



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1992

791

Sauli Valkonen

METSIEN UUDISTAMINEN KORKEILLA ALUEILLA POHJOIS-SUOMESSA
Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland

FOLIA FORESTALIA

Julkaisija — *Publisher*

Metsäntutkimuslaitos
The Finnish Forest Research Institute

Toimitus — *Editors*

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

Toimituskunta — *Editorial Board*

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, Eino Mälkönen

Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope*

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.

Tilaukset — *Subscriptions*

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle.
Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.

FOLIA FORESTALIA 791

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992

Sauli Valkonen

METSIEN UUDISTAMINEN KORKEILLA ALUEILLA
POHJOIS-SUOMESSA

Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland

Approved on 2.4.1992

Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. Summary: Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland. *Folia Forestalia* 791. 84 p.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kirjallisuudesta miten korkeiden alueiden metsänuudistamista on tutkittu Pohjoismaissa, mitä erityispiirteitä korkeiden alueiden uudistamisoloissa ja -tuloksissa on havaittu ja miten olemassa olevia aineistoja voitaisiin hyödyntää varsinaisissa tutkimuksissa. Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin korkeiden alueiden määrittelyä, luonnonoloja, uudistamiskologiaa, uudistamistutkimusten menetelmiä, aineistoja ja tuloksia, sekä jatkotutkimuksen ensisijaisia kohteita ja aineistoja. Pohjoissuomalaisten metsänuudistamistutkimusten aineistojen perusteella tutkittiin maaston korkeuden ja lämpösomman vaikutusta viljelytaimien elossaoloon ja keskipituuteen sekä luonnotaimien ja kasvatuskelpoisten taimien määriin männyn siemenpuuhakuussa, kuusen kaistalehakuussa sekä männyn, kuusen ja lehtikuusen viljelyssä. Maaston korkeuden lisääntyminen huononsi männyn viljelyn tulosta, mutta ei vaikuttanut merkittävästi kuusen ja lehtikuusen viljelytuloksiin alle 365 metrin korkeudella. Männyn ja kuusen luontainen uudistaminen oli johtanut keskimäärin 10–15 vuodessa riittävään taimettumiseen ainakin 350 metrin korkeudelle saakka, jota korkeammalta oli niukasti aineistoa.

Keywords: forest regeneration, altitude, ecology, silviculture, administration.
FDC 23 + 11

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

The purpose of this pilot study was to gather together the existing information about forest regeneration at high altitudes in Northern Finland, to analyze the effect of altitude on the results of regeneration and to identify the needs for and possibilities of further research on the subject. Ecological, silvicultural and economical factors at high altitudes, as well as the research methods and results of forest regeneration studies, were discussed in the literature review. The data from forest regeneration studies were used to analyze the effects of altitude and effective temperature sum on the establishment, survival, and development of natural, planted or sown seedlings of Scots pine, Norway spruce, and Siberian larch. Artificial regeneration of Scots pine had been less successful at higher altitudes, but altitude did not affect the results of artificial regeneration of Norway spruce and Siberian larch below 365 m above sea level. Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce had been successful at least up to 350 m a.s.l., but it had taken 10 to 15 years on the average to reach the desired stocking level.

ISBN 951-40-1216-X
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
2	KORKEIDEN ALUEIDEN MÄÄRITTELY	5
2.1	Rajausperusteet	5
2.2	Metsien hoidon erityisohjeet	5
2.3	Sijainti ja määrä	6
3	MAASTON KORKEUDEN VAIKUTUS KASVUPAIKKOIHIN, PUUSTOON JA UUDISTAMISOLOIHIN	7
3.1	Ilmasto	7
3.2	Maaperä	7
3.3	Kasvupaikkatyypit	8
3.4	Puusto	8
3.5	Metsien uudistamiskologia	11
3.5.1	Uudistumisen vaiheet	11
3.5.2	Siementyminen	11
3.5.3	Taimettuminen	13
3.5.4	Metsittyminen	14
4	METSÄNUUDISTAMISTULOKSET KORKEILLA ALUEILLA	16
4.1	Tutkimukset ja niiden aineistot	16
4.2	Mittaus- ja inventointimenetelmien erot	19
4.3	Uudistamistulokset	20
4.3.1	Varsinaiset korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimukset	20
4.3.2	Metsänrajametsien uudistuminen ja uudistaminen	23
4.3.3	Muut luontaisen uudistamisen tutkimukset	24
4.3.4	Muut viljelytutkimukset	28
4.4	Tulosten yleistettävyyden ja vertailtavuuden	32
5	OLEMASSA OLEVIEN AINEISTOJEN JA KOKEIDEN KÄYTTÖ JATKOTUTKIMUKSISSA	34
5.1	Korkeiden alueiden uudistamistutkimusten tarve	34
5.2	Aineistojen ja kokeiden käyttökelpoisuus	34
6	MAASTON KORKEUDEN VAIKUTUS UUDISTAMISTULOISIIN METSÄNUUDISTAMISTUTKIMUSTEN AINEISTOISSA	35
6.1	Aineiston koostaminen	35
6.1.1	Lähdeaineistot	35
6.1.2	Analyysiaineisto	36
6.2	Aineiston käsittely	37
6.3	Tulokset	38
6.3.1	Keskiarvojen erojen testaus	38
6.3.2	Korrelaatio- ja osittaiskorrelaatioanalyysi	38
6.3.3	Regressioanalyysi	40
6.3.4	Regressiomallien tarkastelu	50
7	TULOSTEN TARKASTELU	55
	KIRJALLISUUS – REFERENCES	59
1	Luokitellut tutkimukset ja aineistot	59
	<i>Studies and experiments described in detail</i>	
2	Luokittlemattomat tutkimukset ja muu kirjallisuus	65
	<i>Other studies and references</i>	
	SUMMARY	68
	LIITTEET – APPENDICES	70

1 Johdanto

Pohjois-Suomen metsätaloudessa toimitaan lähellä pohjoista metsänrajaa. Metsien uudistamis- ja kasvuedellytykset huononevat myös maaston korkeuden lisääntyessä. Metsähallituksen hallinnassa olevilla korkeilla alueilla ei yleensä tehdä uudistushakkuita. Yksityismetsien korkeiden alueiden hakkuita ei ole rajoitettu, mutta metsänomistajille annetaan erilaisia metsänkäsittelysuosituksia kuin muilla alueilla.

Korkeilla alueilla on nähty olevan luonnonsuojelullista merkitystä, ja niitä on luonnehdittu puskurivyöhykkeeksi alpiinista metsänrajaa vastaan (Norokorpi 1981a, Valtanen 1981). Hakuista pidättäytymisen tarvetta on perusteltu myös alueiden monikäyttöarvoilla (Norokorpi 1983). Jo valtionmetsäkomitean mietinnössä vuonna 1900 kehoitettiin erityiseen varovaisuuteen metsänrajametsien käsittelyssä ja valtion maan luovuttamisessa uudistaloiksi metsänrajan läheisyydessä (Valtion metsätalouden periaatteista...1900). Suojametsäkomitean (Maamme pohjoisimpiin...1910) mielestä yhtenäisen suojametsäalueen ulkopuolella sijaitsevien korkeiden alueiden metsien turmeleminen voitiin estää säilyttämällä ne valtion hallussa tai huolehtimalla yksityismetsissä suunnitellun yksityismetsälain noudattamisesta. Heikinheimo (1921) esitti, että kaikkia metsänrajametsiä olisi hoidettava suojametsinä.

Eräiden näkemysten mukaan korkeiden alueiden puuvaroja pitäisi hyödyntää nykyistä enemmän. Kuuselan (1975) selvityksen mukaan lakialueilla oli 1970-luvulla puustoa 43 milj. m³, josta 81 % oli metsämaalla. Käytettävissä olevan puuston määrä on maankäytön rajoitusten takia nykyään huomattavasti tätä pienempi.

Hanke korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimukseksi sai Metsäntutkimuslaitoksessa alkunsa metsähallituksen aloitteesta vuonna 1986. Sen tavoitteiksi asetettiin selvittää menetelmiä korkeiden alueiden metsien uudistamiseksi. Tutkimuksessa huomioon otettavia näkökohtia olivat mm. paikalliset ilmasto- ja maaperätekijät, metsän puulajisuhteet, hakkuutavat, uudistusalan koko ja muoto, uudistettavien puulajien sopivuus alueelle, maanpinnan käsittely, luontaisen uudistamisen ja viljelyn keskinäinen edullisuus sekä siemen- ja taimimateriaali. Tutkijajhmä esitti työnsä tulokset syksyllä 1989 (Korkeiden alueiden...1989). Tutkijatöryhmän suunnitelman perusteella

päätettiin tehdä tämä esitutkimus. Se jakautuu kahteen osaan:

1. *Kirjallisuuskatsauksen* tarkoituksena on selvittää miten korkeiden alueiden metsien uudistamista on tutkittu, miten uudistamisolot ja uudistamistulokset poikkeavat tavallisista talousmetsistä ja miten olemassa olevia aineistoja voitaisiin hyödyntää jatkotutkimuksissa.
2. *Analyysiosan* tarkoituksena on tutkia maaston korkeuden vaikutusta uudistamistuloksiin olemassa olevissa aineistoissa. Korkeuden vaikutus on pyrittävä erottamaan ilmaston kylmyyden vaikutuksesta, jonka aiheuttaa korkeiden alueiden sijaitseminen pääosin Pohjois-Suomen pohjois- ja itäosassa. Tilastollisen testauksen edellyttämä nollahypoteesi, jota vastaan etsitään todistusta, asetettiin seuraavasti:

H0: Maaston korkeus ei vaikuta metsänuudistamistuloksiin.

Tämän tutkimusraportin kirjallisuusluettelo on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa on lueteltu ja kuvattu luokitellut tutkimukset, joiden numeroihin on viitattu tekstissä ja jotka on luokiteltu eräiden muuttujien suhteen liitteessä 2. Kirjallisuusluettelon kohdassa 2 on lueteltu muut viitteet.

Tämä tutkimus on tehty Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosastolla. Tutkijatöryhmän suunnitelmaa ja sitä varten tehtyjä selvityksiä on käytetty hyväksi, samoin kuin Metsäntutkimuslaitoksen tutkijoiden keräämiä aineistoja. Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosasto antoi käytettäväksi aiemmin julkaisematonta aineistoa.

Professori Matti Leikola, professori Kari Mielikäinen, professori Jari Parviainen, professori Eljas Pohtila, MML Aulis Ritari, MML Liisa Saarenmaa, MMK Mauri Timonen, MML Jukka Valtanen ja MML Martti Varmola lukivat käsikirjoituksen, sekä MMK Risto Ojansuu sen analyysiosan, ja tekivät siihen varteenotettuja huomautuksia. FT Eero Kubin ja Leikola tarkastivat käsikirjoituksen. MML, B.Sc. John Derome tarkasti englannin kielen. Esitän parhaat kiitokseni kaikille työn valmistamiseen myötävaikuttaneille.

2 Korkeiden alueiden määrittely

2.1 Rajausperusteet

Korkeat alueet eli lakimetsät sijaitsevat ns. toimenpiderajan yläpuolella. Metsän uudistamis- ja kasvuedellytykset huononevat maaston korkeuden lisääntyessä. Kestävä metsätalous ei ole enää kannattavaa taloudellisen toimenpiderajan yläpuolella, koska hakkuutulot ovat pienemmät kuin puuston korjuusta ja metsän uudistamisesta aiheutuvat kustannukset (Roiko-Jokela 1982). Metsä- ja kitumaan rajaa on yleensä pidetty hakkuiden ja metsien hoidon ja samalla myös korkeiden alueiden ylärajana Suomessa ja Ruotsissa (Roiko-Jokela 1982, Hansson 1985).

Toimenpiderajaa ei todennäköisesti olisi olemassa ilman yksityismetsien uudistamispakkoa tai valtion metsätaloudessa sovellettua kestävyuden periaatetta. Puustoa on yleensä metsänrajalle asti niin paljon, että sitä kannattaisi korjata, jos metsän uudistamisesta ei tarvitsisi huolehtia. Nykyinen korkeiden alueiden alaraja on määritetty käytännön kokemusten perusteella (Valtananen 1988). Tähänastisissa tutkimuksissa ei ole löydetty ilmastoa lukuun ottamatta sellaista yksittäistä ekologista tai biologista tekijää, jonka perusteella korkeat alueet eroaisivat selvästi muista alueista. Kahden samalla korkeudella mutta eri alueella sijaitsevan kasvupaikan ilmasto ei kuitenkaan ole välttämättä samanlainen.

Taloudellinen toimenpideraja ei noudata ehdottomia korkeusrajoja. Korkealla alueella sijaitsevan metsikön uudistamista tai kasvattamista suunniteltaessa pitäisi maaperä- ja kasvupaikkatekijöiden paikalliset vaihtelut ottaa nykyistä paremmin huomioon. Puunkorjuun ja metsänuudistamisen taloudellisuus vaihtelee voimakkaasti alueen sijainnin, puuston ja sen käsittelymenetelmien, tiestön sekä lähiympäristössä sijaitsevien talousmetsien hakkuujärjestyksen mukaisesti. Puunkasvatuksen taloudellisuus on arvioitava metsikkö kerrallaan (Roiko-Jokela 1982, Bäckström 1985, Valtananen 1986). Tutkimuksia optimaalisen toimenpiderajan määrittämiseksi ei ole tehty. Korkeiden alueiden uudistamis- ja puuntuotomahdollisuudet on tunnettava, jos pyritään kestäväan metsätalouteen. Suomen korkeille alueille tyypillisiksi mainittujen eri-ikäisrakenteisten tai erikokoisrakenteisten metsien määrää ja rakennetta sekä harsintahakkuiden soveltamismahdollisuuksia ei

ole tutkittu tarpeeksi (Norokorpi 1981a, 1983, Roiko-Jokela 1982, Timonen 1982).

Ruotsissa määritettiin vuonna 1952 metsänviljelyn taloudellinen toimenpideraja (Skogsodlingsgräns). Se sijaitsi eri korkeudella eri ilmastovyöhykkeillä. Raja koski vain valtion maita, mutta sitä sovellettiin yleisesti myös muiden omistajaryhmien metsätaloudessa. Rajasta luovuttiin vuonna 1984, ja osa korkeiden alueiden metsistä otettiin normaaliin talouskäyttöön (Bäckström 1985, Hansson 1985).

2.2 Metsien hoidon erityisohjeet

Korkeiden alueiden metsien hoitoa ja käyttöä on säädelty viranomaisten antamilla ohjeilla ja suosituksilla. Metsänviljely rajoitettiin Metsähallituksessa vuonna 1956 Oulun läänissä 300 metrin, Perä-Pohjolassa 250 metrin ja Saariselän pohjoispuolella 200 metrin rajan alapuolelle (Suonkuivaus ja...1956). Toimenpiderajan käsitettä on sittemmin laajennettu niin, että se koskee kaikenlaista metsien uudistamista ja käsittelyä. Nykyisissä metsähallituksen metsien käsittelyohjeissa on mainittu korkeiden alueiden luonnonsuojelullinen ja suojametsällinen luonne.

Pohjanmaalla ja Kainuussa sijaitsevia metsähallituksen hallinnassa olevia korkeiden alueiden metsiä voidaan uudistaa käyttäen samoja uudistamismenetelmiä kuin muuallakin. Uudistettavan puulajin soveltuminen kyseiselle kasvupaikalle on varmistettava tavallista huolellisemmin (Metsien hoito...1990a).

Perä-Pohjolan piirikunnan talousmetsien korkeat alueet ovat 280–330 metrin tai Saariselän pohjoispuolella 250–300 metrin yläpuolella sijaitsevia alueita sekä alempana sijaitsevia tasaisia alueita, joilla on lakimetsän luonne. Edellinen luku tarkoittaa pohjois- ja itärinteitä, jälkimmäinen etelä- ja länsirinteitä. Alueilla tehdään uudistushakkuita vain poikkeustapauksissa, männiköissä siemenpuuhakkuita ja kuu-sikoissa kaistaleavohakkuita. Ohjeen mainitsemisessa ”erirakenteisissa” metsissä voidaan tehdä ”metsän rakenteen säilyttäviä joustavia hakkuita”. Suojametsäalueen lakimetsiä ovat Saariselän eteläpuolella yli 280–330 metrin korkeudella sekä Inarissa, Utsjoella ja Enontekiöllä yli 250–300 metrin korkeudella sijaitsevat suojametsät. Niillä noudatetaan Lapin suojametsien

käsittelyohjeita (Oinonen ym. 1958). Alueilla ei yleensä tehdä muita kuin metsän elinvoimaisena pitämiseksi välttämättömiä toimenpiteitä (Metsien hoito... 1990b).

Korkeiden alueiden yksityismetsien hakkuille ja uudistamiselle ei ole asetettu samanlaisia rajoituksia kuin valtion mailla. Lakimetsiä ovat uusimpien metsänhoitosuosituksen mukaan Kainuussa yli 300 metrin, Koillis-Suomessa yli 320–360 metrin, Lapissa Saariselän eteläpuolella yli 280–320 metrin ja sen pohjoispuolella yli 250–300 metrin korkeudella merenpinnan yläpuolella sijaitsevat metsät (Metsänhoitosuositus 1989). Alueilla ei voi harjoittaa normaalia metsätaloutta, vaan päätavoitteena on elinvoimaisen puuston säilyttäminen.

Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakunnissa on annettu omia toimenpidesuosituksia alueille, joilla keskimääräinen vuotuinen lämpösusma (kynnysarvolla 5 °C) on alle 700 dd. Suositusten mukaan kuusikon kaistalehaku soveltuu erittäin hyvin korkeiden alueiden metsien uudistamiseen. Taimikon tiheydelle ja puulajisuhteille ei pidä asettaa yhtä tiukkoja vaatimuksia kuin tavallisissa metsissä (Lapin metsälautakunnan...1990, Koillis-Suomen metsälautakunnan...1990).

Pohjois-Pohjanmaalla on annettu metsänhoitosuositukset Pudasjärven ja Taivalkosken yli 130 metrin korkeudella sijaitsevien alueiden erityisolosuhteita varten. Mäntyvaltaiset metsät uudistetaan luontaisesti, mutta kuusikot viljellään männylle tai lehtikuuselle, tiiviillä mailla kuuselle. Kuusen luontaista uudistamista suositellaan, jos onnistumista pidetään varmana. Taimikoiden tiheys- ja puulajivaatimukset ovat normaalia lievemmat. Yli 280(330) metrin korkeudella sijaitsevilla alueilla on lakimetsän luonne. Metsäisyyden säilyttämiseksi suositellaan tehtäväksi vain poimintahakkuita, joissa poistetaan kuolleita tai kuolevia puita. (Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan... 1990).

Kainuussa metsänhoidollisesti vaikeat alueet alkavat keskimäärin 250 metrin korkeudesta (Kainuun metsälautakunnan...1991). Suositeltavin luontainen uudistamismenetelmä on kaistalehaku tai pienialainen avohaku (alle 1 ha). 300 metrin yläpuolella sijaitsevien alueiden metsät ovat lakimetsiä, joiden käsittelystä tulee pidättyä.

Kuva 1. Metsähallituksen korkeiden alueiden sijainti (Varmola 1988).

Figure 1. Location of the areas at high altitudes administered by the Finnish National Board of Forestry.

2.3 Sijainti ja määrä

Suurin osa korkeista alueista sijaitsee Pohjois-Suomen itä- ja pohjoisosissa (kuva 1). Muualla on pienempiä saarekkeitä siellä täällä maaston korkeimmilla kohdilla.

Metsähallituksen hallinnassa olevien korkeiden alueiden pinta-ala on Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien talousmetsäalueella 220000 ha, josta 150000 ha on metsämaata. Suojametsäalueella on korkeita alueita 1640000 ha, josta metsämaata 250000 ha (Varmola 1988). Pohjanmaan piirikunnassa on korkeita alueita 37000 ha, josta 27000 ha metsämaata (Valtanen 1988). Kuusamon pinta-alat ovat mukana sekä Lapin että Pohjanmaan luvuissa. Valtion maiden määrä on siellä verrattain vähäinen.

Yksityismaiden korkeita alueita (> 300 m mpy) on Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien talousmetsäalueella 88000 ha, josta 66000 ha metsämaata. Suojametsäalueella on korkeita alueita 53000 ha, josta 30000 ha on metsämaata (Lapin metsätaloustoimikunnan mietintö 1980). Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella on korkeita alueita (> 250 m mpy) 22000 ha, josta 16000 ha on metsämaata. Kainuun metsälautakunnan alueella on korkeiden alueiden (> 250 m mpy) metsämaata 100000 ha (Valtanen 1988).



3 Maaston korkeuden vaikutus kasvupaikkoihin, puustoon ja uudistamisoloihin

3.1 Ilmasto

Lämpötila on korkeiden alueiden metsien kasvun minimitekijä. Lämpötila laskee vapaassa ilmakehässä 0,65–0,7 °C 100 metrin nousua kohti (Huovila 1970). Korkeiden alueiden lämpöolot ovat tasaisemmat kuin alempana sijaitsevien alueiden. Lämpötilan maksimit ja kuukausikeskiarvojen maksimit ovat alempia ja vastaavat minimi korkeampia kuin alempana (Mork 1968, Perttu 1972, Helimäki 1974). Hallan riski on korkeilla alueilla keskimääräistä vähäisempi (Bergan 1984). Kasvukausi lyhenee Ruotsissa 5–6 päivää maaston korkeuden 100 metrin lisäystä kohti, ja kasvukauden lämpösusma kynnysarvolla 5 °C laskee 70–75 dd 100 metrin korkeuden lisäystä kohti (Holmgren 1956).

Kasvupaikan lämpöoloihin vaikuttavat myös rinteiden suunta ja kaltevuus. Auringon säteilyn tulokulma on pienin pohjoisrinteillä. Eteläpuoleiset rinteet saavat etenkin keväällä ja syksyllä moninkertaisen määrän säteilyä pohjoispuoleisiin verrattuna ja keskikesälläkin noin kaksinkertaisen määrän (Huovila 1970). Tyynellä säällä kylmä, suhteellisen raskas ilma valuu kaltevalla maalla alaspäin ja kerääntyy painanteihin (Franssila 1949). Korkeusero metsänrajaan nähden kuvaa Berganin (1974) mukaan kasvupaikan ilmasto-oloja paremmin kuin maaston korkeus merenpinnasta.

Keskimääräinen tuulen nopeus lisääntyy ylöspäin (Perttu 1972). Tuuli alentaa keskilämpötilaa, lisää maasta tapahtuvaa haihtumista ja aiheuttaa lumipeitteen paksuuteen voimakkaita vaihteluita.

Ilmaston mereisyys lisääntyy maaston korkeuden lisääntyessä. Mereisyys ilmenee tasaisempien lämpöolojen lisäksi suurempana sademääränä ja ilman kosteutena (Eurola & Kaakinen 1982). Kosteuden ja kylmyyden yhdistelmä johtaa keskimääräistä suurempaan lumen paksuuteen ja pitkään lumiseen aikaan korkeilla alueilla. Lumipeitteen keskimääräinen paksuus kasvaa 11 cm 100 metrin korkeuden lisäystä kohti ja lumen vesiarvo suhteellisesti vielä enemmän (Heikinheimo 1920a).

3.2 Maaperä

Maaperä on korkeilla alueilla kylmempi ja kosteampi kuin vastaava maaperä alempana. Pitkä lumisen aika hidastaa maan lämpenemistä merkittävästi. Maan lämpösusma on hyvin pieni kunnan alla käsittelemättömässä metsässä. Olot ovat podsoloitumiselle ja kuntaantumiselle suotuisat etenkin ns. veden koskemattomilla mailla, jotka jäivät aikoinaan Yoldiameren pinnan yläpuolelle. Tällaisia ovat Itä-Kainuussa ja Koillismaalla yli 190–200 m korkeudella ja Pohjois- ja Itä-Lapissa yli 180 m korkeudella sijaitsevat alueet (Eronen & Haila 1981). Niille on ominaista hienojen lajitteiden runsaus, pienet ravinnevarat ja maan tiiviys (Hassinen 1982, Valta 1988). Toisaalta maan hienojen lajitteiden osuus ja ravinteisuus sekä kunnan paksuus vähenevät ja maan kivisyys lisääntyy lähempänä vaaran tai tunturin lakea (Lohi ym. 1979). Rinteen maaperä voi olla lämpö- ja kosteusoloiltaan varsin erilainen kuin vastaava maaperä tasamaalla tai notkelmassa. Paksusammaltyyppi onkin tasamaalla yleisempi kuin rinteillä (Heikinheimo 1922).

Maan fysikaalisia ominaisuuksia Lapin korkeilla alueilla ja niitä vastaavissa oloissa sekä maanmuokkauksen vaikutusta niihin ovat tutkineet mm. Leikola (1974), Mutka & Lähde (1977), Ritari & Lähde (1978) sekä Lähde ym. (1981). Tutkimukset keskittyivät paksusammalkuusiin, joiden maaperä on tyypillisesti hienojakoinen, kylmä, tiivis ja ajoittain veden vaivaama. Voimaperäinen muokkaus (auraus, mästäys ja jyrästä) paransivat maan fysikaalisia ominaisuuksia ratkaisevasti. Maan lämpösusma viiden senttimetrin syvyydellä oli muokkausjäljessä jopa 2–3 kertaa niin suuri kuin käsittelemättömässä maassa. Maan ilmatila oli muokkaamattomassa maassa usein taimille liian pieni eli alle 10 %. Maata kuohkeuttavissa käsittelyissä ilmatila oli 20–50 %, jolloin maasaattoi kuivua liikaa kuivina kausina. Äestyksen vaikutukset olivat samansuuntaisia mutta lievämpiä. Laikutus lisäsi hieman maan lämpösusmaa mutta ei maan kuohkeutta. Tutkimukset käsittivät vain lyhyitä ajanjaksoja muokkauksen jälkeen. Muokkauksen pitkäaikaisia vaikutuksia ei ole tutkittu yhtä perusteellisesti.

Maanpinnan käsittelyn vaikutukset maan kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin tunnetaan huonosti. Muokatun maan lämpimyyden ja kuohkeuden arvellaan lisäävän maaeliöstön aktiiviteettia ja vaikuttavan suotuisesti maan biologisiin ja kemiallisiin prosesseihin. Kubinin (1983) mukaan auraspalteessa kasvavien viljelytaimien ravinteiden otto ja niiden käyttö saattaa poiketa normaalista, jolloin taimien kasvu häiriintyy. Tikkanen (1985) tutki hypoteesia, jonka mukaan humuksen muutokset ja fosforin sitoutuminen rauta- ja alumiiniyhdisteisiin olisivat johtaneet taimien kunnan huonontumiseen auratuilla alueilla. Aineisto ja tutkimustulokset eivät riittäneet oletuksen vahvistamiseen tai kumoamiseen, mutta ne viittasivat ravinnepuutosten esiintymiseen huonokuntoisissa taimissa. Myöhemmissä tutkimuksissa todettiin, että epänormaalisti kehittyneiden aurasalueiden taimien ravinnetalous ei ollut tasapainossa. Tutkimuksia on jatkettu, jotta saataisiin selville, onko ravinnetalouden häiriöillä osuutta taimien huonokuntoisuuden kehittymiseen (Tikkanen 1989). Ritarin (1991) tutkimuksessa maan rauta-, magnesium- ja alumiinipitoisuus olivat suuria ja maan ravinteisuus pieni niiden koalojen maaperässä, jolla kasvoivat aineiston parhaiten menestyneet taimet. Liukoisen alumiinin myrkyvaikutusta ei todettu esiintyneen koelaitteissa.

Kulituksen positiiviset vaikutukset maaperän ominaisuuksiin ja taimien kehitykseen ovat hyvin tunnetut. Ne kestävät korkeilla ja pohjoisilla alueilla ilmeisesti huomattavan pitkään (Viro 1969, Herttuainen 1981, Norokorpi 1981a).

3.3 Kasvupaikkatyypit

Aaltosen (1940) mukaan suurilla maanselillä ja korkeilla seuduilla on suhteellisen paljon huonotuottoisia metsätyyppejä. Syy tähän on podsoloitumiselle edullinen ilmasto, joka on johtanut maan voimakkaaseen huuhtoutumiseen ja humuskerroksen paksuuntumiseen.

Erolan & Kaakisen (1982) mukaan kuivat kankaat puuttuvat Kainuun vaaroilta yli 250 m korkeudelta ja *Vaccinium-Myrtillus*-tyyppi (VMT) muuttuu mereisemmäksi *Barbilophozia lycopodioides-Deschampsia flexuosa-Vaccinium myrtillus*-tyypiksi (BaDeM). Paksusammaleista *Hylocomium-Myrtillus*-tyyppiä (HMT) ei esiinny Kainuussa. Kuusamon vaaroilla tuoreen kankaan osuus kasvupaikkatyypeistä on suurin välillä 260–390 metriä merenpinnan yläpuolel-

la. Siitä ylöspäin kuivahkon kankaan osuus kasvaa jyrkästi (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

Kasvupaikan puuntuotoskyky kasvaa siirryttäessä karkeajakoisilta kuivilta mailta hienojakoisille tuoreille maille. Ilmaston humidisuudesta johtuva maan suuri vesipitoisuus pienentää Pohjois-Suomen tuoreimpien kasvupaikkatyypien puuntuotoskykyä. Hienojakoisimmat ja samalla usein ravinteisimmat ja tuoreimmat maat eivät ole Lapissa parhaiten puuta tuottavia kasvupaikkoja kuten Etelä-Suomessa (Lähde 1984).

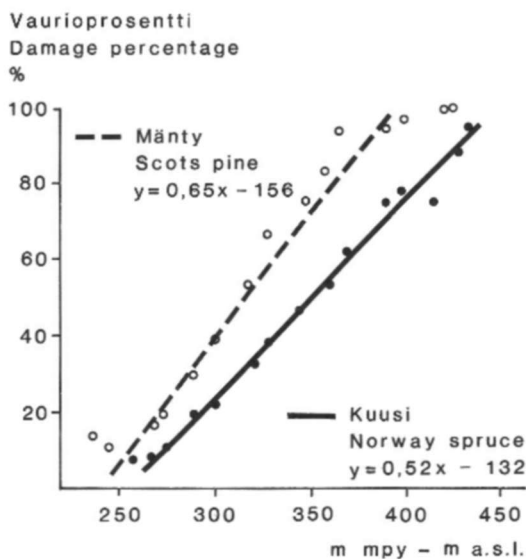
3.4 Puusto

Puuston rakenne muuttuu ja kasvu pienenee maaston korkeuden lisääntyessä, kunnes saavutetaan kunkin puulajin metsän- ja puuraja. Männyn laskennallinen metsänraja asettuu Suomessa kasvukauden keskimääräisen lämpösumman 600 dd:n kohdalle, puuraja vastaavasti 550 dd:n kohdalle. Nämä teoreettiset rajat saavutetaan käytännössä vain pohjoisilla suojametsäalueilla. Etelämpänä todelliset metsä- ja puurajat sijaitsevat korkeiden alueiden lumisuuden ja tykkytuhojen yleisyyden vuoksi alempana. Lumen viipyminen pitkään keväällä lyhentää korkeiden alueiden puiden tehokasta yhteyttämisäikää hyvin merkittävästi (Tranquillini 1979).

Tykynmuodostus on korkeilla alueilla voima-



Kuva 2. Tykkyraja, m mpy (Solantie 1974).
Figure 2. Crown snow-load limit, m a.s.l. (Solantie 1974).



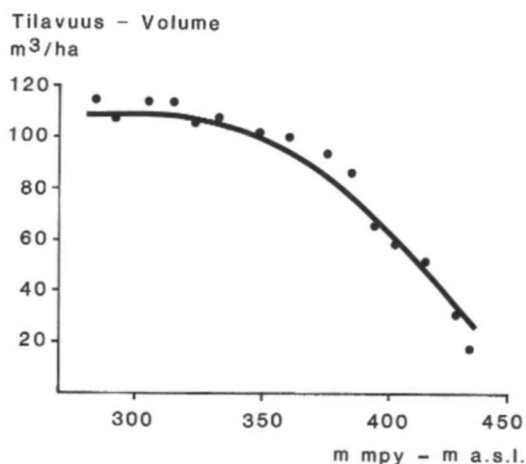
Kuva 3. Kuusen ja männyn tykkyvaurioprocentin riippuvuus maaston korkeudesta Kuusamossa (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

Figure 3. Dependence of Scots pine and Norway spruce crown snow-load damage percentage on altitude in Kuusamo, North-Eastern Finland (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

kasta, koska ilma jäähtyy noustessaan ylöspäin ja siinä oleva kosteus tiivistyy. Mitä lähempänä alue on Perämerta, sitä alempana on ns. tykkyraja (kuva 2). Sen yläpuolella esiintyy vuosittain merkittäviä lumituhoja, joiden seurauksena yli 30 % luontaisen havupuumetsikön puista on vaurioituneita (Norokorpi & Kärkkäinen 1985). Heikinheimon (1920a) kartoittamat Pohjois-Suomen lumituhoalueet sijaitsivat alueen itäosissa. Vain muutamia pieniä lumituhoalueita oli 27. pituuspiirin (likimäärin. Pyhätunturi-Inari) länsipuolella.

Tykin vaurioitamiin puiden osuus metsikön runkoluvusta suureni maaston korkeuden lisääntyessä Kuusamon yli 275 metriä korkeilla vaaroilla (kuva 3) (Norokorpi & Kärkkäinen 1985). Korkeuden ja tuhoprosentin välinen korrelaatiokerroin oli kuusikoissa 0,66 ja männiköissä 0,71. Korkeus vaikutti rinteillä tuhojen määrään voimakkaammin kuin tasamaalla.

Roiko-Jokela (1980) tutki puuston rakenteen ja maaston topografian välisiä yhteyksiä luonnontilaisissa varttuneissa metsiköissä. Aineisto edusti hyvin Oulun ja Lapin läänien korkeita alueita. Arviointilinjat sijoitettiin tunturien ja vaarojen rinteille paljakkalta tasamaalle saakka.



Kuva 4. Puuston tilavuuden riippuvuus maaston korkeudesta Kuusamossa (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

Figure 4. Dependence of stand volume on altitude in Kuusamo, North-Eastern Finland (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

Yli 1,3 m pitkien puiden runkoluku väheni alueittain keskimäärin 230 kpl/ha 100 metrin korkeuden lisäystä kohti. Maaston korkeus selitti kovarianssimallissa 35 % runkoluvun, 49 % pohjapinta-alan ja 57 % valtapituuden vaihtelusta. Puuston runkoluku, keskipituus, pohjapinta-ala, tilavuus ja tukkipuun määrä vähenivät korkeuden lisääntyessä (taulukko 1). Pohjapinta-ala ja tukkipuun määrä eivät riippuneet korkeudesta lineaarisesti, vaan pienenevät jyrkästi vasta noin 300 metrin korkeudesta ylöspäin.

Norokorpi & Kärkkäinen (1985) tutkivat maaston korkeuden vaikutusta puuston rakenteeseen Kuusamon vaaroilla. Valtapituusboniteetti ja puuston valtapituus pienenevät maaston korkeuden lisääntyessä (taulukko 1). Puuston keskitilavuus pysyi suunnilleen yhtä suurena (n. 110 m³/ha) aina 330 metrin korkeudelle asti, jonka jälkeen se pieneni jyrkästi (kuva 4).

Kemppi (1989) tutki kuusen metsänrajapuu-voja kahdeksalla tunturilla Lapista Koillismaalle. Yli 2 m pitkien kuusten lukumäärä pysyi lähes vakiona (keskimäärin 170 kpl/ha) kuusen metsänrajalle asti, josta se putosi jyrkästi puurajan noin 30 kpl/ha:iin. Koivun runkoluku oli noin 200 kpl/ha aina kuusen puurajalle asti. Kuusen keskipituus pieneni metsänrajan alapuolella mitattuna 12 metristä puurajan 7 metriin. Kuusen keskimääräinen runkotilavuus oli metsänrajan alapuolella keskimäärin 47 m³/ha ja metsänrajalla 22 m³/ha.

Taulukko 1. Maaston korkeuden vaikutus metsiköiden puustotunnuksiin Lapissa ja Kuusamossa.
Table 1. Effect of altitude on stand variables in Northern Finland.

Tunnus ja yksikkö Variable and unit	Tunnuksen ja maaston korkeuden välinen korrelaatiokerroin (r) Correlation coefficient (r) between variable and altitude				Maaston korkeuden vaikutus tunnuksen arvoon Effect of altitude on stand variable Yksikköä/100 m:n korkeuden lisäys Units per increase of 100 m in altitude			
	A	B	C	D	A*	B	C	D
Runkoluku, kpl/ha Number of stems per ha	..	..	..	..	-230	-	-	-7,3
Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal area, m ² /ha	-0,56	-	-	-0,16	-7,2	-4,5	-4,5	..
Valtapituus, m Dominant height, m	-0,73	-0,46	-0,63	..	..	..	..	..
Runko-tilavuus, m ³ /ha Stem volume, m ³ /ha	-0,61	-	-	-0,26	-66	-	-	-65
Tukkipuun tilavuus, m ³ /ha Sawtimber volume, m ³ /ha	-0,57	..	..	..	-55	..	..	..

A = Roiko-Jokela (1980): Kaikki havainnot yhdessä – All observations together

A* = Roiko-Jokela (1980): Alueittainen tarkastelu – By taking the effect of location into account

B = Norokorpi & Kärkkäinen (1985): Mäntyvaltaiset metsiköt – Stands dominated by Scots pine

C = Norokorpi & Kärkkäinen (1985): Kuusivaltaiset metsiköt – Stands dominated by Norway spruce

D = Norokorpi & Kärkkäinen (1985): Kaikki metsiköt puulajivaltaisuutta erittelemättä – All stands regardless of species composition

Poso & Kujala (1973) tutkivat puuston tilavuutta Pohjois-Lapissa valtakunnan metsien 5. inventoinnin aineiston perusteella. Puuston tilavuus pieni keskimäärin 31 m³/ha maaston korkeuden 100 metrin nousua kohti. Rinteet olivat muita maaston muotoja puustoisempia.

Kuusen osuus puuston keskimääräisestä runkoluvusta, pohjapinta-alasta ja tilavuudesta kasvaa maaston korkeuden lisääntyessä (Roiko-Jokela 1980). Kuusikot kasvavat korkeallakin suhteellisen tiheinä metsikköinä, mänty lähinnä vain yksittäisinä puina tai pieninä puuryhminä. Heikinheimon (1920b) mukaan silloisista Pohjois-Suomen kuusimetsistä puolet sijaitsi yli 300 metrin korkeudella merenpinnan yläpuolella ja 3/4 yli 250 metrin korkeudella. Kuusi muodostaa Koillismaalla havupuun metsänrajan, kun taas pohjoisempana sen muodostaa mänty (Heikinheimo 1920a, 1920b, 1922, Norokorpi 1981b, 1983, Norokorpi & Kärkkäinen 1985, Eurola & Kaakinen 1982, Roiko-Jokela 1982, Valtanen 1986).

Luonnontilaiset metsät ovat usein eri-ikäisrakenteisia lähellä metsänrajaa. Puusto koostuu eri-ikäisistä ja -kokoisista puuyksilöistä. Uudistuminen on niin vähäistä, että suuria taimi-ikäluokkia tai yhtenäisiä puujaksoja ei synny.

Vanhoiden puiden kuollessa syntyy aukkoja, jotka taimettuvat hitaasti (Sirén 1955, Roiko-Jokela 1980, Timonen 1982, Norokorpi 1983). Tällaisten kuusikoiden luonnontilaisista rakennetta on tutkittu, mutta harsittujen kuusimetsien kehitystä, puuntuotosta ja tuottoja Pohjois-Suomen metsänraja-alueilla ei ole tutkittu. Nilsen (1988) tutki harsintakuusikon kasvua ja uudistumista korkealla alueella (700 m mpy) Itä-Norjassa. Hakkuu muistutti määrämittaharsintaa, sillä puuston tilavuudesta poistettiin 55-81 %. Taimia syntyi 7-13 vuonna hakkuun jälkeen keskimäärin 300-1100 kpl/ha. Syntyneet taimet sijoittuivat metsikköön erittäin ryhmittäisesti. Jäljelle jääneen puuston kasvu ei samana aikana lisääntynyt merkittävästi.

Tutkimukset harsintarakenteisten männiköiden esiintymisestä ja dynamiikasta ovat tekemättä. Lassilan (1920) tutkimat männiköt olivat jossain määrin eri-ikäisrakenteisia. Niissä oli 5-7 hyvin uudistumisvuosiin liittyntä männyn taimi-ikäluokkaa ylispuiden lisäksi. Sarvas (1950) ei tutkinut harsinnassa jäljelle jääneiden puustojen kehitystä. Ne olivat niin harvoja ja huonokuntoisia, että mahdollisimman nopeaa uudistamista pidettiin ainoana mielekkäänä käsittelyvaihtoehtona.

3.5 Metsien uudistamiskologia

3.5.1 Uudistumisen vaiheet

Sarvas (1938) jakoi metsikön luontaisen uudistumisen kahteen peräkkäiseen vaiheeseen, siementymiseen ja taimettumiseen. Siementymisen tarkoittaa itämiskykyisen siemenen tuotantoa ja sen leviämistä uudistusalueelle. Taimettuminen käsittää taimien syntymisen ja alkukehityksen. Vaiheiden luetteloon voidaan vielä lisätä metsittyminen. Se tarkoittaa taimien kehittymistä ja kasvua niin pitkälle, että vaiheen päättyessä taimet ovat ohittaneet tuhoherkimmän nuoruusvaiheen, ja uudistumisen voidaan katsoa varmistuneen. Uudistusalueella esiintyy yleensä samanaikaisesti useampia kuin yksi näistä vaiheista. Seuraavassa tarkastellaan maaston korkeuden vaikutusta kuhunkin uudistumisen vaiheeseen.

3.5.2 Siementyminen

Uudistusalan siementymiseen vaikuttavat ainakin siemennyskykyisen puuston määrä, laatu ja sijainti uudistusalueella tai sen ympäristössä, siemensadon määrä, siemenien tuleentuneisuus ja niiden säilyminen itämiskelpoisena sekä siementuhot.

Männyn siemensadot ovat määrältään riittävän suuria niin pohjoiseen ja korkealle asti, mihin yhtenäiset mäntymetsiköt ulottuvat (Numminen 1991). Sarvaksen (1962) mukaan 100-vuotiaan alaharvennetun männikön siemensadon määrä riippuu puuston valtapituudesta seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$Y = 4,91 + 1,113 \cdot X$$

Y = keskimääräinen vuotuinen siemensato, kpl/m²
X = puuston valtapitus

Siemensato on yhtälön mukaan samalla valtapituudella yhtä suuri koko maassa.

