

FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

782

Pentti Niemistö

HIESKOIVIKOIDEN KASVATUSTIHEYS JA HARVENNUSMALLIT POHJOIS-
SUOMEN TURVEMAILLA

Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on
peatlands in northern Finland

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

Pentti Niemistö

HIESKOIVIKOIDEN KASVATUSTIHEYDÄ JA HARVENNUSMALLIT
POHJOIS-SUOMEN TURVEMAILLA

Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands
on peatlands in northern Finland

Approved on 2.12.1991

SISÄLLYS

1. Johdanto	3
2. Aineisto	4
21. Koemetsiköt	4
22. Mittaukset ja aineiston käsittely	4
3. Hieskoivikon pituuskehitys	6
31. Valtapituus	6
32. Keskipituus	7
4. Tilavuuskasvu ja käyttöpuun tuotos	9
41. Vuotuinen tilavuuskasvu ja käyttöpuun lisäys	9
42. Kokonaistuotos puutavaralajeittain	11
43. Hieskoivun järeytyminen	14
44. Puiden väliset kasvuerot	15
5. Latvuksen kehitys ja sen vaikutus puun kasvuun	16
51. Elävän latvuksen pituus	16
52. Latvusosuuden vaikutus puun kasvuun	18
6. Kestokokeiden ja kasvumallien vertailu	20
61. Hieskoivikoiden tilavuuskasvumallit	20
62. Mallien osuvuus harvennetuilla koealoilla	20
63. Ravinnetekijöiden vaikutus tilavuuskasvuun	22
7. Hieskoivikon harvennusmallit	24
71. Harvennusmallien perusteet	24
72. Harvennusmallit	25
8. Tulosten tarkastelu	29
Kirjallisuus — References	30
Summary	31
Liitteet — Appendices	34

Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla. Summary: Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland. *Folia Forestalia* 782. 36 p.

Kahdeksan kestokokeen (115 koealan) avulla selvitettiin tiheyden vaikutusta hieskoivikon kasvuun, käyttöpuun tuotokseen sekä latvusten kehitykseen ja luonnonpoistumaan Pohjois-Suomessa. Harvennuskokeissa oli useimmiten viisi voimakkuudeltaan erilaista harvennusta 2–3 toistona. Tutkimusjakso oli 10–15 vuotta ensiharvennuksesta. Tulosten perusteella laadittiin kaksi harvennusmallia, joista toinen perustuu puuston pohjapinta-alaan ja toinen runkolukuun.

Tukkipuun tuotos jäi turvemaan hieskoivikossa vähäiseksi. Kuitupuuta tuotettaessa kannattaa kasvatustiheytenä käyttää ensiharvennukseen saakka 2000 kpl/ha ja harventaa koivikko 15 metrin valtapituudella tiheyteen 900 kpl/ha. Harvennuskertymä on tällöin noin 30 m³/ha. Toista harvennusta ei yleensä tarvita. Pieniläpimittaista puuta voidaan tuottaa runsaasti alkutiheydellä 4000–5000 kpl/ha, mutta tällöin tarvitaan kaksi harvennusta 12 ja 16 metrin valtapituuksilla. Muutoin puiden kasvukyky alenee latvusten liiallisen supistumisen seurauksena ja luonnonpoistuma lisääntyy.

Eight permanent experiments (115 sample plots) were used to determine the effects of density on the growth and commercial timber production, crown development and self-thinning of *Betula pubescens* stands. Five thinning intensities, with 2–3 replications, were used in most of the thinning experiments. The study period was 10–15 years after the first thinning. The results were used to construct two thinning models, one based on stand basal area and the other on stem number.

The production of saw timber in *B. pubescens* stands growing on peatlands was low. When the aim is to produce pulpwood, the optimum density is 2000 stems/ha up to the first thinning at a dominant height of 15 m. The density after this first thinning is 900 stems/ha and thinning yield will be about 30 m³/ha. A second thinning is usually not needed. Small-diameter timber can be produced with an initial density of 4000–5000 stems/ha, but in such a case thinnings are required at dominant heights of 12 m and 16 m. Otherwise the crown ratio will fall with a subsequent decrease in the growth capacity of the trees and an increase in self-thinning.

Keywords: *Betula pubescens*, thinning model, growth, yield, crown ratio.
FDC 176.1 *Betula pubescens* + 56 + 241

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Station, SF-91500 Muhos, Finland.

Symbolit, liite 3, s. 36 — *Symbols, Appendix 3, see page 36*

ISBN 951-40-1185-6
ISSN 0015-5543

Tampere 1991. Tammer-Paino Oy

1. Johdanto

Hieskoivun käyttö metsätaloudessa on lisääntynyt 1980-luvun aikana. Syynä koivukuitupuun teollisen kysynnän nousuun on koivuselluloosan sopivuus hienopaperien raaka-aineeksi. Myös koivukuitupuun hinta on noussut, mutta kysyntä heilahtelee edelleen voimakkaasti suhdanteiden mukana.

Toinen syy hieskoivun maineen paranemiseen on sen menestyminen ojitetuilla turvemaidella, joille se syntyy usein luontaisesti ja on etenkin viljavilla suotyypeillä turvallinen ja tuottoisa puulaji. Turvemaiden hieskoivikoita on Suomessa eniten Pohjanmaalla sekä Lapin eteläosissa. Valtakunnan metsien 7. inventoinnin mukaan oli näillä alueilla lehtipuuvaltaisia metsiä 1980-luvun alussa 0,65 miljoonaa hehtaaria, joista valtaosa turvemaan hieskoivikoita (Kuusela & Salminen 1983 ja Kuusela, Mattila & Salminen 1986).

Koko maan hieskoivusta (185 milj. m³) noin 45 % kasvoi lehtipuuvaltaisissa metsissä ja loput sekapuustona havupuuvaltaisissa metsissä. Pohjanmaalla vastaava osuus oli 60 %. Metsämaan pinta-alasta lehtipuuvaltaisia metsiä oli Pohjanmaalla yli 10 % ja Lapissa 5 %. Noin puolet niistä luokiteltiin kehityskelpoisiksi kasvatusmetsiksi. Valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä esitettiin lehtipuuvaltaiten metsien harvennustarpeeksi Pohjanmaalla noin 8000 ha/v ja koko maassa 28 500 ha/v. Koivun arvostuksen lisääntyminen ja havupuiden uudistamisen ongelmat ovat vähentäneet vajaatuottoisiksi katsottavien koivikoiden määrää, joten todellinen harvennustarve on esitettyä suurempi.

Turvemaan hieskoivikon kasvattamista on selvitetty aikaisemmin Keltikankaan ja Seppälän (1977), Saramäen (1977 ja 1981) sekä Fermin (1990) tutkimuksissa. Niiden lisäksi Koiviston (1957) sekä Gustavsenin ja Mielikäisen (1984) tutkimuksissa on selvitetty sekä hies- että rauduskoivun kasvua Etelä-Suomen kivennäismail-

la. Nyt esillä olevan tutkimuksen aineisto koostuu edellisistä poiketen kestokokeista, joiden käsittely on kontrolloitu ja mittaukset toistuneet viiden vuoden välein.

Käytännön metsätaloudessa hieskoivikoissa on käytetty samoja harvennusohjeita kuin rauduskoivikoissa, koska tähänastiset tutkimustulokset eivät ole riittäneet erillisten harvennusmallien laatimiseen. Hies- ja rauduskoivun kasvu- paikkavaatimukset, kuten myös metsikön syntytapa ja taimivaiheen tiheys ovat kuitenkin erilaiset. Tämän tutkimuksen väliraporteissa (Niemi 1987 ja 1988) sekä Saramäen (1981), Moilasen (1985) ja Fermin (1983, 1989 ja 1990) tutkimuksissa on etenkin nuorille hieskoivikoille suositeltu selvästi suurempaa kasvatustiheyttä kuin vastaaville rauduskoivikoille.

Tässä tutkimuksessa esitetään Pohjois-Suomen turvemaidelle 1970-luvun puolivälissä perustettujen seitsemän harvennuskokeen tähänastiset tulokset. Tavoitteena on selvittää kasvatustiheyden vaikutus hieskoivikon kasvuun, käyttöpuun tuotokseen ja latvusten kehitykseen. Tältä pohjalta on laadittu laskelmia eri harvennusohjelmien edullisuudesta ja esitetään hieskoivikon harvennusmallit turvemaidelle.

Harvennuskokeiden perustamisesta ja ylläpidosta vastasivat alkuvaiheessa tutkijat Matti Oikarinen, Jussi Saramäki ja Pentti Roiko-Jokela. Aineiston käsittelyyn ja peruslaskentaan osallistui tutkimusvirkillijä Eero Poutiainen. Yhdessä metsätalousinsinööri Kari Alatalon kanssa hän vastasi myös tutkimukseen liittyvistä maastotöistä. Lisäksi kiitoksen ansaitsevat käsikirjoituksen lukeneet ja siihen vartenotettavia kommentteja tehneet professori Kari Mielikäinen ja tutkimusaseman johtajat Ari Ferm ja Jussi Saramäki sekä tutkija Mikko Moilanen. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professori Yrjö Vuokila ja tutkija Risto Ojansuu. Kiitokset heille kaikille tämän tutkimuksen edistämiseksi tehdystä työstä.

2. Aineisto

21. Koemetsiköt

Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen ja Rovaniemen tutkimusasemien toimesta perustettiin 1970-luvun puolivälissä yhteensä seitsemän hieskoivun harvennuskoetta turvemaille. Kokeista kaksi sijaitsee Rovaniemen ympäristössä ja loput Pohjois-Pohjanmaalla. Metsiköiden yleistiedot on esitetty ikäjärjestyksessä taulukossa 1. Vertailun vuoksi aineistoon on otettu mukaan kivennäismaan paloalueelle luontaisesti syntynyt rauduskoivikko.

Hieskoivikot sijaitsevat ohutturpeisilla ojitetuilla soilla, jotka ovat ravinteisuudeltaan ruohoisia tai suursaraisia kasvupaikkoja. Yhtä metsikköä (nro 5) lukuunottamatta turvekerroksen vahvuus on keskimäärin alle 0,5 metrin. Koivikot ovat luontaisesti syntyneitä ja tasaikäisiä. Harvennuskokeita perustettaessa nuorin metsikkö oli 22-vuotias. Kärsämäellä sijaitseva vanhin koivikko (63 v.) on kasvanut hitaasti ennen tehokasta ojitusta, joten sen biologista ikää ei voida verrata suoraan muihin koemetsiköihin. Koe 6 Haapavedellä perustettiin alunperin lannoitus- ja harvennuskokeeksi (Oikarinen & Pyykkönen 1981). Koska lannoituksen ei havaittu vaikuttaneen puuston kasvun, koe muutettiin pelkäksi harvennuskokeeksi siten, että kaikki lannoituskäsittelyt säilyvät tasapainoisesti eri harvennustasoille.

Harvennusvoimakkuudet määritettiin kasvamaan jätettävän runkoluvun perusteella. Harvennusvaihtoehtoja on useimmiten viisi. Alle 40-vuotiaissa koivikoissa runkoluku oli ennen harvennusta 3300–9000 kpl/ha. Van-

hemmissä metsiköissä puustoa oli 2000–2600 kpl/ha. Kokeesta 5 puuttuvat toistot.

Koejärjestelyt käyvät ilmi taulukosta 2, jossa on esitetty jäävän ja poistetun puuston tärkeimmät tunnuksat harvennuksen jälkeen. Valitettavasti runkolukuun perustuvalla harvennuksella ei ole päädytty kaikissa tapauksissa johdonmukaisiin puuston tilavuuseroihin. Eryteisesti tämä ongelma haittaa kokeiden 4 ja 6 tulosten tulkintaa.

Koealojen tavoitepinta-ala oli 1000 m², mutta ojen vaikutuksen tasaamiseksi se vaihtelee 100 m² suuntaan tai toiseen. Kokeissa 2 ja 3 koealojen pinta-ala oli 1250 m². Käsitteily arvottiin vapaasti lukuunottamatta kokeita 1 ja 2, joissa arvonta tehtiin lohkoittain. Kunkin koealan ympärille jätettiin vähintään 5 metriä leveä vaippavyöhyke, jolla puustoa käsiteltiin samalla tavalla kuin koealalla. Kokeessa 6 koealat peittävät koko saran ojaista ojaan, mutta vaippa jää sielläkin puuttumaan vain yhdeltä sivulta.

22. Mittaukset ja aineiston käsittely

Kaikki kokeet on mitattu kolmesti keskimäärin viiden vuoden välein. Kokeet 6 ja 8 on mitattu jo neljännen kerran. Taulukossa 3 on esitetty koivikoiden valtapituuudet kunkin mittauksen yhteydessä. Nuorin hieskoivikko harvennettiin ensimmäisen kerran alle 7 metrin ja van-

Taulukko 1. Harvennuskokeiden yleistietoja ikäjärjestyksessä.
Table 1. The thinning experiments in order of age.

Koe	Paikkakunta	Yhtenäiskoord.		Korkeus meren	Lämpösumma	Kasvu-	Elop. maa-	Ojitus-	Puuston ikä ensi-	
Experi-	Location	Pohj.	Itä	pinnasta	Effective	paikka	lajin paks.	vuosi	Age at first	harvennuksessa, a
ment		North.	East	Elevation above	temperature	Site	Peat	Drainage	Age at first	T _b
		lat.	long.	sea level	sum	type*	thickness	year	thinning, a	T _{1,3}
				m	d.d.		cm			
Hieskoivu — <i>Betula pubescens</i>										
1	Rovaniemi	7358	492	230	820	MKmu	31±17	1968, -82	22	13
2	Oulu	7219	427	10	1020	Rhtkg	24±5		25	19
3	Liminka	7205	425	10	1042	Ptkg-Mtkg	8±2	1962	31	24
4	Pyhäjärvi	7072	434	160	1014	RhSNmu	38±7	1974	34	28
5	Muurola	7362	418	90	930	Rhtkg	>80	1965	41	35
6	Haapavesi	7111	412	130	998	Rhtkg	52±13	1936, -74	44	35
7	Kärsämäki	7105	448	120	1048	Rhtkg	48±14	1974	63	57
Rauduskoivu — <i>Betula pendula</i>										
8	Ylikiiminki	7219	471	90	978	VMT**	5	—	38	32

* According to Heikurainen & Pakarinen 1982

** According to Cajander (1909)

Taulukko 2. Koemetsiköiden puusto harvennuksen jälkeen sekä hakkuupoistuma.
Table 2. Tree stands after thinnings and the removal.

Koe Experi- ment	Har- vennus Thinning	Koe- aloja Plots	N kpl/ha stems/ha	Puusto harvennuksen jälkeen Tree stand after thinning			V m ³ /ha s ¹⁾	Hakkuupoistuma Removal		Harven- nusaste Thinning intensity % ²⁾	
				D cm	G m ² /ha	\bar{x}		Tilavuus Volume m ³ /ha	Käyttö- puu-% Commercial timber-%		
1	I	3	700	6,2	1,7	5,8	1,3	39,8		87	
		3	1200	6,4	3,1	10,1	1,9	35,5		77	
		3	2300	6,5	6,0	19,7	2,6	25,9		56	
		3	3000	6,2	6,6	21,9	1,9	23,7		51	
		3	6700	5,8	13,6	45,6	20,8	—		—	
2	I	2	1000	7,8	4,2	20,9	11,5	51,9	14	74	
		2	1500	8,2	6,4	29,9	9,0	36,3	10	58	
		2	2000	7,1	6,4	28,7	2,0	37,7	7	59	
		2	2500	7,9	9,6	46,8	2,4	35,4	20	46	
		2	5700	7,5	15,3	68,0	8,0	—	—	—	
3	I	3	1000	7,9	4,1	19,1	3,8	47,3	42	70	
		3	1500	7,9	6,0	27,4	7,6	35,6	40	56	
		3	2000	7,3	7,1	31,5	8,5	31,2	52	47	
		3	2500	7,8	9,3	43,1	6,4	34,6	40	43	
		4	5400	6,5	13,7	58,6	12,7	6,7 ³⁾	—	8	
4	I	3	850	11,2	7,0	33,7	11,4	48,4	47	61	
		3	1600	11,7	14,2	75,2	14,9	26,2	48	30	
		3	3400	9,7	15,3	70,2	7,8	—	—	—	
5	I	1	1600	13,0	7,6	43,3	—	70,6		68	
		1	1000	10,2	7,7	37,0	—	77,0		68	
		1	2000	10,4	15,8	81,9	—	32,0		34	
		1	3000	9,8	17,6	87,5	—	26,5		26	
		1	5600	8,3	23,9	114,0	—	—		—	
6	I	4	700	14,6	10,5	70,0	16,1	43,4	77	38	
		4	900	13,9	11,5	72,1	4,9	35,1	74	32	
		4	1050	13,5	12,4	70,6	6,4	18,8	68	21	
		4	1300	12,0	12,4	70,6	6,4	18,8	57	21	
		5	1450	13,3	15,3	90,1	6,3	2,6	54	3	
		5	1750	12,4	16,1	92,9	10,3	3,0	43	3	
		4	2050	12,3	18,3	102,3	10,1	—	—	—	
		II	7	460	18,1	10,8	81,0	4,5	47,9	95	39
	5	700	16,7	13,9	99,7	22,3	37,8	87	22		
	5	940	16,7	17,4	126,4	15,2	33,9	77	13		
	6	1330	15,3	19,8	134,2	13,7	—	—	1		
	7	1750	14,7	22,9	155,3	15,6	—	—	—		
	7	I	1	400	14,9	6,7	44,2	—	52,9	90	57
			4	650	13,8	8,2	53,7	8,0	39,2	73	45
4			1100	13,6	12,0	75,4	5,7	11,8	68	15	
4			1400	12,4	12,7	77,4	14,3	14,6	59	17	
2			2000	12,2	15,7	98,1	—	—	—	—	
8	I	3	1200	12,3	12,4	81,0	16,0	44,7	52	40	
		3	1500	12,0	14,1	92,0	12,6	41,0	49	35	
		3	1800	11,9	16,0	101,8	7,9	27,9	46	25	
		3	2100	12,0	18,3	121,1	7,9	20,2	48	17	
		3	2600	11,8	20,9	133,8	8,7	—	—	—	
	II	3	700	14,1	10,1	92,0	12,6	28,9	82	30	
		3	1000	13,8	13,1	112,1	12,9	21,7	76	21	
		3	1300	13,6	16,2	137,1	11,6	13,0	50	12	
		3	1600	13,6	19,1	137,0	7,7	10,5	33	10	
		3	2500	13,5	25,5	181,3	10,0	—	—	—	

1) koealojen välinen hajonta — between plot standard deviation

2) % puuston pohjapinta-alasta — % of basal area

3) poistettuja ylispuumäntyjä — removed hold-over pine trees

Taulukko 3. Kokeiden mittausajankohdat, (K = kevät, S = syksy) ja vastaavat valtapituudet sekä harvennushakkuukerrat (th = I, II tai III).

Table 3. Measuring dates (K = spring, S = autumn) and corresponding dominant heights and thinnings (th = I, II or III).

