/BIRCH AND SPRUCE/BIRCH MIXED STANDS

Norway spruce, Scots pine and birch differ from each other as regards many of their site requirements. This means that they have different types of growth pattern, and that growing these species in the forest requires different measures. The following comparison is done on the basis of the results of an earlier study carried out by the author (Mielikäinen 1980).

The height development of pine, spruce and birch dominant trees is presented in Fig. 32 (p. 61), the

conifers being given a start of 7 years compared to *Betula pendula*. According to the figure, a start of 7 years is sufficient for pine, but spruce requires about 12 years.

A large admixture of *B. pendula* weakens, as a result of competition, the growth of both pine, spruce and birch itself. *B. pubescens* is considerably less trouble in this respect.

The annual volume growth of young pine/*B. pendula* mixed stands is at its best when the two species are present in approximately equal proportions. An admixture of birch in an old stand results in a growth

loss. The optimum management programme for a pine/birch mixed stand is, from the point of view of growth alone, the gradual conversion, through thinnings, of a young mixed stand containing a high proportion of *B. pendula* into a pure pine stand (cf. Fig. 28, p. 48).

Birch grows better than spruce in a spruce/*B. pendula* mixed stand, even when old. Retaining a slight admixture of birch right up until final cutting or the final thinning cutting gives a yield of valuable veneer logs. This improves the economical profitability of growing mixed stands.

MIELIKÄINEN, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 133: 1—79.

Liite 1. — App. 1. Metsiköiden käsittelyohjelmat — *Alternative thinning programmes.*KUUSI — RAUDUSKOIVU, $H_{100} = 30$ (OMT) — NORWAY SPRUCE — BETULA PENDULA

Käsittelyohjelma — <i>Thinning programme</i> Ika, v (T) — <i>Age, y</i>	I Harvennus — <i>Thinning</i>			II Harvennus — <i>Thinning</i>			III Harvennus — <i>Thinning</i>			IV Harvennus — <i>Thinning</i>			Päätähakkuu — <i>Final cut</i>				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Voimakkuus, % pohjapinta-alasta <i>Thinning, % of basal area</i>	39	39	39	1373	1387	905	849	891	906	679	622	651	693	495	453	467	510
Runkoluku harvennuksen jälkeen <i>Stem number after thinning</i>	1372	1245	1373	1387	1387	905	849	891	906	679	622	651	693	495	453	467	510
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	1330	962	736	722	722	905	665	481	354	679	495	340	198	495	368	241	170
— koivu — <i>B. pendula</i>	42	283	637	665	665	—	184	410	552	—	127	311	495	—	85	226	340
Poistuma — <i>Removal, m³/ha</i>	54,0	52,3	53,4	53,8	51,9	50,9	51,8	49,5	45,1	54,5	45,2	51,1	83,4	90,4	84,9	85,6	370,8
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	14,1	30,6	51,4	52,5	45,8	32,1	27,2	39,4	45,1	33,4	17,6	35,1	83,4	62,4	42,0	15,0	370,8
— koivu — <i>B. pendula</i>	39,9	21,7	2,0	1,3	6,1	18,8	25,6	10,1	—	21,1	27,6	16,0	—	28,0	42,9	70,6	—
Tukkipoistuma — <i>Saw timber, m³/ha</i>	—	—	1,8	1,8	6,5	9,7	4,1	5,2	20,2	30,2	14,5	25,2	68,5	76,8	66,8	64,0	337,4
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	—	—	1,8	1,8	5,2	4,3	2,2	5,2	20,2	13,9	—	17,0	68,5	52,3	33,6	12,9	337,4
— koivu — <i>B. pendula</i>	—	—	—	—	1,3	5,4	1,9	—	16,3	14,5	8,2	—	24,5	33,2	51,1	—	88,2
Valtapietus ennen harvennusta (H_{dom}), m <i>Dominant height before thinning</i>	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	15,7	15,7	15,5	15,5	18,9	18,9	18,9	18,8	23,1	22,9	22,7	26,4
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	—	16,0	16,1	16,1	—	19,7	19,7	19,7	—	24,1	24,1	—
— koivu — <i>B. pendula</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Keskiläpimitta ennen hakkuuta (\bar{D}), cm <i>Mean diameter before thinning</i>	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	17,0	17,5	16,7	16,7	20,8	21,3	20,3	20,6	25,3	25,9	25,2	29,0
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	16,4	18,6	17,3	17,1	—	23,1	21,7	20,9	—	29,1	26,8	25,1
— koivu — <i>B. pendula</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Koivun osuus pohjapinta-alasta (B-%), % <i>Proportion of birch, %</i>	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	3,3	26,7	48,9	50,1	—	25,7	50,4	61,8	—	25,0	50,5	71,0

Käsittelyohjelma — *Thinning programme*1 = Koivu pois — *Pure spruce stand*2 = Kuusi — *Spruce 75 %*3 = Kuusi — *Spruce 50 %*4 = Kuusi — *Spruce 30 %*— Koivu — *Birch 25 %*— Koivu — *Birch 50 %*— Koivu — *Birch 70 %*

Liite 2. — App. 2. Metsiköiden käsittelyohjelmat — *Alternative thinning programmes.*
 KUUSI — HIESKOIVU, $H_{100} = 30$ (OMT) — *NORWAY SPRUCE — BETULA PUBESCENS*

Käsittelyohjelma — <i>Thinning programme</i> lkä, v (T) — <i>Age, y</i>	I Harvennus — <i>Thinning</i>			II Harvennus — <i>Thinning</i>			III Harvennus — <i>Thinning</i>			IV Harvennus — <i>Thinning</i>			Päätähakkuu — <i>Final cut</i>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Voimakkuus, % pohjapinta-alasta <i>Thinning, % of basal area</i>	33	25	24	25	24	25	21	20	22	25	25	27	100	100	100
Runkoluku harvennuksen jälkeen <i>Stem number after thinning</i>	1386	1387	1584	948	990	1202	693	735	863	495	538	609	—	—	—
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	1344	948	877	948	665	495	693	509	368	495	354	241	—	—	—
— koivu — <i>B. pubescens</i>	42	439	707	—	325	707	—	226	495	—	184	368	—	—	—
Poistuma — <i>Removal, m³/ha</i>	39,6	40,4	40,9	48,8	42,8	46,1	51,7	44,7	49,7	84,4	84,7	90,6	377,2	370,8	368,5
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	13,0	33,0	40,6	45,5	34,3	46,1	51,7	25,0	25,2	84,4	73,6	50,6	377,2	278,0	194,0
— koivu — <i>B. pubescens</i>	26,6	7,4	0,3	3,3	8,5	—	—	19,7	24,4	—	11,1	40,0	—	92,8	174,4
Tukkipoistuma — <i>Saw timber, m³/ha</i>	—	—	1,8	5,0	2,3	9,8	24,3	4,5	11,6	68,3	66,5	63,0	344,2	328,8	314,7
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	—	—	1,8	5,0	2,3	9,8	24,3	4,5	10,5	68,3	61,0	38,3	344,2	254,2	178,4
— koivu — <i>B. pubescens</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	—	5,5	24,7	—	74,6	163,3
Valtaisuus ennen harvennusta (H_{dom}), m <i>Dominant height before thinning</i>	11,8	11,8	11,8	15,7	15,7	15,6	19,1	18,8	18,8	23,1	22,9	22,8	26,4	26,5	26,2
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	10,9	10,9	10,9	—	14,3	14,3	—	17,3	17,2	—	20,8	21,2	—	24,4	24,6
— koivu — <i>B. pubescens</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Keskiläpimitta ennen hakkuuta (\bar{D}), cm <i>Mean diameter before thinning</i>	13,0	13,0	13,0	16,8	17,2	16,8	20,5	20,9	20,5	25,2	25,9	25,2	29,3	30,1	29,9
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	10,7	10,7	10,7	12,5	14,4	13,7	—	17,5	16,4	—	20,8	20,6	—	24,3	24,0
— koivu — <i>B. pubescens</i>	26,6	26,6	26,6	1,9	25,7	35,8	—	26,9	48,5	—	22,9	47,8	—	26,0	49,4
Koivun osuus pohjapinta-alasta (B-%), % <i>Proportion of birch, %</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Käsittelyohjelma — *thinning programme*
 1 = Koivu pois — *Pure spruce stand* 2 = Kuusi — *Spruce 75 %* — Koivu — *Birch 25 %* 3 = Kuusi — *Spruce 50 %* — Koivu — *Birch 50 %*

Liite 3. — App. 3. Metsiköiden käsittelyohjelmat — *Alternative thinning programmes.*

KUUSI — RAUDUSKOIVU, $H_{100} = 27$ (MT) — NORWAY SPRUCE — BETULA PENDULA

Käsittelyohjelma — <i>Thinning programme</i> lkä. v (T) — <i>Age, y</i>	I Harvennus — <i>Thinning</i>				II Harvennus — <i>Thinning</i>				III Harvennus — <i>Thinning</i>				IV Harvennus — <i>Thinning</i>				Päätähakkuu — <i>Final cut</i>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	35a				45a				55a				70a				85a			
Voimakkuus, % pohjapinta-alasta	38				24	24	23	23	20	21	20	19	22	23	24	23	100	100	100	100
Thinning, % of basal area	38				24	24	23	23	20	21	20	19	22	23	24	23	100	100	100	100
Runkoluku harvennuksen jälkeen	1315	1274	1471	1471	1471	920	905	1032	1103	693	665	778	834	509	495	566	637	—	—	—
Stem number after thinning	1273	934	764	764	764	920	679	509	396	693	509	382	226	509	382	269	170	—	—	—
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	42	340	707	707	—	226	523	707	—	156	396	608	—	113	297	467	—	—	—	—
— koivu — <i>B. pendula</i>	47,2	46,6	48,1	48,1	38,6	41,7	37,3	38,5	42,5	43,2	43,3	40,9	62,2	77,9	73,6	70,7	336,6	337,1	347,7	350,7
Poistuma — <i>Removal, m³/ha</i>	15,7	32,8	48,1	48,1	34,1	24,9	38,5	42,5	26,3	20,0	29,6	62,2	52,2	36,8	18,8	336,6	250,9	164,7	111,0	—
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	31,5	13,8	—	—	4,5	15,6	12,4	—	16,9	23,3	11,3	—	25,6	36,8	52,0	—	86,2	183,0	239,6	—
— koivu — <i>B. pendula</i>	—	—	1,7	1,7	—	5,6	1,7	4,1	20,4	17,4	14,4	12,4	45,5	63,7	52,1	47,7	302,4	303,0	296,8	284,1
Tukkipoistuma — <i>Saw timber, m³/ha</i>	—	—	1,7	1,7	—	3,7	1,7	4,1	20,4	8,7	7,6	12,4	45,5	41,3	26,1	12,4	302,4	225,4	144,5	99,4
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,7	6,8	—	—	22,4	26,0	35,4	—	77,6	152,3	184,7
— koivu — <i>B. pendula</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Valtapiisuus ennen harvennusta (H_{dom}), m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dominant height before thinning	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	11,3	11,3	11,3	11,3	14,9	15,0	14,8	14,8	17,9	17,7	17,8	17,7	17,7	21,6	21,7	21,4	21,3	24,8	24,8	24,5
— koivu — <i>B. pendula</i>	11,3	11,3	11,3	11,3	—	14,9	14,9	14,9	—	17,9	17,9	18,0	—	21,8	21,8	21,9	—	25,0	25,1	25,1
Keskiläpimitta ennen hakkuuta (\bar{D}), cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mean diameter before thinning	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	12,9	12,9	12,9	12,9	16,8	17,1	16,3	16,3	20,4	20,5	19,7	19,8	24,6	24,9	23,7	24,3	28,5	28,4	27,5	27,9
— koivu — <i>B. pendula</i>	11,7	11,7	11,7	11,7	14,5	16,7	15,3	15,3	—	20,7	19,0	18,1	—	26,5	23,4	22,1	—	30,2	27,7	25,4
Koivun osuus pohjapinta-alasta (B-%), %	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	2,7	27,5	45,0	45,0	—	26,5	49,7	60,0	—	26,2	50,5	68,8	—	25,7	52,2
Proportion of birch, %	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	2,7	27,5	45,0	45,0	—	26,5	49,7	60,0	—	26,2	50,5	68,8	—	25,7	52,2

Käsittelyohjelma — *Thinning programme* 2 = Kuusi — *Spruce 75 %* — Koivu — *Birch 25 %*
 1 = Koivu pois — *Pure spruce stand* 3 = Kuusi — *Spruce 50 %* — Koivu — *Birch 50 %*
 4 = Kuusi — *Spruce 30 %* — Koivu — *Birch 70 %*

Liite 4. — App. 4. Metsiköiden käsittelyohjelmat — Alternative thinning programmes.

KUUSI — HIESKOIVU, $H_{100} = 27$ (MT) — NORWAY SPRUCE — BETULA PUBESCENS

Käsittelyohjelma — Thinning programme Ikä, v (T) — Age, y	I Harvennus — Thinning			II Harvennus — Thinning			III Harvennus — Thinning			IV Harvennus — Thinning			Päätehakkuu — Final cut		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	35a	45a	55a	70a	85a										
Voimakkuus, % pohjapinta-alasta Thinning, % of basal area	33	20	19	22	19	20	20	20	19	19	23	22	22	23	100
Runkoluku harvennuksen jälkeen Stem number after thinning	1372	1400	1594	976	1075	1259	722	722	806	991	538	608	608	708	—
— kuusi — Norway spruce	1330	976	877	976	707	552	722	722	509	354	538	396	396	255	—
— koivu — B. pubescens	42	424	707	—	368	707	—	—	297	637	—	212	212	453	—
Poistuma — Removal, m ³ /ha	37,0	37,3	38,8	34,8	31,1	31,8	41,2	41,2	40,1	42,4	71,7	61,5	68,9	335,9	333,6
— kuusi — Norway spruce	12,9	29,5	38,8	32,1	28,0	31,8	41,2	41,2	31,5	38,5	71,7	41,4	33,7	335,9	257,4
— koivu — B. pubescens	24,1	7,8	—	2,7	3,1	—	—	—	8,6	3,9	—	20,1	35,1	—	76,2
Tukkipoistuma — Saw timber, m ³ /ha	—	—	—	1,5	3,5	2,2	17,9	9,9	18,1	18,1	55,6	40,6	28,1	299,0	279,7
— kuusi — Norway spruce	—	—	—	1,5	3,5	2,2	17,9	9,9	18,1	18,1	55,6	31,7	23,7	299,0	229,2
— koivu — B. pubescens	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,9	4,4	—	50,5
Valtapietus ennen harvennusta (H_{dom}), m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dominant height before thinning	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— kuusi — Norway spruce	11,3	11,3	11,3	14,9	15,0	14,8	17,7	17,7	17,7	17,8	21,6	21,6	21,2	24,4	24,7
— koivu — B. pubescens	10,6	10,6	10,6	—	13,5	13,4	—	—	16,0	15,9	—	19,3	19,2	—	22,1
Keskiläpimitta ennen hakkuuta (\bar{D}), cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mean diameter before thinning	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
— kuusi — Norway spruce	12,7	12,7	12,7	16,2	16,6	16,2	19,6	19,6	19,9	19,7	24,0	24,0	24,5	24,0	28,3
— koivu — B. pubescens	10,4	10,4	10,4	11,6	13,3	12,9	—	—	15,7	15,1	—	18,9	18,3	—	21,4
Koivun osuus pohjapinta-alasta (B-%), %	26,0	26,0	26,0	1,8	23,1	34,3	—	—	25,7	43,3	—	26,5	51,7	—	24,1
Proportion of birch, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Käsittelyohjelma — Thinning programme

1 = Koivu pois — Pure spruce stand

2 = Kuusi — Spruce 75 % — Koivu — Birch 25 %

3 = Kuusi — Spruce 50 % — Koivu — Birch 50 %

Liite 6. — App. 6. Metsiköiden käsittelyohjelmat — *Alternative thinning programmes.*

KUUSI — HIESKOIVU, $H_{100} = 24$ (MT-) — *NORWAY SPRUCE — BETULA PUBESCENS*

Käsittelyohjelma — <i>Thinning programme</i> Ikä, v (T) — <i>Age, y</i>	I Harvennus — <i>Thinning</i>			II Harvennus — <i>Thinning</i>			III Harvennus — <i>Thinning</i>			Päätähakkuu — <i>Final cut</i>		
	1	2 45a	3	1	2 55a	3	1	2 70a	3	1	2 90a	3
<i>Voimakkuus, % pohjapinta-alasta</i> <i>Thinning, % of basal area</i>		29		26	25	25	29	26	26	100	100	100
<i>Runkoluku harvennuksen jälkeen</i> <i>Stem number after thinning</i>	1443	1486	1669	990	1061	1259	623	736	878	—	—	—
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	1386	1033	962	990	693	566	623	453	340	—	—	—
— koivu — <i>B. pubescens</i>	57	453	707	—	368	693	—	283	538	—	—	—
<i>Poistuma — Removal, m³/ha</i>	29,9	30,7	32,2	38,4	35,4	35,8	62,4	55,4	52,5	283,0	272,6	269,5
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	8,1	24,8	32,2	38,4	30,7	35,3	62,4	43,6	41,5	283,0	209,4	151,0
— koivu — <i>B. pubescens</i>	21,7	5,9	—	—	4,7	0,5	—	11,8	11,0	—	63,2	118,5
<i>Tukkipoistuma — Saw timber, m³/ha</i>	—	—	—	—	1,5	—	23,8	20,9	19,3	233,8	194,8	164,7
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	—	—	—	—	1,5	—	23,8	19,2	19,3	233,8	174,5	125,0
— koivu — <i>B. pubescens</i>	—	—	—	—	—	—	—	1,7	—	—	20,3	39,7
<i>Valtapiitus ennen harvennusta (H_{dom}), m</i> <i>Dominant height before thinning</i>												
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	11,0	11,0	11,0	14,1	14,1	14,1	17,7	17,7	17,8	21,8	21,7	21,9
— koivu — <i>B. pubescens</i>	10,3	10,3	10,3	—	12,6	12,6	—	15,7	15,6	—	—	—
<i>Keskiäpimitta ennen hakkuuta (D̄), cm</i> <i>Mean diameter before thinning</i>												
— kuusi — <i>Norway spruce</i>	12,5	12,5	12,5	15,6	15,9	15,5	19,8	20,3	19,9	25,2	25,7	25,1
— koivu — <i>B. pubescens</i>	10,1	10,1	10,1	11,0	12,6	12,1	—	15,4	14,7	—	18,3	18,4
<i>Koivun osuus pohjapinta-alasta (B-%), %</i> <i>Proportion of birch, %</i>	25,7	25,7	25,7	2,2	22,8	31,4	—	24,6	40,9	—	24,9	46,6

Käsittelyohjelma — *Thinning programme*
1 = Koivu pois — *Pure spruce stand* 2 = Kuusi — *Spruce 75 %* — Koivu — *Birch 25 %* 3 = Kuusi — *Spruce 50 %* — Koivu — *Birch 50 %*

ODC 235.4/5 + 228.3 + 174.7 *Picea abies* + 176.1 *Betula* + 562.2
ISBN 951-40-0711-5
ISSN 0358-9609

MIELIKÄINEN, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. Commun. Inst. For. Fenn. 133:1—79.

The aim of the study was to determine how natural spruce/birch mixed stands should be managed in order to attain as high a level of wood production as possible. The tree-wise simulations of the long-term development of mixed stands is based on 65 temporary sample plots on mineral soil sites in southern Finland.

A low proportion of *B. pendula* results in a 3—5 % increase in the total growth of spruce stands during a single rotation period. The production of saw-timber and the stumpage revenue are 6—10 % higher in a mixed stand than in a pure spruce stand.

An admixture of *B. pubescens* causes a 3—5 % loss in total growth, and a 10—30 % loss in the production of saw-timber.

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

ODC 235.4/5 + 228.3 + 174.7 *Picea abies* + 176.1 *Betula* + 562.2
ISBN 951-40-0711-5
ISSN 0358-9609

MIELIKÄINEN, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. Commun. Inst. For. Fenn. 133:1—79.

The aim of the study was to determine how natural spruce/birch mixed stands should be managed in order to attain as high a level of wood production as possible. The tree-wise simulations of the long-term development of mixed stands is based on 65 temporary sample plots on mineral soil sites in southern Finland.

A low proportion of *B. pendula* results in a 3—5 % increase in the total growth of spruce stands during a single rotation period. The production of saw-timber and the stumpage revenue are 6—10 % higher in a mixed stand than in a pure spruce stand.

An admixture of *B. pubescens* causes a 3—5 % loss in total growth, and a 10—30 % loss in the production of saw-timber.

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

Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

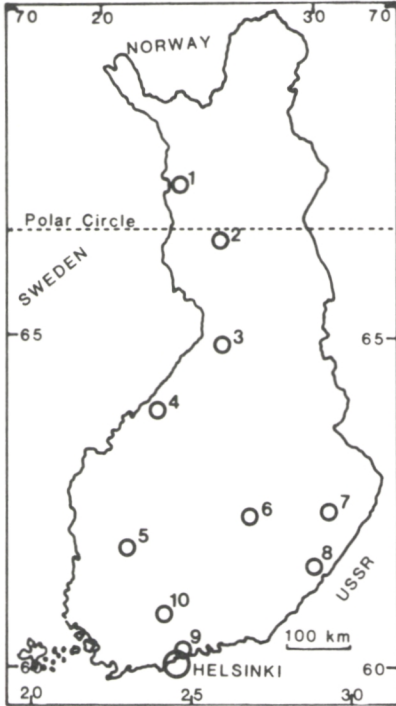
Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND





THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

DEPARTMENTS (Helsinki)

Administration Office
 Information Office
 Experimental Forest Office
 Dept. of Soil Science
 Dept. of Peatland Forestry
 Dept. of Silviculture
 Dept. of Forest Genetics
 Dept. of Forest Protection
 Dept. of Forest Technology
 Dept. of Forest Inventory and Yield
 Dept. of Forest Economics
 Dept. of Mathematics

RESEARCH STATIONS

1 Kolari
 2 Rovaniemi
 3 Muhos
 4 Kannus
 5 Parkano
 6 Suonenjoki
 7 Joensuu
 8 Punkaharju
 9 Ruotsinkylä
 10 Ojajoki

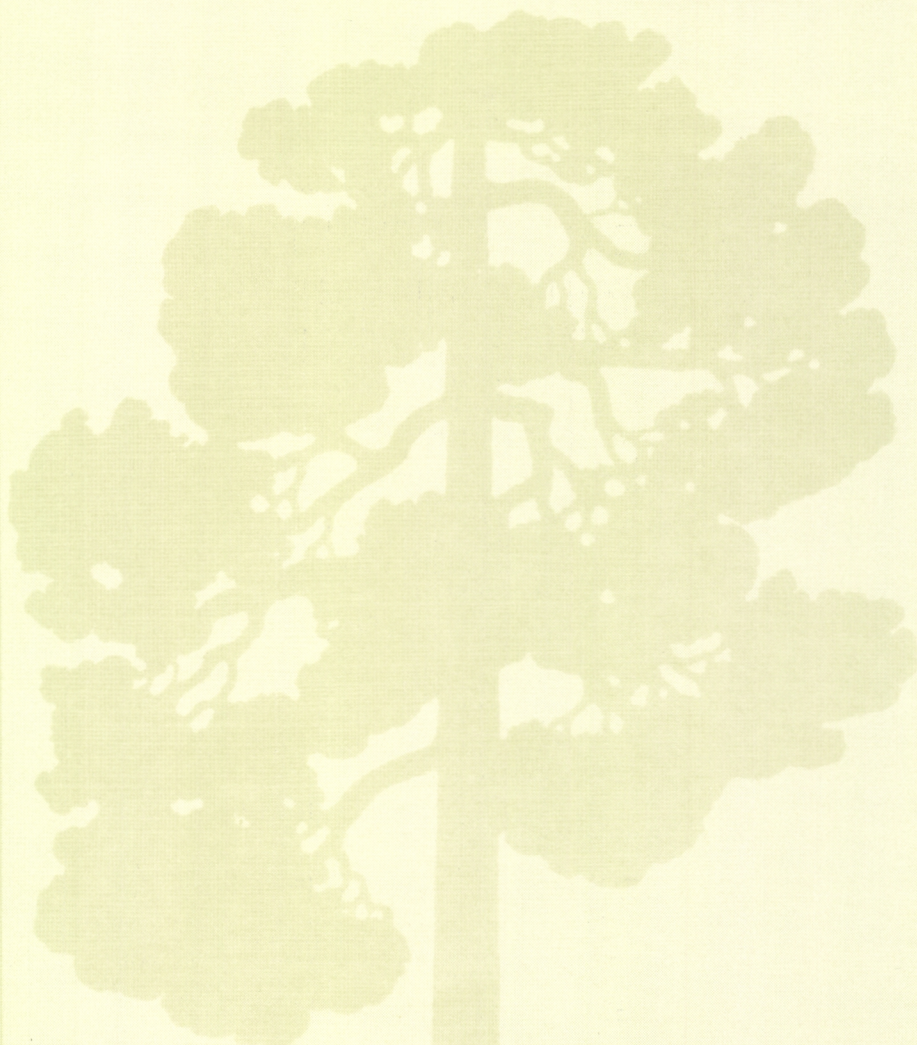
FACTS ABOUT FINLAND

Total land area: 304 642 km² of which 60—70 per cent is forest land.

Mean temperature, °C:	Helsinki	Joensuu	Rovaniemi
January	-6,8	-10,2	-11,0
July	17,1	17,1	15,3
annual	4,4	2,9	0,8

Thermal winter
 (mean temp. < 0°C): 20.11.—4.4. 5.11.—10.4. 18.10.—21.4.

Most common tree species: *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, *Betula pubescens*



Communicationes Instituti Forestalis Fenniae

- 130 Uusvaara, O. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. Seloste: Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo.
- 131 Mattila, E. The combined use of systematic field and photo samples in a large-scale forest inventory in North Finland. Seloste: Systemaattisen ilmakuva- ja maastonäytteen yhteiskäyttö laajan metsäalueen inventoinnissa Pohjois-Suomessa.
- 132 Ritari, A. & Saukkola, P. Spectral reflectance as an indicator of ground vegetation and soil properties in northern Finland. Seloste: Spektrinen heijastussäteily pintakasvillisuuden ja maan ominaisuuksien kuvaajana Pohjois-Suomessa.
- 133 Mielikäinen, K. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands.