Koski & Tallqvist (1978) julkaisivat Sarvaksen perustamista pitkäaikaisista siemenkeräyskokeista saatuja tuloksia. He tutkivat metsikön siemensadon maksimin riippuvuutta puuston valtapituudesta ja tiheydestä eri puulajeilla. Riippuvuus oli kiinteä ja se noudatti männyllä ja hieskoivulla yhtälöjä

$$\ln(Y) = 4,0855 + 0,0687 \cdot H, R^2 = 0,448 \text{ (mänty)}$$

$$\ln(Y) = 8,7506 + 0,1632 \cdot H, R^2 = 0,661 \text{ (hieskoivu)}$$

jossa

Y = metsikön vuotuisen siemensadon kapasiteetti, kpl/m²
H = metsikön valtapitus

Kuusella puuston runkoluku selitti siemensadon kapasiteetin vaihtelua paremmin kuin valtapitus. Kuusella yhtälö oli siten seuraava:

$$Y = -0,4745 + 0,1106 \cdot N, R^2 = 0,608 \text{ (kuusi)}$$

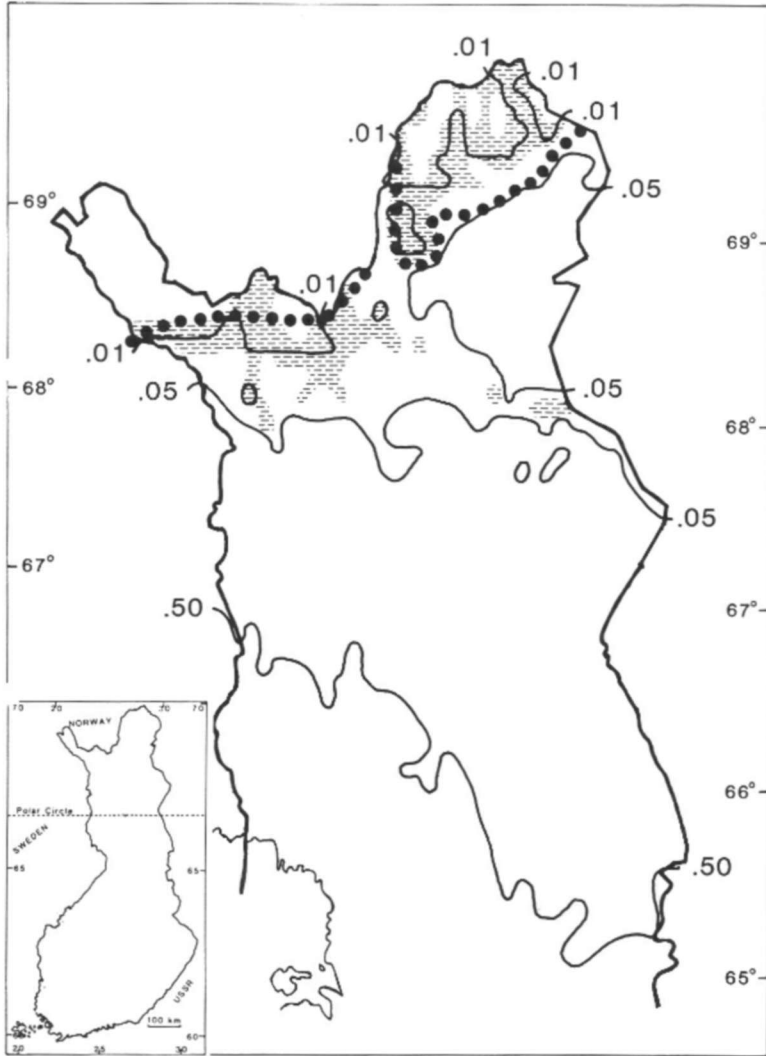
jossa

Y = metsikön vuotuisen siemensadon kapasiteetti, kpl/m²
N = metsikön runkoluku, kpl/ha

Tuloksista voidaan päätellä, että vuotuisen siemensadon kapasiteetti on korkeilla alueilla keskimääräistä pienempi, koska puuston valtapitus ja runkoluku pienenevät yleensä maaston korkeuden lisääntyessä.

Siemensadon määrä vaihtelee voimakkaasti vuosittaisen lämpösumman mukaisesti (Pohtila 1991). Kukka-aiheiden valmistamiseen tarvittava 910 dd:n lämpösumma saavutetaan korkeilla alueilla harvoin. Siemen itää vain, jos se tulee tuu eli kehittyy riittävän pitkälle. Kukkimista seuraavan kesän lämpösumman on oltava vähintään 845 dd, jotta 50 % männyn siemenistä tuleentuisi (Sarvas 1970). Henttosen ym. (1986) mukaan vastaava minimilämpösumma on 890 ± 45 dd. Tarkastelu perustui Kujalan (1927) aineistoon 1920-luvulta. Lämpösummamallien (Ojansuu & Henttonen 1983) avulla laskettiin 50-prosenttisesti tuleentuneen männyn siemensadon esiintymisen todennäköisyys Lapin eri osissa (kuva 5). Menetelmällä voidaan arvioida maaston korkeuden vaikutusta siemenen tuleentumistodennäköisyyteen, kun tunnetaan lämpösumman korkeusgradientin suuruus kyseisellä alueella.

Edullisissa oloissa itävää, vajaasti tuleentunutta siementä muodostuu useimpina kesinä kylmilläkin alueilla. Männyllä muodostuu suhteellisen paljon itävää siementä vielä, kun lämpösumma on 600 dd. Täydellisen itämättömyyden raja on n. 500 dd (Numminen 1982). Metsiköstä otetussa siemennäytteessä on aina eri tavoin tuleentunutta siementä, koska puuyksilöiden välinen siemenen tuleentuneisuuden vaihtelu on suuri. Siemenet tuleentuvat Nummisen (1974) aineistossa puiden etelän puoleisilla oksilla selvästi useammin kuin pohjoisen



Kuva 5. Männyn vähintään 50-prosenttisesti tuleentuneen siemensadon esiintymisen (= lämpösumma 890 dd) 0,01, 0,05 ja 0,50 todennäköisyyden rajat Pohjois-Suomessa. 890 ± 35 dd:n lämpösumman saavuttamisen todennäköisyys on varjostetulla alueella 0,01. Männyn polaarinen metsänraja on merkitty pisteviivalla (Henttonen ym. 1986).

Figure 5. The 0.01, 0.05 and 0.50 probabilities of a 50 % mature seed crop (equalling temperature sum of 890 d.d.) in Northern Finland. The probability of achieving 890 ± 35 d.d. is 0.01 in the shaded area. The dotted line indicates the polar forest line of Scots pine (Henttonen ym. 1986).

puoleisilla oksilla. Rinteen suunta ei vaikuttanut tuleentuneisuuteen. Käpyjen saama suora auringon säteily ja siitä aiheutuva lämpeneminen nopeuttivat siementen tuleentumista selvästi.

Suuri osa männyn ja kuusen uudistumisesta keskittyy Pohjois-Suomessa muutamien peräkkäisten uudistusvuosien sikermiin. Vanhem-

missä tutkimuksissa päädyttiin yhdistämään tällaiset sikermät hyviin siemenvuosiin (Renvall 1912, Lakari 1915, Sarvas 1938).

Renvallin (1912) mukaan Inarin eteläosissa oli ollut hyviä siemenvuosia keskimäärin 10–20 vuoden välein, Inarin ja Utsjoen männyn metsänrajalla harvemmin kuin kerran 100 vuodes-

sa. Lakari (1915) arvioi, että hyvät siemenvuodet olivat kertautuneet Pohjois-Suomen kuivilla kankailla keskimäärin 10 vuoden välein. Mikola (1952) osoitti, että metsänrajalla oli ollut v. 1910–1950 siemenvuosia selvästi useammin kuin aikaisemmin, mikä johtui lämpimästä ilmastojaksosta. Heikinheimon (1922) mukaan kuusen hyvät siemenvuodet olivat toistuneet Pohjois-Suomessa keskimäärin 30 vuoden välein. Edellä käsiteltyjen, taimien ikäluokkajakaumaan perustuvien siemennyksen määrää koskeneiden tutkimustulosten luotettavuutta vähentää se, että siemensadon suuruus ja laatu eivät yksin ratkaise taimettumisen runsautta.

Siemenvuosien toistumisessa on esitetty olevan jaksollisuutta, joka perustuu ilmaston säännölliseen vaihteluun (Pohtila 1980, Sirén 1991a). Mikäli jaksollisuutta esiintyy ja jaksojen kulku pystytään ennakoimaan, luontaisen uudistamisen toimenpiteet voidaan keskittää suotuisimpiin ajankohtiin.

Uudistushakkuulla vaikutetaan siementävien puiden määrään ja sijaintiin hakkuualalla tai sen läheisyydessä sekä niiden siementuottoon. Aaltonen (1919) piti Pohjois-Suomen mäntyjen siementuottoa niin pienenä, että suositteli jätettäväksi vähintään 200 siemenpuuta hehtaaria kohti muokkaamattomilla aloilla. Uudistusaloilla, joiden maanpinta on käsitelty, jotka on kulotettu tai joilla on runsaasti taimia jo ennen siemenpuuhakkuuta, riittää ilmeisesti 20–50 männyn siemenpuuta hehtaaria kohti (Kolehmainen 1951, Sarvas 1956, Sirén 1958, Punkkinen 1982, Suoheimo 1982). Hyvin harvojen männyn siemenpuuasentojen (Herttuainen 1981) ja jopa harsintajämänniköiden (Sarvas 1950) puustokin oli yleensä riittänyt siementämään hyvässä taimettumiskunnossa olleet alat.

Reunametsä siementää usein kaistalehakkuualat ja avohakkuualojen reunat. Heikinheimon (1944) ja Sarvas (1956) arvioivat tehokkaan siemennyksen ulottuvan Lapissa männynllä ja kuusella korkeintaan 30–45 metrin etäisyydelle metsän reunasta. Oinosen (1956) inventoimat aukeat kuloalat olivat taimettuneet hyvin männylle noin 80 metrin etäisyydelle metsän reunasta, ja Herttuaisen (1981) tutkimat kulotetut alat ainakin 75 metrin etäisyydelle asti. Hassisen (1982) mukaan kuusen kaistalehakkuualoilla ei ollut havaittavissa kuusen taimimäärän pienemistä vielä 60 m etäisyydelläkään reunametsästä, mutta Mikkilä (1984) päätyi suosittelemaan 40–50 m:n maksimietäisyyttä kuusi-reunametsän siemennykseen luotettaessa.

Puuston siementämiskyky on vakavien lu-

mituhojen alueilla keskimääräistä huonompi. Lumituhot runtelevat pahiten latvuksen yläosaa, jossa suurin osa siemenistä tuotetaan (Heikinheimon 1920a). Korkeiden alueiden metsistä on tavallista suurempi osuus hyvin vanhoja. Männikön siementuotanto on Lapissa suurimmillaan n. 150–170 vuoden iällä, mutta riittävän suuri ainakin 200 ikävuoteen asti (Lassila 1920). Herttuaisen (1981) ja Suoheimon tutkimusten (1982) tulokset osoittivat, että 220–250 -vuotiaiden männiköiden siemenniskyky oli riittänyt hyvin uudistumiseen. Mannisen & Lähteen (1981) ja Mäkitalon (1987) tutkimusten tulokset osoittivat, että 170–180-vuotiaan kuusikon siementämiskyky oli vielä riittävän suuri. Korkeiden alueiden huonokuntoisten puustojen siemenniskykyä olisi syytä selvittää tarkemmin.

Korkeille alueille sopivien paikallisten alkuerien viljelysiemenestä on usein puutetta, koska siementuotto on pieni ja keräykseen kannattaa ryhtyä vain harvoin. Nummisen (1982) mukaan korkeiden alueiden uudistamiseen voitaisiin käyttää etelämpänä tai alempana kasvavien, lyhyen kasvukauteen sopeutuneiden puuyksilöiden siementä. Tällaisia yksilöitä voitaisiin tunnistaa niiden fenologisten ominaisuuksien perusteella.

3.5.3 Taimettuminen

Uudistusalan ilmasto ja sää, maanpinnan ominaisuudet, pintakasvillisuus ja puusto vaikuttavat ratkaisevasti siihen, miten suuresta osasta alalle tulleista siemenistä syntyy taimia.

Korkeiden alueiden kylmyys ja kosteus hidastavat usein siemenen itämistä ja alkukehitystä. Männyn siemenen itäminen vaatii yli 5–6 °C:n lämpötilan, kuusen siemenen yli 7 °C:n. Nopea ja täydellinen itäminen tapahtuu vasta yli 15 °C:n lämpötilassa (Aaltonen 1942). Kylmyyden haittoja voidaan vähentää käyttämällä kylvösuojaa. Suoja nopeutti Lähteen (1979) tutkimuksessa männyn, kuusen ja lehtikuusen siemenien itämistä ja lisäsi taimettuneiden kylvökohtien osuutta 70–80 %:sta 80–100 %:iin ilman kylvösuojaa viljeltyihin kohtiin verrattuna. Taimien pituuskasvunopeus lisääntyi vastaavasti 10–30 %. Suojan käyttö on nykyisin harvinaista korkeiden kustannusten takia.

Kuivuus tuhoaa usein pieniä taimia kuivilla kankailla Pohjois-Suomessakin. Pohjois-Suomen korkeiden alueiden karujen kankaiden kosteusolot ovat männyn taimettumisen kannalta kuitenkin verrattain hyvät, koska ilmasto on humi-

dinen. Taimia syntyy luonnontilaisilla kuivilla kankailla eniten tuulenkaatojen paljastamiin kivennäismaalaikkuihin sekä kantojen ja maapuiden vierelle. Taimien syntymiselle edullisimmat kosteusolot ovat kivennäismaan pinnalla, johon on sekoittunut humusaineita. Maanpinnan käsittely ja kulutus lisäävät männyn uudistusalojen taimettumismahdollisuuksia ratkaisevasti (Aaltonen 1919, Lassila 1920, Sarvas 1938, 1950, Oinonen 1956, Herttuainen 1981).

Sarvaksen (1949) mukaan pienten männyn taimien vaarallisimpia kilpailijoita ovat syvälle juurtuvat ruohot ja heinät. Korkeilla alueilla niiden peittävyys ja yleisyys on yleensä suhteellisen pieni. Korkeiden alueiden ilmasto suosii paksun kangashumuskerroksen muodostumista hienojakoisilla mailla. Paksu humos on huono itämis- ja kasvualusta. Taimia syntyy vain paljastuneisiin kivennäismaalaikkuihin, lahoaville kannoille ja maapuille (Heikinheimo 1939, Sirén 1955, Norokorpi 1979, Pohtila 1990). Maanpinnan käsittely, etenkin voimaperäinen muokkaus, parantaa paksusammaltypin taimettumisedellytyksiä ratkaisevasti (Manninen & Lähde 1981, Hassinen 1982, Mäkitalo 1987, Valtanen 1988).

Rouste on erittäin yleinen pienten taimien tuhoaja hienojakoisella paljastetulla kivennäismaapinnalla. Istutetut kennotaimet nousevat maasta ja kaatuvat rousteen ja eroosion vaikutuksesta (Pohtila 1972b, 1974, 1977, Mäkitalo 1983, 1987, Jalkanen 1989).

Auratun maan taimettumiskunnon säilymisestä Lapissa on saatu hieman ristiriitaisia tuloksia. Muista maanpinnan käsittelymenetelmistä kuin aurauksesta ja kulotuksesta on saatu vain hajanaisia tietoja. Kellomäki (1972) totesi, että auratun maan paras taimettumiskunto hävisi Lapissa keskimäärin 10 vuodessa, kun nuotio- ja karhunsammalet valtasivat paljastetun maanpinnan. Fermin & Sepposen (1981) mukaan siemenpuualoilla oli vielä yli 10 vuoden kuluttua muokkauksesta runsaasti kasvillisuudesta vapaita kohtia, joissa taimilla oli hyvät mahdollisuudet syntyä ja kehittyä. Auravakojen pienmuodoilla yleisesti esiintyneet kulo-, nuotio- ja karhunsammalet eivät heidän mukaansa välttämättä ole haitallisia kasvilajeja havupuiden taimettumista ajatellen. Hassisen (1982), Punkkisen (1982), Suoheimon (1982) ja Mikkilän (1984) tutkimuksissa muokatun maan taimettumiskunto oli säilynyt Lapissa hyvänä enemmän kuin 10 vuotta. Pohtilan & Pohjolan (1985) kokeissa muokatun maan taimettumiskunto huononi nopeasti ja kylvösiemenistä syntyi yleensä sitä vähemmän taimia mitä enemmän muokkauk-

sesta oli kulunut aikaa. Sarvas (1938) totesi taimettumisolojen pysyneen kuivien kankaiden kuloaloilla hyvinä ainakin 20 vuotta. Herttuaisen (1981) ja Norokorven (1981b) mukaan kulotuksen ja muokkauksen maata parantava vaikutus säilyi suojajetsäalueen kuivilla ja kuivahkoilla kankailla ainakin 30 vuotta.

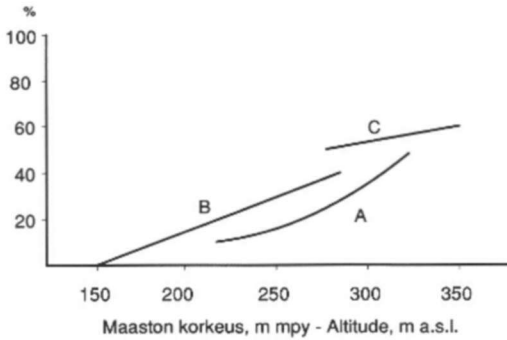
Häggmanin (1987) mukaan ns. siemenen jälki-itämistä esiintyy yleisesti kylmillä alueilla, ja sillä voi olla suurta merkitystä siemenen käytön tehostajana. Puutteellisesti tuleentuneet siemenet voivat säilyä kuivissa ja viileissä oloissa itämiskykyisinä yhden tai useampia talvia. Ne itävät vasta sitten kun ”niihin on kohdistunut itämistä stimuloivia impulsseja, kuten sopiva kosteus ja lämpötila” (Nordström 1955). Lassilan (1920) mukaan jopa 11 % siemenistä oli itänyt vasta kolmantena kasvukautena kylvöstä. Sirénin (1952) kokeissa kolmantena kasvukautena kylvöstä iti vielä 7 % ja neljäntenä 4 % siemenistä, mutta Häggmanin (1987) kokeessa vain 1–6 % iti toisena kasvukautena.

Heikinheimon (1922) mukaan kuusen kasvulinen uudistuminen on suhteellisen yleistä paksusammalkuusikoissa. Keskimäärin 13 % kuusen taimista eli n. 30 kpl/ha oli syntynyt kasvullisesti oksista.

3.5.4 Metsittyminen

Taimien tuhoutuminen jatkuu korkeilla alueilla normaalia pitempään, koska taimet sivuuttavat erilaisille tuhoille alttiit kehitysvaiheet hitaammin. Taimikkoa ei voida yleensä pitää vakiintuneena vielä 15 vuoden iässäkään Pohjois-Suomessa (Norokorpi 1987).

Tiiviille maille tyypilliset ongelmat, maan kylmyys, kosteus ja hapettomuus, kärjistyvät korkeilla alueilla. Maan huokostilan olisi oltava vähintään 50 %, josta n. puolet veden ja puolet ilman täyttämää. Jos ilmatila on alle 20 %, juurten ja maaeliöstön toimintaedellytykset huononevat. Alle 10 %:n ilmatilassa juuret eivät pysty kasvamaan (Lähde & Pohjola 1975, Lähde 1978). Taimien juuristot ovat korkeilla alueilla suhteellisen pieniä verson kokoon nähden (Tranquillini 1979). Kuusi voi menestyä tiiviillä maillla humidisessa, kylmässä ilmastossa paremmin kuin mänty. Sen pinnallinen juuristo keskittyy kivennäismaan ja humuksen rajalle, joka on maan kosteuden ja ilmatilan kannalta suotuisin kerros. Kuusi voi kasvattaa jälkijuuria humuskerrokseen ja välttää näin huononevia olosuhteita humuksen kasvaessa paksuutta



A = Taivalkoski (Pelkonen ym. 1982)
B = Ristijärvi (Haverinen 1982)
C = Kuusamo (Otsamo 1986)

Kuva 6. Männyn lumikaristeen (*Phacidium infestans*) infektoimien taimien osuuden riippuvuus maaston korkeudesta eri tutkimuksissa (Norokorpi 1987).

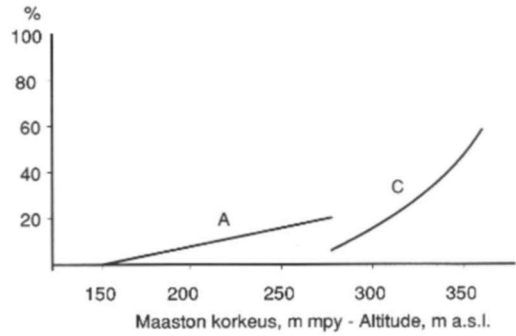
Figure 6. Dependence of the proportion of Scots pine seedlings infected by Snow blight (*Phacidium infestans*) on altitude in Northern Finland (Norokorpi 1987).

(Heikinheimo 1922, Sirén 1955, Lähde 1974, Lähde & Mutka 1974, Lähde & Siltanen 1973, Bergman 1991). Hieskoivu pystyy ilmeisesti kuljettamaan happea maanpäällisistä osista juuristoon ja menestymään Pohjois-Suomen tiiviillä mailla (Bergman 1991).

Istutustaimien juuristojen usein huonolla kunolla (Parviainen & Antola 1986) on korkeilla alueilla todennäköisesti vielä vakavammat seuraukset kuin suotuisammilla oloissa alempana. Norokorven (1972) mukaan taimien tuhoalttius lisääntyy sen kasvaessa. Juuriston on laajennuttava verson kasvaessa. Syvemmällä lämpötila on alempi, ja hapen saanti vaikeutuu. Juurten kasvu hidastuu, ja taimen kunto huononee. Mitä epäedullisemmat maaperän ominaisuudet ovat, sitä pienempinä taimet alkavat kitua.

Männyn lumikariste (*Phacidium infestans*), versosurma (*Gremmeniella abietina*) ja mekaaniset lumituhot ovat yleisimmät varttuncempien männyn taimien tuhoajat Pohjois-Suomen korkeilla alueilla (Norokorpi 1987). Em. sienitaudit ovat yleisiä kaikissa Pohjois-Suomen itä- ja pohjoisosien männyn taimikoissa, ei pelkästään korkeilla alueilla (Pohtila 1972b, Valtanen 1973, Heikkilä 1981, Pohtila & Valkonen 1985, Pelkonen ym. 1982, Mäkitalo 1983, Otsamo 1986, Oikarinen & Norokorpi 1986, Jalkanen 1989).

Lumikariste tappaa neulasia lumen sisällä.



A = Taivalkoski (Pelkonen ym. 1982)
C = Kuusamo (Otsamo 1986)

Kuva 7. Männyn versosurmakan (*Gremmeniella abietina*) infektoimien taimien osuuden riippuvuus maaston korkeudesta eri tutkimuksissa (Norokorpi 1987).

Figure 7. Dependence of the proportion of Scots pine seedlings infected by *Scleroderris canker* (*Gremmeniella abietina*) on altitude in Northern Finland (Norokorpi 1987).

Paksu lumi, pitkä lumen aika ja taimien hidas kasvu lisäävät sienien aiheuttamia tuhoja. Lumikaristeen esiintymisen ja sen aiheuttamien tuhojen on havaittu yleistyvän maaston korkeuden lisääntyessä Koillis-Suomessa (kuva 6). Otsamon (1986) aineisto oli kokonaisuudessaan peräisin hyvin korkealta, ja lumikaristetta esiintyi runsaasti kaikilla aloilla. Männyn taimien menestyminen kovin pienissä aukoissa korkeilla alueilla on epävarmaa lumikaristevaaran takia. Pieniin aukkoihin kerääntyy runsaasti lunta, ja taimet kasvavat hitaammin kuin aukeilla. Toisaalta lumikariste leviää tehokkaasti tuulen kuljettamana suurilla, hakkuutähteettömillä tai vesakoitumattomilla aukeilla (Norokorpi 1972).

Kuusella esiintyy oma lumikaristelaji (*Lophodermium pinastri*). Sen merkitys taimien tuhoajana on pienempi ja vähemmän tunnettu kuin männyn lumikaristeen. Kempin (1989) tutkimuksessa kuusen lumikaristetta esiintyi metsänrajalla ja sen tuntumassa vain muutamalla prosentilla taimista. Mikkilän (1984) aineistossa luontaisista kuusista oli lumikaristeen infektoimia keskimäärin 10 %, mutta viljellyistä taimista peräti 69 %. Männyllä vastaavat luvut olivat 6 ja 38 %. Pohjois-Ruotsissa on esiintynyt vakavia kuusen lumikaristetuhoja erityisesti korkeilla alueilla (Remröd 1974, Remröd & Strömberg 1974).

Männyn versosurmakka iskeytyy yleensä heikentyneisiin taimiin. Kylminä kasvukausina kes-

keneräisesti kehittyneiksi jääneet silmut ovat erityisen herkkiä saamaan versosurmainfektion. Lumi- ja muut mekaaniset tuhot lisäävät sienelle sopivien iskeytymiskohtien määrää (Kurkela 1982). Myös versosurman esiintymisessä ja tuhoriskissä on havaittu korkeusgradientti (kuva 7). Otsamon (1986) inventoimissa männyn istutustaimikoissa versosurman esiintymisen ja maaston korkeuden välillä oli erittäin merkittävä korrelaatio ($r = 0,62$). Jalkasen (1989) mukaan lakimaiden viljelytaimikot näyttävät kohtaavan versosurmaepidemian ainakin kerran siihen mennessä kun ne saavuttavat 1–2 metrin pituuden.

Männyn ja kuusen taimien tuhoalttius eroaa selvästi toisistaan. Männyllä on lukuisia merkittäviä sienitauteja, kun taas kuusen taimia uhkaavat vain muutamat neulastaudit. Jalkasen (1989) mukaan kuusi soveltuu tästä syystä mäntyä paremmin korkeille alueille.

Kihlman (1890) tutki Kuolan niemimaan metsänrajapuiden kitukasvuisuuden syitä. Havuja lehtipuiden versot kuolevat säännöllisesti lu-

men pinnan yläpuolella. Tämä johtuu Kihlmanin mukaan versojen pakkaskuivumisesta. Versoista haihtuu talven aikana vettä, eikä puu pysty korvaamaan vajausta maan ollessa jäätyneenä. Tuulisuus ja pitkä lumen aika lisäävät kuivumisriskiä korkeilla alueilla. Tranquillinin (1979) mukaan neulasten ja versojen kutikulan kehittyminen jää usein kesken metsänrajan oloissa Alpeilla. Versoista voi silloin haihtua tavallista enemmän vesihöyryä erityisesti juuri hangen pinnan yläpuolella, jossa säteilyn intensiteetti on heijastumisen takia erittäin suuri. Sulkeutuneissa metsiköissä puut suojaavat toisiaan säteilyn kuivattavalta vaikutukselta. Sutisen (1989) mukaan pakkaskuivuminen johtuu toistuvista suurista lämpötilan vaihteluista neulasten sisällä. Kemppi (1989) totesi kuusen kuolevan metsänrajalla herkästi niiden pituuden ylitettyä keskimääräisen hankirajan. Ruotsissa on todettu mäntyjen kuolevan usein niiden ylitettyä hankirajan (Kullman 1981). Renvall (1919) korosti männyn menestyvän metsänrajalla niin kauan kun metsiköt pysyvät sulkeutuneina.

4 Metsänuudistamistulokset korkeilla alueilla

4.1 Tutkimukset ja niiden aineistot

Korkeiden alueiden metsien uudistamiseen liittyneiden julkaistujen tutkimusten sekä eräiden julkaisemattomien koeaineistojen määrä ja laatu selvitettiin. Tiedot saatiin Rovaniemen tutkimusasemalla tehdystä selvityksestä ja tutkimusraporteista. Tutkimuksia ja aineistoja kuvattiin ja luokiteltiin tutkimuksen otteen ja tarkoituksen, taimitunnusten sekä aineiston rakennetta kuvaavien muuttujien mukaan (liitteet 1 ja 2). Taulukoissa 2a–2d on esitetty tiivistetyssä muodossa liitteeseen 2 sisältyviä metsänuudistamistutkimuksia. Sellaisista aineistoista, joista on tehty useita tutkimuksia, otettiin mukaan vain viimeisin tai poikkeustapauksissa perusteellisimmaksi katsottu tutkimus.

Metsänuudistamistutkimuksissa saatujen tulosten tarkastelu rajoitettiin koskemaan ainoastaan niitä tutkimuksia, jotka kuuluivat johonkin seuraavista ryhmistä:

1. Korkeiden alueiden metsien uudistaminen tai maaston korkeuden vaikutus uudistamistuloksiin.

2. Metsänrajametsien uudistaminen ja uudistuminen
3. Uudistamistutkimukset, joiden aineistossa korkeilla alueilla (> 250 m mpy) oli ollut merkittävä osuus.
4. Tutkimukset, joiden tuloksilla katsottiin olevan yleistä merkitystä korkeiden alueiden metsien uudistamisen kannalta.

Suomalaisten tutkimusten lisäksi tarkasteltiin vertailun vuoksi ruotsalaisia ja norjalaisia korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimuksia. Ne eivät kuitenkaan ole mukana taulukoissa 2a–2d ja liitteessä 2. Tutkimuksia ei käsitellä aikajärjestyksessä kuten tavallisesti. Tutkimukset, joilla on toistensa kanssa mahdollisimman paljon yhteistä tutkimuksen kohteen, tutkimusmenetelmän tai aineiston kannalta, käsitellään peräkkäin tai yhdessä. Tutkimusten numerot viittaavat liitteeseen 2 ja kirjallisuusluettelon kohtaan ”1. Luokitellut aineistot”.

Varsinaisia korkeiden alueiden uudistamisen kenttäkoesarjoja on perustettu vain kaksi (taulukko 2a). Oulun lääniin perustettiin v. 1974–76 uudistamiskoe (Valtanen 1988,

Taulukko 2a. Metsänuudistamistutkimusten aineistot, joihin sisältyi koealoja tai havaintoja korkeilta alueilta (> 250 m mpy). Varsinaiset korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimukset; metsänuudistamistutkimukset, joiden aineisto sijaitti kokonaan korkeilla alueilla; metsänraja-alueiden uudistumis- ja uudistamistutkimukset.

Table 2a. Finnish forest regeneration experiments and surveys including permanent or temporary sample plots at high altitudes (> 250 m a.s.l.). Material that was completely above 250 m a.s.l. or near the alpine or polar timber line.

Tutkimuksen numero <i>No. of study</i>	Tarkoitus <i>Purpose of study</i>	Perustamisvuosi <i>Stand establishment year</i>	Koealojen määrä <i>Number of sample plots</i>			Yht. <i>Total</i>	Käytetyt uudistamismenetelmät <i>Regeneration methods</i>	
			Maaston korkeusluokittain <i>By altitude class</i>					% lukumäärästä <i>per cent of total number</i>
			250–299 m	300–349 m	350–m				kpl – no
Kenttäkokeet – Experiments								
15	11	1954	100			16	15,18	
41	10,16	1976			100	1440	12,13,17	
70	16,10	1976			100	24	13,23,73	
80	10,11	1951	50	10		-	12,13,15	
86	10,11	1977	33	33	33	93	12,13,23,26,28,29,33,73	
102	11	1983–88	36	48	5	341	15,18,26,28,48	
Inventoinnit – Surveys								
18	11,24	-		50	50	96	20	
27	11,24	-	25	25	25	28	10	
38	10	1912–53	-	-	-	-	12,13	
52	10	1960–75	12	61	27	26	12,13,23	
53	10	1954–65	-	-	-	15	12,13	
104	10,11	-	-	-	-	-	12,13,15	

Taulukko 2b. Metsänuudistamistutkimusten aineistot, joihin sisältyi koealoja tai havaintoja korkeilta alueilta (> 250 m mpy). Metsänuudistamisen kenttäkokeet, joiden aineistosta vain osa sijaitti korkeilla alueilla.

Table 2b. Finnish forest regeneration experiments and surveys including permanent or temporary plots at high altitudes (> 250 m a.s.l.). Experiments including material at both high and low altitudes.

Tutkimuksen numero <i>No. of study</i>	Tarkoitus <i>Purpose of study</i>	Perustamisvuosi <i>Stand establishment year</i>	Koealojen määrä <i>Number of sample plots</i>			Yht. <i>Total</i>	Käytetyt uudistamismenetelmät <i>Regeneration methods</i>	
			Maaston korkeusluokittain <i>By altitude class</i>					% lukumäärästä <i>per cent of total number</i>
			250–299 m	300–349 m	350–m				kpl – no
29	16,10	1971	25			372	13,23	
40	16,10	1971	100			24	13	
57	110,16	1968	100			72	12,13	
58	10	1970	30	16	5	3830	12,13,22,23,33,73	
59	11,14	1925	50			15	27	
67	10	1966	20	20	5	5	33	
43	10	1975	5			576	12,13	
101	16	1974	8	8	8	52	13,23,73	

Taulukko 2c. Perustutkimusten kenttäkokeet, joihin sisältyi metsänuudistamistutkimuksien aineistoihin verrattavaa aineistoa korkeilta alueilta (> 250 m mpy).

Table 2c. Finnish studies on objects other than forest regeneration success including experimental plots in reforested areas at high altitudes (> 250 m above sea level).

Tutkimuksen numero No. of study	Tarkoitus Purpose of study	Perustamisvuosi Stand establishment year	Koealojen määrä Number of sample plots			Yht. Total	Käytetyt uudistamismenetelmät Regeneration methods
			Maaston korkeusluokittain By altitude class				
			250–299 m	300–349 m	350– m		
			% lukumäärästä per cent of total number			kpl – no	
5	12	1974		22		9	73
22	10	1973	25	50		56	13,23,33,43,73,83,93
103	12	1932–87	17	2	3	63000	12,13,23,33,43,73,83,93

Taulukko 2d. Metsänuudistamistutkimusten aineistot, joihin sisältyi kocaloja tai havaintoja korkeilta alueilta (> 250 m mpy). Metsänuudistamisen inventointitutkimukset, joiden aineistosta vain osa sijaitsi korkeilla alueilla.

Table 2d. Finnish forest regeneration experiments and surveys including permanent or temporary plots at high altitudes (> 250 m above sea level). Surveys including material at both high and low altitudes.

Tutkimuksen numero No. of study	Tarkoitus Purpose of study	Perustamisvuosi Stand establishment year	Koealojen määrä Number of sample plots			Yht. Total	Käytetyt uudistamismenetelmät Regeneration methods
			Maaston korkeusluokittain By altitude class				
			250–299 m	300–349 m	350– m		
			% lukumäärästä per cent of total number			kpl – no	
Luontainen uudistaminen – Natural regeneration							
25	11	1948–58	15	7		209	15,16
51	11	-	-	-	-	32	12,15,18
65	11	1965–76	29	3		31	15
74	11	1900–	-	-	-	77	10
75	11	1910–46	11	27	17	37	19
82	11	1957–77	67	20	7	30	15
Viljely – Artificial regeneration							
3	10	1956–64	-	-	-	352	12,13
6	10,11	1968–78	8			25	12,13,23,17
7	10	1970	-	-	-	51	12,13,23
36	10,11	1969–77		30		24	12,13,23,73
39	10	1974	53	3		77	12,13
45	10	1956–67	-	-	-	23	23
50	10	1956–65	-	-	-	96	12,13
54	10	1969	38	13		58	12,13
55	10	1930–45	-	-	-	48	22,23
62	10	1910–77	33	15		99	12,13
63	10	1965–75	8	2		478	12,13,23
66	10	1975–77	11	4		53	12,13
78	10	1948–50	-	-	-	59	11,12
81	10	1971–73	-	-	-	30	13

aineisto numero 86). Pohjoisessa Lapissa perustettiin v. 1981–85 kokeita, joiden tarkoitus ja koejärjestelyt vaihtelivat (Norokorpi, 102). Otsamon (1986, 52) inventointitutkimuksen kohteena oli maaston korkeuden vaikutus männyn viljelyn tulokseen Kuusamossa.

Korkeiden alueiden metsien uudistamistulosten tarkastelun ja mahdollisten uusien metsänuudistamistutkimusten aineistoiksi sopivat hyvin myös kokonaan korkeilla alueilla sijaitsevat kokeet, joiden tutkimuskohde on jokin uudistamisen osa-alue. Sodankylän Poksaselässä on kaksi maanpinnan käsittelyn ja viljelyn kenttämetsäkoetta korkean alueen paksusammaltyypillä (Mäkitalo 1983, 41; 1987, 42, Ritari 1991, 70). Vuotsossa on kenttämetsäkoetta, jossa on tutkittu männyn luontaista uudistumista suojametsäalueen korkealla alueella (Herttuainen 1981, 15).

Metsänraja-alueilla on kenttämetsäkoetta, jotka eivät sijaitse nykyisen määritelmän mukaisilla korkeilla alueilla (taulukko 2a). Ne ovat kuitenkin mielenkiintoisia, koska korkeat alueet rajoittuvat metsänrajaan (Mikola 1959, 38; Paasonen 1980, 53; Sirén 1991b; 80). Männyn ja kuusen luontaista uudistumista metsänrajalla selvitettiin 1980-luvulla kahdessa inventoinnissa (Leskinen 1983, 27; Kemppe 1987, 18).

Metsänuudistamisen kenttämetsäkoetta, joiden koaloista vain osa on korkeilla alueilla (> 250 m mpy) on esitetty taulukossa 2b. Seuraavassa asetelmassa on esitetty ryhmittäin ne julkaisut, jotka on tehty samasta kenttämetsäkoestosta:

Lähde & Pohjola 1975, 33; Lähde 1978, 29; Leikola 1974, 26.

Lähde ym. 1981, 31; Manninen & Lähde 1981, 35.

Mäkitalo 1983b, 41; 1987, 42

Pohtila & Pohjola 1985, 61; Mäkitalo 1990, 43.

Pohtila 1977, 58; Nevala 1980, 44; Heikkilä 1981, 13;

Pohtila & Pohjola 1983, 60

Ritari & Lähde 1978, 71; Ritari 1991, 70

Suurin osa taulukossa 2b mainituista kokeista oli perustettu havupuiden viljelyn ja maanpinnan käsittelyn tutkimista varten. Vain yksi niistä oli perustettu luontaisen uudistamisen tutkimista varten (Pohtila 1990, 59). Kahdessa viljelykokeessa oli tutkittu myös kuusen kaistalehakkuaalojen luontaista uudistumista (Manninen ja Lähde, 31; Mäkitalo 1987, 42).

Kokeissa olivat yleisesti viljelymenetelminä männyn kylvö ja istutus, kuusen istutus, sekä lehtikuusen istutus hieman harvemmin. Kuusen kylvöä ja koivun istutusta sisältyi merkittävässä määrin vain "Metsänviljelyn runkotutkimus 1"

kokeeseen (tutkimukset 43, 44, 58, 60 ja 87).

Aineistojen maantieteellinen laajuus vaihteli yhden koekentän kokeista (numerot 31, 35, 40, 41, 42, 57, 59, 70, 71) laajoihin koesarjoihin, joiden tarkoituksena oli kattaa Pohjois-Suomen talousmetsissä esiintyvä uudistamisalojen vaihtelu (Runkotutkimus 1 ja 2 -aineistot, joiden tuloksia on esitelty tutkimuksissa numero 43, 44, 58, 60, 61, 85 ja 87).

Metsänjalostuksen kokeisiin (103) sisältyi runsaasti korkeiden alueiden metsänviljelyn tutkimiseen soveltuvia kohteita (taulukko 2c). Aineiston käyttökelpoisuutta vähentää se, että kokeet on perustettu eri puulajien ja niiden alkuperien menestymisen tutkimiseksi. Uudistamistuloksien analyysissä on tällöin otettava alkuperä selittäväksi muuttujaksi, mikäli alkuperän ja taimien menestymisen välille pystytään löytämään teoreettisesti päteviä yhteyksiä. Toinen vaihtoehto on ottaa mukaan vain paikalliset alkuperät ja vieraista alkuperistä sellaiset, joiden tiedetään varmasti menestyvän ko. alueella ja kasvupaikalla.

Kaikista taulukossa 2d luetelluista metsänuudistamisen inventointitutkimuksista on julkaistu tuloksia. Inventointiaineistojen pinta-alaat on ilmoitettu liitteessä 2 eri tavalla kuin kenttämetsäkoestojen aineistoissa. Pinta-ala on inventointiaineistoissa taimikoiden keskimääräinen ala, ei niille sijoitettujen koalojen ala kuten kenttämetsäkoestojen. Samoin koalojen määrä tarkoittaa taimikoiden lukumäärää, ei koalojen tai koalarypäiden määrää.

Luontaisen uudistamisen inventointiaineistoista Lehdon (1969; numero 25), Punkkisen (1982; 65) ja Suoheimon (1982; 82) tekemät tutkimukset koskivat männyn siemenpuuhakkuuta, Sarvaksen (1938; 74) kuloalojen ja (1950; 75) määrämittaan harsittujen männiköiden uudistumista ja Oinosen (1956; 51) tutkimukset eri kehitysluokkien männiköiden taimettuneisuutta.

Suurin osa metsänviljelyn inventointiaineistoista koski 1960- ja 70-luvun viljelyä (taulukko 2d). Perusjoukkoina olivat yleensä alueella tehdyt käytännön viljelyst.

4.2 Mittaus- ja inventointimenetelmien erot

Yksityiskohtainen tutkimus- ja mittausmenetelmien kuvaaminen ei ole tässä tutkimuksessa tarpeen. Seuraavassa käsitellään näkökohtia siitä, kuinka eri tutkimusten ja aineistojen välisiä eroja on syytä tarkastella ennen aineistojen ja tutki-

Taulukko 3. Inventoitujen luonnontaimien ja kasvatuskelpoisten taimien* vähimmäispituus eri metsänuudistamistutkimuksissa.

Table 3. Minimum height requirement of seedlings* in forest regeneration studies.

Tutkimus Study	Vähimmäispituus Height requirement
6, 62, 63, 65, 66, 82	Havupuut 0,1 m, lehtipuut 0,5 m <i>Conifers 0.1 m, deciduous 0.5 m</i>
7, 54	Havupuut 0,15 m, lehtipuut 0,4 m <i>Conifers 0.15 m, deciduous 0.4 m</i>
25	Kaikki puulajit 0,1 m <i>All species 0.1 m</i>
39	Luonnontaimien pituus vähintään 1/4 koealan viljelytaimien keskipituudesta <i>Height of natural seedlings at least 1/4 that of planted seedlings</i>
3, 50, 74, 75	Ei vähimmäispituutta <i>No minimum requirement</i>

* Rajaa lyhyempien puiden laskettiin kuuluvan vakiintumattomaan taimiainekseen, eikä niitä otettu huomioon taimimäärissä.

* Trees that did not meet the minimum requirement belonged to young growth and were not assessed as seedlings.

mustulosten hyväksikäyttöä. Samalla esitellään pintapuolisesti eräitä tärkeimpiä aineistojen välisiä yhtäläisyyksiä ja eroja.

Viljelytuloksen mittarina oli käytetty kenttäkokeissa yleensä viljelytaimien elossaoloprosenttia. Taimimäärää kuvaavien muuttujien sisältö vaihteli luontaisen uudistamisen kenttäkoeaineistoissa. Taimien ja taimiaineksen erottelava pituusraja puuttui tai vaihteli 0,1–0,5 metrin välillä (taulukko 3). Taimien kasvatuskelpoisuuden arvioinnissa oli sekä inventointietä kenttäkoe-tutkimuksissa sama tavoite. Ne taimet jotka puulajin, kunnan ja tilajärjestyksen perusteella olisi jätetty kasvamaan taimikonhoidossa, olivat kasvatuskelpoisia. Taimien arvostelukriteerit ja taimikon tavoiteteiheyden vaihtelivat kuitenkin voimakkaasti.

Inventointiaineistojen hankintamenetelmät vaihtelivat enemmän kuin kenttäkokeiden. 1970-luvun lopussa ja sen jälkeen tehdyissä inventoinneissa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen Valtakunnan metsänuudistamisen inventoinnin (VMUI) menetelmää, jossa muuttujien operatiivisuus, mittamenetelmät ja koodit olivat yhtenäiset (Valtakunnan...1979). Oulun läänin 10-vuotiaiden taimikoiden inventoinneissa

käytetyllä menetelmällä oli yhteyksiä VMUI-menetelmään, mutta esimerkiksi taimien vähimmäispituuden kriteerit olivat erilaiset.