Koe Experiment	Perustaminen Establishment			II mittaus II measurement			III mittaus III measurement			IV mittaus IV measurement		
	Vuosi Year	H _{dom} m	th	Vuosi Year	H _{dom} m	th	Vuosi Year	H _{dom} m	th	Vuosi Year	H _{dom} m	th
Hieskoivu — <i>Betula pubescens</i>												
1	K -77	6,7	I	S -83	8,7		K -88	10,0				
2	S -76	10,7	I	S -81	11,7		S -86	13,4				
3	S -78	10,2	I	S -83	11,2		S -87	12,5				
4	S -76	11,2	I	S -81	13,5		S -86	15,0	II			
5	K -78	11,8	I	S -83	12,4		K -88	13,2				
6	S -74	13,8	I	S -79	15,3		S -84	16,3	II	S -88	17,1	
7	S -76	14,5	I	S -83	15,8		S -86	16,7	II			
Rauduskoivu — <i>Betula pendula</i>												
8	S -73	15,4	I	S -78	16,6	II	S -83	17,3		S -87	18,2	III

hin 14,5 metrin valtapituudella. Rauduskoivikossa valtapituus oli ensiharvennuksessa 15,4 m. Vanhimmissa metsiköissä oli siis kysymyksessä normaali tai vähän myöhästynyt ensiharvennus ja nuorimmissa metsiköissä harvennettiin riukuvaiheen tiheikköä.

Mittaukset tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden mittausohjeen mukaisesti (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Jokaisesta koelajan puusta mitattiin rinnankorkeusläpimitta (d) kahdesta kohtisuorasta, puihin merkitystä suunnasta. Lisäksi kaikista puista merkittiin muistiin puun numero, puulaji, latvuskorros, tekninen laatu ja terveydentila.

Noin 40:stä koepuusta koelaa kohden mitattiin edellisten lisäksi puun pituus (h), elävän latvuksen alaraja sekä kohtisuorat läpimitat 6,0 metrin sekä 50, 20, 10 ja 2,5 %:n suhteellisilta korkeuksilta. Varttuneissa metsiköissä ja viimeisellä mittauskierroksella suhteelliset kor-

keudet jätettiin pois tai ne korvattiin 3,0 metrin korkeudelta mitatulla läpimitalla. Kuoren paksuutta ei mitattu lahoriskin takia. Uusintamittaukset tehtiin aina samoista koepuista, mutta toisen harvennuksen jälkeen jouduttiin valitsemaan myös uusia koepuita. Koelakohtaiset puustotunnukset ja kasvat on laskettu koelajien peruslaskentaohjelmalla KPL (Heinonen 1981).

Koelajien ulkopuolelta kairattiin ikähavaintoja kannonkorkeudelta 8 puusta ja rinnankorkeudelta 3 puusta koelaa kohden. Turpeen paksuus mitattiin vuonna 1988 koelajien keskipisteestä ja siitä nurkkapisteesiin mitattujen janojen keskipisteistä. Samalla näistä viidestä pisteestä otettiin kokoomanäyte erikseen 10 cm:n pintaturpeesta ja kivennäismaasta. Näytteistä analysoitiin Muhoksen tutkimusaseman laboratoriossa pääravinteiden kokonaispitoisuudet sekä pH ja johtoluku (Halonen & Tulkki 1981).

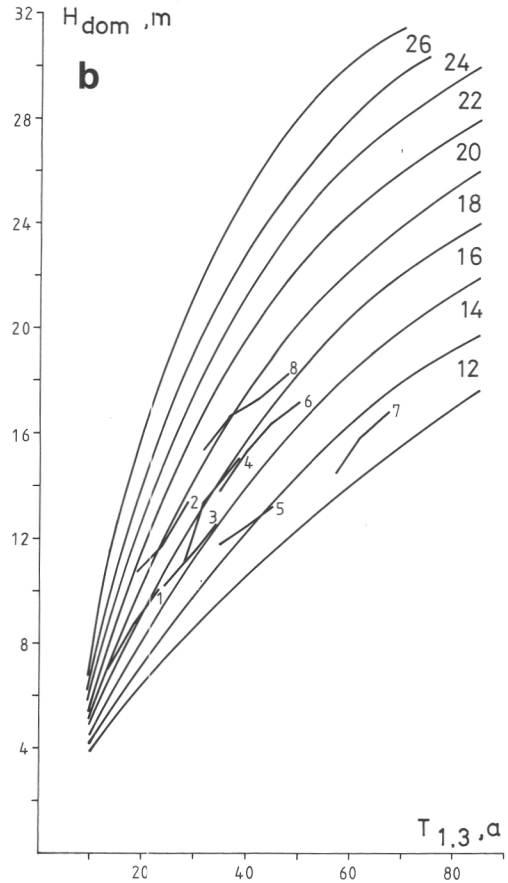
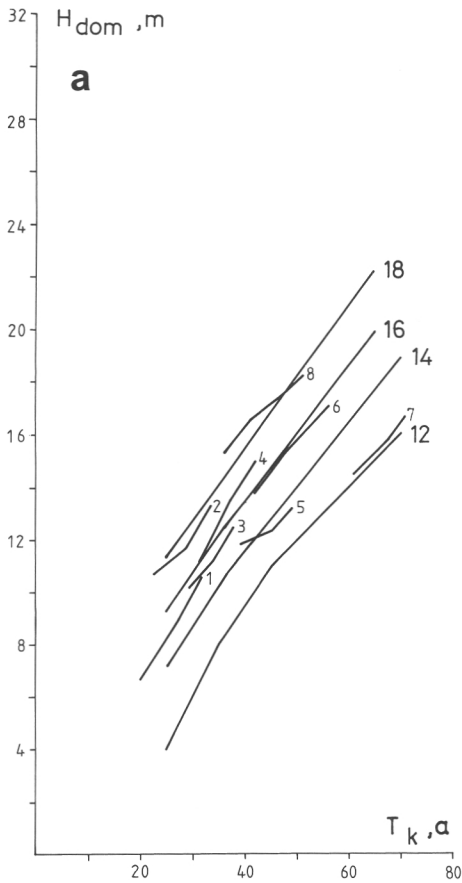
3. Hieskoivikon pituuskehitys

31. Valtapituus

Valtapituuden (H_{dom}) kehitystä verrattiin Saramäen (1977) julkaisemiin hieskoivikoiden pituusboniteetikäyriin Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuille turvemaille (kuva 1a). Boniteetti H₅₀ (= valtapituus 50 vuoden kannonkorkeusällä) vaihteli tässä aineistossa 12 ja 18 metrin välillä. Kuvassa 1b on vastaava vertailu Gustavsenin ja Mielikäisen (1983) rinnankorkeusikäen perustuviin talouskoivikoiden valtapituuskäyriin.

Tutkimusmetsiköissä rinnankorkeusiän ja biologisen iän ero oli keskimäärin 6 vuotta lukuunottamatta kahta metsikköä, joissa ero oli 9 vuotta (taulukko 1). Biologinen ikä saatiin lisäämällä kannonkorkeusikäen kaksi vuotta. Puutteellisen kuivatuksen takia nuorena juroneita koivuja ei otettu huomioon metsikön ikää laskettaessa.

Koemetsiköiden pituuskehitys vastasi lähinnä Saramäen tuloksia. Mielikäisen ja Gustavsenin talouskoivikoiden pituuskehitys on ollut nopeampaa varsinkin varttuneella iällä. Tulos on odo-



Kuva 1. Valtapituuden kehitys koemetsiköissä 1–8 verrattuna pituusboniteetikäyriin: a) turvemaan hieskoivikot (Saramäki 1977), b) luontaisesti kivennäismailla syntyneet koivikot (Gustavsén & Mielikäinen 1984).
 Fig. 1. Development of tree stands dominant height in experiments 1–8 compared to site index curves a) *B. pubescens* stands on peatlands (Saramäki 1977) b) natural stands of birch on mineral soils (Gustavsén & Mielikäinen 1984).

tusten mukainen, koska tämän tutkimuksen harvennuskokeet sijaitsevat Pohjois-Suomen turvemailla. Talouskoivikoiden aineisto painottui Etelä-Suomeen ja sisälsi sekä hies- että rauduskoivikoita.

Taulukossa 4 tarkastellaan valtapituuden kasvua eri harvennustiheyksillä. Kasvatustiheys ei vaikuttanut valtapituuden kasvuun ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla harvennuksen jälkeen. Sen sijaan toisella jaksolla voimakas harvennus alensi valtapituuden kasvua lukuunottamatta kokeita 4 ja 6 (kuva 2). Alle 1000 kpl/ha runkoluvuilla valtapituuden kasvu oli silloin 8–15 cm/v (= 20–50 %) pienempi kuin tiheimmillä koaloilla.

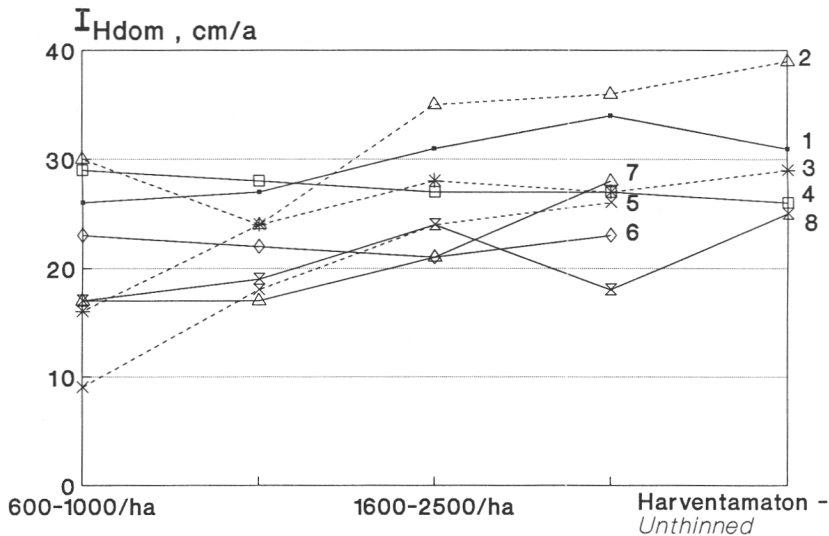
32. Keskipituus

Pohjapinta-alalla painotetun keskipituuden (\bar{H}) kasvuun ei normaaleilla harvennuksilla ollut vaikutusta (taulukko 4). Ainoastaan hyvin voimakas harvennus nuorissa koivikoissa saattoi alentaa keskipituuden kasvua. Nuorten hieskoivikoiden pituuskasvu oli toisella 5-vuotisjaksolla suurempi kuin ensimmäisellä jaksolla. Syynä saattoivat olla ilmastollisesti paremmat vuodet. Koko 10-vuotiskaudella nuorten hieskoivikoiden keskipituuden kasvu vaihteli välillä 22–33 cm/v.

Vanhemmissa metsiköissä pituuskasvu on taantumassa ja keskipituus lisääntyi 12–24 cm vuodessa. Tehokkaasti ojitetulla viljavalla turvemailla (kokeet 6 ja 7) hieskoivun pituuskasvu

Taulukko 4. Puuston valtapituus (H_{dom}) ja pohjapinta-alalla painotettu keskipituus (\bar{H}) sekä niiden kasvut $I_{H_{dom}}$ ja $I_{\bar{H}}$ ensimmäisellä (I) ja toisella (II) 5-vuotijaksolla ensiharvennuksen jälkeen.
 Table 4. Dominant height (H_{dom}) and the mean height (\bar{H}) of the stand weighted by the basal area and the corresponding height growths ($I_{H_{dom}}$ and $I_{\bar{H}}$) during the first (I) and second (II) 5-year period after thinning.

Koe Experi- ment	Har- vennus- kerta Thinning	N kpl/ha stems/ha	H_{dom} , m		$I_{H_{dom}}$, cm/a Jakso — Period		\bar{H} , m		$I_{\bar{H}}$, cm/a Jakso — Period	
			\bar{x}	s	I	II	\bar{x}	s	I	II
1	I	700	6,5	0,4	28	26	6,0	0,4	27	28
		1200	6,4	0,2	32	27	5,7	0,4	28	28
		2300	6,8	0,2	29	31	5,9	0,2	27	26
		3000	7,0	0,1	27	34	5,9	0,1	26	27
		6700	6,8	0,4	28	31	6,0	0,5	26	24
2	I	1000	10,3	1,8	15	30	9,5	1,7	16	29
		1500	10,7	2,0	31	24	9,6	1,3	27	26
		2000	9,9	0,1	15	35	8,8	0,2	18	34
		2500	11,4	0,1	26	36	9,9	0,1	26	33
		5700	10,8	0,1	25	39	8,9	0,3	26	30
3	I	1000	10,4	0,8	14	16	9,3	0,7	12	18
		1500	10,2	0,3	23	24	8,9	0,6	20	26
		2000	9,8	0,8	24	28	8,4	0,6	25	27
		2500	10,3	1,2	27	27	8,9	1,0	25	25
		5400	10,4	0,6	27	29	8,6	0,5	22	18
4	I	850	10,1	1,1	55	29	9,3	1,1	45	31
		1600	12,3	0,9	39	27	10,7	0,7	36	25
		3400	11,1	0,9	45	26	9,0	0,7	40	25
5	I	600	12,7		9	9	12,0		7	13
		1000	10,8		10	18	9,9		10	12
		2000	11,7		11	24	10,4		8	12
		3000	11,8		9	26	10,2		9	13
		5600	12,0		16	7	9,8		11	24
6	I	700	14,4	1,4	29	23	13,5	1,2	27	20
		900	14,0	0,5	32	21	13,0	0,4	30	18
		1050	13,7	1,0	38	20	12,4	0,9	36	20
		1300	12,9	0,8	24	18	11,5	0,9	26	16
		1450	13,8	0,5	28	25	12,1	0,2	30	22
		1750	13,9	0,8	25	21	12,0	0,7	25	19
		2050	14,0	0,9	29	24	12,2	0,6	29	19
		II	460	16,5	0,4	17		15,8	0,5	16
	700		16,2	1,4	23		15,1	1,1	21	
	940		16,8	0,4	16		15,4	0,5	20	
	1330		15,8	0,8	25		14,3	0,7	21	
	1750		16,3	0,9	29		14,4	0,7	18	
	7	I	400	13,9		32	10	13,4		25
650			14,6	0,8	20	17	13,1	0,9	24	15
1100			14,5	1,0	25	17	12,7	0,8	25	15
1400			14,1	0,8	30	21	12,0	0,7	30	19
2000			15,4	0,6	33	28	12,3	0,1	26	23
8	I	1200	15,2	1,1	21		13,4	0,8	30	
		1500	15,3	0,7	22		13,4	0,5	28	
		1800	14,5	0,9	27		13,1	0,6	30	
		2100	15,9	0,5	23		13,5	0,2	29	
		2600	16,1	0,3	32		13,2	0,2	28	
	II	700	16,8	0,8	14	17	16,1	0,8	17	15
		1000	17,0	1,1	13	19	15,7	0,9	12	17
		1300	17,0	0,7	16	24	15,7	0,8	16	19
		1600	18,5	0,3	14	18	16,6	0,2	13	17
		2500	19,5	0,8	15	25	15,9	0,3	10	20



Kuva 2. Harvennuksen vaikutus valtipituuden kasvuun toisella 5-vuotisjaksolla ensiharvennuksen jälkeen (metsiköt 1–8).

Fig. 2. Effect of thinning intensity in experiments 1–8 on dominant height increment during the second 5-year period after first thinning.

jatkui hyvänä vielä 50–60 vuoden iällä. Myöhään harvennetuissa metsiköissä (kokeet 5 ja 8) pituuskasvu on pudonnut 10–15 cm:n vuositasolle. Kokeessa 5 syynä voivat olla myös pohjoinen sijainti ja paksu turvekerros.

Valoa vaativana puulajina hieskoivikko ke-

hitty varsin tasapituuisena. Ero valta- ja keskipituuden välillä oli harventamattomia koealoja lukuunottamatta 0,7–1,5 metriä. Ero lisääntyi tutkimusjakson aikana keskimäärin 2 cm vuodessa (taulukko 4).

4. Tilavuuskasvu ja käyttöpuun tuotos

4.1. Vuotuinen tilavuuskasvu ja käyttöpuun lisäys

Liitteessä 1 esitetään puuston vuotuinen tilavuuskasvu (I_{V5+}) ja kasvuprosentti (P_{IV5+}) metsiköittäin eri kasvatustiheyksillä. Runkopuun tilavuuskasvun ohella laskettiin vastaavana aikana tapahtunut käyttöpuumäärän lisäys. Kuitupuun minimiläpimittana (dt) käytettiin 6,5 cm kuoren päältä ja pölkyn pituutena (l) 3 m.

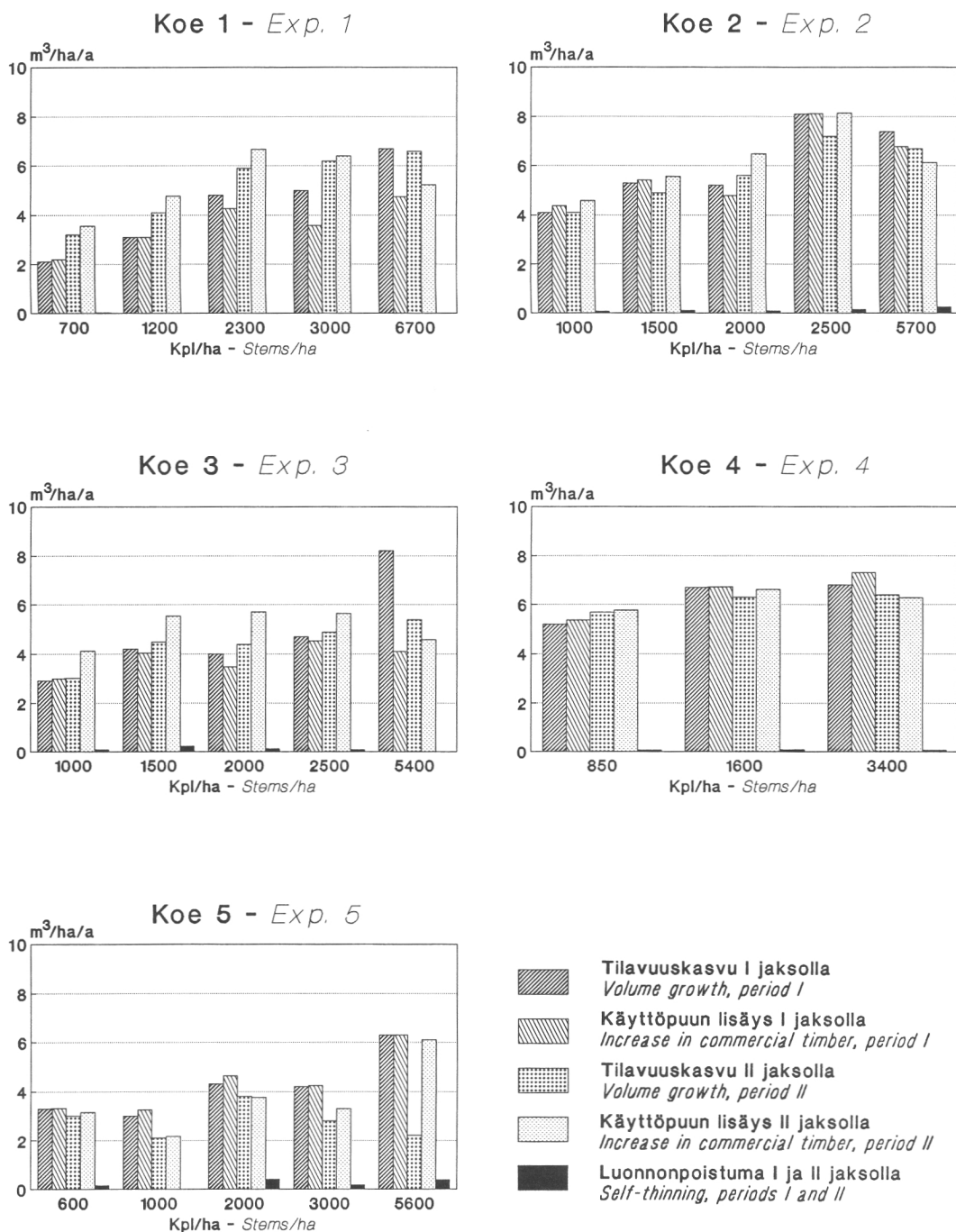
Nuorissa hieskoivikoissa (kokeet 1–4) käyttöpuun lisäys oli kasvua suurempi, koska pienten puiden siirtymä kuitupuun kokoluokkaan oli voimakasta. Poikkeuksen muodostivat harventamattomat koealat, joilla kasvaa paljon kuitupuuksi kelpaamatonta pienpuuta. Varttuneissa metsiköissä (kokeet 6 ja 7) käyttöpuun lisäys ei eronnut tilavuuskasvusta. Nettotuotosta laskettaessa on otettava huomioon myös käyttöpuun luon-

nonpoistuma, joka on esitetty liitetaulukossa molempien mittaussarjojen keskiarvona.

Nuorissa hieskoivikoissa (kokeet 1–4, kuva 3a) sekä tilavuuskasvu että käyttöpuun lisäys olivat korkeimmat käsittelemättömillä tai lievästi harvennetuilla koealoilla (2500–3000 kpl/ha). Ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla ero oli useimmiten harventamattoman eduksi, mutta toisella jaksolla erot tasoittuivat. Varsinkin käyttöpuun lisäys pieneni harventamattomilla koealoilla.

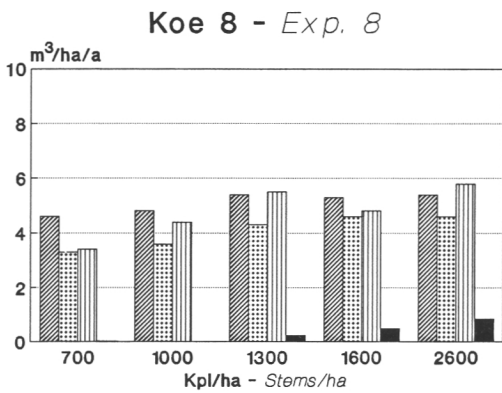
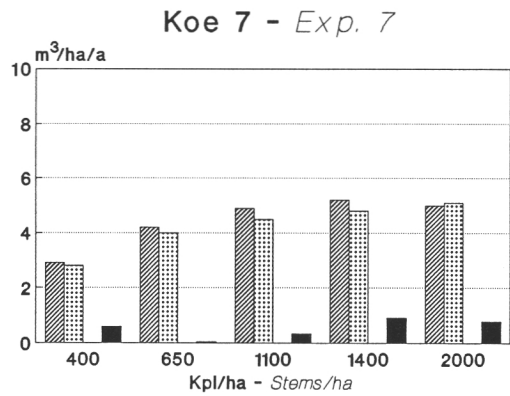
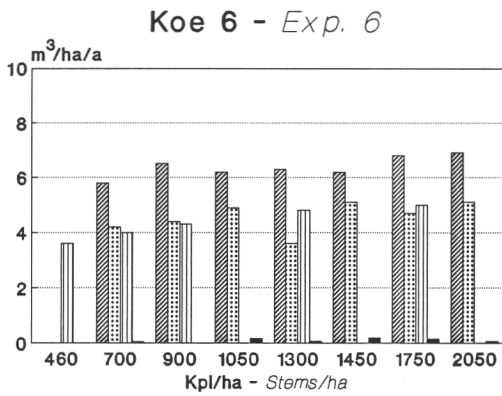
Nuorten hieskoivikoiden tilavuuskasvu oli korkeimmillaan 7–8 m³:n ja varttuneidenkin 5–6 m³ vuodessa. Nuorissa metsiköissä harventaminen tiheyteen 1200–1500 kpl/ha alensi kasvua 1–2 m³/ha/v. Voimakkaat harvennukset tiheyteen 700–1000 kpl/ha johtivat nuorissa hieskoivikoissa jopa 3 m³:n vuotuisiin kasvatappioihin.

Kokeen 5 tulokset noudattivat edellä nuorem-



Kuva 3a. Nuorten hieskoivikoiden (kokeet 1–5) vuotuinen tilavuuskasvu ja käyttöpuun lisäys kahdella 5-vuotisjaksolla ensiharvennuksen jälkeen sekä luonnonpoistuma jaksosten keskiarvona.

Fig. 3a. Annual volume growth and increase in commercial timber production during first two 5-year periods after first thinning in the young *B. pubescens* stands (Experiments 1–5) and self-thinning as the mean of the two 5-year periods.



- I jakso
Period I
- II jakso
Period II
- III jakso
Period III
- Luonnonpoistuma jaksoilla I-III
Self-thinning, periods I-III

Kuva 3b. Varttuneiden koivikoiden (kokeet 6, 7 ja 8) vuotuinen tilavuuskasvu (= käyttöpuun lisäys) 5-vuotisjaksoittain ensiharvennuksen jälkeen sekä luonnonpoistuma jaksojen keskiarvona.

Fig. 3b. Annual volume growth (= increase in commercial timber) during 5-year periods after first thinning in mature birch stands (Experiments 6–8) and self-thinning as the mean of the periods.

missä hieskoivikoissa saatuja tuloksia, mutta olivat epä johdonmukaisia ja toistojen puuttuessa vaikeasti tulkittavia. Varttuneissa hieskoivikoissa runkoluku voitiin pudottaa 1000 kpl:n hehtaari tiheyteen ilman kasvutappioita (kuva 3b). Pitkään ylitiheänä kasvaneessa luontaisessa rauduskoivikossa (koe 8) korkein tuotos saavutettiin ensiharvennuksen jälkeen tiheydessä 1300 kpl/ha.

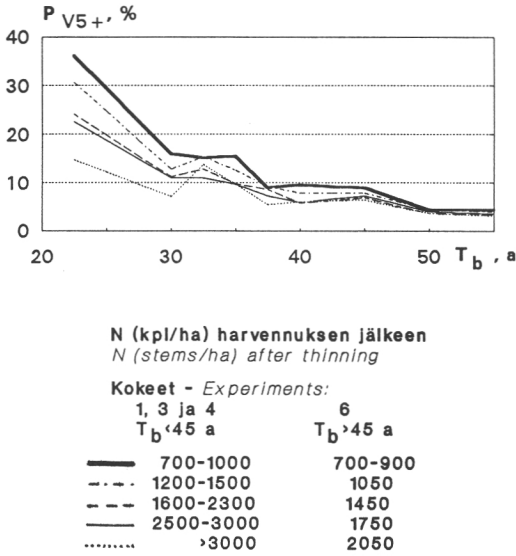
Puita kuoli koemetsiköissä melko satunnaisesti. Vain metsiköissä 5, 7 ja 8 kuolleisuus lisääntyi selvästi tiheyden myötä.

Kuvassa 4 tarkastellaan puuston tilavuuskasvuprosenttia iän ja kasvustiheyden funktiona. Mukaan otettiin pituusboniteettia $H_{50}=16$ edustavat koemetsiköt 1, 3, 4 ja 6. Metsikkötasolla syntyneestä kasvutappiosta huolimatta voimakas harvennus on kohottanut jäljelle jääneiden

puiden kasvua. Alle 35-vuotiaissa hieskoivikoissa kasvuprosentti oli yli kymmenen; viidenkymmenen vuoden iällä se laski alle viiden.

42. Kokonaistuotos puutavaralajeittain

Liitteessä 2 on esitetty puuston tilavuudet 10 vuotta ensiharvennuksen jälkeen ja siihen mennessä kertyneet runkopuun tuotokset puutavaralajeittain. Kokeita perustettaessa kuolleiksi todetut ja sen jälkeen kuolleet puut on taulukoitu viimeiseen sarakkeeseen. Ne eivät sisälly em. puuston tilavuuteen eikä puutavaralajien tuotukseen. Kuitupuutuotos laskettiin kahdella vaihtoehdoisella tavalla. Ensimmäisessä sovellettiin nykyisin käytössä olevaa pölkyn minimikokoa



Kuva 4. Hieskoivikon suhteellisen tilavuuskasvun (P_{V5+}) iän mukainen (T_b) kehitys pituusboniteetilla $H_{50} = 16$.

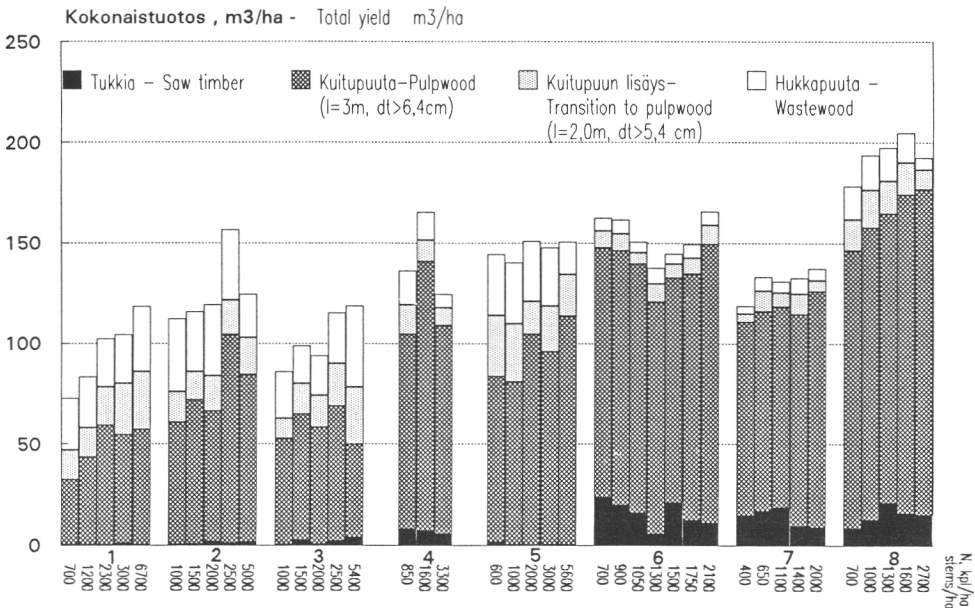
Fig. 4. Volume growth (P_{V5+}) in the *B. pubescens* stands as a function of age (T_b). Site index $H_{50} = 16$.

($l = 3$ m, $dt \geq 6,5$ cm). Toisessa vaihtoehdossa pölkyn pituus (l) oli 2 m ja minimiläpimitta (dt) 5,5 cm kuoren päältä.

Nuorissa hieskoivikoissa voimakas harvennus alensi selvästi kuitupuun tuotosta. Lievät harvennukset tuottivat kuitupuuta eniten, koska suuri osa täysin harventamattomien koealojen kasvusta tapahtui alamittaisissa puissa (kuva 5). Runkopuun tuotos nousi nuorissa tiheissä hieskoivikoissa varsin nopeasti 130–150 m^3 :n tasolle. Varttuneet, aiemmin harventamattomat hieskoivikot tuottivat vain vähän enemmän, koska paljon puita oli kuollut ennen harvennusta.

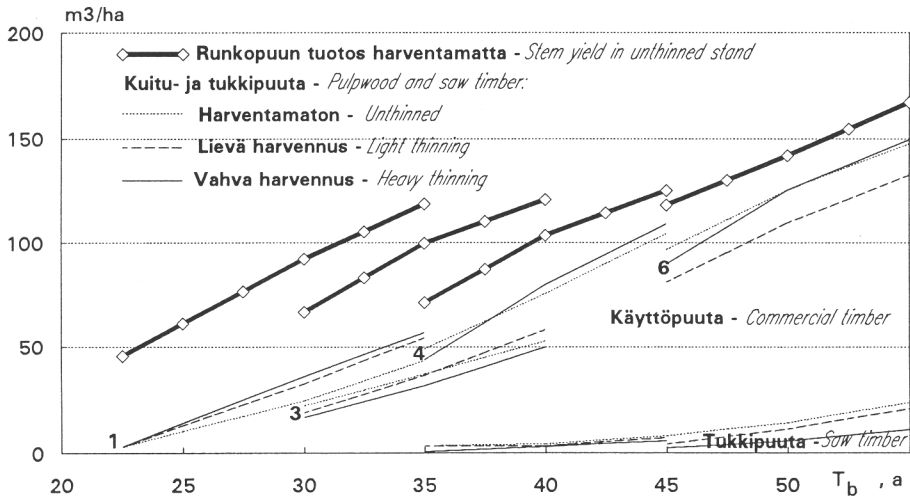
Käytettäessä kuitupuupölkyn pituutena 2 m ja minimiläpimittana 5,5 cm kuitupuun määrä oli nuorissa koivikoissa 15–20 m^3 /ha ja varttuneissa 5–10 m^3 /ha suurempi kuin pituuden ollessa 3 m ja läpimitan 6,5 cm. Pitkään ylittehenä kasva-neissa metsiköissä ero saattoi olla jopa 30 m^3 /ha.

Noin 40 % nuorten hieskoivikoiden tähän mennessä tuottamasta runkopuusta on jäänyt voimassa olevien kuitupuun mittavaatimusten alapuolelle. Varttuneissa koivikoissa hukkapuun osuus kokonaistuotoksesta on hiukan yli 20 %,



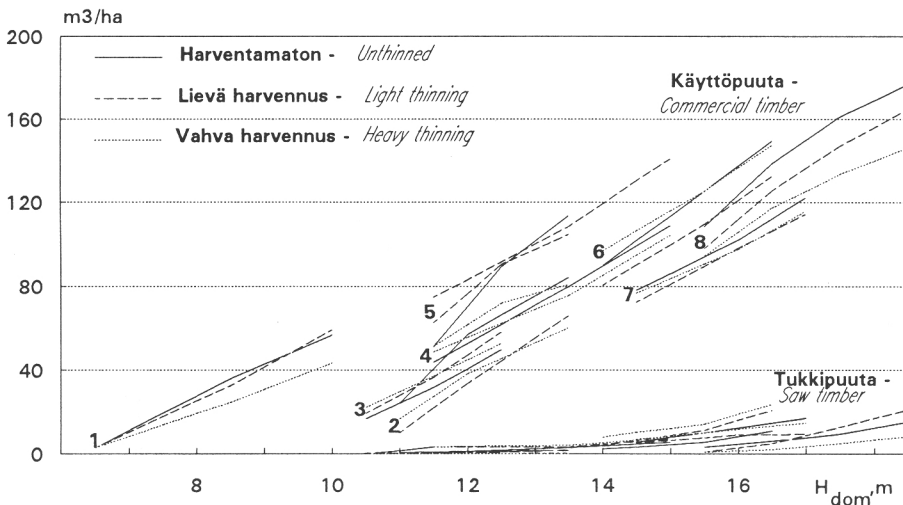
Kuva 5. Hieskoivikoiden 1–8 kokonaistuotos puutavara- ja lajeittain. Tulokset on esitetty vaihtoehdoille kuitupuun mitoilte: pituus $l = 3,0$ m ja latvaläpimitta $dt > 6,4$ cm sekä $l = 2,0$ m ja $dt > 5,4$ cm.

Fig. 5. Total timber production in the *B. pubescens* stands 1–8. Results for two alternative pulpwood sizes: length $l = 3.0$ m and top diameter $dt > 6.4$ cm or $l = 2.0$ m and $dt > 5.4$ cm.



Kuva 6. Harvennusvoimakkuuden vaikutus hieskoivikon runkopuun ja puutavaralajien tuotokseen pituusboniteetilla $H_{50} = 16$ (kokeet 1, 3, 4 ja 6). Vahva harvennus: nuorissa $N = 1000$ kpl/ha, varttuneissa noin 700 kpl/ha. Lievä harvennus: nuorissa $N = 2000$ kpl/ha, varttuneissa noin 1400 kpl/ha.

Fig. 6. Timber production in Experiments 1,3,4 and 6 ($H_{50} = 16$) with different growing densities. Heavy thinning: young stands $N = 1000$ stems/ha, mature stands about 700 stems/ha. Light thinning: young stands $N = 2000$ stems/ha, mature stands about 1400 stems/ha.



Kuva 7. Käyttöpuun ja tukkipuun tuotoksen kehitys metsiköissä 1–8. Vahva harvennus: nuorissa $N = 1000$ kpl/ha, varttuneissa noin 700 kpl/ha harvennuksen jälkeen. Lievä harvennus: nuorissa $N = 2000$ kpl/ha, varttuneissa noin 1400 kpl/ha.

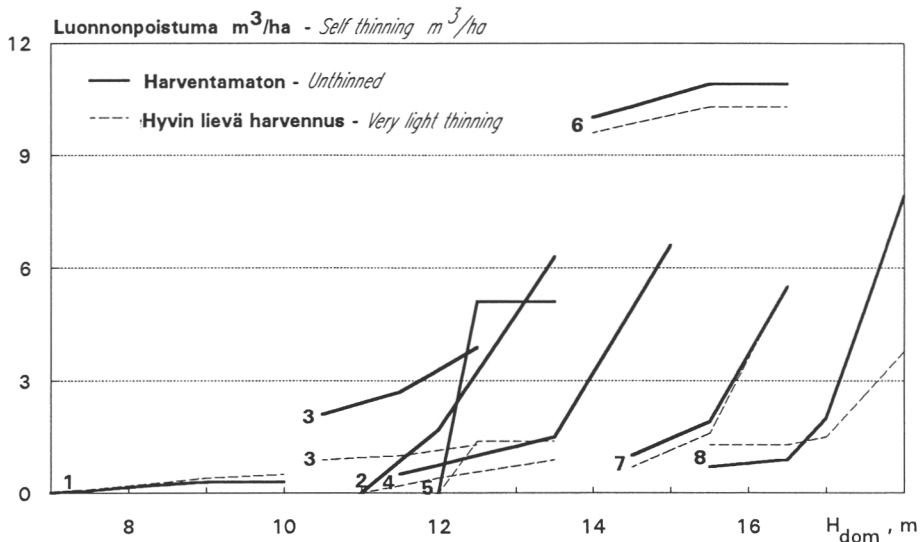
Fig. 7. Production of commercial and saw timber with different growing densities. Heavy thinning: young stands $N = 1000$ stems/ha, mature stands about 700 stems/ha. Light thinning: young stands $N = 2000$ stems/ha, mature stands about 1400 stems/ha.

mutta siitä puuttuvat ennen kokeiden perustamista poistuneet puut.

Hitaamman pituuskehityksen ja vähemmän solakan runkomuodon takia Lapissa sijaitsevien hieskoivikoiden 1 ja 5 kuitupuun tuotokset oli-

vat samassa valtapituusvaiheessa korkeammat kuin etelämpänä sijaitsevilla koivikoilla (kuva 6 ja 7).

Harvennus ei merkittävästi lisännyt tukkipuun tuotosta koemetsikköä 6 lukuunottamat-



Kuva 8. Luonnonpoistuman kertyminen tutkimusjakson (10–15 v.) aikana tiheissä koivikoissa (yli 2000 kpl/ha). Varsinkin koemetsiköiden 7 ja 8 tuloksista puuttuu runsaasti ennen kokeen perustamista kuolleita puita.

Fig. 8. Accumulation of self-thinning during the 10–15 year study period in the unthinned and very lightly thinned (over 2000 stems/ha) birch stands. Part of trees, which have naturally disappeared before the first measurement especially in Experiments 7 and 8, are not included.

ta. Apteerauksessa käytettiin tukin latvaläpimitän miniminä 18,0 cm kuoren päältä. Osa näin saaduista tukeista sisälsi todennäköisesti lahoa tai ne eivät muuten täyttäneet vanerikoivun laatuvaatimuksia (Verkasalo 1988), joten todellinen tukkipuutuotos jäi esitettyä pienemmäksi.

Luonnonpoistuman tarkastelussa oli ongelmanna ennen kokeiden perustamista kuolleet ja lahonneet puut, joiden määrää ei tunneta. Tämä koskee pääasiassa vanhimpia metsiköitä 6, 7 ja 8. Hieskoivujen kuolemisella alkoi olla merkitystä tiheiköissä noin 10 metrin valtapituudesta lähtien (kuva 8). Näyttää siltä, että aluksi nopean luontaisen harvenemisen jälkeen saavutetaan vaihe, jolloin kuoleminen on vähäisempää. Vanhimmissa, noin 2000 puun hehtaartiheydessä kasvavissa koivikoissa itseharveneminen lisääntyi 16–17 metrin valtapituudessa.

43. Hieskoivun järeytyminen

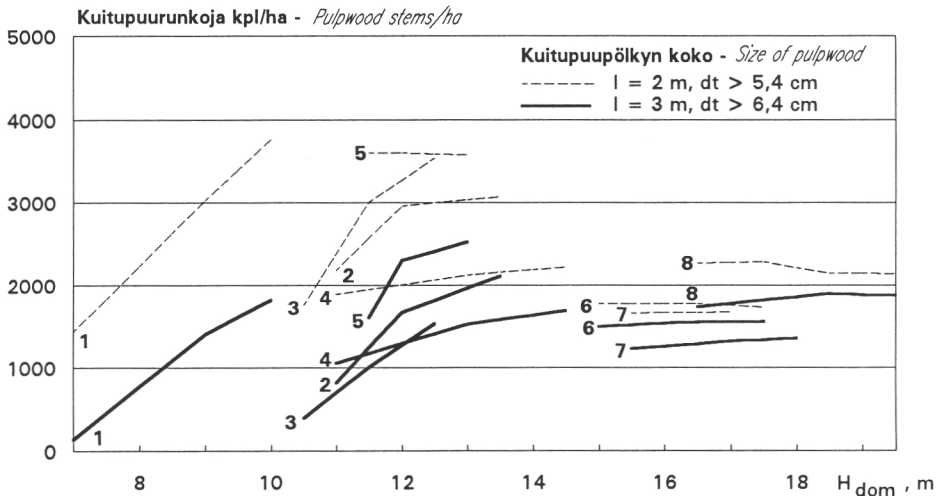
Tukkia on kertynyt niukasti 55-vuotiaassa hieskoivikossa (kuva 6). Kun otetaan huomioon pian tämän iän jälkeen alkava biologinen rappeutuminen, runkojen lahoisuus ja vaneritukin laatuvaatimukset, on todettava, ettei Pohjois-Suomen turvemailta ole yleisesti odotettavissa hieskoiv-

vusta vaneritukkia. Vain kaikkein viljavimmilla turve- ja kivennäismailla kannattaa kiinnittää huomiota järeytymiseen tässä mielessä.

Pohjois-Pohjanmaalla harventamattomat hieskoivikot (koe 2 ja 3) tuottivat 2000 kuitupuun minimimitat täyttävää runkoa hehtaarilla 13 metrin valtapituuteen mennessä (kuva 9). Lapissa puut eivät olleet yhtä solakoita, joten vastaava lukumäärä saavutettiin lyhyemmässä valtapituusvaiheessa ja kuitupuurunkojen kokonaismääräkin nousi korkeammaksi. Tämän aineiston perusteella näyttää siltä, että Lapissa pystytään kasvattamaan jopa 2500 hieskoivurunkoa hehtaarilla kuitupuun mittoihin, mutta Pohjois-Pohjanmaan eteläosissa jäädyän selvästi alle 2000:n.

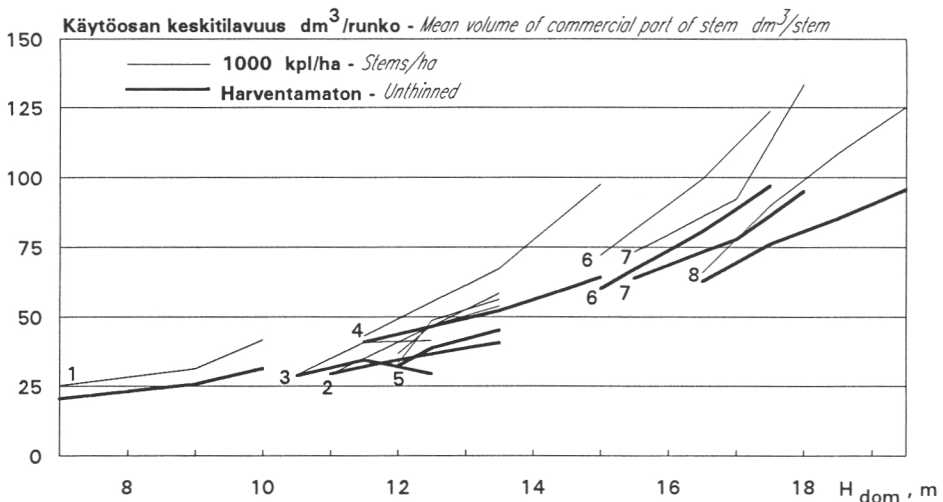
Jos kuitupuupölkyn pituutena pidetään 2 metriä ja minimiläpimitää lasketaan 1 cm:llä, on kuitupuurunkojen lukumäärä yli 3000 hehtaarilla. Hyvin merkittävä määrä hieskoivuja jää siis vain hiukan nykyisen kuitupuukynnyksen alapuolelle. Rungon kuituosan keskitilavuus olisi tällöin 20–30 dm³ ja harvennuksessa poistettavien runkojen koko vielä tätäkin pienempi (kuva 10).

Seuraavassa on esimerkki harvennusvoimakkuuden vaikutuksista hieskoivikoiden ensiharvennuspoistumaan (koemetsikkö 6):



Kuva 9. Kuitupuurunkojen lukumäärän kehitys koemetsiköiden 1–8 harventamattomilla ja lievästi harvennetuilla koealoilla.

Fig. 9. Development of the number of pulpwood stems in the unthinned and very lightly thinned stands (Experiments 1–8).



Kuva 10. Rungon käyttöpuuosan keskitilavuuden kehitys harvennetuissa (1000 kpl/ha) ja harventamattomissa hieskoivikoissa (kokeet 1–8).

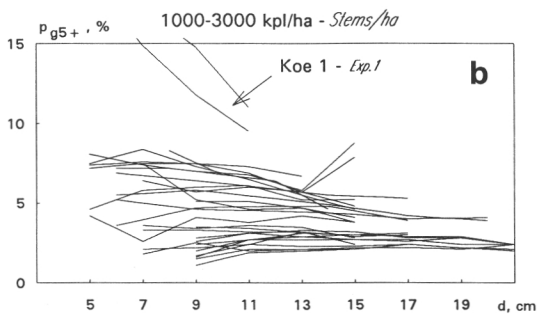
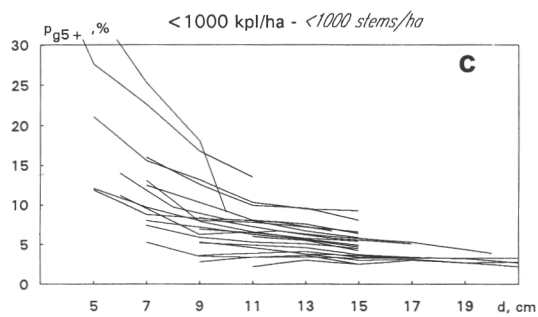
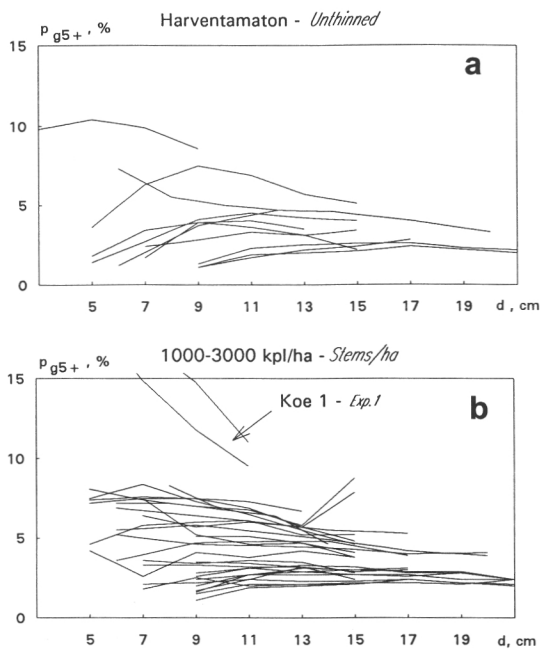
Fig. 10. Development of the mean volume of commercial proportion of stem in thinned (1000 stems/ha) or unthinned *B. pubescens* stands (Experiments 1–8).

Valtapiitus $H_{dom} = 14$ m, käyttöpuurunkoja noin 1500 kpl/ha, rungon keskitilavuus $v = 52$ dm^3 :

	kpl/ha	700	900	1050	1300
jäävä puusto					
käyttöpuun					
poistuma	m^3/ha	33	26	13	11
käyttöosan					
keskitilavuus	$dm^3/poist.puu$	53	48	48	35

44. Puiden väliset kasvuerot

Sekä läpimitan että poikkileikkauspinnan kasvu suureni melko suoraviivaisesti tarkasteltavien puiden koon lisääntyessä. Lievästi harvennetuilla koealoilla koon vaikutus oli jyrkempi kuin voimakkaasti harvennetuilla koealoilla. Vähiten



Kuva 11. Puun poikkileikkauspinnan keskimääräinen kasvu-% (p_{g5+}) puun koon funktiona a) harventamattomissa, b) lievästi harvennetuissa ja c) voimakkaasti harvennetuissa hieskoivikoissa.

Fig. 11. The mean increment-% in the cross-sectional area (p_{g5+}) of the trees of different sizes in a) unthinned, b) lightly thinned (1000–3000 stems/ha) and c) heavily thinned (<1000 stems/ha) *B. pubescens* stands.

harvennus vaikutti metsikön suurimpien puiden kasvuun.

Harventamattomilla koelohjoilla poikkileikkauspinnan kasvuprosentti oli korkein keskikokoisilla puilla (kuva 11a). Näissä metsiköissä oli runsaasti pieniä puita, joiden elinvoima kärsi tiheydestä. Lievästi tai keskivahvasti harvennetuilla koelohjoilla pohjapinta-alan kasvuprosentti oli riippumaton puun koosta (kuva 11b). Ainoastaan voimakkaasti harvennetuissa nuorissa hieskoivikoissa pienten puiden kasvuprosentti oli selvästi isojen puiden kasvua suurempi (kuva 11c). Käytännössä tällä seikalla ei ole merkitys-

tä, koska pienten puiden osuus tilavuudesta on vähäinen.

Yhteenvetona todetaan, että vaikka yksittäisten hieskoivujen kasvussa onkin eroja, vaikuttaa puun koko vain vähän suhteelliseen paksuuskasvuun. Ainoastaan harvennuskäsittelyjen ääri vaihtoehdot muodostivat poikkeuksen.

Kasvuprosentin suuri vaihtelu johtui muista tekijöistä kuin puun koosta. Tärkeimpiä lienevät puun asema, perinnölliset tekijät sekä latvus, jota tarkastellaan seuraavassa luvussa.

5. Latvuksen kehitys ja sen vaikutus puun kasvuun

5.1. Elävän latvuksen pituus

Puuston tiheys hidastaa oksien kasvua ja edistää alaoksien kuolemista ja karsiutumista. Turve- maan hieskoivikoissa laadun paranemisella ei ole juuri merkitystä, koska tukin osuus jää joka tapauksessa pieneksi. Päinvastoin seurauksena voi olla latvuksen liiallisen supistumisen aiheuttama kasvuun taantuminen ja puun kuoleminen.

Latvusten kehitystä seurattiin mittaamalla koepuista pituuden lisäksi elävän latvuksen alaraja, joka määriteltiin alimman elävän oksan etäisyytenä maanpinnasta. Selvästi erillään latvuksesta olevia alaoksia ei otettu lukuun. Tuloksia tulkittaessa on muistettava, että yhteyttämistä tapah- tuu vain vähän latvuksen alaosassa.

Elävän latvuksen raja ei yksinään ole kovin käyttökelpoinen tunnus, joten sen avulla ei kan-

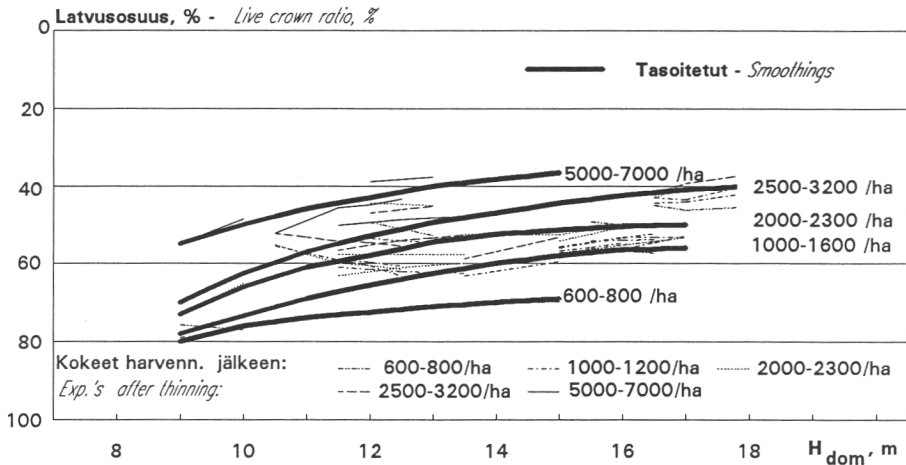
Taulukko 5. Keskipituuden (\bar{H}) ja latvusosuuden (cr) kehitys hieskoivikoissa.
 Table 5. Development of the mean height (H) and crown ratio (cr) in the *B. pubescens* stands.

Koe Experi- ment	N kpl/ha st/ha	I mittaus — I measurement			II mittaus — II measurement			III mittaus — III measurement		
		\bar{H} (m) \bar{x}	cr (%) \bar{x}	s	\bar{H} (m) \bar{x}	cr (%) \bar{x}	s	\bar{H} (m) \bar{x}	cr (%) \bar{x}	s
1	700	6,0			7,9	76	7,9	9,0	77	5,9
	1200	5,7			7,7	79	5,7	8,8	77	7,2
	2300	5,9			7,8	73	7,0	8,8	65	11,8
	3000	5,9			7,6	70	8,9	8,7	62	9,2
	6700	6,0			7,7	55	11,7	8,6	49	14,9
2	1000	9,5			10,3	61	11,7	11,7	63	9,9
	1500	9,5			10,9	63	9,0	12,2	60	9,7
	2000	8,8			9,7	58	9,3	11,4	58	9,8
	2500	9,9			11,2	57	12,6	12,9	53	10,0
	5700	8,9			10,2	50	12,3	11,7	48	12,0
3	1000	9,3	55	9,5	9,9	59	8,7	10,9	63	7,9
	1500	8,9	56	9,7	9,8	59	8,1	11,2	61	11,6
	2000	8,4	55	10,3	9,6	60	9,2	10,7	61	8,9
	2500	8,9	52	10,6	10,1	54	8,9	11,1	56	9,0
	5400	8,6	52	11,1	9,7	46	9,5	10,4	43	9,1
4	850	9,3			11,5	70	8,1	13,1	70	9,1
	1600	10,7			12,5	63	10,7	13,8	60	10,8
	3400	9,0			10,9	59	12,8	12,3	53	12,0
5	600	12,0			12,5	50	4,5	13,0	53	5,7
	1000	9,9			10,5	54	7,5	11,0	55	9,0
	2000	10,4			11,2	45	7,0	11,7	45	9,7
	3000	10,2			10,8	47	12,6	11,3	45	11,0
	5600	9,8			10,4	39	9,2	11,5	38	10,9
6	700	13,5	51	9,6	14,8	57	7,7	15,8	55	8,7
	900	13,0	49	10,7	14,5	59	6,6	15,3	56	7,7
	1050	12,4	51	12,6	14,2	57	8,6	15,2	55	9,1
	1300	11,5	48	9,2	12,9	56	9,1	13,6	53	9,8
	1450	12,1	52	8,8	13,6	56	8,9	14,7	53	9,1
	1750	12,0	47	10,1	13,2	54	9,0	14,2	51	8,6
	2050	12,2	53	11,2	13,6	53	9,7	14,6	50	8,8
7	400	13,4			14,6	49	8,0	15,1	51	7,7
	650	13,1			14,3	56	10,3	15,1	57	9,7
	1100	12,7			13,9	54	11,9	14,7	54	11,7
	1400	12,0			13,5	54	10,7	14,5	52	10,9
	2000	12,3			13,6	51	10,9	14,8	50	10,6
8	700	13,4			15,3	45	6,4	16,1	46	4,6
	1000	13,4			15,1	45	8,0	15,7	44	6,8
	1300	13,1			14,9	43	8,0	15,7	43	7,6
	1600	13,5			15,3	43	9,3	15,9	41	7,9
	2600	13,2			14,5	42	8,0	15,0	39	8,1

\bar{H} (m) = poikkileikkauspinta-alalla painotettu keskipituus — mean height (weighted by basal area) cr (%) = latvusosuus — crown ratio

nata verrata erikokoisia puita keskenään. Latvusrajan ja puun pituuden perusteella laskettiin latvusosuus (cr), joka tarkoittaa elävän latvuksen osuutta puun pituudesta (taulukko 5). Valittavasti perustamisvaiheen latvusmittaukset puuttuivat useimmista kokeista.

Lievästikin harvennetuissa (2000 kpl/ha) nuorissa hieskoivikoissa elävän latvuksen osuus oli noin 60 % puun pituudesta. Harvennuksen myöhästyessä latvusosuus pieneni alle 50 prosentin, minkä jälkeen voimakaskin harventaminen lisäsi sitä vain hitaasti. Latvusosuuden keskihajonta



Kuva 12. Hieskoivikon tasoitettu keskimääräinen latvusosuus eri kasvustiheyksillä.
 Fig. 12. Development of the mean crown ratio in *B. pubescens* stands with different growing densities.

vaihteli 10 %-yksikön molemmin puolin. Harvennus vähensi selvästi puiden välisiä eroja.

Latvuksen osuus pieneni nuorissa koivutiheiköissä 50 prosenttiin noin 10–11 metrin valtapituuteen mennessä (kuva 12). Tiheydessä 2500 kpl/ha keskimääräinen latvusosuus säilyi tämän rajan yläpuolella noin 13 metrin valtapituuteen saakka.

Elävän latvuksen alarajan korkeus oli yleensä riippumaton puun koosta. Vain varttuneissa metsiköissä joidenkin suurten puiden latvusraja oli selvästi ylempänä. Hieskoivikon vähäisestä pituusvaihtelusta johtuen isoimpien puiden latvusosuus oli keskimäärin vain 10 %-yksikköä suurempi kuin pienten puiden.

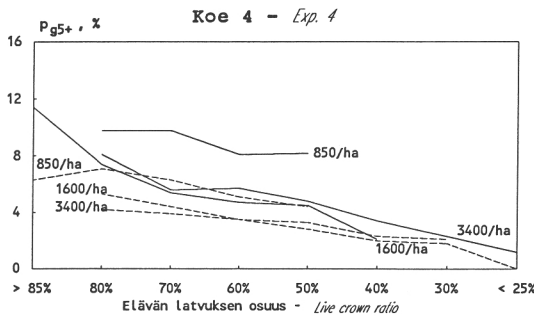
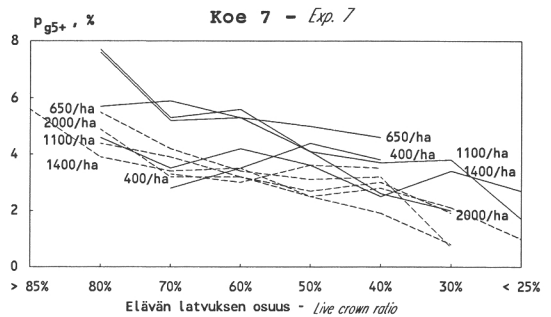
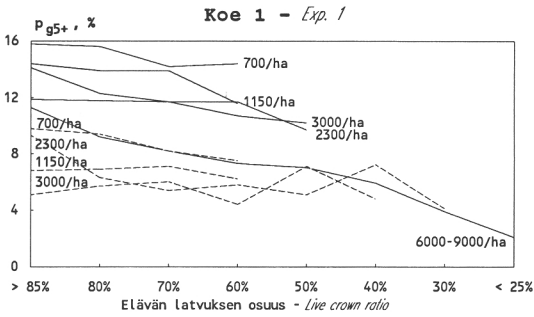
52. Latvusosuuden vaikutus puun kasvuun

Edellä todettiin, että puun määrällinen paksuuskasvu hieskoivikossa riippuu voimakkaasti puun koosta. Jotta puun latvusosuuden ja kasvun todellinen riippuvuus saataisiin esille, puun koon vaikutus poistettiin kasvuvertailusta. Puun suhteellinen paksuuskasvu lisääntyi harvennusten voimistuessa, mutta erikokoisten puiden välillä

ei ollut eroja lukuun ottamatta äärimmäisiä harvennusvoimakkuuksia. Tästä syystä pohjapinta-alan kasvu-% valittiin tunnukseksi vertailtaessa latvukseltaan erilaisia puita toisiinsa.

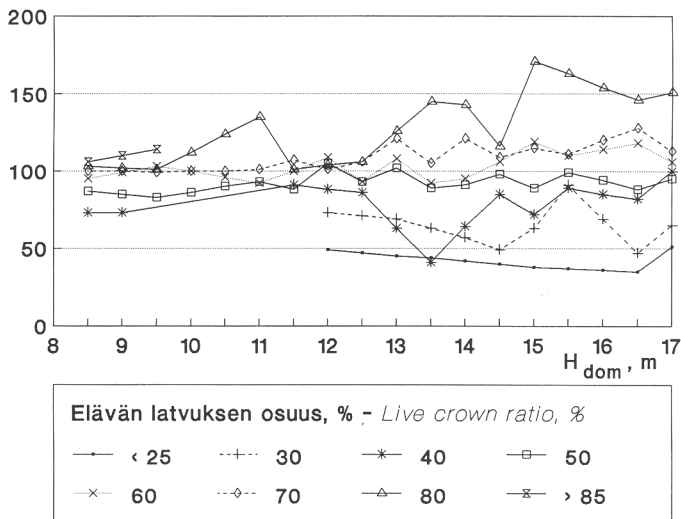
Latvusosuuden pituudella oli selvä vaikutus puun kasvuun tiheydestä riippumatta (kuva 13). Vähiten latvusosuus vaikutti nuorissa hieskoivikossa (koe 1), jossa vain tiheimmillä koaloilla esiintyi selviä kasvueroja. Jo 12–14 metrin valtapituudessa kasvu aleni voimakkaasti ja suoraviivaisesti latvusosuuden pienentyessä (koe 4). Varttuneissa hieskoivikossa (koe 7) latvuksen osuuden vaihtelu 50 ja 80 %:n välillä ei vaikuttanut oleellisesti kasvuun, mutta latvuksen supistuminen alle 45 %:n alensi puun kasvua jyrkästi.

Nuorissa hieskoivikoissa poikkileikkauspinnan kasvu oli keskimääräistä selvästi pienempi kun latvuksen osuus oli alle 55 % (kuva 14). Yli 12 metrin valtapituudessa kasvu aleni oleellisesti latvusosuuden pudottua alle 45 %. Kuten edellä jo todettiin, elävällä latvuksella tarkoitetaan tässä rungonosaa alimman elävän oksan tyvestä latvan huippuun. Harventamattomat ja erittäin voimakkaasti harvennetut koalat jätettiin tästä tarkastelusta pois, koska kasvu-% muuttui niissä puun koon mukana (kuva 11).



Kuva 13. Puun poikkileikkauspinnan keskimääräinen kasvu-% (p_{g5+}) latvuksosuuden funktiona eri kasvatustiheyksillä kokeissa 1,4 ja 7, — = ensimmäisen 5-vuotisjakso, - - - = toinen 5-vuotisjakso.

Fig. 13. The mean increment-% in cross-sectional area of the trees (p_{g5+}) as a function of crown ratio in Experiments 1, 4 and 7 differing in growing densities; — = first 5-year period, - - - = second 5-year period.



Kuva 14. Elävän latvuksen osuuden (%) vaikutus puun poikkileikkauspinnan kasvuun (koeputien keskiarvo = 100) koko aineistossa lukuunottamatta harventamattomia ja voimakkaimmin harvennettuja koealoja. Metsikkökeskiarvot valtipituuden mukaisessa järjestyksessä.

Fig. 14. Effect of the proportion of living crown on the increment in cross-sectional area (mean increment for the sample trees = 100) in the whole material excl. the unthinned and most heavily thinned plots. Stand means have been ranked according to dominant height.

6. Kestokokeiden ja kasvumallien vertailu

61. Hieskoivikoiden tilavuuskasvumallit

Saramäki julkaisi Pohjanmaan ojitettujen turve-
maiden hieskoivikoiden kasvumallit vuonna
1977. Tämän jälkeen ovat Gustavsen ja Mieli-
käinen julkaisseet talouskoivikoiden kasvumal-
lit (1983), joita voidaan soveltaa Etelä-Suomen
hies- ja rauduskoivikoille. Metsikön tilavuus-
kasvumalleissa käytetään selittävinä muuttujina
puuston tilavuutta (V = kuorineen, V_u = kuoretta),
valtapituutta (H_{dom}) ja ikää ($T_{1,3}$ = rinnankor-
keusikä, T_k = kannonkorkeusikä). Saramäen
mallissa on lisäksi mukana termisen kasvukau-
den pituus (S). Selitettävänä muuttujana on tule-
van 5-vuotiskauden vuotuinen tilavuuskasvupro-
sentti P_{V+5} (Saramäellä 5-vuotiskauden kuore-
ton summa-%, $P_{V_u\Sigma 5}$).

Malli 1 — Equation 1 (Saramäki 1977):

$$P_{V_u\Sigma 5} = -33,624 + 0,00183 \times (215 - V_u) \times (100 - T_k) \\ + 0,83082 \times [(26 - H_{dom})/10]^5 + 3,78463 \\ \times [(26 - H_{dom})/10]^8 \times [(100 - T_k)/100]^{10} \\ + 0,31463 \times S$$

Malli 2 — Equation 2 (Gustavsen & Mielikäinen 1983):
 $\ln(P_{V+5}) = 4,39827 - 0,1353 \times [\ln(T_{1,3})]^2 \\ - 0,18409 \times \ln(V)$

Malli 3 — Equation 3 (Gustavsen & Mielikäinen 1983):
 $\ln(P_{V+5}) = 10,5381 + 0,55972 \times \ln[H_{dom}/(T_{1,3})^2] \\ - 2,28783 \times \ln(V) + 0,1973 \times [\ln(V)]^2$

Kasvumallien toimivuutta nyt esillä olevan tut-
kimuksen aineistossa testattiin seuraavalla ta-
valla:

Harventamattomien koalojen avulla laadittiin
aluksi niiden tilavuuden kehitystä (V_{max}) ennus-
tava regressioyhtälö:

$$V_{max} = -11,16 + 4,75 \times H_{dom} + 0,294 \times H_{dom}^2, N = 74, \\ R^2 = 0,90$$

Sijoittamalla kasvuyhtälöihin 1–3 näin saatu
harventamattomien hieskoivikoiden tilavuuskehitys ja
pituusboniteetikäyriltä (kuva 1a) saatu valtapituuden
iän mukainen kehitys laskettiin maksimikasvun kuvaajat
(kuva 15). Samalla tavalla laskettiin alempien puustotasojen kasvukäyrät
pudottamalla tilavuutta 10 % askelissa harventamattomasta
hieskoivikosta. Mallin 1 tulokset on muunnettu kuorellisiksi
käyttämällä kuoren osuutena 15 prosenttia kuorellisesta tila-

vuudesta (Saramäki 1977).

Mallilla 1 saadut tulokset näyttävät järkeviltä
lukuunottamatta alle 12 metrin valtapituuksia
boniteeteilla $H_{50} = 15-18$ (kuva 15). Mallin mukaan
näissä nuorissa hieskoivikoissa tilavuuskasvu olisi
selvästi korkeampi kuin vähän vartuneemmissa
metsiköissä. Mittaukset nuorimmista kokeista eivät tue
tällaista tulosta. Mallilla 2 saatiin kaikissa tapauksissa
järkeviä tuloksia, mutta malli 3 oli käyttökelvoton
tämän aineiston nuorissa metsiköissä. Viimeksi
mainitulla estimoidut kasvut olivat nuorissa hieskoivikoissa
vielä suurempia yliarvioita kuin mallilla 1.

62. Mallien osuvuus harvennetuilla koaloilla

Vertailtaessa koeaineistosta mitattuja kasvuja
edellä mainittujen mallien antamiin kasvuihin koalat
ryhmiteltiin puustopääomatasoihin prosentteina
kunkin metsikön harventamattomien koalojen
pohjapinta-alasta.

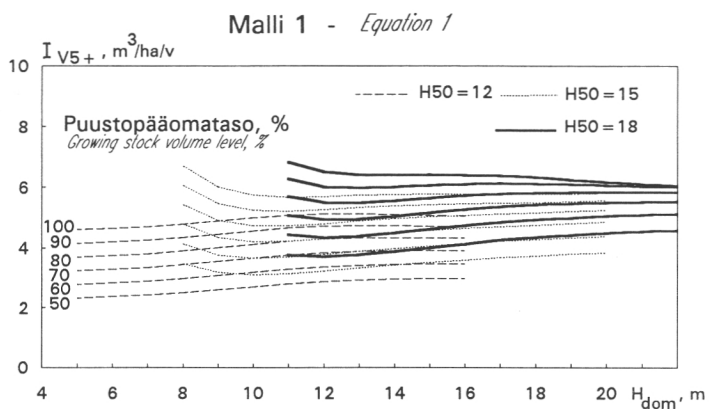
Malli 1 johti lievästi, alle $1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ aliarvion
nuorissa hieskoivikoissa 1, 3 ja 4, mutta yli 2 m^3 :n
aliarvion metsikössä 2. Vartuneissa metsiköissä
6 ja 7 mallilla saatiin kasvun aliarvioita voimakkaasti
harvennetuilla ja yliarvioita lievästi harvennetuilla
koaloilla. Myöhään harvennetuissa metsiköissä 5 ja 8
malli johti $0,5-1,5 \text{ m}^3$ mitattua suurempaan kasvu-
arvioon.

Malli 2 johti melko hyvään tulokseen kaikissa
nuorissa hieskoivikoissa (1–4). Kasvun aliarvio oli
keskimäärin alle $0,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ eikä harvennus-
voimakkuus aiheuttanut systemaattista virhettä.
Vartuneemmissa hieskoivikoissa tämäkin malli johti
kasvun yliarvioon korkeilla puustopääomatasoilla.

Malli 3 toimi tyydyttävästi vain harventamattomissa
tai lievästi harvennetuissa koivikoissa.

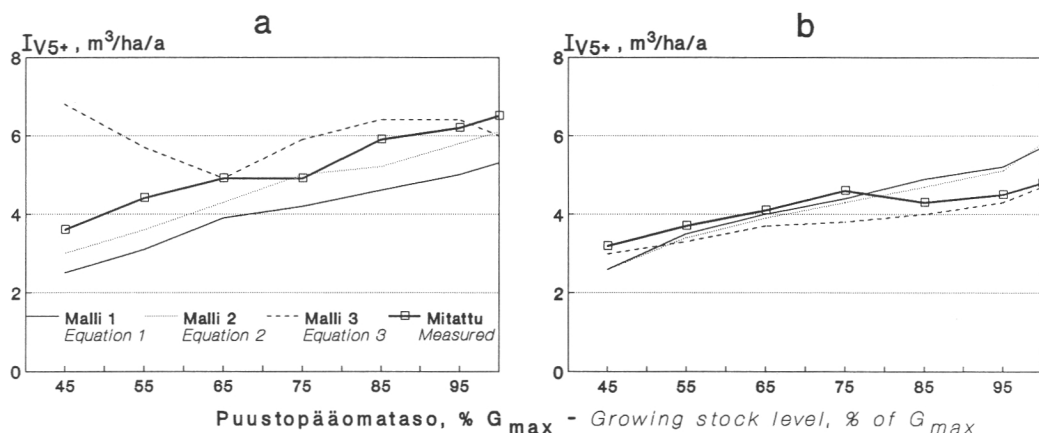
Nuorissa hieskoivikoissa malli 2 aliarvioi vuotuisen
kasvun noin puolella kuutiometrillä eikä aiheuttanut
systemaattista virhettä puustotasojen suhteen (kuva 16a).
Myös Saramäen malli (1) reagoi hyvin puustotasojen muutoksiin.
Aliarvio oli kaksinkertainen malliin 2 verrattuna.
Mallilla 3 saatiin puustopääoman suhteen selvästi
harhainen tulos.

Lievästi harvennetuissa tai harventamattomissa



Kuva 15. Kasvumalleilla ennustettu hieskoivikon kuorellinen tilavuuskasvu pituusboniteeteilla $H_{50} = 12, 15$ ja 18 . Puustopääomatasot 50–100 % harventamattoman koivikon tilavuudesta.

Fig. 15. Volume growth including bark predicted with growth models for site indices of $H_{50} = 12, 15$ and 18 . Growing stock volume levels (= 50–100 %) of the stem volume of unthinned birch stands.



Kuva 16. Hieskoivikon kasvumalleilla (Saramäki 1977: Malli 1, Gustavsen & Mielikäinen 1984: Mallit 2 ja 3) ennustettu ja koemetsiköistä mitattu tilavuuskasvu eri puustopääomatasoilla, a) nuoret koivikot 1–4 yhdessä, b) varttuneet koivikot 5–7 yhdessä.

Fig. 16. Volume increment of *B. pubescens* predicted with growth models (Saramäki 1977: Equation 1, Gustavsen and Mielikäinen 1984: Equations 2 and 3) compared with measured results from various growing stock levels at: a) young stands, Experiments 1–4 combined, b) mature stands, Experiments 5–7 combined.

sa varttuneissa koivikoissa mallit 1 ja 2 johtavat kasvun yliarvioihin, mutta voimakkaammin harvennetuissa ne toimivat tyydyttävästi. Malli 3 johtaa aliarvioihin kaikilla puustotasoiilla, mutta toimii parhaiten tiheissä metsiköissä. Kivennäismaan luontainen rauduskoivikko (8) on jätetty tarkastelusta pois.

Nuorissa hieskoivikoissa metsikön tilavuuskasvu pieneni lähes suoraviivaisesti puustopääoman pienetessä (kuvat 16a ja b), mutta varttuneissa metsiköissä pohjapinta-alan pienentäminen 70 % asti harventamattomasta ei aiheuttanut merkittäviä kasvutappioita.

Kaikenkaikkiaan Saramäen (malli 1) ja Gustavsenin & Mielikäisen (malli 2) laatimat metsikön tilavuuskasvumallit kuvasivat tyydyttävästi kasvua hieskoivun harvennuskokeissa. Kasvun aliarvio oli noin 0,5–1,0 m³/ha/v eivätkä puustotasot aiheuttaneet systemaattista virhettä nuoris- ja ensiharvennusköivikoissa. Kyseiset mallit ovat näin ollen käyttökelpoisia harvennusmallien laadinnassa tietyin rajoituksin. Varsinkin mallin 1 kohdalla on muistettava yliarviot nuorimmissa metsiköissä.

Malleilla ennustetun kasvun aliarviot johtuvat todennäköisesti koemetsiköiden poikkeuksellisesta tasaisuudesta. Tavalliset talousmetsät ovat rakenteeltaan epätasaisempia, joten niiden kasvun ennustamiseen mallit sopivat paremmin. Lievästi harvennettujen tai harventamattomien varttuneiden hieskoivikoiden kasvusta mallit sitä vastoin antavat yliarvion.

63. Ravinnetekijöiden vaikutus tilavuuskasvuun

Typen ja fosforin kokonaispitoisuudet olivat pintaturpeessa poikkeuksellisen korkeita (N: 2,8 %, P: 1,9 mg/g) (taulukko 6a ja b). Typpipitoisuus ylitti selvästi aiemmin ruohoisten korprien ja rämeiden tutkimuksissa saadut keskipitoisuudet (Vahtera 1956: 1,8 %, Westman 1981: 1,7 %, Kaunisto & Paavilainen 1988: 1,8–2,4 %). Fosforipitoisuus oli samaa tasoa Vahteran (1956) tulosten kanssa, mutta jopa kaksinkertainen muihin tutkimuksiin verrattuna. Fosforipitoisuudessa metsiköiden välinen vaihtelu oli suurta. Muiden pääravinteiden pitoisuudet vastasivat samantasoisilta kasvupaikoilta aiemmin mitattuja arvoja.

Pintaturpeen ja kivennäismaan välillä vallitsi selvä korrelaatio vain fosfori- ja kalsiumpitoisuuksissa. Eri ravinteista magnesium- ja kalsiumpitoisuuksien välinen korrelaatio oli merkitsevää sekä kivennäismaassa ($r = 0,86$) että pintaturpeessa ($r = 0,58$). Myös kalsiumpitoisuus korreloi näiden ravinteiden kanssa pintaturpeessa. Turpeen paksuuden lisääntyessä kaliumin ja magnesiumin määrä laski. Maan happamuus (pH) ei korreloinut minkään ravinteen kanssa.

Askeltavalla regressioanalyysillä selvitettiin eri maaperätekijöiden osuutta siinä osassa tutkimusaineiston kasvunvaihtelua, jota ei kasvumalleissa käytetyillä muuttujilla voitu selittää.

Malli 1: Tämän tutkimuksen aineistossa

Taulukko 6a. Koemetsiköiden pintaturpeen (0–10 cm) ominaisuudet vuonna 1988.
 Table 6a. Chemical properties of the surface peat (0–10 cm) in the experiments in 1988.

		Koemetsikön numero — Experiment							Keskiarvo 1–7
		1	2	3	4	5	6	7	Mean 1–7
pH	\bar{x}	4,5	4,4	Turve- kerros < 10 cm	4,2	4,8	4,3	4,2	4,4
	s	0,3	0,2		0,2	0,4	0,2	0,2	0,3
N, %	\bar{x}	2,7	3,3	Peat layer < 10 cm	2,9	2,7	2,6	2,7	2,8
	s	0,2	0,3		0,4	0,4	0,2	0,2	0,3
P, mg/g *	\bar{x}	1,7	1,6		3,1	1,0	1,9	2,3	1,9
	s	0,2	0,3		0,9	0,2	0,3	0,8	0,5
K, mg/g *	\bar{x}	0,9	0,5		0,4	0,5	0,3	0,6	0,5
	s	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ca, mg/g *	\bar{x}	5,4	4,6		2,3	9,8	2,0	2,8	4,5
	s	1,0	1,2		0,7	0,5	1,0	0,5	0,8
Mg, mg/g *	\bar{x}	1,1	1,3		0,5	1,3	0,3	0,7	0,9
	s	0,2	0,6		0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Johtoluku, mS Electrical conductivity	\bar{x}	287	291		325	238	83	216	240
	s	129	75		57	165	20	50	82,7

* = kokonais — total

Taulukko 6b. Koemetsiköiden kivennäismaan ominaisuudet vuonna 1988.
 Table 6b. Chemical properties of the underlying mineral soil in the experiments in 1988.

		Koemetsikön numero — Experiment							Keskiarvo 1–7
		1	2	3	4	5	6	7	Mean 1–7
pH	\bar{x}	4,7	5,1	4,7	5,1	Turve- kerros > 1 m	4,1	4,7	4,7
	s	0,4	0,8	0,3	0,3		0,3	0,0	0,0
N, %	\bar{x}	0,6	0,1	0,1	0,2	Peat layer > 1 m	0,2	0,2	0,2
	s	0,6	0,1	0,1	0,2		0,2	0,0	0,0
P, mg/g *	\bar{x}	0,4	0,4	0,5	1,0		0,4	0,5	0,5
	s	0,3	0,1	0,2	0,8		0,2	0,1	0,3
K, mg/g *	\bar{x}	0,4	0,9	0,5	0,3		0,2	0,6	0,5
	s	0,1	0,1	0,1	0,0		0,2	0,1	0,1
Ca, mg/g *	\bar{x}	1,1	1,3	0,8	0,5		0,7	1,1	0,9
	s	1,2	0,2	0,3	0,2		0,4	0,7	0,5
Mg, mg/g *	\bar{x}	0,9	2,9	0,8	0,5		1,9	1,1	1,4
	s	0,4	1,3	0,3	0,2		2,4	0,7	0,9
Johtoluku, mS Electrical conductivity	\bar{x}	81	161	73	75		118	109	102
	s	53	19	37	47		24	133	52,2

* = kokonais — total

'(215–V) × (100–T_k)' oli ainoa mallin 1 merkitsevä puustotunnus. Se selitti 75 % tilavuuskasvu-%:n vaihtelusta. Pintaturpeen kaliumpitoisuus nosti selityksasteen 78 %:iin ja pH 79 %:iin.

Malli 2: Sellaisenaan mallin selityksaste (R²) oli 81 %. Pintaturpeen pH nosti sitä 84 %:iin ja fosforipitoisuus 85 %:iin. Sillä osalla aineistoa, jossa mitattiin sekä turpeen että kivennäismaan

pääravinteet, oli turpeen fosforipitoisuus ainoa merkitsevä maaperätekijä.

Malli 3: Sellaisenaan mallin selityksaste (R²) oli 82 %. Pintaturpeen fosforipitoisuus lisäsi selityksasteen 84 %:iin ja pH 85 %:iin. Metsiköissä, joissa mitattiin myös kivennäismaan ravinteet, osoittautuivat kivennäismaan fosforipitoisuus ja pH merkitseviksi selittäjiksi.

Lisäksi tehtiin askeltava regressioanalyysi, josta jätettiin pois puuston tilavuus, koska se korreloi kasvupaikan viljavuuden kanssa. Tilavuuskasvua selitettiin pintaturpeen ominaisuuksilla, puuston iällä ja harvennusvoimakkuudella (= pohjapinta-alan osuus vastaavan harventamattoman hieskoivikon ppa:sta).

Selitettävä muuttuja I_{V5+} — <i>Dependent variable</i>			
Muuttuja <i>Variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	Keskivirhe <i>Standard error</i>	t-arvo <i>t-value</i>
Vakio — <i>Constant</i>	+8,664	—	—
P_{Gmax}	+0,024	0,0026	9,0
P (mg/g)	+0,466	0,124	3,8
T_b	-0,035	0,007	-5,0
K (mg/g)	-0,985	0,378	-2,6
pH	-1,42	0,344	-4,1
Org. typpi (%)			
<i>Org. nitrogen</i>	+0,62	0,274	2,3

$N = 172$, $R^2 = 0,51$, $S_m = 1,42$, $S_f = 0,49$

Suhteellinen puustotaso selitti yksinään tilavuuskasvusta vain 28 %. Tärkein maaperätekijä oli turpeen fosforipitoisuus, joka nosti selitysasteen 35 %:iin. Sen jälkeen mallin selittäjiksi tulivat ikä (42 %), pH (48 %), turpeen kaliumpitoisuus (50 %) ja viimeisenä turpeen typpipitoisuus, joka nosti selitysasteen 51 %:iin.

Tehdyissä regressiotarkasteluissa ilmeni, että pH:ta lukuunottamatta ravinnetekijöiden kertoimet olivat yleensä positiivisia. pH:n vaihtelu aineistossa oli pientä, joten sen todellinen merkitys jää epäselväksi. Tutkituissa hieskoivikoissa pelkät ravinnetekijät selittivät enimmillään 20 % kasvunvaihtelusta. Tarkastelusta puuttivat kuitenkin esimerkiksi vesitaloutta kuvaavat muuttujat. Pääravinteista merkittävin oli fosfori ja sen jälkeen kalium.

7. Hieskoivikon harvennusmallit

7.1. Harvennusmallien perusteet

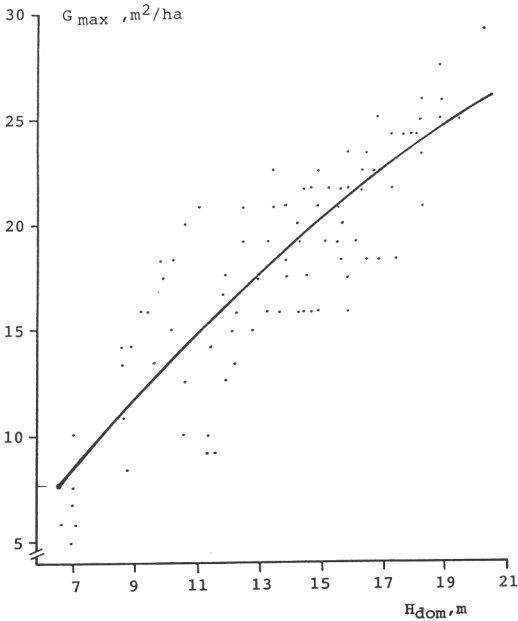
Suomessa käytettävät harvennusmallit perustuvat nuorissa metsiköissä puuston runkolukuun ja varttuneemmissa pohjapinta-alaan. Metsikön kehitysvaihe määritellään yleensä valtapituuden avulla. Leimauksen siirtyminen metsureiden tehtäväksi ja koneellisen hakkuun yleistymisen ovat lisänneet runkolukuun perustuvien harvennusmallien tarvetta.

Yksinkertaisimmillaan harvennusmallissa tarvitaan kaksi ohjekäyrää; puuston määrä ennen harvennusta ja harvennuksen jälkeen. Esimerkiksi Metsäkeskus Tapion harvennusmalleissa jäävän puuston määrä esitetään vyöhykkeenä, josta valitaan tavoitteisiin ja metsikön metsänhoidolliseen tilaan sopiva taso.

Metsikkötason harvennusmallin laatiminen on tyypillinen matemaattisen optimoinnin ongelma. Optimaalinen kiertoaika ja harvennusohjelma voidaan hakea maksimoimalla esimerkiksi nettotuloja tai tuotettua puumäärää. Kasvatettavan puuston tiheydelle voidaan esimerkiksi asettaa sellainen yläraja, etteivät latvukset supistu ylitiehyden vuoksi pilalle. Myrskytuhojen ris-

kin takia tarvitaan puuston määrälle myös alaraja. Tuotantofunktion runkona voidaan käyttää metsikkötason kasvumallia, mutta sen lisäksi tarvitaan tiedot korjuukustannuksista, puutaveralajien hinnoista ja korkotasosta.

Edellä testatut hieskoivun aiemmat kasvumallit eivät toimi optimointia ajatellen riittävän hyvin kaikilla puustotasoilla. Tämän tutkimuksen aineisto on puolestaan liian suppea uuden kasvumallin laatimiseen, joten matemaattisesta optimoinnista oli luovuttava. Hieskoivun harvennusmallin rakentamisessa päädyttiin menetelmään, jossa yhdistetään kestokoeaineistosta laskevat regressioyhtälöt harvennusmallin graafiseen esittämiseen. Aineiston pienuuden takia eri kasvupaikat yhdistettiin ja metsiköiden välisten tuotoserojen vaikutus poistettiin suhteuttamalla eri tavoin harvennettujen koealojen tilavuuskasvut kunkin metsikön maksimikasvuun. Luvussa 4 todettiin, että korkein tilavuuskasvu saavutettiin harventamattomilla koealoilla, joten niiden keskikasvua käytettiin metsikkökohteisena maksimikasvuna. Lopputulosta testattiin olemassaolevilla hieskoivun kasvumalleilla.



Kuva 17. Harventamattomien hieskoivikoiden (2500–3000 kpl/ha) pohjapinta-alan kehitys valtapituuden funktiona.

Fig. 17. The development of basal area as a function of dominant height in unthinned *B. pubescens* stands.

72. Harvennusmallit

Harventamattoman hieskoivikon elävän puuston pohjapinta-ala eri valtapituvaiheissa (kuva 17) laskettiin regressioyhtälöllä:

Selitettävä muuttuja G_{\max} — <i>Dependent variable</i>			
Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — <i>Constant</i>	-16,08	—	—
$\sqrt{H_{\text{dom}}}$	+9,305	0,59	15,8

$N = 102$, $R^2 = 0,71$, $S_m = 5,06$, $S_f = 0,29$

Aineistosta johtuen malli soveltuu Pohjois-Suomen viljaville turvemaille. Tavoitteeksi asetettiin vähintään kuitupuun läpimitat täyttävän puun tuottaminen, joten mallissa ei ole mukana koaloja, joiden runkoluku ylittää 3000 kpl/ha. Tätä suuremmilla tiheyksillä tapahtuva biomassan tai pienrunkopuun tuottaminen ei kuulu tämän tutkimuksen piiriin.

Koko aineistosta laadittiin suhteellisen tilavuuskasvun regressiomalli:

Selitettävä muuttuja $\ln(P_{1V_{\max}})$ — <i>Dependent variable</i>			
Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — <i>Constant</i>	+0,918	—	—
$P_{G_{\max}}$	-0,011	0,0034	-3.19
$\ln(P_{G_{\max}})$	+0,552	0,2338	3.00
$\ln(H_{\text{dom}})$	+0,504	0,1683	2.36
$P_{G_{\max}}/(H_{\text{dom}}+10)$	+0,2178	0,087	2.50

$N = 248$, $R^2 = 0,51$, $S_m = 0,23$, $S_f = 0,49$

Kunkin metsikön harventamattomien koalojen keskiarvoihin suhteutettuja tilavuuskavuja ($P_{1V_{\max}}$) ja pohjapinta-aloja ($P_{G_{\max}}$) käytettiin siksi, että absoluuttiset arvot vaihtelivat kasvupaikan viljavuuden ja maantieteellisen sijainnin takia. Menettelystä oli myös se etu, että kaikki kokeet voitiin ottaa malliin mukaan tuotoskyvystä riippumatta.

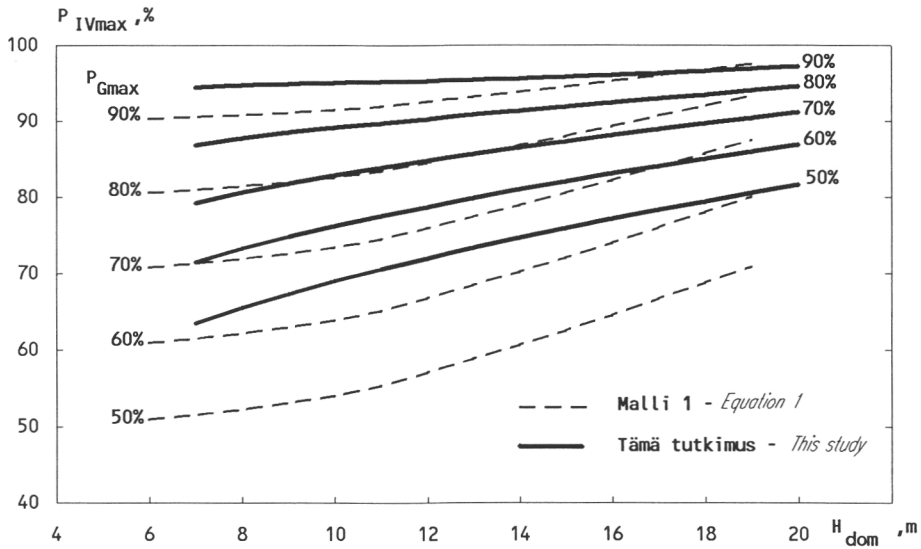
Mallia verrattiin Saramäen kasvumalliin. Gustavsenin ja Mielikäisen kasvumalleja ei käytetty testaukseen, koska mallin 2 selittävistä muuttujista puuttuu valtapituus ja mallin 3 todettiin toimivan epäluotettavasti.

Kasvumalliin 1 sijoitettiin puuston valtapituuden iänmukainen kehitys valtapituusboniteeteilla 12, 14, 16 ja 18 (=H₅₀). Malli reagoi puustopääomaan ja valtapituuksien samansuuntaisesti tutkimusaineiston kanssa, mutta aliarvioi harvennuksen aiheuttaman kasvureaktion. Kasvupaikan viljavuuden lisääntyessä malli osui lähemmäksi mitattuja kasvureaktioita, mutta esim. pituusboniteetilla 18 mitattu kasvureaktio oli vielä noin 10 %-yksikköä korkeampi kuin mallin 1 ennustama (kuva 18).

Kuvasta havaitaan jo metsikkökohtaisista tuloksista todettu ero nuorten ja varttuneiden hieskoivikoiden välillä. Varttuneissa koivikoissa harvennusvoimakkuus saa olla jopa 30 % luonnonalaisesta puustopääomasta ilman merkittävää kasvutappiota. Nuorissa hieskoivikoissa lievään harvennus alentaa kasvua.

Tilavuuskasvun tasoero Saramäen kasvumalliin oli odotusten mukainen. Myös samansuuntainen riippuvuus harvennusreaktion ja valtapituuden välillä vahvistaa tämän tutkimuksen tulosten käyttökelpoisuutta harvennusmallin laattimisessa. Kestokoaloilta saadut harvennusreaktiot ovat luotettavampia verrattuna aikaisempiin tilapäiskoaloihin, joilla puustopääoman vaikutus osittain sekoittuu muihin tekijöihin. Lisäksi harvennuskokeissa on mukana erittäin voimakkaita harvennuksia, jotka yleensä puuttuvat tilapäiskoaloilta.

Perinteiseen harvennusmallitarkasteluun on päästy palauttamalla suhteelliset pohjapinta-ala-



Kuva 18. Puustopääoman (% harventamattomasta, P_{Gmax}) vaikutus hieskoivikon suhteelliseen tilavuuskasvuun (% harventamattoman koivikon kasvusta, P_{IVmax}) tämän tutkimuksen ja Saramäen (1977) kasvumallin (malli 1) mukaan.

Fig. 18. Effect of growing stock basal area (% of unthinned, P_{Gmax}) on the relative volume growth (% of unthinned stand growth, P_{IVmax}) of *B. pubescens* using the material of this study and the growth model (1) by Saramäki (1977).

tasot absoluuttisiksi. Kuvasta 19 nähdään miten alas hieskoivikon pohjapinta-ala voidaan eri pituusvaiheissa pudottaa, jos harvennuksen aiheuttaman kasvutappion halutaan pysyvän tietyissä rajoissa.

Harvennussalleissa yleensä esitettävä harvennusraja (puusto ennen harvennusta) on jätetty tästä tarkastelusta pois, koska sen määräävät puunkorjuun taloudellisuutta koskevat seikat. Sen sijaan harvennussalleihin on piirretty puustopääoman yläraja, jota tiheimmissä metsiköissä latvukset supistuvat liikaa.

Tämän rajan määrittelyssä käytettiin hyväksi kasvun ja latvusosuuden välistä riippuvuutta. Luvussa 5 todettiin hieskoivun kasvun alenevan selvästi, jos elävän latvuksen osuus puun pituudesta putoaa nuorissa metsiköissä alle 50 %:n ja varttuneissa alle 45 %:n (kuva 14). Harvennusta lähestyttäessä poistettavan puuston (noin kolmannes pohjapinta-alasta) voidaan sallia alittavan tämän rajan. Tästä syystä metsikön pohjapinta-alalla painotetulle keskimääräiselle latvusosuudelle asetettiin alarajaksi 12 metrin valtapituudella 55 % ja 16 metrin valtapituudella 50 % (vrt. kuva 12). Näin päädyttiin kuvassa 19 esitettyyn puuston ylärajaan, jonka ylittäminen vaarantaa latvusten suotuisan kehityksen.

Harvennuksessa jätettävä puusto on esitetty

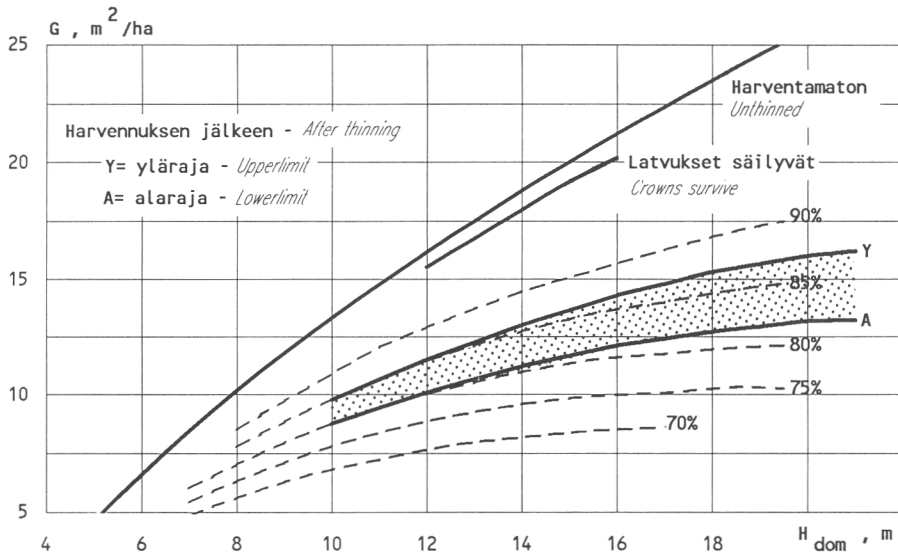
vyöhykkeenä A–Y, jonka puitteissa voidaan valita tavoitteisiin ja tilanteeseen sopiva puuston tiheys. Vyöhyke on määritetty siten, että 12 metrin valtapituudessa sallitaan 15–20 %:n tilapäinen kasvutappio ja 16–18 metrin vaiheessa 2–3 %-yksikköä pienempi kasvun aleneminen.

Kuvassa 20 on samalla periaatteella laadittu runkolukuun perustuva harvennussalle. Latvuksen elinkelpoisuuden säilymistä kuvaava käyrä on määritetty edellä kuvatulla tavalla kuvasta 12. Suhteellisia kasvutasoja ja harvennuksen jälkeisiä runkolukuja osoittavat käyrät on laskettu koko aineiston perusteella laaditulla regressioyhtälöllä:

Selitettävä muuttuja Muuttuja Variable	ln(N) — Dependent variable		
	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — Constant	+7,587	—	—
H_{dom}	-0,1774	0,0066	-26,8
G	+0,074	0,0088	8,4
ln(G)	+0,399	0,1134	3,5

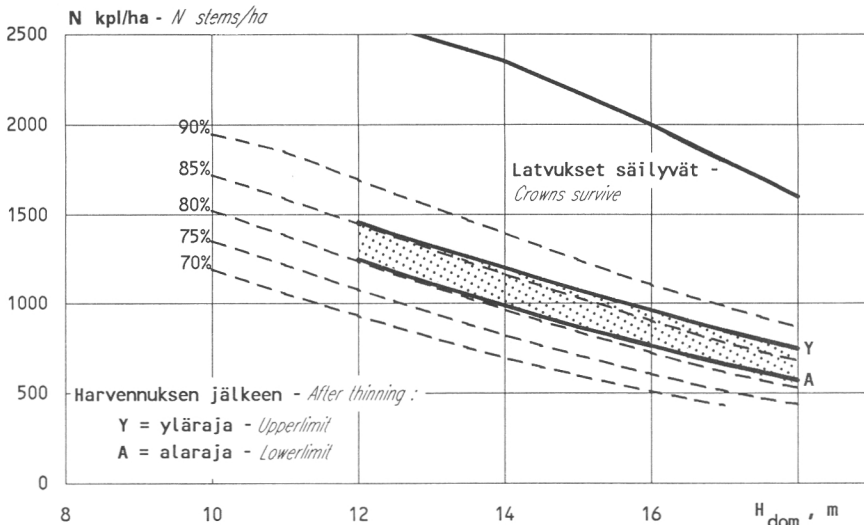
$N = 393$, $R^2 = 0,74$, $S_m = 0,62$, $S_r = 0,26$

Valtapituuden ollessa 12 metriä aiheutetaan 10 %:n kasvutappio harvennettaessa koivikko tiheyteen 1700 kpl/ha ja 20 %:n tappio tiheyteen 1250 kpl/ha. Vastaavat kasvutappiot syntyvät



Kuva 19. Pohjapinta-alaan perustuva harvennusmalli turvemaan hieskoivikoille Pohjois-Suomessa. Tilavuuskasvun riippuvuus puustopääomasta on ilmaistu tasoina (70–90 %) harventamattoman puuston kasvusta 5 vuoden jaksolla harvennuksen jälkeen.

Fig. 19. A thinning model based on basal area for *B. pubescens* stands growing on peatlands in northern Finland. The dependence of volume increment on growing stock basal area is presented as 70–90 %-levels of the volume growth of unthinned stands during the 5-year period after thinning.



Kuva 20. Runkolukuun perustuva harvennusmalli turvemaan hieskoivikoille Pohjois-Suomessa. Tilavuuskasvun riippuvuus puustopääomasta on ilmaistu tasoina (70–90 %) harventamattoman puuston kasvusta 5 vuoden jaksolla harvennuksen jälkeen.

Fig. 20. A thinning model based on stem number for *B. pubescens* stands growing on peatlands in northern Finland. The dependence of volume increment on growing stock basal area is presented as 70–90 %-levels of the volume growth of unthinned stands during the 5-year period after thinning.

Taulukko 7. Puuston 5 vuoden tilavuuskasvu ensiharvennuksen jälkeen (harventamaton metsä = 100). Harvennuspoistuma: 10, 20, 30, 40 tai 50 m³/ha.

Table 7. Volume growth (% of unthinned stand growth) during the 5-year period after first commercial thinning (unthinned stand = 100). Removals: 10, 20, 30, 40 or 50 m³/ha.

Alkutiheys, kpl/ha Density before thinning, stems/ha	Hdom m	Hakkuupoistuma — Total drain					Käyttöpuu-% Commercial timber-%
		10 m ³	20 m ³	30 m ³	40 m ³	50 m ³	
Tilavuuskasvu (% harventamattomasta) — Volume growth (% of unthinned stand)							
3000	10,0	85	75	63			
	10,5	87	78	66			
	11,0	88	80	70			
	11,5	90	82	73			50%
2500	12,0	91	83	75	68		
	12,5		84	77	70		
	13,0		86	79	72	65	60%
	13,5		87	81	74	68	
2000	14,0		88	82	76	70	75%
	14,5		89	84	78	73	
	15,0		90	85	80	75	80%
	15,5		91	86	81	77	
	16,0		92	87	83	78	85%
1600	16,5			88	84	80	
	17,0			89	85	81	
	17,5			90	86	82	
	18,0			91	87	83	

16 metrin valtapituudessa 1100:n ja 700:n puun hehtaari tiheyksissä. Suositeltava harvennuksen jälkeinen runkoluku on 14 metrin valtapituudessa 1000–1200 kpl/ha ja 16 metrin valtapituudessa 800–1000 kpl/ha.

Lopuksi tarkasteltiin hakkuupoistuman määrää eri vaiheissa tehtävissä ensiharvennuksissa. Hakkuupoistuma (V_r) laskettiin tutkimusaineistosta muodostetulla regressioyhtälöllä:

Selittävä muuttuja Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	t-arvo t-value
Vakio — Constant	-17,41	—	—
H_{dom}	+9,34	0,725	12,9
$(P_{Gmax})^2$	+0,0027	0,001	2,6
$H_{dom} \times P_{Gmax}$	-0,0956	0,0104	-9,2

$N = 293$, $R^2 = 0,79$, $S_m = 17,5$, $S_r = 0,21$

Yhtälössä on samat selittävät muuttujat kuin edellä esitettyssä suhteellisen tilavuuskasvun regressiomallissa (s. 25), joten niiden avulla voitiin laskea taulukko 7. Siinä esitetään harvennuksista aiheutuvat kasvunmenetykset poistuma-vaatimuksen vaihdelta 10–50 m³/ha välillä. Poistuma sisältää kaiken runkopuun, josta kuitupuun osuus oli 12 metrin valtapituusvaiheessa noin 50 %, 14 metrissä noin 75 % ja 16 metristä eteenpäin 85 %.

Tiheys lisää poistuman määrää. Toisaalta mitä tiheämpänä metsikköä kasvatetaan, sitä aikaisemmin on tehtävä harvennus. Taulukossa 7 on oletuksena alkuvaiheessa tiheys 3000 kpl/ha, 12 metrin valtapituuden jälkeen 2500 kpl/ha, 14 metrin jälkeen 2000 kpl/ha ja 16,5 metrin jälkeen 1600 kpl/ha.

8. Tulosten tarkastelu

Pohjois-Pohjanmaalla ja Lapissa sijaitsevaa seitsemää harvennuskoea mitattiin 10–15 vuoden ajan ensiharvennuksen jälkeen. Joistakin kokeista saatiin tuloksia myös toisen harvennuksen jälkeen. Ensiharvennusvaiheessa valtapituus vaihteli 7–15 m ja ikä 22–50 vuoden välillä. Voimakas harventaminen alensi lievästi valtapuiden pituuskasvua hieskoivikossa. Harvennus ei vaikuttanut heti, mutta toisella 5-vuotiskaudella ero oli havaittavissa.

Harvennuksen kannattavuuden ja edullisen kasvatusohjelman kannalta on oleellista puuston kyky reagoida harvennuksessa muuttuviin kasvutekijöihin, kuten valoon, ravinteisiin ja veteen. Nuorten hieskoivujen kasvu ja sen mukana järetyminen lisääntyi vain vähän niiden vapauduttua usein varsin suuresta alkutiheydestä. Vasta hyvin voimakkaat harvennukset, joissa jätettiin puita kasvamaan alle 1000 kpl/ha, edistivät selvästi järeytymistä. Tästä aiheutui kuitenkin yli kahden kuutiometrin (40–50 %) kasvunmenetyksiä hehtaari- ja vuositasolla. Varttuneissa hieskoivikoissa harventaminen ei alentanut kasvua yhtä paljon kuin nuorissa.

Elävän latvuksen supistuminen alle 45 %:iin puun pituudesta alensi selvästi hieskoivun kasvua. Tällöin aktiivinen vihreä latvus oli selvästi tätäkin lyhyempi, koska elävän latvuksen pituus mitattiin alimmasta elävästä oksasta. Harventamattomassa koivutiheikössä latvukset alkoivat supistua liikaa noin 11 metrin valtapituudesta lähtien. Tiheydessä 2500 kpl/ha raja tuli vastaan 13–14 metrin pituusvaiheessa.

Harvennusmallin laatimisessa ei voitu käyttää aikaisemmin laadittuja kasvumalleja (Saramäki 1977, Gustavsen & Mielikäinen 1984), koska harvennusvoimakkuuden vaikutusta ei pystytty ennakoimaan luotettavasti näillä kertamittauksiin perustuvilla kasvumalleilla. Uuden harvennusohjelman matemaattiseen optimointiin sopivan kasvumallin laatimiseksi tutkimuksen koekäytökseen oli puolestaan liian suppea, joten harvennusmallit laadittiin perinteiseen graafiseen muotoon puustopääomatasojen ja niitä vastaavien kasvujen avulla.

Kun kiertoajaksi lasketaan kuitupuun tuottamisessa 60–70 vuotta ja vanerikoivun tuottamisessa 10–20 vuotta enemmän, voidaan tutkimustulosten perusteella soveltaa seuraavia harvennusohjeita.

Mikäli hieskoivikko on jäänyt hoitamatta ja kehittynyt ylitieheänä, se on syytä harventaa 12 metrin valtapituuteen mennessä tiheyteen 2000 kpl/ha. Harvennuksen päätaavoite on luonnonpoistuman estäminen korjaamalla puut ajoissa talteen. Puustopääoma pyritään pitämään mahdollisimman suurena. Korkeasta runkopuun tuotoksesta huolimatta taloudellinen tulos on heikko. Ensiharvennuksessa ei saada kuitupuun mитоja täyttävää puuta ja noin 16 metrin valtapituudessa tarvitaan jo toinen harvennus.

Mahdollisimman korkeaan tuotokseen yhdellä harvennuskerralla päästään, jos tiheys ennen harvennusta on 2500–3000 kpl/ha. Tällöin ensiharvennus on tehtävä noin 13 metrin valtapituudessa. Hakkuukertymä 20–30 m³/ha on puunkorjuun kannalta pieni ja sisältää vain noin 60 % kuitupuuta. Tämä vaihtoehto on taloudellisesti perusteltu, mikäli käyttöä löytyy myös kuitupuun mittavaatimuksia pienemmälle runkopuulle.

Kun tavoitteeksi asetetaan nykyiset mittavaatimukset täyttävän kuitupuun tuottaminen, kannattaa nuorta turvemaan hieskoivikkoa kasvatella Pohjois-Suomessa noin 2000 kpl/ha tiheydessä. Tällöin riittää yksi harvennus noin 15 metrin valtapituudessa tiheyteen 800–1000 kpl/ha. Kuitupuuta harvennuksesta kertyy noin 30 m³/ha.

Saramäen (1981) tutkimuksessa tiheys-suositus ensiharvennukseseen saakka on 2000–2500 kpl/ha. Pohjois-Pohjanmaan eteläosissa olevissa koemetsiköissä kasvoi kuitupuurungon mittoihin vain noin 1600 puuta/ha, joten etelään päin mentäessä nuoren koivikon tiheyttä on syytä alentaa. Vastaavasti Lapissa kuitupuurunkoja voi olla yli 2000 kpl/ha.

Harvennuksesta luopuminen ei vähennä kasvua välittömästi, joten nyt käsillä olevan tutkimuksen aineiston perusteella ei voi vielä päätellä harvennuksen lopullista taloudellisuutta. Ratkaisuvia tekijöitä ovat käyttöpuun kokoluokassa tapahtuva puiden kuoleminen ja harventamattomassa metsikössä sovellettavan kiertoajan pituus.

Tulokset vahvistavat aikaisempia tietoja siitä, että vain pieni osa Pohjois-Suomen turvemaiden hieskoivuista voidaan kasvattaa tukkipuiksi (Verkasalo 1988). Puunkorjuun kustannussäästöt jäävät useimmiten ainoaksi hyödyksi hies-

koivikon voimakkaasta harventamisesta.

Tutkimusaineisto ei sisältänyt taimikkovaiheesta saakka harvennettuja metsiköitä. Niistä Fermin (1990) esittämät tulokset ovat kuitenkin samansuuntaisia. Esitetyt suositukset poikkeavat viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusohjeista, joissa suositellaan selvästi harvempaa alkutiheyttä (1600 kpl/ha, Raulo 1981, Oikarinen 1983) ja voimakasta ensiharvennusta. Yksi syy eroihin saattaa olla vesitalous, jota voimakas harvennustus huonontaa turvemilla. Toinen syy on hieskoivun latvus, joka kestää varjostusta rauduskoivua paremmin (Ferm 1990). Kasvatusohjeiden erojen tärkein syy on kuitenkin tavoite, joka on hieskoivikossa kuitupuun ja rauduskoivikossa järeän vaneripuun kasvatus.

Hieskoivun kiertoajan tutkimiseen ei käsillä oleva aineisto vielä riitä. Ilman harvennuksia hieskoivikon taloudellinen kiertoaika on arvioitu noin 40–50 vuodeksi. Luonnonpoistuman lisääntyminen ja latvusten supistuminen johtaa

puuston nopeaan rappeutumiseen. Yhdellä harvennuksella kiertoaika pidentyy ehkä 10–15 vuotta. Etelä-Suomessa ja parhaimmilla kasvupaikoilla myös pohjoisempaan voidaan hieskoivu poikkeuksellisesti kasvatata myös tukkipuiksi. Tällöin harvennuksia tarvitaan vähintään kaksi noin 80 vuoden kiertoajan kuluessa.

Turvemaan hieskoivikoiden rinnalla tutkittiin yhtä kivennäismaalle luontaisesti syntyneitä rauduskoivikkoja. Tulokset olivat hieskoivikoiden kanssa samansuuntaisia, mutta metsikön pitkään jatkunut ylitiheys heikensi tulosten vertailukelpoisuutta. Tuotostutkimuksissa on todettu, että hieskoivu kasvaa kivennäismailla heikommin kuin mänty, kuusi ja rauduskoivu (Koivisto 1957, 1959). Viljavilla turvemilla tai muuten kosteilla kasvupaikoilla hieskoivu menestyy hyvin (Ferm 1989), joten voidaan olettaa, että kivennäismaan hieskoivikoissa on sovellettava jonkin verran alempia puustopääomatasoja kuin turvemilla.

Kirjallisuus

- Cajander, A.K. 1909. Ueber Waldtypen. Acta Forestalia Fennica 1(1). 175 s.
- Ferm, A. 1983. Tuloksia koivun kasvatustiheyskokeesta sekä männyn ja koivun sekakasvatuskokeesta turvemilla. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 120: 13–17.
- 1989. Hieskoivun kasvatus soilla. Abstract: Growing of Pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained peatland forests. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 322: 40–51.
- 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to *Betula pubescens*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 348. 35 s.
- Gustavsen, H.G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtipuuden avulla. Abstract: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia Forestalia 597. 20 s.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36. 23 s.
- Heikurainen, L. & Pakarinen, P. 1982. Peatlands and their utilization in Finland. Finnish Peatland Society, Finnish National Committee of the International Peat Society. Helsinki. s. 14–23.
- Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, Matemaattinen osasto.
- Kaunisto, S. 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. Folia Forestalia 724. 15 s.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 145. 39 s.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch on drained peatlands. Silva Fennica 11(1): 49–68.
- Koivisto, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Konekirjoite. 158 s.
- 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 51(8): 49 s.
- Kuusela, K. & Salminen, S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979–1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977–1982. Summary: Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979–1982, and in the whole of South Finland, 1977–1982. Folia Forestalia 568. 79 s.
- , Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982–1984. Summary: Forest resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982–1984. Folia Forestalia 655. 86 s.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987. Metsänarvi-

- oimisen tutkimusosasto, Puuntuotoksen tutkimus-suunta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Moilanen, M. 1985. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla ojitetuilla rämeillä. Summary: Effect of fertilization and thinning on the growth of birch (*Betula pubescens*) on the drained mires with thin peatlayer. *Folia Forestalia* 629. 29 s.
- Niemistö, P. 1987. Nuoren hieskoivikon harventaminen. Julkaisussa: Metsätutkimuspäivä Taivalkoskella 1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 255: 28–39.
- 1988. Pohjanmaan hieskoivikot ja niiden käsittely. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kärsämäellä 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 295: 13–26.
- Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for silver birch (*Betula pendula*) plantations in southern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 113. 75 s.
- & Pyykkönen, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla. Abstract: The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtillus spruce swamp in Ostrobothnia. *Folia Forestalia* 486. 15 s.
- Raulo, J. 1981. Koivukirja. Gummerus. 131 s.
- Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in Northern Central Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(2). 59 s.
- 1981. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla ja Kainuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 3. 37 s.
- Vahtera, E. 1956. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten Moore. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(4). 108 s.
- Verkasalo, E. 1988. Hieskoivu vaneripuuna. Julkaisussa: Metsäteknologian teemapäivä Suonenjoella 16.2.1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 286: 96–109.
- Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnuksat suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin. *Acta Forestalia Fennica* 172. 77 s.

Total of 27 references

Summary

Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland

Introduction

A lot of *Betula pubescens*-dominated stands in Finland are to be found in Ostrobothnia and the southern parts of Lapland. There are about 500 000 ha of *B. pubescens* stands growing on peatlands in this region. It has been estimated that the annual need for thinnings in hardwood-dominated stands in the whole of Finland is around 30 000 ha (Kuusela et al. 1983 and 1986).

The growth of *B. pubescens* has earlier been studied in Finland using temporary sample plots. Keltikangas & Seppälä (1977), Saramäki (1977 and 1982) and Ferm (1990) carried out studies on peatlands. Koivisto (1959) and Gustavsen & Mielikäinen (1984) carried out studies on the growth of both *B. pubescens* and *B. pendula* on mineral soils in southern Finland. The study in hand differs from those mentioned above in that it consists of material from controlled, permanent experiments.

The aim of this study was to determine the effects of stand density on the growth, commercial timber produc-

tion and crown development of *B. pubescens* stands. The results were used to compare different thinning programmes. The thinning models for *B. pubescens* stands on peatlands are presented.

Material

The eight thinning experiments (115 plots) used as the material were established on fertile peatland sites in northern Finland during the 1970s (Table 1). The tree stands were thinned for the first time when the experiments were established, and they were measured at five-year intervals (Table 3). The experimental design consists in most cases of 5 growing densities with a number of replications. Thinning intensity was determined on the basis of stem number (Table 2). Breast height diameter (d) was measured on all the trees, and height (h) and upper diameter (d_u) on the sample trees (about 40/plot).

Height development of *B. pubescens*

The development of dominant height in stands was in good agreement with the site index curves published by Saramäki (1977) for *B. pubescens* (Fig. 1). Dominant height at an age of 50 years varied between 12 m and 18 m. The first thinning was done in the youngest stand at a dominant height of 7 m, and in the oldest stand at 14.5 m.

Heavy thinning decreased dominant height growth (Fig. 2). Thinning had no immediate effect, but during the second 5-year period the dense birch stands grew 8–15 cm/a more than those with a low growing density (below 1000 stems/ha). Thinning had no marked effect on the increase in mean height.

Volume growth and commercial wood production

The volume growth in the young stands was highest in the unthinned or very lightly thinned ones ($N \geq 2500$ stems/ha, Fig. 3a). Heavy thinnings caused growth losses of as much as 2–3 m³/ha/a. The transition to pulpwood size class (length $l = 3$ m, min. diameter $dt = 6,5$ cm with bark) was greater than the volume growth.

In the older birch stands over 13 m in height, growth losses occurred with growing densities below 1000 stems/ha (Fig. 3b). Saw-timber production (min. diameter 18,0 cm) was very low in the *B. pubescens* stands growing on peatlands in northern Finland (Figs. 6 and 7). It could be increased through heavy thinnings, but the increase was so small that it was not economically worthwhile to thin *B. pubescens* stands to a low density. This applies especially to young *B. pubescens* stands.

The main purpose of thinning is to remove trees still alive, and to prevent the destruction of the crowns of the remaining stand. About 2000 stems/ha attained the size norms for pulpwood in *B. pubescens* stands (Fig. 9). By using lower size norms ($l = 2$ m, $dt > 5,4$ cm) the number of commercial stems increased to 3000/ha or more, but in this case the mean size of the stems was very small.

The growth of birches of different sizes was compared on the basis of the increment (%) in cross-sectional area of the stems. This relative *thickness growth* of the slightly or moderately thinned plots was independent of tree size (Fig. 11b). The growth (%) in the unthinned plots was highest for the medium-sized trees (Fig. 11a). The smallest trees benefited only from the heaviest thinning intensity (Fig. 11c).

Crown development and its effect on tree growth

Self-thinning started to occur in the dense, unthinned birch stands at a dominant height of 11 m, and after this point tree mortality increased rapidly (Fig. 8). A drop in the proportion of the living crown (cd) to below 45 % of tree height clearly decreased the growth of *B. pubescens* (Fig. 14). For this reason, dense *B. pubescens* stands must be thinned no later than at a dominant height of 12 m, and a birch stand with a density of 2500 stems/ha has to be thinned no later than at a dominant height of 14 m (Fig. 12).

Comparison of the field experiments and the growth models

The *B. pubescens* growth models (Models 1–3, Section 6.1) published in Finland were compared with volume growth measured in this study. Saramäki's growth model (1) and that of Gustavsen & Mielikäinen (2) worked well in the young birch stands and satisfactorily even in the older ones. However, model (3) did not work with this material (Figs. 16a and b).

The macronutrient contents in the surface peat and underlying mineral soil (Table 6) explained, at the most, 20 % of the variation in volume growth. Phosphorus proved to be the most significant nutrient, followed by potassium.

Thinning models for *B. pubescens*

A thinning model for *B. pubescens* was calculated using the relative basal area and relative growth levels (Figs. 17–20). A regression equation was first made to depict the development in basal-area in unthinned *B. pubescens* stands (Fig. 17). The dependence of volume growth (% of the growth in the unthinned birch stand) on the dominant height was then analysed on the different levels of basal area (Fig. 18). The result was tested using Saramäki's growth model. The results obtained with the field experiments and those given by the model are in agreement, but the growth model is not sufficiently sensitive to changes in the growing stock volume.

The thinning model shown in Fig. 19, which is based on the basal area and dominant height of the stand, was obtained as the end result of the analysis. It also shows the growth loss expected over the next 5-year period. In Fig. 20 the basal area has been replaced by the stem number. The initial density of a birch stand is presumed

to be 2000–3000 stems/ha. The lower limits of the basal area have been defined such that in a young birch stand the allowable temporary growth loss is 15–20 %, and in a mature one 2–3 %-units lower. The cutting yield of pulpwood at a dominant height of 13 m is in this case only 12 m³/ha, but at a dominant height of 15 m already 25 m³/ha.

The recommended growing density for young *B. pubescens* stands is 2000 stems/ha because the growth loss is not too high and the cutting yield at a dominant height of 15 m is sufficient from the point of view of economical harvesting (cf. Saramäki 1981, 2000–2500 stems/ha). The recommended density from this point onwards is 900 stems/ha, and a second thinning is not worth doing when growing pulpwood.

If small-diameter timbers ($d < 6,4$ cm) is also acceptable, the initial growing density can be about 5000 stems/ha. In this case, however, two thinnings are needed, the first of which must be done at the latest at a dominant height of 12 m.

The production of saw timber in a *B. pubescens* stand is successful only on the most fertile peatland sites (cf. Verkasalo 1988). This being so the most important reason for thinning is to prevent self-thinning and to increase the mean stem size. If a *B. pubescens* stand is left completely unthinned, the estimated rotation period is 40–50 years.

It is worth growing *B. pubescens* on peatlands at a much higher initial density than *B. pendula* on mineral soil sites (Raulo 1981, 1600 stems/ha). The most important reason for the difference lies in the aims. In the case of *B. pendula*, the aim is to produce valuable plywood, but with *B. pubescens* the production of pulpwood is generally an acceptable goal. In addition, a high growing stock volume ensures better hydrological conditions on peatlands than a stand with a low density. According to Ferm (1990), the crown of *B. pubescens* withstands shading better than that of *B. pendula*.

Liite 1. Hieskoivikon vuotuinen tilavuuskasvu ja käyttöpuun lisäys sekä luonnonpoistuma eri kasvatustiheyksillä.
Appendix 1. Annual volume growth, increase in commercial timber volume and self-thinning of B. pubescens stands with different growing densities.

Koe Experi- ment	Harvennus- kerta Thinning	N kpl/ha stems/ha	Kasvu I jaksolla Growth for I period (m ³ /ha/a)				Kasvu II jaksolla Growth for II period (m ³ /ha/a)				Luonnonpoistuma (I+II) Self-thinning (I+II) (m ³ /ha/a)	
			Runkopuuta Stemwood x̄		Kasvu-% Growth-%	Käyttöpuuta Commercial timber	Runkopuuta Stemwood x̄		Kasvu-% Growth-%	Käyttöpuuta Commercial timber	Runkopuuta Stemwood	Käyttöpuuta Commercial timber
1	I	700	2,1	0,2	36,1	2,2	3,2	0,1	16,0	3,6	0,02	0,01
		1200	3,1	0,1	30,7	3,1	4,1	0,4	12,8	4,8	0,02	0,00
		2300	4,8	1,2	24,1	4,3	5,9	2,2	11,2	6,7	0,02	0,00
		3000	5,0	0,8	22,6	3,6	6,2	0,9	11,0	6,4	0,05	0,00
		6700	6,7	1,9	14,8	4,8	6,6	4,9	7,1	5,2	0,03	0,00
2	I	1000	4,1	2,2	19,7	4,4	4,1	1,9	9,9	4,6	0,03	0,03
		1500	5,3	0,8	17,7	5,4	4,9	1,4	8,8	5,6	0,07	0,05
		2000	5,2	1,2	18,1	4,8	5,6	0,9	10,4	6,5	0,07	0,01
		2500	8,1	1,9	17,3	8,1	7,2	0,9	8,3	8,2	0,09	0,07
		5700	7,4	0,0	11,0	6,8	6,7	1,9	6,4	6,1	0,79	0,19
3	I	1000	2,9	0,4	15,1	3,0	3,0	0,5	9,0	4,1	0,05	0,04
		1500	4,2	0,5	15,4	4,0	4,5	0,9	9,2	5,6	0,11	0,11
		2000	4,0	0,5	12,8	3,5	4,4	0,6	8,6	5,7	0,07	0,06
		2500	4,7	0,4	11,0	4,5	4,9	1,1	7,3	5,7	0,05	0,04
		5400	8,2	0,9	13,8	4,1	5,4	2,4	5,4	4,6	0,17	0,00
4	I	850	5,2	1,2	15,5	5,4	5,7	0,2	9,5	5,8	0,04	0,02
		1600	6,7	0,8	9,8	6,7	6,3	0,6	5,8	6,6	0,05	0,03
		3400	6,8	0,8	9,7	7,2	6,4	0,2	6,1	6,3	0,63	0,13
5	I	600	3,3		7,6	3,3	3,0		4,7	3,2	0,06	0,06
		1000	3,0		8,1	3,3	2,1		3,8	2,2	0,00	0,00
		2000	4,3		5,3	4,7	3,8		3,5	3,8	0,19	0,09
		3000	4,2		4,8	4,3	2,8		2,5	3,3	0,14	0,06
		5600	6,3		5,5	6,3	2,2		1,5	6,1	0,49	0,00
6	I	700	5,8	0,3	8,3	5,8	4,2	0,5	4,2	4,6	0,08	0,07
		900	6,5	0,4	9,0	6,4	4,4	0,2	4,3	4,8	0,06	0,06
		1050	6,2	0,7	7,8	6,2	4,9	0,6	4,5	5,2	0,11	0,10
		1300	6,3	0,7	8,9	6,3	3,6	0,7	3,6	4,3	0,07	0,04
		1450	6,2	0,8	6,9	6,1	5,1	0,8	4,2	5,2	0,30	0,23
		1750	6,8	1,0	7,3	6,9	4,7	1,2	3,7	5,0	0,23	0,22
	2050	6,9	0,3	6,4	7,2	5,1	0,4	3,6	5,3	0,21	0,14	
	II	460	3,6	0,4	4,4	3,6					0,00	0,00
		700	4,0	0,9	4,0	4,0					0,00	0,00
		940	4,3	0,6	3,4	4,3					0,00	0,00
1330		4,8	0,7	3,6	4,8					0,00	0,00	
1750	5,0	0,6	3,2	5,0					0,00	0,00		
7	I	400	2,9	–	6,6	3,0	2,8	–	5,1	2,6	0,30	0,29
		650	4,2	0,0	7,9	4,1	4,0	0,4	5,3	3,7	0,03	0,02
		1100	4,9	0,1	6,4	5,0	4,5	0,4	4,6	4,4	0,18	0,13
		1400	5,2	0,2	6,7	5,4	4,8	0,9	4,7	4,5	0,46	0,37
		2000	5,0	0,1	5,1	5,0	5,1	–	4,2	5,7	0,54	0,30
8	I	1200	4,6	0,6	5,7	4,6						
		1500	4,8	1,0	5,3	5,1						
		1800	5,4	0,3	5,3	5,5						
		2100	5,3	0,7	4,4	5,8						
		2600	5,4	0,3	4,0	6,0						
	II	700	3,3	0,2	3,6	3,2	3,4	0,3	3,1	3,3	0,01	0,01
		1000	3,6	0,8	3,2	3,6	4,4	1,2	3,4	4,1	0,03	0,03
		1300	4,3	0,8	3,1	4,3	5,5	0,5	3,5	5,1	0,13	0,12
		1600	4,6	0,8	3,3	4,4	4,8	0,9	3,0	4,2	0,24	0,19
		2500	4,6	0,3	2,5	4,7	5,8	1,7	2,9	5,1	0,70	0,28

Liite 2. Elävä puusto 3. mittauksessa 10 vuotta ensiharvennuksen jälkeen ja siihen mennessä kertynyt tuotos puutavaralajeittain sekä tutkimusjakson luonnonpoistuma.

Appendix 2. Growing stock during the third measurement round (10 years after thinning) and total yield up to that point per timber assortment and total volume of self-thinning during the study period.

Koe Experiment	N kpl/ha st/ha	Kokonaistuotosta 3. mittauksessa Total volume at 3rd measurement			Kokonaistuotos, m ³ /ha— Total yield, m ³ /ha				Luonnon- poistuma Self- thinning m ³ /ha
		m ³ /ha		käyttöpöytä-% commercial timber-%	runkopuuta stemwood	tukkia saw timber	kuitupuuta pulpwood 1)	kuitupuuta pulpwood 2)	
		x	s						
1	700	33	1,8	96	73		32	47	0,2
	1200	48	3,8	95	83		44	58	0,2
	2300	77	19,4	92	102		59	78	0,2
	3000	81	10,1	88	104	1	54	79	0,5
	6700	119	45,4	72	119		57	86	0,3
2	1000	61	31,9	95	112	0	60	76	0,4
	1500	80	20,3	94	116	1	71	85	0,7
	2000	82	12,6	91	119	2	64	82	0,8
	2500	122	11,0	92	157	1	104	121	0,9
	5700	132	1,0	81	124	2	83	101	7,2
3	1000	45	2,8	93	86	0	53	62	1,4
	1500	65	1,9	92	99	2	62	78	1,7
	2000	69	8,8	89	94	1	58	73	0,7
	2500	86	5,7	88	115	2	67	88	1,3
	5400	121	18,1	65	119	4	46	74	3,9
4	850	88	15,4	97	136	8	97	111	0,5
	1600	140	16,3	96	166	7	134	144	0,8
	3400	130	5,3	92	125	6	103	112	6,6
5	600	74		98	145	2	82	113	0,6
	1000	63		96	140		81	110	
	2000	121		94	151		105	121	2,0
	3000	123		91	148		96	119	1,4
	5600	156		88	151		114	134	5,1
6	700	119	18,8	98	163	23	124	133	8,7
	900	127	5,5	98	162	20	127	135	10,7
	1050	134	9,2	98	151	16	124	130	10,8
	1300	119	11,7	96	138	6	115	124	8,8
	1450	144	10,8	97	145	21	112	119	10,4
	1750	148	19,0	96	149	12	122	130	11,8
	2050	167	10,3	95	166	11	139	148	11,0
7	400	70		98	119	15	96	100	4,2
	650	95	7,5	98	133	17	99	110	0,8
	1100	121	5,0	97	131	19	100	107	2,2
	1400	123	2,6	96	133	9	105	115	5,6
	2000	142		95	137	9	117	123	5,5
8	700	105	11,2	98	179	8	138	154	1,1
	1000	131	17,2	98	194	13	145	164	1,6
	1300	158	13,0	97	197	21	144	160	2,5
	1600	177	13,4	97	205	16	159	174	3,8
	2500	200	14,9	96	192	15	162	172	7,9

1) Kuitupuun mitat — Size of pulpwood : l = 3 m, dt > 6.4 cm

2) Kuitupuun mitat — Size of pulpwood : l = 2 m, dt > 5.4 cm

Liite 3. Symbolit
Appendix 3. Symbols.

Puu — Tree

- cr = elävän latvuksen osuus puun pituudesta (latvusosuus), %
crown ratio, %
- d = läpimitta rinnankorkeudelta kuorellisena, cm
diameter at breast height incl. bark, cm
- d₆ = läpimitta 6 metrin korkeudelta kuorellisena, cm
diameter at 6 m incl. bark, cm
- g = poikkileikkauspinta-ala rinnankorkeudelta, cm²
cross-sectional area at breast height, cm²
- h = pituus, m
height, m

Metsikkö — Stand

- \bar{D} = keskiläpimitta (poikkileikkauspinta-alalla painotettu), cm
mean diameter (weighted by basal area), cm
- G = pohjapinta-ala ($\sum g$), m²/ha
basal area ($\sum g$), m²/ha
- G_{max} = harventamattoman puuston pohjapinta-ala, m²/ha
basal area of unthinned stand, m²/ha
- \bar{H} = keskipituus (poikkileikkauspinta-alalla painotettu), m
mean height (weighted by basal area), m
- H_{dom} = valtapituus (100 paksuimman puun keskipituus hehtaarilla), m
dominant height (mean height of 100 thickest trees/ha), m
- H₅₀ = pituusboniteetti (koivun valtapituus 50 vuoden iällä)
site index (dominant height of birch at the age of 50 years)
- I_h = keskipituuden kasvu, cm/a
mean height increment, cm/a
- I_{Hdom} = valtapituuden kasvu, cm/a
dominant height increment, cm/a
- I_{V5+} = tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu, m³/ha/a
annual volume increment during the next 5-year period, m³/ha/a
- N = runkoluku, kpl/ha
number of stems/ha

- N_r = poistetun puuston runkoluku, kpl/ha
number of stems removed/ha

- P_{IVmax} = tilavuuskasvun osuus harventamattoman puuston kasvusta, %
relative volume growth, % of the growth of unthinned stand
- P_{Gmax} = jäävän puuston pohjapinta-alan osuus harventamattoman puuston pohjapinta-alasta, %
relative basal area of remaining stand, % of unthinned stand
- \bar{p}_{g5+} = puun poikkileikkauspinnan keskimääräinen vuotuinen kasvu-% tulevalla 5-vuotiskaudella
mean annual basal area increment of a tree during the next 5-year period, % of current value

- P_{V5+} = tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu, % puuston tilavuudesta
annual volume increment during the next 5-year period, % of current volume

- T_k = kannonkorkeudelta (10 cm) mitattu ikä, a
age at the stump height (10 cm), a

- T_b = biologinen ikä (= T_k + 2), a
biological age (= T_k + 2), a

- T_{1.3} = rinnankorkeudelta mitattu ikä, a
age at breast height, a

- V = puuston runkotilavuus kuoreineen, m³/ha
stand volume incl. bark, m³/ha

- V_r = harvennuspoistuman tilavuus, m³/ha
volume of trees removed, m³/ha

- V_u = puuston runkotilavuus kuoretta, m³/ha
stand volume excl. bark, m³/ha

Muita — Others

- r = korrelaatiokerroin
correlation coefficient

- R² = selitysaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin)
coefficient of determination (R = multiple correlation coefficient)

- S = termisen kasvukauden pituus, vrk
average length of growing season (≥5°C)

- s = standardipoikkeama (keskihajonta)
standard deviation

- \bar{x} = keskiarvo
mean value

- s/ \bar{x} = variaatiokerroin (suhteellinen keskihajonta), %
variation coefficient, %

METSÄNTUTKIMUSLAITOS *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 5331 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 51 381

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Field Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 336 411

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Field Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



- No 773 Hakkila, Pentti: Hakkuupoistuman latvusmassa.
Crown mass of trees at the harvesting phase.
- No 774 Korhonen, Kari T.: Sekamallitekniikalla laadittujen runkokäyrämallien käyttö metsäinventoinnissa.
Using taper curve models based on mixed linear models in forest inventory.
- No 775 Oja, Seppo & Salonen, Tommi (toim.): Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1990.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1990.
- No 776 Mielikäinen, Kari & Valkonen, Sauli: Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa.
Effect of thinning method on the yield of middle-aged stands in southern Finland.
- No 777 Tamminen, Pekka: Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu.
Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland.
- No 778 Kaunisto, Seppo: Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi eräillä Alkkian metsitetyillä suopelloilla.
Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia.
- No 779 Eeronheimo, Olli: Suometsien puunkorjuu.
Forest harvesting on peatlands.
- No 780 Hytönen, Jyrki & Silfverberg, Klaus: Kuivatustehon vaikutus turvemaan lämpöoloihin.
Effect of drainage on thermal conditions in peat soils.
- No 781 Hökkä, Hannu, Piironen, Marja-Leena & Penttilä, Timo: Läpimittajakau-
man ennustaminen Weibull-jakaumalla Pohjois-Suomen mänty- ja koivu-
valtaisissa ojitusaluemetsiköissä.
The estimation of basal area-dbh distribution using the Weibull-function for drained pine- and birch dominated and mixed peatland stands in north Finland.
- No 782 Niemistö, Pentti. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemilla. Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland.