

Kari Mielikäinen ja Sauli Valkonen

Kaksijaksoisen kuusi–koivu-sekametsikön kasvu

Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1995. Kaksijaksoisen kuusi–koivu-sekametsikön kasvu. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 81–97.

Tutkimuksessa tarkasteltiin nuoren kuusikon kasvattamista koivuylipuuston alla. Tutkimusongelmana oli selvittää, kuinka paljon tiheydeltään ja kooltaan vaihteleva koivuylipuusto tuottaa puuta ja kuinka paljon se hidastaa kuusikon kehitystä. Tutkimuksessa laadittiin kerta-mittausaineistoon perustuvat kasvumallit. Niiden lisäksi sovellettiin aiemmassa sekametsätutkimuksessa laadittuja malleja.

Tutkimusaineisto käsitti 31 sekametsikköä lehtomaisilla ja tuoreilla kankailla Etelä-Suomessa. Kuusikoiden biologinen ikä oli 15–39 vuotta ja koivikoiden rinnankorkeusikä 17–77 vuotta. Koivuylipuusto oli poistettu 6 metsiköstä.

Malleilla ennustettua puuston kehitystä tarkasteltiin kahdessa esimerkkimetsikössä kolmena kasvattamisvaihtoehtona: koivuylipuuston poistaminen, ylipuuston harventaminen ja käsittelemätön metsikkö. Koivuylipuusto tuotti enemmän puuta ($3,5\text{--}11,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) kuin sen kasvattaminen vähensi kuusikon tuotosta (kasvutappio $0,6\text{--}4,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$). Harvennus lisäsi nuoren, tiheän koivikon tukkipuun tuotosta selvästi, mutta pienensi sitä vanhassa, järeäpuustoisessa koivikossa.

Asiasanat: sekametsä, kuusi, rauduskoivu, hieskoivu, kasvu, puuntuotos, kasvumallit
Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa.
Faksi (90) 8570 5361, sähköposti kari.mielikainen@metla.fi, sauli.valkonen@metla.fi
Hyväksytty 6.10.1995

Merkinnät

Puun tunnuks

d	läpimitta rinnankorkeudella, cm
h	pituus, m
b	kuoren paksuus rinnankorkeudella, mm
cr	latvuksen osuus puun pituudesta, %
i_{g5}	rinnankorkeudelta mitatun poikkileikkauspinta-alan kasvu tulevalla 5-vuotisjaksolla, $\text{cm}^2 (5v)^{-1}$
i_{h5}	puun pituuden kasvu tulevalla 5-vuotisjaksolla, $\text{cm} (5v)^{-1}$
i_{h5-}	puun pituuden kasvu menneellä 5-vuotisjaksolla, $\text{cm} (5v)^{-1}$
i_{d5}	puun rinnankorkeusläpimitan kasvu tulevalla 5-vuotisjaksolla, $\text{cm} (5v)^{-1}$

Metsikön tunnuks

D	poikkileikkauspinta-aloilla painotettu keskiläpimitta rinnankorkeudella, cm
G	pohjapinta-ala, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$
H	rinnankorkeudelta mitatulla poikkileikkauspinta-alalla painotettu keskipituus, m
H_{dom}	valtapituus (100 paksuimman puun ha^{-1} keskipituus), m
H_{100}	kuusen valtapituus 100 vuoden iällä, m (valtapituusboniteetti)
H_{50}	koivun valtapituus 50 vuoden iällä, m (valtapituusboniteetti)
N	runkoluku, kpl ha^{-1}
T	puiden keski-ikä, vuotta
$T_{1,3}$	puiden keski-ikä rinnankorkeudella, vuotta
V	runkotilavuus, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$
V_{tukki}	tukkipuun tilavuus, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$

Mallien luotettavuus

$S_{e\%}$	arvion suhteellinen keskivirhe, % ($= \sqrt{e^{S_e^2} - 1}$)
S_m	selitettävän muuttujan keskihajonta
S_f	mallin jäännöshajonta
R^2	mallin selitysaste ($R =$ yhteiskorrelaatiokerroin)

1 Johdanto

Kuusen ja koivun muodostamia sekametsiköitä syntyy luontaisesti sekä tasa- että eri-ikäisinä. Metsäpalon, myrskyn tai avohakkuun jälkeen syntyy Suomen oloissa yleensä havu- ja lehtipuiden muodostama sekametsä karuimpia kasvupaikkoja lukuunottamatta (Kuusela 1990).

Sekametsä voi olla yksijaksoinen, jolloin eri puulajit kehittyvät suunnilleen yhtä nopeasti samassa latvuserroksessa. Kaksijaksoisessa sekametsässä joku tai jotkut puulajeista muodostavat alemman latvuserroksen muiden puulajien muodostaman ylemmän latvuserroksen alle. Kaksijaksaisuus voi säilyä pitkän aikaa, jos alemman jakson puulajit sietävät varjoa eivätkä tuhoudu kilpailun takia. Alemman jakson puulaji voi myöhemmin kasvaa ylempään jaksoon ja syrjäyttää entisen ylispuuston, jos se on pitkäikäisempi ja säilyttää kasvukykyä vanhanakin (Oliver ja Larson 1990). Kuusen ja koivun sekoitus on tyypillinen esimerkki sekametsästä, joka kehittyy usein kaksijaksoiseksi: koivu muodostaa ylemmän ja kuusi alemman jakson.

Luontaisesti eri-ikäinen sekametsä syntyy tavallisesti kuusialikasvoksen ilmestyessä koivikoihin tai männiköihin (Laiho 1983). Luontaisen alikasvoksen tilajärjestys ja kokojakauma on usein epätasainen. Tasaisempi kaksijaksoinen sekametsä syntyy, kun kuusi istutetaan verhopuuston alle. Koivu tai leppäverhopuusto suojaa kuusta hallavaurioilta ja aluskasvillisuuden kilpailulta (Leikola 1976, Leikola ja Rikala 1983, Folkesson ja Barring 1982, Andersson 1984). Verhopuusto tuottaa samalla puuta, minkä seikan merkitystä ei ole toistaiseksi riittävästi korostettu tutkimuksissa.

Yksijaksoiden, luontaisesti syntyneiden sekametsiköiden kasvua ja tuotosta ovat tutkineet Suomessa Lappi-Seppälä (1930), Mielikäinen (1980, 1985) ja Pukkala ym. (1994), sekä Ruotsissa mm. Jonsson (1962), Fries (1964, 1974), Folkesson ja Barring (1982) ja Agestam (1985), sekä Norjassa mm. Frivold (1982). Tulokset osoittavat, että sekametsikön kokonaistuotos on yhtä suuri tai vähän suurempi kuin puhtaan havumetsikön tuotos. Kuusi- ja koivu-sekametsikön rahallinen tuotto ylittää Suomessa useimmiten puhtaan kuusikon tuoton. Puulajien erilaista kehitysrytmiä voidaan hyödyntää

tää kasvattamalla nuoressa kuusikossa nopeasti järetyvä koivusukupolvi arvokkaaksi vaneripuuksi (Valsta 1988, Vähäpesola 1989).

Lehtipuuston kanssa yhtä aikaa istutettujen havupuiden alkukehitystä on tutkinut Pukkala (1981). Tulokset osoittavat, ettei mänty menesty kilpailussa samaan aikaan istutetun rauduskoivun kanssa vaan häviää metsiköstä vähitellen. Kuusi jää kehityksessään jälkeen koivusta, mutta säilyy pitkään elinvoimaisena alikasvosasemassakin. Lopputuloksena on tavallisesti kaksijaksoinen sekametsä.

Koivuverhoppuusto vähentää pintakasvillisuuden kilpailua ja pienentää hallatuhojen riskiä, mutta samalla se hidastaa kilpailullaan istutuskuusikon kasvua (Heikinheimo 1941, Hannelius 1978, Andersson 1984). Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan koivun tuotos korvaa kuitenkin kuusen kasvutappion (Tham 1988). Hanneliuksen (1978) tutkimuksessa verhoppuustoa kasvatettiin hallan torjumiseksi eikä vaneripuun tuottaminen kuulunut tutkittuihin vaihtoehtoihin.

Sekametsän kasvattamista suositetaan käytännön metsätaloudessa metsän monimuotoisuuden, terveyden ja tuottokyvyn säilyttämiseksi sekä metsänuudistamisen taloudellisen tehokkuuden lisäämiseksi (Mikola 1985, Lundmark 1988, Tamminen 1991, Metsän uudistaminen 1993, Metsätalous ja ympäristö 1994, Metsänhoitosuosituksen 1994). Verhoppuuston uskotaan myös parantavan havupuista saatavan sahatavaran laatua (Hägg 1991, Kellomäki ym. 1992). Koivukuitupuun ja erityisesti vanerikoivun hyvä menekki ja korkea hinta suhteessa havupuihin on lisännyt kiinnostusta koivun kasvatamiseen sekä puhtaina koivikoina että sekametsiköinä. Lehtipuusekoituksen säilyttämistä havupuutaimikoissa puoltavat myös käsitykset sen merkityksestä yksittäisen metsikön ja metsäalueen maisemallisen arvon lisääjänä (Savolainen ja Kellomäki 1981).

Kaksijaksoisen sekametsän hoito on puhtaasti yksijaksoisen metsän kasvattamista monimutkaisempaa. Ylispuuston hakkuu voi aiheuttaa alemmalle jaksolle suuria vaurioita, jos työ tehdään väärillä menetelmillä tai huolimattomasti (Thesslund 1975). Kuusikon alkukehityksen hidastuminen johtaa myös kiertoajan pidentymiseen.

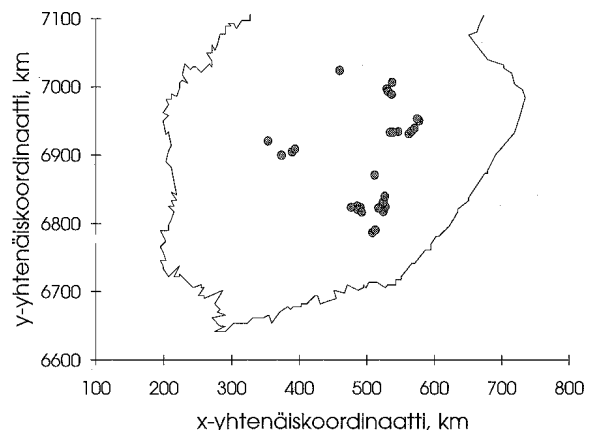
Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia nuoren kuusikon kasvattamista koivuylispuuston alla.

Tutkimusongelmana on selvittää, kuinka paljon tiheydeltään ja kooltaan vaihteleva koivuylispuusto tuottaa puuta ja kuinka paljon se hidastaa kuusikon kehitystä. Tutkimuksessa laaditaan kertamittausaineistoon perustuvat kasvumallit. Niiden lisäksi sovelletaan aiemmassa sekametsätutkimuksessa laadittuja malleja (Mielikäinen 1985).

Tässä tutkimuksessa laadittavia malleja on tarkoitettu myöhemmin kuusikoiden kasvatusvaihtoehtojen vertailemiseen soveltamalla jo olemassa olevia ja laadittavina olevia malleja koko kiertoajan puuntuotoksen, kustannusten ja tuoton ennustamiseen. Mallien käyttö rajoitetaan tässä tutkimuksessa ainostaan niiden toiminnan havainnollistamiseen. Malleilla ennustetaan tutkimusaineistosta valittujen esimerkkimetsiköiden kehitystä muutamissa selväpiirteisissä kasvatusvaihtoehtoisissa.

2 Aineisto ja tutkimusmenetelmä

Tutkimusaineisto käsitti 31 kivennäismaan metsikköä Etelä-Suomessa (taulukko 1, kuva 1). Tutkimukseen sopivia metsiköitä tiedusteltiin Etelä-Suomessa vuonna 1983 metsälautakunnille ja metsähallituksen hoitoalueille suunnatulla kyselyllä. Tutkimusmetsiköt valittiin subjektiivisesti paikallisten metsäammattimiesten opastuksella. Kasvupaikan



Kuva 1. Koemetsiköiden sijainti.

Taulukko 1. Tutkimusaineiston metsikkötiedot mittaushetkellä.

Metsikkö	Metsä- tyyppi ¹⁾	Koivun valtalaji	H ₅₀ ko ²⁾	T ku ²⁾	T _{1,3} ko	N		H _d om		D		G	
						ku	ko	ku	ko	ku	ko	ku	ko
1	MT	raudus	28,0	20	19	1592	575	8,2	16,8	6,0	15,6	3,3	9,0
2	MT	raudus	15,5	18	61	1878	177	4,1	19,1	2,9	25,4	0,9	8,7
3	MT	hies	11,0	19	47	1371	553	6,0	11,7	5,6	12,1	2,2	5,7
4	OMT-	hies	12,0	20	76	1655	387	6,8	16,9	4,3	20,0	1,7	6,0
5	OMT	hies	18,0	22	56	637	863	5,9	20,4	5,1	18,5	0,9	15,9
6	MT	hies	25,0	25	19	796	2166	5,0	13,6	4,3	10,4	0,7	13,3
7	MT	hies	15,0	25	77	840	249	3,4	20,8	2,5	22,3	0,3	8,2
8	MT	hies	18,0	23	46	1039	325	6,4	18,1	4,5	20,5	1,2	10,3
9	MT		*	22	*	1273	*	7,9	*	8,0	*	2,1	*
10	MT	raudus	22,0	47	49	2228	636	11,3	22,2	9,4	22,7	4,4	16,8
11	OMT	hies	19,0	27	71	1464	357	5,7	23,8	4,5	28,2	10,6	15,9
12	OMT		*	27	*	1342	*	11,7	*	14,5	*	1,6	*
13	MT		*	27	*	1750	*	7,2	*	6,2	*	19,1	*
14	OMT	hies	24,0	21	24	2947	1702	6,3	15,6	4,8	11,6	4,2	13,0
15	MT	hies	20,0	24	40	1273	553	3,6	17,8	3,1	19,7	2,4	13,8
16	MT	hies	22,0	24	41	1304	575	5,9	20,3	5,4	21,4	0,5	15,4
17	OMT		*	27	*	1209	*	6,3	*	7,8	*	1,7	*
18	OMT	hies	19,0	29	61	1592	269	5,6	22,1	5,2	32,6	4,5	19,4
19	OMT	hies	19,0	25	42	2324	446	4,3	18,4	3,1	18,1	2,4	9,5
20	MT-		*	21	*	1442	*	8,2	*	8,8	*	1,2	*
21	OMT	raudus	24,0	39	44	1641	486	5,9	23,7	5,4	21,2	6,8	16,6
22	MT		*	24	*	2188	*	5,8	*	5,7	*	3,1	*
23	OMT	hies	13,5	25	71	987	828	5,9	18,3	4,7	19,0	3,4	17,5
24	OMT	hies	19,0	31	53	1592	553	5,2	20,6	4,4	19,6	1,2	14,4
25	OMT	hies	22,0	15	31	729	575	2,7	17,1	2,4	17,3	0,1	11,2
26	lehto	raudus	26,0	21	18	923	1019	7,5	13,6	6,3	15,4	2,1	16,5
27	lehto	raudus	24,0	15	17	442	1127	4,6	11,7	5,7	12,2	0,7	10,8
28	OMT	hies	26,0	22	30	1741	637	3,4	20,8	2,5	18,5	0,7	14,7
29	OMT	hies	28,0	20	23	1241	668	3,0	19,9	1,9	17,1	0,3	13,5
30	MT	raudus	22,0	26	48	1149	442	4,5	22,0	4,7	28,3	1,4	19,3
31	OMT	hies	16,0	15	74	2089	846	2,9	21,5	1,8	21,1	0,3	24,0

¹⁾ OMT=Oxalis-Myrtillus-tyyppi, MT=Myrtillus-tyyppi (Cajander 1909), -metsätyypinimen jälkeen: kivinen tai soistunut

²⁾ ku=kuusi, ko=koivu

* koivupoistetuennemittausta

Muut symbolit ks. luettelo

tuli olla tuore kangas tai sitä viljavampi kasvupaikka, joka ei saanut olla soistunut tai erityisen kivinen. Kuusijakson tuli olla keskipituudeltaan vähintään 1,3 m ja kasvattamiskelpoinen. Aineistoon pyrittiin löytämään tiheydeltään, järeydeltään ja tilajärjestykseltään erilaisia koivupuustoja. Koivujakson hies- ja rauduskoivun osuuksia ei rajoitettu. Metsiköissä 21, 24 ja 30 kuusi oli syntynyt luontaisesti, muissa metsiköissä se oli istutettu. Ylispuujaksoihin kuului vähäisiä määriä muita puulajeja kuin koivuja. Viimeisen 20 vuoden aikana voimakkaasti harvennettuja metsiköitä ei kelpuutettu. Hak-

kaamattomien metsiköiden (25 kpl) lisäksi mitattiin kuusi metsikköä, joista koivujakso oli poistettu kokonaan vähintään neljä kasvukautta ennen mitausta. Niiden kasvuhavaintoja ei käytetty mallien laadinta-aineistojen osana.

Kuhunkin metsikköön rajattiin kesällä 1984 ympäräkoela, jolla kasvoi vähintään 30 ylemmän jakson koivua. Koealan säde vaihteli siten välillä 12–15 metriä. Koeala sijoitettiin sellaiseen kohtaan, että kuusia kasvoi koko sen alueella. Koealan yli 1,3 m:n pituisten puiden sijainti kartoitettiin ja niiden rinnankorkeusläpimitta, pituus ja elävän lat-

vuksen alaraja mitattiin. Myös mahdolliset kannot kartoitettiin ja niiden läpimitat mitattiin.

Luetuista kuusista valittiin tasavälein 20 kpl koepuuehdokkaiksi. Kukin alustava koepuu keskipisteenä rajattiin 4 m²:n kokoinen neliö. Varsinaiseksi koepuuksi valittiin neliön sisältä yksi kasvatuskelpoinen kuusi. Kasvatuskelpoiseksi arvioitiin terve ja normaalikasvuinen kuusi, joka kokonsa ja sijaintinsa perusteella sopi parhaiten kasvamaan neliöllä mahdollisen taimikonkäsittelyn jälkeen. Kuusikoe-puista mitattiin latvuksen suurin leveys sekä vuotuiset pituuskasvut mahdollisimman pitkälle taaksepäin. Luetujen koivujen runkolukusarja jaettiin läpimitan vaihteluvälin mukaan kolmeen yhtä suureen osaan. Jokaisesta osasta valittiin läpimitan mediaanipuukoepuuksi, josta kairattiin rinnankorkeudelta ytimeen ulottuva lastu.

Viljelykuusikoiden biologinen ikä selvitettiin viljelytiedoista. Luontaisissa kuusikoissa kaadettiin muutamia satunnaisesti valittuja kuusia iän määrittämistä varten. Koivun valtapituusboniteetti (H_{50}) laskettiin Gustavsenin ja Mielikäisen (1984) yhtälöllä. Jos ylempi koivujakso oli poistettu, pituusboniteetti määritettiin metsätyypin ja valtapituusboniteetin vastaavuuden perusteella (Gustavsen ja Mielikäinen 1984). Kuusen valtapituusboniteetti (H_{100}) laskettiin koivun ja kuusen boniteettien vastaavuuden perusteella (Mielikäinen 1985). Koivun vuotuiset läpimitan kasvuhavainnot korjattiin Valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineistosta laske-tuilla kasvuindekseillä (Tiuhonen 1984, 1985).

Aineistosta laadittiin kaksijaksoisen sekametsikön puuston kasvua kuvaavat mallit kuusen pituus-kasvun sekä raudus- ja hieskoivun läpimitan kasvun sekä kuusen läpimitan kuvaamiseksi. Koivun kuoren paksuuden sekä raudus- ja hieskoivun pituuden kasvun kuvaamiseksi käytettiin Mielikäisen (1985) laatimia yksijaksoisten kuusi-koivu-sekametsien malleja.

Mallien parametrit estimoitiin lineaarisella regressioanalyysillä pienimmän neliösumman menetelmää käyttäen. Mallien laadinnassa ja testaukses-sa laadinta-aineistoissa noudatettiin Clutterin ym. (1983) sekä Rannan ym. (1989) esittämiä ohjeita.

Malleilla tehdyillä laskelmilla tutkittiin kuusen ja koivun kasvua ja puuntuotosta muutamia käsitelyvaihtoehtoja ja puuston rakennetta edustaneissa esimerkkitaupauksissa.

3 Pituus- ja läpimittamallit

3.1 Mallien laadinta

Kuuselle laadittiin puun tulevan 5-vuotisjakson pituus-kasvun ennustemalli ja koivulle vastaava puun pohjapinta-alan kasvumalli. Laaditut kasvumallit (mallit 1–3 taulukoissa 3 ja 4) perustuivat taulukossa 2 esitettyyn aineistoon. Mikäli tässä raportissa esitettävän mallin selitettävä muuttuja on logaritminen, mallin vakiotermin on lisätty korjaustekijä $S_f^2/2$ (ks. Kangas ym. 1990). Kasvumalleissa

Taulukko 2. Kasvumallien laadinta-aineistot puulajeittain.

Muuttuja	Keski-arvo	Keski-hajonta	Minimi	Maksimi
Kuusi (N = 406)				
i_{45}	151	71	30	460
h	2,8	1,6	1,3	11,0
H	2,9	1,7	1,1	7,2
G_{ko}	11,2	4,5	4,4	22,2
N_{ko}	685	467	177	2166
Rauduskoivu (N = 16)				
i_{45}	53,3	20,4	26,6	91,8
d	14,2	6,6	6,0	25,0
h	14,5	5,5	7,3	23,5
H_{50}	23,6	3,7	15,5	28,0
G_{ko}	10,4	5,2	5,8	20,8
Hieskoivu (N = 50)				
i_{45}	45,2	26,2	2,3	118,8
d	15,5	6,4	4,6	37,3
h	14,9	4,2	4,0	23,7
H_{50}	19,0	4,6	11,0	28,0
G_{ko}	11,5	4,5	4,4	22,2

N = havaintojen lukumäärä

i_{45} = puunpituudenkasvu tulevalla 5-vuotisjaksolla, cm (5v)⁻¹

i_{45} = puunrinnankorkeudelta mitatun poikkileikkauksen pinta-alan kasvutulevalla 5-vuotisjaksolla, cm² (5v)⁻¹

h = puunpituus, m

d = puunläpimittarinnankorkeudella, cm

H_{50} = koivujakson puiden valtapituus 50 vuoden iällä, m (valtapituusboniteetti)

G_{ko} = koivujakson pohjapinta-ala, m²ha⁻¹

N_{ko} = koivujakson runkoluku, kpl ha⁻¹

Taulukko 3. Kuusen pituuskasvumalli.

Selitettävä muuttuja: $\ln(i_{h5})$

Muuttuja	Kerroin	Keskivirhe	t-arvo
Malli 1			
vakio	4,504	0,0486	91,7
$\ln(h)$	0,8847	0,0661	13,4
h^2	-0,009485	0,00188	-5,1
$G_{ko}^2 \cdot N_{ko}$	$-1,381 \cdot 10^{-6}$	$2,06 \cdot 10^{-7}$	-6,7
$\ln(h/H)$	0,1190	0,0319	3,7
N = 406			
$R^2 = 0,493$			
$S_m = 0,450$			
$S_f = 0,322$			
$S_{e\%} = 33,1$			

Mallinmuuttujien selitykset taulukossa 2.
Tilastolliset symbolitks. luettelo

käytettiin puun tunnusten lisäksi selittävinä muuttujina myös puustotunnuksia kasvujakson alussa. Ne laskettiin lukupuiden tunnuksista menneen 5-vuotisjakson kasvun puukohtaisilla malleilla, jotka laadittiin koepuuaineistosta.

Kuusen läpimitan kasvulle ei voitu laatia malleja käsillä olleesta aineistosta, koska läpimitan kasvua ei kairattu. Koemetsiköiden kuusijaksot olivat nimittäin niin nuoria, että suurimmalla osalla kuusista ei olisi ollut vielä viittä vuosilustoa rinnankorkeudella. Kuusen paksuuskasvua arvioitiin puun pituuteen perustuvalla läpimittamallilla, joka laskettiin koepuiden perusteella:

$$d = -0,012611 + 0,997037h \quad (4)$$

missä

d = puun läpimitta rinnankorkeudella, cm

h = puun pituus, m

Koivun menneen ja tulevan jakson pituuskasvu ja kuoren paksuus arvioitiin seuraavilla Mielikäisen (1985) yksijaksoisten kuusi-koivu-sekametsien malleilla:

Taulukko 4. Koivun rinnankorkeusläpimitan kasvumallit.

Selitettävä muuttuja: $\ln(i_{h5})$

Muuttuja	Kerroin	Keskivirhe	t-arvo
Rauduskoivu, malli 2			
vakio	-3,1851	2,686	-1,2
$\ln(d)$	0,9810	0,313	3,1
$\ln(H_{50})$	1,7104	0,681	2,5
$\ln(G_{ko})$	-0,0708	0,023	-3,1
N = 16			
$R^2 = 0,487$			
$S_m = 0,391$			
$S_f = 0,313$			
$S_{e\%} = 0,321$			
Hieskoivu, malli 3			
vakio	-0,3783	0,620	-0,8
$\ln(d)$	1,6386	0,188	8,7
H_{50}	0,0762	0,017	4,4
$\ln(G_{ko})$	-0,7211	0,194	-3,7
N = 50			
$R^2 = 0,625$			
$S_m = 0,759$			
$S_f = 0,480$			
$S_{e\%} = 0,509$			

Mallinmuuttujien selitykset taulukossa 2.
Tilastolliset symbolitks. luettelo

Rauduskoivun kasvu

$$\ln(i_{h5-}) = -8,605 + 2,328 \ln(h) - 0,5565 (\ln(h))^2 + 2,119 \ln(H_{100}) \quad (5)$$

$$\ln(i_{h5}) = -6,178 + 0,9128 \ln(h) - 0,2975 (\ln(h))^2 + 1,936 \ln(H_{100}) \quad (6)$$

Hieskoivun kasvu

$$\ln(i_{h5-}) = -5,848 + 0,8255 \ln(h) - 0,2533 (\ln(h))^2 + 1,789 \ln(H_{100}) \quad (7)$$

$$\ln(i_{h5}) = -5,057 + 0,3497 \ln(h) - 0,1664 (\ln(h))^2 + 1,718 \ln(H_{100}) \quad (8)$$

Kuoren paksuus, kumpikin koivulaji

$$\ln(2b) = 2,674 + 0,001426d^2 - 0,01717 \ln(cr) \quad (9)$$

Kaavoissa 5–9

i_{h5} = puun pituuden kasvu menneellä 5-vuotisjaksoilla, cm $(5v)^{-1}$

i_{h5} = puun pituuden kasvu tulevalla 5-vuotisjaksoilla, cm $(5v)^{-1}$

h = puun pituus, m

d = puun läpimitta rinnankorkeudella, cm

b = puun kuoren paksuus rinnankorkeudella, mm

cr = puun latvuksen osuus puun pituudesta, %

H_{100} = kuusikon valtapituus 100 vuoden iällä, m (valtapituusboniteetti)

3.2 Mallientestaus

Mallien testaamiseksi ei ollut saatavilla erillistä kasvuaineistoa kaksijaksoisista kuusi-koivu-sekametsistä. Mallien antamia tuloksia verrattiin kuusen viljelytaimikoita käsittäneen aineiston kasvuhavaintoihin sekä aiempien kuusen kasvua kuvaneiden kehitysarjojen ja mallien tuloksiin (Cajan-

Taulukko 5. Puhtaiden kuusikoiden testiaineisto.

Muuttuja	Keski-arvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Pituuskasvu: N = 689				
Läpimitan kasvu: N = 601				
i_{h5}	217	86	12	426
i_{d5}	2,97	1,19	0,40	6,73
h	3,02	1,72	0,15	8,53
d	3,28	1,63	1,30	8,50
H	4,06	1,40	2,70	6,29
H_{100}	28,8	2,4	25,0	35,0

N = havaintojen lukumäärä

i_{h5} = puunpituuden kasvu tulevalla 5-vuotisjaksoilla, cm $(5v)^{-1}$

i_{d5} = puun rinnankorkeusläpimitan kasvu tulevalla 5-vuotisjaksoilla, cm² $(5v)^{-1}$

h = puunpituus, m

d = puun läpimittarinnankorkeudella, cm

H = kuusi-jakson puiden poikkileikkauksen pinta-aloilla painotettu keskipituus, m

H_{100} = kuusi-jakson valtapituus 100 vuoden iällä, m (valtapituusboniteetti)

der 1934a, Mielikäinen 1985).

Kuusen kasvumallin testissä käytetyn, alusta lähtien vapaana kasvaneiden viljelykuusikoiden kasvuaineiston (taulukko 5) keruun ja mittauksen menetelmiä ovat kuvanneet Varmola (1993) sekä Gustavsen ym. (1988). Iisalmen pohjoispuoliset taimikot poistettiin aineistosta, samoin ne taimikot joiden valtapituus oli alle 2,7 m (laadinta-aineiston minimi).

Mallilla 1 (taulukko 3) ennustettiin testiaineiston jokaisen kuusen 5 vuoden jakson pituuskasvu ja sitä verrattiin mitattuun kasvuun. Mallin luotettavuutta tarkasteltiin seuraavien tunnusten avulla:

Ennusteen harha

$$b = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n$$

Ennusteen suhteellinen harha

$$b_s = \sum_{i=1}^n ((y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i) / n$$

Keskineliöpoikkeaman neliöjuuri

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / n \right)^{0,5}$$

Suhteellinen RMSE

$$RMSE_r = \left(\sum_{i=1}^n ((y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i)^2 / n \right)^{0,5}$$

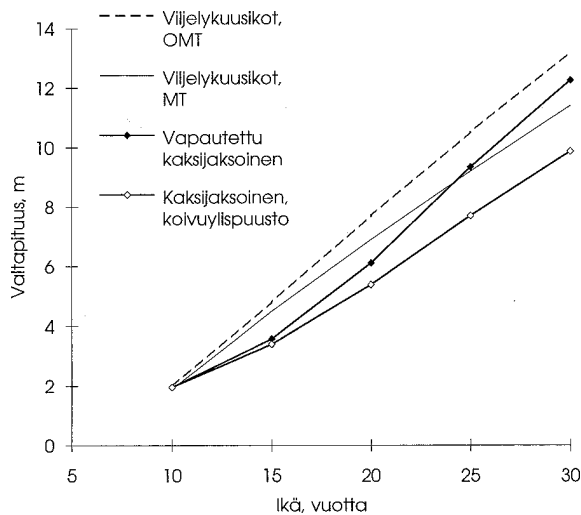
y_i = havaittu arvo

\hat{y}_i = ennustettu arvo

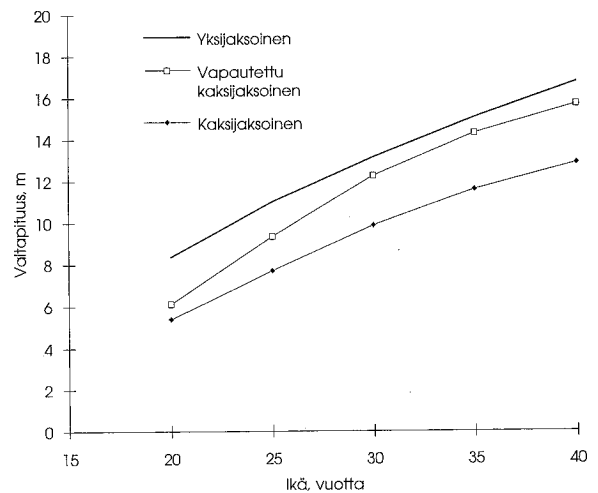
n = havaintojen lukumäärä

Malli 1 aliarvioi ilman ylispuustoa kasvaneiden kuusten pituuskasvua: i_{h5} :n ennusteen harha (b) oli 22,2 cm $(5v)^{-1}$, suhteellinen harha (b_s) 20,6 % ($RMSE = 77,58$ cm, $RMSE_r = 0,586$). Kasvupaikkojen puuntuotoskyky oli kummassakin aineistossa suunnilleen sama: mallien laadinta-aineiston keskimääräinen pituusboniteetti (H_{100}) oli 29,7, testiaineiston 28,8.

Kuusten läpimitat jakson alussa ja lopussa en-



Kuva 2. Mallilla 1 laskettu kuusen valtapituuden kehitysnuste koivuylispuuston alla (lähtötilanteessa $G_{ko} = 11,2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $N_{ko} = 685 \text{ kpl ha}^{-1}$) ja vapautettuna ($G_{ko} = 0$, $N_{ko} = 0$). Vertailu viljelykuusikoiden valtapituuskehitykseen (Cajander 1934a). OMT = Oxalis-Myrtillus -tyyppi, MT = Myrtillus -tyyppi (Cajander 1909).



Kuva 3. Kuusivaltapuiden pituuskehitys yksi- (Mielikäinen 1985) ja kaksijaksoisissa sekametsissä sekä koivun alla vapautetussa kuusikossa. Lähtötilanne ja laskentamenetelmä samat kuin kuvassa 2.

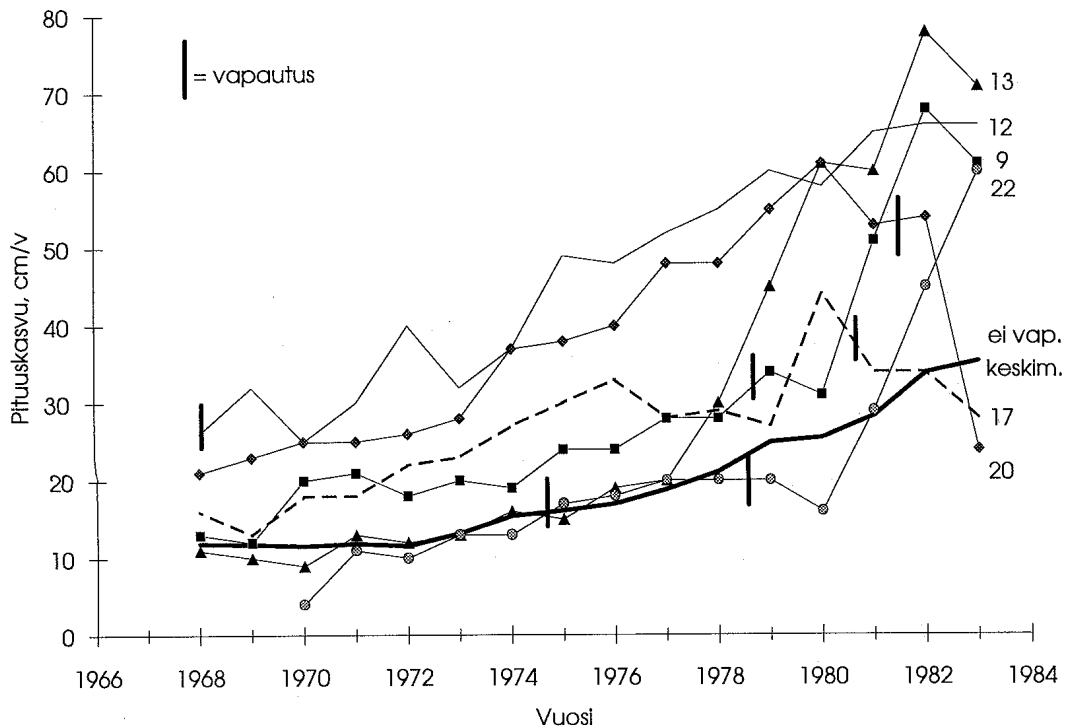
nustettiin pituuden perusteella mallilla 4. Niiden erotuksena laskettiin läpimitan kasvun ennuste. Sitä verrattiin mitattuun läpimitan kasvuun. Vain niitä taimia käytettiin, joiden pituus oli jakson alussa yli 1,3 m. Malli aliarvioi vapaana kasvaneiden kuusen läpimitan kasvua: i_{45} :n aliarvio (b) oli keskimäärin $0,86 \text{ cm (5v)}^{-1}$, eli 52,2 % (b_s) (RMSE = 1,579 cm, $\text{RMSE}_r = 1,034$).

Kuusen valtapituuskehitystä koivujakson alla ja 10 vuoden iässä vapautettuna verrattiin puhtaiden kuusikoiden kehityssarjojen mukaiseen kehitykseen (Cajander 1934a). Kuusen pituuskasvumallilla (malli 1 taulukossa 3) laskettiin kuusen keskimääräinen pituuskehitys, kun koivun pohjapinta-ala ja runkoluku olivat jakson alussa mallien laadinta-aineiston keskimääräiset $11,2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ja 685 kpl ha^{-1} (taulukko 2). Koivujakson (100 % rauduskoivua) pohjapinta-alan kehitys ennustettiin metsikkökohtaisella kasvumallilla (Mielikäinen 1985, yhtälö 59). Koivun runkoluku pidettiin vakiona. Kuusen lähtöpituus 10 vuoden iässä asetettiin Cajanderin (1934a) taulukkoarvon mukaiseksi ottamalla tämän tutkimuksen metsiköiden kasvupaikkajakauma huomioon (MT 40 %, $h = 1,96 \text{ m}$). Kuusen valtapituuden

suhde keskipituuteen pidettiin vakiona (tutkimusaineiston metsiköiden keskiarvo = 1,23). Samoin laskettiin kuusen pituuskehitys, kun koivu oli poistettu ($G_{ko} = 0$, $N_{ko} = 0$).

Koivuylispuustosta vapautetun kuusikon valtapituus kehittyi laskelmien mukaan ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla hitaammin kuin puhtaiden viljelykuusikoiden keskipituus (kuva 2). Vapautetun kuusikon mallilla laskettu valtapituuskehitys nopeutui seuraavilla jaksoilla, ja valtapituus vastasi tarkastelujakson lopussa puhtaiden viljelykuusikoiden valtapituutta vastaavalla kasvupaikkajakaumalla. Kuusen pituuskehitys oli koivun alla luonnollisesti hitaampi.

Edellä esitetyllä tavalla laskettua kuusen valtapituuskehitystä verrattiin myös Mielikäisen (1985) esittämään kuusen valtapituuskehitykseen yksijaksoisissa kuusi-koivu-sekametsissä 20 vuoden iästä lähtien (Mielikäisen malli 55 ja siihen liittyvä korjauskertoimen malli 56). Korjauskertoimen mallissa 56 on Mielikäisen (1985) julkaisussa painovirhe. Oikea malli, jota käytettiin sekä Mielikäisen (1985) tutkimustuloksia laskettaessa että tässä tutkimuksessa, on seuraava:



Kuva 4. Koivuyliapuista vapautettujen kuusten vuotuinen pituuskasvu metsiköittäin. Vertailukäyränä koivuyliapuiston alla kasvaneiden kuusten keskimääräinen pituuskasvu tutkimusaineistossa.

$$\ln(ihm / ihc) = -3,341 - 0,1931 \cdot \ln(h) + 1,072 \cdot \ln(H_{100})$$

ihm = kaatokoepuun todellinen pituuskasvu
ihc = yhtälöllä laskettu pituuskasvu

Yksijaksoisten kuusikoiden valtapituus 20 vuoden iällä laskettiin Mielikäisen yhtälöllä 7. Biologisen iän ja rinnankorkeusian erona käytettiin laskelmisissa 10 vuotta Mielikäisen (1985) taulukon 4 mukaisesti. Valtapituusboniteettina käytettiin kaksijaksoisten kuusikoiden keskiarvoa $H_{100} = 29,7$. Koivun alta vapautetut kuusivaltapuut olivat laskentajakson alussa lyhyempiä kuin yksijaksoisissa metsiköissä, mutta ne kasvoivat vertailujakson aikana suunnilleen yhtä nopeasti kuin yksijaksoisissa metsissä (kuva 3). Koivujakson alla kuuset kasvoivat luonnollisesti hitaammin.

Kuusen pituuskasvun malleissa ei ollut mukana selittävää muuttujaa, joka parantaisi kasvuennus-

Taulukko 6. Vapautettujen kuusikoiden testiaineistot.

Muuttuja	Keski-arvo	Keski-hajonta	Minimi	Maksimi
Ensimmäinen 5-vuotiskausi vapauttamisen jälkeen (N = 60)				
i_{45}	147	73	59	335
h	2,30	1,26	0,70	7,93
H	3,50	1,16	1,96	4,73
Vapauttamista edeltänyt 5-vuotiskausi (N = 78)				
h	3,42	2,19	0,80	10,70
i_{45}	228	90	67	450
H	4,69	1,83	2,78	7,75

N = havaintojen lukumäärä

i_{45} = puunpituuden kasvutulevalla 5-vuotiskaudella, cm (5v)⁻¹

h = puunpituus, m

H = kuusijakson puiden poikkileikkauksen pinta-aloilla painotettu keskipituus, m

tetta puun kilpailuaseman muuttuessa voimakkaasti. Malleilla ennustettuja pituuskasvuja verrattiin koivuylipuustosta vapautettujen kuusten pituuskasvuihin (taulukko 6). Näitä havaintoja ei ollut käytetty mallin laatimisaineiston osana.

Kuusten pituuskasvu säilyi mittausten mukaan ensimmäiset 2–3 kasvukautta vapauttamisen jälkeen ennallaan tai jopa taantui lievästi. Kasvu alkoi yleensä nopeutua kolmantena kasvukautena vapauttamisen jälkeen ja lisääntyi seuraavina 3–4 kas-

vukautena (kuva 4). Metsiköissä 9, 13 ja 22 oli käytettävissä 5 vuoden pituisen jakson kasvutiedot vapauttamisen jälkeen. Niiden koepuiden vapautusta seuranneen 5-vuotijakson pituuskasvua verrattiin mallilla 1 (taulukko 3) ennustettuun kasvuun. Malli yliarvioi pituuskasvua lievästi:

$$(b = -17,1 \text{ cm } (5v)^{-1}, bs = -8,03\%, \text{RMSE} = 55,82 \text{ cm}, \text{RMSE}_r = 0,29).$$

Taulukko 7. Puuston kehitys esimerkkimetsiköissä 15-vuotisen simulointijakson aikana.

Puusto-	Vks.	Koivun	Metsikkö 26			Metsikkö 30		
			hakkuu	Alku-	Loppu-	Kasvu	Alku-	Loppu-
tunnus			arvo	arvo	/vuosi	arvo	arvo	/vuosi
Kuusi								
H _{KU}	m	eih.	6,1	10,6	0,30	3,5	9,6	0,41
		50 %	6,1	12,8	0,45	3,5	11,3	0,52
		100 %	6,1	13,3	0,48	3,5	11,4	0,53
D _{KU}	cm	eih.	6,3	11,3	0,33	4,7	10,6	0,40
		50 %	6,3	14,2	0,53	4,7	13,0	0,55
		100 %	6,3	15,5	0,61	4,7	13,7	0,60
G _{KU}	m ² ha ⁻¹	eih.	2,1	7,7	0,37	1,4	8,2	0,46
		50 %	2,1	13,4	0,75	1,4	12,9	0,77
		100 %	2,1	16,2	0,94	1,4	14,5	0,87
V _{KU}	m ³ ha ⁻¹	eih.	7,6	42,7	2,3	3,6	41,6	2,5
		50 %	7,6	87,4	5,3	3,6	74,5	4,7
		100 %	7,6	108,6	6,7	3,6	83,5	5,3
Koivu								
H _{KO}	m	eih.	13,3	20,6	0,49	21,0	25,3	0,29
		50 %	13,9	20,8	0,45	22,0	26,2	0,28
D _{KO}	cm	eih.	15,4	19,6	0,28	28,3	30,8	0,17
		50 %	15,9	23,6	0,52	37,1	43,7	0,44
G _{KO}	m ² ha ⁻¹	eih.	16,5	27,9	0,76	19,3	24,6	0,35
		50 %	8,3	19,0	0,71	7,6	13,3	0,38
V _{KO}	m ³ ha ⁻¹	eih.	110	277	11,2	186	279	6,3
		50 %	56	187	8,7	92	145	3,5
V _{Ulkki}	m ³ ha ⁻¹	eih.	0	30	2,0	98	189	6,1
		50 %	0	89	5,9	83	136	3,5

Koivunhakkuu:

eih. = Koivujakso ei harvennettu eikä poistettu

50 % = Koivujakson pohjapinta-alasta poistettiin alaharvennuksessa 50 %

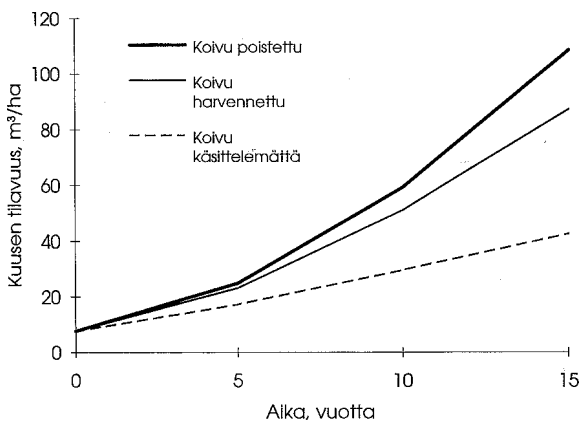
100 % = Koivujakso poistettiin kokonaan

4 Metsiköiden kehitys

Metsikköaineisto jaettiin kahteen osaan kuusen ja koivun ikäeron perusteella (biologisten keski-ikäen ero alle 5 vuotta tai vähintään 5 vuotta). Kummas-takin osasta valittiin tarkasteltavaksi yksi metsikkö, joka vastasi kaikilta metsikkötunnuksiltaan lähinnä ositteen keskiarvoja. Näin menetellen tulivat valituiksi metsiköt 26 (pieni ikäero) ja 30 (suuri ikäero).

Metsiköiden kehitystä simuloitiin malleilla 1–4, 6, 8 ja 9 kolmena vaihtoehtoisena käsittelynä, joissa koivujen pohjapinta-alasta poistettiin 0, 50 tai 100 %. Harvennuksessa (50 %:n poisto) pyrittiin jäljittelemään tukkipuun tuottamiseen tähtäävää alaharvennusta. Ensin poistettiin kaikki aritmeettista keskiläpimittaa pienemmät koivut. Jäljelle jääneistä koivuista poistettiin satunnaisesti niin monta, että pohjapinta-alaksi jäi 50 % lähtötasosta.

Puiden kokonaistilavuudet (rungon tilavuus maanpinnasta latvan huippuun) ja tukkiosuudet laskettiin Laasasenahon (1982) kahden tunnuksen polynomirunkokäyrillä. Pienten puiden tilavuudet laskettiin Ihalaisen laatimilla yhtälöillä (Snellman 1986). Koivun tukkiosuuden tilavuus laskettiin käyttäen tukkiosan vähimmäispituutena 3,1 m. Koska puita ei ollut apteerattu mittauksen yhteydessä, tuki-minimiläpimittana käytettiin 20 cm:ä käytän-

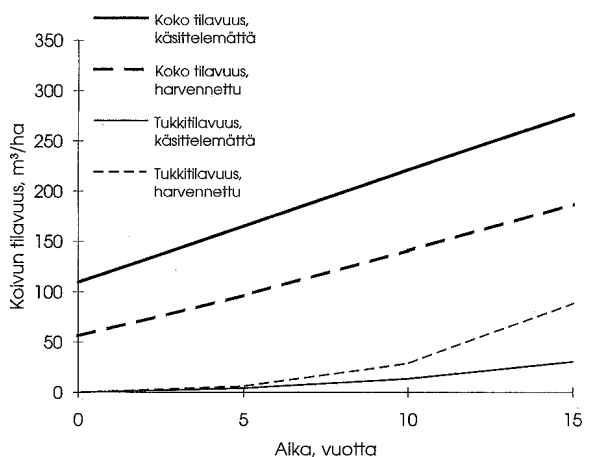


Kuva 5. Kuusen ennustettu tilavuuskehitys koivun alla sekä kokonaan tai osittain koivuylispuustosta vapautettuna 15 vuoden aikana. Koemetsikkö 26.

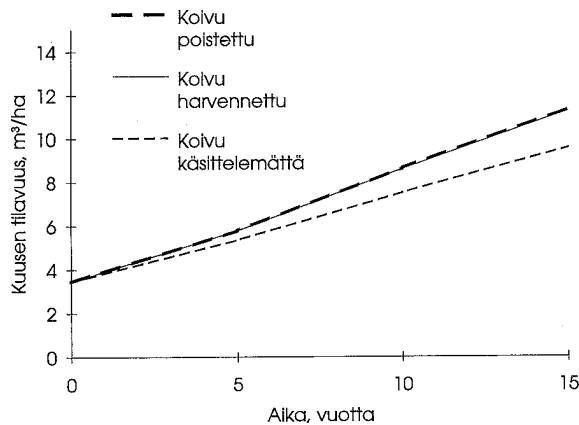
nössä tavallisen 18 cm:n sijasta. Tällä tavoin pyrittiin ottamaan huomioon tukkirunkojen vioista johtuvaa tukkiosuuden vähennystä (Heiskanen 1966, Kärkkäinen 1986).

Kolmen käsittelyvaihtoehdon mukaista puustojen kehitystä ennustettiin 15 vuotta eteenpäin 5 vuoden jaksoissa. Koivujakson poistaminen nopeutti laskelmien mukaan kuusen keskipituuden kehitystä 1,9–2,7 m (15v)⁻¹ ja tilavuuskasvua 42–66 m³ ha⁻¹ (15v)⁻¹ käsittelemättömään verrattuna (taulukko 7, kuvat 5–8). Koivujakson voimakas harventaminen lisäsi kuusikon kasvua lähes yhtä paljon kuin koivun poistaminen kokonaan. Lähes tasaikäisessä metsikössä 26 pieniläpimittaisen ja tiheän koivikon käsittely johti suurempaan kuusen kasvun lisäykseen kuin metsikössä 30, jonka koivujakso koostui harvalukuisista järeistä rungoista.

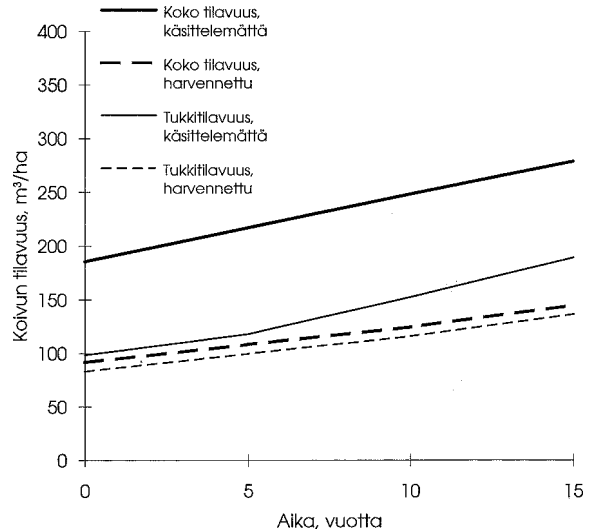
Koivujakson harventaminen pienensi koivun tilavuuskasvua, mutta nopeutti puuston järeytymistä käsittelemättömään vaihtoehtoon verrattuna (taulukko 7). Harvennus johti tukkipuun tuotoksen voimakkaaseen lisääntymiseen simulointijakson aikana metsikössä 26 (kuva 6). Metsikössä 30 harvennus sen sijaan pienensi tukkipuun tuotosta, koska tukkipuun osuus oli jo lähtötilanteessa suuri (kuva 8). Harvennetussa metsikössä 26 simulointijakson aikana (ilman harvennuspoistumaa) tuotetusta koivusta 68 % oli tukkipuuta, mutta harventamattomassa vain 18 %. Jos kummankin vaihtoehdon



Kuva 6. Koivuylispuuston ennustettu tilavuuskehitys harvennettuna ja harventamattomana 15 vuoden aikana. Koemetsikkö 26.



Kuva 7. Kuusen ennustettu tilavuuskehitys koivun alla sekä kokonaan tai osittain koivuylipuustosta vapautettuna 15 vuoden aikana. Koemetsikkö 30.



Kuva 8. Koivuylipuuston ennustettu tilavuuskehitys harvennettuna ja harventamattomana 15 vuoden aikana. Koemetsikkö 30.

metsiköitä kasvatettaisiin edelleen, tukkipuun osuus kasvaisi ilmeisesti hyvin voimakkaasti. Metsikössä 30 lähes kaikki simulointijakson aikana tuotettu koivu oli tukkipuuta kummassakin vaihtoehdossa.

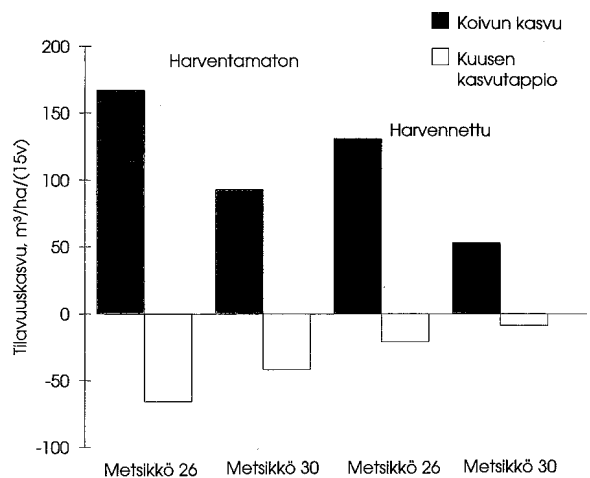
Täydellisen vapautuksen jälkeinen kuusen tilavuuskasvun lisääntyminen ei kummassakaan metsikössä korvannut koivun hakkuusta aiheutunutta kasvunmenetystä (kuva 9).

5 Tulosten tarkastelu

Tämä tutkimus perustuu tilapäiskoealoihin, jotka valittiin käytännön metsäammattilaisilta saatujen ilmoitusten perusteella. Tutkimusaineistoon sisältyi ikä- ja kokorakenteeltaan sekä tiheydeltään laajasti vaihtelevia koivikoita. Koivun alla kasvoi kaikissa metsiköissä kehityskelpoinen nuori kuusikko, joka oli useimmiten istutettu.

Koivun paksuuskasvu selvitettiin kairamalla. Aluspuustona kasvavat kuuset olivat pääosin niin pieniä, ettei niiden kasvua ollut mahdollista kairata. Kuusen pituuskasvut mitattiin joko maasta käsin tai kiiveten mittanauhalla. Koivun pituuskasvua ei mitattu, koska sitä ei voida määrittää luotetavasti puuta kaatamatta.

Mittausten perusteella laadittiin kuuselle ja koi-



Kuva 9. Koivun tilavuuskasvu ja koivuylipuuston kuuselle aiheuttama kasvutappio 15 vuoden simulointijakson aikana esimerkkimetsiköissä 26 ja 30. Koivujakso harvennettuna tai harventamatta.

vulle kasvumallit. Kuusen paksuuskasvun arvioimiseen laadittiin malli, joka ennustaa kuusen läpimittaa suhteessa puun piteuteen. Koivun pituuskasvumallina käytettiin Mielikäisen (1985) sekametsikkötutkimuksessa laadittua mallia.

Kasvupaikan puuntuotoskykyä kuvattiin koivun valtapituusboniteetilla. Osassa metsiköitä koivua oli saatettu aiemmin käsitellä harsinnan tapaisilla hakkuilla, minkä vuoksi pituusboniteetti saattaa aliarvioida kasvupaikan puuntuotoskykyä joissakin tapauksissa. Jos metsässä kasvoi sekä raudus- että hieskoivua, pituusboniteetti määritettiin sen koivulajin mukaan, jonka osuus valtapuustosta oli suurempi.

Kuusen pituusboniteetti, joka arvioitiin koivun boniteettiluokan perusteella, ei näyttänyt tässä tutkimusaineistossa vaikuttavan kuusten pituuskasvuun lainkaan. Kuusen mallit kuvaavat näin ollen kuusen pituuskasvua koemetsiköiden keskimääräisellä kasvupaikalla, joka vastasi käenkaali-mustikkatyyppeä (OMT, $H_{100} = 30$). Malleja ei ole syytä käyttää tästä selvästi poikkeavilla kasvupaikoilla tai maantieteellisillä alueilla.

Saadut tulokset osoittivat, että suurikokoiset ylispuukoivut hidastavat kuusen pituuskehitystä vähemmän kuin pienet, jos koivikoiden pohjapintalana mitattava tiheys on sama. Tiheässä kasvavien pienten koivujen alla kuusille jää vähemmän kasvutilaa (vrt. Oliver ja Larson 1990) ja valoa kuin runkoluvultaan harvemmassa, valoisassa koivikossa. Friesin (1974) mukaan koivuylispuusto piiskaa kuusten latvoja, jos puulajien ikäero on rinnankorkeudelta alle 10–15 vuotta.

Alikasvoskuusten pituuskasvumalli yliarvioi koivun alta vapautettujen kuusten pituuskasvua ensimmäisellä 5-vuotiskaudella vapauttamisen jälkeen. Toisaalta malli aliarvioi kasvua, kun vapauttamisesta on kulunut enemmän kuin viisi vuotta. Yli- ja aliarviot kumoavat osittain toisensa, mutta luotettavia arvioita niiden suuruudesta eri ajankohdina vapauttamisen jälkeen ei voida aineiston puuttuessa esittää. Mitä pidemmälle jaksolle kasvua ennustetaan, sitä suuremmaksi kasvaa epävarmuus. Esitetyillä pituuskasvumalleilla ei ole näin ollen syytä ennustaa koivikon alta vapautettujen kuusten kasvua 15 vuotta pidemmälle ajalle. Alusta lähtien vapaana kasvaneiden kuusten kasvun ennustamiseen mallit eivät sovellu.

Myös aiempien tutkimusten mukaan kuusen pituuskasvu ei lisääntynyt heti vapauttamisen jälkeen, vaan kasvun on todettu yleensä kiihtyvän vasta 3–5 vuoden kuluttua vapauttamisesta (Cajander 1934b, Skoklefeld 1967, Bergan 1971, Koistinen ja Valkonen 1993). Erikssonin (1976), Berganin (1987)

ja Thamin (1988) mukaan koivun alta vapautetut kuuset kasvavat elpymisjakson jälkeen nopeammin kuin vastaavan kokoiset, alusta lähtien vapaana kasvaneet kuuset. Koivuylispuusto ei näytä vaikuttavan ainoastaan kuusen senhetkiseen kasvunopeuteen, vaan muuttavan sen kehitysrytmiä pitkällä aikavälillä.

Kuusten paksuuskasvu laskettiin mallilla, joka ennustaa puun rinnankorkeusläpimittaa puun pituuden funktiona. Testien mukaan mallit soveltuivat käytettäväksi koivun alla kasvavien kuusten paksuuskehityksen ennustamiseen. Mallit aliarvioivat selvästi koivun alta vapautettujen kuusten rinnankorkeusläpimitan. Tämä on merkki siitä, että läpimitan kasvu reagoi harvennukseen tai ylispuuiden poistoon nopeammin ja voimakkaammin kuin pituuskasvu (Assmann 1961, Fries 1964, Andersson 1984). Vapautettujen kuusten paksuuskasvun elpymistä ylispuuiden poiston jälkeen voitaisiin kuvata luotettavammin paksuuskasvumallilla, joiden laatimiseksi ei kuitenkaan voitu hankkia riittävää aineistoa kairausta ajatellen liian pienikokoisista kuusista.

Tiheänä kasvava aluspuusto saattaa vaikuttaa myös ylempään puujakson kasvuun. Isomäen (1979) tutkimilla kestokoealoilla kuusialikasvos hidasti selvästi ylempään mäntyjakson kehitystä. Nyt tehdyn tutkimuksen aineistossa kuusikon tiheydellä ei ollut vaikutusta päällä kasvavan koivun kasvuun. Tiheys ei myöskään vaikuttanut kuusten pituuden ja läpimitan suhteeseen. Pienten kuusten keskinäinen kilpailu oli näin ollen merkityksetöntä koivun aiheuttamaan kilpailuun verrattuna.

Ylispuuston ja sen käsittelyn vaikutusta metsikön kehitykseen tarkasteltiin simuloimalla kahden esimerkkimetsikön kehitystä laadituilla kasvumalleilla 15 vuoden aikajakso. Metsiköiden käsittelyvaihtoehdot olivat koivujakson täydellinen poistaminen, voimakas alaharvennus sekä käsittelemättä jättäminen. Koivun tuotos oli laskelmien mukaan molemmissa ylispuuvaihtoehdoissa (lepo tai harvennus) korkeampi kuin kuuselle ylispuista aiheutunut kasvutappio. Nuoren ylispuukoivikon harventaminen lisäsi sekä koivutukkipuun tuotosta että kuusen kasvua. Vanhan, järeän koivikon harventaminen sen sijaan vähensi koivun tilavuuskasvua ja tukkipuun tuotosta, eikä kuusen kasvukaan lisääntynyt merkittävästi.

Koivusta kokonaan vapautetun kuusikon 15 vuoden tilavuuskasvuarviot olivat laskelmissa kasvumallien puutteellisuuden vuoksi arviolta 10–30 % todellista pienempiä. Tällä ei ole mallien sovellusalueella kuitenkaan käytännön merkitystä, koska kuusen tilavuuskasvu on vielä vähäinen. Taimikkovaiheen tilavuuskasvutappiota tärkeämpi näkökohta on metsikön kasvatuksen kiertoajan piteneminen, mikäli kuusen kasvatuksessa tähdätään yhtä suureen järeyteen ja kuusikon kokonaistuotokseen kuin kasvatettaessa kuusikkoa alusta lähtien vapaana. Arviota kiertoajan pitenemisestä ei ole tämän tutkimuksen perusteella kuitenkaan mahdollista antaa.

Friesin (1974) laskelmien mukaan kaksijaksoisen kuusi-koivusekametsikön tuotos kiertoaikana oli sama mutta arvokasvu pienempi kuin puhtaan kuusikon. Syynä tähän oli luontaisesti syntyneiden, hoitamattomien koivikoiden huono laatukehitys. Vanerikoivulla ei tuolloin ollut käyttöä Ruotsissa, joten vaneripuun kasvatuksen vaihtoehto ei sisällynyt mukaan laskelmiin.

Hanneliuksen (1978) mukaan verhopuuston kasvattaminen viljelykuusikon päällä ei kannata, koska koivun rahallinen tuotto ei hänen tutkimuksensa mukaan korvaa kuuselle aiheutunutta kasvutappiota. Verhopuuston päätarkoitus mainitun tutkimuksen kenttäkokeissa oli hallan torjunta eikä vaneripuun tuottaminen. Koivuylispuita kasvatettiin koeksessa kuusen päällä vain 16 vuoden ajan. Myös puutavaralajien hintasuhteet olivat tuolloin järeän koivun kasvattamisen kannalta epäedullisemmat kuin nykyisin. Koivutukin, koivukuidun, kuusitukin ja kuusikuidun hintasuhteet olivat Hanneliuksen tutkimuksessa 100:44:89:51 (Itä-Hämeen piirimetsälautakunnan keskimääräiset kantohinnat 1974–75), kun vastaavat hintasuhteet vuonna 1992 olivat 100:33:76:43 (Metsätalastollinen vuosikirja 1992).

Thamin (1988) tutkimuksessa kaksijaksoisen kuusi-koivusekametsikön suurin tuotos saavutettiin silloin, kun kuusentaimikon päällä kasvatettiin 800 koivua hehtaarilla 20–30 ensimmäisen vuoden ajan. Koivun korkea tuotto ja kuusen kiihtyvä kasvu vapauttamisen jälkeen kompensoivat verhopuuston aiheuttaman kuusen kasvun hidastumisen.

Tässä tutkimusraportissa esitetyjä malleja voidaan käyttää Etelä-Suomen tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla kasvavien kaksijaksoisten kuusi-koivusekametsiköiden kehityksen ennustamiseen. Laskelmissa koivujakson puuston ikä, koko ja tiheys voivat vaihdella melkoisesti. Kuusen osalta puiden kokovaihtelu tutkimusaineistossa jäi mallien ennakoitua käyttöaluetta ajatellen liian pieneksi. Kuusen valtapituus saa laskelmien alussa olla korkeintaan 9 m, keskiläpimitta enintään 7 cm ja puuston tiheys korkeintaan 3000 kpl hehtaarilla. Vapautetun kuusikon kehitystä ei ole syytä ennustaa 15 vuotta pidemmille ajanjaksoille. Viimeisen 5-vuotisjakson kasvuarviot ovat silloinkin jo epävarmoja. Mallit aliarvioivat kuusen läpimitan kasvua, jos koivua on harvennettu tai se on poistettu kokonaan.

Jotta kaksijaksoisten kuusi-koivusekametsiköiden kehityksen ennustamiseksi voitaisiin laatia yleisemmin sovellettavat kasvumallit, olisi lisäaineistoa hankittava varttuneemmista kuusikoista. Vapautusreaktion mallittamista varten aineistoon tulisi sisältyä riittävästi metsiköitä, jotka on vapautettu vähintään 5–10 vuotta ennen mittausta. Vapautetun kuusikon myöhemmän kehityksen ennustamiseen voitaneen myös soveltaa tekeillä olevia puhtaiden viljelymetsiköiden kasvumalleja.

Tutkimustulokset osoittivat, että nuoren kuusikon päällä on mahdollista kasvattaa harvahko koivusukupolvi vaneripuuksi saakka vaarantamatta kuusikon kehitystä. Ylispuukoivun tilavuuskasvu 15 vuodessa oli 2–3-kertainen kuuselle näin aiheutettuun kasvutappioon verrattuna. Kaksijaksoisen metsikön kasvatuksen taloudellisesta kannattavuudesta voidaan tehdä luotettavia päätelmiä vasta, kun pitkän ajan vertailu yksijaksoisten kuusikoiden, koivikoiden ja sekametsiköiden kehitykseen on tehty ja kaksijaksoisille metsiköille on laadittu optimaaliset kasvatusohjelmat.

Kiitokset

MMT Taneli Kolström, MMK Pentti Niemistö ja MML Martti Varmola tekivät käsikirjoitukseen hyödyllisiä parannusehdotuksia. Metsähallitus, tutkimusalueen metsälautakunnat, metsänhoitoyhdistykset sekä metsänomistajat avustivat tutkimusaineiston hankinnassa. Kirjoittajat esittävät parhaat kii-

toksensa kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille.

Kirjallisuus

- Agestam, E. 1985. En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Summary: A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 15. 76 s + 74 liitesivua.
- Andersson, S-O. 1984. Om lövröjning i plant- och ungdomskogar. Sveriges Skogsvårdsförbunds tidskrift 82(3-4): 69-95.
- Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. München. 490 s.
- Bergan, J. 1971. Skjermforyngelse av gran samenlignet med plantning i Grane i Nordland. Summary: Natural Norway spruce regeneration under shelterwood compared with plantations at Grane in Nordland. Meddelser fra det Norske skogforsöksvesen 28(104): 194-211.
- Bergan, J. 1987. Virkningen av björkeskjerm på etablering og vekst hos bartraer utplantet i Nord-Norge. Summary: The influence of birch shelter trees on establishment and growth of conifers planted in North Norway. Norsk Institutt for Skogforskning, Rapport 10. 47 s.
- Cajander, A. 1909. Über Waldtypen. Acta Forestalia Fennica 1. 175 s.
- Cajander, E. 1934a. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelykskuiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(3). 101 s.
- 1934b. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(5). 59 p.
- Clutter, J., Fortson, J., Pienaar, L., Brister, G. & Bailey, R. 1983. Timber management. A quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 333 s.
- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway spruce in Sweden. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och uppsatser 41. 291 s.
- 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. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig herbologi, Rapport 1. 64 s.
- Fries, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. Summary: Yield of *Betula verrucosa* Ehrh. in Middle Sweden and southern North Sweden. Studia Forestalia Suecica 14. 303 s.
- 1974. Björk och gran. I: Framtidsskogen – skogsproduktionens mål och medel. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion, Rapporter och uppsatser 33: 30-37.
- Frivold, L. 1982. Bestandsstruktur og produksjon i blandingskog av björk (*Betula verrucosa* Ehrh.) og gran (*Picea abies* (L) Karst.) i sydost-Norge. Summary: Stand structure and yield of mixed stands of birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) and spruce (*Picea abies* (L) Karst.) in southeast Norway. Meldinger fra Norges Lantbrukshøgskole 90(3). 108 s.
- Gustavsen, H., Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantaja 292. 212 s.
- & Mielikäinen, K. 1984. Talouskoivikoiden kasvu- ja tuotokasvun paikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia Forestalia 597. 20 s.
- Hanneli, S. 1978. Istutuskuusikon tiheys – tuotoksen ja edullisuuden tarkastelu. Summary: Initial tree spacing in Norway spruce timber growing – an appraisal of yield and profitability. Folia Forestalia 359. 51 s.
- Heikinheimo, O. 1941. Metsänistutusmenetelmistä. Referat: Versuche mit waldbaulichen Pflanzmethoden. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 29(4). 63 s.
- Heiskanen, V. 1966. Tutkimuksia koivujen vikaisuudesta, niiden vaikutuksesta sorvaustulokseen sekä niiden huomioonottamisesta laatuluokituksessa. Summary: Studies on the defects of birch, their influence on the quality and quantity of rotary cut veneer, and their consideration in veneer birch grading. Acta Forestalia Fennica 80(3). 128 s.
- Hägg, A. 1991. Björken ökar tallens värde. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 2: 52-57.
- Isomäki, A. 1979. Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon. Summary: The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand. Folia Forestalia 392. 13 s.
- Jonsson, B. 1962. Om barrblandskogens volymproduktion. Summary: Yield of mixed coniferous forests. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 50(8). 143 s.

- Kangas, A., Kangas, J., Korhonen, K., Maltamo, M. & Päivinen, R. 1990. Metsää kuvaavat mallit. *Silva Carelica* 17. 143 s.
- Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatuksavatus. Summary: Management of Scots pine for high quality timber. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. Tiivistelmä: Mallit kuusen ja männyn vapautettujen alikasvostaimien pituuskehitykselle Etelä-Suomessa. *Silva Fennica* 27(3): 179–194.
- Kuusela, K. 1990. The dynamics of boreal coniferous forests. *SITRA* 112. 172 s.
- Kärkkäinen, M. 1986. Koivuvaneritukkien ja -runkojen arvosuhteet. Abstract: Value relations of birch veneer logs and stems. *Silva Fennica* 20(1): 45–57.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Laiho, O. 1983. Kuusen luontaisesta uudistumisesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 94: 32–41.
- Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltriger Mischbestände aus Kiefer und Birke. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 15. 243 s.
- Leikola, M. 1976. Verhopuuston tiheyden vaikutus metsikön säteilyoloihin. Summary: Effect of the density of the nurse crop on solar radiation inside the stand. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 90(1). 33 s.
- & Rikala, R. 1983. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature conditions and the development of Norway spruce seedlings. *Folia Forestalia* 559. 33 s.
- Lundmark, J.-E. 1988. Skogsmarkens ekologi. Standortsanpassat skogsbruk. Del 2 – Tillämpning. Skogsstyrelsen, Jönköping. 319 s.
- Metsänhoitosuositukset. 1994. Metsäkeskus Tapio. 83 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1992. Skogsstatistik årsbok 1992. Yearbook of forest statistics 1992. Suomen Virallinen Tilasto. Maa- ja metsätalous 1993: 5. 317 s.
- Metsän uudistaminen. 1993. Tehdaspuu Oy. Kouvola. 59 s.
- Metsätalous ja ympäristö. 1994. Metsätalouden ympäristöohjelmatyöryhmän mietintö. Maa- ja metsätalousministeriö, metsäpolitiikan osasto. Työryhmän mietintö 1994: 3. 100 s.
- Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(3). 82 s.
- 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 133. 79 s.
- Mikola, P. 1985. The effect of tree species on the biological properties of forest soil. *Naturvårdsverket, Rapport 3017*. 27 s.
- Oliver, C. & Larson, B. 1990. Forest stand dynamics. McGraw-Hill, New York. 467 s.
- Pukkala, T. 1981. Nuoren viljelysekametsikön kehitys. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. 86 s.
- , Vettenranta, J., Kolström, T. & Miina, J. 1994. Productivity of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 143–153.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. *Biometria*. 2. korjattu painos. Helsinki. 569 s.
- Savolainen, R. & Kellomäki, S. 1981. Metsän maisemallinen arvostus. Summary: Scenic value of forest landscape. *Acta Forestalia Fennica* 170. 74 s.
- Skoklefald, S. 1967. Fristilling av naturlig gjenvekst av gran. Summary: Release of natural Norway spruce regeneration. *Meddelser fra det Norske skogforsökvesen* 23(85): 385–409.
- Snellman, C. 1986. Muutoksia CRK-systeemiin 5.2.1986. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. Moniste. 6 s.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 28 s. + 11 liitesivua.
- Tham, Å. 1988. Yield prediction after heavy thinning of birch in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.). Sammanfattning: Produktionsförutsägelser vid kraftiga gallringar av björk i blandbestånd av gran (*Picea abies* (L.) Karst.) och björk (*Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.). Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research. Report 23.
- Thesslund, O. 1975. Kookkaan kuusitaimiston vaurioitumisesta ylispuiden poistossa. Tutkimuslause 43/75. Tehdaspuu Oy. Moniste.
- Tiihonen, P. 1984. Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Sum-

- ary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 588. 8 s.
- 1985. Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 615. 8 s.
- Valsta, L. 1988. Optimizing species composition in mixed, even-aged stands. Julkaisussa: Ek, A., Shifley, S. & Burk, T (toim.). Forest growth modelling and prediction. Volume 2. Proceedings of the IUFRO Conference, August 23–27, 1987, Minneapolis, Minnesota. USDA Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report NC-120: 913–920.
- Varmola, M. 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. *Folia Forestalia* 813. 43 s.
- Vähäpesola, J. 1989. Kuusi-rauduskoivusekametsikön taloudellisesti edullisin hakkuuohjelma. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 87 s. + 26 liitesivua.

55 viitettä