Taimitunnukset eivät olleet käytännön uudistusalojen inventoinneissa samoja kuin kenttäkokeissa. Taimien elossapysymistä mittaavan muuttujan määrittely on inventoinneissa vaikeaa, koska viljeltyä taimimäärää ei aina tunneta. Silloin voidaan ainoastaan tutkia viljelytaimien määrää ja verrata sitä tavoiteteiheyteen. Tavoiteteiheydet ja eri puulajien taimien kasvatuskelpoisuuden rajoitukset vaihtelivat tarkastelluissa tutkimuksissa. Arvostelukriteereistä vaihtelivat eniten taimien vähimmäispituus, sekapuiden hyväksyminen täydennystaimiksi ja taimikon tilajärjestyksen tasaisuusvaatimukset.

4.3 Uudistamistulokset

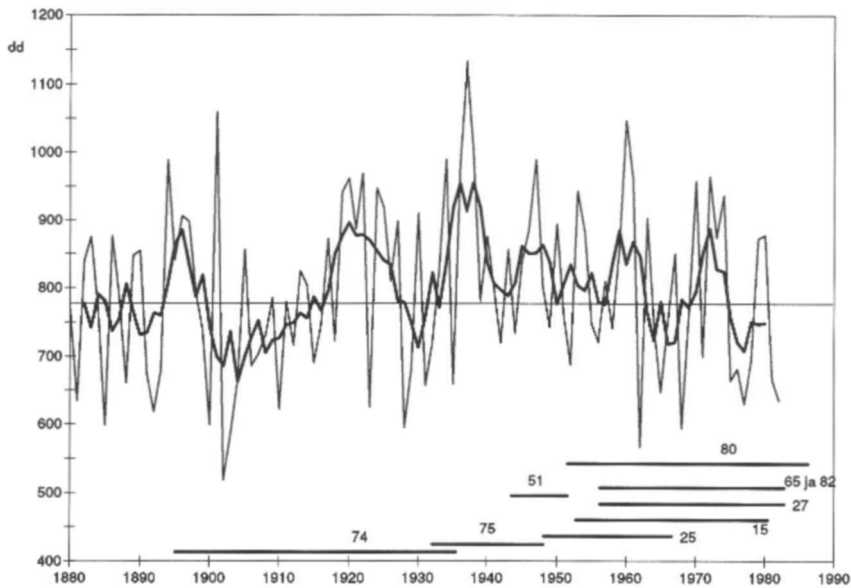
4.3.1 Varsinaiset korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimukset

Seuraavia tutkimuksia voidaan pitää varsinaisina korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimuksina:

1. Korkeiden maiden metsien uudistaminen Oulun läänissä (Valtanen 1988, tutkimus numero 86)
2. Korkeiden alueiden metsänuudistamiskokeet Lapissa (102)
3. Maaston korkeuden vaikutus metsänviljelyn onnistumiseen ja taimien kehitykseen Kuusamossa (Otsamo 1986, 52).

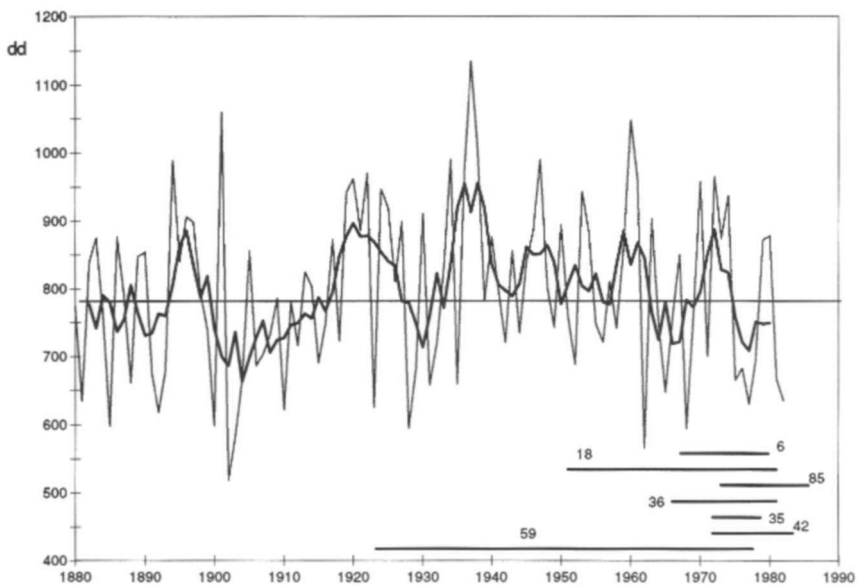
Valtasen (1988) korkeiden alueiden kuusikoiden uudistamiskokeessa olivat koejäseninä harsinta, suojuospuuhaakkuu, viljelemätön aukko, männyn kylvä sekä männyn, kuusen, koivun ja Siperian lehtikuusen istutus. Maanpinta oli käsitelty äestämällä tai auraamalla harsintaa lukuunottamatta. Koekenttiä oli perustettu v. 1974–77 kolme 277–365 metrin korkeudelle. Tutkimusjakson alun kasvukausien lämpöolot olivat vaihdelleet hyvin voimakkaasti, ja kylmiä kasvukausia oli useita (kuva 8).

Harsinnassa poistettiin suurimpia puita ja harvennettiin tiheitä ryhmiä. Puuston runkoluku oli käsittelyn jälkeen 200–500 kpl/ha ja tilavuus 5–150 m³/ha. Maanpintaa ei käsitelty. Alle viiden metrin pituisia kuusen taimia oli harsinta-aloilla 10 vuoden kuluttua keskimäärin 960 kpl/ha; lähes kaikki olivat syntyneet ennen hakkuuta. Hieskoivuja oli 1700 kpl/ha, joista 90 % oli syntynyt



Kuva 8a. Kasvukauden lämpösomma Sodankylässä ja sen viiden vuoden jaksojen liukuva keskiarvo vuosina 1880–1982, ja taimettumisjaksot männyn luontaisen uudistamisen tutkimuksissa. Tutkimusten nimet kirjallisuusluettelon kohdassa 1.

Figure 8a. Effective temperature sum in Sodankylä, Central Lapland, the 5-year moving average in 1880–1982, and the duration of the restocking periods in studies on natural regeneration of Scots pine. The numbers of the studies refer to the name list in References, part 1.



Kuva 8b. Kasvukauden lämpösomma Sodankylässä ja sen viiden vuoden jaksojen liukuva keskiarvo vuosina 1880–1982, ja taimettumisjaksot kuusen luontaisen uudistamisen tutkimuksissa. Tutkimusten nimet kirjallisuusluettelon kohdassa 1.

Figure 8b. Effective temperature sum in Sodankylä, Central Lapland, the 5-year moving average in 1880–1982, and the duration of the restocking periods in studies on natural regeneration of Norway spruce. The numbers of the studies refer to the name list in References, part 1.

Taulukko 4a. Taimitunnusten ja maaston korkeuden väliset korrelaatioker-
toimet männyn uudistamistutkimuksissa.

Table 4a. Correlation coefficients between altitude and variables describing
the seedling stand in regeneration studies on Scots pine in Northern
Finland.

Tutki- mus no Study number	Uudistamis- menetelmä Regeneration method	Tutkimus- alue Study area	Taimi- tunnus Seedling stand variable	Maaston kor- keus, m mpy Altitude, m a.s.l	Korrelaatio- kerroin, (r) Correlation coeff., (r)
58	Istutus Planting	Lappi Lapland	ELO	130–365	–0,04
58	Istutus Planting	Lappi Lapland	H	130–365	–0,12
27	Luontainen Natural	Lapin metsänraja Timberline in Lapland	ML	-	–0,42

ELO = Elossa olleiden viljelytaimien määrä/viljelymäärä
= Number of surviving planted seedlings/planting density
H = Elossa olleiden viljelytaimien keskipituus, cm
= Mean height of surviving planted seedlings, cm
ML = Luontaisten männyn taimien määrä, kpl/ha
= Number of natural pine seedlings per hectare

Taulukko 4b. Taimitunnusten ja lämpösumman väliset korrelaatioker-
toimet männyn uudistamistutkimuksissa.

Table 4a. Correlation coefficients between effective temperature sum and
variables describing the seedling stand in regeneration studies on Scots
pine in Northern Finland.

Tutki- mus no Study number	Uudistamis- menetelmä Regeneration method	Tutkimus- alue Study area	Taimi- tunnus Seedling stand variable	Lämpösumma, dd Temperature, sum dd	Korrelaatio- kerroin, (r) Correlation coeff., (r)
58	Istutus Planting	Lappi Lapland	ELO	629–911	0,15
58	Istutus Planting	Lappi Lapland	H	629–911	0,38
65	Siemenpuu Seed tree	Etelä- Lappi Southern Lapland	ih	747–899	0,188
66	Istutus Planting	Pohjois- Suomi Northern Finland	PRO	700–955	0,20
82	Siemenpuu Seed tree	Pohjois- Lappi Northern Lapland	ih	747–899	0,276

ELO = Elossa olleiden viljelytaimien määrä/viljelymäärä
= Number of surviving planted seedlings/planting density
PRO = Elossa olleiden viljelytaimien määrä/todellinen tai tavoiteltu viljelymäärä
= Number of surviving seedlings/actual or target planting density
H = Elossa olleiden viljelytaimien keskipituus, cm
= Mean height of surviving planted seedlings, cm
ih = Taimien keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu, cm/v
= Average annual height increment of seedlings, cm/yr

hakkuun jälkeen. Taimikot olivat erittäin aukkoisia ja ryhmittäisiä. Uudistumisen arvioitiin vievän aikaa vielä ainakin 20–30 vuotta.

Muokatuilla suojuospuualoilla oli keskimäärin 2600 kuusen tainta hehtaarilla, muokkaamattomilla 1500 kpl/ha. Koivun taimia oli muokatuilla aloilla keskimäärin 6300 kpl/ha, muokkaamattomilla 200 kpl/ha. Taimikot olivat erittäin epätasaisia. Muokatut alat olivat taimettuneet kahdella koekentällä 10 vuodessa, mutta muokkaamattomilla ja yhdellä muokatulla alalla taimettuminen oli kesken. Avohakatut, viljelemättömät koealat eivät olleet taimettuneet merkittävästi, olipa maanpinta käsitelty tai ei.

Istutustaimista (alkuperäiset viljelytaimet ja täydennystaimet) oli elossa 10 vuoden kuluttua männynällä 37 %, kuusella 61 %, lehtikuusella 43 % ja rauduskoivulla 48 %. Männyn kylvössä elossaolo oli 37 %, kun siihen laskettiin taimettuneet kylvökohdat ja täydennystaimet. Taimien elossaolo oli aurasaloilla 20–40 % korkeampi kuin äestysaloilla paitsi männyn istutuksessa.

Kuusen viljely todettiin tutkituista menetelmistä varimmaksi korkeilla alueilla. Muut viljellyt puulajit pysyivät selvästi huonommin elossa. Suojuospuuasennot taimettuivat hitaasti ja harsitut alat erittäin hitaasti.

Lappiin perustetuista korkeiden alueiden uudistamiskokeista (102) ei ole julkaistu tuloksia.

Otsamon (1986) tutkimuksen aineisto käsitti 26 inventoitua männyn istutustaimikkoa, jotka oli perustettu v. 1960–75 kuusivaltaisille tuoreille kankaille Kuusamossa. Maanpinta oli käsitelty laikuttamalla tai auraamalla. Tutkimusjaksoon sisältyi muutaman vuoden kestäneitä kylmiä ja lämpimiä jaksoja (kuvat 8a ja 8b). Männyn viljely oli onnistunut huonosti. Viljelytaimia oli uudistusaloilla keskimäärin 440 kpl/ha. Viljelytaimien määrälle laadittiin regressiomallit erikseen 1960- ja 70-luvun aineistoissa (taulukko 5b). Kasvatuskelpoisten viljelytaimien määrä ei ylittänyt yhdessäkään taimikossa 1400 kpl/ha. Viljelytaimien elossaolon ja pituuden sekä maaston korkeuden välillä vallitsi erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio (taulukko 5b). Uudistusaloilla oli selvästi enemmän luontaisia taimia kuin viljelytaimia (mäntyjä keskim. 38 kpl/ha, kuusia 611 kpl/ha ja koivuja 879 kpl/ha).

4.3.2 Metsänrajametsien uudistuminen ja uudistaminen

Metsänrajametsien uudistumista ja uudistamista on viime vuosikymmeninä tutkittu seuraavasti:

1. Topografian ja puuston rakenteen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen metsänrajalalla (Leskinen 1983, tutkimus numero 27)
2. Kuusen luontainen uudistuminen metsänraja-alueilla (Kemppe 1989, 18)
3. Metsänviljelyn mahdollisuuksista pohjoisella metsänrajalalla (Mikola 1959 38)
4. Paasonen 1980 (53): Utsjoen männyn viljelyt vuosina 1954–64
5. Sirén 1960 (104): Suojametsätutkimukset
6. Sirén 1991b (80): Metsätyökocet pohjoisella metsänrajalalla.

Kumpikin metsänrajametsien uudistumistutkimus (Leskinen 1983, Kemppe 1989) koski luonnontilaisen metsän taimettumista pitkänä ajanjaksona, johon oli sisällytetty lämpöoloitaan monenlaisia kasvukausia ja niiden jaksoja (kuva 8). Maaston korkeus (200–400 m mpy) korreloi männyn taimien (pituus 0,1–2 m) määrän kanssa voimakkaasti (taulukko 4a) ja vaikutti taimien määrään seuraavan kovarianssimallin mukaisesti (Leskinen 1983):

$$y = Y - 3,617 \cdot (x - X) - 0,866 \cdot (z - Z)$$

jossa

y = männyn taimien lukumäärä, kpl/ha
Y = suuntaluokittainen vakio (laki 49,7, koillinen -11,4, kaakko 118,6, lounas 72,9, luode 117,3
x = maaston kaltevuus %
X = maaston kaltevuuden keskiarvo aineistossa
z = maaston korkeus m mpy
Z = korkeuden keskiarvo aineistossa

Alle 2 metrin pituisten kuusen taimien määrä pysyi luonnontilaisissa metsissä metsänrajalalle asti suurena (1300 kpl/ha). Metsänrajan taimettumisot olivat hyvät: humus oli ohuempaa kuin alempana, ja paljaita kivennäismaalaikkuja esiintyi yleisesti (Kemppe 1989).

Renvall aloitti Utsjoen laaksossa vuonna 1912 männyn koeviljelyt, joita jatkettiin vuoteen 1950 asti. Tällöin oli istutettu 50 ha ja kylvetty 1150 ha vaihtelevin siemenalkuperin. Taimia oli kuollut verrattain vähän, ja suurin osa viljelyistä arvosteltiin noin 30 vuoden iällä hyväksi tai tyydyttäväksi (Mikola 1959). Taimet olivat kasva-

Taulukko 5a. Taimitunnusten ja maaston korkeuden väliset regressiomallit männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen tutkimuksissa.

Table 5a. Regression models between altitude and variables describing the seedling stand in natural regeneration studies on Scots pine and Norway spruce in Northern Finland.

Tutkimus no	Tutkimus-alue	Taimitunnus (Y)	Maaston korkeus, m mpy	Malli	R ²
Study number	Study area	Stand variable (Y)	Altitude, m a.s.l	Model	
Mänty – Scots pine					
80	Utsjoki	ML	250–300	$Y = 6050 - 20 \cdot Z$	-
Kuusi – Norway spruce					
59	Kivalo	KL	190–290	$Y = 33812 - 8,86 \cdot Z$	0,292

ML = Luontaisten männyn taimien määrä, kpl/ha
 = Number of natural pine seedlings per hectare
 KL = Luontaisten kuusen taimien määrä, kpl/ha
 = Number of natural spruce seedlings per hectare
 Y = Selitettävä muuttuja – Dependent variable
 Z = Maaston korkeus, m mpy – Altitude, m a.s.l.

neet hitaasti: taimikoiden keskipituus oli korkeintaan 2,5 m.

Vuosien 1954–64 viljelyt samalla alueella olivat onnistuneet selvästi huonommin (Paasonen 1980). Vaikka kylvö- ja istutustaimikoita oli täydennetty useampaan kertaan, kasvatuskelpoisia taimia oli keskimäärin vain 855 kpl/ha. Luontaisia taimia ei ollut syntynyt juuri ollenkaan. 42 % viljelyistä katsottiin epäonnistuneiksi, kun runkolukukriteeri oli sama kuin Lapin talousmetsissä (kasvatuskelpoisia taimia vähintään 700 kpl/ha). Taimien pituus 25 vuoden kuluttua viljelystä oli keskimäärin 2 m. Varhaisemmat kokeet olivat antaneet liian optimistisen kuvan alueen metsänviljelyn mahdollisuuksista, koska tutkimusjakson kasvukaudet olivat olleet keskimääräistä lämpimämpiä.

Luontaisen uudistamisen kokeissa mäntykoivu -sekametsissä hieman lännempänä oli saatu selvästi parempia tuloksia (Sirén 1991b). Kulotetuilla siemenpuualoilla oli 34 vuoden kuluttua keskimäärin 6700–7500 männyn tainta hehtaarilla, mutta ilman kulotusta taimia ei ollut juuri syntynyt. Luontaisten taimien määrän ja maaston korkeuden välillä vallitsi taulukossa 5a esitetyn mallin mukainen riippuvuus. Männyn kylvössä taimia oli keskimäärin 1800 kpl/ha. Kylvöt olivat epäonnistuneet yli 260 metrin korkeuden yläpuolella. Taimien keskipituus oli ainoastaan 1,2–3,5 m 27–34 vuoden iässä. On ilmeistä, että vain luontainen uudistaminen voi

olla taloudellisesti kannattavaa lähellä metsänrajaa sijaitsevilla männiköissä. Viljelytulokset ovat olleet huonoja, eikä viljely kannattane vähäisen puuntuotoskyvyn takia.

Sirén selvitti metsänrajan ja suojametsäalueen luontaista taimettuneisuutta ja alueen metsäekologiaa inventointityyppisillä tutkimuksilla. Tuloksia ei ole julkaistu lukuun ottamatta yleisiä katsauksia (esim. Sirén 1960).

4.3.3 Muut luontaisen uudistamisen tutkimukset

A. Mänty

Männyn luontaisen uudistamista ja uudistumista on tutkittu seuraavasti:

1. Kuloalojen luontaisesta metsittämisestä (Pohjois-Suomen kuivilla kankailla) (Sarvas 1938, tutkimus numero 74)
2. Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta (Sarvas 1950, 75)
3. Männiköiden luontaisen uudistumisen edellytyksistä Lapin kangasmailla (Oinonen 1956, 51)
4. Männyn uudistaminen Pohjois-Suomessa siemen- ja suojukspuumenetelmällä (Lehto 1969, 25)

Taulukko 5b. Taimitunnusten ja maaston korkeuden väliset regressiomallit männyn ja kuusen viljelytutkimuksissa.

Table 5b. Regression models between altitude and variables describing the seedling stand in artificial regeneration studies on Scots pine and Norway spruce in Northern Finland.

Tutkimus no	Tutkimus-alue	Taimitunnus (Y)	Maaston korkeus, m mpy	Malli	R ²
Study number	Study area	Stand variable (Y)	Altitude, m a.s.l	Model	
Männyn kylvö – Sowing of Scots pine					
60	Lappi Lapland	ELO	130–365	$Y = 80,5 - 0,150 \cdot Z$	0,250
60	Lappi Lapland	H	130–365	$Y = 183,3 - 0,137 \cdot Z$	0,063
Männyn istutus – Planting of Scots pine					
7	Ristijärvi	PRO	140–305	$Y = 81,8 - 0,204 \cdot Z$	0,208
7	Ristijärvi	H	140–305	$Y = 216,1 - 0,298 \cdot Z$	0,228
52a	Kuusamo	VIL	290–360	$Y = 885 - 1,36 \cdot Z$	0,0
		H		$Y = 810 - 1,60 \cdot Z$	0,110
52b	Kuusamo	VIL	290–360	$Y = 4910 - 13,15 \cdot Z$	0,114
		H		$Y = 323 - 0,56 \cdot Z$	0,066
54	Taivalkoski	PRO	210–330	$Y = 124,5 - 0,293 \cdot Z$	0,382
60	Lappi Lapland	ELO	130–365	$Y = 80,5 - 0,150 \cdot Z$	0,250
60	Lappi Lapland	H	130–365	$Y = 183,3 - 0,137 \cdot Z$	0,063

52 a = Viljely – Planting 1960–69

52 b = Viljely – Planting 1970–75

ELO = Istutuksessa elossaolneiden viljelytaimien määrä/viljelymäärä, kylvössä taimettuneiden kylvökohtien määrä/kylvökohtien määrä

= In planting, number of surviving planted seedlings/planting density; in sowing, number of sown patches with a surviving seedling/density of sown patches

PRO = Istutuksessa elossaolneiden viljelytaimien määrä/todellinen tai tavoiteltu viljelymäärä, kylvössä taimettuneiden kylvökohtien määrä/todellinen tai tavoiteltu kylvökohtien määrä

= In planting, number of surviving planted seedlings/actual or target planting density; in sowing, number of sown patches with a surviving seedling/actual or target density of sown patches

VIL = Istutuksessa elossaolneiden viljelytaimien määrä, kylvössä taimettuneiden kylvökohtien määrä, kpl/ha

= In planting, number of surviving planted seedlings per hectare; in sowing, number of sown patches with a surviving seedling per hectare

H = Elossa olneiden viljelytaimien keskipituus, cm

= Mean height of surviving seedlings, cm

Y = Selitettävä muuttuja – Dependent variable

Z = Maaston korkeus, m mpy – Altitude, m a.s.l.

- Siemenpuu- ja avoalojen taimettuminen suo-
jametsäalueen kenttäkokeessa (Herttuainen
1981, 15)
- Männyn luontaisen uudistamisen onnis-
tuminen muokatuilla maille Etelä-Lapissa
(Punkkinen 1982, 65)
- Männyn luontaisen uudistaminen siemen-
ja suojuuspuumenetelmällä Metsä-Lapissa
(Suoheimo 1982, 82).

Sarvaksen (1938) tutkimuksen mukaan kuivah-

kojen ja kuivien kankaiden kuloaloilla oli 10–
40 vuoden kuluttua keskimäärin 5000 männyn
tainta hehtaarilla. Taimettuminen oli jatkunut
runsaana ainakin 10–20 vuotta. Vain kuivahko-
jen kankaiden huonosti palaneet kohdat olivat
taimettuneet huonosti. Maaston korkeuden vai-
kutusta taimettumiseen ei käsitelty.

Sarvas (1950) tutki Perä-Pohjolan harsittujen
kuivien ja kuivahkojen kankaiden uudistumista.
47 % aineiston metsiköistä sijaitsi yli 250 metrin
korkeudella. Maanpintaa ei ollut käsitelty yh-

Taulukko 6. Männyn siemenpuuhakkuualojen jakautuminen metsittämisarvoluokkiin Pohjois-Suomen eri osissa (Lehto 1969). Luokkien selitykset tekstissä.
 Table 6. Distribution in success classes of areas regenerated by the seed tree method in different parts of Northern Finland (Lehto 1969).

Metsittämisarvo Success class	Osa-alue Subarea of North Finland				
	Pohjanmaa	Kainuu	Perä-Pohjola	Metsä-Lappi	Tunturi-Lappi
	% uudistusalojen lukumäärästä Per cent of total number of regeneration areas				
Hyvä Good	27	31	29	25	8
Tyydyttävä tai välttävä Satisfactory or fair	52	33	57	50	71
Epäonnistunut Failed	21	35	14	25	21

delläkään alalla. Harsintamänniköiden siemen- nyskyky oli riittänyt hyvin taimettumiseen. Kuivilla kankailta oli männyn taimia keskimäärin 23000 kpl/ha, kuivahkoilla 11000 kpl/ha. Mänty-kuusi -sekametsät eivät olleet taimettuneet kunnolla; männyn taimia oli keskimäärin vain 500 kpl/ha ja kuusia 1100 kpl. Tutkimusjakson kasvukaudet olivat olleet hyvin lämpimiä (kuva 8a). Tulokset saattoivat antaa liian optimistisen kuvan harsintametsien uudistumiskyvystä.

Oinosen (1956) inventoimilla siemenpuu- aloilla oli kulunut hakkuusta liian vähän aikaa (2–5 vuotta), jotta alat olisivat ehtineet taimet- tua.

Lehto (1969) tutki männyn siemen- ja suoju- spuumenetelmän antamia tuloksia 10–20 vuoden kuluttua hakkuusta Pohjois-Suomessa. Maan- pintaa ei ollut käsitelty yhdelläkään alalla. Jak- son kasvukausien lämpöolot eivät poikenneet merkittävästi normaalista (kuva 8a). Taimikot luokiteltiin tyhjien koealojen osuuden perusteella metsittämisarvoltaan kolmeen luokkaan. Aluei- den väliset erot metsittämisarvoluokkien jakau- massa eivät olleet suuria, mutta hyviä tuloksia oli saatu pohjoisilla alueilla keskimääräistä har- vemmin (taulukko 6). Maaston korkeuden vai- kutusta taimettumiseen tarkasteltiin tutkimalla poikkesiko epäonnistuneiden taimikoiden keski- määräinen korkeus muiden luokkien keski- määräisestä korkeudesta. Vain Kainuussa epä-

Taulukko 7. Keskimääräiset taimien lukumäärät männyn siemenpuualoilla inventointitutkimuksessa Lapissa (Punkkinen 1982, Suoheimo 1982).

Table 7. Mean number of seedlings by species on areas regenerated by the pine seed-tree method in North- ern and Southern Lapland.

Puulaji Tree species	Taimien kokonaismäärä Total number of seedlings		Kasvatuskelpoisten taimien määrä Number of seedlings to be retained until first thinning	
	Pohjoisosaa North	Eteläosa South	Pohjoisosaa North	Eteläosa South
	kpl/ha no. per ha		kpl/ha no. per ha	
Mänty Scots pine	1790	4880	1190	1440
Kuusi Norway spruce	290	660	100	130
Koivut Betula pendula and B. pubescens	480	840	10	150

onnistuneet taimikot sijaitsivat keskimääräistä korkeammalla.

Herttuainen (1981) tutki siemenpuu- ja avo- alojen metsittymistä suojametsäalueella 275 m korkeudella. Koe oli kestänyt 27 vuotta. Män- nyn taimia oli kulotetuilla tai laikutetuilla aloil- la 6000–9000 kpl/ha, käsittelemättömillä 3000 kpl/ha. Ainoastaan kuivahkon kankaan käsit- telemättömät avoalat eivät olleet taimettuneet riittävästi (400 kpl/ha). Pitkän tutkimusjakson lämpöolot olivat normaalit (kuva 8a). Tulokset osoittivat, että kulotetut tai laikutetut pienet aukot (2 ha) ja siemenpuualat voivat taimettua hyvin suojametsäalueen korkealla alueellakin, kunhan aikaa varataan riittävästi.

Punkkinen (1982) ja Suoheimo (1982) inven- toivat 1981 Perä-Pohjolassa metsähallituksen mailla 1955–77 muokattuja siemenpuualoja. Aineisto edusti tasaisesti ajanjakson menetelmiä, kasvupaikkoja ja tutkimusaluetta. 1950-luvulta ja 1960-luvun alusta oli kuitenkin varsin vähän aineistoa. Jakson alun kasvukaudet olivat hyvin viileitä (kuva 8a). Valtaosa aloista oli aurattu. Yli puolet aloista sijaitsi yli 250 metrin kor- keudella.

Männyn taimien kokonaismäärä ja kasvatus- kelpoisten taimien määrä on esitetty taulukossa 7. Lämpösummalla ei ollut vaikutusta taimi- määriin. Männyn taimien pituuskasvu korreloi positiivisesti lämpösumman kanssa (taulukko

4b). Eteläosassa oli keskimäärin noin kaksi kertaa niin paljon taimia kuin pohjoisosassa. Taimettuminen oli ollut suhteellisen runsasta muulloinkin kuin hyvänä siemenvuonna 1972.

Taimista hyväksyttiin kasvatuskelpoisiksi kullakin 10 m²:n koealalla enintään 3 kpl. Kasvatuskelpoisten taimien keskimäärin ero pohjois- ja eteläosan välillä oli selvästi pienempi kuin kokonaistaimimäärän ero (taulukko 7). Taimettuminen oli epäonnistunut vain 13 %:lla uudistusaloista. Tutkimuksissa ei käsitelty korkeuden vaikutusta tuloksiin. Koska suuri osa aineistosta oli 250 m korkeammalla, tulokset viittasivat hyvään uudistamistulokseen myös korkeilla alueilla.

B. Kuusi

Kuusen luontaisen uudistamisen tuloksia on tutkittu viime aikoina seuraavasti:

1. Paksusammalkuusikon uudistamisvaihtoehtoja (Manninen & Lähde 1981, 35)
2. Kuusen luontaisesta uudistumisesta korkealla paksusammaltyypin maalla (Mäkitalo 1987, 42)
3. Kuusikoiden kaistalehakkuaalojen taimettuminen Lapissa (Hassinen 1982, 6)
4. Metsän uudistuminen Kivalon vanhoilla kaistalehakkuaaloilla (Pohtila 1990, 59)
5. Reunametsän vaikutus auratun uudistusalan taimettumiseen sekä taimien ja pintakasvillisuuden kehitykseen Lapissa (Mikkilä 1984, 36)

Pomokairan vanhoihin paksusammalkuusikoihin hakatut 60 m leveät kaistaleet olivat taimettuneet korkealla (350 m mpy; Mäkitalo 1987) ja hieman matalammalla (230 m mpy; Manninen & Lähde 1981) sijainneissa kokeissa erittäin hyvin, kun maanpinta oli käsitelty voimaperäisesti (aura, mätästys tai jyrskintä). Vähintään 15 cm pituisia kuusen taimia oli alempana sijainneissa kokeissa 1500–3600 kpl/ha ja vähintään 30 cm pituisia koivuja suunnilleen saman verran. Korkeammalla sijainneissa kokeissa oli yli 10 cm pituisia kuusia vastaavasti 6000–19000 kpl/ha. Laikutetuilla aloilla kuusen taimia oli sen sijaan alempana vain 400 kpl/ha mutta ylempänä 9000 kpl/ha. Aikaa oli kulunut 8–12 vuotta. Taimikoiden epätasainen tilajärjestys huononsi niiden kasvatuskelpoisuutta. Kasvatuskelpoisia taimia oli kuitenkin kaikissa käsitelyissä riittävästi lukuun ottamatta laikutusta toisella koekentällä.

Hassisen (1982) inventoimilla auratuilla kaistalehakkuaaloilla oli yli 10 cm pituisia kuusen taimia keskimäärin 1280 kpl/ha, mäntyjä 280 kpl/ha ja koivuja 960 kpl/ha. Taimettuminen oli kesken vielä suurimmalla osalla aloista, sillä aikaa oli kulunut vasta 4–14 vuotta. Yli puolet uudistusaloista sijaitsi yli 250 metrin korkeudella.

Muokkaamattomat, 100 m leveät kaistaleet eivät olleet taimettuneet Kivalossa sijainnassa paksusammalkuusikossa kunnolla 25–43 vuodessa (Pohtila 1990). Alle 1,3 m pituisia kuusen taimia oli hyvin ryhmittäisesti jakaantuneena 870 kpl/ha, ja koivuja 360 kpl/ha. Maaston korkeus vaikutti taimien runkolukuun voimakkaasti ja selitti regressiomallissa sen vaihtelusta 29 % (taulukko 5a).

Mikkilä (1984) tutki kuusivaltaisen reunametsän vaikutusta avohakkuaalojen luontaiseen taimettumiseen Perä-Pohjolassa. Kuusireunametsän siemenniskyky oli riittänyt hyvään taimettumiseen 40–50 m etäisyydelle asti 6–14 vuodessa. Kuusen taimia oli reunametsän välitörmässä läheisyydessä keskimäärin 2400 kpl/ha, 50 m etäisyydellä 1200 kpl/ha, 100 m 700 kpl/ha ja 250 m päässä ei juuri lainkaan. Etäisyys reunametsään ei vaikuttanut hieskoivujen määrään.

C. Koivu

Koivun luontaista uudistamista on tutkittu Pohjois-Suomessa vain vähän. Raulon & Mälkösen (1976) aineistoon (tutkimus numero 68) sisältyi kaksi koealuetta Lapista ja Koillismaalta (Ylitornio ja Taivalkoski). Muokatuilla avohakkuaaloilla oli syntynyt erittäin runsaasti taimia (30000–190000 kpl/ha) 50–300 metrin etäisyydelle reunametsästä. Muokkaamattomilla aloilla oli syntynyt vain 500–4500 tainta hehtaaria kohti. Muiden puulajien uudistamiskokeissa ja inventoinneissa on yleensä todettu koivun uudistuvan helposti ja runsaasti muokatuille aloille. Kuitenkin vain pieni osa taimista on porotuhon takia pystynyt kehittymään yli 0,5 metrin pituisiksi.

D. Uudistuminen ilman uudistamistoimenpiteitä

Lakari (1915, tutkimus numero 23), Aaltonen (1919, 1) ja Lassila (1920, 24) tutkivat Lapin kuivien kankaiden männiköiden uudistumista. Taimimäärien osalta tutkimustulokset ovat vaikeasti tulkittavissa. Aaltosen mukaan harva- puustoisissa kuivien kankaiden männiköissä oli

runsaasti taimia, keskimäärin n. 9000 kpl/ha. Oinonen (1956, 51) löysi jäkälävaltaisista kasvatusmänniköistä niin runsaasti taimia, että ne muodostivat usein kelvollisen taimikon. Sammalvaltaisilla kankailla taimia oli vähän.

Pohjois-Suomen luonnontilaiset tai harsitut paksusammalkusikot uudistuvat erittäin hitaasti. Aukkoisissa, vanhoissa kuusikoissa oli Heikinheimon (1922, 11), Sirénin (1955, 79) ja Norokorven (1979, 46) mukaan keskimäärin vain 220–320 kuusen tainta hehtaaria kohti. Koivua oli suunnilleen saman verran, mutta mäntyä ei juuri lainkaan. Taimia oli syntynyt pääasiassa kantojen ja maapuiden viereen. Kuusen taimet olivat Norokorven (1979) mukaan vanhoja, 15–110 -vuotiaita, ja kasvoivat pituutta keskimäärin vain 2,1 cm vuodessa. Lämpösusma korreloi positiivisesti kuusen taimimäärän kanssa.

E. Ruotsalaiset tutkimukset

Maaston korkeus vaikutti Bergmanin (1980) tutkimuksessa voimakkaasti männyn taimimääriin maanpinnan käsittelyn ja uudistushakuusta kuluneen ajan lisäksi (taulukko 8).

Tirén (1950) tutki Pohjois-Ruotsin kuusikoiden luontaista uudistamista avohakkuun ja reunametsän tai siemenpuiden siemennyksen avulla. Hakkuun jälkeen syntyneiden taimien määrälle laadittiin regressiomallit, joissa maaston korkeus oli erittäin tärkeä selittäjä. Mallien mukaan uudistusaloilla oli 15 vuoden kuluttua hakkuusta 200 metrin korkeudella n. 8000 tainta hehtaaria kohti, 300 metrin korkeudella 3000 ja 500 metrin korkeudella 200 kuusen tainta hehtaaria kohti.

Taulukko 8. Männyn taimien määrä maaston korkeuden mukaan laikutetuilla ja käsittelemättömillä männyn siemenpuualoilla Ruotsissa (Bergman 1980).

Table 8. Density of Scots pine seedling stands regenerated by the seed tree method with and without scarification at different altitudes in Sweden.

Hakkuusta kulunut aika, vuotta Age of seedling stand, years	Männyn taimien kokonaismäärä, kpl/ha Number of pine seedlings per hectare					
	Laikutus Scarified			Ei maanpinnan käsittelyä Not scarified		
	Maaston korkeus, m mpy Altitude, m a.s.l.			Maaston korkeus, m mpy Altitude, m a.s.l.		
	0-199	200-299	300-399	0-199	200-299	300-399
2-3	1000	600	800	800	800	800
4-5	1500	800	900	1300	1600	1000
6-7	2700	2000	1600	1900	1700	1100
8-9	-	2100	1700	-	1900	1200

taaria kohti. Uudistusalojen maanpintaa ei ollut käsitelty edes kulottamalla.

Domänverketin suorittamissa viljelytulosten inventoinneissa todettiin, että 73–90 % luontaisen uudistamisen aloista oli taimettunut riittävän hyvin aina 500 metrin korkeudelle asti Pohjois-Norrlandissa. 500 metrin yläpuolella 56 % taimikoista oli onnistuneita. Viljely oli onnistunut suunnilleen yhtä hyvin, mutta yli 500 metrin korkeudella ei ollut viljelty lainkaan (Ekholm 1985).

Hagner (1987) tutki luontaisen uudistamisen tuloksia ja uudistettujen metsiköiden tuotosta korkeilla alueilla Jällivaarassa n. 400 m metrin korkeudella Maaston korkeus selitti yksinään männyn kasvatuskelpoisten taimien määrän vaihtelusta 23 %. Maaston korkeus vaikutti männyn taimimäärään seuraavan regressiomallin mukaisesti:

$$Y = 1720 - 2,68 \cdot Z - 429 \cdot WD + 272 \cdot LAD, R^2 = 0,35$$

jossa

Y = männyn taimimäärä, kpl/ha
Z = maaston korkeus, m mpy
WD = kostean kasvupaikan valemuuuttuja
LAD = jäkälätyypin valemuuuttuja

4.3.4 Muut viljelytutkimukset

A. Käytännön metsänviljelymenetelmien kenttäkokeet

Tuloksia metsänviljelyn kenttäkokeista, joissa korkeilla alueilla oli merkittävä osuus, on julkaistu seuraavasti:

1. Aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmät Koillis-Suomessa (Pohtila 1974, tutkimus numero 57)
2. Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa (Metsänviljelyn runkotutkimus 1 -aineisto Lapissa) (Pohtila 1977, 58)
3. Aurattujen alueiden viljelykoe (Metsänviljelyn runkotutkimus 1 Lapissa) (Pohtila & Pohjola 1983, 60)
4. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa (Metsänviljelyn runkotutkimus 2 Lapissa) (Pohtila & Pohjola 1985, 61)
5. Aurasalueiden metsänviljelykoe (Metsänviljelyn runkotutkimus 1 Pohjanmaalla ja Kainuussa) (Valtanen & Engberg 1987, 87)
6. Muokkaustavat ja metsänuudistamisen tulos (Metsänviljelyn runkotutkimus 2 Pohjan-

- maalla ja Kainuussa) (Valtanen 1983, 85)
7. Maan käsittelyn, kalkituksen ja lannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen (Mutka & Lähde 1977, 40)
 8. Ojituksen ja maanmuokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja havupuiden taimien kehitykseen (Kuopsusselän koe) (Lähde ym. 1981, 31)
 9. Paksusammalkuusikon uudistamisvaihtoehtoja (Kuopsusselän koe) (Manninen & Lähde 1981, 35)
 10. Männyn viljelytaimien menestyminen eri tavoin käsitellyllä paksusammalmyypin maalla Lapissa (Mäkitalo 1983, 41)
 11. Maan käsittelyn ja ekologisten tekijöiden vaikutus viljelytaimien kuntoon paksusammalmyypillä (Ritari 1991, 70)
 12. Rauduskoivun viljelytuloksia Lapissa (Raulo & Lähde 1977, 67).

Tutkimusten tuloksia on esitetty taulukossa 9.

Pohjois-Suomen maantieteellisesti kattavat ja menetelmiltään monipuoliset metsänviljelyn runkotutkimuskokeet osoittivat, että kuusi ja siperianlehtikuusi pysyivät paremmin elossa kuin mänty. Kuuset olivat kasvaneet selvästi hitaammin kuin muiden puulajien taimet. Auras oli nopeuttanut taimien pituuskehitystä ja lisännyt niiden elossapysymistä useimmissa istutusvaihtoehtoissa mutta ei kylvössä. Kokeet olivat kestäneet vasta korkeintaan 10–12 kasvukautta. Korkeita alueita oli verrattain runsaasti ainoastaan Lapin runkotutkimus I:ssä, ja siinäkin korkeimmalla sijainnut koekenttä oli vain 365 metrin korkeudella.

Pohtilan (1977) mukaan ilmaston humidisuudella oli negatiivinen vaikutus viljelytulokseen erityisesti hienojakoisilla mailla. Taimien elossaprosentti ei korreloinut maaston korkeuden kanssa. Taimien pituuskasvu korreloi maaston korkeuden kanssa negatiivisesti ($r = -0,12$). Lämpösumma korreloi positiivisesti taimien pit-

Taulukko 9. Viljelytulokset kenttäkoetutkimuksissa, joiden aineistoon sisältyi korkeita alueita (> 250 m mpy).

Table 9. Results in regeneration experiments including sample plots at high altitudes (> 250 m mpy).

Tutkimus Study	Ikä, kasvukautta Age, growing periods	Viljelytaimien elossaprosentti Seedling survival percentage					
		Mänty		Kuusi		Lehtikuusi	Rauduskoivu
		Scots pine	Scots pine	Norway spruce	Norway spruce	Siber. larch	Betula pendula
	K - S	I - P	K - S	I - P	I - P	I - P	
Pohtila 1974 (57)	3-5	48-96	-	-	-	-	-
Pohtila 1977(58)	4	69	68	53	-	-	-
Nevala 1980 (44)	7-9	-	33	-	-	76	-
Pohtila & Pohjola 1983 (60)	10	39	46	52	69	65	60
Pohtila & Pohjola 1985 (61)	6-8	59-74	59-74	-	-	-	-
Valtanen & Engberg 1987 (87)	10-12	44	66	55	79	61	75
Mutka & Lähde 1977 (40)	3	-	93	-	-	-	-
Lähde ym 1981 (31)	7-8	-	30-50	-	90	75-90	-
Mäkitalo 1983 (41)	6-8	19-54	61-83	-	-	-	-
Raulo & Lähde 1977 (67)	-	-	-	-	-	-	26

K - S = Kylvä - Sowing, I - P = Istutus - Planting

uuskasvun ($r = 0,33$) ja elossaoloprosentin kanssa ($r = 0,15$).

Alueen pohjoisuus aiheutti merkittävän männyn taimien elossapysymisen ja keskipituuden pienenemisen Pohtilan ja Pohjolan (1983) tutkimuksessa samassa kokeessa. Valtasen & Engbergin (1987) tutkimuksessa sen sijaan suurempi lämpösoma ei merkinnyt parempaa elossaoloa tai nopeampaa pituuskasvua.

Nevalan (1980) mukaan lehtikuusi pysyi Lapissa paremmin elossa kuin mänty etenkin kylmillä alueilla. Vuoden 1972 viljelyissä alle 800 dd:n lämpösommassa lehtikuusista oli elossa 76 % ja männystä 47 %, yli 800 dd:n lämpösommassa lehtikuusista 74 % ja männystä 58 %. Lehtikuusten keskipituus ei ollut suurempi kuin mäntyjen, sillä niitä vaivasi latvakasvaimien pakkaskuivuminen etenkin pohjoisessa.

Männyn taimet pysyivät huonosti elossa Pomokairan korkean alueen paksusammalkuusikoiden maankäsittely- ja viljelykokeissa (Lähde ym. 1981, Mäkitalo 1983) samoin kuin Koillis-Suomen aurasokokeessa hienojakoisella maalla (Pohtila 1974). Voimaperäinen muokkaus (auraus, jyrskintä, mätästys) nopeutti kaikkien puulajien taimien pituuskasvua ja lisäsi männyn ja lehtikuusen taimien elossapysymistä. Yli puolet taimia kohdanneista tuhoista johtui rous-teesta. Maan fysikaalisilla ja kemiallisilla ominaisuuksilla pystyttiin selittämään vain pieni osa viljelytuloksen vaihtelusta (Lähde ym. 1981, Ritari 1991). Tutkimukset osoittivat, että voimaperäinen maanmuokkaus on välttämätöntä korkeiden alueiden hienojakoisilla mailla.

Rauduskoivut olivat menestyneet erittäin hyvin runkotutkimuskokeissa (Pohtila & Pohjola 1983, Valtanen & Engberg 1987). Raulon & Lähteen (1977) kokeissa koivut olivat kuitenkin pysyneet erittäin huonosti elossa, koska poro- ja jänistuhot olivat olleet vakavia. He pitivät aitaamista välttämättömänä koivun viljelyssä Lapissa.

B. Puulaji- ja provenienssikokeet

Kubin (1986, tutkimus numero 22) Koillismaahan vaara-alueella 200–320 metrin korkeudella sijainneissa puulajien vertailukokeissa olivat puulajeina mänty, kuusi, raudus- ja hieskoivu, kontortamänty, siperianpihta ja siperianlehtikuusi istutettuna ja mänty lisäksi kylvettynä. Tulokset, jotka koskivat tilannetta 7–14 kasvukautta viljelyn jälkeen on esitetty taulukossa 10. Kaikki puulajit menestyivät hyvin lukuun ottamatta mäntyä ja kontortamäntyä yhdessä kokeessa. Tuloksista ei voinut päätellä, että maaston kor-

Taulukko 10. Viljelytaimien elossaolo Koillismaahan puulajikokeessa (Kubin 1986).

Table 10. Seedling survival in a tree species experiment in eastern North Finland.

Puulaji ja viljelytapa (I/K) Species and regeneration method (P/S)	Koekenttä – Experimental field			
	1	2	3	4
	Elossaoloprosentti Survival percentage			
Mänty I <i>Scots pine P</i>	12	40	77	85
Mänty K <i>Scots pine S</i>	44	-	-	-
Kuusi I <i>Norway spruce P</i>	62	92	66	93
Rauduskoivu I <i>Betula pendula P</i>	70	-	-	-
Hieskoivu I <i>Betula pubescens P</i>	90	-	-	-
Lehtikuusi I <i>Siberian larch P</i>	50	72	76	82
Kontorta I <i>Lodgepole pine P</i>	4	67	94	96
Siperian pihta I <i>Siberian fir P</i>	92	-	-	-
Maaston korkeus, m <i>Altitude, m</i>	200	300	320	260
Taimikon ikä, kasvukautta <i>Age of stand, no. of growing seasons</i>	14	7	7	7

I = Istutus P = Planting
K = Kylvö S = Sowing

keus olisi vaikuttanut viljelyn onnistumiseen.

Hagmanin (1991, 5) provenienssikokeissa Lapissa siperianlehtikuusen kaikkien alkuperien elossaolo vaihteli 10 vuoden kuluttua istutuksesta eri koealueilla 45 ja 62 prosentin välillä. Kasvupaikan pohjoisuudella ja korkeudella (95–300 m) ei ollut vaikutusta taimien elossaoloprosenttiin. Parhaat tulokset oli saatu itäisimmällä ja samalla korkeimmalla koealueella. Proveniensseilla ei tarkoitettu tässä todellista alkupe- rää, vaan Lapissa kasvaneiden lehtikuusikoiden sijaintia.

C. Käytännön menetelmien inventointitutkimukset

Käytännön metsänviljelyn tuloksia on tutkittu seuraavin inventoinnein:

Taulukko 11a. Viljelytulokset käytännön metsänviljelyalojen inventoinneissa, joihin sisältyi korkeita alueita (> 250 m mpy). Viljelytaimien määrä tai elossaolo prosentti.

Table 11a. Results of surveys on artificial regeneration that included sample plots at high altitudes (> 250 m a.s.l.) in Northern Finland. Number or survival percentage of seedlings.

Tutkimus Study	Ikä, kasvu- kautta Age, growing periods	Viljelytaimia, kpl/ha tai elossaolo prosentti, (%) Number of seedlings per hectare or survival percentage, (%)			
		Mänty Scots pine K-S	Mänty Scots pine I-P	Kuusi Norway spruce K-S	Kuusi Norway spruce I-P
		Pohtila 1972 (55)	25-40	-	-	370	750
Norokorpi 1972 (45)	4-15	-	-	-	40 %
Pohtila & Timonen 1980 (62)	3-68	1001	1001	-	-
Hassinen 1982 (6)	3-13	680	1255	-	880
Mikkilä 1984 (36)	7-15	-	840	-	-
Pohtila & Valkonen 1985(63)	8-19	462	737	-	805
Oikarinen & Norokorpi 1986 (50)	18-27	697	701	-	-
Pylvänäinen 1987 (66)	8-10	1090	1258	-	-
Haverinen 1982 (7)	10	570	890	-	1447
Pelkonen ym. 1982 (54)	10	380	300-800	-	-
Moilanen 1986 (39)	10	33 %	32 %	-	-

K - S = Kylvö - Sowing I - P = Istutus - Planting

1. Perä-Pohjolan vanhat (1930-45) kuusiviljelyt (Pohtila 1972, tutkimus numero 55)
2. Nuorten kuusen taimikoiden tilasta ja kehityksestä Perä-pohjolan valtion mailla (Norokorpi 1972, 45)
3. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys (Pohtila & Timonen 1980, 62)
4. Kuusikoiden kaistalehakkuaalojen taimettuminen Lapissa (Hassinen 1982, 6)
5. Reunametsän vaikutus auratun uudistusalan taimettumiseen sekä taimien ja pintakasvilisyyden kehitykseen Lapissa (Mikkilä 1984, 36)

Taulukko 11b. Viljelytulokset käytännön metsänviljelyalojen inventoinneissa, joihin sisältyi korkeita alueita (> 250 m mpy). Kasvatuskelpoisten taimien määrä. Table 11b. Results of surveys on artificial regeneration that included sample plots at high altitudes (> 250 m a.s.l.) in Northern Finland. Number of seedlings to be retained until the first thinning.

Tutkimus Study	Ikä, kasvu- kautta Age, growing periods	Kasvatuskelpoisia taimia, kpl/ha Number of seedlings per hectare			
		Mänty Scots pine K-S	Mänty Scots pine I-P	Kuusi Norway spruce K-S	Kuusi Norway spruce I-P
		Pohtila & Timonen 1980 (62)	3-68	1771	1771
Pohtila & Valkonen 1985 (63)	8-19	1112	1157	-	1245
Pylvänäinen 1987 (66)	8-10	1511	1511	-	-
Haverinen 1982 (7)	10	890	1170	1540	-
Moilanen 1986 (39)	10	1320	1440	-	-

K - S = Kylvö - Sowing I - P = Istutus - Planting

6. Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin yksityismetsissä (Pohtila & Valkonen 1985, 63)
7. Varttuneiden männyn viljelytaimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa (Oikarinen & Norokorpi 1986, 50)
8. Männyn viljelytaimikot Veitsiluoto OY:n mailla (Pylvänäinen 1987, 66)
9. 10-vuotiaiden viljelytaimikoiden menestyminen Ristijärvellä (Haverinen 1982, 7)
10. 10-vuotiaat männyn viljelytaimikot Taivalkoskella (Pelkonen, Tuomi & Valtanen 1982, 54)
11. 10-vuotiaat männyn viljelytaimikot Taivalkoskella (Moilanen 1986, 39)

Inventoinneissa mitatut keskimääräiset taimimäärät on esitetty taulukossa 11. Tulosten keskinäisessä vertailussa on oltava varovainen, koska viljely- ja inventointimenetelmät poikkesivat toisistaan (ks. kohdat 4.2 ja 4.4).

Männyn kylvö oli inventointitutkimusten tulosten mukaan onnistunut huomommin kuin männyn istutus. Kuusen istutustaimet olivat pysyneet hieman paremmin elossa kuin männyn istutustaimet, mutta vanhojen kuusen kylvöjen

ja osin istutuksenkin tulokset olivat olleet huonoja (Norokorpi 1972, Pohtila 1972a). Luontaisia taimia oli syntynyt useimmilla viljelyaloilla niin runsaasti, että taimikot olivat kehityskelpoisia. Suojametsäalueen viljelytulokset eivät olleet sen huonompia kuin esim. yksityismaiden viljelyjen antamat tulokset suojametsäalueen eteläpuolella, mutta taimet olivat kasvaneet erittäin hitaasti (Pohtila & Timonen 1980, Pohtila & Valkonen 1985). Pohjanmaan itäosissa ja Kainuussa oli saatu erittäin huonoja tuloksia männyn viljelyssä, mutta sielläkin oli syntynyt runsaasti luonnontaimia (Haverinen 1982, Pelkonen ym. 1982, Moilanen 1986).

Suuri lämpösumma lisäsi männyn viljelytaimien elossapysymistä Pohtilan & Valkosen (1985) tutkimuksessa. 701–750 dd:ssä taimia oli keskimäärin 520 kpl/ha ja 951–1000 dd:ssä 940 kpl/ha. Taimimäärä väheni keskimäärin 200–300 kpl/ha 100 metrin korkeuden lisäystä kohti. Pylvänäisen (1987) tutkimuksessa viljelytaimien määrän ja lämpösumman välinen korrelaatio oli merkitsevästi positiivinen (taulukko 4b).

Haverisen (1982) tutkimuksessa maaston korkeus vähensi viljelytaimien elossaoloa ja keskipituutta voimakkaasti (taulukko 5b). Myös Pelkonen ym. (1982) pystyivät selittämään merkitsevästi istutustaimien elossaolon vaihtelua maaston korkeudella. Moilanen (1986) tutkimuksessa vastaava riippuvuus löytyi vain paljasjuuritaimiten osalta, mutta sekin oli vähäinen.

D. Ruotsalaiset tutkimukset

Norrlandiin perustettiin vuosina 1916–1929 koesarja (25 koetta), jossa tutkittiin maan pinnan käsittelyn vaikutusta männyn ja kuusen kylvön tuloksiin. Maaston korkeus vaihteli 100–610 metrin välillä. Maanpintaa oli käsitelty kulottamalla ja erilaisilla hevosvetoisilla auroilla ja äkeillä. Uudistusaloille oli jätetty usein siemenpuita. Wibeck (1959) totesi, että taimikot olivat epätasaisia, mutta suurin osa oli kehittämiskelpoisia. Luontainen täydennys oli ollut erittäin runsasta. Korkeimmille alueille oli syntynyt runsaasti koivua ja kuusta. Kuusen kylvö oli onnistunut selvästi männyn kylvöä huonommin. Wibeck ei pitänyt hevostyövälineillä tehtyä maanpinnan käsittelyä kannattavana. Se oli työlästä ja kallista, eikä ollut johtanut parempiin uudistamistuloksiin kuin käsittelemättömillä aloilla. Kulotusta hän suositteli osalle kasvupaikkoja.

Holmgren (1956) tutki ilmaston vaikutusta

männyn viljelytaimikoiden kehitykseen korkeilla alueilla (400–600 m mpy) Norrlandissa. Topografian vaikutusta tuloksiin ei pystytty havaitsemaan. Korkeus vaikutti eniten taimien pituuskasvuun, mutta taimimäärään se ei vaikuttanut merkittävästi.

Olsson (1982) tutki metsänviljelytuloksia Pohjois-Norrlandissa 260–540 metrin korkeudella. Maaston korkeus ja viljelytaimien elossaolo olivat koko aineistossa keskenään positiivisesti korreloituneita. Alueittain tarkasteltuna maaston korkeuden ja taimien elossaolon välinen korrelaatio oli kuitenkin negatiivinen, ja 100 m nousu vähensi elossaoloa keskimäärin 10–30 %.

Fries (1990) tutki vapautetun kuusialikasvoksen täydentämistä männyn ja kuusella korkealla alueella (500–570 m mpy). Vapautetusta alikasvoksesta oli 17 kasvukauden kuluttua elossa 77–100 %, viljelykuusista 69–79 % ja viljelymännystä 57 %. Jättämällä alikasvotaimia saatiin samoilla viljelykustannuksilla aikaan merkittävästi parempia taimikoita kuin raivaamalla ne pois.

Fries & Nilsson (1990) tutkivat koivuverhoituksen vaikutusta männyn viljelytaimien kehitykseen Jällivaarassa korkealla alueella (475 m mpy). Taimista oli elossa 17 vuoden kuluttua viljelystä avoalalla 62 % ja verhojuualla 43 %.

4.4 Tulosten yleistettävyyden ja vertailtavuus

Tutkimustuloksen arvo riippuu mm. sen yleistettävyydestä. Yleisten päätelmien teko useiden tutkimusten perusteella edellyttää vuorostaan, että tulokset ovat verrattavissa keskenään. Yleistettävyyttä ja vertailtavuutta arvioidaan tässä tutkimuksessa seuraavien kriteerien perusteella:

1. Mitä perusjoukkoa poimittu otos tai perustettu kenttäkoe edusti?
2. Vastasivatko tutkimusajankohdan uudistamismenetelmät ja niiden käyttö sekä materiaalit ja laitteet silloisia ja nykyisiä vaatimuksia?
3. Uudistamisjakson sääolot.
4. Tutkimusmenetelmien väliset erot (otanta, mittaus, muuttujien kvalitatiiviset erot).

Seuraavassa käsitellään seikkoja, jotka vähensivät eri tutkimuksissa saatujen tulosten yleistettävyyttä ja niiden merkitystä korkeiden

alueiden metsien uudistamisen suunnittelussa. Mittaus- ja inventointimenetelmien eroja on jo käsitelty kohdassa 42. Niihin on kuitenkin välttämätöntä viitata myös tässä kohdassa, vaikka nyt keskitytäänkin lähinnä inventointiaineistojen perusjoukkojen tai kenttäkokeiden koealajoukkojen ominaisuuksista johtuviin seikkoihin.

Metsänrajan luontaisen taimettumisen tutkimusten tuloksia ei voi yleistää koskemaan käytännön uudistamis- ja kasvatusmenetelmiä (Leskinen 1983, aineisto numero 27; Kemppe 1989, 18). Utsjoen uudistamiskokeet on perustettu ja osin mitattu niin epämääräisesti, että päätelmien yleistettävyyttä on kyseenalainen (Mikola 1959, 38; Paasonen 1980, 53; Sirén 1991, 80).

Oulun läänin korkeiden alueiden metsien uudistamisen kenttäkokeet ja inventointi edustivat vain kuusikoita (Valtanen 1988, 86; Otsamo 1986, 52).

Lapin männyn luontaisen uudistamisen tutkimus edusti hyvin 1960- ja 70-luvun tehtyjä siemenpuuhakkuita maantieteellisen ja kasvupaikoittaisen jakauman ja menetelmien suhteen (Punkkinen 1982, 65; Suoheimo 1982, 82). Männyn luontaisen uudistamisen kenttäkoetta suoja-metsän korkealla alueella on pidettävä lähinnä näytteenä, jonka koejäseniä voi verrata vain keskenään (Herttuainen 1981, 15). Harsittujen (Sarvas 1950, 75), palaneiden (Sarvas 1938, 74) ja ilman maanpinnan käsittelyä uudistettujen siemenpuulajien (Lehto 1969, 25) inventointien tuloksia ei voi sellaisenaan yleistää koskemaan nykyisiä metsänuudistamismenetelmiä.

Kuusen suojuuspuuhakkuuta sisältyi vain Oulun läänin korkeiden alueiden tutkimukseen (Valtanen 1988, 86). Muut kuusen luontaisen uudistamisen tutkimukset kuin Lapin kaistalehakkualojen inventointi (Hassinen 1982, 6) olivat tutkimusalueeltaan ja edustavuudeltaan suppeita.

Metsänviljelyn runkotutkimus 1 ja 2 -kenttäkokeet käsittivät koko Pohjois-Suomen (Pohjola & Pohjola 1983, 60, 1985, 61, Valtanen 1983, 85, Valtanen & Engberg 1987, 87). Niiden oli tarkoitus kattaa Lapin ja Oulun lääneissä esiintyvät kasvupaikka- ja uudistamisolosuhteet ja viljelymenetelmät. Kuitenkin korkeat alueet puuttuivat Oulun läänin aineistosta. Lapin Runkotutkimus 1:n perusteella tehtäviä päätelmiä vaikeuttaa männyn ja kuusen siemenalkuperien yksipuolisuus.

Kaikkien viljelykokeiden tulosten yleistet-

tävyyttä vähentää se, että ne oli perustettu muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta v. 1967-77. Sääolojen vaihtelut sekä menetelmien erot nykyisiin verrattuna aiheuttavat sen, että tuloksia ei voi pitää täysin luotettavina viljelytulosten ennusteina. Useissa aineistoissa oli 2-3 vuositoistoa, jotka pienensivät vuosien välisten sääolojen ja satunnaisen vaihtelun vaikutusta viljelytuloksiin.

Metsänviljelyn kenttäkokeissa käytetyt uudistamis- ja mittausmenetelmät olivat niin samanlaisia, että niissä saadut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Koealojen koko, koejärjestelyt ja toistojen määrä tosin vaihtelivat, mutta erot eivät häiritse tulosten hyväksikäyttöä.

Taimikon tiheysmuuttujien määrittely vaihteli luontaisen uudistamisen kenttäkokeissa ja viljelyjen inventoinneissa. Kaikissa tutkimuksissa mitattiin taimien kokonaismäärä pinta-alayksikköä kohti, mutta taimet ja vaihtuvan taimiaineksen erottava pituusraja vaihteli (ks. kohta 42) Myös taimien kasvatuskelpoisuuden kriteerit vaihtelivat. Luontaisissa uudistamisissa taimien pituutta ja pituuskehitystä olisi vertailtava pituusjakaumien perusteella, koska taimet syntyvät pitkän ajan kuluessa.

Inventointitutkimusten menetelmät vaihtelivat hyvin voimakkaasti. Erot olivat etenkin vanhempien (vuoteen 1970 asti) inventointien osalta niin suuria, että tulosten keskinäinen vertailtavuus on kyseenalaista. Useissa 1970-luvun lopun jälkeen tehdyissä inventoinneissa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen VMUI-menetelmää (Valtakunnan...1979), jossa muuttujien operatiivisuus, mittausmenetelmät ja koodit olivat yhtenäiset (Hassinen 1982, 6; Punkkinen 1982, 65; Suoheimo 1982, 82; Pohtila & Timonen 1980, 62; Pohtila & Valkonen 1985, 63; Pylvänäinen 1987, 66). Lähes jokaisessa tutkimuksessa tehtiin omia sovellutuksia mm. koealojen määrässä ja niiden sijoittelussa, mutta nämä eivät kuitenkaan ole heikentäneet tulosten vertailtavuutta.

Toinen tulosten keskinäiseen vertailukelpoisuuden mahdollistava inventointimenetelmä oli Oulun läänin 10-vuotiaiden taimikoiden inventoinneissa käytetty (Haverinen 1982, 7; Pelkonen ym. 1982, 54). Sillä oli yhteyksiä VMUI-menetelmään, mutta esim. taimien vähimmäispituuden kriteerit olivat erilaiset. Samaan saraan liittyvän Moilasen (1986, 39) tutkimuksen inventointimenetelmä poikkesi merkittävästi muista.

5 Olemassa olevien aineistojen ja kokeiden käyttö jatkotutkimuksissa

5.1 Korkeiden alueiden metsänuudistamistutkimusten tarve

Viljelytaimien huonon elossapysymisen syyt Pohjois-Suomessa eivät ole selvinneet läheskään tyhjentävästi. Esimerkiksi maanmuokkauksen pitkäaikaiset vaikutukset maaperän fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin on selvitettävä perusteellisemmin. Tällaiset laajat ongelmakokonaisuudet kuuluvat metsänuudistamisen perustutkimuksen piiriin. Tutkimuksia ei kannata keskittää korkeille alueille, ennen kuin ilmiöiden perusteet tunnetaan riittävän hyvin ja voidaan muodostaa oikeat tutkimushypoteesit. Korkeilla alueilla pitäisi tutkia erityisesti niitä ilmiöitä, joiden merkityksen voidaan olettaa olevan siellä suurimmillaan.

Seuraavassa esitetään eräitä ongelmia, joiden tutkiminen hyödyttäisi välittömästi korkeiden alueiden metsien uudistamista koskevaa päätöksentekoa ja jotka olisivat verrattain helposti selvitettävissä tähänastisen tiedon pohjalta.

1. Maaston korkeuden sekä kasvupaikan pohjoisuuden ja itäisyyden vaikutus tavanomaisilla metsänuudistamismenetelmillä saatuihin tuloksiin.
2. Yli-ikäisten tai huonokuntoisten puustojen siemenniskyky korkeilla alueilla. Tähänastiset siementuottotutkimukset koskevat normaaleja harvennusmetsiä tai uudistuskypsiä metsiä.
3. Korkeiden alueiden puuntuotospotentiaali; hoidettujen ja viljeltyjen metsien tuotos ja tuotto.
4. Korkeiden alueiden uudistamisen tavoitteet (taimikon tiheys, puulajisuhteet, kasvatuskelpoisuuden kriteerit, ekonomia) sekä niiden täyttyminen korkeiden alueiden taimikoissa.
5. Eri-ikäisrakenteen esiintyminen korkeiden alueiden metsissä; uudistuminen ja rakenteen pysyvyys, tuotos, poimintahakkuiden vaikutus ja tuotto.
6. Pintakasvillisuuden sukkessio ja maan

taimettumiskunnon säilyminen korkeiden alueiden eri tavoin muokatuilla uudistusaloilla.

5.2 Aineistojen ja kokeiden käyttökelpoisuus

Maaston korkeuden tai sijaintitekijöiden vaikutusta uudistamistulokseen voidaan tutkia tilastollisesti niiden aineistojen perusteella, joissa on riittävästi vaihtelua muuttujien suhteen ja joiden koaloista merkittävä osa sijaitsee korkeilla alueilla. Tällaisia ovat maantieteellisesti laajat kenttäkoeaineistot sekä inventointiaineistot, joita yhdistämällä voidaan saada monipuolisempia ja laajempia aineistoja. Niiden muuttujarakenne ja selittävien muuttujien jakaumat eivät kuitenkaan välttämättä ole riittävän kattavia ja harhattomia. Osa-aineistojen tulee olla tutkimuskohteeltaan, lähestymistavaltaan ja mittausmenetelmiltään yhteensopivia.

Metsänuudistamisen ekologinen ja fysiologinen perustutkimus vaativat järjestelyiltään, mittauksiltaan ja suoritustavaltaan niin spesifisiä tutkimuksia, että tähänastisten kestokokeiden soveltuvuutta niiden aineistoiksi ei voi arvioida ennen täsmällisiä ongelman asetteluja ja tietoja tutkimusmenetelmistä.

Metsänuudistamisen tavoitteita voidaan asettaa ja niihin liittyviä tutkimuksia voidaan suorittaa pätevästi vasta sitten, kun korkeiden alueiden metsien tuotoksesta on riittävästi tietoa. Mikään tarkastelluista aineistoista ei sovellu suoraan tähän tarkoitukseen, vaan aineisto on hankittava erikseen. Aineistossa on voitava vaihdella kasvatuskelpoisten taimien joukkoa koaloittain. Osa olemassa olevista kestokokeista voi sopia tähän tarkoitukseen.

Muut kappaleessa 51 esitetyt ongelmat vaativat omat aineistonsa, joita ei sisällynyt tässä tutkimuksessa läpi käytyihin aineistoihin ainakaan riittävässä laajuudessa (puuntuotospotentiaali, eri-ikäisrakenteiset metsät, pintakasvillisuus, taimettumiskunto).

6 Maaston korkeuden vaikutus uudistamistuloksiin metsänuudistamistutkimusten aineistoissa

6.1 Aineiston koostaminen

6.1.1 Lähdeaineistot

Tutkimus rajoitettiin koskemaan kuvassa 9 esitettyä aluetta, jonka ulkopuolella esiintyy vain vähän korkeita alueita erillisinä saarekkeina. Saariselän pohjoispuolinen Lappi ($Y > 7590$) rajattiin pois, koska sen topografia, ilmasto ja puulajien levinneisyys poikkeavat olennaisesti muusta alueesta. Eteläraja asetettiin kulkemaan seuraavien paikkakuntien kautta (P ja I yhteinäiskoordinaatteina):

	P	I
Juoksenki	7390	360
Hirvas	7370	430
Ranua	7310	480
Pudasjärvi	7250	500
Kajaani	7120	530
Suomen itäraja	7120	675

Analyyssissä käytettiin niitä metsänuudistamistutkimuksissa mitattuja aineistoja, joihin sisältyi havaintoja yli 250 metrin korkeudelta sekä muutamia täydentäviä aineistoja. Maankäsitteilytavoista otettiin mukaan käytännön menetelmät laikutus, äestys, auraus, mätästys ja kulutus sekä käsittelemättömät alat.

Havainnot koostettiin ja käsiteltiin uudistusala- tai koejäsenkohtaisina keskiarvoina. Havaintojoukon alkio, taimikko, oli inventointiaineistossa uudistusala, kentäkoaineistoissa koejäsen. Uudistamistulosta kuvattiin taimikon tiheys- ja pituusmuuttujilla, jotka on esitetty liitteessä 3. Taimien clossapysymistä kuvaavana muuttujana käytettiin inventointiaineistoissa istutustaimien tai taimellisten kylvökohtien määrän suhdetta tavoitetiheyteen (PRO). Tavoitetiheytenä käytettiin ensisijaisesti tutkimusraporteissa annettua viljelytiheyttä ja toissijaisesti viljelyvuonna voimassa olleiden metsähallituksen tai Keskusmetsälautakunta Tapion metsänhoito-ohjeiden tavoitetiheyttä. Todelliset viljelytiheydet ovat voineet poiketa huomattavasti tavoitteesta. Tästä aiheutuneen taimimäärän vaihtelun suuruutta ei pystytty selvittämään.

Yhdistettävien osa-aineistojen taimimuuttujien



□ Tutkimusalue - Study area

Kuva 9. Tutkimusalueen raja.

Figure 9. Boundaries of the study area.

tuli olla keskenään yhteensopivia tai objektiivisin, harhattomin kriteerein yhteensopiviksi muutettavia. Tämän kriteerin perusteella jäivät käytettäväksi vain kentäkoaineistot sekä Valtakunnan metsänuudistamisen inventoinnin (1979) sovellutuksilla kerätyt inventointiaineistot. Muiden inventointiaineistojen käsitteleminen erikseen ei ollut tarkoituksenmukaista, koska niiden havaintomäärät olivat pieniä ja edustivat suppeita perusjoukkoja. Tutkimusten numerot viittaavat liitteeseen 2 ja kirjallisuusluettelon kohtaan 1.

Punkkisen (1982) ja Suoheimon (1982) aineisto käsitti 61 inventoitua männyn siemenpuuhakkuualaa metsähallituksen mailla Lapissa (65 ja 82). Taimikon tavoitetiheys oli inventoinnissa 3000 kasvatuskelpoista tainta hehtaaria kohti, joka muutettiin tavoitetiheydeksi 2000 kpl/ha vähentämällä muiden puulajien kuin männyn määrää.

Hassisen (1982) aineisto koostui 25:stä auratusta ja viljellystä kuusen kaistalahakkuualasta

metsähallituksen mailla Lapissa (6). Kasvatuskelpoisten luonnontaimien määrä käsitti vain ne taimet, jotka täydensivät kuolleiden viljelytaimien jättämiä aukkoja. Sitä vaihtoehtoa ei voitu tutkia lainkaan, jossa pelkästään luonnontaimista olisi yritetty muodostaa kasvatettava taimikko.

Pohtilan & Pohjolan (1983) aineisto (60) käsitti Lapin "Runkotutkimus I"-aineiston 38 koekentän mittaustulokset 10 kasvukauden kuluttua viljelystä. Kaikki koealat oli aurattu ja viljelty männylle, kuuselle ja lehtikuuselle. Kuusen viljelyssä oli kaksi vuositoistoa, mutta lehtikuusta oli viljelty vain yhtenä vuonna. Männyn kylvö- ja istutusaineistossa siemenalkuperä oli Arvidsjaur, Ruotsi, vuoden 1972 männyn kennotaimi-istutuksia lukuun ottamatta. Ruotsalaisella alkupeurällä viljeltyt alat jätettiin pois aineistosta. Vuoden 1972 kennotaimi-istutuksessa alkuperä oli Rovaniemi. Niistä otettiin mukaan pohjois-etelä-suunnassa korkeintaan 150 km etäisyydellä Rovaniemeltä sijaitsevat alat Kosken (1989) esittämän periaatteen mukaisesti. Aineistoa käytettiin männyn (28 havaintoa), kuusen (74) ja lehtikuusen (37) viljelyn analyysissä.

Pohtilan & Pohjolan (1985) aineisto (61) sisälsi Lapin runkotutkimus 2 -kestokokeen kahdeksan koekentän mittaustulokset kuuden kasvukauden kuluttua viljelystä. Maanmuokkaustavoista olivat koejäsenenä kulutus, laikutus, äestys ja auraus sekä viljelytavoista männyn kylvö ja istutus kolmena vuositoistona. Aineistoa käytettiin männyn viljelyn tutkimuksessa (kylvö 72, istutus 192 havaintoa).

Lähteen, Mannisen & Tervosen (1981) aineisto (31) käsitti Sodankylän Kuopsusselän kenttäkokeen mittaustulokset elossaolon osalta 7-8 ja taimien pituuden osalta 6-7 kasvukauden kuluttua viljelystä. Maanmuokkaustavoista otettiin mukaan laikutus, auraus sekä kaksi mätästystapaa. Aineistosta saatiin männyn, kuusen ja lehtikuusen istutuksen analyysiin kuhunkin kahdeksan havaintoa.

Kubinin (1986) Koillismaan puulajikokeen (22) aineisto käsitti viljelyaloja neljällä auratulla koekentällä. Viljelystä oli kulunut 7-14 kasvukautta. Aineistosta saatiin männyn, kuusen ja lehtikuusen istutuksen analysointiin neljä havaintoa kuhunkin. Taimikoita oli täydennetty; taimien elossaoloprosentti ja keskipituus koskivat alkuperäisen viljelyn ja täydennyksen kokonaistaimimäärää.

Valtasen (1988) aineisto (86) koostui Oulun läänin korkeiden alueiden uudistamistutkimuksen kolmen koekentän tuloksista kymmenen kas-

vukauden kuluttua viljelystä. Maanpintaa oli käsitelty auroamalla ja äestämällä. Havaintoja saatiin aineistoihin seuraavat määrät: männyn kylvö (6), männyn istutus (7), kuusen istutus (6) ja lehtikuusen istutus (6). Taimikoita oli täydennetty 3-5 vuoden kuluttua lisäämällä viljeltyä puulajia keskimäärin 25 % alkuperäisestä taimimäärästä. Taimien elossaoloprosentti ja keskipituus koskivat alkuperäisen viljelyn ja täydennyksen kokonaistaimimäärää.

Mäkitalon (1983) aineisto (42) käsitti Sodankylän Poksaselän viljelykokeen mittaustulokset 6-8 kasvukauden kuluttua viljelystä. Havaintoja saatiin männyn kylvön ja istutuksen analysointiin kumpaankin 12 kappaletta.

Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston kokeet 601-604 (aineisto 101) käsittivät männyn istutusta sekä koe 509 kuusen istutusta Lapissa ja Koillismaalla. Maankäsittelyn koejäsenenä olivat äestys ja auraus. Viljelystä oli kulunut 13 kasvukautta. Männyn istutuksen analysointiin saatiin kahdeksan ja kuusen istutuksen kaksi havaintoa.

Hassisen (1982) keräämä viljelyn inventointiaineisto (6) käsitti samat alat kuin kuusen kaistalehakuissa. Vain ne alat otettiin mukaan, joita ei täydennetty. Havaintoja saatiin yksi männyn kylvön ja 12 männyn istutuksen analysointiin.

Mikkilän (1984) inventoimat männyn istutus-taimikot sijaitsivat tuoreilla kankailla Keski-Lapissa (36). Havaintoja saatiin 15 kpl.

Pohtilan & Valkosen (1985) aineistoon (63) ei sisällynyt koealoja Itä-Lapista. Vain ne taimikot otettiin mukaan, joissa ei ollut havaittu tehdyn täydennystä. Männyn istutuksen analysointiin saatiin 118 ja männyn kylvön 60 havaintoa.

Pylvänäisen (1987) aineisto (66) koostui aurattujen alojen männyn istutustaimikoista. Havaintoja saatiin 44 kappaletta.

6.1.2 Analyysiaineisto

Lähdeaineistoista koottujen analyysiaineistojen keski- ja hajontatiedot on esitetty liitteessä 4 sekä korrelaatiomatriisit liitteessä 5.

Männyn siemenpuuhakuun aineisto käsitti 61 taimikkoa. Ne jakautuivat melko tasaisesti tutkimusalueen Lapin läänin osalle. Y-koordinaatin jakauma oli normaalia tasaisempi. Kaikkien alojen maanpinta oli käsitelty: 31 alaa oli aurattu, 22 äestetty ja 8 laikutettu. Muokkauksesta oli kulunut 3-23 vuotta. Siemenpuut oli

mittaushetkellä poistettu 5 alalta. Kasvupaikkojen karuus lisääntyi pohjoiseen ja korkeammalle päin.

Kaikkien kuusen kaistalehakkuaalojen (25 kpl) maanpinta oli käsitelty auraamalla 4–14 vuotta ennen inventointia. Ne sijaitsivat verrattain epätasaisesti Lapissa siten, että alueen keski- osassa (Rovaniemi, Ranua, Posio) ei ollut havaintoja, ja 9 kpl sijaitsi Kittilässä. Kaikki alat olivat tuoretta kangasta. Tutkimusjakson alun kasvukaudet olivat olleet selvästi keskimääräistä lämpimämpiä; lämpösommaindeksin (IND5) ja taimikon iän (A) välinen korrelaatio oli voimakkaasti positiivinen.

Männyn viljelyn kenttäkoehavaintoja oli 373 kpl, josta 352 kpl Lapista. Kylvöhavaintoja oli 114 kpl ja istutuslavaintoja 259 kpl. Maanpinnan käsittelytavoista oli suhteellisen tasaisesti havaintoja paitsi mätästyksestä, josta oli vain 4 havaintoa. Viljelystä oli kulunut 6–14 kasvukautta, mutta yli 10 kasvukauden ikäisiä aloja oli vain 9. Korkealla sijainneet taimikot olivat keskimääräistä vanhempia.

Männyn viljelyn inventointiaineisto käsitti 192 istutusala ja 61 kylvöalaa. Viljelystä oli kulunut 3–19 vuotta. Noin puolet aloista oli aurattu, muut oli käsitelty kevyemmin. Korkeimmilla alueilla (yli 330 m mpy) oli vain yksi ala. Korkeiden alueiden taimikot olivat keskimääräistä nuorempia. Auratuista aloista suurin osa oli viljelty 1970-luvulla. Aineistosta poistettiin täydennetyt alat. Mikkilän ja Pylvänäisen aineistoihin saattoi kuitenkin sisältyä joitakin täydennettyjä aloja, koska tietoja täydennyksistä ei ollut käytettävissä.

Kuusen ja lehtikuusen viljelyn osalta analyysit tehtiin pelkästään kenttäkoeyhteisöissä, koska inventointiaineistoissa ei ollut havaintoja korkeilta alueilta. Kuusen viljelyn kenttäkoeyhteisö käsitti 155 havaintoa, joista 74 kylvöä ja 81 istutusta. 145 alaa oli aurattu. Viljelystä oli kulunut 6–14 kasvukautta, mutta suurin osa havainnoista (67 kpl) oli 10 kasvukauden iält. Aineiston korkeat alueet sijaitsivat keskimääräistä useammin tutkimusalueen itäosassa, mutta eivät keskimääräistä useammin alueen pohjoisosassa vastoin alueen yleisiä korkeussuhteita.

Lehtikuusen viljelyaineisto käsitti 55 havaintoa. Valtaosa havainnoista oli Lapista. 46 alaa oli aurattu. Viljelystä oli kulunut 6–14 kasvukautta, mutta muista kuin 10 kasvukauden ikäisistä taimikoista oli vain 12 havaintoa. Korkeimmat alueet sijaitsivat keskimääräistä useammin tutkimusalueen itäosassa, mutta eivät

keskimääräistä useammin pohjoisessa kuten alueen korkeussuhteet olisivat edellyttäneet.

6.2 Aineiston käsittely

Maaston korkeuden vaikutusta eri menetelmillä saatuihin uudistamistuloksiin tutkittiin testaamalla taimitunnusten keskiarvojen eroja sekä korrelaatio-, osittaiskorrelaatio- ja regressioanalyysillä.

Keskiarvojen erojen testissä aineisto jaettiin kolmella eri kriteerillä kahteen ryhmään, korkeiksi alueiksi ja muiksi alueiksi. Korkeiden alueiden alarajaksi asetettiin vuorotellen 251, 281 ja 331 m mpy. Rajat perustuivat Metsähallituksen käsittelyohjeiden rajoihin (Metsien hoito...1990a). Koska katkaistu jakauma ei ole normaali, testinä käytettiin Mannin-Whitneyn U-testiä (Ranta ym. 1989 s.195–202).

Maaston korkeuden ja taimitunnuksen välisestä korrelaatiosta poistettiin Y- ja X-koordinaattien vaikutus pitämällä niiden arvot vakioituina toisen asteen osittaiskorrelaatiokerrointa laskettaessa. Korrelaatiokertoimen poikkeaminen nolasta testattiin t-testisuureen avulla (ks. Ranta ym. 1989 s. 417–419).

Aineistoihin sovitettiin regressiomalleja pienimmän neliösumman menetelmällä. Selitettäviä muuttujia olivat taimimäärä ja pituus. Kaikissa malleissa, joissa selitettävästä muuttujasta otettiin luonnollinen logaritmi, lisättiin vakioitermiin $S^2/2$ (ks. Kangas ym. 1990 s. 13)

Muuttujien jakaumien normalisuus testattiin SAS Univariate-proseduurin testeillä (SAS Institute Inc. 1985). Proseduurissa käytettiin kahta eri testiä. Jos havaintojen määrä oli 50 tai vähemmän, laskettiin Shapiro ja Wilkin W-testisuure (Shapiro & Wilk 1965). Suuremmilla otoksilla käytettiin Kolmogorovin-Smirnovin yhteensopivuustestiä (ks. Ranta ym 1989 s. 151–155). Mahdolliset poikkeamat normalisuudesta (riskitasolla $< 5\%$) on mainittu kunkin osaineiston analyysitulosten yhteydessä.

Selittävien muuttujien välisiä merkitseviä korrelaatioita esiintyi hyvin yleisesti. Regressiokerrointen tulkintojen luotettavuus oli heikompi kuin oletukset täyttävissä tapauksissa, koska yhden muuttujan arvon muuttuessa myös toisten arvot muuttuivat (ks. Ranta ym. 1989).

Aineisto antoi todistusta nollahypoteesia (H0: maaston korkeus ei vaikuta metsänuudistamistuloksiin) vastaan, jos selittävän korkeus-, sijainti- tai lämpösommuuttujan kerroin poikke-

si nollasta alle 5 % riskillä. Muita muuttujia käytettiin malleissa selittäjinä, jotta taustalla vaikuttaneet, aineiston rakenteesta johtuneet seikat eivät olisi vääristäneet tutkittavien muuttujien vaikutuksen suuruutta. Selittäjien kertoimien p-arvojen tuli olla pienempiä kuin 0,05 eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta, jotka on mainittu ko. mallien yhteydessä.

Korkeuden ja muiden sijaintimuuttujien välinen korrelaatio eliminoitiin eräissä malleissa vähentämällä korkeudesta Y- ja X-koordinaattien suuntainen gradientti, jonka estimaatti oli laskettu malleilla. Saatu korkeusmuuttuja, maaston korkeuden poikkeama tasoitetusta korkeudesta (Z_{rel}), oli siten muotoa

$$Z_{rel} = Z - Z_0, \text{ jossa } Z_0 = A + b \cdot Y + c \cdot X.$$

Aluksi laadittiin perusmalli, joka kuvasi selitettävän muuttujan arvoja taimikon iän funktiona. Ikämuuttujan tuli vastata teoreettista tai aiempiin tutkimuksiin perustuvaa ennakoarviota mallin muodosta, ja sillä tuli olla vahva korrelaatio taimimäärän kanssa. Selitettävän muuttujan arvoa iän nollakohdassa ei kuitenkaan pakotettu antamaan teoreettisesti oikeata estimaattia, koska tämä olisi saattanut vääristää iän ja taimitunnuksen välisen riippuvuuden kuvauksen muotoa hajanaisessa aineistossa. Taimien elossaolon estimaatti saattoi ylittää 100 % pienillä iän arvoilla varsinkin silloin kun kaikki mallin selittävät muuttujat saivat arvoja vaihteluvälinsä siitä ääripäästä jossa niiden arvo vaikutti eniten elossaolon estimaattia suurentavasti.

Lämpösummaindeksi (IND5) oli muokkausta seuranneiden viiden kasvukauden keskimääräinen lämpösomma Sodankylässä jaettuna jakson 1951–80 keskimääräisellä lämpösummalla Sodankylässä. Kaikki tämän tutkimuksen lämpösummat estimoitii Ojansuun & Henttosen (1983) malleilla kasvupaikan Y- ja X-koordinaattien ja korkeuden perusteella.

Luokkamuuttujia lisättiin malleihin valemuuttujatekniikalla. Siinä ei-jatkuvan muuttujan tiettyyn luokkaan kuuluva havainto antaa vastaavalle valemuuttujalle arvon 1 ja muille 0 (ks. Draper & Smith 1966 s. 135–142).

6.3 Tulokset

6.3.1 Keskiarvojen erojen testaus

Taimitunnusten keskiarvot korkeilla alueilla ja muilla alueilla kolmen eri alarajan mukaan

määriteltynä sekä keskiarvojen eron testauksen tulokset on esitetty taulukossa 12.

Testi antoi todistusta nollahypoteesia vastaan, jos p-arvo oli alle 0,05 kaksipuoleisessa testissä. Nollahypoteesi (H_0) kuului: maaston korkeus ei vaikuttanut uudistamistulokseen.

Testin tulosten mukaan männyn siemenpuuhakkuu oli onnistunut yli 250 metrin korkeudella huomattavasti enemmän kuin alempana, kun onnistumista mitattiin männyn ja muiden puulajien kokonaistaimimäärällä ja kasvatuskelpoisten taimien määrällä. Kun korkeiden alueiden alarajaksi asetettiin 281 ja 331 metriä, keskiarvot eivät poikenneet merkitsevästi toisistaan.

Viiljelytaimien elossaoloprosentti oli korkeilla alueilla pienempi männyn kylvön (330 m yläpuolella) ja kuusen istutuksen (vain 250 m yläpuolella) kenttäkoekäytöksissä. Korkeimmilla alueilla (yli 280 m) oli männyn viljelyn inventointiaineistossa kasvatuskelpoisia taimia vähemmän kuin alempana. Maaston korkeus vaikutti taimien pituuteen merkitsevästi vain kuusen kylvössä alarajalla 251 metriä.

Testi ei antanut yksiselitteistä todistusta nollahypoteesia vastaan missään menetelmässä. Se oli konservatiivinen, ja havaintojen vähyys korkeimmilla alueilla vaikutti testisuureen arvoon hyvin voimakkaasti. Sijainti-, käsittely- ja kasvupaikkatekijät eivät olleet korkeudesta riippumattomia, eikä niiden vaikutusta voinut testissä erottaa korkeuden vaikutuksesta.

6.3.2 Korrelaatio- ja osittaiskorrelaatioanalyysi

Taimitunnusten ja niitä selittävien muuttujien korrelaatiomatriisit on esitetty liitteessä 5. Korrelaatiokerrointa pidettiin merkitseväenä, jos sen p-arvo oli alle 0,05.

Maaston korkeus (Z) korreloi männyn siemenpuuhakkuussa negatiivisesti männyn ja kaikkien puulajien taimimäärien kanssa. Se korreloi kuusen kaistalehakkuussa positiivisesti kuusen taimimäärien ja negatiivisesti muiden puulajien taimien määrän kanssa. Korkeus korreloi negatiivisesti myös männyn viljelytaimien määrän kanssa kenttäkoekäytöksissä.

Lämpösomma korreloi positiivisesti useimpien taimitunnusten kanssa. Poikkeuksia olivat kuusen taimien määrä kuusen kaistalehakkuussa sekä kuusen ja lehtikuusen viljelytaimien elossaoloprosentti. Männyn viljelyn inventointiaineistossa lämpösumman ja taimitunnusten väliset korrelaatiot olivat heikkoja.

Taulukko 12. Taimitunnusten keskiarvot korkeilla alueilla (> LIM) ja niitä alempana sijaitsevilla alueilla (< LIM), sekä keskiarvojen eron Mannin-Whitneyn U-testi. Muuttujien selitys liitteessä 3.

Table 12. Means of the seedling stand variables at high (> LIM) and lower altitudes (< LIM) and results of the Mann-Whitney U-test for the difference between means. The stand variables are described in Appendix 3.

LIM	Taimitunnus Stand variable	Taimitunnuksen keskiarvo Mean of variable < LIM > LIM		p-arvo p-value	LIM	Taimitunnus Stand variable	Taimitunnuksen keskiarvo Mean of variable < LIM > LIM		p-arvo p-value
Männyn siemenpuuhakkuu <i>Scots pine, seed tree method</i>					Männyn viljely, inventoinnit <i>Sowing and planting of Scots pine, surveys</i>				
251	ML, kpl/ha	4874	2048	0,006	251	ELO, %	37,2	37,3	0,697
281	ML, kpl/ha	3588	2242	0,25	281	ELO, %	37,2	37,6	0,711
331	ML, kpl/ha	3398	2585	0,78	251	KA(y)	1130	1278	0,211
251	KA(y), kpl/ha	1565	1109	0,001	281	KA(y)	1722	1131	0,003
281	KA(y), kpl/ha	1366	1101	0,230	251	H(ke), cm	116	95	0,201
331	KA(y), kpl/ha	1332	1133	0,772	281	H(ke), cm	116	90	0,162
Kuusen kaistalehakkuu <i>Norway spruce, strip felling method</i>					Kuusen kylvö, kenttäkokeet <i>Sowing of Norway spruce, permanent experiments</i>				
251	KL, kpl/ha	775	1515	> 0,05	251	ELO, %	51,9	50,4	0,646
281	KL, kpl/ha	1011	4835	> 0,10	281	ELO, %	51,6	50,1	0,603
Männyn kylvö, kenttäkokeet <i>Sowing of Scots pine, permanent experiments</i>					331	ELO, %	50,6	53,9	0,390
251	ELO, %	61,4	44,2	0,010	251	H(ke), cm	29	22	0,002
281	ELO, %	61,4	44,2	0,010	281	H(ke), cm	26	23	0,250
331	ELO, %	60,7	29,1	0,000	331	H(ke), cm	26	24	0,984
251	H(ke), cm	30	25	1,00	Kuusen istutus, kenttäkokeet <i>Planting of Norway spruce, permanent experiments</i>				
281	H(ke), cm	30	25	1,00	251	ELO, %	76,4	67,7	0,029
331	H(ke), cm	25	27	0,484	281	ELO, %	75,1	66,1	0,073
Männyn istutus, kenttäkokeet <i>Planting of Scots pine, permanent experiments</i>					331	ELO, %	74,3	65,3	0,150
251	ELO, %	64,8	61,9	0,294	251	H(ke), cm	74	77	0,509
281	ELO, %	64,9	61,5	0,250	281	H(ke), cm	85	72	0,447
331	ELO, %	64,4	62,5	0,734	331	H(ke), cm	95	71	0,172
251	H(ke), cm	73	77	0,352	Lehtikuusen istutus, kenttäkokeet <i>Planting of Siberian larch, permanent experiments</i>				
281	H(ke), cm	71	77	0,197	251	ELO, %	68,0	60,1	0,082
331	H(ke), cm	60	77	0,052	281	ELO, %	66,5	60,0	0,190
					331	ELO, %	64,9	62,1	0,984
					251	H(ke), cm	141	114	0,569
					281	H(ke), cm	148	133	0,184
					331	H(ke), cm	149	135	0,285

Osittaiskorrelaatiokertoimien avulla tutkittiin oliko maaston korkeuden ja taimitunnusten välillä aitoa riippuvuutta vai johtuiko korrelaatio kokonaan tai osittain korkeiden alueiden pohjoisesta tai itäisestä sijainnista. Jos maaston korkeuden ja taimitunnuksen toisen asteen osittaiskorrelaatiokerroin poikkesi nollassa alle 5 % riskillä, testi antoi todistusta nollahypoteesia vastaan. Tulokset on esitetty taulukossa 13. Nii-

den mukaan maaston korkeus vaikutti negatiivisesti männyn ja kuusen viljelytaimien elossaoloon kenttäkokeissa ja positiivisesti kuusen kaistalehakkualojen kokonaistaimimäärään. Muissa menetelmissä korkeus ei vaikuttanut merkittävästi taimitunnuksiin. On kuitenkin muistettava, että osittaiskorrelaatiokertoimet mittaavat ainoastaan lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta, ja että muiden taustalla vaikut-

Taulukko 13. Taimitunnusten ja maaston korkeuden väliset toisen asteen osittaiskorrelaatiokertoimet, joissa Y- ja X-koordinaattien arvot on vakioitu. Muuttujien selitykset liitteessä 3.

Table 13. Partial correlation coefficients between altitude and stand variables, when the Y and X coordinates are kept constant. For definitions of variables see Appendix 3.

Puulaji <i>Tree species</i>	Uudistamis- menetelmä ja aineisto <i>Regeneration method and study material</i>	Taimi- tunnus <i>Stand Variable</i>	Osittais- korrelaatio- kerroin <i>Partial correlation coefficient</i>	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Mänty <i>Scots pine</i>	Siemenpuu- hakkuu	ML	-0,137	-1,00	> 0,10
	SEKA	SEKA	-0,175	-1,28	> 0,10
	Seed tree method	KA(y)	-0,021	-0,15	> 0,10
Kuusi <i>Norway spruce</i>	Kaistale- hakkuu	KL	0,654	4,33	0,001
	Strip felling m.	SEKA	-0,169	-0,86	> 0,10
Mänty <i>Scots pine</i>	Viljely, kenttäkokeet	ELO	-0,119	-2,30	0,05
	Planting and sowing, Permanent experiments	H(ke)	-0,024	-0,47	> 0,10
Mänty <i>Scots pine</i>	Viljely, inventoinnit Planting and sowing, surveys	PRO	-0,121	-1,93	0,1
		KA(y)	-0,027	-0,41	> 0,10
		H(in)	0,007	0,10	> 0,10
Kuusi <i>Norway spruce</i>	Viljely, kenttäkokeet	ELO	-0,219	-2,76	0,01
	Planting and sowing, permanent experiments	H(ke)	0,104	1,29	> 0,10
Lehtikuusi <i>Siberian larch</i>	Istutus, kenttäkokeet	ELO	-0,297	-2,22	0,10
		H(ke)	-0,197	-1,43	> 0,10

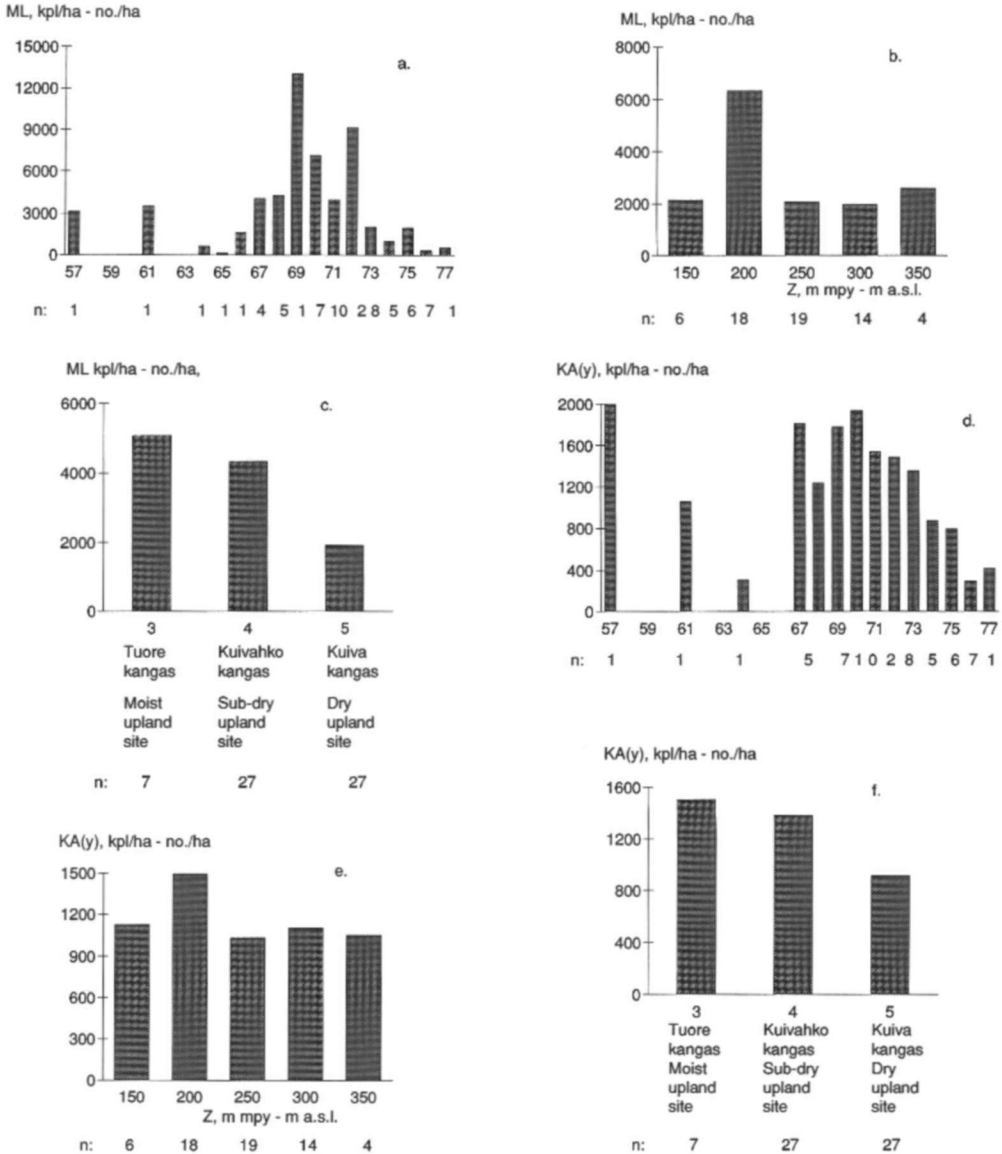
taneiden tekijöiden kuin Y- ja X-koordinaattien vaikutusta ei poistettu korkeuden vaikutuksesta.

6.3.3 Regressioanalyysi

Regressiomalleihin, joissa selitettävästä muuttujasta otettiin luonnollinen logaritmi varianssien homogenisoimiseksi, lisättiin vakiotermin $S_i^2/2$ (ks. Kangas ym. 1990 s. 13).

A. Männyn siemenpuuhakkuu

Männyn siemenpuuhakkuun malleissa olivat selitettävänä muuttujina männyn taimien kokonaismäärä (ML), muiden kuin männyn taimien kokonaismäärä (SEKA(k,ko,le) ja kasvatuskelpoisten taimien määrä (KA(y) (mallit 1–3, taulukko 14). Männyn taimien kokonaismäärä ja kasvatuskelpoisten taimien määrä oli sitä suurempi mitä kauemmin uudistamisen aloituksesta oli kulunut (kuva 10a). Tutkimusjakson alussa oli ollut enemmän lämpimiä jaksoja kuin sen



Kuva 10. Taimikkotunnusten keskiarvot ja havaintojen määrä luokiteltujen muuttujien suhteen männyn siemenpuuhakkuuaineistossa. Numeerisissa muuttujissa on käytetty luokan tunnuksena luokakeskiarvon likiarvoa (esim. Z: 150 = 125–174 m, 200 = 175–224 m jne.).

Figure 10. Means and frequencies of seedling stand variables in some variable classes in the Scots pine seed tree method material. In the numeric variables, classes are identified by the approximation of the class midpoint (e.g. Z: 150 = 125–174 m, 200 = 175–224 m etc.).

a: Männyn taimien määrä ja maankäsittelyvuosi – Number of Scots pine seedlings and soil treatment year.

b: Männyn taimien määrä ja maaston korkeus – Number of Scots pine seedlings and altitude.

c: Männyn taimien määrä ja kasvupaikkatyyppi – Number of Scots pine seedlings and site type

d: Kasvatuskelpoisten taimien määrä ja maankäsittelyvuosi – Number of seedlings to be retained until first thinning and soil treatment year

e: Kasvatuskelpoisten taimien määrä ja maaston korkeus – Number of seedlings to be retained until first thinning and altitude

f: Kasvatuskelpoisten taimien määrä ja kasvupaikkatyyppi – Number of seedlings to be retained until first thinning and site type

Taulukko 14. Uudistamistulosta selittävät mallit. Männyin siemenpuuhakkuu.
 Table 14. Models for predicting regeneration results. Scots pine seed tree method.

1. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ln(ML).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	10,039	0,6824	14,011	0,0001
1/A	-11,214	3,0960	-3,622	0,0006
IND5	6,4242	2,0688	3,105	0,0030
Z	-0,0033	0,0024	-1,327	0,1898
N	61			
R ²	0,444			
Sm	0,95			
Sf	0,98			

2. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: SEKA(ku,ko,le).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	8,1343	0,9912	7,194	0,0001
KD	-1,1475	0,4519	-2,539	0,0138
Z	-0,0006	0,0044	-0,146	0,8842
N	61			
R ²	0,154			
Sm	1,51			
Sf	1,42			

3. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ln(KA(y)).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	7,7627	0,4052	18,772	0,0001
1/A	-5,4895	1,4419	-3,807	0,0004
IND5	2,3386	1,1439	2,044	0,0456
AUD	0,3091	0,0014	1,991	0,0514
Z	-0,0004	0,1552	-0,259	0,7963
N	61			
R ²	0,458			
Sm	0,73			
Sf	0,56			

lopussa, mikä näkyi suurina männyin taimimäärinä ko. jaksona. Maaston korkeus, taimikon sijainnin itäisyys ja pohjoisuus sekä lämpösumma eivät vaikuttaneet taimimääriin.

Pohjoisuuden, maanpinnan käsittelyn ja kasvupaikan vaikutus taimimäärään olivat keskinäisessä riippuvuussuhteessa. Kuivien kankaiden ja kevyempien maanmuokkausmenetelmien yleisyys lisääntyi pohjoisen suuntaan. Kasvatuskelpoisten taimien määrä oli karuilla kasvupaikoilla selvästi pienempi kuin viljavilla kasvupaikoilla (kuva 10c). Tähän vaikutti myös muiden puulajien kuin mäntyjen pitäminen kasvatuskelvottomina kuivilla kankailla.

B. Kuusen kaistalehakkuu

Kuusen kaistalehakkuun malleissa olivat selitettävänä muuttujina kuusen taimien kokonaismäärä (KL) ja muiden puulajien kuin kuusen taimien kokonaismäärä (SEKA(m,ko,le)), mallit 4 ja 5, taulukko 15.

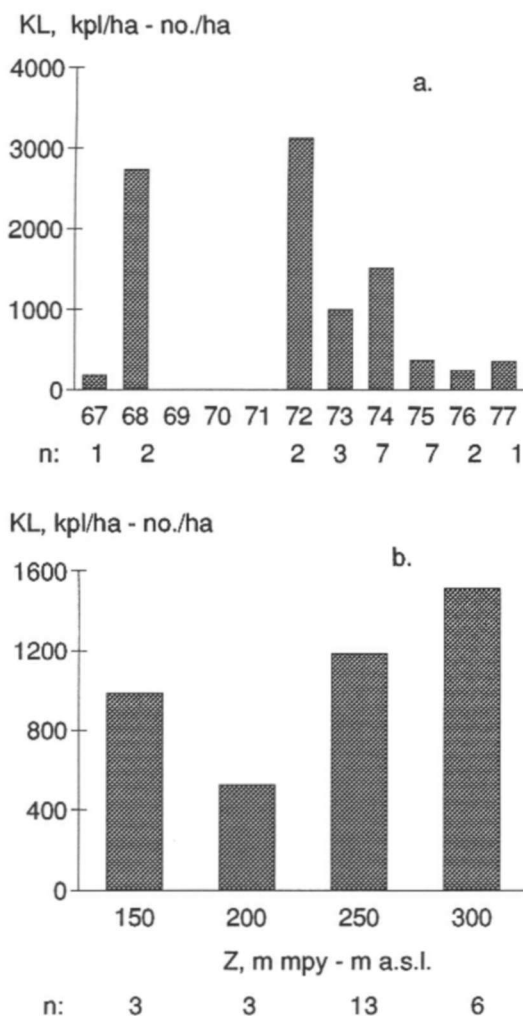
Tutkimusjakson alun kasvukaudet olivat olleet selvästi lämpimämpiä kuin lopun. Lämpösummaindeksin (IND5) ja muokkauksesta kuluneen ajan (A) välinen korrelaatio oli erittäin vahva. Indeksia käytettiin selittäjänä mallissa 4, jotta ajan vaikutusta taimimääriin ei olisi yliarvoitu, vaikka sen kertoimen p-arvo olikin suuri.

Kuusen taimia oli syntynyt korkeille ja samalla pohjoisemmille ja itäisemmille alueille keskimääräistä enemmän (kuva 11b ja malli 4). Aineisto oli kuitenkin niin pieni ja selittävien muuttujien väliset korrelaatiot niin voimakkaita, että saatua tulosta ei voi pitää luotettavana.

C. Männyin viljely, kenttäkoeaineisto

Männyin viljelyn kenttäkoeaineiston malleissa olivat selitettävänä muuttujina elossaolneiden istutustaimien tai taimettuneiden kylvölaikkujen määrän suhde viljelymäärään (ELO) ja viljelytaimien keskipituus (H(ke)) (mallit 6–11, taulukko 16).

Kylvötaimet olivat pysyneet huonommin elossa kuin viljelytaimet, ja niiden keskipituus oli kehittynyt hitaammin kuin viljelytaimikoissa (kuvat 12b ja 12f). Maaston korkeus, kasvupaikan pohjoisuus ja itäisyys, pieni lämpösumma sekä viljava kasvupaikka vaikuttivat taimien elossaoloa vähentävästi (kuvat 12c ja 12d, mallit 6–8). Suurempi kuolleisuus korkealla johtui kuitenkin suurelta osin siitä, että korkeat alueet sijaitsivat alueen pohjois- ja itäosis-



Kuva 11. Taimikkotunnusten keskiarvot ja havaintojen määrä luokiteltujen muuttujien suhteen kuusen kaistalehakkuaaineistossa. Luokkien tunnusten esitystapa ks. kuva 10.

Figure 11. Means and frequencies of seedling stand variables in some variable classes in the Norway spruce strip felling method material. See Figure 10 for explanation of classes.

a: Kuusen taimien määrä ja maankäsittelyvuosi – Number of Norway spruce seedlings and soil treatment year

b: Kuusen taimien määrä ja maaston korkeus – Number of Norway spruce seedlings and altitude

sa, koska maaston korkeuden poikkeama mallilla tasoitettusta korkeudesta-muuttujan (Zrel) kerroin ei ollut merkitsevä sovitetuissa malleissa. Taimet olivat kasvaneet korkeilla alueilla keskimääräistä hitaammin (mallit 9 ja 10, kuva 12g)

Taulukko 15. Uudistamistulosta selittävät mallit. Kuusen kaistalehakkua.

Table 15. Models for predicting regeneration results. Norway spruce strip felling method.

4. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: KL.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	-5274,92	2580,11	-2,044	0,0536
ln(A)	2286,28	916,229	2,495	0,0210
IND5	3904,95	5905,05	0,661	0,5156
Z	8,8632	4,1541	2,134	0,0448
N	25			
R ²	0,408			
Sm	1160			
Sf	1012			

5. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: SEKA(m,ko,le).

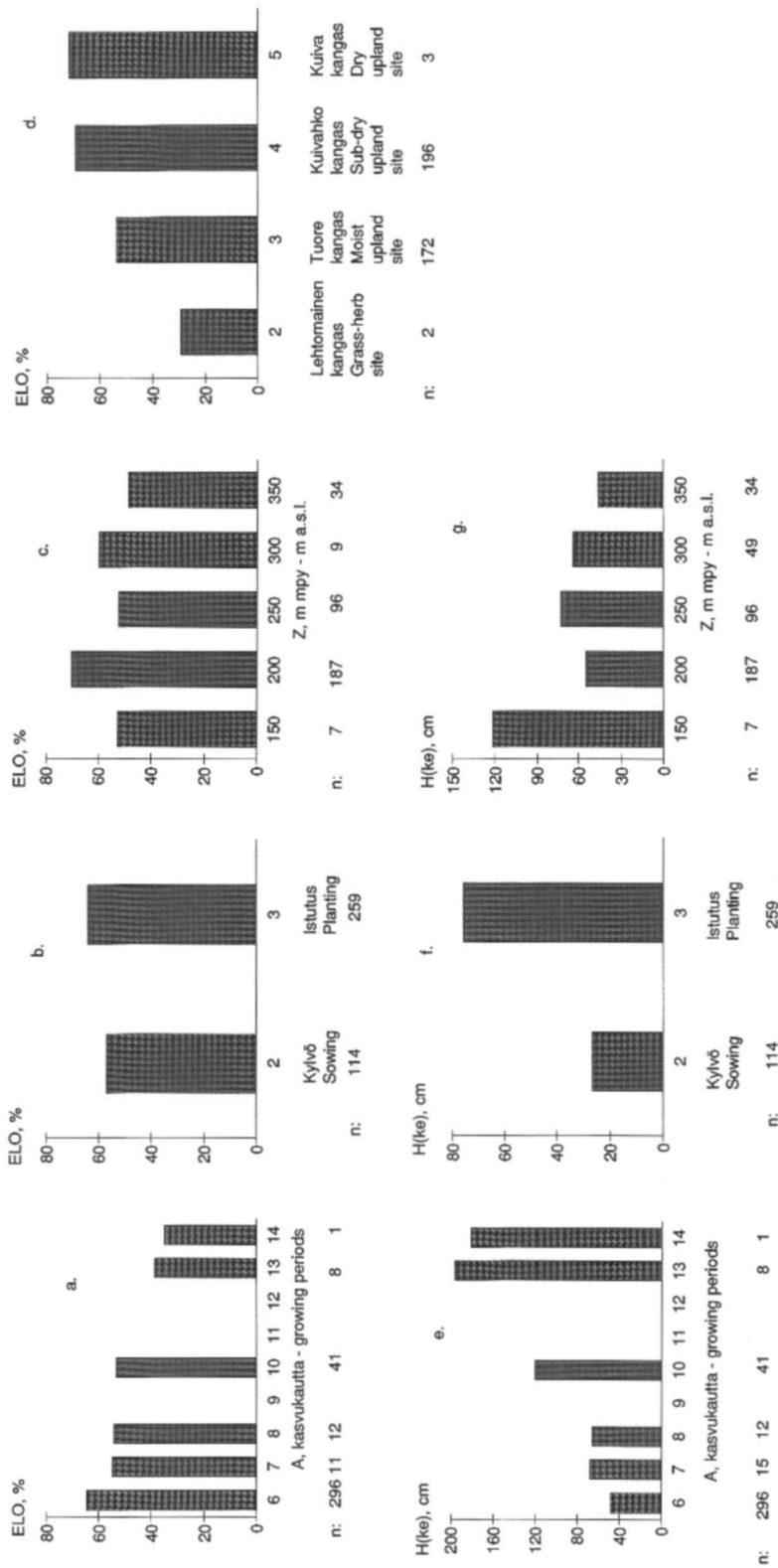
Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	-2348,0	2698,19	-1,938	0,065
A	571,51	1357,05	3,711	0,001
N	25			
R ²	0,375			
Sm	2336			
Sf	1887			

ja suuressa lämpösummassa keskimääräistä nopeammin (malli 11).

D. Männyn viljely, inventointiaineisto

Männyn viljelyn inventointiaineiston perusteella laadituissa malleissa olivat selitettävänä muuttujina elossa olleiden istutustaimien tai taimetuneiden kylvöaikkujen määrän suhde tavoitetheyteen (PRO), kasvatuskelpoisten taimien määrä (KA(y)) sekä kasvatuskelpoisten männyn taimien keskipituus (H(in)) (mallit 12–19, taulukko 17).

Kylvö- ja istutustaimet olivat pysyneet keskimäärin yhtä hyvin elossa (kuva 13b). Taimet olivat pysyneet korkealla keskimääräistä huonommin elossa (mallit 12 ja 13). Suuri läm-



Kuva 12. Taimikkotunnusten keskiarvot ja havaintojen määrä luokiteltujen muuttujien suhteen männyn viljelyn kenttäkoeaineistossa. Luokkien tunnusten esittämistä ks. kuva 10.

Figure 12. Means and frequencies of seedling stand variables in some variable classes in the experiments of artificial regeneration with Scots pine. See Figure 10 for explanation of classes.

- a: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja viljelystä kulunut aika – Survival of sown and planted seedlings and stand age
- b: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja viljelytapa – Survival of sown and planted seedlings and reforestation method
- c: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja maaston korkeus – Survival of sown and planted seedlings and altitude
- d: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja kasvupaikkatyyppi – Survival of sown and planted seedlings and site type
- e: Kylvö- ja istutustaimien pituus ja viljelystä kulunut aika – Height of sown and planted seedlings and stand age
- f: Kylvö- ja istutustaimien pituus ja viljelytapa – Height of sown and planted seedlings and reforestation method
- g: Kylvö- ja istutustaimien pituus ja maaston korkeus – Height of sown and planted seedlings and altitude

Taulukko 16. Uudistamistulosta selittävät mallit. Männyn viljely, kenttäkoeainasto.

Table 16. Models for predicting regeneration results. Artificial regeneration of Scots pine, experiments.

6. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ELO.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	1,1953	0,1125	10,627	0,0001
ln(A)	-0,2062	0,0608	-3,39	0,0008
KYLVÖ	-0,0837	0,0248	-3,381	0,0008
VILJA	-0,1229	0,0246	-5,005	0,0001
Z	-0,0005	0,0002	-1,968	0,0498
N	373			
R ²	0,178			
Sm	0,237			
Sf	0,216			

7. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ELO.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	5,9756	1,2167	4,912	0,0001
ln(A)	-0,2241	0,5994	-3,738	0,0002
KYLVÖ	-0,0908	0,024	-3,785	0,0002
VILJA	-0,1026	0,0239	-4,296	0,0001
Y	-0,0006	0,0002	-3,714	0,0002
X	-0,0012	0,0003	-4,388	0,0001
N	373			
R ²	0,224			
Sm	0,237			
Sf	0,21			

8. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ELO.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	0,9385	0,12	7,817	0,0001
ln(A)	-0,2371	0,0576	-4,118	0,0001
KYLVÖ	-0,0876	0,0242	-3,627	0,0003
VILJA	-0,118	0,023	-5,119	0,0001
L ³	4,12E - 10	0	4,344	0,0001
N	373			
R ²	0,21			
Sm	0,237			
Sf	0,212			

9. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: H(ke).

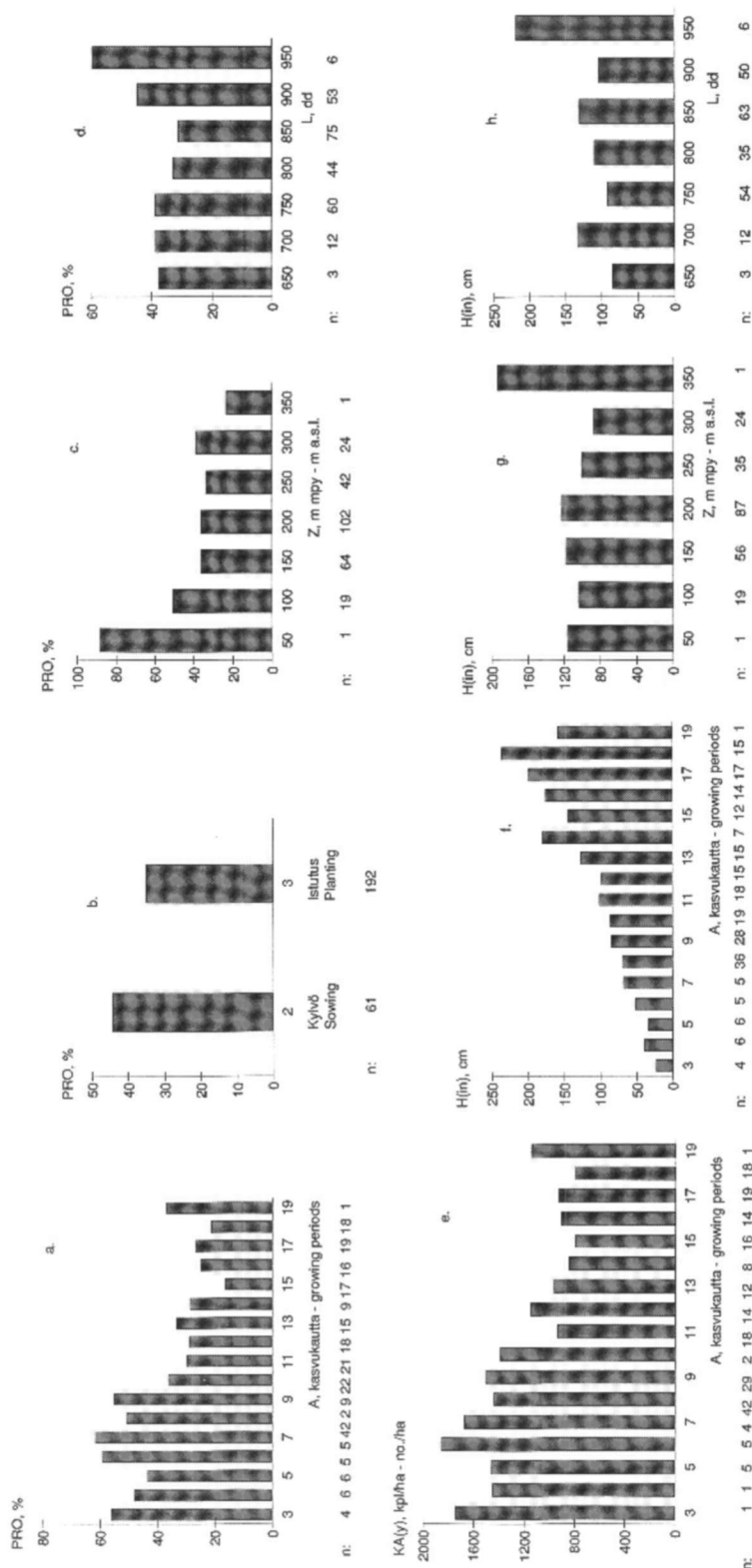
Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	56,77	5,0631	11,213	0,0001
A ²	0,9536	0,0438	21,772	0,0001
KYLVÖ	-38,239	2,4924	-15,342	0,0001
VILJA	7,6443	2,4714	3,093	0,0021
VOIMA	12,486	2,4990	4,998	0,0001
Z	-0,1647	0,0232	-7,087	0,0001
N	373			
R ²	0,738			
Sm	42,3			
Sf	21,8			

10. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: H(ke).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	19,3384	2,7205	7,108	0,0001
A ²	0,9708	0,0441	21,992	0,0001
KYLVÖ	-37,690	2,4948	-15,107	0,0001
VILJA	5,376	2,3649	2,273	0,0236
VOIMA	11,971	2,4856	4,816	0,0001
Z _{rel}	-0,1947	0,0270	-7,125	0,0001
N	373			
R ²	0,74			
Sm	42,3			
Sf	21,7			

11. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: H(ke).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	-58,4528	14,920	-3,918	0,0001
A ²	0,8902	0,0441	20,172	0,0001
KYLVÖ	-39,5369	2,5352	-15,595	0,0001
VILJA	4,3255	2,4094	1,795	0,0734
VOIMA	11,951	2,5490	4,689	0,0001
L	0,1043	0,0182	5,741	0,0001
N	373			
R ²	0,727			
Sm	42,3			
Sf	22,3			



Kuva 13. Taimikkotunnusten keskiarvot ja havaintojen määrä luokiteltujen muuttujien suhteen männyn viljelyn inventointiaineistossa. Luokkien tunnusten esittämistapa ks. kuva 10.

Figure 13. Means and frequencies of seedling classes in the surveys of artificial regeneration with Scots pine. See Figure 10 for explanation of classes.

a: Kylvö- ja istutusainien elossaolo ja viljelystä kulunut aika – Survival of sown and planted seedlings and stand age

b: Kylvö- ja istutusainien elossaolo ja viljelytapa – Survival of sown and planted seedlings and reforestation method

c: Kylvö- ja istutusainien elossaolo ja maaston korkeus – Survival of sown and planted seedlings and altitude

d: Kylvö- ja istutusainien elossaolo ja lämpösäde – Survival of sown and planted seedlings and temperature sum

e: Kasvatuskelpoisten taimien määrä ja viljelystä kulunut aika – Number of seedlings to be retained until first thinning and stand age

f: Kasvatuskelpoisten männyn taimien pituus ja viljelystä kulunut aika – Height of Scots pine seedlings to be retained until first thinning and stand age

g: Kasvatuskelpoisten männyn taimien pituus ja maaston korkeus – Height of Scots pine seedlings to be retained until first thinning and altitude

h: Kasvatuskelpoisten männyn taimien pituus ja lämpösäde – Height of Scots pine seedlings to be retained until first thinning and temperature sum

Taulukko 17. Uudistamistulosta selittävät mallit. Männyn viljely, inventointiaineisto.
 Table 17. Models for predicting regeneration results. Artificial regeneration of Scots pine, surveys.

12. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: KL.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	0,6888	0,1267	5,438	0,0001
ln(A)	-0,1013	0,0460	-2,205	0,0284
Z	-9,18E-4	2,48E-4	-3,698	0,0003
VOIMA	0,2036	0,0362	5,623	0,0001
N	253			
R ²	0,301			
Sm	0,244			
Sf	0,205			

15. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: KA(y).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	2092,824	358,362	5,840	0,0001
ln(A)	-355,837	129,126	-2,756	0,0063
Z	-1,5392	0,6113	-2,518	0,0125
VOIMA	457,172	88,668	5,156	0,0001
N	235			
R ²	0,335			
Sm	563,9			
Sf	462,7			

13. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: PRO.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	0,5465	0,1241	4,403	0,0001
ln(A)	-0,1118	0,0465	-2,404	0,0174
Z _{rel}	-7,89E-4	3,26E-4	-2,422	0,0161
VOIMA	0,1830	0,0361	5,066	0,0001
N	253			
R ²	0,280			
Sm	0,244			
Sf	0,208			

16. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: KA(y).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	1348,13	371,96	3,624	0,0001
ln(A)	-354,78	128,031	-2,771	0,0060
L ³	7,94E-7	2,5E-7	3,220	0,0015
VOIMA	448,915	87,471	5,132	0,0001
N	235			
R ²	0,346			
Sm	563,9			
Sf	458,8			

14. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: PRO.

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	0,360	0,1443	2,494	0,0001
ln(A)	-0,1037	0,0466	-2,224	0,0270
L3	2,86E-10	0	2,727	0,0068
VOIMA	0,1911	0,0327	5,266	0,0001
N	253			
R ²	0,284			
Sm	0,244			
Sf	0,207			

17. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: KA(y).

Selitettävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	15081	3777,4	3,993	0,0001
ln(A)	-352,57	127,65	-2,762	0,0062
Y	-1,698	0,4927	-3,446	0,0007
X	-1,571	0,5936	-2,646	0,0087
VOIMA	486,90	88,468	5,504	0,0001
N	235			
R ²	0,355			
Sm	563,9			
Sf	456,88			

Taulukko 17 jatkuu.
Table 17 continued.

18. Selitettävä muuttuja – *Dependent variable: ln(H(in)).*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	SE	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Vakio <i>Constant</i>	2,8419	0,2242	12,033	0,0001
A	0,1579	0,0136	11,570	0,0001
KYLVÖ	-0,2065	0,0852	-2,425	0,0161
VOIMA	0,4697	0,1171	4,205	0,0001
Z	-0,0010	0,0007	-1,496	0,1361
N	223			
R ²	0,466			
Sm	0,726			
Sf	0,536			

19. Selitettävä muuttuja – *Dependent variable: ln(H(in)).*

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	SE	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Vakio <i>Constant</i>	1,5622	0,5332	2,664	0,0083
A	0,1599	0,0136	11,769	0,0001
KYLVÖ	-0,2077	0,0845	-2,459	0,0147
VOIMA	0,4798	0,1101	4,359	0,0001
L	0,0013	0,0006	2,294	0,0228
N	223			
R ²	0,474			
Sm	0,726			
Sf	0,532			

pösumma oli lisännyt elossaoloa (malli 14) ja kasvatuskelpoisten taimien määrää (malli 16). Kasvatuskelpoisten taimien määrä oli korkealla keskimääräistä pienempi (malli 15). Maaston korkeuden poikkeama mallilla tasoitettusta korkeudesta (Z_{rel}) ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi kasvatuskelpoisten taimien määrään sovitetuissa malleissa. Korkeiden alueiden taimikoissa oli siten syntynyt verrattain runsaasti täydentäviä luonnontaimia, jos taimikko ei sijainnut kovin pohjoisessa ja idässä (malli 17). Kylvötaimet olivat keskimäärin lyhyempiä kuin istutustaimet (kuva 13f). Maaston korkeus ei vaikuttanut taimien keskipituuteen (malli 18). Suuri lämpösumma oli jouduttanut pituuskehitystä (malli 19).

E. Kuusen viljely

Kuusen viljelyn malleissa olivat selitettävänä muuttujina elossaoloiden istutustaimien tai taimettuneiden kylvölaikkujen määrän suhde viljelymäärään (ELO) ja viljelytaimien keskipituus (H(ke)) (mallit 20–22, taulukko 18).

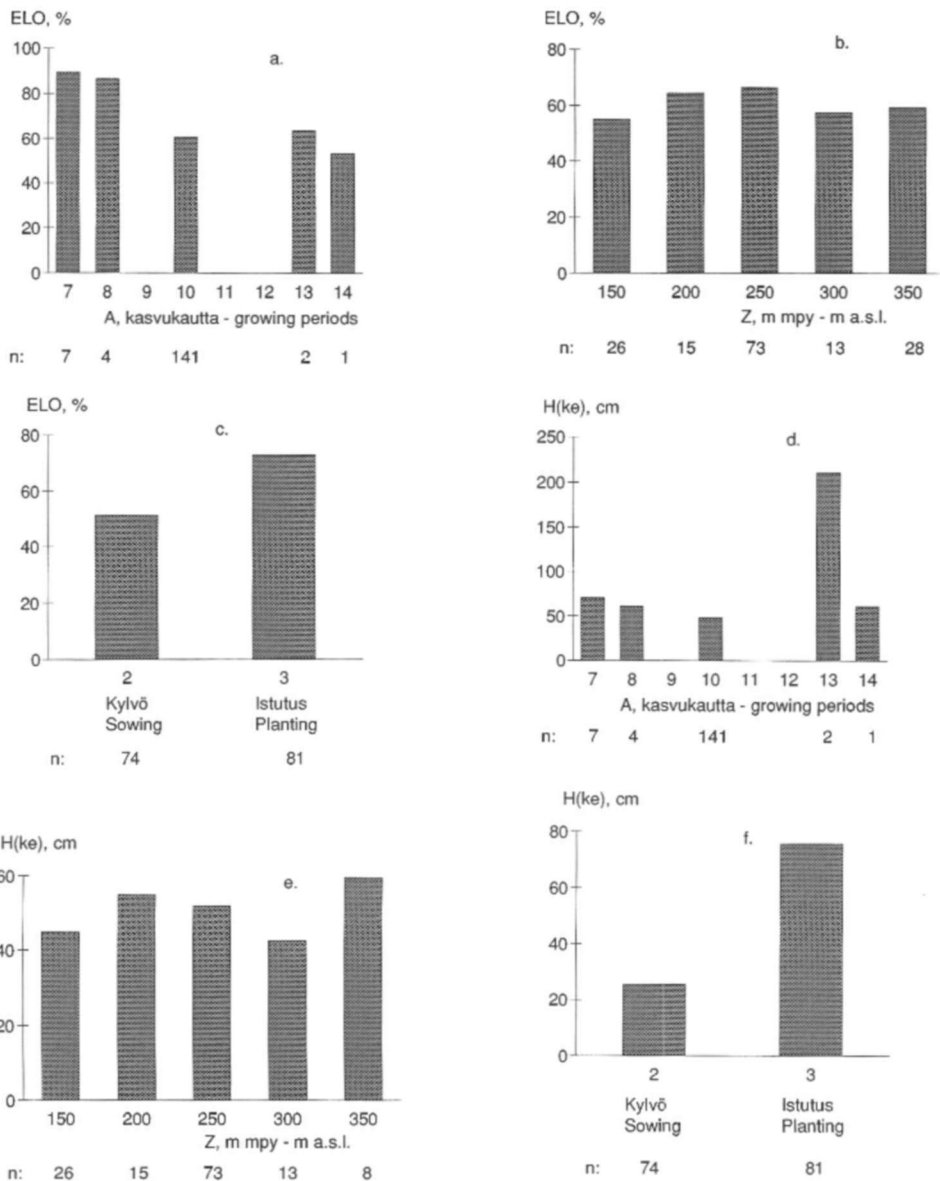
Kylvötaimet olivat pysyneet selvästi huomattavasti elossa kuin istutustaimet ja niiden pituuskehitys oli ollut selvästi hitaampi (kuva 14c). Maaston korkeus (Z) ei vaikuttanut ELO:n arvoon malleissa (malli 20). Maaston korkeuden poikkeama tasoitettusta korkeudesta (Z_{rel}) vaikutti kuitenkin taimien elossaoloon vähentävästi, koska korkeimmat alueet sijaitsivat keskimääräistä useammin alueen eteläosassa

(malli 21). Korkeus- ja lämpösummamuuttujat (Z, Z_{rel} ja L) eivät vaikuttaneet taimien keskipituuteen sovitetuissa malleissa (malli 22). Aineiston pohjoisosan taimikot olivat keskimääräistä nuorempia, mikä vähensi pohjoisuuden ja pienen lämpösumman vaikutusta taimimuuttujiin. Sijainti- ja lämpösummamuuttujien (Y, X ja L) vaikutukset jäivät aineiston maantieteellisen ja iän mukaisen jakautumisen takia epäselviksi.

F. Lehtikuusen viljely

Lehtikuusen aineistossa oli ainoastaan istutus-taimikoita. Mallien selitettävänä muuttujina olivat elossaoloiden istutustaimien määrän suhden viljelymäärään (ELO) ja viljelytaimien keskipituus (H(ke)) (mallit 23–26, taulukko 19).

Lehtikuusen taimia oli kuollut ensimmäisinä kasvukausina verrattain vähän, ja ELO:n arvo oli 0,8–0,97 vielä 7–8 kasvukauden kuluttua viljelystä (kuva 19a). Koska havaintojen vaihteluväli kattoi kunnolla vain välin 7–10 kasvukautta, taimitunnusten ja taimikon iän (A) välistä riippuvuutta ei voitu selvittää luotettavasti. Taimikon ikää ei voitu käyttää keskipituutta kuvaavissa malleissa. Mallissa 24 taimikon sijainnin pohjoisuus (Y) ja itäisyys (X) lisäsivät ja korkeus (Z) vähensi taimien elossaoloa. Tulosta ei kuitenkaan voida pitää luotettavana aineiston rakenteen takia. Aineiston pohjoisosan taimikot olivat keskimääräistä nuorempia, ja itäiset taimikot sijaitsivat alueen eteläosassa.



Kuva 14. Taimikkotunnusten keskiarvot ja havaintojen määrä luokiteltujen muuttujien suhteen kuusen viljelyn kenttäkoeaineistossa. Luokkien tunnusten esittämistapa ks. kuva 10.

Figure 14. Means and frequencies of seedling stand variables in some variable classes in the experiments of artificial regeneration with Norway spruce. See Figure 10 for explanation of classes.

a: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja viljelystä kulunut aika – Survival of sown and planted seedlings and stand age

b: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja maaston korkeus – Survival of sown and planted seedlings and altitude

c: Kylvö- ja istutustaimien elossaolo ja viljelytapa – Survival of sown and planted seedlings and reforestation method

d: Kylvö- ja istutustaimien pituus ja viljelystä kulunut aika – Height of sown and planted seedlings and stand age

e: Kylvö- ja istutustaimien pituus ja maaston korkeus – Height of sown and planted seedlings and altitude

f: Kylvö- ja istutustaimien pituus ja viljelytapa – Height of sown and planted seedlings and reforestation method

Taulukko 18. Uudistamistulosta selittävät mallit. Kuusen viljely, kenttäkoeaineisto.

Table 18. Models for predicting regeneration results. Artificial regeneration of Norway spruce, experiments.

20. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ELO.

Selittävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	1,9782	0,3151	6,279	0,0001
ln(A)	-0,5471	0,1370	-3,994	0,0001
KYLVÖ	-0,1969	0,0236	-8,319	0,0001
Z	-3,9E-5	0,0002	-0,213	0,8320
N	155			
R ²	0,414			
Sm	0,184			
Sf	0,143			

21. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: ELO.

Selittävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	1,6865	0,3005	5,613	0,0001
ln(A)	-0,4328	0,1314	-3,294	0,0012
KYLVÖ	-0,2072	0,0224	-9,251	0,0001
Z _{rel} ³	-7,11E-8	3,0E-9	-2,129	0,0349
RIND	0,0604	0,0224	2,697	0,0078
LAID	-0,1848	0,0860	-2,149	0,0332
N	155			
R ²	0,495			
Sm	0,184			
Sf	0,133			

22. Selitettävä muuttuja – Dependent variable: H(ke).

Selittävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	SE	t-arvo t-value	p-arvo p-value
Vakio Constant	27,685	10,6243	2,606	0,0101
A ²	0,4295	0,0906	4,741	0,0001
KYLVÖ	-52,050	3,3307	-15,627	0,0001
Z	0,0276	0,0253	1,091	0,2772
N	155			
R ²	0,628			
Sm	33,4			
Sf	20,5			

Maaston korkeus ei vaikuttanut malleissa taimien keskipituuteen (malli 25). Suuri lämpösumma lisäsi keskipituutta (malli 26, taulukko 19).

6.3.4 Regressiomallien tarkastelu

Kunkin uudistamisen menetelmän vaihtoehtoisista malleista valittiin vertailuun se, jossa maaston korkeus (Z) oli mukana selittävänä muuttujana ja jolla oli suurin selitysaste. Korkeuden kertoimen ei tarvinnut olla merkitsevää.

Männyn siemenpuuhakkuussa ja viljelyn inventointiaineistossa selitettävänä muuttujana oli kasvatuskelpoisten taimien kokonaismäärä KA(y). Viljelyjen kenttäkoeaineistoissa vertailtiin viljelytaimien elossaoloprosenttia (ELO) ja taimien keskipituutta (H(ke)). Elossaolovertailussa olivat lisäksi mukana ne männyn viljelyn inventointiaineiston mallit, joissa selitettävänä muuttujana oli viljelytaimien määrän suhde tavoitemäärään (PRO).

Seuraavat mallit valittiin:

Menetelmä	Selitettävä muuttuja KA(y) ELO/PRO H(ke)		
	Mallin numero		
Männyn siemenpuuhakkuu	3	-	-
Männyn viljely, invent.	15	12	-
Männyn viljely, kenttäk.	-	6	9
Kuusen istutus, kenttäk.	-	20	22
Lehtikuusen istutus, kenttäk.	-	25	-

Selittäville muuttujille asetettiin seuraavat vakioarvot:

Sijainti: Y 7480, X 480.

Kasvupaikkatyyppi: tuore kangas.

Maanpinnan käsittelymenetelmä, topografia ja muut malleissa harvoin käytettyjen valemuuttujien arvot asetettiin siten, että niiden vaikutus taimimääriin ja taimien pituuteen oli nolla tai positiivinen. Kylvö-, istutus- ja luonnontaimien ikäeroa lähtötilanteessa ei otettu huomioon. Vertailun tulokset on esitetty kuvissa 16–19.

Kuvista näkyy männyn viljelytaimien huono elossapysyminen kuusen ja lehtikuusen taimiin verrattuna. Maaston korkeus ei vaikuttanut kuusen taimien elossapysymiseen ja pituuskehitykseen. Männyllä ja lehtikuusella korkeuden vaikutus oli malleissa suurempi, etenkin männyn pituuskehityksessä, (kuvat 16 ja 17). Korkeuden ja elossapysymisen välinen riippuvuus oli mal-

Taulukko 19. Uudistamistulosta selittävät mallit. Lehtikuusen viljely, kenttökoeaineisto.
 Table 19. Models for predicting regeneration results. Artificial regeneration of Siberian larch, experiments.

23. Selitettävä muuttuja – *Dependent variable*: ELO.

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	SE	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Vakio <i>Constant</i>	2,5555	0,4999	5,112	0,0001
ln(A)	-0,8592	0,2194	-3,916	0,0003
Z	-0,00011	0,0004	-0,260	0,7958
N	55			
R ²	0,238			
Sm	0,208			
Sf	0,189			

24. Selitettävä muuttuja – *Dependent variable*: ELO.

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	SE	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Vakio <i>Constant</i>	-6,2628	2,2417	-2,794	0,0074
ln(A)	-0,4505	0,1716	-2,625	0,0115
Y	0,0010	0,0003	3,679	0,0006
X	0,0019	0,0005	4,112	0,0001
Z	-0,0008	0,0004	-2,000	0,0509
N	55			
R ²	0,45			
Sm	0,208			
Sf	0,161			

25. Selitettävä muuttuja – *Dependent variable*: H(ke).

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	SE	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Vakio <i>Constant</i>	132,539	24,644	5,378	0,0001
Z	0,0197	0,0943	0,209	0,8350
N	55			
R ²	0,0008			
Sm	43,7			
Sf	44,1			

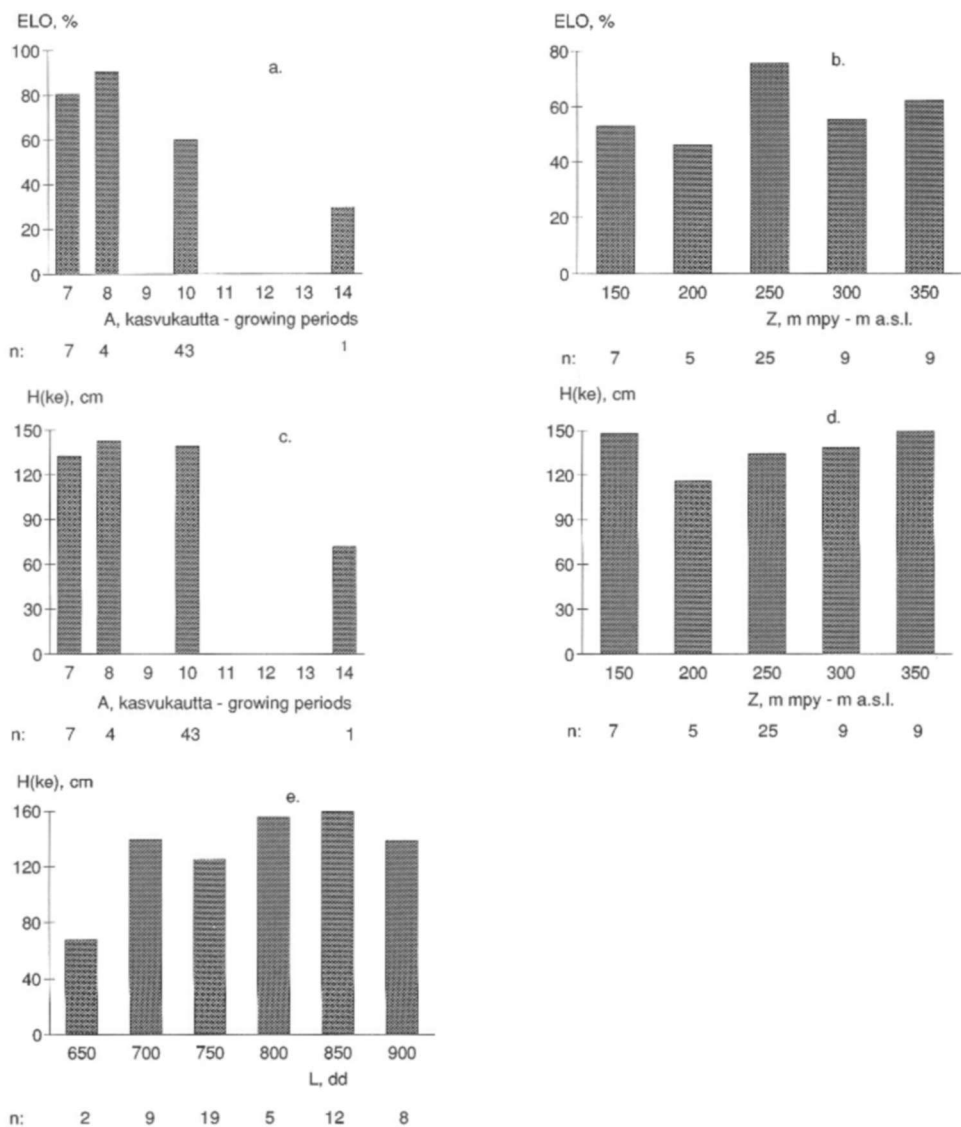
26. Selitettävä muuttuja – *Dependent variable*: H(ke).

Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	SE	t-arvo <i>t-value</i>	p-arvo <i>p-value</i>
Vakio <i>Constant</i>	-60,492	56,615	-1,068	0,2902
L	0,2244	0,0706	3,181	0,0025
RIND	39,137	10,269	3,813	0,0004
N	81			
R ²	0,36			
Sm	29,2			
Sf	23,8			

leissa lineaarinen. Todellisuudessa elossapyyntymisen täytyy pienentyä jyrkästi lähestyttäessä metsänrajaa. Koska aineistoissa ei ollut havaintoja 365 metriä korkeammalta, lineaarinen korkeusmuuttuja (Z) oli malleissa yhtä voimakas tai voimakkaampi selittäjä kuin korkeampien asteiden korkeusmuuttuja (Z², Z³). Malleilla ekstrapoloitu ELO:n arvo taimikon perustamisvaiheessa (A = 0) kuusen ja lehtikuusen viljelyssä on nollassa suurempi (kuva 18). Tämä johtui

havaintojen puutteesta ikävälillä 0–5 vuotta ja aineiston rakenteesta. Iän ja ELO:n välinen riippuvuus ei ole ko. malleissa oikean muotoinen. Malleja ei voi käyttää ekstrapolointiin.

Männyn siemenpuuhakkuu oli johtanut keskimäärin suurempaan kasvatuskelpoisten taimien määrään kuin männyn viljely etenkin korkeilla alueilla. Ero kasvoi taimikoiden vanhentuuessa (kuva 19).



Kuva 15. Taimikkotunnusten keskiarvot ja havaintojen määrä luokiteltujen muuttujien suhteen lehtikuusen viljelyn kenttakoelaitteistossa. Luokkien tunnusten esittämistapa ks. kuva 10.

Figure 15. Means and frequencies of seedling stand variables in some variable classes in the experiments of artificial regeneration with Siberian larch. See Figure 10 for explanation of classes.

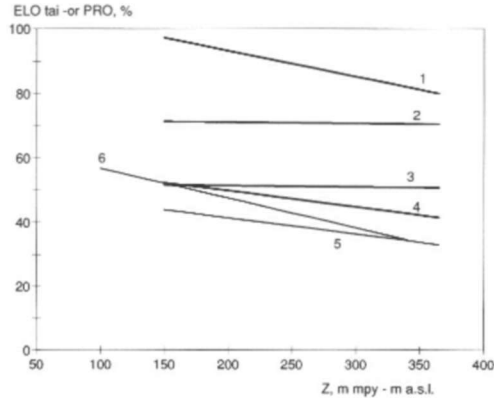
a: Istutustaimien elossaolo ja viljelystä kulunut aika – Survival of planted seedlings and stand age

b: Istutustaimien elossaolo ja maaston korkeus – Survival of planted seedlings and altitude

c: Istutustaimien pituus ja viljelystä kulunut aika – Height of planted seedlings and stand age

d: Istutustaimien pituus ja maaston korkeus – Height of planted seedlings and altitude

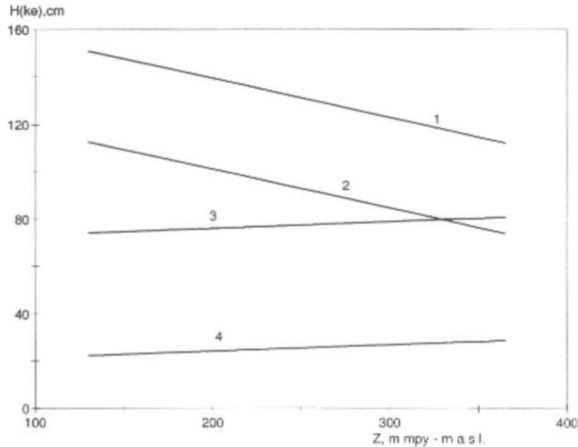
e: Istutustaimien pituus ja lämpösusma – Height of planted seedlings and temperature sum



- 1 : Lehtikuusen istutus, kenttäkokeet - Planting of Siberian larch, permanent experiments (25)
 2: Kuusen istutus, kenttäkokeet - Planting of Norway spruce, permanent experiments (20)
 3: Kuusen kylvö, kenttäkokeet - Sowing of Norway spruce, permanent experiments (20)
 4: Männyin istutus, kenttäkokeet - Planting of Scots pine, permanent experiments (6)
 5: Männyin kylvö, kenttäkokeet - Sowing of Scots pine, permanent experiments (6)
 6: Männyin kylvö ja istutus, inventoinnit - Sowing and planting of Scots pine, surveys (12)

Kuva 16. Maaston korkeuden vaikutus viljelytaimien clossaoloon 10 kasvukauden kuluttua viljelystä uudistamistuloksen regressiomalleissa. Mallin numero sulkeissa.

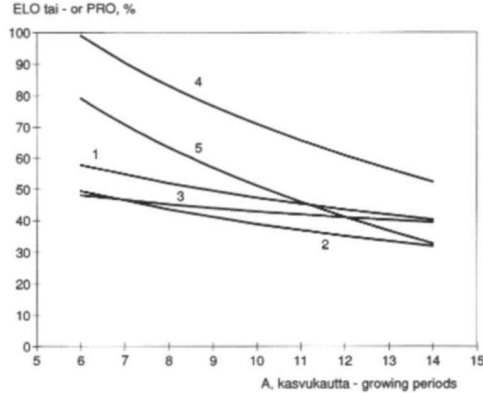
Figure 16. Effect of altitude on the survival of sown or planted seedlings in the regeneration result models. Stand age 10 growing periods. Number of model in parentheses.



- 1: Männyin istutus - Planting of Scots pine (9)
 2: Männyin kylvö - Sowing of Scots pine (9)
 3: Kuusen istutus - Planting of Norway spruce (22)
 4: Kuusen kylvö - Sowing of Norway spruce (22)

Kuva 17. Maaston korkeuden vaikutus viljelytaimien keskipituuteen 10 kasvukauden kuluttua viljelystä kenttäkoeaineistoista laadituissa uudistamistuloksen regressiomalleissa. Mallin numero sulkeissa.

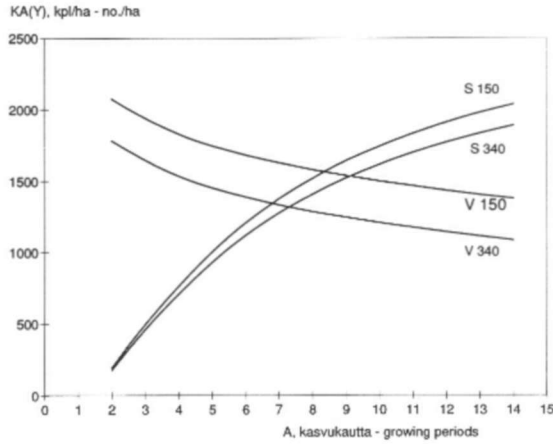
Figure 17. Effect of altitude on the mean height of sown or planted seedlings in the regeneration results models for experiments. Stand age 10 growing periods. Number of model in parentheses.



- 1: Männyn istutus, kenttäkokeet - Planting of Scots pine, permanent experiments
 2: Männyn kylvö, kenttäkokeet - Sowing of Scots pine, permanent experiments
 3: Männyn kylvö ja istutus, inventoinnit - Sowing and planting of Scots pine, surveys
 4: Kuusen istutus, kenttäkokeet - Planting of Norway spruce, permanent experiments
 5: Kuusen kylvö, kenttäkokeet - Sowing of Norway spruce, permanent experiments.

Kuva 18. Taimikon iän vaikutus viljelytaimien elossaolon uudistamistuloksen regressiomalleissa. Mallien numerot ks. kuva 17. Maaston korkeus (Z) 250 m mpy.

Figure 18. Effect of stand age on the survival of sown or planted seedlings in the regeneration results models. For model numbers see Figure 17. Altitude (Z) 250 m a.s.l.



- S150 = Siemenpuuhakkuu - Seed tree method, 150 m mpy - m a.s.l. (3)
 S340 = Siemenpuuhakkuu - Seed tree method, 340 m mpy - m a.s.l. (3)
 V150 = Viljely - Sowing or planting, 150 m mpy - m a.s.l. (15)
 V340 = Viljely - Sowing or planting, 340 m mpy - m a.s.l. (15).

Kuva 19. Taimikon iän ja maaston korkeuden vaikutus kasvatuskel-poisten taimien määrään männyn siemenpuuhakkuun ja männyn istutuksen inventointiaineistoista laadituissa uudistamistuloksen regressiomalleissa. Mallin numero sulkeissa.

Figure 19. Effect of stand age and altitude on the number of seedlings to be retained until first thinning in the regeneration results models for surveys. Number of model in parentheses.

7 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksissa on saatu viitteitä maaston korkeuden ja eri suuntaisten rinteiden sekä muiden maaston muotojen vaikutuksesta kasvupaikan uudistamisoloihin ja puuntuotoskykyyn. Maaston korkeutta ja topografiaa on käytetty korkeiden alueiden rajausperusteina, vaikka niiden vaikutuksia kasvupaikan ekologisiin ja metsänhoidollisiin tekijöihin ei tunneta riittävän hyvin. Tutkimuksissa ei ole ainakaan vielä löydetty sellaista ekologista tekijää tai tekijöiden yhdistelmää, jonka avulla korkeat alueet voitaisiin yksiselitteisesti erottaa muista alueista. Korkeiden alueiden ekologiaa ei ole tutkittu kovin perusteellisesti. Maaston korkeus on vain yksi tekijä, jonka vaikutuksen suunta ja suuruus on yhteydessä kasvupaikan muihin ominaisuuksiin. Ekologiset ja biologiset näkökohdat eivät yksin riitä korkeiden alueiden metsätalouden ja uudistamisen suunnitteluperusteiksi. Puunkasvatuksen taloudellisuuteen vaikuttavat korkeilla alueilla ratkaisevasti kasvupaikan puuntuotoskyky ja käytettävissä oleviin uudistamismenetelmiin liittyvät kustannukset. Puunkasvatuksen tuottoja on myös verrattava muista käyttömuodoista saataviin hyötyihin. Korkeiden alueiden ankara ilmasto on uudistamisvaikeuksien yksi tärkeimmistä syistä. Sen keskeisiä ominaisuuksia ovat kylmyys, kosteus, tasaisuus, lumisuus ja tykkyisyys.

Luonnontilaisten puustojen tilavuus, kasvu ja arvokasvu pienenevät maaston korkeuden lisääntyessä. Gradientit eivät ole lineaarisia, vaan puuston määrä vähenee aluksi lievästi ja jyrkemmin vasta lähempänä metsänrajaa. Ilmaston kylmyyden lisäksi korkealla sijaitsevan metsikön puuntuotoksen vaikuttavat ainakin maan ominaisuudet, lumisuus, tykkyisyys sekä puuston laatu ja käsittely. Korkeiden alueiden hoidettujen metsien kasvu- ja tuotostutkimukset ovat vielä tekemättä.

Kuusen ja kuusimetsien yleisyys korkeilla alueilla johtuu ilmeisesti kuusen lumituhokestävyydestä ja männyn uudistamisvaikeuksista. Kuusimetsien uudistamisessa suositettiin 1960-luvulta alkaen männyn viljelyä, koska mänty kasvaa Lapissa käytännöllisesti katsoen kaikilla kasvupaikoilla kuusta nopeammin (Ilvessalo 1937). Puulajien kasvusuhteita korkeiden alueiden viljelymetsissä ei ole selvitetty.

Korkeille alueille ominaiseksi mainitun eri-

ikäis- tai erikokoisrakenteisen metsän esiintymisestä, rakenteesta, kasvatusmenetelmistä ja tuotoksesta on olemassa vain hajanaisia tutkimustuloksia lähinnä luonnontilaisista paksusammalkuusikoista. Luonnonpoistumaa suuremmat poimintahakkuut johtaisivat paksusammalkuusikoissa hitaan uudistumisen ja kasvun takia puuston asteittaisen vähenemiseen. Harvoin toistuvat poimintahakkuut voivat kuitenkin olla taloudellisesti kannattavia etenkin männiköissä sellaisilla alueilla, joilla ei tarvitse huolehtia metsän uudistamisesta.

Maaston korkeuden aiheuttamaan ilmastogradienttiin liittyy uudistamisen kannalta hyviä ja huonoja puolia. Hyväkuntoisten puustojen keskimääräinen siementuotto on korkeallakin alueilla riittävän suuri luontaista uudistamista varten, mutta itämiskykyisen siemenen vuotuinen määrä vaihtelee voimakkaasti. Lämpimiin kasvukausiin liittyvien runsaiden siemenvuosi- en osuus on taimettumisessa suuri. Vajaasti tuleentunutta mutta edullisissa oloissa itävää siementä muodostuu kuitenkin useimpina kesinä korkeallakin, koska puuyksilöiden ja puun latvuksen osien välinen siementuotoksen vaihtelu on suuri. Korkeilla alueilla joudutaan tavallista useammin käyttämään huonokuntoisia tai ylikäisiä siementäviä puustoja. Niiden siementuottoa olisi syytä selvittää tarkemmin. Korkeilla alueilla saadaan harvoin niin hyvin tuleentunut ja runsas siemensato, että viljelysiemenen keräys kannattaa.

Maanpinnan kylmyys hidastaa siemenien itämistä ja taimien alkukehitystä. Kylmyyden haittoja voidaan pienentää kylvösuojalla. Osa vajaasti tuleentuneista siemenistä voi säilyä itämättä muutamia vuosia ja itää lämpimänä kesänä, mikä voi lisätä taimettumismahdollisuuksia merkittävästi ainakin metsänrajalla. Kuivuudesta aiheutuvat pienten taimien tuhot ovat korkeiden alueiden kuivilla kasvupaikoilla tavallista harvinaisempia, koska kasvupaikan lämpö- ja kosteusolot ovat tasaisemmat kuin alempana.

Maanpinnan käsittely edistää taimettumista, eikä sitä voida laiminlyödä etenkin kuusikoissa. Poikkeuksia ovat karut kasvupaikat, joilla on jo runsaasti taimia ennen uudistushakkuuta. Muokattu maa pysyy korkeilla alueilla tavallista kauemmin hyvässä taimettumiskunnossa, koska pintakasvillisuus kehittyy hitaasti. Paljastettu

hienojakoinen maa voi kuitenkin routia voimakkaasti, ja kuohkea maa saattaa kuivua liikaa.

Pohjois-Suomen männiköissä yleisten alikasvosten metsittämisarvo vaihtelee huomattavasti, koska taimikoiden tilajärjestys on epätasainen. Männyn taimien kehittymistä vapauttamisen jälkeen olisi syytä selvittää tarkemmin.

Taimet kasvavat korkeilla alueilla hitaasti ja ovat tavallista alttiimpia joutumaan erilaisten tuhojen uhreiksi. Tiiviille maille ominaiset ongelmat, kuten maan kylmyys, kosteus ja hapttomuus, korostuvat korkealla. Voimaperäisen muokkauksen on todettu parantaneen hienojakoisen maaperän fysikaalisia ominaisuuksia ja edistäneen taimien alkukehitystä ratkaisevasti varsinkin viileissä oloissa. Tutkimukset jäivät tavallaan kesken, eikä muokkauksen pitkäaikaisvaikutuksia maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin ole selvitetty riittävästi. Muokkaus saattaa johtaa maan epäedullisiin kemiallisiin ja biologisiin reaktioihin tietyn tyyppisillä mailla. Vielä keskeneräiset tutkimukset eivät kuitenkaan ole osoittaneet ilmiön yhteyttä taimien kuolleisuuteen.

Männyn versosurmatuhot yleistyvät maaston korkeuden lisääntyessä. Kylmät kasvukaudet ja versojen pakkaskuivuminen altistavat taimia sienen tuhoille. Myös männyn lumikaristetuhot ovat korkeilla alueilla yleisiä. Männyn menestymisen on epävarmaa sellaisissa maastonkohdissa tai puuston aukoissa, joihin kerääntyy tavallista enemmän lunta.

Luontainen uudistaminen oli tutkimusten mukaan onnistunut Pohjois-Suomessa hyvin ainakin 350 metrin korkeuteen asti sekä kuusen kaistalahakkuussa että männyn siemenpuuhakkuussa, etenkin jos maanpinnan taimettumiskunnosta oli huolehdittu. Hyvät taimettumisolot (tasaisempi lämpö ja kosteus, vähäinen pintakasvillisuus) olivat korvanneet korkeiden alueiden puuston pienemmän sientämiskyvyn vaikutusta. Havaintoja ei kuitenkaan ollut riittävästi korkeimmilta alueilta (> 350 m mpy), joilla vaikeuksia voi olettaa esiintyvän enemmän. Riittävään taimettumiseen oli kulunut aikaa keskimäärin 10–15 vuotta. Kaistalemenetelmän käytökelpoisuutta vähentävät usein reunametsien vanhuus, huono kunto ja alttius myrskytuhoille sekä välikaistojen uudistamisen ongelmat.

Koivun luontainen taimettuminen onnistunee korkeilla alueilla vaivatta, sillä hieskoivua oli syntynyt muokatuille aloille runsaasti kaukana reunametsästäkin. Poro- ja jänistuhot saattavat kuitenkin olla vakavia.

Männyn viljely oli tarkasteltujen tutkimusten mukaan onnistunut Pohjois-Suomessa keskimäärin varsin huonosti. Oulun läänin korkeiden alueiden kuusikoiden hienojakoisilla mailla oli saatu erityisen huonoja tuloksia. Istutetuista ja kylvetyistä männystä oli 10 vuoden kuluttua elossa enää keskimäärin noin 35 %. Männyn istutuksen tulokset olivat keskimäärin hieman parempia Lapin läänissä, joskin aineistoissa oli vähemmän korkeita alueita. Istutustaimista oli elossa keskimäärin 60–40 % 7–15 vuoden kuluttua viljelystä. Kylvötulokset olivat etenkin hienojakoisilla mailla huonompia.

Kuusen viljely oli onnistunut korkeilla alueilla paremmin kuin männyn viljely, jos vanhimpia, epämääräisiä kuusen viljelyjä ei oteta lukuun. Kuusista oli elossa keskimäärin 60–75 % noin 10 vuoden kuluttua viljelystä. Lehtikuusen keskimääräinen elossaoloprosentti sijoittui männyn ja kuusen välille (50–70). Lehtikuusi pysyi elossa selvästi paremmin kuin mänty erityisesti kylmissä oloissa.

Muiden puulajien kuin männyn, kuusen ja lehtikuusen viljelystä on korkeiden alueiden osalta saatu vain hajanaista tutkimustietoa. Rauduskoivua sisältyi Lapin Runkotutkimus 1 -aineistoon. Sen viljely ei voi olla merkittävällä sijalla korkeilla alueilla.

Pohjois-Suomen viljelytaimien runsaan kuolleisuuden yhteyttä kasvupaikkojen ekologisiin ja taimien fysiologisiin tekijöihin ei ole selvitetty riittävän perusteellisesti. Korkeiden alueiden metsänviljelyn ongelmia ei voi ratkaista ilman riittäviä perustietoja. Metsänviljelyllä pyritään nopeaan uudistamiseen ja optimaaliseen tiheyteen tuottavimilla puulajeilla. Viljelyllä saatava hyöty on korkeilla alueilla tavallista pienempi. Uudistetun metsän tuotos jää joka tapauksessa verrattain pieneksi (Kotisaari 1981). Siemenpula rajoittaa viljelymahdollisuuksia. Luontaiset taimet muodostavat yleensä kasvatettavan taimikon pääosan. Korkeilla alueilla voidaan tyytyä vaatimattomampiin uudistamistuloksiin esimerkiksi taimikon tiheyden ja havupuiden osuuden osalta.

Tähänastisten tutkimustulosten perusteella ei ole voitu tyhjentävästi selvittää, miten maaston korkeus vaikuttaa eri uudistamismenetelmillä saataviin tuloksiin ja niiden keskinäiseen edullisuusjärjestykseen korkeilla alueilla. Maaston korkeuden tai lämpösunnan vaikutusta männyn uudistamistulokseen oli tarkasteltu muutamissa tutkimuksissa lähinnä korrelaatio- ja regressioanalyysin avulla. Muita puulajeja ei ollut käsitelty. Maaston korkeus vaikutti männyn vil-

kaistalehakkuumenetelmää. Luontainen uudistaminen oli onnistunut männiköissä hyvin ainakin 350 metrin ja kuusikoissa noin 300 metrin korkeudelle saakka noin 10–15 vuoden taimetumisajalla. Maaston korkeus ja kasvupaikan keskimääräinen lämpösoma eivät vaikuttaneet uudistamistuloksiin. Korkeilla ja pohjoisilla alueilla oli kuusikoissa jopa keskimääräistä enemmän taimia. Ilmiölle ei pystytty löytämään varmaa selitystä aineiston rakenteesta.

Luontaisen uudistamisen onnistuminen riippui tutkimusalueen verrattain kylmässä ilmastossa lämpimien jaksojen esiintymisestä. Viiden kasvukauden pituisen jakson keskimääräinen lämpösoma verrattuna 30 vuoden jakson keskiarvoon selitti malleissa taimien määrää erittäin merkittävästi. Päätelmät taimettumisnopeudesta jäivät epävarmalle pohjalle etenkin kuusikoiden osalta, koska kasvukaudet olivat olleet uudistamisjakson alussa selvästi lämpimämpiä kuin sen lopussa.

Männyn kylvö oli onnistunut kenttäkokeissa selvästi huonommin kuin istutus, mutta inventointiaineistossa kylvö- ja istutusalojen keskimääräisissä taimimäärissä ei ollut eroa. Viljelytaimet olivat pysyneet korkeilla alueilla keskimääräistä huonommin elossa ja taimikoiden keskipituus oli kehittynyt hitaasti. Maaston korkeus ei ollut kuitenkaan ainoa syy tähän, sillä korkeat alueet sijaitsivat keskimääräistä useammin alueen pohjois- ja itäosassa. Suuri lämpösoma lisäsi taimien elossaoloa ja nopeutti kenttäkoeaineistossa pituuskehitystä. Inventointiaineistossa havaittiin, että korkeilla alueilla oli syntynyt suhteellisen runsaasti täydentäviä luonnontaimia, jotka täydensivät taimikot niin, että korkealla sijainneissa taimikoissa oli keskimäärin lähes yhtä paljon kasvatuskelpoisia taimia kuin alempana sijainneissa.

Lämpösoma ja maaston korkeus eivät vaikuttaneet lehtikuusen ja kuusen viljelytaimien elossaolon. Suuri osa korkeimmista alueista sijaitsi tutkimusalueen eteläosassa, kun tutkimusalueella maaston korkeus lisääntyy yleensä pohjoiseen päin. Kun tämä otettiin analyysissä huomioon, maaston korkeuden havaittiin pienentäneen kuusen taimien elossaoloprosenttia. Suuri lämpösoma oli nopeuttanut lehtikuusen taimien pituuskehitystä. Kuusella tätä ei ollut tapahtunut. Kuusen taimet olivat ilmeisesti vielä nuoruuden juomisvaiheessa, jolloin ne kasvoivat hitaasti vaikka ympäristöolot olisivat olleet suotuisat. Taimikon iän ja taimitunnusten välisen riippuvuuden muotoon on suhtauduttava varauksellisesti kuusen ja lehtikuusen malleissa, kos-

ka iän vaihteluväli oli käytännössä vain 6–10 kasvukautta.

Maaston korkeus vaikutti tässä tutkimuksessa männyn taimien elossaoloon vähemmän kuin aiemmissa tutkimuksissa. Aiemmissä tutkimuksissa ei ollut käytetty muita selittäviä muuttujia kuin maaston korkeus, ja niiden aineistoihin sisältyi muuta kuin korkeudesta aiheutuvaa vaihtelua tätä tutkimusta vähemmän. Niiden aineistot ulottuivat yhtä korkealle tai korkeammalle kuin tämän tutkimuksen aineistot. Maaston korkeuden vaikutus taimien keskipituuteen oli tämän tutkimuksen kenttäkoeaineistossa hieman suurempi kuin aiemmissa tutkimuksissa, mutta inventointiaineistossa samaa luokkaa eli hyvin pieni.

Muun muassa Norokorpi (1979), Valtanen (1981, 1986, 1988) ja Jalkanen (1989) pitivät kuusta luotettavampana korkeiden alueiden viljelyssä kuin mäntyä, samoin kuin Remröd & Strömberg (1974) Ruotsissa. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat aiempia päätelmiä. Kuuset olivat pysyneet selvästi paremmin elossa kuin männyn, eikä kuusen viljelytuloksissa havaittu olleen negatiivista korkeusgradienttia. Kuuset kasvavat ainakin alussa mäntyä hitaammin, mutta tästä aiheutuva kasvutappio jää korkeilla alueilla pienemmäksi kuin nopeammin kasvavissa metsissä. Saadut tulokset viittaavat myös luontaisen uudistamisen soveltuvan hyvin korkeiden alueiden uudistamiseen, kuten esim. Valtanen (1981, 1986) on esittänyt.

Tutkimuksessa sovelletulla lähestymistavalla on vaikea saada luotettavaa tietoa uudistamistuloksiin vaikuttavista tekijöistä. Taimikoiden keskimääräisten tunnusten tilastollinen käsittely ei paljasta kovin paljoa niistä prosesseista, jotka vaikuttavat luonnontaimien syntymiseen ja viljelytaimien eloonjäämiseen sekä taimien kasvuun. Taimitunnusten taimikoiden sisäistä vaihtelua ja siihen vaikuttaneita tekijöitä ei voitu tutkia lainkaan. Sijainti-, kasvupaikka- ja käsittelymuuttujat selittivät tutkimuksessa vain harvoin yli puolet taimitunnusten vaihtelusta. Selittämättömän vaihtelun osuus jäi suureksi myös Olssonin (1982) metsänviljelytuloksia koskeneessa tutkimuksessa Pohjois-Ruotsissa. Taimien elossaoloa selittäneiden alueittaisten regressiomallien selitysaste (R^2) vaihteli välillä 0,18–0,31, kun selittäjinä käytettiin mm. maaston korkeutta, maaperämuuttujia, käsittelymuuttujia, taimikon ikää sekä taimikon säteilytasetta.

Luotettavana pidettävää todistusta nollahypoteesia (H_0 : maaston korkeus ei vaikuta uudistamistulokseen) vastaan saatiin ainoastaan män-

nyn viljelyssä osittaiskorrelaatioanalyysin ja regressioanalyysin perusteella. Muiden puulajien viljelyssä analyysitulokset olivat niin epävarmoja ja maaston korkeuden vaikutus niin pieni, että nollahypoteesi jäi voimaan. Luontaisessa uudistamisessa korkeus ja lämpösusma eivät vaikuttaneet taimitunnuksiin merkitsevästi.

Analyysiaineistojen yksi suurimmista heikkouksista oli puute havainnoista korkeimmilla alueilla. Korkeimmalla sijainneet havainnot olivat eri aineistoissa peräisin ainoastaan 320–365 metrin korkeudelta. Maaston korkeuden vaikutuksen täytyy väistämättä vaikuttaa metsänuudistamistuloksiin erittäin voimakkaasti lähestytessä metsän- ja puurajaa (Paasonen 1980, Leskinen 1983, Kemppe 1989, Sirén 1991). Oletusta maaston korkeuden ja taimitunnusten välisen riippuvuuden epälineaarisesta muodosta ei voitu tutkia riittävän hyvin.

Nyt laadittuja malleja ei voi pitää Lapin metsien tai korkeiden alueiden metsänuudistamistulosten simulointimalleina, joiden avulla voitaisiin vertailla luotettavasti eri uudistamismenetelmien kannattavuutta erilaisilla kasvupaikoilla. Aineistoon sisältyvän tuntemattoman vaihtelun osuus jäi suureksi, minkä takia ennusteet voivat kuvata vain suuren havaintojoukon odotusarvoa. Selittävien muuttujien vaihteluväli ei kattanut yleisiin simulointeihin tarvittavaa käyttöaluetta. Mallien rakenne on liian yksinkertainen simulointeja varten: useimpien selittäjien vaikutus on malleissa lineaarinen tai vakio, jolloin niiden yhteisvaikutus saattaa johtaa epäloogisiin estimaatteihin. Täydennysviljelyn vaikutusta taimikon kehitykseen ei voi ennustaa nyt laadituilla malleilla.

Kirjallisuus – References

1 Luokitellut tutkimukset ja aineistot – Studies and experiments described in detail

- 1 Aaltonen, V. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa, I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im finnischen Lappland. Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja 1. 319 s.

Tarkoitus: Luontaisen uudistamisen edellytykset ja metsiköiden taimettuneisuus Lapissa.

Huomautus: Luontainen taimettuneisuus ilman aktiivista uudistamista. Kuivahkot ja sitä karummat kankaat. Aineisto painottui Itä- ja Keski-Lappiin.

- 2 Eurola, S. & Kaakinen, E. 1982. The influence of an upland climate on the vegetation in the province of Kainuu, Eastern Finland. *Aquilo Seria Botanica* 18: 10–15.

Tarkoitus: Kasvipeitteen ja ilmaston merksyyden lisääntymisen välinen yhteys korkeilla alueilla Kainuussa.

- 3 Etholén, K. 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Summary: The success of artificial regeneration of Scots pine in Northern Finland and origin of seed. *Folia Forestalia* 160. 27 s.

Tarkoitus: Männyn viljelytulokset ja siemensiirron vaikutus niihin.

Huomautukset: Perustamisvuodet 1956–64; aineisto yksityismailla ja METLA:n mailla. Sodankylän pohjoispuolelta vain vähän aineistoa.

- 4 Ferm, A. & Sepponen, P. 1981. Aurasjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. *Folia Forestalia* 493. 19 s.

Tarkoitus: Muokkausjäljen tasoittumisaste ja kasvipeitteen peittävyys 10 vuoden kuluftua aurauksesta. Yhteys: 13,44,60.

- 5 Hagman, M. 1991. Experiences with Larix species in northern Finland. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland, August 16–22, 1987. Käsikirjoitus.

Tarkoitus: Lehtikuusen provenienssit ja niiden menestyminen Lapissa.

Huomautus: Oikeita alkuperiä ei tunnettu, taimet Lapissa kasvaneiden lehtikuusien jälkeläisiä.

- 6 Hassinen, K. 1982. Kuusikoiden kaistalehakkuaalojen taimettuminen Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 64 s.

Tarkoitus: Vuosina 1968–78 viljeltyjen männyn ja kuusen taimikoiden kehitys ja luontainen taimettu-

- minen auratuilla kuusikoiden kaistalahakkuualueilla. Huomautukset: Kasvatuskelpoisten luontaisten taimien määrä mitattu vain viljelytaimikoiden täyden-täjinä.
- 7 Haverinen, R. 1982. Kymmenen vuotta vanhojen viljelytaimikoiden menestyminen Ristijärven pitäjässä. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 79 s.
Tarkoitus: Taimikoiden kunto sekä maaston korkeuden, maalajin, humuksen paksuuden ja rinteen suunnan vaikutus taimikoiden kehitykseen.
 - 8 Heikinheimo, O. 1920a. Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. Referat: Die Schneeschadensgebiete in Finland und ihre Wälder. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 3(3). 134 s.
Tarkoitus: Lumituhon esiintyminen ja niiden syyt ja seuraukset Suomen metsissä.
 - 9 — 1920b. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nord-Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 3(2). 170 s.
Tarkoitus: Pohjois-Suomen kuusimetsien kartoitus, puustojen analyysi ja kasvupaikkojen ominaisuudet.
 - 10 — 1921. Suomen metsänrajametsät ja niiden vastainen käyttö. Referat: Die Waldgränzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 4. 71 s.
Tarkoitus: Metsänrajan dynamiikan ja metsänrajametsien käytön perusteiden tarkastelu.
Huomautus: Aikaisemmin kerättyjen aineistojen tarkastelu. Siemenen määrän ja itävyyden tarkastelu itävyysskokeessa.
 - 11 — 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 5(2). 123 s.
Tarkoitus: Kuusimetsän esiintyminen, uudistuminen ja kehitys sekä käsittelymenetelmät Pohjois-Suomessa.
 - 12 Heikkilä, R. 1977. Eläimet kylvetyn männyn ja kuusen siemenen tuhoajina pohjois-Suomessa. Summary: Destruction caused by animals to sown pine and spruce seed in North Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 89(5). 35 s.
Tarkoitus: Eläinten aiheuttamat siementuhot eri vuosina ja kasvukauden aikoina Pohjois-Suomessa.
Huomautukset: Tutkimus koski vain kylvösiementä. Syödyt siemenet täydennettiin säännöllisesti. Tutkimus koski vain Etelä-Lappia ja Pohjois-Pohjanmaata.
 - 13 — 1981. Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa. Summary: Damage in Scots pine plantations in Northern Finland. Folia Forestalia 497. 22 s.
Tarkoitus: Männyn istutustaimikoissa esiintyneiden tuhojen inventointi.
Huomautus: "Metsänviljelyn runkotutkimus 1"-koesarjan aineisto ja lisäksi auraamattomia aloja.
Yhteys: 44,60,58.
 - 14 Henttonen, H., Kanninen, M., Nygren, M. & Ojan-suu, R. 1986. The maturation of *Pinus sylvestris* seeds in relation to temperature climate in Northern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 1: 243–249.
Tarkoitus: Männyn tuleentuneen siemensadon saamisen todennäköisyys eri osissa Pohjois-Suomaa maantieteellisten ja ilmastollisten muuttujien funktiona.
Huomautus: Kujalan (1927) tutkimuksen aineisto 1920-luvulta.
 - 15 Herttuainen, E. 1981. Männyn luontainen uudistuminen kulotetulla kankaalla Metsä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 79 s.
Tarkoitus: Kulotuksen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen kuivahkolla ja kuivalla kankaalla suojametsäalueen korkealla alueella.
Huomautus: Taimimäärämuutujista mitattu vain taimien ja taimiaineksen kokonaismäärä ilman kokorajoitusta.
 - 16 Kauppi, A. & Lähde, E. 1974. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On effects of soil treatment on forest soil properties in North-Finland. Folia Forestalia 230. 29 s.
Tarkoitus: Selvittää alustavasti, miten maan käsittely vaikuttaa maan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa.
Huomautus: Vain yksi koekenttä ja yksi seuranta-vuosi.
 - 17 Kellomäki, S. 1972. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudustusalueilla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 8. 56 s.
Tarkoitus: Tutkia kuinka suuri osuus pintakasvillisuudesta tuhoutuu aurauksessa ja kunka nopeasti se peittää vaon uudestaan, sekä reliefin muuttuminen.
 - 18 Kemppe, E. 1989. Kuusen luontainen uudistuminen metsänraja-alueilla. Metsänhoitotieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 79 s.
Tarkoitus: Kuusen luontainen uudistuminen alpiinisella metsä- ja puurajalla ja siihen vaikuttavat tekijät.
Huomautus: Uudistuminen luonnontilassa ilman uudistamistoimenpiteitä.
 - 19 Kinnunen, K., Lind, J. & Lähde, E. 1974. Eri ajan-kohtina istutettujen männyn kennonaimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. Summary: Initial development of Scots pine paper pot seedlings planted on different dates in northern Finland. Folia Forestalia 212. 27 s.
Tarkoitus: Kennonaimien alkukehitys ja mahdollisuudet viljelyajan pidentämiseen.
Huomautus: Vain 1–3 ensimmäistä kasvukautta, vain yksi koekenttä.
 - 20 Koski, V. & Tallqvist, R. 1978. Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon mittauksista metsäpuilla. Summary: Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. Folia Forestalia 364. 60 s.
Tarkoitus: Kukkimisen ja siemensadon pitkäaikainen seuranta koko maassa useilla puulajeilla.
Yhteys: 77.
 - 21 Kubin, E. 1981. Luonnontilaisen vanhan HMT-kuusikon rakenteesta ja ekologiasta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 24: 1–10.

- Tarkoitus: HMT-kuusikon puuston, kasvillisuuden ja maaperän ominaisuudet.
Huomautukset: Ei aktiivisia uudistamistoimenpiteitä, vain yksi koemetsikkö.
- 22 — 1986. Puulajien vertailukoheet Koillismaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 255. 17 s.
Tarkoitus: Puulajien menestyminen ja alkukehitys Koillismaalla.
Huomautus: Yksi kokeista kestänyt vasta yhden kasvukauden, muut 7–14 kasvukautta.
- 23 Lakari, O. 1915. Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden. Acta Forestalia Fennica 5. 211 s.
Tarkoitus: Siemenvuosien toistuminen Pohjois-Suomen kuivilla ja kuivahkoilla kankailla.
Huomautus: Taimien syntymisvuodet määritetty lustoja laskemalla.
- 24 Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Referat: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise. Acta Forestalia Fennica 14. 95 s.
Tarkoitus: Männiköiden siemensadot ja siemenen laatu, taimettuminen ja metsittyminen, taimikoiden tuhot ja suositeltavat hakkuutavat.
- 25 Lehto, J. 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(4). 140 s.
Tarkoitus: Siemen- ja suojuspuumenetelmän käytömahdollisuudet Pohjois-Suomen kankailla: missä ja miten menetelmää on käytetty sekä saavutetut tulokset.
- 26 Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(2). 69 s.
Tarkoitus: Maan lämpötilan pitkäaikaisten mittaus-ten tulokset.
Huomautus: Jakso tavallista lämpimämpi (1970–73).
- 27 Leskinen, J. 1983. Topografian ja puuston rakenteen vaikutus männyn luontaiseen uudistamiseen metsänrajalla. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 80 s.
Tarkoitus: Tutkia maaston korkeuden, rinteiden suunnan ja kaltevuuden sekä puuston rakenteen vaikutusta männyn luontaiseen uudistamiseen metsänrajalla.
- 28 Lähde, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(3): 1–23.
Tarkoitus: Taimien kunnan ja maan hienojen lajitteiden osuuden välinen yhteys männyn taimikoissa Pohjois-Suomessa.
Huomautus: Kasvupaikkatyypit, ikä, sijainti tuntematon. Ei maanpinnan käsittelyä.
- 29 — 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 94(5). 59 s.
Tarkoitus: Maan käsittelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja havupuun taimien kehitykseen erilaisilla kasvupaikoilla Pohjois-Suomessa.
Yhteys: 33,26.
- 30 — 1979. Männyn, kuusen ja lehtikuusen suoja- ja avokylvö aurauksen pientareessa ja palteessa. Summary: Shelter and open sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch on the shoulder and tilt of ploughing. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 97(4). 45 s.
Tarkoitus: Suojakylvön vertailu avokylvöön tuoreen kankaan aurauksen jäljen pienmuodoissa.
- 31 —, Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(7). 43 s.
Tarkoitus: Selvittää, miten ojitus yhdessä erilaisen maan käsittelyn kanssa vaikuttaa veden vaivaaman paksusammaltypin maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden istutustaimien kehitykseen.
Huomautus: Vain yksi koekenttä.
Yhteys: 35.
- 32 — & Mutka, K. 1974. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen kuusentaimien kehitys ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of root system and development of volunteer and planted Norway spruce transplants in Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 83(3). 83 s.
Tarkoitus: Luontaisten ja istutettujen kuusen juuriston rakenne, maan ominaisuuksien vaikutus juuriston ja verson kehitykseen.
Huomautus: Taimikoiden sijainti, korkeus, kasvupaikkatyyppi ja ikä tuntemattomia.
- 33 — & Pohjola, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimuskeskuksen tiedonantoja 8. 11 s.
Tarkoitus: Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja havupuun taimien kehitykseen erilaisilla kasvupaikoilla Pohjois-Suomessa.
Yhteys: 29,26.
- 34 — & Siltanen, S. 1973. Männyn taimien kunto ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of the root system and the condition of the pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 78(8). 31 s.
Tarkoitus: Viljeltyjen ja luontaisten männyn taimien juuriston rakenne, maan ominaisuuksien vaikutus juuriston rakenteeseen ja juuriston rakenteen ja verson kasvun ja kunnan välinen yhteys.
- 35 Manninen, S. & Lähde, E. 1981. Paksusammalkuusikon uudistamisvaihtoehtoja ja luettelo paksusammalkuusikoita käsittelevistä julkaisuista. Metsäntut-

- kimuslaitoksen tiedonantoja 23. 32 s.
Tarkoitus: Maanmuokkauksen ja taimilajin vaikutus taimien kehitykseen ojitetulla HMT: llä, kuusen ja hieskoivun taimiaineksen synty ja alkukehitys. Kirjallisuusluettelo HMT: tä koskevista tutkimuksista. Yhteys: 31.
- 36 Mikkilä, A. 1984. Havaintoja reunametsän vaikutuksesta auratun uudistusalan taimettumiseen sekä taimien ja pintakasvillisuuden kehitykseen Lapissa. Metsänhoitotieteen pro gradu-työ. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 84 s.
Tarkoitus: Reunametsän vaikutus uudistusalan luontaiseen taimettumiseen sekä taimien ja pintakasvillisuuden kehitykseen kuusivaltaisissa metsissä.
- 37 Mikola, P. 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudilla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timberline region of Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(2). 35 s.
Tarkoitus: Havumetsien kehitys metsänrajaseudulla; aiempien tutkimustulosten revisio suotuisan ilmastojakson takia.
- 38 — 1959. Metsänviljelyn mahdollisuuksista pohjoisella metsänrajalla. Metsätaloudellinen aikakauslehti 11: 374–379.
Tarkoitus: Tarkastella mahdollisuuksia siirtää metsänraja alkuperäiseen asemaansa metsänviljelyllä.
- 39 Moilanen, H. 1986. Kevään 1974 männyn viljelyalojen tila v. 1984 Taivalkoskella. Metsänhoitotieteen pro gradu-työ. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 81 s.
Tarkoitus: Männyn viljelyn onnistuminen Taivalkoskella ja taimikoiden tila 10 vuoden kuluttua.
- 40 Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Scloste: Maan käsittely, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(3). 57 s.
Tarkoitus: Maankäsittely, kalkituksen ja lannoituksen vaikutus männyn taimien alkukehitykseen Pohjois-Suomessa.
- 41 Mäkitalo, K. 1983. Männyn viljelytaimien menestyminen eri tavoin käsitellyllä paksusammaltyypin maalla Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 87 s.
Tarkoitus: Selvittää maankäsittelyn vaikutusta männyn istutus- ja kylvötaimien menestymiseen paksusammaltyypin maalla.
Yhteys: Sama koe kuin Mäkitalo 1987 (n:o 42). Tässä viljelytulokset, siinä luontaiset.
- 42 — 1987. Kuusen luontaisesta uudistumisesta korkealla paksusammaltyypin maalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 32–46.
Tarkoitus: Kuusen luontainen uudistuminen eri tavoin käsitellyllä maalla korkean alueen HMT-kuusikon kaistalehakkuaaloilla.
Yhteys: 41.
- 43 — 1990. Maankäsittely- ja viljelymenetelmän vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 362: 109–120.
Tarkoitus: Maankäsittely- ja viljelymenetelmän vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen. "Metsänviljelyn runkotutkimus 2"-koesarjan Tulokset 10 ja 13 kasvukauden kuluttua viljelystä.
Yhteys: 61.
- 44 Nevala, S. 1980. Lehtikuusen menestyminen Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 41 s.
Tarkoitus: Lehtikuusen viljelytulokset Lapissa mänttyyn verrattuna. Varttuneiden lehtikuusikoiden kasvu ja tuotos.
Yhteys: 13,60,58.
- 45 Norokorpi, Y. 1972. Nuorten kuusen taimistojen nykyisestä tilasta ja kehityksestä Perä-Pohjolan valtionmailla. Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusosaston tiedonantoja 3: 16–29.
Tarkoitus: Kuusen viljelytulokset Lapissa 1956–67. Huomautus: Vain valtion maat. Kasvupaikkojen ominaisuuksia ja viljelyalojen maantieteellistä sijaintia samoin kuin korkeutta ei kuvattu raportissa.
- 46 — 1979. Peräpohjolan vanhojen kuusikoiden alikasvos. Metsänhoitotieteen sivulaudaturtuokielmä. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 88 s.
Tarkoitus: Yli-ikäisten kuusikoiden alikasvoksen tiheys ja kehityskelpoisuus ja eräiden tekijöiden vaikutus siihen.
Huomautus: Luonnontilaisia metsiä, ei aktiivista uudistamista. Koealueiden korkeuksia ei ilmoitettu.
- 47 — & Kärkkäinen, S. 1985. Maaston korkeuden vaikutus puosto- ja kasvupaikatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. Summary: The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snowload damages in Kuusamo in northern Finland. Folia Forestalia 632. 26 s.
Tarkoitus: Puustotunnusten ja topografian välisten suhteiden selvittäminen Kuusamossa.
- 48 Numminen, E. 1973. Auras-, lannoitus- ja puulajikoe Sodankylän Vaalolehdossa. Metsäntutkimuslaitoksen Kolarin tutkimusosaston tiedonantoja 3: 1–21.
Tarkoitus: Taimien kuolemisen ja mahdollisten maaperän ravinnepuutosten tai maan fysikaalisten ominaisuuksien välinen yhteys ja kalkituksen vaikutus ilmiöön.
Huomautus: Ruotsalainen alkuperä. Taimien ikä 3 kasvukautta.
- 49 — 1974. Rinteen ja latvuksen ilmansuunnan vaikutus männyn siemenen tuleentumiseen ja siemensadon määrään Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen Kolarin tutkimusosaston tiedonantoja 6. 9 s.
Tarkoitus: Tutkia, tuleentuu ko männyn siemen paremmin maaston suhteellisesti lämpimämissä kohdissa (etelä- ja lounaisrinteet, metsikön eteläreunat) tai latvuksen eteläosilla.
Huomautus: Tutkimusmetsiköiden sijainti: Pello, Rovaniemi, Pudasjärvi.
- 50 Oikarinen, M. & Norokorpi, Y. 1986. Vuosina 1956–65 viljeltyjen männyntaimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 222. 46 s.
Tarkoitus: Metsänviljelyn onnistuminen, taimikoiden kasvu, rakenne, laatu ja tuhot. Kirjallisuuskausaus Pohjois-Suomen metsänviljelyjen tuloksiin.
Huomautus: Julkaisussa ei käsitelty taimien pituuksia. Epämääräinen kasvatuskelpoisuuden määritt-

- ly. Koealan koko vaihteli.
- 51 Oinonen, E. 1956. Männiköiden luontaisen uudistamisen edellytyksistä Lapin kangasmailla eräiden taimivaroja selvittävien inventointien valossa. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 73 (6-7): 225-230. Tarkoitus: Tutkia taimien määrää Lapin kankaiden siemenpuu- ja kuloaloilla ja kasvatusmänniköissä. Huomautus: Maanpinnan käsittelyä vain kylvö-vertailu-aloilla. Kuloaloilla metsäpalo. Ikä siemenpuu-aloilla 2-7 vuotta, kuloaloilla 9-31 v.
- 52 Otsamo, A. 1986. Maaston korkeuden vaikutus metsänviljelyn onnistumiseen ja taimien kehitykseen Kuusamossa. *Metsänhoitotieteen pro gradu -työ*. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tarkoitus: Metsänviljelyn onnistuminen ja siihen vaikuttaneet tekijät Kuusamon vaara-alueella; erityisesti maaston korkeuden vaikutus taimien selviytymiseen ja kuntoon.
- 53 Paasonen, V. 1980. Utsjoen männyn viljelyt vuosina 1954-1963. *Metsänhoitotieteen laudaturtyö*. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 54 s. Tarkoitus: Männyn viljelyn onnistuminen Utsjoen laaksossa ja viljelytavan, siemenalkuperän, maaston korkeuden ja topografian vaikutus siihen.
- 54 Pelkonen, H., Tuomi, P. & Valtanen, J. 1982. Männyn viljelytaimikoiden kunto 10 vuoden iällä Taivalkoskella. Summary: Survival of pine on reforested sites in Northern Finland. *Folia Forestalia* 51.1. 23 s. Tarkoitus: Männyn viljelyn onnistuminen Taivalkoskella.
- 55 Pohtila, E. 1972a. Tulokset Perä-Pohjolan valtionmailla vuosina 1930-45 tehdyistä kuusiviljelyistä. Summary: Result of spruce cultivation from 1930-45 on state owned lands in Perä-Pohjola. *Folia Forestalia* 156. 12 s. Tarkoitus: Perä-Pohjolan vanhimpien kuusiviljelysten tulokset. Huomautus: Epämääräiset viljelyt (täydennyksenomaiset). Ei maanpinnan käsittelyä. Itä- ja Pohjois-Lapista ei aloja. Korkeustiedot puuttuvat.
- 56 — 1972b. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa. Tulokset vuosina 1967-68 tehdyistä männyn kylvö- ja istutuskokeista. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 6. 97 s. Tarkoitus: Aurattujen alueiden viljelymenetelmien valintaperusteiden selvittäminen. Huomautus: Viljelystä kulunut vain 3-4 vuotta. Koealoja vain Sallassa. Vain auraus.
- 57 — 1974. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa II. Aurauksen ja kulotuksen vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen vuosina 1968-70 perustetussa kokeessa. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 11. 64 s. Tarkoitus: Aurattujen ja kulotettujen metsänviljelyalojen tulosten vertailu. Huomautus: Koealue vain Sallassa. 3-5 vuotta viljelystä. Vain auraus. Vuoden 69 taimien poikkeavan huono kunto. Erilaiset alkuperät vuosittain.
- 58 — 1977. Reforestation on ploughed sites in Finnish Lapland. *Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa*. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 91(4). 100 s. Tarkoitus: Tutkia tekijöitä, jotka vaikuttavat aurattujen alueiden viljelytaimikoiden alkukehitykseen Lapissa. Huomautus: Sama aineisto kuin Pohtila & Pohjola 1983 (N:o 60) lisättyinä 10 muulla kocalalla. Tulokset 4 vuoden kuluttua. Yhteys: 13,44,60.
- 59 — 1990. Metsän uudistuminen Kivalon vanhoilla kaistalehakkuaaloilla. Summary: Forest regeneration of old strip cutting areas in Kivalo, Northern Finland. *Silva Fennica* 24(1): 105-122. Tarkoitus: Uudistuminen ja siihen vaikuttaneet tekijät vanhoilla kaistalehakkuaaloilla Kivalossa. Huomautus: Ei maanmuokkausta.
- 60 — & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970-72 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970-72. *Silva Fennica* 17(3): 201-224. Tarkoitus: "Metsänviljelyn runkotutkimus 1" -koesarjan tulokset 10 kasvukauden jälkeen. Runkotutkimuksen tavoite: Käytännön metsänviljelymenetelmien tulosten vertailu. Huomautus: Männyn siemenalkuperä osassa Arvidsjaur, Ruotsi, lehtikuusen Raivola, muut puulajit Suomen Lapista. Yhteys: 13,44,58.
- 61 — & Pohjola, T. 1985. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa. Summary: Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. *Silva Fennica* 19(3): 245-270. Tarkoitus: Männyn viljelytuloksen riippuvuus maanpinnan käsittelystä ja viljelytavasta. Hajakylvö erityiskysymyksenä. "Metsänviljelyn runkotutkimus 2" -koesarjan tulokset 6 kasvukauden kuluttua viljelystä. Yhteys: 43.
- 62 — & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 453. 18 s. Tarkoitus: Suojametsäalueen viljelyjen laajuus, viljelytulokset ja taimikoiden alkukehitys.
- 63 — & Valkonen, S. 1985. Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä. Summary: Development and condition of artificially regenerated pine and spruce stands in the privately owned forests of Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 631. 19 s. Tarkoitus: Selvittää millaisia viljelymenetelmiä alueella oli käytetty ja millaisiin tuloksiin niillä oli päästy. Huomautus: Lapin metälautakunnan alue, painotus eteläosaan viljelymäärien mukaan.
- 64 Poso, S. & Kujala, M. 1973. The effect of topography on the volume of forest growing stock. *Seloste: Topografian vaikutus puuston kuutiomäärään*. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 78(2). 26 s. Tarkoitus: Topografian vaikutus puuston tilavuuteen Lapissa. Huomautus: Vain pohjoisin Lappi (Inari, Utsjoki).

- 65 Punkkinen, E. 1982. Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen muokatuilla mailla Etelä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 76 s.
Tarkoitus: Männyn luontaisen uudistamisen tulokset siemenpuualoilla Etelä-Lapissa.
Huomautus: Lounaisosa Lappia puuttuu. Aineiston sijainti painottui Rovaniemi-Sodankylä -välille. Suoheimo (no 87) käsittelee saman aineiston Pohjois-Lapin osalta.
- 66 Pylvänäinen, J. 1987. Veitsiluoto OY:n 1975–77 viljeltyjen taimikoiden tila. Metsänhoitotieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 59 s.
Tarkoitus: Varttuneiden männyn viljelytaimikoiden tila ja viljelyn onnistuminen sekä niihin vaikuttaneet tekijät.
Huomautus: Veitsiluoto OY: n maat. 3 viljelyvuotta 1975–77. Vain auraus.
- 67 Raulo, J. & Lähde, E. 1977. Rauduskoivun viljelytuloksia Lapissa. Summary: Reforestation results with *Betula pendula* Roth. in Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 325. 10 s.
Tarkoitus: Rauduskoivun syys- ja kevätistutusten onnistuminen Lapissa. Poro- ja jänistuhojen esiintyminen.
- 68 — & Mälkönen, E. 1976. Koivun luontainen uudistuminen muokatuilla kangasmailla. Summary: Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil. *Folia Forestalia* 252. 15 s.
Tarkoitus: Maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus koivun taimien syntyyn ja kehitykseen.
Huomautus: Vain 4 kasvukautta. Pohjoisin ala Ylitiossa. Tietoja maaston korkeudesta ei esitetty.
- 69 Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. *Acta Forestalia Fennica* 1. 154 s.
Tarkoitus: Siemensatojen runsaus ja siemenvuosien esiintyminen pohjoisella metsänrajalla.
Huomautus: Taimien syntyvuodet määritetty lustoja laskemalla.
- 70 Ritari, A. 1991. Effect of site preparation on seedling performance in a *Hylocomium Myrtillus*-stand. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland August 16–22, 1987. Käsikirjoitus.
Tarkoitus: Viljelytaimien kunnon ja maaperätekkijöiden yhteys paksusammaltyypin kasvupaikalla Keski-Lapissa.
Yhteys: 71.
- 71 — & Lähde, E. 1978. Effect of soil preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalpuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(7). 37 s.
Tarkoitus: Tutkia muokkauksen vaikutusta paksusammalpuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin.
Huomautus: Viljelytuloksia ei tutkittu.
Yhteys: 70.
- 72 Roiko-Jokela, P. 1980. Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of altitude on the forest yield in northern Finland. *Folia Forestalia* 452. 21 s.
Tarkoitus: Topografian ja maaston korkeuden vaikutus metsien puustotunnuksiin ja suositeltaviin käsitteilyperiaatteisiin. Metsätalouden maan päälukokien rajuksen täsmäntäminen.
- 73 Saarenmaa, L. 1991. Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Pohjois-Suomessa. *Folia Forestalia* 762. 49 s..
Tarkoitus: Asiantuntijajärjestelmä uudistamistulosten perusteella.
Huomautus: Metsähallituksen uudistusalat. Tiedot osittain epätasällisia.
- 74 Sarvas, R. 1938. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine waldbiologische Untersuchung auf den trockenen Heideböden Nord-Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 46(1). 146 s.
Tarkoitus: Pohjois-Suomen kuivien kankaiden (EMT) ja sitä karumma) metsittyminen palon jälkeen.
- 75 — 1950. Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta. Summary: Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in Northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 38(1). 84 s.
Tarkoitus: Tutkia harsittujen metsien uudistumista Lapissa.
Huomautus: Aineisto keskittyi Ounasjoen varteen.
- 76 — 1952. Pohjois-Suomen kuivien kangasmetsien ekologiasta. Summary: On the ecology of dry mosslichen forests in northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 41(1). 27 s.
Tarkoitus: Kangasmaiden kuivuuden ja kuivien kankaiden suuren osuuden syyt ja merkitys Pohjois-Suomessa.
- 77 — 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. Seloste: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 53(4). 198 s.
Tarkoitus: Männyn kukkimisen ja siemensadon tutkimukset.
Huomautus: Koko maan käsittävä aineisto. Vain mänty. Lapissa 13 koealaa. Kukkuminen 1958–59. Siemensato 1953–58.
Yhteys: 20.
- 78 Sirén, G. 1952. Havainnot Peräpohjolan valtionmailla vuosina 1948–50 suoritetuista männyn kylvöistä. Summary: Observations on Pine sowings on state-owned lands in Peräpohjola (Far North) in 1948–50. *Silva Fennica* 78. 38 s.
Tarkoitus: Kylvöjen onnistumisen ja siihen vaikuttaneiden tekijöiden tutkiminen.
Huomautus: Tulokset 1–3 vuoden kuluttua kylvöstä. Pienet koealat. Etelä- ja Keski-Lappi
- 79 — 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. *Acta Forestalia Fennica* 62(4). 408 s.
Tarkoitus: HMT-kuusikoiden ekologia, luontainen kehitys, tuotos ja uudistaminen.
Huomautus: Ei uudistamiskokeita.

- 80 — 1991b. Reforestation experiments at the pine timberline in northernmost Finland. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland August 16–22, 1987. Käsikirjoitus.
Tarkoitus: Metsänuudistaminen lähellä männyn metsänrajaa.
Huomautus: Epämääräiset koejärjestelyt.
- 81 Solin, P. 1970. Männyn istutuksen antamista tuloksista Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosissa. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 3. 69 s.
Tarkoitus Käytännön metsänviljelyn tulokset Etelä-Lapissa.
Huomautus: Lapin metsälautakunnan eteläosa. Uudistusalojen korkeuksia ei esitetty.
- 82 Suoheimo, J. 1982. Männyn luontainen uudistaminen siemen- ja suojuspuunetelmällä Metsä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 77 s.
Tarkoitus: Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen sekä siemenpuiden, maan ominaisuuksien, muokkaustapojen ja tuhojen vaikutus taimien kehitykseen.
Huomautus: Punkkinen (1982) n:o 71 sama inventointi Lapin eteläosassa.
- 83 Tikkanen, E. 1985. Aurasalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Summary: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 186. 23 s.
Tarkoitus: Tutkia typen ja fosforin puutteen merkitystä aurasalueen taimien huonoon kuntoon.
Huomautus: Hypoteesin kaikkia osia ei voitu tutkia. Ei eroteltu aurauksen ja muiden avohakkuusta aiheutuvien seikkojen vaikutusta.
- 84 Valtanen, J. 1973. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimuskeskuksen tiedonantoja 9. 11 s.
Tarkoitus: Tiedot männyn viljelytaimikoiden kehityksestä Pohjois-Suomessa koalojen inventoinnin perusteella. Kylvön ja istutuksen vertailu.
Huomautus: Itäinen Pohjois-Suomi. Alkuperät, kasvupaikat, korkeudet, koko ja määrä tuntematon. Vain kulutus, ei muuta maanpinnan käsittelyä.
- 85 — 1983 Muokkaustavat ja metsänuudistamisen tulos. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 119: 63–72.
Tarkoitus: Tarkastella muokkaustapojen vaikutusta metsänuudistamistulokseen eri aineistojen tulosten perusteella.
Huomautus: ”Metsänviljelyn runkotutkimus 2” -koesarja Oulun läänissä.
- 86 — 1988. Korkeiden maiden metsien uudistaminen Oulun läänissä. Summary: Stand reforestation at elevated sites in Northern Finland. Folia Forestalia 718. 41 s.
Tarkoitus: Tutkia korkeiden alueiden uudistamiskäytäntöä Oulun läänin itäosassa.
Huomautus: Vain Oulun läänin korkeat alueet. Luontaisen alojen taimettuminen oli vielä 10 v kuluttua kesken.
- 87 — & Engberg, M. 1987. Vuosina 1970–72 perustetun aurasalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: The results from Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970–72. Folia Forestalia 686. 42 s.
Tarkoitus: ”Metsänviljelyn runkotutkimus 1” -koesarja. Viljelyn tulos ja siihen vaikuttavat tekijät.
Huomautus: Pelkästään auras.
- 101 Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston koheet 601–606, 609, 527, 713, 657, 366, 367, 612.
- 102 Rovaniemen tutkimuskeskuksen KAMU-koheet 1983–89. N:ot 510–521.
- 103 Metsäntutkimuslaitoksen metsänjalostusosaston koheet Pohjois-Suomessa vv. 1932–87.
- 104 Sirén, G. 1960. Suojametsätutkimuksen nykyvaihtaita ja sen tulevia suuntaviivoja. Metsätaloudellinen aikakauslehti 77: 83–90.

2 Luokittelemattomat tutkimukset ja muu kirjallisuus – Other studies and references

- Aaltonen, V. 1940. Metsämaa. Porvoo–Helsinki. 615 s.
- 1942. Muutamia kasvukokeita puuntaimilla. Referat: Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. Acta Forstalia Fennica 50: 1–33.
- Bergan, J. 1974. Varmeklimaet i forskjellige høydesoner under björkeskoggrensa i Troms. Summary: The heat effect at different vertical distances below the birch timberline in Troms. Meddeler fra norsk institutt for skogforskning 31(8): 332–353.
- 1981. Foryngelse av furuskog i Troms og Finnmark. Summary: Regeneration of Scots pine forests in Troms and Finnmark. Rapport fra norsk institutt for skogforskning 10. 69 s.
- 1984. Frostklimaet i forskjellige høydesoner og luftskjikt i Troms. Summary: The frost climate at different vertical distances and air levels in Troms. Rapport fra norsk institutt for skogforskning 4. 38 s.
- 1989. Reforestation and afforestation at high altitudes in North Norway. USDA Forest Service General Technical Report PNW-247: 21–24.
- 1990a. Temperatur- og nedbørforhold i en yngre granplantning (*Picea abies* L.) Karst.) og på åpen mark i Troms. Summary: Temperatures and precipitation in a young plantation of spruce (*Picea abies* L.) Karst.) and at open field in Troms. Rapport fra norsk institutt for skogforskning 5. 30 s.
- 1990b. Overlevelse, høydeutvikling og skader hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) plantet i markberedningshauger og urørt vegetasjon i høyreliggende skog i indre Helgeland. Summary: Survival, height development and damages of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) planted in mounds and undisturbed vegetation at high altitudes in the inland of Helgeland. Rapport fra norsk institutt for skogforskning 6. 19 s.
- 1980. Seed availability, cone collection and natural regeneration. Swedish university of agricultural sciences, department of silviculture, section of reforestation. 41 s.
- 1991. Granen i kærva lägen. Skogsstyrelsen, Jönköping. 52 s.
- Bäckström, P. 1985. Fjällnära skogars utnyttjande — hot och möjligheter IV. Kungliga skogs- och lantbruk-

- sakademiens tidskrift 124: 63–69.
- Dietrichson, J. & Tutturen, R. 1983. Vanlig furu eller contortafuru i Östlandets höyreliggande skoger. Summary: Scots pine or lodepole pine in high altitude forests of Eastern Norway. Rapport fra norsk insittutt for skogforskning 10. 19 s.
- Draper, N. & Smith, H. 1966. Applied regression analysis. John Wiley & Sons. New York. 407 s.
- Ekholm, I. 1985. Fjällnära skogars utnyttjande — hot och möjligheter IV. Kungliga skogs- och lantbrukssakademiens tidskrift 124: 74–88.
- Eronen, M. & Haila, H. 1981. The highest shore-line of the Baltic in Finland. *Striae* 14: 157–158.
- Franssila, M. 1949. Mikroilmasto-oppi. Helsinki. 258 s.
- Fries, C. 1990. Utveckling hos beståndsförnygrad gran och kompletteringsplanterade granar och tallar i ett kärvat klimatläge. Summary: Development of advance growth of Norway spruce and supplementary planted spruce and Scots pine in a harsh climate. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter 30. 40 s.
- & Nilsson, U. 1990. Development of underplanted *Pinus sylvestris* in a *Betula pubescens* shelterwood in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 525–534.
- Hagner, M. 1984. Synpunkter på Domänverkets skogsbruk i fjällnära områden. Umeå universitet, Institutionen för produktionslära, Rapporter 135. 65 s.
- Hagner, O. 1987. Naturliga förnygringar vid skogsodlingsgränsen i trakten av Gällivare. Exarnesarbete i skogsskötsel. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. 25 s.
- Hagner, S. 1962. Naturlig förnygring under skärm. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 52(4). 263 s.
- 1965. Om fröproduktion, fröträdval och plantsupplag i försök med naturlig förnygring. *Studia Forestalia Suecica* 27.
- Hansson, B. 1985. Fjällnära skogars utnyttjande — hot och möjligheter I. Kungliga skogs- och lantbrukssakademiens tidskrift 124: 55–56.
- Heikinheimo, O. 1939. Kokemuksia paksusammaltyypin metsien käsittelystä Referat: Erfahrungen betreffend die Behandlung der Wälder vom Dickmoostyp. *Silva Fennica* 52: 121–139.
- 1944. Metsien luontainen uudistaminen. Keskusmetssäseuran käsikirja 22. 95 s.
- Helimäki, U. 1974. Lapin ilmastosta ja tunturien ilmaston erikoisuuksista. *Acta Lapponica Fenniae* 8: 23–27.
- Holmgren, A. 1956. Expositionens betydelse för tallkulturens utveckling på stora hyggen på hög nivå i Norrland. *Norrlands skogsvårdsförbunds tidskrift* för år 1956. 106 s.
- Huovila, S. 1970. Some features of the microclimate within hilly regions in Finland. Teoksessa: Ecology of the Subarctic Regions. Proc. Helsinki UNESCO Symposium 1966: 63–66.
- Hägman, J. 1987. Voiko männyn siemen jälki-itää? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 115–123.
- Iivessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Suomi (Finland). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 24(8). 168 s.
- Jalkanen, R. 1989. Lapin metsäpatologiset ongelmat. Abstract: Forest pathological problems in Finnish Lapland. Teoksessa: Saastamoinen, O. & Varmola, M. 1989. Lapin metsäkirja. *Acta Lapponiae Fennica* No. 15: 32–47.
- Kainuun metsälautakunnan metsänhoitosuosituksset. 1990. Käsikirjoitus.
- Kangas, A., Kangas, J., Korhonen, K., Maltamo, M. & Päivinen, R. 1990. Metsää kuvaavat mallit. *Silva Carelica* 17. 143 s.
- Kihlman, A. 1890. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. *Acta Societatis Pro Fauna et Flora Fennica* Nr. 3. 263 s.
- Koillis-Suomen metsälautakunnan metsänhoitosuosituksset. 1990. 32 s.
- Kolehmainen, V.A. 1951. Kulottajan opas. Keskusmetssäseura Tapio. Helsinki. 48 s.
- Korkeiden alueiden metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa. 1989. Tutkijatöryhmän suunnitelma. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- Koski, V. 1989. Siemensiirrot ja ilmastoon sopeutumisen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 238: 20–37.
- Kotisaari, A. 1981. Metsän luontaisen uudistamisen tutkiminen. Esitutkimusraportti. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 38. 132 s.
- Kubin, E. 1983. Taimien elinympäristötutkimus Paltamon Kivesvaarassa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 119: 29–39.
- Kujala, V. 1927. Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 12. 106 s.
- Kullman, L. 1981. Nya aspekter på tallförnygring i hög-lägen. Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift 6: 11–14.
- Kurkela, T. 1982. Metsän taudit. Metsäpatologian yleiskurssi. Helsingin yliopiston metsäpatologian laitos. 150 s.
- Kuusela, K. 1975. Suoja- ja lakimetsien puusto ja kasvu. Metsä ja puu 2: 8–9.
- Lapin metsälautakunnan metsänhoitosuosituksset. 1990. 32 s.
- Lapin metsäloustoimikunnan mietintö. 1980. Komiteamietintö 1980: 2.
- Lohi, L., Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. Pintakasvillisuuden, maan ja puuston välisistä suhteista Ounasvaaralla. Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimuskeskustiedonantoja 20: 1–25.
- Lähde, E. 1984. Pohjois-Suomen kasvupaikkojen erityispiirteistä ja luokituksen kehittämisestä. Teoksessa Sepponen, P., Pitkänen, H. & Poikajärvi, H. 1984. Metsien kasvupaikkaluokitus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 148: 38–46.
- Maamme pohjoisimpiin osiin järjestettävien suojelualueitten erottamista varten asetetun komission mietintö. 1910. Komiteamietintö 1910: 7. 243 s.
- Metsien hoito. 1990a. Pohjanmaa-Kainuu. Metsähallitus. 59 s.
- Metsien hoito. 1990b. Lappi. Metsähallitus. 68 s.
- Metsänhoitosuosituksset. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 55 s.

- Mork, E. 1968. Ökologiske undersøkelser i fjellskogen i Hirkjolen forsøksområde. Meddeler fra det Norske skogforsøksvesen 93(7): 467-614.
- Nilsen, P. 1988. Fjellskoghogst i granskog — gjenvekst og produksjon etter tidligere hogst. Summary: Selective cutting in mountain spruce forests — regeneration and production after earlier cuttings. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 2. 26 s.
- Nordström, L. 1955. Om eftergroning hos tallfrö. Sveriges skogsvårdsföreningens tidskrift. 53(1): 89-100.
- Norokorpi, Y. 1972. Pohjoisten männyn viljelytaimistojen tuhoprosessista. Metsä ja puu 4: 13-15.
- 1981a. Lakimetsien rajaamisen perusteita. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 24: 59-65.
- 1981b. Pienten avo- ja siemenpuuhakkuuolujen uudistuminen suojametsäalueella. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 6: 97-104.
- 1983. Uhkaako ahneus laki- ja suojametsiämme? Teoksessa: Elo, K. (toim.) Tämä vihreän kullan maa. Suomen luonnonsuojeluliiton teemakirja: 88-93.
- 1987. Metsänviljelyn onnistuminen korkeilla alueilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 17-27.
- Numminen, E. 1982. Pohjois-Lapin metsäpuiden siementuotanto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 77: 1-13.
- 1991. Seed production close to timberline in Finland. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland August 16-22, 1987. Käsikirjoitus.
- Oinonen, E., Sarvas, R. & Sirén, G. 1958. Lapin suojametsien käsittelyohjeet. Moniste. 26 s.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen ilmatieteen laitoksen mittauksista. Summary: Estimation of local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurement made by the Finnish meteorological office. Silva Fennica 17(2): 143-160.
- Olsson, H. 1982. Sjogsodlingsresultat i övre Norrland. Summary: Results of artificial regeneration in northern Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter 7. 100 s.
- Parviainen, J. & Antola, J. 1986. Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa mäntyistutuksissa. Summary: The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock. Folia Forestalia 671. 29 s.
- Perttu, K. 1972. Skogsgränsens beroende av olika klimatologiska och topografiska faktorer. Skogshögskolan, Institutionen för skogsföryngning. Rapporter och uppsatser 34. 91 s.
- Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan metsänhoitosuosituksen. 1990. 24 S.
- Pohtila, E. 1980. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holarctic ecology 3: 91-98.
- 1991. Effect of site preparation on regeneration results in Lapland. Northern Forest Silviculture and Management. IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland August 16-22, 1987. Käsikirjoitus.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. Biometria. 2. painos. Helsinki. 569 s.
- Remröd, J. 1974. Resultat från granproveniensförsök i norrländska höglägen. Föreningen skogsträdsförädling. Institutet för skogsförädling. Årsbok 1974: 117-135.
- 1976. Val av tallprovenienser i Norra Sverige. Skogshögskolan, Institutionen för skogsgenetik, Rapporter och uppsatser 19.
- & Strömberg, S. 1974. Tillståndet i äldre norrländska höglägeskulturer av gran. Föreningen skogsträdsförädling. Institutet för skogsförädling. Årsbok 1974: 136-148.
- Renvall, A. 1919. Suojametsäkysymyksestä. Acta Forestalia Fennica 11.
- Roiko-Jokela, P. 1982. Metsänkäsittelyn toimenpiderajan määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 58: 29-34.
- Saarn, M. Fjällnära skogars utnyttjande — hot och möjligheter V. Kungliga skogs- och lantbruksakademiens tidskrift 124: 70-73.
- Sarvas, R. 1949. Siemenpuuhakkuu männikön uudistushakkuuna Etelä-Suomessa. Summary: Seed-tree cutting as a regeneration method in Scots pine forests of southern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 37(6). 43 s.
- 1956. Metsänhoidon tekniikka. Metsäkäsikirja I: 498-564.
- 1962. Investigations on the flowering and seed crop of Pinus sylvestris. Seloste: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 53(4). 198 s.
- 1970. Establishment and registration of seed orchards. Folia Forestalia 89. 24 s.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS user's guide: Basics. Version 5 edition. Cary. 1290 s.
- Shapiro, S. & Wilk, M. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52: 591-611.
- Sirén, G. 1958. Lapin suojametsäkysymyksestä. Moniste Helsingin yliopiston metsäkirjastossa. 139 s.
- 1991a. Seed production response to climate. Biological long-term evidence of the circumpolar subarctic climate oscillation (BLECSO). Symposium Helsinki, Finland, 12.-14. December, 1990. Käsikirjoitus.
- Sinko, M. & Berggren, C. 1974. Resultat av orienterande trädslagsförsök under skärm i högläge. Skogshögskolan, Institutionen för skogsföryngning, Rapporter och uppsatser 59. 77 s.
- Solantie, R. 1974. Pohjois-Suomen lumipeitteestä. Summary: On the snow cover in northern Finland. Lapin ilmastokirja, Climate of Lapland. Lapin tutkimusseura. Rovaniemi: 74-89.
- Stefansson, E. & Sinko, M. 1967. Försök med tallprovenieser med skärskild hänsyn till norrländska höglägen. Studia Forestalia Suecica 47. 108 s.
- Suonkuivaus- ja metsänviljelytyöt; toimenpideraja. 1956. Metsähallitus. Kiertokirje 73. 5 s.
- Sutinen, M-L. 1989. Metsäpuiden talvehtiminen. Abstract: Over-wintering of forest trees. Teoksessa: Saastamoinen, O. & Varmola, M. 1989. Lapin metsäkirja. Acta Lapponica Fenniae No. 15: 160-163.
- Tikkanen, E. 1989. Paksusammalkuusikoiden uudistamisen ongelmia. Abstract: The development and the regeneration of HMT spruce forests. Teoksessa: Saastamoinen, O. & Varmola, M. 1989. Lapin met-

- säkirja. Acta Lapponica Fenniae No. 15: 171–178.
- Timonen, M. 1982. Pohjois-Lapin metsien erityispiirteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 58: 40–51.
- Tirén, L. 1950. Om den naturliga föryngringen på obrända hyggen i norrländsk granskog. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 38(9). 118 s.
- Tranquillini, Q. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Ecological studies 31: 1–137.
- Valtakunnan metsänuudistamisen inventointi. 1979. Kentätöiden ohjeet. Metsäntutkimuslaitos. Metsänhoidon tutkimusosasto. Moniste.
- Valtanen, J. 1981. Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 24: 66–77.
- 1986. Miten korkeiden maiden metsät uudistetaan. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 255: 18–27.
- Valtion metsätalouden periaatteista lausuntoa antamaan asetetun komitean mietintö. 1900. Komiteamietintö 1900: 5. 269 s.
- Varmola, M. (toim.) 1988. Lapin metsä 2000-ohjelma. Lapin lääninhallitus. 146 s.
- Wibeck, E. 1959. Norrländska skogsförsöksförsök. Redogörelse för Statens skogsförsöksanstalts norrlandsavdelnings s. k. markberedningsytor. Stockholm. 255 s.
- Viro, P. 1969. Prescribed burning in forestry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(7). 49 s.

Total of 192 references

Summary

Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland

The productivity of forests and the profitability of forest management decrease with increasing altitude in Northern Finland. In this region forestry is practiced very close to the polar timber line. Commercially important native tree species include Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*), Silver birch (*Betula pendula*), and White birch (*Betula pubescens*). In addition, experiments have been conducted with introduced conifers, namely, Siberian larch (*Larix sibirica*), Lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Siberian fir (*Abies sibirica*). Areas lying higher than 250–330 m above sea level (depending on the location) have been considered unsuitable for timber production on an extensive scale due to the difficulties in applying normal regeneration practices. However, the volume of timber is quite considerable, and parts of it could be utilized profitably if inexpensive reforestation could be ensured. The purpose of this pilot study is to collate the information published on forest regeneration at high altitudes, and to analyze the effect of altitude on the results of forest regeneration in Northern Finland using existing data from a number of experiments and surveys. No attention is paid to the requirements of multiple use of forests and nature conservation, both of which do play a very important role in these areas.

The climate gets colder and more humid with increasing altitude. Concurrently, the amplitude of the variation in air and soil temperature and water content decrease. The duration and depth of the snow cover are great at high altitudes, and tree crowns often accumulate

large snow loads. Snow breakage occurs almost annually in the eastern part of Northern Finland (Figures 2 and 3). Average stand density decreases sharply from 300 metres upwards (Table 1, Figure 4). The proportion of stands dominated by Norway spruce increases on moving upwards as the proportion of Scots pine domination decreases, particularly in the east. Norway spruce is better adapted to grow and regenerate than Scots pine at higher altitudes. Undisturbed Norway spruce stands growing on thick-humus sites and Scots pine stands near the timber line bear resemblance to the structure and dynamics of uneven-aged stands.

Both ecological and economic factors seem to favour natural regeneration at the expense of artificial regeneration at high altitudes. Drought, as well as competition from herbs and grasses, are much less common than in areas with warmer climates. Soil treatment is necessary on sites with a thick humus layer; this usually improves the establishment of seedlings. On the other hand, the seed production capacity of the trees diminishes along with decreasing effective temperature sum. However, some mature seed is produced almost every year even at the timber line, since there is great variation in seed development between trees and parts of the tree crowns. Natural regeneration studies include little information about the effect of altitude or temperature sum on the results of natural regeneration (Tables 4, 5 and 8). However, they do suggest that the results are satisfactory even at high altitudes.

Artificial regeneration of Scots pine has been less successful at high altitudes (Tables 4, 5 and 10). Studies on reforestation with Norway spruce and Siberian larch are less extensive, but they do suggest that these species should survive better than Scots pine at high altitudes. However, the profitability of artificial regeneration is questionable in many areas at high altitudes, due to high costs and low productivity. Natural seedlings usually account for a major portion of the stand at high altitudes, even in planted or sown areas.

Development of seedling roots and shoots is slowed down by low temperatures and the long duration of the snow cover. Consequently, seedlings are subjected to many physical and pathological damaging agents, such as desiccation above the snow surface, snow blight (Figure 6) and Scleroderris canker (Figure 7). Effective soil treatment should improve the soil properties and accelerate root and shoot growth especially on moist sites with a thick humus layer.

The material for the statistical analysis was obtained by combining the data from forest regeneration experiments and surveys carried out during 1980–87 (see Table 2). An observation consisted of the values of variables describing the density and height of the seedling stand as well as a set of variables that were considered likely to account for a major part of the variation in the results of regeneration. The seedling stand variables used in a set of observations (usually one study) had to be compatible with the rest of the data. Each reforestation method was treated separately. The data from experiments differed so much from those of surveys (i.e. temporary sample plots) that the two groups had to be treated separately. A total of 922 observations were obtained for use in analyzing the results of natural regeneration of Scots pine (seed tree method) and Norway spruce (strip felling method) and the artificial regeneration of Scots pine (experiments and surveys), Norway spruce and Siberian larch (Appendix 4).

The variables used in the analysis are explained in Appendix 3. Correlation and partial correlation analysis and regression analysis were applied. Strong intercorrelations introduced a considerable amount of uncertainty and unreliability in the parameter estimates (Appendix 5).

The means of the seedling stand variables defined by three different lower boundaries of high altitude and the

results of tests of significance are shown in Table 12. The effect of the uneven geographical distribution of the observations on the relationship between seedling stand variables and altitude was eliminated by applying partial correlation analysis. The results are shown in Table 13. The location was expressed using Y (North–South) and X (East–West) coordinates. Evidence of poorer results at higher altitudes was only found in artificial regeneration of Scots pine.

Regression models predicting the results of regeneration are shown in Tables 14–19. They incorporate age, site, climate and treatment, in addition to altitude as independent variables. The analysis suggests that altitude and the average effective temperature sum had no effect on the results of natural regeneration of Scots pine and Norway spruce. Large numbers of seedlings had been established in association with sets of warm summers. High altitude had reduced the survival percentage and mean height of the Scots pine seedlings. A high effective temperature sum had the opposite effect. Altitude and temperature sum had no effect on the results of artificial regeneration of Norway spruce and Siberian larch. The coefficient of determination did not exceed 0,74 in any of the models and in most cases was considerably lower. Unfortunately, there were no observations available from above 365 m a.s.l. Consequently, the form of the dependence between altitude and the seedling stand variables may not be predicted reliably at the highest altitudes by the models.

The relationship between the seedling stand variables simulated by the models, altitude and stand age are shown in Figures 16–19. They show that natural regeneration generally gives better results than artificial regeneration at high altitudes. If artificial regeneration is unavoidable in some cases, then Norway spruce or Siberian larch should be planted instead of Scots pine.

There is great variation in the results of forest regeneration at high altitudes. The high probability of failure in reforestation must be taken into account in the management planning of these areas. Efforts to create high-productive seedling stands through artificial regeneration may not be profitable. Intensive research projects will not lead to a significant improvement in regeneration results as long as the complex mechanisms of seedling mortality are insufficiently understood.

Liite 1. Tutkimusten luokittelussa liitteissä 2a ja 2b käytetyt muuttujat

Appendix 1. Definition of variables used in the description of the studies in Appendices 2a and 2b.

	Muuttujan nimi Variable name	Muuttujan sisältö ja koodien selitys Domain
1	No	Tutkimuksen numero, ks. kohta "Kirjallisuus: 1. luokitellut tutkimukset" Number of study refers to "References: 1. Studies and experiments described in detail".
2	Vuosi Year	Julkaisuvuosi Year of publication
3	Ote Approach	1= Deskriptiivinen, yksittäisiä havaintoja ei kuvattu - <i>Descriptive, individual cases not described</i> 2= Deskriptiivinen, yksittäiset havainnot kuvattu - <i>Descriptive, cases were described as observations</i> 3= Inventointi, otanta "käytännön metsätaloudesta" - <i>Field survey</i> 4= Järjestetty kenttäkoe - <i>Field experiment</i> 5= Laboratoriotason analyysi tai koe - <i>Analysis or experiment comparable to laboratory test</i> 6= Karttoitus - <i>Mapping</i>
4	Tarkoitus Purpose	Ensisijaiset tutkimuskohteet.- <i>Primary study objects:</i> 10= Uudistaminen viljellen - <i>Artificial regeneration</i> 11= Uudistaminenluontaisesti- <i>Natural regen.</i> 12= Jalostus - <i>Forest tree breeding</i> 14= Uudistaminen ja kasvatus - <i>Regeneration and management</i> 15= Puulajivertailu - <i>Tree species experiment</i> 16= Maankäsittely - <i>Soil treatment for regeneration</i> 21= Taimikoiden hoito - <i>Treatment of the sapling stand</i> 22= Kasvatushakkuu - <i>Intermediate cutting</i> 23= Uudistushakkuu - <i>Regeneration cutting</i> 24= Puuston rakenne, kasvu - <i>Structure and growth of stands</i> 26= Siemensato - <i>Seed crop</i> 30= Ekologia - <i>Stand ecology</i> 31= Kasvupaikatyyppit - <i>Site types</i> 40= Tuhot - <i>Forest damage</i>

- 5 Uudis- Mukana olleet puulajit ja uudistamis-
tamis- menetelmät - *Tree species and regeneration*
menetel- *methods used*
mät
Regner- 10= Mänty - *Scots pine*
ation- 20= Kuusi - *Norway spruce*
methods 30= Rauduskoivu - *Betula pendula*
40= Hieskoivu - *Betula pubescens*
50= Haapa - *Trembling aspen*
60= Leppä - *Common or Grey alder*
70= Siperianlehtikuusi - *Siberian larch*
80= Kontortämänty - *Lodgepole pine*
90= Muu - *Other species*
2= Kylvö - *Sowing* 3= Istutus - *Planting*
4= Muu viljely - *Other artificial methods*
5= Siemenpuuhakkuu - *Seed tree method*
6= Suojuspuuhakkuu - *Shelterwood method*
7= Kaistalehakkuu - *Strip felling method*
8= Muu avohakkuu - *Other clearcutting*
methods
9 =Harsinta - *Group or single tree*
selection system
- 6 Maan- Käytetyt menetelmät - *Methods used*
käsittely
Soil 1= Auraus - *Ploughing*
treatment 2= Äestys - *Disc ploughing*
3= Laikutus - *Scarification*
4= Mätästys - *Mounding*
5= Kulotus - *Prescribed burning*
6= Edellisten yhdistelmiä - *Combinations*
of the methods mentioned above
7= Muokkaamaton - *Untreated*
9= Muut - *Other methods*
- 7 Kriteeri- 10= Taimet - *Seedlings*
muuttajat 11= Elossaolo - *Survival*
Object 12= Kokonaismäärä - *Total density*
variables 13= Kasvatuskelpoisten määrä - *Number of*
seedlings to be retained until first
thinning
14= Keskipituus - *Mean height*
15= Pituusjakauma - *Height distribution*
16= Ikäjakauma - *Age distribution*
17= Tilajärjestys - *Spatial distribution*
18= Verson kunto - *Health and quality of*
shoot
19= Juurten kunto - *Health and quality of*
roots

20= Puusto - *Established tree stand*
21= Puuston taksatoriset tunnuksset -
Stand structure and development
variables
26= Siemensadon määrä ja laatu - *Amount and*
quality of seed crop
27= Verson kunto - *Health and quality of*
shoot
28= Juuriston kunto - *Health and quality*
of root system

30= Kasvuympäristö - *Environment of trees*
31= Maan fysikaaliset ominaisuudet -
Physical soil properties
32= Maan kemialliset ominaisuudet -
Chemical soil properties
33= Mikroilmasto - *Stand climate*
34= Kasvupaikkatyypit - *Site types*
35= Kasvipeite - *Ground vegetation*

40= Tuhot - *Forest damage*
41= Tuhojen ulkoinen ilmeneminen -
Occurrence of damage
42= Tuhonaiheuttajat - *Cause of damage*

- 8 Ikä Age Taimikoiden minimi ja maksimi ikä, vuotta
Minimum and maximum age of seedling stands, years
- 9 Siemen-alkuperät Origin of seed Taimien siemenalkuperät - Origin of seed
 1= Paikallisia - Local
 2= Paikallisia ja muita sopivia - Local or suitable otherwise
 3= Pohjoisempaa/korkeammalta - From locations further to the north or from higher altitudes
 4= Etelämpää/alempaa - From locations further to the south or from lower altitudes
 5= Vaihtelevia, tuntemattomia - Various, unknown
 6= Yksi alkuperä eri viljelyalueilla - Seed from one known origin used on all sites
 9= Luontainen - Natural regeneration
- 10 Kasvu-paikka-tyyppit Site types Koealojen kasvupaikkatyyppiakauma 10-osina - Site type distribution of sample plots in tenths (1= 5-14,9%, 2=15-24,9% jne.- etc, z=100%)
 2= Lehto, lehtomainen kangas - Grove or grass-herb site
 3= Tuore kangas - Moist upland site
 4= Kuivahko kangas - Sub-dry upland site
 5= Kuiva tai sitä karumpi kangas - Dry upland site
 9= Suo - Peatland
- 11 Maaston korkeus Altitude Koealojen jakautuminen maaston 100 metrin korkeusluokkiin niiden lukumäärän 10-osina - Distribution of the number of sample plots in 100 m altitude classes (1=0-9 %, 2=10-19 % ..., Z=100 %)
- 12 Sijainti Location Tutkimusalueen Y- ja X-yhtenäiskoordinaatit, minimi ja maksimi - Minimum and maximum value of the Y and X coordinates of the study area in the Finnish coordinate system
- 13 Alojen määrä Number of plots Kestokokeessa koealojen lukumäärä, inventoinnissa inventoitujen uudistusalojen lukumäärä - Number of plots in a field experiment, or number of regeneration areas in a survey
- 14 Pinta-ala Area Kenttäkokeessa koealojen keskimääräinen pinta-ala, inventoinnissa uudistusalojen keskimääräinen pinta-ala, aaria - Average area of plots in a field experiment, or average area of regeneration areas in a survey, 100 m²

Liite 2. Tutkimusten luokittelu.
a:Tutkimuskohteet ja menetelmät. Selitykset liitteessä 1.

Appendix 2. Classification of studies and experiments.
a:Research objects and methods. Legend in Appendix 1.

No	Vuosi	Ote	Tarkoitus	Uudistamis- menetelmät	Maan- käsit- tely Soil treat- ment	Kriteerimuuttujat
	Year	App- roach	Purpose	Regeneration method		Object variables
1	1919	3	11	16	7	12 17 40
2	1982	4	30 31			34 35
3	1972	3	10	12 13	1	11 13
4	1981	3	16	13 15	1	31 35
5	1991	4	12	73		11 14 18 41 42
6	1982	3	10 11	12 13 23 27	1	11 12 13 14 18 41 42
7	1982	3	10	12 13 23	1237	11 13 14 17 41 42
8	1920	3 6	30 40			26 41 42
9	1920	3 6	24 11			12 21
10	1921	1 3	24 11			12 21 26
11	1922	2 3	11 30			12 21
12	1977	4 5	40	12 22	3	41 42
13	1981	3	40	13	17	11 41 42
14	1986	3 6	26			26
15	1981	4	11	15 18	357	12 14 16 41 42
16	1975	4	16		13479	31
17	1972	4	16	12 13 15	13	35
18	1989	3	11			12 14 16 18 21 41 42
19	1974	4	10	13	1	11 14 18 19
20	1978	4	26			26
21	1981	3	24 30			12 24 31 34
22	1986	4	10	13 23 33 43 73 83 93	19	11 14
23	1915	2 3	11 26			16
24	1920	2 3	11 24	11		12 16 18 26
25	1969	3	11	25 26	7	12 13 17
26	1974	4 5	30 16		123679	31 33
27	1983	4	11 24			12 14 16 18 21 41 42
28	1974	3	10 11	12 13 15	7	14 18
29	1978	4	16 10	13 23	13679	11 14 31
30	1979	4	10	12 22 72	1	11 14
31	1981	4	16 10	13 23 73	134679	11 14 18 31 41 42
32	1974	4	10 11	22 23 28	1379	14 18 19
33	1975	4	10 16	13 23	13679	11 14 18 31
34	1973	3	10 11	12 13 15		18 19
35	1981	4	16 10	13 23 27 73	134679	11 12 14 18 41 42 31
36	1984	3	11 10	12 13 23 73	1	11 12 14 15 16 41 42
37	1952	4	24 11	12 13		11 12 21 26
38	1959	4	10	12 13	57	11 14
39	1986	3	10	12 13	137	11 12 13 14 41 42
40	1977	4	16 10	13	13	11 14 18 19 31 32
41	1983	4	10 16	12 13	1349	11 14 18 41 42
42	1987	4	11 16	27	134679	12 14 16 42
43	1990	4	10 16	12 13	1235	11 14
44	1980	4	10 24	13 73	1	11 14 18 21 41 42
45	1972	3	10	23	17	11 13 14 42
46	1979	3	11 24		7	12 13 14 16
47	1985	3	24 30 40			21 41 42
48	1973	4	10 16	13 23 73	17	11 14
49	1974	3	26			26
50	1986	3	10	12 13	137	11 13 14 18 41 42
51	1956	3	11	12 15 18	379	12 16 17
52	1986	3	10	12 13 23	136	11 12 14 41
53	1980	3	10	12 13	57	12 13 14 41 42
54	1982	3	10	12 13	1379	11 13 14 18 41 42
55	1972	3	10	22 23	7	12 21
56	1972	4	10 16	12 13	15	12 11 14 18 41 42
57	1974	4	10 16	12 13	15	11 14 18 42
58	1977	4	10	12 13 22 23 33 73	135	11 14
59	1990	4	11 14	27	7	12 14 16 17 21
60	1983	4	10	12 13 22 23 33 73	1	11 14 41 42
61	1985	4	10 16	12 13	1235	11 14
62	1980	3	10	12 13	123467	12 13 14 18 41 42
63	1985	3	10	12 13 23	12357	11 12 13 14 17 18 41 42
64	1973	3	24			21
65	1982	3	11	15	123	12 13 14 15 16 18 41 42

66	1987	3	10	12 13	1	11 13 14 18 41 42
67	1977	4	10	33	1579	11 14
68	1976	4	11	38	1279	12 14
69	1912	3	11			12 16 26
70	1991	4	10 16	13 23 73	1379	11 14 31 32
71	1978	4	16		13479	31
72	1980	3	24			21
73	1990	4	20	12 13 23	12579	11 12
74	1938	3	11	10	5	12 16 17
75	1950	3	11	19	7	12 13 17 16 26
76	1952	1	30 31			34
77	1962	2 4	26			26
78	1952	3 4	10	12	357	11 13 17
79	1955	4	24 30			12 21 28 31 32 33
80	1991	4	10 11	12 13 15	57	12 14
81	1970	3	10	13	37	11 13 14 41 42
82	1982	3	11	15	123	12 13 14 15 16 18 42 41
83	1986	5	30 16	13	17	32
84	1974	4	10	12 13	57	11 14 41 42
85	1983	4	10 16	12 13	123	11 14
86	1988	4	10 11	12 13 23 26 28 29 33 73	137	12 11 14 18 41 42
87	1987	4	10	12 13 22 23 33 73	1	11 14
101		4	16	13 23 73	1245	
102		4	11 22	15 18 26 28 48	129	
103		4	12	11 12 13 15 17 18 19 21	123457	
104		2 3 4	10 11	12 13 15	57	12 31 33

Liite 2. Tutkimusten luokittelu.
b: Aineiston rakenne. Selitykset liitteessä 1.

Appendix 2. Description of studies and experiments.
b. Structure of the research material Legend in Appendix 1.

No	Ikä Age	Siemen- alku- perät Origin of seed	Kasvu- paikka- tyypit Site type	Maaston korkeus Altitude		Sijainti Location				Alojen määrä Number of plots	Pinta- ala Area
				23459	12345	Y	X				
							min	max			
1		9								32	110
2			5 5			7100	7270	500	630		
3	6-17	2 4				7300	7550	360	620	352	600
4	10		6 2 2		3 3 2	7300	7600	360	510	6	
5	9-10	2			1432	7280	7550	360	560	9	
6	3-13	5 9	9 1		1 6 3	7300	7533	384	604	25	
7	10	2	4 6			7120	7150	540	560	51	460
8										38	25
9		9				7100		300			
10		9									
11		9									
12			1 9		1 3 6	7170	7370	450	550	10	307
13	2-10	1 6				7070	7550	400	620	27	
14		9				7100				58	
15	26-27	9	5 5		Z	7570	7570	507	507	16	225
16			Z		Z	7367	7367	410	410	21	12
17	1-16		7 3			7440	7600	360	570	19	
18		9			5 5	7340	7625	375	560	96	1
19	1-3	2	Z		Z	7367	7367	410	410	1	
20										154	
21		9	Z		Z	7360	7360	600	600	30	1
22	7-14	2	Z		5 5	7282	7362	545	606	28	9
23						7210	7600			32	
24						7400					
25	10-20	9			2 4 3 1	7100	7650	360	630	209	777
26			Z		Z	7356	7530	483	485	51	8
27		9	Z		5 5	7600				28	
28						7330	7550	360	600	95	
29	4-6	2 4	5 5			7336	7530	423	493	372	1
30	1-4	1	Z		5 5	7350	7530	430	480	30	1
31	7-8	2	Z		Z	7518	7518	478	478	56	15
32						7330	7550	360	600	44	
33	2-4	1 4				7356	7530	422	493	372	1
34	4-15	5				7300	7550	360	600	42	
35	8-9	2	Z		Z	7518	7518	478	478	56	15
36	6-14	5	6 4		2 3 5	7360	7560	380	600	25	4000
37		9 4								48	
38	4-40	2 5				7680	7718	470	510		
39	10	1	3 6 1		9 1	7260	7300	530	600	77	953
40	3		Z		Z	7360	7360	470	470	24	9
41	6-8	1 3	Z		Z	7533	7533	467	467	1440	1
42	12	9	Z		Z	533	7533	467	467	1440	1
43	1-13	1	3 7		5 5	7300	7550	390	570	576	1
44	7-9	6	5 4 1		1 7 2	7300	7590	360	600	114	1
45	4-15	5				7280		360		33	418
46	6	9	Z			7280	7550	370	580	9	105
47			6 4		2 7 1	7280	7370	570	630	667	
48	1-3	1 4	Z		Z	7530	7530	483	483	81	20
49		9				7230	7450	360	520	15	10
50	18-27	6				7070	7600	370	600	96	3008
51		9				7300	7600	370	600	32	457
52	7-22	5 1	1 9		1 9	7300	7370	570	630	26	840
53	16-27	4			1 7 2	7680	7750	470	510	15	2100
54	10	5	7 2 1		8 2	7250	7300	550	590	58	1940
55	25-40	1	5 4 1			7280	7550	360	540	48	2633
56	3-4	1	2 5 3		Z	7393	7394	550	551	288	1
57	3-5	1 4	3 7		Z	7394	7394	550	550	72	2
58	4	2 6	5 3 1 1		2 6 2	7325	7600	360	610	3830	1
59	36-54	9	Z		1 9	7357	7357	485	485	15	19
60	10	2 6	5 4 1		1 7 2	7300	7540	360	610	2736	1
61	6	1	3 7		5 5	7300	7550	390	570	576	1
62	3-68	5	3 4 3			7470	7770	400	610	99	5148
63	8-19	5	5 3 2		5 4 1	7280	7670	360	530	478	336

64						7560		360	610	9175	
65	5-16	9	1 8 1	46		7324	7472	367	572	31	1500
66	8-10	2	6 4	1 5 4		7250	7520	360	620	53	688
67	9	6	9 1	6 2 2		7330	7530	400	500	5	360
68	4	9	5 5			7250	7400	400	560	60	2
69						7600				23	
70	7	1	Z	Z		7533	7533	467	467	24	108
71			Z	Z		7533	7533	466	466	24	108
72						7080	7650	370	620	11	
73	1-13	1	3 4 1 2	1 4 5		7280	7750	360	620	13000	5000
74	-40					7100				77	
75	3-30	9	6 4	4 4 1 1		7430	7530	380	430	37	25
76											
77			5 1 4	1 4 4 1		7350	7640	380	525	13	1072
78	2-4	5	5 4 1			7330	7550	370	600	59	
79		9	4 2 4			7200	7500	360	610	83	25
80	27-34	9 6	5 5	Z		7660	7690	460	500		
81	6-8	5	4 6	9 1		7300	7400	360	500	30	108
82	4-23	9	8 2	7 3		7470	7644	353	577	30	5300
83	13		Z	Z		7357	7357	442	442		
84	10	5				7000	7400	500	650		
85	7					7100	7300				
86	10	2 9	Z	3 7		7175	7290	546	552	93	53
87	10-12	2 3 4	6 4	1 5 4		7100	7270	420	660	27	350
101	5-17			9 1		7073	7589	404	621	552	20
102	2-8	9		1 4 5		7517	7645	370	548	341	105
103	4-59		6 2 2	4 4 1 1		7069	7749	252	646	63100	2
104						7500					

Liite 3. Analyyseissä käytettyjen muuttujien symbolit

Appendix 3. Definition of variables used in the analysis

Muuttujan symboli	Muuttujan nimi, määritelmä ja yksikkö Name, definition and unit of measurement Symbol of variable
ML	Männyn luontaisten taimien kokonaismäärä Number of Scots pine seedlings (Pituus - Height >0,1 m), Kpl/ha - No. per ha
KL	Kuusen luontaisten taimien kokonaismäärä - Number of Norway spruce seedlings (Pituus - Height >0,1 m), Kpl/ha - No. per ha
KOL	Koivujen luontaisten taimien kokonaismäärä - Number of birch seedlings (Pituus - Height >0,5 m), Kpl/ha - No. per ha
LEL	Muiden lehtipuiden kuin koivujen luontaisten taimien kokonaismäärä - Number of seedlings of other deciduous species (Pituus - Height >0,1 m) kpl/ha - No. per ha
SEKA(*)	Muiden kuin tavoitepuulajin taimien kokonaismäärä, kpl/ha. - Number of seedlings of species other than the desired species per hectare. (*) = Sisältyvät puulajit - Species included: m= Mänty - Scots pine, k = Kuusi - Norway spruce, ko= Koivut - Betula pendula and B. pubescens, le= Muut lehtipuut - Other deciduous species, ha= Muut havupuut - Other conifers, y= Kokonaismäärä - Total of all species. (Pituus - Height: Havupuut - Conifers h > 0,1 m. Lehtipuut - Deciduous h > 0,5 m).
KA(*)	Kasvatuskelpoisten taimien määrä, kpl/ha - Number of seedlings to be retained until first thinning. Ne sopivaa puulajia olevat, sopivan pituiset elinvoimaiset taimet, joilla taimikon tilajärjestyksen puolesta on mahdollisuus kasvaa käyttöpuun mittoihin. - Vigorous seedlings of suitable species that fit into the spatial distribution of the stand such that they can be retained at least until the first commercial thinning. Hehtaarikohmainen tavoite 2000 kpl/ha. Eräissä inventoinneissa joidenkin taimikoiden tiheys oli yli 2000 kl/ha. Ylitykset sallittiin 2500 kpl/ha asti. Siitä yli menevältä osalta vähennettiin muiden kuin tavoitepuulajin osuutta määrien suhteessa. The density objective was 2000 seedlings per hectare. Some survey observations were allowed to exceed the target up to 2500 seedlings per hectare. If the excess was greater, the total number was reduced by reducing the number of seedlings other than the main tree species in proportion to their number. Muiden kuin pääpuulajinpuulajin taimien maksimiosuus runkoluvusta kasvupaikkatyypeittäin - Maximum proportion of seedlings other than the main tree species out of the total number of seedlings by site type: (LMK= Lehtomainen kangas - Grass-herb site, TUOK= Tuore kangas - Moist upland site, KVK=Kuivahko kangas - Sub-dry upland site, KK= kuiva kangas - Dry upland site): Mänty - Scots pine: Kaikilla kasvupaikoilla - On all sites 100 %; Kuusi - Norway spruce: LMK & TUOK 100 %, KVK & KK 20 %; Koivut - Birches LMK 40 %, TUOK 20 %, KVK, 10 % KK 0 %. (*)=: Sisältyvät puulajit, ks. SEKA(*) - Species included, see SEKA(*)

- ELO Istutus: Elossa olleiden istutustaimien määrä jaettuna viljelymäärällä - *In planting, number of surviving planted seedlings divided by planting density.* Kylvö: Taimellisten kylvökohtien määrä jaettuna viljeltyjen kylvökohtien määrällä - *In sowing, number of sown patches with at least one surviving seedling divided by the number of sown patches.*
- PRO Istutus: Elossa olleiden istutustaimien määrä jaettuna ohjeellisella tai todellisella istutusmäärällä - *In planting, number of surviving planted seedlings divided by target or actual planting density.* Kylvö: Taimellisten kylvökohtien määrä jaettuna ohjeellisella tai todellisella viljeltyjen kylvökohtien määrällä - *In sowing, number of sown patches with at least one surviving seedling divided by target or actual number of sown patches.*
- H(Ke) Elossaolleiden viljelytaimien pituuksien aritmeettinen keskiarvo kenttäkoeaineiston koealalla, cm. Kylvössä vain kylvökohdan valtataimi. - *Arithmetic mean height of surviving planted or sown seedlings on a field experiment plot, cm. In sowing, only the dominant seedling of each sown patch included.*
- H(in) Elossa olleiden viljelytaimien ja samaa puulajia olleiden kasvatuskelpoisten taimien pituuden aritmeettinen keskiarvo inventointiaineiston taimikossa, cm. Kylvössä vain kylvökohdan valtataimi - *Arithmetic mean height of planted or sown seedlings and natural seedlings of the same tree species in a stand of a survey, cm. In sowing, only the dominant seedling of each sown patch included.*
- A Taimikon ikä kasvukausina. Viljelyssä viljelystä, luontaisessa maanpinnan käsittelystä lukien - *Age of the stand in number of growing periods. Starting from planting or sowing in artificial regeneration and from soil treatment in natural regeneration.*
- L Kasvukauden keskimääräinen lämpösumma 1951-80 Ojansuun & Henttosen (1983) malleilla laskettuna, dd - *Average effective temperature sum of the location in 1951-80 calculated using the models by Ojansuu & Henttonen (1983) in d.d. Kynnysarvo - Threshold value 5°C.*
- IND5 Maanmuokauskasvukauden ja sitä seuranneiden neljän kasvukauden keskimääräinen lämpösumma (L) Sodankylässä jaettuna 1951-80 keskimääräisellä lämpösummalla - *Average effective temperature sum (L) of the year when soil treatment was applied and of four successive years in Sodankylä divided by the average effective temperature sum of the period 1951-80.*
- Y Yhtenäiskoordinaatiston Y-koordinaatti
Value of the Y coordinate of the location in the Finnish coordinate system.
- X Yhtenäiskoordinaatiston X-koordinaatti
Value of the X coordinate of the location in the Finnish coordinate system.
- Z Maaston korkeus, metriä merenpinnan yläpuolella.
Altitude, m a.s.l.

- Z_{rel} Maaston korkeuden poikkeama malleilla tasoitetusta korkeudesta, metriä. *Deviation of the altitude of the location from the altitude estimated by regression models, m.*
- Maanpinnan käsittelytapa - *Soil treatment method:*
 0 = Ei käsittelyä - *Untreated*
 1 = Auraus - *Plowing*
 2 = Äestys - *Disc plowing*
 3 = Laikutus - *Scarification*
 4 = Mätästys - *Mounding*
- Kasvupaikkatyyppi - *Site type:*
 2 = Lehto, lehtomainen kangas - *Grove or grass-herb site*
 3 = Tuore kangas - *Moist upland site*
 4 = Kuivahko kangas - *Sub-dry upland site*
 5 = Kuiva kangas - *Dry upland site*
- Viljelytapa - *Method of artificial regeneration:*
 2 = Kylvö - *Sowing*
 3 = Istutus - *Planting*
- RIND Rinteen valemuuttuja - *Dummy variable for location on a slope: Rinne - Slope = 1, Muut maastomuodot - Other topographic formations = 0*
- LAIID Laikutuksen valemuuttuja - *Dummy variable for scarification: Laikutus - Scarification = 1, Muut käsittelytavat - Other soil treatment methods = 0*
- KYLVÖ Kylvön valemuuttuja - *Dummy variable for sowing: Kylvö - Sowing = 1, Istutus - Planting = 0*
- VILJA Viljavan kasvupaikan valemuuttuja - *Dummy variable for a fertile site: Kasvupaikkatyyppit 2 ja 3 - Site types 2 and 3 = 1, Muut kasvupaikkatyyppit - Other site types = 0.*
- KVD Kuivahkon kankaan valemuuttuja - *Dummy variable for a Sub-dry upland site type: Kasvupaikkatyyppi 4 - Site type 4 = 1, Muut kasvupaikkatyyppit - Other site types = 0.*
- KD Kuivan kankaan valemuuttuja - *Dummy variable for a Dry upland site type: Kasvupaikkatyyppi 5 - Site type 5 = 1, Muut kasvupaikkatyyppit - Other site types = 0.*
- VOIMA Voimaperäisen maanmuokkauksen valemuuttuja - *Dummy variable for intensive soil treatment: Maanpinnan käsittelytavat 1 ja 4 - Soil treatment methods 1 and 4 = 1, Muut menetelmät - Other methods = 0*
- AUD Aurauksen valemuuttuja - *Dummy variable for plowing: Maanpinnan käsittelytapa 1 - Soil treatment method 1 = 1, Muut menetelmät - Other methods = 0,*

Liite 4. Analyysiaineistojen muuttujien keski- ja hajontatunnukset. Muuttujien määrittely liitteessä 3.

Appendix 4. Means and deviations of the variables used in the analysis. See Appendix 3 for definitions.

Muuttuja Variable	Keskiarvo Mean	Keskihajonta Standard deviation	Minimi Minimum	Maksimi Maximum
Männyn siemenpuuhakkuu				
<i>Scots pine seed tree method (N=61)</i>				
Y	7474	7	7324	7644
X	476	64	535	594
Z	246	52	150	360
L	744	88	622	900
A	10	4	4	24
IND5	1,011	0,069	0,92	1,14
ML	3345	3502	80	15280
KL	471	760	0	4120
KOL	668	1299	0	8560
LEL	283	643	0	3120
SEKA (k, ko, le)	1421	2013	0	12920
KA (m)	1189	704	80	2515
KA (k)	96	158	0	960
KA (ko)	33	65	0	304
KA (y)	1318	691	100	2528
Kuusen kaistalehakkuu				
<i>Norway spruce strip felling method (N=25)</i>				
Y	7450	60	7300	7526
X	481	75	384	604
Z	236	56	100	300
L	771	71	702	946
A	8	2	4	14
IND5	0,99	0,05	0,926	1,059
ML	253	476	0	2594
KL	1160	1229	120	4440
KOL	1220	1626	0	5822
LEL	453	725	0	2970
SEKA (m, ko, le)	1926	2336	0	9178
Männyn viljely, kenttäkokeet (N=373)				
<i>Sowing and planting of Scots pine, permanent experiments</i>				
Y	7430	76	7175	7589
X	470	45	390	606
Z	229	55	130	365
L	793	66	651	901
A	7	2	6	14
<i>Kylvö-Sowing</i>				
ELO	0,568	0,26	0,02	0,98
H(ke)	27	14	9	90
<i>Istutus-Planting:</i>				
ELO	0,642	0,22	0,08	1,00
H(ke)	76	42	13	276
Männyn viljely, inventoinnit (N=253)				
<i>Sowing and planting of Scots pine, surveys</i>				
Y	7412	67	7270	7560
X	460	57	347	611
Z	195	53	50	340
L	821	63	664	961
A	11	4	3	19
PRO	0,372	0,24	0	1,04
KA (y)	1153	563	0	2500
H(in)	114	90	8	700

Kuusen viljely, kenttäkokeet (N=155)
Sowing and planting of Norway spruce, permanent experiments

Y	7415	86	7174	7585
X	480	69	364	606
Z	248	66	130	365
L	790	71	707	907
A	10	1	6	14
Kylvö-Sowing:				
ELO	0,519	0,13	0,25	0,86
H(ke)	25	8	12	51
Istutus-Planting:				
ELO	0,727	0,16	0,17	0,98
H(ke)	76	29	27	254

Lehtikuusen istutus
Planting of Siberian larch (N=55)

Y	7409	105	7175	7585
X	490	66	364	606
Z	254	64	130	365
L	784	73	650	907
A	10	2	6	14
ELO	0,640	0,21	0,11	0,98
H(ke)	137	44	55	245

Liite 5a. Analyysiaineistojen korrelaatiomatriisi; männyn siemenpuuhakkuu. Korrelaatiokerroin r (ylempi luku) ja sen p-arvo (alempi luku). N=56.

Appendix 5a. Correlation matrices of the data used in the analysis; Scots pine seed tree method. Coefficient of correlation r (upper figure) and its p-value (lower figure).

	A	IND5	Y	X	Z	L	ML
IND5	0,371 0,003						
Y	-0,004 0,978	-0,132 0,310					
X	-0,145 0,266	-0,182 0,160	0,278 0,030				
z	-0,035 0,789	0,015 0,907	0,660 0,0001	0,201 0,121			
L	0,016 0,904	0,120 0,357	-0,898 0,0001	-0,212 0,101	-0,847 0,0001		
ML	0,277 0,031	0,574 0,0001	-0,251 0,051	-0,193 0,136	-0,267 0,038	0,300 0,019	
KA(y)	0,456 0,0002	0,479 0,0001	-0,323 0,011	-0,370 0,003	-0,232 0,071	0,352 0,005	0,728 0,0001

Liite 5b. Analyysiaineistojen korrelaatiomatriisi; kuusen kaistalehakkua. Korrelaatiokerroin r (ylempi luku) ja sen p-arvo (alempi luku). N=25.

Appendix 5b. Correlation matrices of the data used in the analysis; Norway spruce strip felling method. Coefficient of correlation r (upper figure) and its p-value (lower figure).

	A	IND5	Y	X	Z	L	KL
IND5	0,546 0,005						
Y	-0,556 0,004	-0,411 0,041					
X	-0,258 0,214	0,262 0,206	0,025 0,906				
Z	-0,430 0,032	0,082 0,699	0,493 0,012	0,583 0,002			
L	0,520 0,008	0,086 0,684	-0,778 0,0001	-0,532 0,006	-0,888 0,0001		
KL	0,421	0,448	-0,183	0,108	0,215	-0,046	
SEKA (m,ko, le)	0,612 0,001	0,040 0,850	-0,511 0,009	-0,226 0,278	-0,460 0,021	0,531 0,006	0,329 0,108

Liite 5c. Analyysiaineistojen korrelaatiomatriisi; Männyn viljelyn kenttäkoeaineisto. Korrelaatiokerroin r (ylempi luku) ja sen p-arvo (alempi luku). N=373.

Appendix 5c. Correlation matrices of the data used in the analysis; Scots pine seeding and planting, permanent experiments. Coefficient of correlation r (upper figure) and its p-value (lower figure).

	A	Y	X	Z	L	ELO
Y	-0,239 0,0001					
X	0,293 0,0001	-0,328 0,0001				
Z	0,273 0,0001	0,316 0,0001	0,332 0,0001			
L	-0,045 0,384	-0,805 0,0001	0,011 0,829	-0,710 0,0001		
ELO	-0,228 0,0001	-0,054 0,302	-0,310 0,0001	-0,269 0,0001	0,270 0,0001	
H(ke)	0,724 0,0001	-0,224 0,0001	0,225 0,0001	-0,016 0,757	0,106 0,012	-0,010 0,850

Liite 5d. Analyysiaineistojen korrelaatiomatriisi; männyn viljelyn inventointiaineisto. Korrelaatiokerroin r (ylempi luku) ja sen p-arvo (alempi luku). N=253.

Appendix 5d. Correlation matrices of the data used in the analysis; Scots pine seeding and planting, surveys. Coefficient of correlation r (upper figure) and its p-value (lower figure).

	A	Y	X	Z	L	ELO	KA(y)
Y	0,023 0,715						
X	-0,130 0,039	-0,401 0,0001					
Z	-0,044 0,488	0,398 0,0001	0,314 0,0001				
L	-0,026 0,681	-0,765 0,0001	-0,066 0,293	-0,834 0,0001			
ELO	-0,460 0,0001	-0,010 0,871	-0,035 0,584	-0,118 0,062	0,102 0,105		
KA(y)	-0,498 0,0001	-0,115 0,079	0,057 0,383	-0,060 0,361	0,126 0,053	0,792 0,0001	
H(in)	0,602 0,0001	-0,076 0,261	-0,093 0,164	-0,095 0,158	0,096 0,151	-0,087 0,195	-0,238 0,0006

Liite 5e. Analyysiaineistojen korrelaatiomatriisi; kuusen viljely. Korrelaatiokerroin r (ylempi luku) ja sen p-arvo (alempi luku). N=155.

Appendix 5e. Correlation matrices of the data used in the analysis; Norway spruce seeding and planting. Coefficient of correlation r (upper figure) and its p-value (lower figure).

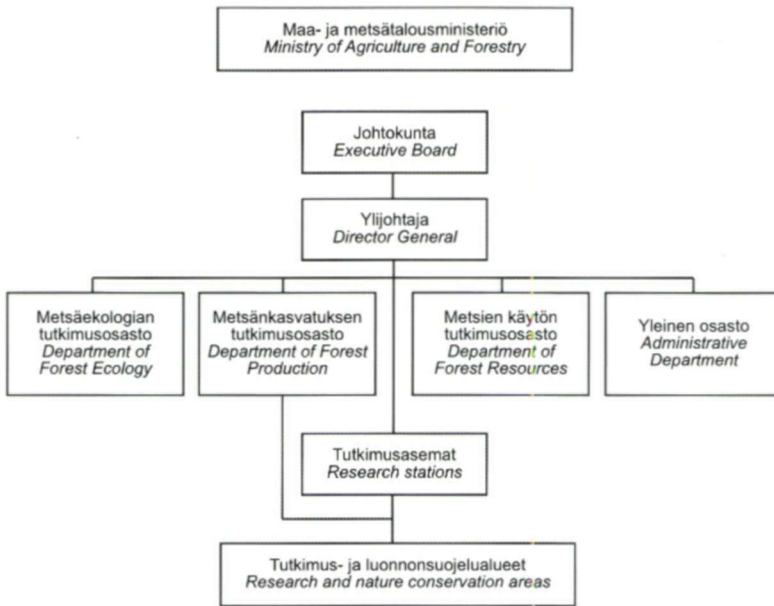
	A	Y	X	Z	L	ELO
Y	-0,288 0,0003					
X	-0,017 0,834	-0,426 0,0001				
Z	0,043 0,599	0,103 0,200	0,472 0,0001			
L	0,192 0,017	-0,714 0,0001	0,118 0,144	-0,415 0,0001		
ELO	-0,327 0,0001	-0,060 0,453	0,305 0,0001	0,0008 0,992	0,084 0,298	
H(ke)	0,119 0,141	-0,415 0,0001	0,266 0,0008	0,090 0,267	0,204 0,011	0,515 0,0001

Liite 5f. Analyysiaineistojen korrelaatiomatriisi; lehtikuusen istutus. Korrelaatiokerroin r (ylempi luku) ja sen p-arvo (alempi luku). N=55.

Appendix 5f. Correlation matrices of the data used in the analysis; planting of Siberian larch. Coefficient of correlation r (upper figure) and its p-value (lower figure).

	A	Y	X	Z	L	ELO
Y	-0,274 0,043					
X	-0,077 0,575	-0,492 0,0001				
Z	-0,024 0,866	-0,091 0,508	0,496 0,0001			
L	0,283 0,036	-0,745 0,0001	-0,025 0,855	-0,574 0,0001		
ELO	-0,491 0,0001	0,291 0,031	0,273 0,043	0,011 0,935	-0,334 0,013	
H(ke)	-0,050 0,719	-0,473 0,0003	0,446 0,0006	0,029 0,835	0,314 0,020	0,289 0,033

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE



Metsäntutkimuslaitos — The Finnish Forest Research Institute

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

Metsäekologian tutkimusosasto — Department of Forest Ecology

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — Department of Forest Production

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

Metsien käytön tutkimusosasto — Department of Forest Resources

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä (Aarne Reunala)

Tutkimusasemat — Research Stations

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- 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 turvemailla.
Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on
peatlands in northern Finland.
- 1992
- No 783 Riihinen, Arto & Uotila, Antti: Versosurman vaikutus varttuneiden männi-
köiden kasvuun.
Effect of Scleroderris canker on the growth of middle-aged Scots pine
stands.
- No 784 Siekkinen, Virpi & Pajuoja, Heikki: Suomen piensahat 1990.
Small sawmills in Finland, 1990.
- No 785 Kinnunen, Kaarlo: Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus
männyn kylvön onnistumiseen.
Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of
Scots pine.
- No 786 Ihalainen, Antti, Korhonen, Kari T. & Varjo, Jari: Puiden käyttöosan
mittauksiin perustuva metsurimittaus.
Estimation of harvested timber volume using treewise measurements
made during felling.
- No 787 Päivinen, Risto, Nousiainen, Merja & Korhonen, Kari T.: Puutunnusten
mittaamisen luotettavuus.
Accuracy of certain tree measurements.
- No 788 Saarihahti, Martti: Turpeen kokoonpuristuvuus ja tiealueen kuivatuspainu-
man arviointi.
Compressibility of peat and estimation of drainage settlement of a road
right-of-way.
- No 789 Voipio, Raili & Laakso, Tapio: Pienikokoisten puiden maanpäällisen
biomassan kemiallinen koostumus.
Chemical composition of the above ground biomass of small-sized trees.
- No 790 Aarne, Martti (toim.-ed.): Metsätilastollinen vuosikirja 1990–91.
Yearbook of forest statistics, 1990–91.
- No 791 Valkonen, Sauli: Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa.
Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland.