

FOLIA FORESTALIA 537

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1982

MATTI LEIKOLA, JYRKI RAULO
JA TIMO PUKKALA

MÄNNYN JA KUUSEN SIEMEN-
SADON VAIHTELUIDEN
ENNUSTAMINEN

PREDICTION OF THE
VARIATIONS OF THE SEED
CROP OF SCOTS PINE AND
NORWAY SPRUCE



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

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

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

FOLIA FORESTALIA 537

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1982

Matti Leikola, Jyrki Raulo ja Timo Pukkala

MÄNNYN JA KUUSEN SIEMENSADON VAIHTELUIDEN
ENNUSTAMINEN

Prediction of the variations of the seed crop of
Scots pine and Norway spruce

LEIKOLA, M., RAULO, J. & PUKKALA, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. Summary: Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce. *Folia For.* 537:1—43

Tutkimuksessa tarkastellaan männyn ja kuusen siemensatojen ennustamismahdollisuuksia 1—3 vuotta ennen siemenen varisemista. Ennustajamuuttujina käytetään mm. silmävaraisia kukkimis- ja käypysatoarvioita, hedekukintaa, aikaisempia siemensatoja sekä kukkimista edeltävän kasvukauden sääennustuksia. Siemensatomittaukset on tehty yhteensä 56 tutkimusmetsikössä, jotka sijaitsevat eri puolilla Suomea.

Jos kukkimis- ja käpyrunsausta ei arvioida joka vuosi samoissa metsiköissä, silmävaraisten arvioiden avulla saatu kuva siemensadon muutoksesta on etenkin männyllä melko epäluotettava.

Männyn ja kuusen siementuotannossa ratkaisevia ovat kukkimista edeltävän kasvukauden säät. Korkeat lämpötilat suurentavat, runsas sade ja pilvisuus pienentävät siementuotantoa. Kukkimista edeltävän kasvukauden 4—5 sääennustusta (esim. kuukauden keskilämpötila) selittivät noin 90 % yhden metsikön siementuotannon vaihteluista. Maahan varisevien hedetähteiden määrä on kuusella luotettavampi siemensadon ennustaja kuin männyllä.

This study examines the possibility of predicting variations in seed crops, 1—3 years prior to seed fall. Examples of variables used for prediction include visual assessments of flower and cone crops, anthesis, information about previous seed crops and climatic records of the preceding growing season. A total of 56 stands were studied and these were situated in different parts of Finland.

In Scots pine and Norway spruce the quantity of seed produced depends largely on weather conditions during the growing season prior to flowering. High temperatures increase the seed crop whilst abundant rainfall and cloud decrease it. By using 4—5 meteorological parameters (e.g. mean monthly temperature), observed during the growing season prior to flowering, it is often possible to explain approximately 90 % of seed crop variation in a single stand. The number of stamens cast to the ground is a more reliable predictor of the seed crop in spruce compared to Scots pine.

ODC 232.311.1+174.7 *Pinus sylvestris*+174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0593-7
ISSN 0015-5543

Helsinki 1982. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	5
3. TULOKSET	8
31. Siemensatomittausten ja -arvioiden keskinäinen riippuvuus	8
311. Mänty	8
312. Kuusi	11
32. Siemensadon ennustettavuus aikaisempien siemensatojen avulla	13
321. Mänty	13
322. Kuusi	14
33. Siemensadon ennustettavuus silmävaraisten arvioiden avulla	15
34. Siemensadon ennustemalli	17
341. Mänty	17
342. Kuusi	23
4. TARKASTELUA	28
5. KIRJALLISUUS	31
SUMMARY	32
LIITTEET	33

ALKUSANAT

Suomessa puiden siementuotantoon ja siemenvuosien kertautumiseen liittyvät selvitykset ovat olleet näkyvästi esillä metsäntutkimuksen alkuajoista lähtien. Jo vuonna 1924 aloitti professori Olli Heikinheimo Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosastossa männyn ja kuusen siementuotannon määrän systemaattiset mittaukset. Myös metsähallitus oli kirjannut ammattimiestensä vuosittain tekemiä havaintoja puiden kukkimisesta sekä käpy- ja siemensadoista jo 1890-luvulta alkaen. Professori Heikinheimon jälkeen Metsäntutkimuslaitoksen siemensatutkimuksia johti 1950-luvulta aina vuoteen 1974 saakka professori Risto Sarvas, jonka vaikutusaikana mittaukset huomattavasti laajenivat ja monipuolistuivat. Tämän jälkeen siemensatutkimuksiin liittyviä töitä on johtanut metsäntutkimuslaitoksessa tohtori Jyrki Raulo.

Käsillä olevan tutkimuksen aiheen muotoili ja sitä koskevan esitutkimuksen johti

erikoistutkija Matti Leikola 1970-luvun alussa. Tämä tutkimus on laadittu v. 1979—82 Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosastossa ja sitä on ohjannut erikoistutkija, fil. tri Jyrki Raulo. Metsänhoitaja Timo Pukkala on vastannut tietojen käsittelystä ja tehnyt aiheesta opinnäytetyön maatalous- ja metsätieteiden kandidaatin tutkintoa varten. Professori Matti Leikola on ohjannut häntä opinnäytetyön laadinnassa. Julkaisun käsikirjoituksen muokaus ja sen saattaminen painokuntoon on kaikkien tekijöiden yhteistyötä.

Laskuapulainen Liisa Kaukonen on huolehtinut ATK-lävistyksestä, toimistos sihteeri Liisa Salmi käsikirjoituksen puhtaaksikirjoituksesta ja ylioppilas Juha Siitonen useimpien kuvien piirtämisestä. Käännöstyön suomenkielestä englanniksi on tehnyt Mark Werren (M.Sc.). Tutkimuksen tekijät esittävät edellä mainituille henkilöille parhaat kiitöksensä.

Helsingissä 30.3.1982

Matti Leikola Jyrki Raulo Timo Pukkala

1. JOHDANTO

Luotettavat ennusteet siemensadoista auttavat ajoittamaan uudistushakkuut oikein ja parantavat näin huomattavasti uudistamisen onnistumismahdollisuuksia. Metsäpuiden siementuotannon vuotuinen vaihtelu onkin jo kauan ollut tutkijoiden mielenkiinnon kohteena. Jo 1870-luvulla julkaisi mm. Blomqvist (1876) havaintoja metsäpuiden siemenvuosien kertautumisesta. Männyn siemen- ja uudistumisvuosien esiintymistä Suomen eri osissa ovat sittemmin käsitelleet mm. Lakari (1915) ja Ilvessalo (1917). Heikinheimo (1932, 1937, 1948) aloitti v. 1924 systemaattiset siemensatomittaukset Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueissa eri puolilla Suomea. Heikinheimon jälkeen työtä jatkoi Sarvas (esim. 1948, 1962, 1965, 1968, Koski ja Tallqvist 1978).

Sarvas (Koski ja Tallqvist 1978) on esittänyt, että jokaisella metsiköllä on tietty maksimipotentiali eli ”kapasiteetti” tuottaa hede- ja emikukkia sekä siementä. Kapasiteetti toteutuu, kun kaikki puut osallistuvat kukintaan ja siemenen tekoon. Lisääntymisen hyväksi voidaan ohjata vain tietyn raja-arvon ylittävä osuus käytettävissä olevista raaka-aineista, muuten puuston olemassaolo joutuu uhanalaiseksi. Rajoittavan yhdisteen (yhdisteiden) kriittinen pitoisuus ylitetään suotuisina kasvukausina selvemmin kuin muulloin, joten kukinta ja siementuotanto on seuraavina kasvukausina suurinta. Koska maksimaalinen siemenentuottokyky riippuu suurimman mahdollisen puuston tuottaman siemenmäärän ja em. raja-arvon erotuksesta,

se on tavallisesti sitä suurempi mitä kookkaampaa puusto on.

Kapasiteettiajatuksen mukaan metsikön siementuotanto riippuu lähinnä puuston energiatilanteesta, joten siihen vaikuttavat samat ympäristötekijät kuin puiden yhteyttämiseen. Tämän vuoksi ei ole luultavaa, että esim. jokin ulkopuolinen signaali käynnistää lisääntymistoiminnot tai että kukkimisen vaihtelut johtuvat puiden geneettisestä rytmistä; ts. siementuotantoon ei oteta joi-nakin vuosina energiaa yhteyttämistuotteiden kokonaisvarastoista vegetatiivisen kasvun kustannuksella, vaan vain ylimäärä voidaan ohjata generatiivisiin prosesseihin. Sellainenkin siementuotannon rytmillisyyden runsasta satoa seuraavana vuonna saadaan tavallisesti niukanpuoleisesti siemeniä, vaikka kasvuolosuhteissa ei tapahtuisi huononemista, johtuisi tämän mukaan puuston heikentyneestä energiatilanteesta eikä perimän säätelämästä jaksollisuudesta.

Jo Lakari (1921) ja Heikinheimo (1937) totesivat, että kukkimista edeltävän kesän olosuhteilla on ratkaiseva merkitys siementuotannolle; kun kasvukausi on lämmin, suuri osa silmuista erilaistuu kukkasilmuiksi. Niinpä koivun siemensato on runsas seuraavana vuonna, kuusen kahden ja männyn kolmen vuoden kuluttua.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää mahdollisuuksia ennustaa männyn ja kuusen tulevaa siemensatoa käyttäen hyväksi eri ympäristötekijäin vuotuista vaihtelua sekä kukkimis- ja käypsatoarvioita.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetty *siemensatoaineisto* voidaan jakaa kahteen ryhmään seuraavasti:

1. Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston siemensatomittaukset vuosilta 1924—1946 ja 1954—1973.
2. Metsähallituksen vuosittain toimittamat silmävaraiset kukkimis-, käypsato- ja siemensatoarvioinnit v. 1924—1967.

Metsäntutkimuslaitoksessa seurattiin v. 1924—46 siemennyksen runsautta maahan vaakasuoraan asetettujen laatikoiden avulla. Laatikot olivat 1 m²:n laajuisia ja 10 cm korkeita. Ne tyhjennettiin aika ajoin ja niihin varissee siemenet lajiteltiin puolajettain. Kaikki siemenet leikattiin halki tyhjien siementen osuuden määrittämistä varten. Koska laatikot olivat talvella lumen alla, keväällä varisseeiden siementen kulkeutuminen hangella on kuitenkin saattanut heikentää tulosten luo-

tettavuutta. Useissa metsiköissä oli vain yksi siemenlaatikko, minkä vuoksi tulosten metsikkökohtaisen luotettavuuden arvioiminen on mahdotonta. Siemen varisemisen tasaisuutta oli kuitenkin pyritty seuraamaan asettamalla muutamia metsiköihin useita laatikoita; esim. eräällä Pyhäkosken kokeilualueen mäntysiemenpuualalla oli neljä siemenlaatikkoa, joihin kevätkesän 1927 kuluessa varisi 162, 188, 202 ja 155 siementä (Heikinheimo 1932). Mittauksia on suoritettu sekä yhden puulajin metsiköissä että sekametsiköissä.

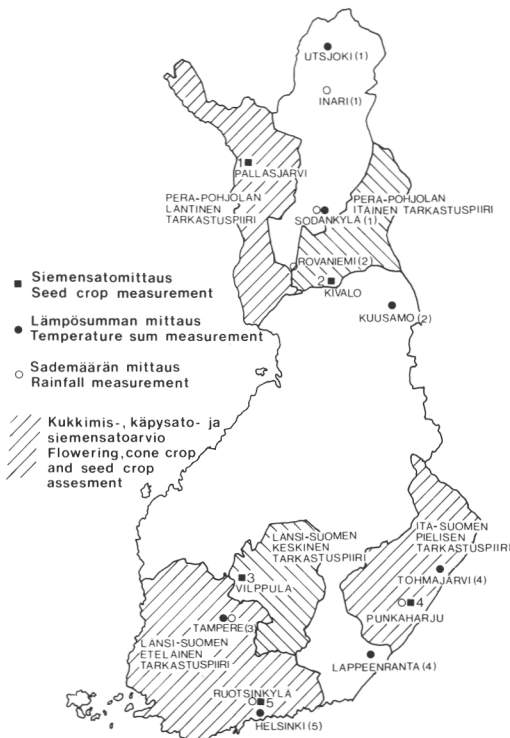
Vuosina 1954—73 Metsäntutkimuslaitoksen mittaukset tehtiin tasaikäisissä, varttuneissa yhden puulajin muodostamissa metsiköissä, jotka oli käsitelty toistuvien harvennuksin. Kutakin metsikköä edustava aineisto kerättiin siten, että tietyissä kohdissa kaikki putoava karie otettiin talteen. Tässä käytettiin suppilon muotoisia karikemittareita, joita kussakin metsikössä oli useita. Karikenäytteistä laskettiin siementen lisäksi mm. hedekukintojen tähtien määrä (Sarvas 1948, 1962, 1968, Koski ja Tallqvist 1978).

Metsähallituksen silmävaraiset arviointitiedot on saatu laskemalla tarkastuspiireittäin keskiarvot hoitoalueiden ilmoittamista kukkimis-, käypsato- ja siemensatohavainnoista. Hoitoalueiden ilmoitukset on annettu jokaisen vuoden syksyllä. Kukinta on arvioitu keväällä

hede- ja emikukkien määrän perusteella. Käypsato on ilmoitettu kuusella tuleentuneiden käpyjen ja männyllä sekä tuleentuneiden että ensimmäisen vuoden käpyjen määränä syksyllä. Siemensato on arvioitu kävyistä varisemisen määrän perusteella kevättalvella. Silmävaraiset arviot on ilmoitettu satoluokkina käyttäen seuraavaa asteikkoa.

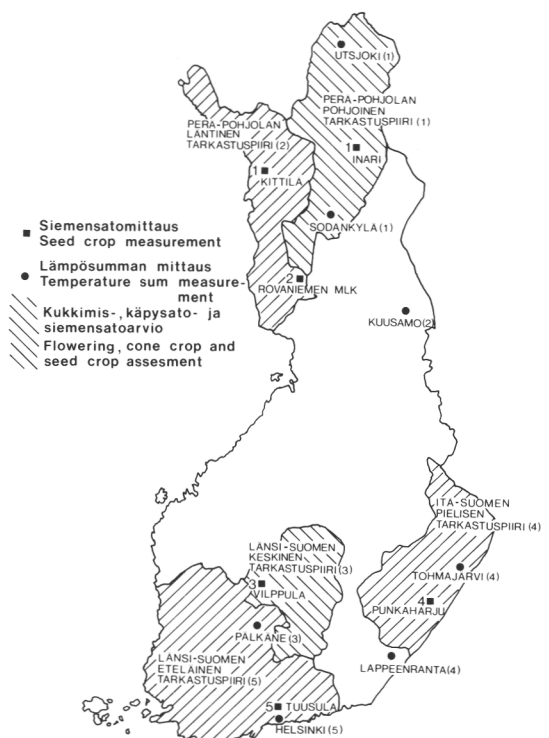
ei yhtään	0
hyvin vähän	1
vähänlaisesti	2
keskinkertaisesti	3
paljonlaisesti	4
runsaasti	5

Siementuotannon ennustamisessa käytetyt *säätunukset* ovat Ilmatieteen laitoksen sää-, lentosää- ja ilmastoasemilla mitattujen lämpötilan, sademäärän ja pilvisyyden kuukausikeskiarvoja sekä kasvukauden tehoisia lämpösummia. Lämpösumat on laskettu ns. vuorokausiasteina (*degree days*) käyttäen kynnsarvoa + 5 °C, ja ne on saatu pääasiassa Ilmatieteen laitoksen maatalousmeteorologian osastolta. Muut ilmastotiedot on poimittu Suomen meteorologisista vuosikirjoista v. 1924—1979.



Kuva 1. Alueet, joilla siemensadon mittaus- ja arviointituloksia on vertailtu. Numerot osoittavat ao. kokeilun alueen ja sitä vastaavan havaintoalueen taulukon 1 mukaisesti.

Fig. 1. Areas for which seed crop measurements and estimates are compared. Numbers indicate the experimental areas and their respective observation areas according to table 1.



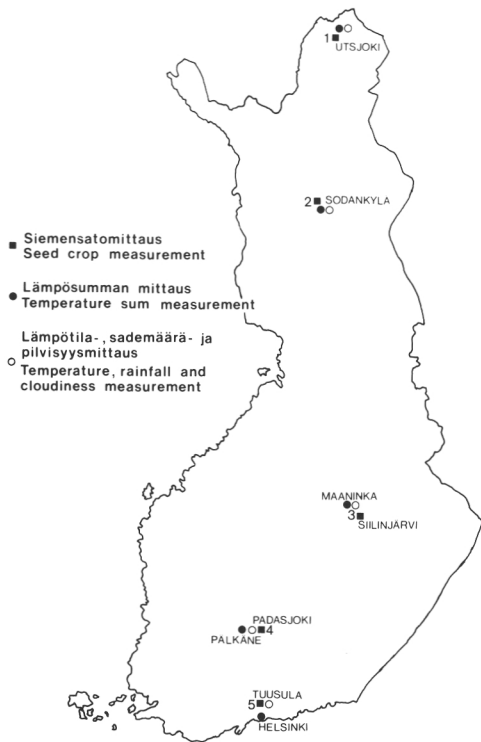
Kuva 2. Alueet, joilla siemensadon ennustettavuutta on tutkittu. Numerot osoittavat ao. kokeilun alueen ja sitä vastaavan havaintoalueen taulukon 2 mukaisesti.

Fig. 2. Areas where forecasting of seed crops has been studied. Numbers indicate the experimental areas and their respective observation areas according to table 2.

Ilmatieteen laitoksen sääasemilla pilvisyyttä arvioidaan useita kertoja päivässä silmävaraisesti asteikolla 0—8. Luku ilmoittaa, kuinka monta kahdeksasosaa taivaasta on pilvien peitossa. Klo 14 tehdyt pilvisyys-havainnot otettiin edustamaan koko päivää. Tätä tutkimusta varten pilvisyyshavainnot luokiteltiin uudelleen seuraavasti:

Ilmatieteen laitoksen käyttämä asteikko	Kuukauden keskimääräinen pilvisuus	Muutettu asteikko
—2,6		1
2,7—3,2		2
3,3—3,8		3
3,8—4,4		4
4,5—5,0		5
5,1—5,6		6
5,7—6,2		7
6,3—6,8		8
6,9—		9

Kuukauden keskilämpötila on laskettu kahdeksasta havainnosta, jos samalla on tehty kaikki havainnot klo 02, 05, 08 jne. Jos havaintoja on ollut vähemmän kuin kahdeksan, keskiarvoja on korjattu kuukaudesta ja havaintoajoista riippuvilla astemäärillä.



Kuva 3. Paikkakunnat, joille siemensadon ennustemalli on laadittu.

Fig. 3. Localities for which a seed crop forecasting model has been derived.

Em. aineistoista poimittiin havaintoryhmiä, joihin voitiin siemensatotietojen lisäksi liittää mahdollisimman monien vaihtelua selittävien muuttujien arvoja. Tutkimus jaettiin kolmeen vaiheeseen, joissa metsäpuiden siemensadon ennustettavuutta tarkasteltiin hieman eri näkökulmista.

Ensimmäisessä vaiheessa männyn ja kuusen siemensadon ennustettavuutta on tutkittu lähinnä silmävaraisten kukkimis- ja käypysatoarvojen perusteella. Tutkimuskohteiksi valittiin viisi Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita eri puolilta Suomea (liite 1, kuva 1). Metsäntutkimuslaitoksen vuosien 1924—46 siemensatomittauksien tuloksia pidettiin ns. oikeina tietoina metsiköiden siemensadoista (Heikinheimo 1932, 1937, 1948). Männyn siemensadon ennustettavuutta tutkittiin kaikissa em. viidessä kohteessa, mutta kuusen siemenyksenä oli riittävästi mittaustuloksia vain kolmesta pohjoisimmasta kokeilualueesta. Siemenlaatikoiden vähäisyyden aiheuttamien satunnaisvaihteluiden pienentämiseksi otettiin kunkin vuoden siementuotantoa kuvaamaan ao. kokeilualueen neljästä metsiköstä mitatun siemensadon keskiarvo. Nämä neljä metsikköä pyrittiin valitsemaan siten, että ne olisivat tiheydeltään, keskipituudeltaan, iältään ja puulajisuhteiltaan mahdollisimman samankaltaisia. Aineistoksi valittiin lähinnä täysitiheitä metsiköitä, koska niiden siemensadot kuvastavat parhaiten eri vuosien hyvyttä siementuotannon kannalta (mm. Heikinheimo 1937). Ruotsinkylän kokeilualueen kaikki neljä metsikköä ovat kuitenkin mänty-siemenpuukoealoja.

Tutkimuksen *toisessa vaiheessa* pyrittiin selvittämään männyn ja kuusen siementuotannon vaihteluiden samanaikaisuutta paikkakunnan eri metsiköissä. Pyrittiin ts. arvioimaan, voidaanko yhden metsikön siementuotannon perusteella laadittuja malleja käyttää myös lähialueiden metsiköiden siemensatojen ennustamiseen. Lisäksi tutkittiin siementuotannon riippuvuutta puiden hedekukinnasta, edellisten vuosien siemensadoista ja eräistä säätekijöistä sekä tarkasteltiin metsähallituksen kukkimis- ja käpyarvojen ennustearvoa. Tutkimuskohteet (liite 2, kuva 2) pyrittiin valitsemaan siten, että jokaiselta paikkakunnalta olisi ilmastohavaintojen ja silmävaraisten arviointitietojen lisäksi käytettävissä tarkat tiedot kahden saman puulajin metsikön siemensadoista. Tässä ei kuitenkaan täysin onnistuttu, sillä Punkaharjulta oli käytettävissä vain yhden kuusikon siemensatotiedot. Siemensatotiedot saatiin Kosken ja Tallqvistin (1978) julkaisusta.

Työn *kolmannessa vaiheessa* tavoitteena oli muodostaa malleja, jotka ennustavat mahdollisimman hyvin siemensatovaihteluita yhdessä metsikössä. Tutkimuskohteiksi valittiin seitsemän Metsäntutkimuslaitoksen siemensatotutkimuksen koelaa eri puolilta Suomea (liite 3, kuva 3). Koealoista neljä sijaitsi männiköissä ja kolme kuusikoissa. Ennustajamuuttujina käytettiin Ilmatieteen laitoksen ilmastohavaintoja, puiden hedekukintaa ja -edellisten vuosien siemensatoja. Aineisto kerättiin samoista lähteistä kuin tutkimuksen toisessa vaiheessakin.

Siementuotannon riippuvuutta eri tekijöistä tutkittiin korrelaatio- ja regressioanalyysien avulla. Ensiksi laskettiin satomäärien ja selittävien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet, ja korrelaatiomatriisien antaman informaation perusteella päätettiin, mitä regressioanalyysijä suoritettiin. Regressiomallit muodostettiin joko

siten, että yhtälöiden selittäjämuuttujat valittiin eksplisiittisesti, ja tietokoneohjelman avulla laskettiin osittaisregressiokerrointen estimaatit, tai käytettiin valikoivaa regressioanalyysiä, missä ohjelma valitsi sille osoitetusta muuttujajoukosta halutun määrän selittäviä muuttujia niiden selityskyvyn perusteella. Korrelaatiokerroimien merkitsevyyttä testattiin t-testillä tutkimalla,

miten merkitsevästi kertoimet poikkesivat nolasta. Yhden selittävän muuttujan mallien hyvyttä arvioitiin regressiokerroimien merkitsevyyksien ja mallien selityksasteiden avulla. Usean selittävän muuttujan mallien hyvyttä tutkittiin lisäksi F-testillä vertaamalla mallin selittämää osaa siementuotannon vaihtelusta selittämättä jääneeseen vaihteluun.

3. TULOKSET

31. Siemensatomittausten ja -arvioiden keskinäinen riippuvuus

311. Mänty

Ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin Metsäntutkimuslaitoksen siemensatomittausten ja metsähallituksen silmävaraisten arvioiden välisiä riippuvuuksia. Ilmastotunnuksista käytettiin lämpösomua ja sademäärää. Näiden muuttujien vuosien 1934—38 keskiarvot (viiden alueen tietojen keskiarvot) käyvät ilmi kuvasta 4. Kuvassa esiintyvä ns. muunnettu käpysatoarvio tarkoittaa, että käpysatoluokat on muunnettu absoluuttisiksi käpymääräksi puuta kohti Rummukaisen (1975) esittämiä muuntolukuja käyttäen. Nähdään, että silmävaraisten arvioiden vuotuinen vaihtelu on ollut vähäistä. Arvioiden vaihtelu on kuitenkin seurannut todellista satovaihtelua. Käpysadon silmävaraiset arviot muuttuvat mitattujen siemensatojen vaihdella enemmän kuin kukkimis- ja siemensatoarviot, joten käpysatoarvioiden antama kuva siemensadosta on luultavasti ollut luotettavampi kuin silmävaraisten kukkimis tai siemensatoarvioiden avulla saatu. Kukkimista edeltä-

vän kesän lämpösomua on ollut hyvin oleellinen sadon suuruuteen vaikuttava tekijä. Esim. kesä 1935 oli viileä ja vuonna 1938 männyn siemensato oli vastaavasti hyvin pieni; kesä 1937 taas oli lämmin, minkä seurauksena v. 1940 männiköissä varisi maahan runsaasti siemeniä. Kukkimista edeltäneen kesän sademäärällä ei juuri näytä olleen vaikutusta siementuotantoon.

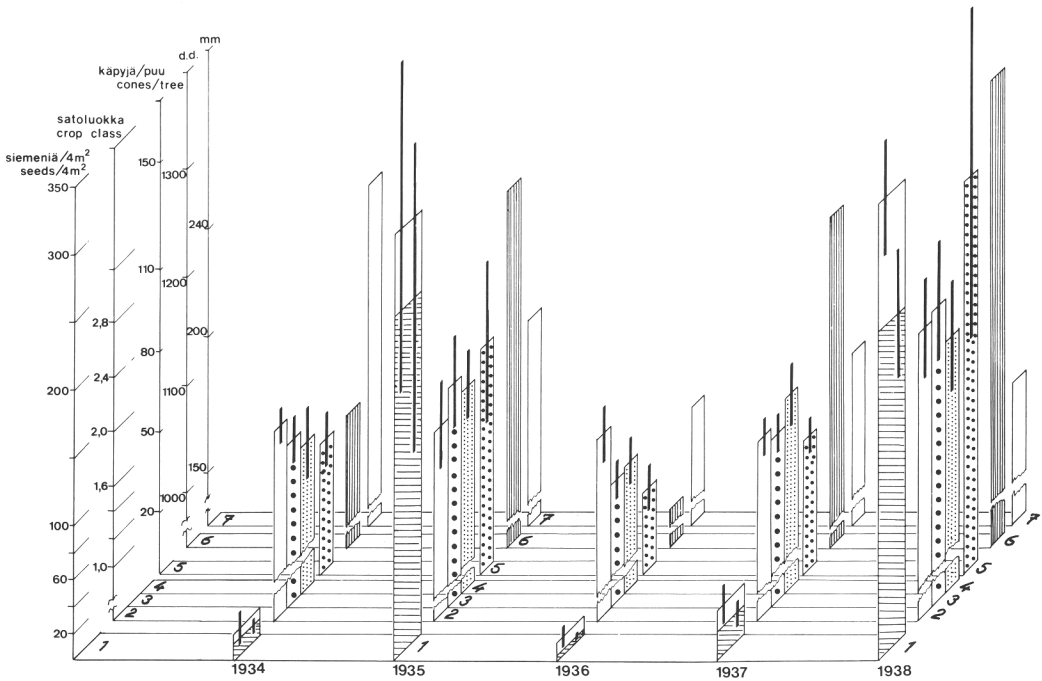
Kuvassa 5 on esitetty mitattujen satojen ja silmävaraisten arvioiden keskiarvot mitausjakson aikana eri tutkimuskohteissa. Silmävaraisten arvioiden vaihtelu on myös maan eri osien välillä huomattavasti vähäisempää (pylväät katkaistu) kuin siemensatojen. Satoja on ilmeisesti arvioitu Pohjois- ja Etelä-Suomessa erilaisilla asteikoilla, sillä satoluokkien keskiarvot ovat Pallasjärvellä ja Kivalossa kaikkein suurimmat, vaikka puiden mitatut siemensadot eivät siellä ole olleet sen suurempia kuin muualla. Silmävaraisten arvioiden perusteella laadittavat siemensadon ennustemallit onkin tehtävä erikseen maan eri osia varten, sillä tietty satoluokka merkitsee Etelä-Suomessa määrältään suurempaa siemensatoa kuin Pohjois-Suomessa.

Kuvassa 6 on esitetty siemensatojen sekä

Taulukko 1. Männyn mitattujen siemensatojen (täysinä siemeniä/m²) ja silmävaraisten kukkimis-, käpysato- ja siemensatoarvioiden väliset korrelaatiokerroimet.

Table 1. Pine - correlation coefficients between measured seed crops and visual assessments of flowering, cone crops and seed crops.

Kokeialue	Kukkimisarvio	Käpysatoarvio	Siemensatoarvio	Muunnettu käpysatoarvio
Experimental area	Flowering estimate	Cone crop estimate	Seed crop estimate	Transformed seed crop estimate
Korrelaatiokerroin — Correlation coefficient				
Pallasjärvi	0,79 *	0,99 ***	0,82 *	0,98 ***
Kivalo	0,77 **	0,92 ***	0,76 *	0,94 ***
Vilppula	0,20	0,64 **	0,55 *	0,62 **
Punkaharju	0,46	0,57 *	0,52	0,56 *
Ruotsinkylä	-0,56	0,79 *	0,76 *	0,84 **



Kuva 4. Männyn mitattujen siemensatojen, silmävaraisten arvioiden sekä lämpösunnan ja sademäärän (vähennettynä 500 mm:stä) keskiarvot ja hajonnat vuosina 1934—38. Hajonnat (merkitty viivoilla) kuvaavat maan eri osien välistä vaihtelua. Vuodet ovat kukkimisvuosia. Satoarvioita ja -mittauksia osoittavat pylväät on sijoitettu kuvaan siten, että tietyn vuoden satoa kuvaavat pylväät ovat ao. kukkimisvuoden kohdalla. 1. Siemensato (täydet siemenet: viivoitus), 2. Kukkimisarvio, 3. Käpysatoarvio, 4. Siemensatoarvio, 5. Muunnettu käpysatoarvio, 6. Kukkimista edeltävän kesän lämpösunna, 7. 500 mm — kukkimista edeltävän kesän sademäärä.

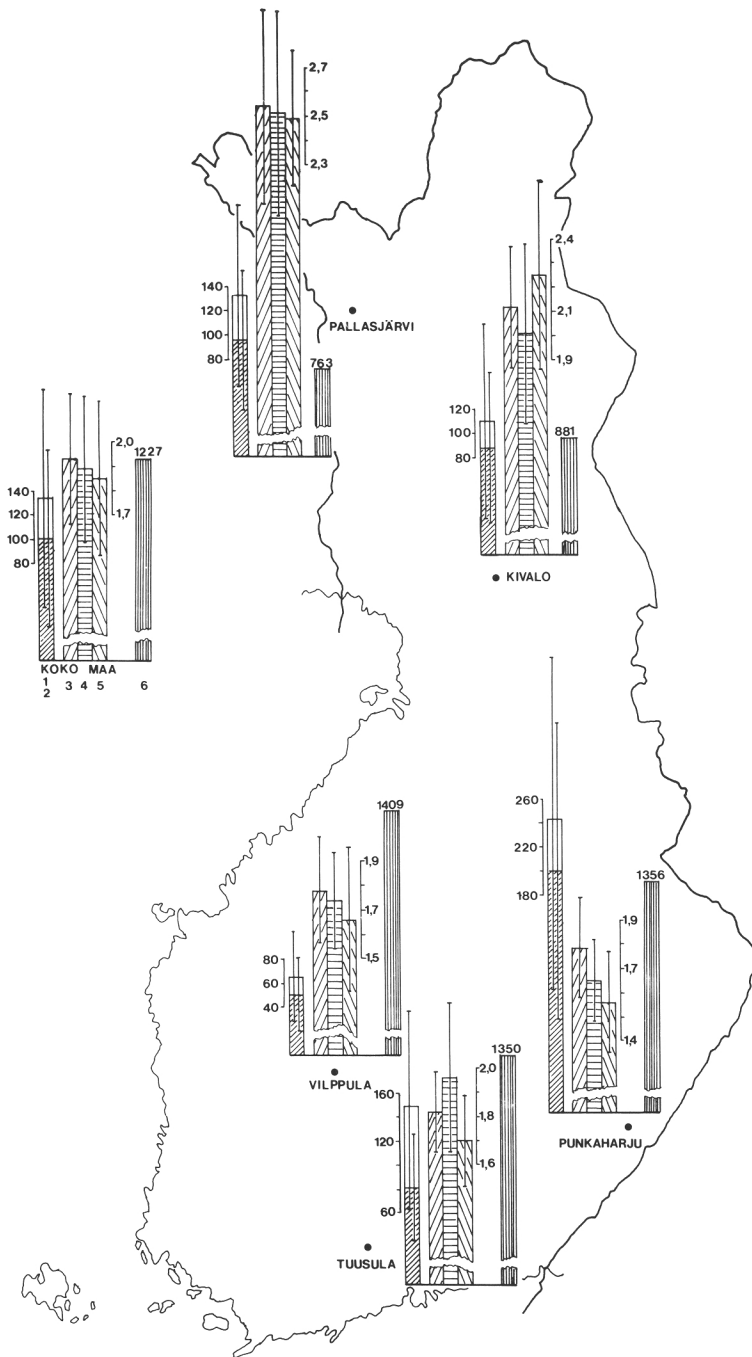
Fig. 4. Averages and standard deviations for measurements and visual assessments of pine seed crops, and temperature sum and rainfall figures (subtracted from 500 mm) during 1934—38. Standard deviations (marked with a dashed line) show the variation between different parts of the country. Years are flowering years. Columns indicating crop estimations and measurements are positioned so that those depicting a particular year's crop lie above the year of flowering. 1. Seed crop (full seeds: shaded), 2. Flowering estimate, 3. Cone crop estimate, 4. Seed crop estimate, 5. Transformed cone crop estimate, 6. Temperature sum for the summer prior to flowering. 7. 500 mm — total rainfall during the summer prior to flowering.

kukkimis- ja käpyarvioiden keskinäinen riippuvuus. Kuvaan ei ole merkitty Punkaharjun havaintoja; siellä riippuvuudet olivat hyvin heikkoja. Käpysatoarvioiden ja siemensatojen välinen riippuvuussuhde on huomattavasti selvempi kuin kukkimisarvioiden ja mitattujen siemensatojen välinen. Valtaosa siemensadoista on ollut niukkoja ja lähes kaikki silmävaraiset arviot ovat sijoittuneet satoluokkien ”hyvin vähän” ja ”keskinkertaisesti” välille.

Pallasjärvellä ja Kivalossa silmävaraisten arvioiden ja todellisten siemensatojen väliset korrelaatiot ovat olleet erittäin hyvät; muissa kokeilualueissa korrelaatiot ovat huomattavasti heikommat (taulukko 1).

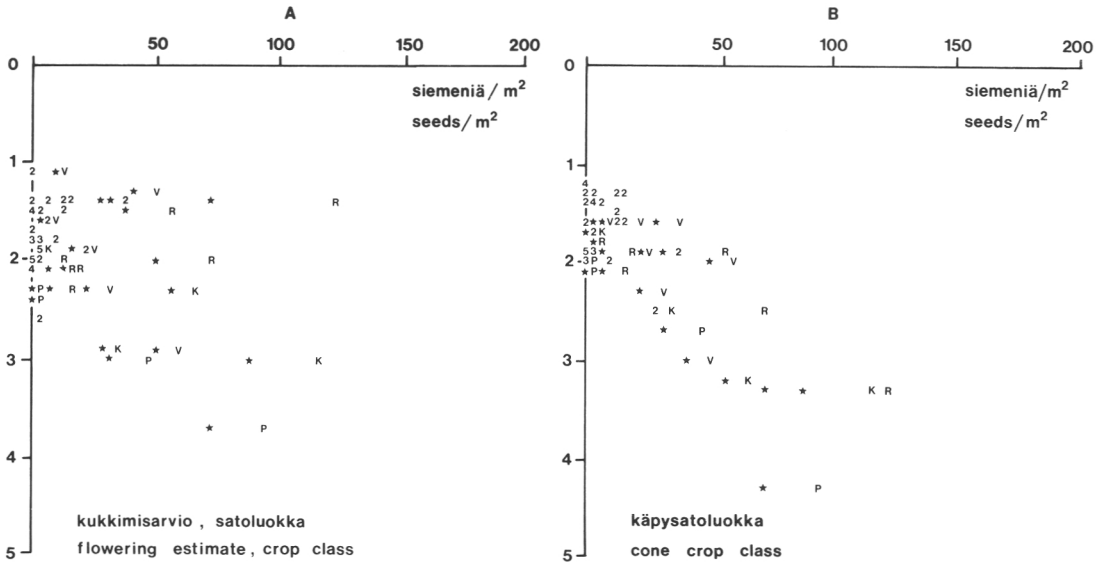
Kukkimisarvioiden ja satomittausten perusteella laadittiin muutamia regressioyhtälöitä Suomen eri osia ja koko maata varten (taulukko 2). Vain Pallasjärven yhtälöiden selitysasteet ovat tyydyttäviä. Koko maata varten laadittujen mallien selitysaste on huomattavasti huonompi kuin yhtä aluetta varten laadittujen mallien keskimääräinen selitysaste. Tämä johtuu lähinnä siitä, että — kuten aiemmin mainittiin — siemensatoja on arvioitu maan eri osissa erilaisilla asteikoilla.

Käpysatoarvioihin perustuvien regressiomallien, jos ennustettavana muuttujana on täysien siementen lukumäärä (lg) ja ennustajamuuttujana käpysatoluokka, selitysaste



Kuva 5. Männyn mitattujen siemensatojen sekä silmävaraisten kukkimis-, käypsä- ja siemensatoarvioiden keskiarvot ja hajonnat sekä lämpösunnan keskiarvot tutkimusjakson aikana eri kokeilualueissa. Hajonnat (merkitty janoilla) kuvaavat vuosien välistä vaihtelua. 1. Kokonaissiemensato, kpl/4 m², 2. Täydet siemenet (vinoviivitus), 3. Kukkimisarvio, 4. Käypsätoarvio, 5. Siemensatoarvio, 6. Lämpösomma.

Fig. 5. Pine - averages and standard deviations for measurements and visual assessments of flower, cone and seed crops, and average temperature sums during the study period in different study areas. Standard deviations (segmented lines) show the variation between years. 1. Total seed crop, number of seeds/4 m²; 2. Full seeds (angled shading); 3. Flowering estimate; 4. Cone crop estimate; 5. Seed crop estimate; 6. Temperature sum.



Kuva 6. Kukkimisarvioiden ja siemensatojen (A) sekä käpysatoarvioiden ja siemensatojen (B) keskinäiset riippuvuudet. Kirjaimet viittaavat siemensadon mittauspaikkoihin. Kun samaan kohtaan sijoittuu useita havaintoja, havaintojen lukumäärä on ilmaistu numerolla. P = Pallasjärvi, K = Kivalo, V = Vilppula, R = Ruotsinkylä, ★ = täydet siemenet.

Fig. 6. Relationships between (A) flowering estimates and seed crops and (B) cone crop estimates and seed crops. Letters indicate places where seed crops were measured. Where several recordings have been made at the same place the number of observations is given. P = Pallasjärvi, K = Kivalo, V = Vilppula, R = Ruotsinkylä, ★ = full seeds.

teet olivat jonkin verran parempia seuraavasti:

Pallasjärvi	80,5 %
Kivalo	77,3 %
Vilppula	27,1 %
Punkaharju	18,8 % ja
Ruotsinkylä	36,6 %

Edellisen perusteella näyttää siltä, että Pohjois-Suomessa silmävaraisten kukka- ja käpyarvioiden avulla on saatu huomattavasti luotettavampi kuva tulevasta siemensadosta kuin etelämpänä. Mahdollisesti hyvät kukkimis- ja käpyvuodet ovat Pohjois-Suomessa kiinnittäneet metsäammattimiesten huomiota enemmän kuin Etelä-Suomessa.

312. Kuusi

Kuvassa 7 on esitetty kuusen kukkimisvuosia 1934—48 vastaavien mitattujen siemensatojen ja metsähallituksen silmävaraisten arvioiden keskiarvot ja hajonnat kolmessa metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueessa: Pallasjärvellä, Kivalossa ja Vilppulassa. Jokaisen vuoden kohdalla on myös

esitetty kukkimisvuotta edeltävän kesän lämpösumman ja kuivuutta (500 mm-sademäärä mm:nä) esittävät pylväät. Kaikki vuodet ovat olleet hyvin niukkasatoisia. Tyhjiä siementen osuus on ollut tavallisesti yli 50 %. Silmävaraisten arvioiden vaihtelut ovat seuranneet melko hyvin sementtuotannon vaihteluita. Poikkeuksen muodostaa kukkimisvuosi 1937: kukkia ja käpyjä on arvioitu olleen ”vähänlaisesti” . . . ”keskinkertaisesti”, vaikka seuraavana keväänä ei ole saatu juuri lainkaan siementä. Siemensato on sen sijaan keväällä 1938 arvioitu oikein. Tämän aineiston perusteella ei voida päätellä kuusen sementtuotannon riippuneen kukkimista edeltäneen kesän lämpötilasta tai sademäärästä (vrt. liite 5).

Myös kuusen kukkimis- ja käpyrunsautta on ilmeisesti arvioitu erilaisilla asteikoilla maan eri osissa (kuva 8), sillä keskimääräiset satoluokat ovat olleet koko maassa suunnilleen samat (”vähänlaisesti”), vaikka esim. Vilppulan metsiköiden sementtuotanto on ollut huomattavasti runsaampaa kuin yhdessäkään Pohjois-Suomen kokeilualueessa.

Mitatun siemensadon ja metsähallituksen

Taulukko 2. Männyn silmävaraisten kukkimisarvioiden ja mitattujen siemensatojen välisiä regressioyhtälöitä.

Table 2. Regression equations for the relationship between visual assessments of flowering and measured seed crops.

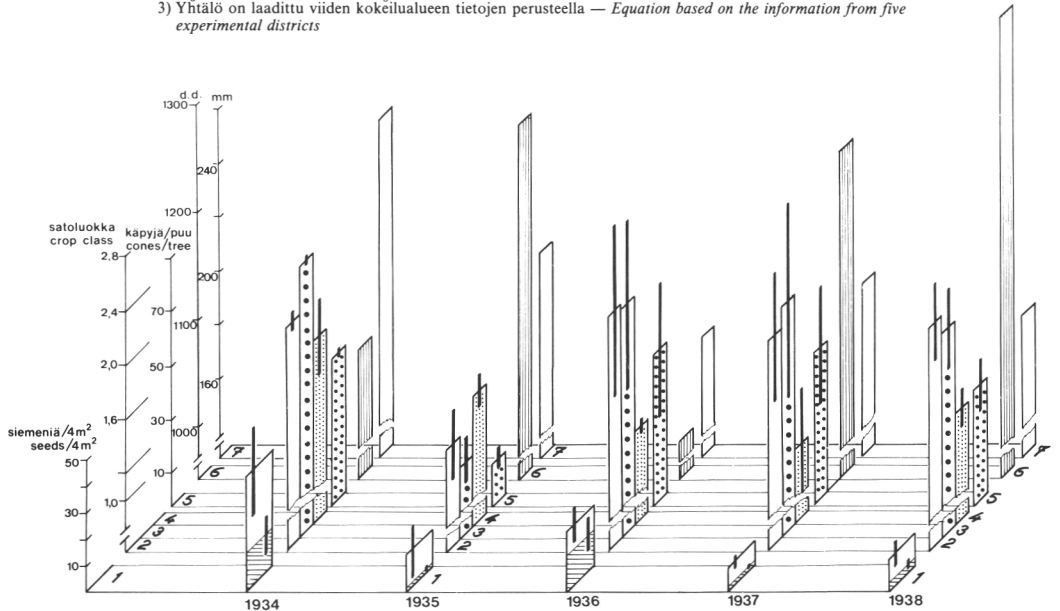
Kokeilualue Experimental area	Regressioyhtälö ¹⁾ Regression equation	Selitysaste Confidence coefficient	t-testisuure ja vapautasteet ²⁾ t-value and degrees of freedom
Kokonaissiemensato:			
<i>Total seed crop:</i>			
Pallasjärvi	(1) $\lg Y = -0,55 + 0,78X$	75,5 %	3,93* (5)
Vilppula	(2) $\lg Y = 1,20 + 0,07X$	0,2 %	0,19 (19)
Ruotsinkylä	(3) $\lg Y = 2,61 - 0,34X$	7,8 %	0,77 (7)
Koko maa ³⁾	(4) $\lg Y = 0,94 - 0,33X$	4,9 %	1,74 (59)
Whole country			
Täydet siemenet:			
<i>Full seeds only:</i>			
Pallasjärvi	(5) $\lg Y = -0,71 + 0,77X$	69,4 %	3,37* (5)
Vilppula	(6) $\lg Y = 1,08 + 0,09X$	0,3 %	0,22 (19)
Ruotsinkylä	(7) $\lg Y = 2,82 - 0,62X$	21,0 %	1,36 (7)
Koko maa ³⁾	(8) $\lg Y = 0,80 + 0,32X$	4,6 %	1,69 (59)
Whole country			

1) $Y =$ siemensato, kpl/4 m² — $Y =$ seed crop, number/4 m²

$X =$ kukkimisarvio, satoluokka — $X =$ flowering estimate, crop class

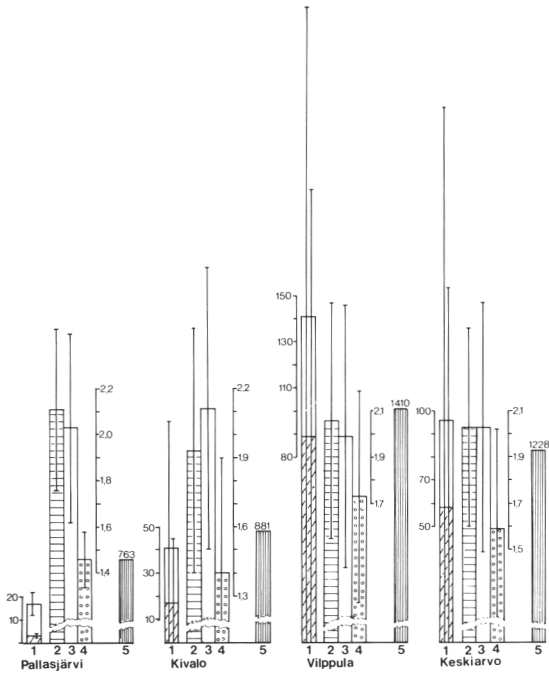
2) H_0 : regressiokerroin = 0 — H_0 : regression coefficient = 0

3) Yhtälö on laadittu viiden kokeilualueen tietojen perusteella — Equation based on the information from five experimental districts



Kuva 7. Kuusen mitattujen siemensatojen, silmävaraisten arvioiden sekä lämpösunnan ja sademäärän (vähennettynä 500 mm:stä) keskiarvot kukkimisvuosina 1934—38. Hajonnat kuvaavat maan eri osien välistä vaihtelua. Satoarvioita ja -mittauksia osoittavat pylväät on sijoitettu kuvaan siten, että tietyn vuoden satoa kuvaavat pylväät ovat a.o. kukkimisvuoden kohdalla. 1. Siemensato (täydet siemenet: viivoitus), 2. Kukkimisarvio, 3. Käpysatoarvio, 4. Siemensatoarvio, 5. Muunnettu käpysatoarvio, 6. Kukkimista edeltävän kesän lämpösunna, 7. 500 mm — kukkimista edeltävän kesän sademäärä.

Fig. 7. Spruce — average values for measurements and visual assessments of seed crops, with temperature sum and rainfall figures (subtracted from 500 mm) during the flowering years 1934—38. Standard deviations show the variation between different parts of the country. Columns indicating crop estimations and measurements are positioned so that those depicting a particular year's crop lie above the year of flowering. 1. Seed crop (full seeds: underlined), 2. Flowering estimate, 3. Cone crop estimate, 4. Seed crop estimate, 5. Transformed seed crop estimate, 6. Temperature sum for the year prior to flowering, 7. 500 mm — total rainfall during the summer prior to flowering.



Kuva 8. Kuusen mitattujen siemensatojen ja silmävaraisten arvioiden keskiarvot ja hajonnat sekä keskimääräiset lämpösummat eri kokeilualueissa tutkimusjakson aikana. Hajonnat kuvaavat vuosien välistä vaihtelua. 1. Siemensato, kpl/4 m² (täydet siemenet: viivoitus), 2. Kukkimisarvio, 3. Käpysatoarvio, 4. Siemensatoarvio, 5. Lämpösumma.

Fig. 8. Spruce - average and standard deviations for measurements and visual assessments of seed crops and average temperature sums in different study areas during the study period. Standard deviations show the variation between years. 1. Seed crop, number of seeds/4 m² (full seeds: shaded), 2. Flowering estimate, 3. Cone crop estimate, 4. Seed crop estimate, 5. Temperature sum.

silmävaraisten arvioiden tarkastuspiireittäisten keskiarvojen väliset korrelaatiokertoimet käyvät ilmi taulukosta 3.

Kivalon puhtaiden kuusikoiden siemensadot olisi ilmeisesti pystytty ennustamaan melko luotettavasti kukkimis- ja käpysatoarvioiden avulla.

Silmävaraisten kukkimisarvioiden ja siemensadon mitattujen määrien välisen riippuvuuden suuruuden estimoimiseksi laadittiin seuraavat regressioyhtälöt:

Yhtälöissä Y = maahan varisevien täysien siementen lukumäärä neljää (Vilppulassa kolmea) neliometriä kohti ja X = kukkimisarvio satoluokkana. t -testisuure ja vapausasteet ilmaisevat, miten merkitsevästi regressiokerroin poikkeaa nolasta. Kivalon puhtaiden kuusikkojen ja Vilppulan mäntykuusi-sekametsien (kuusen) siemensadot olisi nähtävästi pystytty ennakoimaan tyydyttävästi alueelta hankittujen silmävaraisten kukkimishavaintojen perusteella.

32. Siemensadon ennustettavuus aikaisempien siemensatojen avulla

321. Mänty

Siemensadon ennustamismahdollisuuksia tarkasteltiin kahden edellisen sadon ja kolmen siemenen varisemista edeltävän kasvukauden lämpösummien avulla (taulukko 7). Kukkimista edeltäneen kesän lämpösummalla on etenkin Pohjois-Suomessa ollut huomattava vaikutus siementuotannon suuruuteen. Kukkimisvuoden lämpöolot eivät sitä vastoin näytä vaikuttaneen lainkaan täysien siementen määrään. Tuleentumisvuoden lämpösumman ja täysien siementen lukumäärän välinen korrelaatiokerroin on Pallasjärvellä yllättäen negatiivinen. Heikinheimon tutkimuksissa ilmeisesti valtaosa tyhjiksi luokitelluista siemenistä on ollut vajaasti tuleentuneita (katso Heikinheimo 1937, ss. 24—25). Pallasjärvellä on ilmeisesti mittausjakson aikana hyviä kukkimisvuosia seuraavina kasvukausina ollut aina sen verran lämmintä, että siemen on ennättänyt tuleentua, tai sellaisia kasvukausia edeltävinä kesinä, jolloin lämpösumma on ollut liian pieni siemenen tuleentua, männyt eivät ole kukkineet. Tuleentumiskesän lämpimyyden vaikutus täysien siementen määrään on ratkaiseva vain tietyllä, suppealla lämpösumma-alueella (Sarvas 1965), ja korrelaatiokerroin kuvaa tällaista riippuvuutta varsin huonosti.

Kahden edellisen siemensadon vaikutusta siementuotantoon kuvaavat korrelaatioker-

Kokeilualue	Yhtälö	Selitysaste	t -testisuure ja vapausasteet
(9) Pallasjärvi	$\lg Y = 0,352 + 0,071X$	13,0 %	0,86 (5)
(10) Kivalo	$\lg Y = -0,445 + 0,499X$	62,6 %	3,66** (18)
(11) Vilppula	$\lg Y = -0,862 + 0,844X$	69,2 %	6,53*** (19)

Taulukko 3. Kuusen mitattujen siemensatojen (täysisiä siemeniä/m²) ja silmävaraisten kukkimis-, käypsato- ja siemensatoarvioiden väliset korrelaatiokertoimet.

Table 3. Spruce - correlation coefficients between measured seed crops and visual assessments of flowering, cone crops and seed crops.

Kokeilualue	Kukkimisarvio	Käypsatoarvio	Siemensatoarvio	Muunnettu käypsatoarvio ^{x)}
	Flowering estimate	Cone crop estimate	Seed crop estimate	Transformed seed crop estimate
Experimental area	Korrelaatiokerroin — Correlation coefficient			
Pallasjärvi	0,38	0,46	-0,09	0,45
Kivalo	0,86**	0,82**	0,92***	0,96***
Vilppula	0,61**	0,53**	0,47*	0,53**

x) ks. Rummukainen 1956, 1975

Taulukko 4. Männyn siementuotannon riippuvuus kolmen siemenen varisemisesta edeltävän kasvukauden lämpösommasta sekä kahdesta edellisestä siemensadosta.

Table 4. Pine - dependence of seed production on the temperature sums of the three growing seasons prior to seed fall, and on seed crops of the last two years.

Kokeilualue	Lämpösomma, d.d.			Siemensato, lg(kpl/m ²)	
	Temperature sum, degree days			Seed crop, log(number/m ²)	
	Kukkimista edeltävä kesä	Kukkimis-kesä	Tuleentumis-kesä	Kukkimis-kesä	Tuleentumis-kesä
Experimental area	Summer prior to flowering	Flowering summer	Ripening summer	Flowering summer	Ripening summer
	Korrelaatiokerroin — Correlation coefficient				
Pallasjärvi	0,73	-0,07	-0,29	-0,28	-0,27
Kivalo	0,65	0,03	0,81**	-0,41	0,04
Vilppula	0,54*	0,06	0,10	-0,39	-0,21
Punkaharju	0,37	-0,22	0,37	0,03	-0,34
Ruotsinkylä	0,39	-0,37	0,27	-0,27	-0,23

toimet (liite 4) viittaavat siihen, että suotuisissa oloissa (Punkaharju) tuleentumisvuoden sato on ollut ratkaiseva, mutta muissa kokeilualueissa myös kukkimisvuoden siemensato on vaikuttanut ko. vuoden kukintaa vastaavaa satoa pienentävästi. Siementuotannon ja ennustajamuuttujien välisistä korrelaatiokertoimista nähdään lisäksi, ettei kuusen siementuotannon määrän mittaamisesta ole suurtakaan apua männyn seuraavan vuoden siementuotantoa ennustettaessa. Vain Pallasjärvellä, missä männyn ja kuusen siemensatoja mitattiin samoissa metsiköissä, oli kuusen siementuotannon määrän ja männyn seuraavan kevään siemensadon välillä selvä positiivinen korrelaatio.

Lopuksi tarkastellaan esimerkinomaisesti yhtälöä, jolla voidaan laskea Kivalossa ja lähialueilla sijaitsevien täystiheiden, nuorehkojen männiköiden siemensatoennusteet kukkimisvuoden kesäkuussa. Mallin

$$(12) \lg Y = -7,47 + 0,0427X_1 - 0,0002X_1^2 - 10,46X_2 + 2,31X_2^2$$

muuttujat ja selityksasteen menetykset laa-

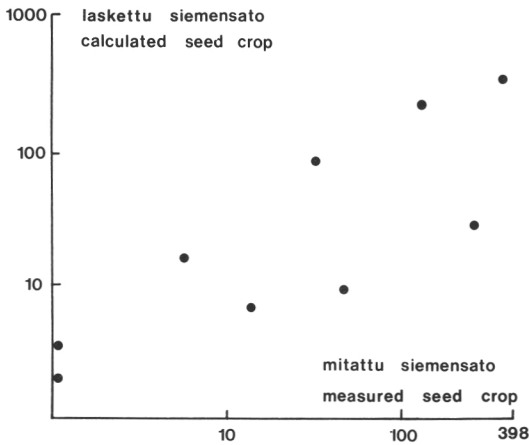
dittaessa malli ilman yhtä muuttujaa ovat seuraavat:

Muuttuja		Selityksasteenmenetykset
Symboli	Nimi	
	Kukkimista edeltävän kesän	
X ₁	lämpös., d.d.	8,6 %
X ₁ ²	lämpösomman neliö	7,2 %
	Silmävarainen kukkimisarvio,	
X ₂	satoluokka	17,6 %
X ₂ ²	satoluokan neliö	19,6 %
Y	Täysien siementen määrä, siemeniä/4 m ²	

Mallin selityksastetta, 67,6 %, voidaan pitää tyydyttävänä. Yhtälö (12) olisi ilmeisesti melko käyttökelpoinen, jos käytettävissä olisi metsähallituksen silmävaraisia kukkimisarvioita vastaavia tietoja, sillä se estimoi runsaat sadot varsin luotettavasti (kuva 9).

322. Kuusi

Kuten tunnettua, kuusella on harvoin kaksi hyvää siemenvuotta peräkkäin. Edellisen



Kuva 9. Kivalon kokeilualan männikön mitattujen siemensatojen ja yhtälön 12 avulla laskettujen siemensatojen regressioarvojen välinen riippuvuus.

Fig. 9. Pine - regression relationship between measured seed crops and calculated seed crops (equation 12) for a stand in the Kivalo experimental area.

sadon ($\lg(\text{siemeniä}/\text{m}^2)$) vaikutusta täysien siementen määrään (\lg) kuvaavat seuraavat korrelaatiokerroimet: Pallasjärvi $-0,75$, Kivalo $-0,32$ ja Vilppula $-0,21$. On huomattava, että korrelaatiokerroin kuvaa kuusen peräkkäisten vuosien satomäärien välistä riippuvuutta melko huonosti; runsas siementuotanto pienentää merkittävästi seuraavaa satoa, mutta peräkkäisten niukkojen satojen välillä ei ole minkäänlaista tilastollista riippuvuutta.

33. Siemensadon ennustettavuus silmävaraisten arvioiden perusteella

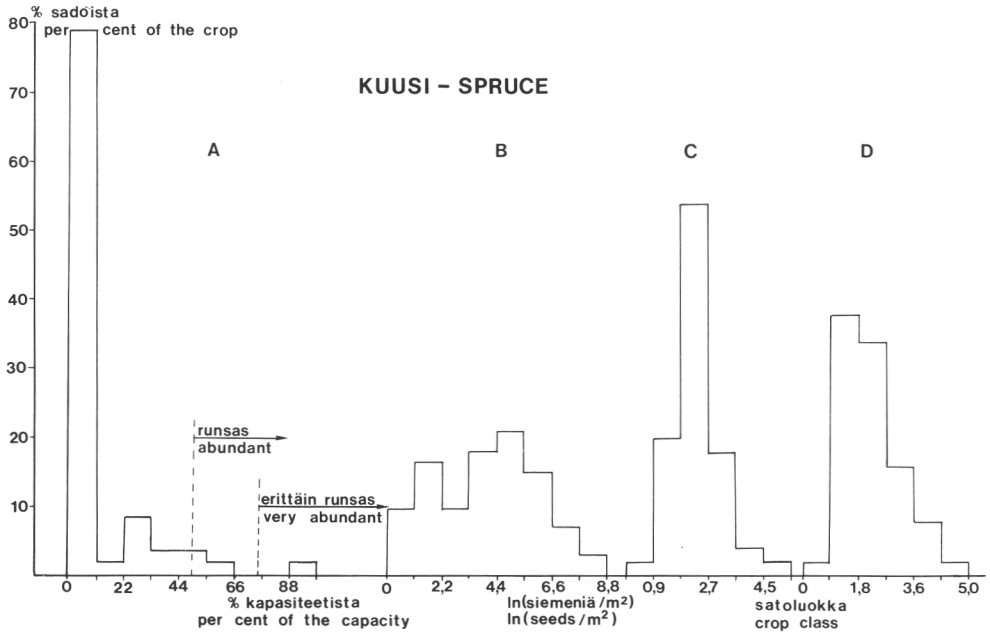
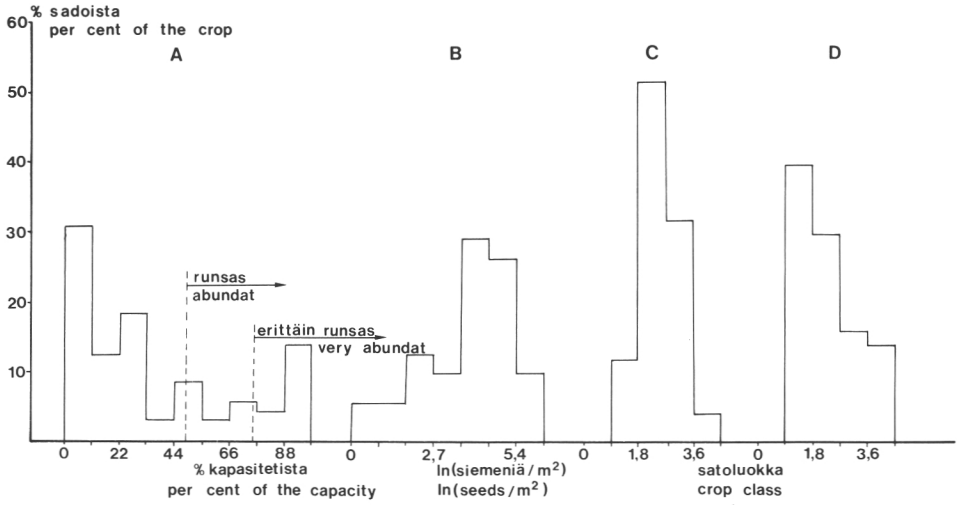
Käytettävissä olleiden tietojen perusteella tutkittiin miten hyvin silmävaraiset arviointitiedot kelpaavat siemensatojen ennustamiseen sekä miten yhdenmukaista siementuotannon ja hedekukinnan vaihtelu on ollut saman paikkakunnan eri metsiköissä. Puusoltaan erilaisten metsiköiden siementuotannon saamiseksi vertailukelpoiseksi muutettiin siemensadot ja hedetähteiden määrät osuiksi metsiköiden suurimman mahdollisen tuotoksen määrästä (= kapasiteetista). Kapasiteetit laskettiin Kosken ja Tallqvistin (1978) julkaisemilla yhtälöillä, jotka perustuvat oletuksiin, että männyllä kapasiteetti on metsikön valtapituuden funktio, mutta että kuusella myös runkoluku vaikuttaa metsikön maksimaaliseen siementuotokseen.

Männyn kukkien ja käpyjen määrät on arvioitu useimmiten keskinkertaisiksi, vaikka todellisuudessa keskinkertaisia satoja on ollut kaikkein vähiten (kuva 10). Runsaat männyn siemensadot on ilmeisesti ennakoitu keskinkertaisiksi. Kuusella silmävaraiset arviot ovat jakautuneet tasaisemmin eri luokkien kesken. Jakaumat B ja D muistuttavat paljon toisiaan (huom. erilainen luokkien lukumäärä), mikä viittaa siihen, että kuusen käpysadot on arvioitu ”oikein”, ja että käpymäärät on arvioitu logaritmisella asteikolla. Koska kuusen silmävaraisten arvioiden jakaumassa esiintyy myös ääriluokkia, poikkeuksellisen hyvät siemensadot on ilmeisesti saatu esiin kukka- ja käpyrunsaudesta tehtyjä havaintoja analysoiden.

Tutkimusmetsiköiden keskimääräiset kukkimis- ja siennysrunsaudet mittaajakson aikana selviävät kuvasta 11. Kunkin paikkakunnan kohdalle on myös merkitty silmävaraisten arvioiden keskiarvot. Metsähallituksen ammattimiesten arvioiden keskiarvot ovat nytkin maan eri osissa lähes samat, vaikka todellisuudessa puiden siementuotanto ja kukkiminen on Etelä-Suomessa ollut runsaampaa kuin pohjoisempana. Männiköt ovat kukkineet ja tuottaneet siementä suhteellisesti paljon runsaammin kuin kuusikot; silmävaraisissa arvioissa sitä vastoin ei ole eroja myöskään eri puulajien välillä. Se, että saman paikkakunnan eri metsiköiden keskimääräiset suhteelliset tuotokset eivät ole olleet samat, johtuu osittain siementuotannon mittaajakson eriaikaisuudesta, mutta nähtävästi myös kapasiteetin määrittämisen epätasaisuus on aiheuttanut näennäisiä eroja metsiköiden välille. Kapasiteettiin vaikuttavat ilmeisesti muutkin tekijät kuin metsikön valtapituus ja (kuusella) runkoluku; esim. puuston ikä ja kasvupaikan ravinteisuus luultavasti aiheuttavat eroja metsiköiden kyvyssä tuottaa kukkia ja siementä. Myös esim. se, että Kittilän kuusikot ovat olleet tuottoisampia kuin Rovaniemen, saattaa osittain johtua joko siitä, että Kittilän kuusiköiden kapasiteetti on määritetty liian pieneksi, tai siitä, että Rovaniemen kuusiköiden kapasiteetti ei todellisuudessa ole niin suuri kuin miksi se on oletettu.

Siementuotannon alueellista samanaikaisuutta voidaan tarkastella myös yksittäisiä satoja vertailemalla. Etenkin hyvinä siementuotantoina paikkakunnan eri männiköt ovat

MÄNTY - PINE



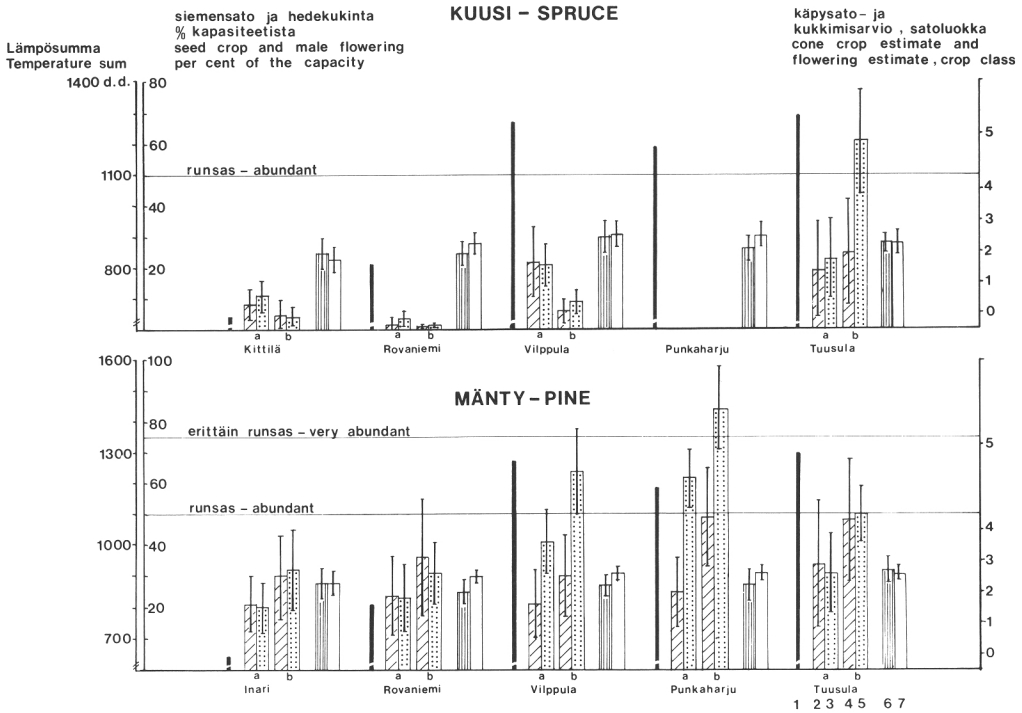
Kuva 10. Männyn ja kuusen siemensatojen (A ja B) ja silmävaraisten kukkimis- (C) ja käpysatoarvioiden (D) jakaumat.

Fig. 10. Distributions of pine and spruce seed crops (A and B) and visual assessments of flower (C) and cone (D) crops.

tuottaneet siementä erilaisella teholla (kuva 12).

Edellisten tarkastelujen perusteella voidaan olettaa, etteivät yhden metsikön tuotannon mittausten perusteella laaditut siemensadon ennustemallit ole käyttökelpoisia kovin laajalla alueella, eivätkä varsinkaan metsiköissä joiden puusto poikkeaa huomattavasti siitä metsiköstä, missä siemensatomittaukset on tehty. Kun erilaisten metsiköiden kapasiteetti opitaan määrittämään nykyistä paremmin, mallien käyttöaluetta voidaan laajentaa.

Tutkimuksen tässä vaiheessa lasketut korrelaatiokertoimet on esitetty liitteessä 6 ja 7. Siementuotannon ja silmävaraisten arvioiden



Kuva 11. Keskimääräinen siementuotanto ja hedekukinta sekä lämpösunnan ja silmävaraisten kukkimis- ja käpysatoarvioiden keskiarvot siemensadon mittausjakson aikana eri tutkimuskohteissa. Hajonnat (merkitty janoilla) kuvaavat vuosien välistä vaihtelua. Silmävaraisten arvioiden asteikko on muodostettu siten, että luokka 5 ("runsaasti") alkaa kohdasta, jossa siemensadon asteikolla on 50 % kapasiteetista, ja loppuosa asteikosta on jaettu tasan muiden satoluokkien kesken. 1. Lämpösomma, 2. Siemensato metsikössä a, 3. Hedekukinta metsikössä a, 4. Siemensato metsikössä b, 5. Hedekukinta metsikössä b, 6. Käpysatoarvio, 7. Kukkimisarvio.

Fig. 11. Averages of seed production, anthesis, temperature sum and visual assessments of flower and cone crops, made during the study period at different study locations. Standard deviations (segmented lines) show variation between years. The visual assessment scale is such that class 5 ("abundant") begins at that point where the seed crop is 50 % of full capacity, and the rest of the scale is divided equally between the other crop classes. 1. Temperature sum, 2. Seed crop in stand a, 3. Anthesis in stand a, 4. Seed crop in stand b, 5. Anthesis in stand b, 6. Cone crop estimate, 7. Flowering estimate.

väliset korrelaatiokerroimet ovat nyt etenkin Pohjois-Suomessa oleellisesti pienempiä kuin edellisessä osassa saadut. Voidaan päätellä, että tietyltä alueelta kerättyjen silmävaraisten kukka- ja käpyarvioiden keskiarvon perusteella on mahdollista saada vain hyvin likimääräinen ennuste yhden tällä alueella sijaitsevan metsikön siementuotannosta. Alueen keskimääräinen siementuotanto sitä vastoin lienee mahdollista ennustaa em. arvioiden avulla luotettavastikin, kunhan silmävaraisten arvioiden ja todellisten satomäärien vastaavuudet tunnetaan.

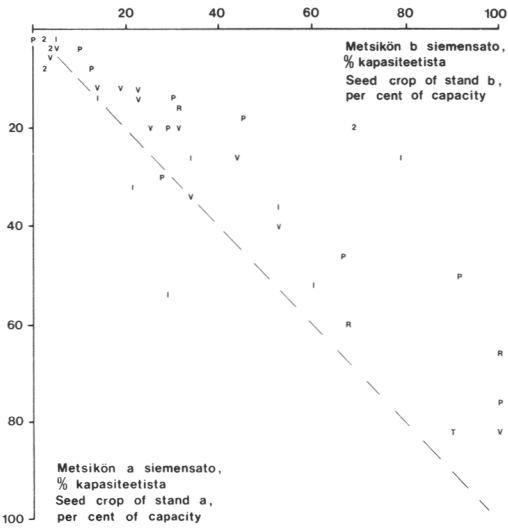
Siementuotannon korrelaatio hedekukin-

nan, edellisten satojen ja kolmen (kuusella kahden) siemenen varisemista edeltävän kasvukauden lämpösunnan kanssa sekä näiden riippuvuussuhteiden alueellinen vaihtelu on ollut samankaltaista kuin edellä on esitetty.

34. Siemensadon ennustemalli

341. Mänty

Tutkimuksen eräänä tavoitteena oli muodostaa mahdollisimman hyviä yhden metsikön siementuotannon ennustemalleja. En-



Kuva 12. Kahden samalla paikkakunnalla sijaitsevan männikön vuotuisen siemensadon keskinäinen riippuvuus. Siemensadot on esitetty osuuksina metsikön suurimman mahdollisen tuotoksen määrästä. I = Inari, R = Rovaniemi, V = Vilppula, P = Punkaharju, T = Tuusula.

Fig. 12. Pine - interrelationship between the annual seed crop of two stands situated in the same locality. Seed crops are presented as proportions of the highest possible production of the stand. I = Inari, R = Rovaniemi, V = Vilppula, P = Punkaharju, T = Tuusula.

nustajamuuttujina olivat edellisten vuosien siemensadot, hedekukinta sekä seuraavat säätunnukset:

- kasvukauden tehoisa lämpösumma
- lämpötilan kuukausikeskiarvot touko—syyskuussa
- pilvisyyden ” ” ” ” ” ”
- kuukausisadannat

Aluksi tarkasteltiin, miten kolme edellistä siemensatoa ovat vaikuttaneet tutkittujen männiköiden siementuotantoon. Seuraavassa asetelmassa on esitetty perättäisinä vuosina maahan varisseiden siementen lukumäärien (kpl/m^2) väliset korrelaatiot:

	Siemensato			
	Utsjoki	Sodankylä	Siilinjärvi	Tuusula
	Korrelaatiokertoimen			
Kukkimista edeltävän vuoden sato	-0,22	-0,33	-0,10	0,68*
Kukkimisvuoden sato	-0,25	-0,31	-0,12	-0,53
Tuleentumisvuoden sato	0,21	0,00	-0,32	-0,16

Kukkimisvuoden sadolla on ollut keskimäärin selvin siementuotantoa pienentävä vaikutus. Kukkimista edeltävän vuoden siemensadon ja kukkimista vastaavan sadon väliset korrelaatiot ovat Utsjoella ja Sodankylässä olleet selvästi negatiivisia, kun sitä vastoin Tuusulassa em. satojen välillä on ollut merkitsevä positiivinen korrelaatio. Tuleentumisvuoden sadon osalta tilanne on päinvastainen: siementen määrän ja edellisen vuoden satomäärän välinen korrelaatiokerroin on ollut Etelä-Suomessa negatiivinen, mutta Pohjois-Lapissa positiivinen. Kertoimet viittaavat siihen, että suotuisissa ilmasto-oloissa kasvava männikkö (Tuusula) pystyy tuottamaan runsaan siemensadon joka kolmas vuosi, mutta Pohjois-Suomen männiköissä runsas siementuotanto vaikuttaa vielä kolmannenkin vuoden tuotantoa pienentävästi. Utsjoen peräkkäisten satojen välinen positiivinen korrelaatio viittaa siihen, että Pohjois-Lapissa esiintyy useita hyviä (ja huonoja) siemenvuosia peräkkäin.

Koska kukkimista edeltävän kesän olosuhteet näyttävät selittävän suuren osan siementuotannon vaihteluista, ko. kesän ilmastotunnusten vaikutuksia tarkasteltiin lähemmin. Taulukon 4 korrelaatiokertoimet antavat viitteitä siitä, miten kasvukauden lämpötila, pilvisuus ja sademäärä vaikuttavat seuraavan vuoden kukintaan ja vastaavaan siemensatoon.

Lämpötila, pilvisuus ja sademäärä ovat vaikuttaneet männyn siementuotantoon odotetulla tavalla. Pilvisyyden (säteilyn määrän) ja lämpötilan vaikutus on ollut suurempi kuin sademäärän. Lapissa näyttää kesä—elokuun olosuhteilla olleen suurin vaikutus tulevaan siementuotantoon. Etelä-Suomessa ratkaisevimpien kuukausien nimeäminen on vaikeampaa, mutta ilmeisesti myös kukkimista edeltävän vuoden toukokuun olosuhteet, etenkin lämpötila, ovat merkityksellisiä siementuotannossa. Syyskuun sääoloilla ei näytä enää olleen vaikutusta seuraavan

Taulukko 5. Männyn siemensadon määrän (siemeniä/m²) ja eräiden kukkimista edeltävän kasvukauden sääntunnusten väliset korrelaatiokertoimet.

Table 5. Pine - correlations between seed crop size and certain climatic factors measured during the growing season prior to flowering.

Selittävä muuttuja <i>Explanatory variable</i>	Paikkakunnat — <i>Localities</i>			
	Utsjoki	Sodankylä	Siilinjärvi	Tuusula
	Korrelaatiokerroin — <i>Correlation coefficient</i>			
Kukkimista edeltävän vuoden tehoisa lämpösumma <i>Effective temperature sum for the year prior to flowering</i>	0,53	0,72**	0,45	0,59*
keskilämpötila <i>mean temperature in,</i>				
toukokuu — <i>May</i>	0,22	0,59*	0,43	0,45
kesäkuu — <i>June</i>	0,30	0,38	—0,25	0,12
heinäkuu — <i>July</i>	0,39	0,49	0,16	0,42
elokuu — <i>August</i>	0,51	0,52	0,84***	0,18
syyskuu — <i>September</i>	0,30	0,18	0,26	0,28
keskimääräinen pilvisuus <i>mean cloud cover in,</i>				
toukokuu — <i>May</i>	—0,10	—0,12	—0,50	—0,21
kesäkuu — <i>June</i>	—0,42	—0,27	—0,16	—0,17
heinäkuu — <i>July</i>	—0,19	—0,59*	—0,46	0,21
elokuu — <i>August</i>	—0,66	—0,68**	—0,54	0,13
syyskuu — <i>September</i>	—0,07	0,39	—0,11	—0,34
sademäärä <i>rainfall in,</i>				
toukokuu — <i>May</i>	—0,50	—0,12	—0,08	—0,02
kesäkuu — <i>June</i>	—0,35	—0,32	—0,26	—0,25
heinäkuu — <i>July</i>	—0,20	—0,12	—0,36	—0,20
elokuu — <i>August</i>	—0,46	0,01	0,18	0,05
syyskuu — <i>September</i>	0,16	0,06	—0,14	0,04
touko—syyskuun keskilämpötilojen summa <i>May–September sum of mean monthly, temperatures</i>	0,44	0,69**	0,48	0,48
keskimääräisten pilvisyyksien summa <i>cloud cover</i>	—0,55	—0,52	—0,50	—0,37
sademäärä <i>rainfall</i>	—0,42	—0,22	—0,24	—0,24

vuoden kukintaan ja vastaavaan siementuotantoon. Vaikka tarkastelluista muuttujista yhden avulla voidaan selittää tavallisesti vain alle 25 % satovaihteluista, näyttävät mahdollisuudet ennustaa siemensatoa kukkimista edeltävän kesän sääolojen perusteella kuitenkin hyviltä, sillä em. ennustajamuuttujien väliset korrelaatiot eivät yleensä ole erityisen vahvoja.

Kukkimis- tai tuleentumisvuoden sääsuhteet eivät ole juuri vaikuttaneet tutkittujen männiköiden siementuotantoon (liite 8). Huomiota kiinnittää kuitenkin, että siementuotannon määrän ja kukkimisvuoden kesäkuun — kukkimiskuukauden — sekä pilvisyyden että sademäärän väliset korrelaatiot ovat olleet ilman yhtään poikkeusta negatiivisia. Mahdollisesti sadannan suuruus on vaikuttanut pölytyksen onnistumiseen, ja kukkimisajankohdan pilvisyyden sekä siementuotannon välillä on vallinnut negatiiv-

vinen korrelaatio vain sen vuoksi että sademäärä ja pilvisuus ovat keskenään positiivisesti korreloituneita.

Myös hedetähteiden ja siementen määrien välisten korrelaatioiden perusteella voidaan päätellä, ettei männyn siemensatoa voida ennustaa kovin luotettavasti pelkästään kukkimisrunsauden avulla. Hedetähteiden määrän (g/m²) ja siemensadon (siemeniä/m²) väliset korrelaatiokertoimet olivat seuraavat: Utsjoki: 0.52, Sodankylä: 0.47, Siilinjärvi: 0.68* ja Tuusula: 0.61*.

Korrelaatiot ovat vahvempia Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa. Sama oli tilanne tutkimuksen edellisessä osassa (luku 33) mukana olleissa männiköissä.

Siementuotannon riippuvuutta hedetähteiden määrästä tutkittiin myös regressioanalyysien avulla. Eri paikkakuntien perusteella muodostettiin seuraavat viisi regressioyhtälöä:

Paikkakunta	Regressioyhtälö	t-testisuureen arvo ja vapausasteet	Selitys- aste, %
(13) Utsjoki:	$Y = 4,68 + 7,17X$	2,9 (1,8)	26,8
(14) Sodankylä:	$Y = 32,06 + 2,45X$	3,7 (1,13)	22,4
(15) Siilinjärvi:	$Y = 22,81 + 1,83X$	11,4** (1,13)	46,8
(16) Tuusula:	$Y = 63,81 + 8,13X$	7,1* (1,12)	37,2
(17) Koko maa:	$Y = 52,46 + 1,19X$	15,7* (1,52)	23,2

Yhtälöissä Y = siementen lukumäärä neliometriä kohti ja X = hedetähteiden määrä, g/10 m².

Seuraavaksi laskettiin neljän esimerkki-paikkakunnan tietojen perusteella muodostettua yhtälöä vastaava regressiosuora, yhtälöllä lasketut satoestimaatit, mitatut sadot sekä satoestimaattien jäännössummat (kuva 13). Kuvaan on piirretty myös kaksi luotettavuusaluetta: kapeampi ilmaisee millä alueella tiettyä hedetähteiden määrää vastaava siemensadon odotusarvo on, ja leveämpi, millä alueella ennustetta vastaava sato vaihtelee 95 %:n todennäköisyydellä. Tiettyä hedetähteiden määrää vastaava luotettavuusväli on erittäin suuri, joten mallin 17 antamat satoennusteet ovat varsin epäluotettavia.

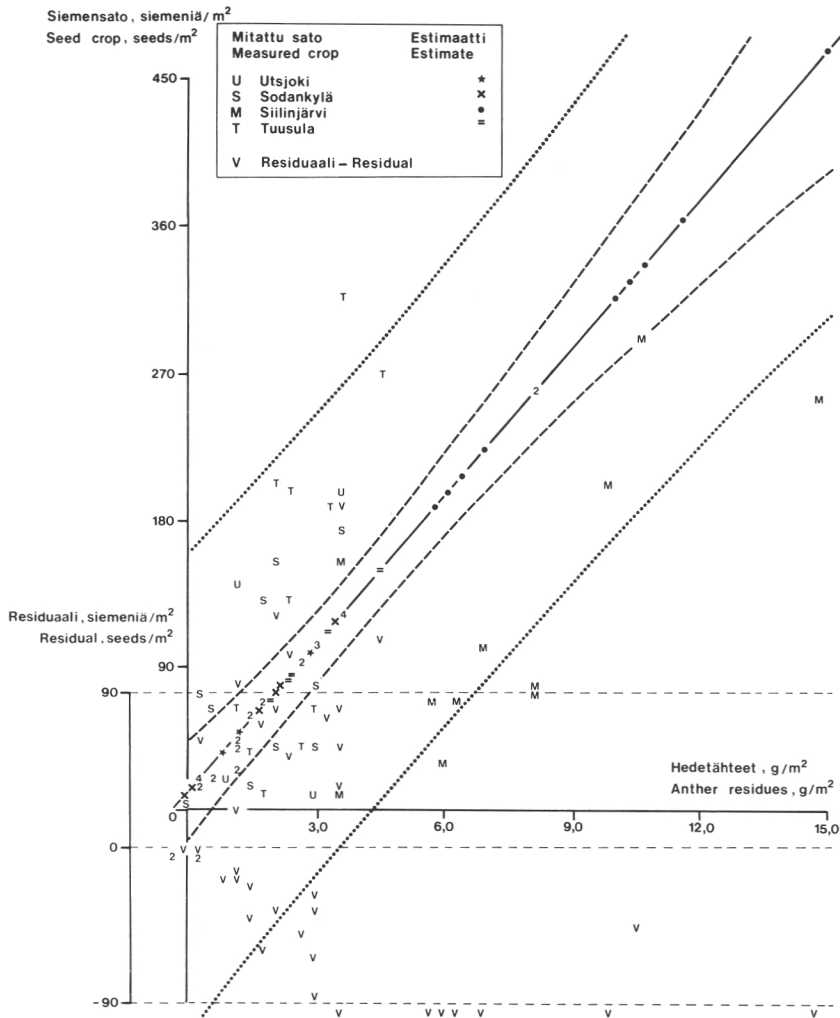
Seuraavassa tarkastellaan kahta regressioyhtälöä, joilla siementuotantoa voidaan ennustaa n. 2 vuotta ennen siemenen varisemista.

Ensimmäinen yhtälö muodostettiin Tuusulan tietojen perusteella. Yhteensä kuudesta-toista korrelaatiokerrointen perusteella valitusta ennustajamuuttujasta malliin valittiin viisi selityskyvyltään parasta valikoivaa regressioanalyysiä käyttäen. Valittavina oli kukkimiskesän siementuotantoa, hedekukintaa ja kukkimista edeltävän kasvukauden sääoloja (lämpötila, pilvisuus ja sademäärä) kuvaavia tunnuksia. Ensiksi valittiin muuttuja, jonka korrelaatio siementuotannon kanssa oli vahvin, seuraavaksi muuttuja, jonka korrelaatio siihen vaihteluun, jota edellinen muuttuja ei vielä selittänyt, oli vahvin jne. Kussakin vaiheessa muuttujien valintaan vaikuttivat sekä niiden korrelaatiot siementuotannon kanssa että korrelaatiot mallissa jo olleiden muuttujien kanssa. Taulukossa 6 on

Taulukko 6. Yhtälön 18 ennustajamuuttujat, regressiokerroimet, yksittäisten regressiokerrointen merkittävyydet sekä selityksasteen menetykset poistettaessa mallista yksi muuttuja.

Table 6. Equation 18 - predictor variables, regression coefficients, significance of individual regression coefficients and the reduction in confidence coefficient when one variable is removed from the model.

	Muuttuja — Variable N:o ja nimi number and name	Regressiokerroin Regression coefficient			t-testisuureen arvo (vapausasteita 9) t-value (9 d.f.)	Selityksasteen menetykset, % Reduction in confidence coefficient, %
		sym-boli symbol	sym-boli symbol	arvo value		
1	Kukkimista edeltävän kesän lämpösumman neliö, dd. <i>Square of the temperature sum for the summer prior to flowering, d.d.</i>	X_1^2	B_1	$10^{-4} \cdot 2,20$	2,61*	13,4
2	Kukkimista edeltävän kesän lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa (touko—syyskuu), °C <i>Sum of mean monthly temperatures for the summer prior to flowering, °C</i>	X_2	B_2	—15,59	—2,50	12,3
3	Hedetähteiden määrä, g/m ² <i>Amount of stamen remains, g/m²</i>	X_3	B_3	23,62	2,93*	16,9
4	Kukkimista edeltävän kesän heinäkuun keskilämpötila, °C <i>Mean July temperature for the summer prior to flowering, °C</i>	X_4	B_4	21,02	2,31	10,5
5	Kukkimista edeltävän kesän kesäkuun keskilämpötila, °C <i>Mean June temperature for the summer prior to flowering, °C</i>	X_5	B_5	—5,30	—1,06	2,2



Kuva 13. Männyn siemensadon määrän riippuvuus hedetähteiden määrästä Utsjoella, Sodankylässä, Siilinjärvellä ja Tuusulassa.

Fig. 13. Pine - dependence of seed crop size on the amount of stamen remains - at Utsjoki, Sodankylä, Siilinjärvi and Tuusula.

esitetty paremmuusjärjestyksessä malliin valitut muuttujat ja niitä vastaavat regressio-kertoimet, t-testisuureen arvon testattaessa hypoteesia, että regressiokerroin on nolla, ja selityksasteen menetykset laadittaessa mallin ilman jotain muuttujaa.

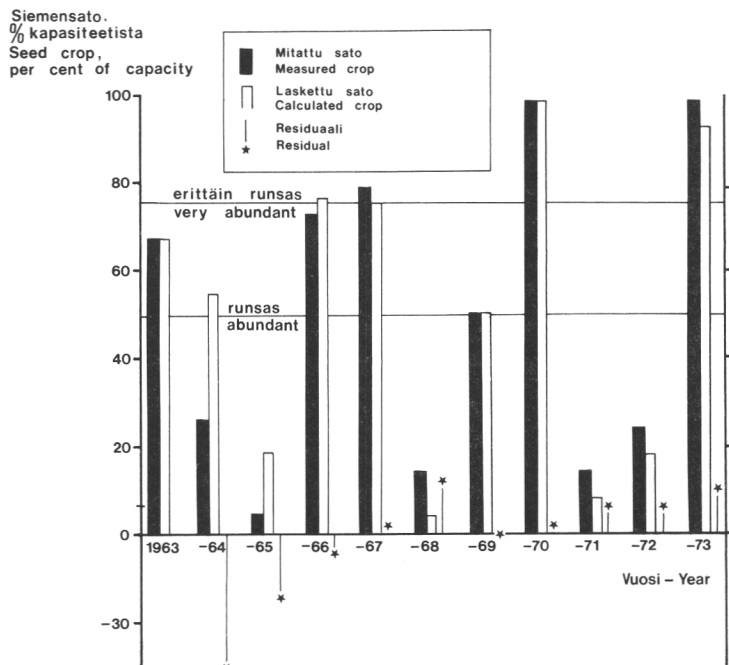
Yhtälö on muotoa:

$$(18) Y = A + B_1X_1^2 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5,$$

missä Y on siemensato prosentteina kapasiteetista. Vakiotermin (A) arvo on 405,6 ja mallin selityksaste 90,1 %. Ilmeisesti kuk-

kimista edeltäneen kesän lämpöolot ovat lähes yksinomaan määränneet siemensadon suuruuden Tuusulan mäntykoealalla (kuva 14). Nähtävästi tällä mallilla pystyttäisiin ennakoimaan melko luotettavasti em. koealan hyvät siemensadot.

Siilinjärven mäntykoealan siementuotannon ennustemalli laadittiin valitsemalla neljästätoista säätunnuksesta, joista on saatavissa tietoja kukkimista edeltävänä kesänä, mallin ennustajamuuttujiksi viisi selityskyvyltään parasta samalla periaatteella kuin edelliseen (18) yhtälöön (taulukko 7).



Kuva 14. Mitatut ja yhtälöllä 18 lasketut männyn siemensadot sekä residuaalit Tuusulassa vv. 1963—73. Vuodet ovat siemenen varisemisvuosia.

Fig. 14. Pine - measured and calculated (equation 18) seed crops and residuals at Tuusula, 1963-73. Years are seed years.

Taulukko 7. Yhtälön 19 ennustajamuuttujat, regressiokertoimet, yksittäisten regressiokerrointen merkitsevyydet sekä selityksasteen menetykset poistettaessa mallista yksi muuttuja.

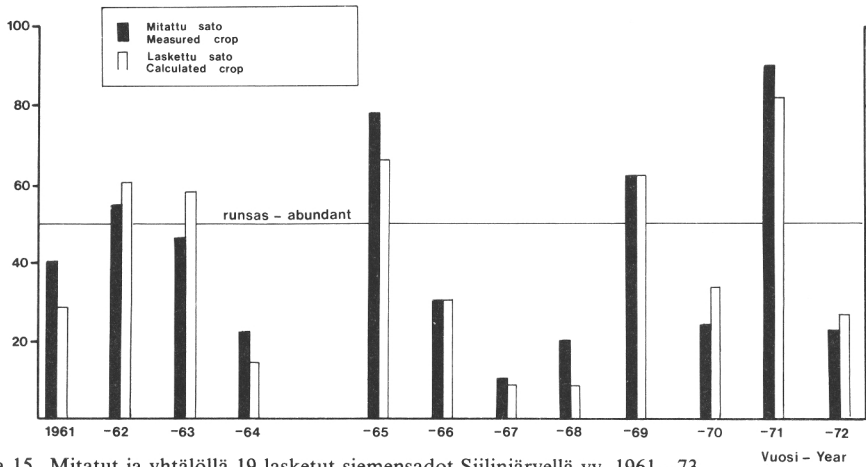
Table 7. Equation 19 - predictor variables, regression coefficients, significance of individual regression coefficients and the reduction in confidence coefficient when one variable is removed from the model.

Muuttuja — Variable N:o ja nimi number and name	Regressiokerroin Regression coefficient			t-testisuuren arvo (vapausasteita 9) t-value (9 d.f.)	Selityksasteen menetys, % Reduction in confidence coefficient, %
	sym-boli symbol	sym-boli symbol	arvo value		

1 Kukkimista edeltävän vuoden
For the summer prior to flowering:

1 heinäkuun keskilämpötila, °C mean July temperature, °C	X ₁	B ₁	22,72	7,05***	55,7
2 toukokuun keskimääräinen pilvisuus mean May cloud cover	X ₂	B ₂	-10,89	-4,04***	18,3
3 kesäkuun keskimääräinen pilvisuus mean June cloud cover	X ₃	B ₃	3,19	1,61	2,9
4 touko—syyskuun lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa, °C May-September sum of mean monthly temperatures, °C	X ₄	B ₄	- 2,44	-2,37*	6,3
5 touko—syyskuun sademäärä, cm May-September rainfall, cm	X ₅	B ₅	1,21	2,04	4,7

Siemensato, % kapasiteetista
Seed crop, per cent of capacity



Kuva 15. Mitatut ja yhtälöllä 19 lasketut siemensadot Siilinjärvellä vv. 1961—73.
Fig. 15. Measured and calculated (equation 19) seed crops at Siilinjärvi, 1961-73.

Vakiotermin (A) estimaatti on -127,3. Yhtälön

$$(19) Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5,$$

missä Y on siemensato prosentteina kapasiteetista, selitysaste on varsin hyvä, 89,9 %. Muodostettua regressioyhtälöä voidaan pitää kohtalaisen käyttökelpoisena, sillä kaikille ennustajamuuttujille on helposti saatavissa arvot esim. Suomen meteorologisista vuosikirjoista. Siilinjärven mäntykoealan mitattuja ja estimoituja siemensatoja eri vuosina vertailtiin sitoen satomäärät kapasiteettiin (kuva 15).

342. Kuusi

Tutkitut kolme kuusikkoa sijaitsevat Siilinjärvellä (koeala 544), Padasjoella (koeala III) ja Tuusulassa (koeala XXX). Siemensatojen ennustamisessa käytettiin likipitään samoja muuttujia kuin edellä männyllä (liite 9). Aluksi tarkasteltiin siementuotannon ja hedetähteiden määrän välisiä riippuvuuksia. Korrelaatiokertoimille saatiin seuraavat estimaatit:

Siemensato	Hedetähteiden määrä	
	g/m ²	ln(g/m ²)
	Korrelaatiokerroin	
Siemeniä/m ²		
Siilinjärvi	0,71**	0,62*
Padasjoki	0,40	0,29
Tuusula	0,93***	0,73**
ln (siemeniä/m ²)		
Siilinjärvi	0,80**	0,85***
Padasjoki	0,58*	0,49
Tuusula	0,77***	0,86***

Korrelaatiot ovat Padasjokea lukuunottamatta selvästi parempia kuin männyllä. Koska hedekukinnan avulla voidaan joissakin tapauksissa (Tuusula) selittää jopa erittäin merkitsevä osa kuusen siementuotannon vaihteluista, katsottiin aiheelliseksi muodostaa eri alueita varten ennustemallit, joissa ennustajamuuttujana on ainoastaan hedetähteiden määrä. Analyysit suoritettiin käyttäen muuntamattomia kappale- ja grammamääriä, joten hyvien siemensatojen vaikutus kerrointen arvoon oli huomattava. Yhtälöt on esitetty taulukossa 8.

Yhtälöissä (20—23) Y = siementen lukumäärä neliometriä kohti ja X = hedetähteiden määrä, g/m². Siemensadon ja hedetähteiden määrän välinen riippuvuusuhde sekä pistediagrammina (S, P ja T) että koko maata varten laadittua yhtälöä (23) vastaavan regressiosuoran avulla on kuvassa 16. Kuvaan on merkitty samat luotettavuusalueet kuin vastaavaan kuvaan männyllä (kuva 13). Kuusella saadaan hedetähteiden määrää mittaamalla siemensadosta huomattavasti luotettavampi ennuste kuin männyllä.

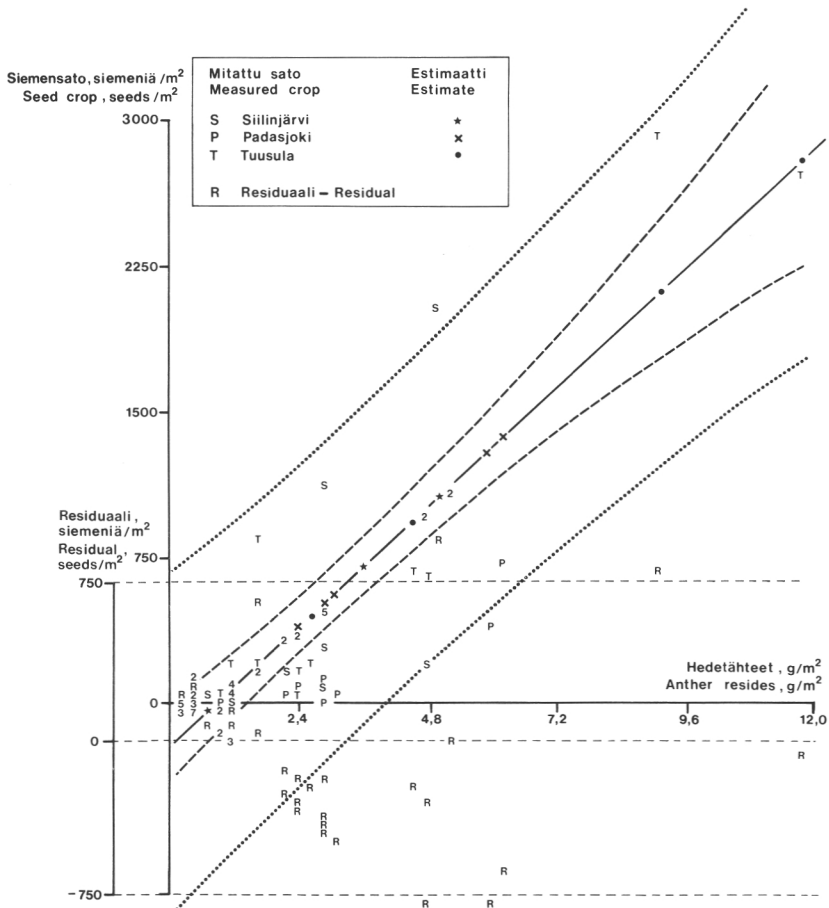
Kukkimista edeltävän kesän lämpösummalla näyttää olleen vaikutusta vain Tuusulan kuusikon siementuotantoon (taulukko 9). Yleensäkin kukkimista edeltäneen kesän lämpöolot ovat vaikuttaneet vähemmän kuusen kuin männyn siementuotantoon (vrt. esim. kuvat 4 ja 7 sekä liitteet 6 ja 7).

Kaikilla paikkakunnilla näyttävät kesäkuun lämpötila, pilvisuus ja sademäärä vaikuttaneen siementuotantoon huomattavasti

Taulukko 8. Kuusen hedekukinnan (hedetähteitä g/m²) ja siementuotannon (siementiä/m²) välisiä regressioyhtälöitä.

Table 8. Spruce - regression equations for the relationship between staminate flower crops (stamen remains g/m²) and seed production (seeds/m²).

Paikkakunnat	Yhtälö	t-testisuure ja vapausasteet	Selitysaste, %
Localities	Equation	t-value and degrees of freedom	Reduction in confidence coefficient
Siilinjärvi:	(20) $Y = -264,4 + 261,3X$	3,46** (12)	50,0
Padasjoki:	(21) $Y = 11,3 + 86,8X$	1,43 (11)	15,7
Tuusula:	(22) $Y = -227,6 + 264,3X$	9,79*** (15)	86,5
Koko maa: Whole country	(23) $Y = -223,4 + 234,5X$	8,71*** (42)	66,4



Kuva 16. Kuusen siemensadon määrän riippuvuus hedetähteiden määrästä Siilinjärvellä, Padasjoella ja Tuusulassa.

Fig. 16. Spruce - dependence of seed crop size on the amount of stamen remains - at Siilinjärvi, Padasjoki and Tuusula.

Taulukko 9. Kuusen siemensadon määrän (ln (siemeniä/m²)) ja eräiden kukkimista edeltävän kasvukauden säätunnusten väliset korrelaatiokerroimet.
 Table 9. Spruce - correlation coefficients between seed crop size (log_n (seeds/m²)) and certain climatic factors measured during the growing season prior to flowering.

Selittävä muuttuja — Explanatory variable	Siilinjärvi	Padasjoki	Tuusula
	Korrelaatiokerroin Correlation coefficient		
Kukkimista edeltävän vuoden tehoisa lämpösumma <i>Effective temperature sum for the year prior to flowering</i>	0,02	0,00	0,66**
keskilämpötila <i>mean temperature in,</i>			
toukokuu — May	—0,39	—0,17	0,21
kesäkuu — June	0,47	0,15	0,68**
heinäkuu — July	0,24	0,25	0,53*
elokuu — August	0,05	0,54	0,56*
keskimääräinen pilvisuus <i>mean cloud over in,</i>			
toukokuu — May	0,10	0,14	—0,35
kesäkuu — June	—0,44	—0,41	—0,45
heinäkuu — July	—0,19	—0,37	—0,28
elokuu — August	0,04	—0,20	—0,37
sademäärä <i>rainfall in,</i>			
toukokuu — May	—0,31	0,05	—0,34
kesäkuu — June	—0,45	—0,33	—0,25
heinäkuu — July	0,16	—0,14	—0,11
elokuu — August	—0,13	—0,24	—0,12
touko—syyskuun — May–June, lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa <i>sum of mean monthly temperatures</i>	0,01	0,23	0,65**
pilvisyyden kuukausikeskiarvojen summa <i>sum of mean monthly cloud cover values</i>	—0,04	—0,27	—0,57*
sademäärä <i>rainfall</i>	—0,18	—0,27	—0,54*

enemmän kuin muiden kuukausien sääolot (taulukko 9).

Tuusulan mittaus- ja arviointitietojen avulla laadittiin kaksi siementuotannon enustemallia valikoivaa regressioanalyysiä käyttäen. Yhtälöt laadittiin lisäämällä malliin yksitellen ennustajamuuttujia sen perusteella, miten merkitsevästi kutakin muuttujaa vastaava osittaisregressiokerroin poikkesi nolasta siinä mallissa, joka olisi muodostettu jos muuttuja olisi valittu malliin siinä ennestään olleiden muuttujien lisäksi. Edelliseen malliin ennustajamuuttujat valittiin kukkimisesä edeltävänä vuonna saatavissa olevista ilmastotunnuksista. Jälkimmäistä muodostettaessa olivat lisäksi käytettävissä hedekukinta ja edellisen vuoden siemensato, ts. kaksi hankalasti mitattavaa tunnusta, joista on mahdollista saada tietoja aikaisintaan kukkimisvuoden kesäkuun loppupuolella. Ensimmäiseen malliin valittiin ennustajiksi viisi parasta kahdentoista muuttujan ja toiseen neljäntoista muuttujan jou-

kosta. Kummassakin analyysissä kukkimista edeltävän kesän tehoista lämpösumma oli pakollisena selittäjänä.

Ensimmäisen mallin

$$(24) \ln Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5,$$

missä Y = siemensato (siemeniä/m²) ennustajamuuttujat ja regressiokerroimet käyvät ilmi taulukosta 10.

Vakiotermin (A) arvo on —8,31. Selvästi paras ennustajamuuttuja oli kukkimista edeltävän kesän kesäkuun keskilämpötila. Mallin (24) selitysaste on 87,1 %. Jälkimmäiseen malliin valitut muuttujat on esitetty taulukossa 11.

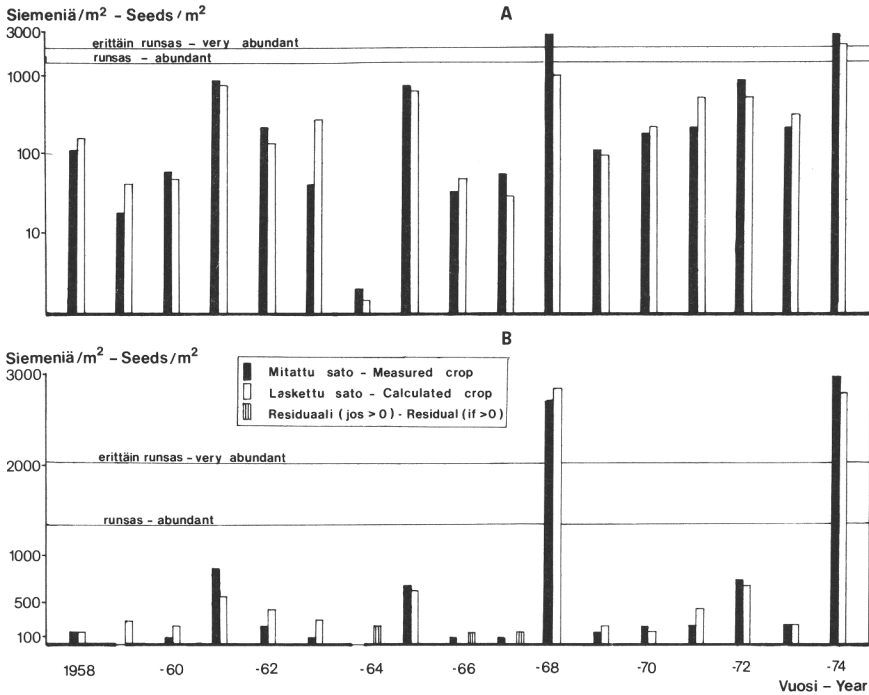
Mielenkiintoista on, että edellisen laskelman parasta muuttujaa, kesäkuun keskilämpötilaa, ei valittu lainkaan ennustajamuuttujaksi. Tämä johtuu mm. siitä, että hedetähteiden määrän korrelaatio kukkimista edeltävän kesän kesäkuun keskilämpötilaan on ollut melko vahva (r = 0,63**).

Taulukko 10. Yhtälön 24 ennustajamuuttujat, regressiokertoimet, yksittäisten regressiokerrointen merkitsevyydet sekä selityksasteen menetykset poistettaessa mallista yksi muuttuja.
 Table 10. Equation 24 – predictor variables, regression coefficients, significance of individual regression coefficients and the reduction in confidence coefficient when one variable is removed from the model.

Muuttuja Variable	Regressiokerroin — Regression coefficient			t-testisuure (d.f. = 15) t-value (15 d.f.)	Selityksasteen menetys, % Reduction in confidence coefficient
	symboli symbol	symboli symbol	estimaatti estimate		
Kukkimista edeltävän kesän tehoisa lämpösumma, d.d. <i>For the summer prior to flowering effective temperature sum, degree days</i>	X ₁	B ₁	0,005	2,84*	9,5
kesäkuun keskilämpötila, °C <i>mean June temperature, °C</i>	X ₂	B ₂	0,770	4,86***	27,8
elokuun keskim. pilvisuus <i>mean August cloud cover</i>	X ₃	B ₃	—0,377	—2,65**	8,3
heinäkuun keskim. pilvisuus <i>mean July cloud cover</i>	X ₄	B ₄	—0,503	—1,81	3,9
kesäkuun sademäärä <i>June rainfall</i>	X ₅	B ₅	—0,172	—1,75	3,6

Taulukko 11. Yhtälön 25 ennustajamuuttujat, regressiokertoimet, yksittäisten regressiokerrointen merkitsevyydet sekä selityksasteen menetykset poistettaessa mallista yksi muuttuja.
 Table 11. Equation 25 – predictor variables, regression coefficients, significance of individual regression coefficients and the reduction in confidence coefficient when one variable is removed from the model.

Muuttuja Variable	Regressiokerroin — Regression coefficient			t-testisuure t-value	Selityksasteen menetys, % Reduction in confidence coefficient
	symboli symbol	symboli symbol	estimaatti estimate		
Kukkimista edeltävän kasvukauden tehoisa lämpösumma, d.d. <i>Effective temperature sum for the summer prior to flowering, degree days</i>	X ₁	B ₁	0,263	0,38	0,04
Hedetähteiden määrä, g/m ² <i>amount of stamen remains, g/m²</i>	X ₂	B ₂	250,0	13,07***	49,85
kukkimista edeltävän vuoden <i>for the year prior to flowering</i>					
heinäkuun keskilämpötila, °C <i>mean July temperature, °C</i>	X ₃	B ₃	172,6	2,85*	2,37
toukokuun keskilämpötila, °C <i>mean May temperature, °C</i>	X ₄	B ₄	—111,5	— 2,61*	1,99
kesäkuun keskim. pilvisuus <i>mean June cloud cover</i>	X ₅	B ₅	111,1	2,46*	1,77



Kuva 17. A: Mitatut ja yhtälöllä 24 lasketut siemensadot Tuusulassa vv. 1958—74. B: Samat (mitatut) sadot ja yhtälöllä 25 lasketut satoestimaatit. Ylemmän diagrammin asteikko on logaritminen (yhtälö 24 on laadittu käyttäen satomäärien logaritmeja). Viivoitettu pylväs tarkoittaa mitatun ja estimoidun siemensadon erotusta, kun malli on estimoinut sadon negatiiviseksi.

Fig. 17. A: Measured and calculated (equation 24) seed crops at Tuusula, 1958–74. B: The same (measured) seed crops and alternative calculated (equation 25) crop estimates. Logarithmic graduation is used in the upper diagram (equation 24 is constructed to employ logarithms of seed crop amounts). The shaded column represents the difference between the measured and estimated seed crop, when the latter is less than zero.

Yhtälön

$$(25) Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5,$$

vakiotermin (A) estimaatti on $-2695,8$. Yhtälö antaa tulokseksi siementen lukumäärän neliometriä kohti. Mallin selitysaste on erittäin korkea, 96,8 %.

Vertailtaessa toisiinsa Tuusulassa mitattuja siemensatoja ja edellisillä yhtälöillä laskettuja satoestimaatteja vv. 1958—74 (kuva 17), käy havainnollisesti ilmi logaritmi-muunnoksen tekemisen siemensatojen lukuarvoihin (ylempi kuvio) aiheuttama heikkous: logaritmeja käyttäen muodostettu malli estimoii runsaat sadot epätarkasti,

vaikka selitysaste olisikin hyvä. Esim. vuoden 1968 residuaali on absoluuttisena siemenmääränä erittäin suuri.

Korrelaatiokerrointen perusteella on pääteltävissä, etteivät Siilinjärven ja Padasjoen siemensadot ole yhtä helposti selitettävissä käytettyjen ennustajamuuttujien avulla kuin Tuusulalan kuusikon siemensato. Siilinjärven tietojen perusteella muodostettiin kuitenkin malli, jonka ennustajamuuttujia olivat kukkimista edeltävän kesän kesäkuun

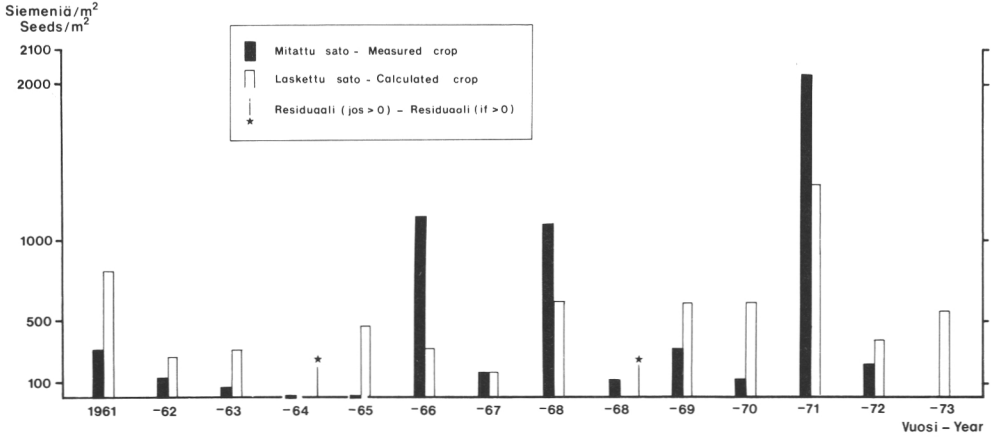
- keskilämpötila, °C (X₁),
- keskimääräinen pilvisuus (X₂) ja
- sademäärä (X₃)

Yhtälö on seuraava:

$$(26) Y = 141,42 + 94,22X_1 - 95,48X_2 - 120,16X_3,$$

missä Y on siemensato, siemeniä/m². Mallin selityssaste on 44,2 %. Vaikka ennustajamuuttujina on kolme saman kuukauden sää-

tunnusta, jokainen niistä on kuitenkin varsin tarpeellinen; laadittaessa malli ilman sademäärämuuttujaa sen selityssaste oli n. 19 %, ilman keskilämpötilaa se oli 37 % ja ilman pilvisyyttä 40 %. Yhtälö (26) estimoivat hyvät siemensadot melko epäluotettavasti (kuva 18).



Kuva 18. Mitatut ja yhtälöllä 26 lasketut siemensadot Siilinjärvellä vv. 1961—74.
Fig. 18. Measured and calculated (equation 26) seed crops at Siilinjärvi, 1961—74.

4. TARKASTELUA

On ilmeistä, että tietyltä alueelta kerättyjen silmävaraisten arvioiden perusteella ei voida ennakoida jonkin tällä alueella kasvavan yksittäisen metsikön siementuotantoa kovinkaan luotettavasti. Tässä tutkimuksessa saatuja riippuvuuksia heikensi myös se, ettei silmävaraisia arvioita ollut tehty joka vuosi samoissa metsiköissä; jotkut metsiköt tunnetusti tuottavat siementä lähes joka vuosi toisten pystyessä siihen vain poikkeuksellisen suotuisina vuosina. Luotettavuus paranee huomattavasti, jos silmävaraiset havainnot tehdään joka vuosi samoissa metsiköissä. Tähän käytäntöön metsäntutkimuslaitos on muutama vuosi sitten siirtänytkin. Koska tietyn alueen eri metsiköiden siementuotannossa on kuitenkin melkoisia eroja, ei tämänkaltaistenkaan silmävaraisten kukkimis- ja käpyarvioiden avulla voitane saada kuin suuntaa-antava käsitys alueella sijaitsevan yksittäisen metsikön siementuotannosta.

Nyt saadut tutkimustulokset tukevat voimakkaasti hypoteesia, että siementuotanto riippuu puuston yleisestä energiatilanteesta. Kukkimista edeltävän kasvukauden, jolloin erilaistuminen joko generatiiviseksi tai vegetatiiviseksi silmuiksi tapahtuu, olosuhteiden vaikutus on ratkaiseva. Näyttää siltä, ettei mikään lyhyt kasvukauden jakso ratkaise siementuotantoa, vaan kukkimista edeltävän kesän eri jaksot vaikuttavat suunnilleen siinä suhteessa kuin kasvua eri aikoina tapahtuu. Se, että kaikki tarkasteltavana olleet säätunnukset (lämpötila, sademäärä ja pilvisuus) korreloivat suunnilleen yhtä hyvin siementuotannon kanssa, ei välttämättä merkitse että ne kaikki esim. rajoittavat fotosynteesiä ja sitä kautta siementuotantoa. Vain yksi näistä saattaa olla minimitekijä, ja muiden kahden tunnuksen korrelaatio siementuotannon kanssa selittyisi sillä, että niiden korrelaatio rajoittavaan tekijään on vahva. Kuitenkin esim. sademäärän kor-

relaatioilla muihin kahteen säätunnukseen voidaan selittää yleensä vain noin puolet sademäärän vaikutuksesta siementuotantoon. Sama on tilanne muiden säätunnusten kohdalla. Tämän vuoksi sekä pilvisyys, sademäärä että lämpötila ovat kaikki tarpeellisia siemensadon ennustemallien muuttajia pyrittäessä hyvään selitysasteeseen. Mahdollisesti eri vuorokauden aikoina tai eri aikoina kasvukautta tahi vuotta eri tekijät ovat rajoittavia; nyt lasketut korrelaatiokertoimet esim. viittaavat siihen, että aivan kukkimista edeltävän kasvukauden alussa lämpötila vaikuttaisi tulevaan siementuotantoon eniten, mutta kesän edistyesä pilvisyyden ja sademäärän vaikutus lisääntyisi.

Yleisesti ottaen edellä esitellyt mallit estimoivat hyvät siemensadot liian pieniksi ja huonot suuriksi. Tämä saattaa johtua osittain siitä, että siementuotantoon vaikuttavat muutkin tekijät kuin mitä tähän tutkimukseen oli sisällytetty. Toisena osasyynä on, ettei oletus siementuotannon suoravaiheisesta riippuvuudesta ennustajamuuttujista aina liene ollut oikeaan osunut. Tämä voidaan tietenkin korjata esim. ottamalla malliin ennustajamuuttujien neliötermejä tai muita muunnoksia. Myös se että ilmastohavainnot oli useissa tapauksissa tehty varsin kaukana tutkimusmetsiköistä, heikensi osaltaan mallien selitysasetta. Jos säätunnuksia ja siementuotantoa mitattaisiin samoissa metsiköissä, päästäisiin nyt käytettyjen ennustajamuuttujien avulla varmaankin hyvin lähelle 100 %:n selitysasetta ja merkitsevyytasoa. Tähän ei käytännön ennustepalveluissa jo kustannussyistä kannata mennä, vaan on tyydyttävä Ilmatieteen laitoksen tekemiin havaintoihin ja jonkin verran epäluotettavampiin satoennusteisiin.

Mallien maantieteellistä käyttöaluetta on mahdollista laajentaa käyttämällä lämpösumman ja lämpötilan suhteellisia arvoja (% pitkän ajan keskiarvosta). Kovin laajoja alueita kattavia malleja ei näin kuitenkaan saada aikaan, sillä puiden ilmastollinen sopeutuneisuus heikkenee Suomessa etelästä pohjoiseen mentäessä; Lapissa esim. kukkasilmujen kunnollinen talveentuminen ja siementen tuleentuminen tarvitsevat huomattavasti suuremman osuuden keskimääräisestä vuotuisesta lämpösummasta kuin Etelä-Suomessa (Sarvas 1965).

Tutkittavana olleiden ennustajamuuttu-

jien avulla ei muutoinkaan pystytty estimoimaan erityisen luotettavasti Lapin siemensatoja. Metsänrajan läheisyydessä harvoin toistuvien hyvien siemenvuosien hyödyntäminen on kuitenkin erityisen tärkeää. On mahdollista, että Pohjois-Suomea varten voidaan kehittää ilmastovaihteluihin perustuvia siementuotannon ennustamismenetelmiä esim. vuosilustoanalyysiä apuna käyttäen. Mm. Hustich (1948), Mikola (1950) ja Sireń (1961) ovat osoittaneet, että vuosiluston paksuuden ja kasvukauden lämpötilan välillä on Suomessa erittäin selvä riippuvuusuhde. Pohjois-Suomessa kasvukauden lämpötilan suhteelliset vaihtelut ovat tunnetusti Etelä-Suomeen verrattuna hyvin suuria. Luontaisesti syntyneitä metsiköitä tutkimalla on voitu todeta että metsänraja-alueilla uudistumista on tapahtunut vain vuosilustoindeksin ylittäessä tietyn rajan arvon (Mikola 1952, Sireń 1963). Samalla tavoin voitaneen ilmaston vaihtelumalleja käyttää myös siementuotannon ennustamiseen. Milloin mallin mukaan on odotettavissa niin lämmin ajanjakso, että ensimmäisenä vuonna suuri osa silmuista erikoistuu kukkasilmuiksi (puuston energiatilanne on hyvä) ja toisena vuonna on riittävästi lämpöä kuusen siemenen tuleentua ja männyn siemenen kehittyä normaalisti ja vielä kolmantena männyn siemenen tuleentua, on odotettavissa hyviä siemensatoja (esim. Mikola 1952).

Tässä tutkimuksessa ei voitu ottaa huomioon siemenen erilaista kypsyttää eri vuosina, koska siementen tuleentumisasetta ei oltu määritetty. Tällä ei ole merkitystä Etelä-Suomessa, missä siemen ennättää tuleentua käytännöllisesti katsoen jokaisena kasvukautena (Sarvas 1965). Pohjois-Suomen osalta puutteen merkitystä pienentää lämpimien vuosien esiintyminen Lapissa jaksoina, minkä vuoksi hyvän siemensadon tuleentumistodennäköisyys on suuri. Heikinheimon (1932) mukaan hyvinä satovuosina myös siemenen laatu on parasta, ennen kaikkea siemenet ovat suuria. Pohjois-Suomessa myös siemenen painon ja alkion kehittyneisyyden välillä on selvä riippuvuusuhde (Ryynänen 1973). Jonkin verran vaillinaisesti tuleentunutta männyn siementä voidaan käyttää metsänviljelyssä tai taimitarhakylvoissä, mutta sitä ei voida varastoida yhtä pitkiä aikoja kuin hyvin tuleentunutta.

Mänty on yleisesti ottaen ns. tasalaatuista

sientä tuottava puu, ts. siemenen laatu ei juuri vaihtelee vuosittain tai metsiköittäin. Tämän takia on miltei yhdentekevää, kehittääkö siemensadon ennustemallit kokonaissiemenmäärän vai pelkästään täysien siementen mittaustuloksia käyttäen. Männyllä tyhjien siementen osuus on jatkuvasti 10—20 %, eikä sillä juuri esiinny sientä pilaavia tuholaisia. Männyllä itämiskelvottomia siemeniä kehittyi lähinnä sellaisista siemenaiheista, joiden kaikki alkiot ovat kuolleet letaaligeenien takia. Pölyttymättä jääneet siemenaiheet luhistuvat pääasiassa ensimmäisen kasvukauden aikana. Jos emikukinnon siemenaiheista yli 20 jää pölyttymättä, koko kukinto varisee maahan viimeistään pikkukäpyasteella toisen kasvukauden alussa (Sarvas 1962).

Kuusen siemenen laatu vaihtelee huomattavasti enemmän. Tavallisesti tyhjien siementen osuus on 20—50 %, mutta toisinaan voivat kaikkikin siemenet olla tyhjiä. Suuret laatuvaihtelut johtuvat siitä, että myös pölytyksen onnistuminen vaikuttaa tyhjien siementen määrään. Kuusen siemenaiheista kehittyi siemen, vaikkei pölytystä olisi tapahtunutkaan. Koska kuusen siitepöly leviää huonosti hiukkasten suuren koon ja ilmarakkojen pienuuden vuoksi, pölytyksen epäonnistuminen on melko tavallista. Pölytys tapahtuu tyydyttävästi vain puhtaissa kuusikoissa; yksittäispuissa ja sekametsissä se jää huonoksi hyvinäkin kukkimisvuosina (Sarvas 1968). Jonkin verran sukulaishedelmöityksen siemenen laatua heikentävää vaikutusta pienentää se, että kuusen siemenaiheisiin kehittyi useita munapesäkkeitä. Syntyvät alkiot joutuvat näin ollen keskinäiseen kilpailuun, jonka voittavat geneettisesti parhaat yksilöt (Sarvas 1968).

Myös kuusen siemenkiilukaisen (*Melastigmus strobilobius*) ja kuusen siemensäaskan (*Plemeliella abietina*) toukat ja muutamat muut hyönteiset lisäävät osaltaan siemenen laatuvaihteluita syömällä joskus suuren osan siemenistä ontoiksi. Joinakin vuosina voivat kuusenkäpykärpänen (*Hylemyia anthracina*), käpykoisa (*Dioryctria abietella*),

käpykääriäinen (*Laspeyresia strobilella*), orava ja pikkukäpylintu syödä käytännöllisesti katsoen kaikki kuusen siemenet. Tällaista sadonalennusta ei tässä esitetyillä malleilla pystytä ennakoimaan. Se ei toisaalta ole tarpeenkaan, sillä tuholaiset aiheuttavat tappioita yleensä vain hyvän siemenvuoden jälkeisinä niukan sadon vuosina. Huonoina siemenvuosina niiden kannat laskevat siinä määrin, etteivät ne ehdi tuhota monen huonon vuoden jälkeen saatavaa ensimmäistä runsasta satoa, ts. satoa, jonka ennustamisesta yleensä ollaan eniten kiinnostuneita (esim. Kangas 1940, Rummukainen 1955, 1960).

Tässä työssä siemensatojen mittausjaksot olivat sen verran lyhyitä, ettei ollut mahdollista analysoida, oliko tutkittujen metsiköiden siementuotannossa ollut nousevia tai laskevia pitkän ajan trendejä. Ilmeistä kuitenkin on, että esim. siemenviljelmillä ja vasta hakatuilla siemenpuualoilla tai siemenkeräysmetsiköissä saneerauksen jälkeen siementuotanto on melko kauan lisääntyvä (esim. Lehto 1956, 1969). Tietyn ajan jälkeen metsikön siementuotanto taas saattaa alkaa pienentyä. Tällaisissa tapauksissa olisi aika otettava ennustemallin yhdeksi selittäväksi muuttujaksi esim. vuosimäärinä siemenviljelmän perustamisesta, päätehakuusta tai siitä, kun metsikkö on saavuttanut määrätyn iän.

On ilmeistä, että metsäpuiden siementuotanto riippuu useista eri tyyppisistä tekijöistä ja tekijäryhmistä, joista eri vuosina eri tekijät ovat ratkaisevia. Usein sadon määrä voidaan selittää kukkimista edeltävänä kesänä vallinneiden säiden avulla, mutta toisinaan siementuotannon energiatilanteesta johtuva rytmi estää runsaan siemennyksen edullistenkin kasvukausien jälkeen. Joskus taas runsaaseen kukintaan saattaa olla syynä jokin poikkeuksellinen ulkoinen ärsyke. Kun nämä eri tyyppiset tekijät onnistutaan selvittämään ja yhdistämään samaan siementuotannon selitysmalliin, on siemensatojen tarkka ja luotettava ennustaminen mahdollista.

KIRJALLISUUS

- BLOMQVIST, A. 1876. Några iakttagelser rörande fröbildningens periodicitet hos tallen och granen samt rörande ekorrrens förekommande i Finland. Meddel. Soc. Fauna Flora Fennica 1: 47—54.
- HEIKINHEIMO, O. 1932. Metsäpuiden siementämiskyvystä I. Referat: Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume I. Commun. Inst. For. Fenn. 17(3): 1—16.
- 1937. Metsäpuiden siementämiskyvystä II. Referat: Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume II. Commun. Inst. For. Fenn. 24(4): 1—67.
- 1948. Metsäpuiden siementämiskyvystä III. Summary: On the seeding capacity of forest trees III. Commun. Inst. For. Fenn. 35(3): 1—15.
- HUSTICH, I. 1948. The Scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Bot. Fenn. 42: 1—75.
- ILVESSALO, L. 1917. Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa. Referat: Studien über die Verjüngungsjahre in Süd- und Mittelfinland. Acta For. Fenn. 6(2): 1—96.
- KANGAS, E. 1940. Kuusen käpytuhot ja siemensato v. 1937. Referat: Zapfenschäden und Samenertrag bei der Fichte im J. 1937. Commun. Inst. For. Fenn. 29(2): 1—38.
- KOSKI, V. & TALLQVIST, R. 1978. Tutkimuksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. Summary: Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. Folia For. 364: 1—60.
- LAKARI, O.J. 1915. Studien über die Samenjahre und Alterklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden. Acta For. Fenn. 5(1): 1—216.
- 1921. Tutkimuksia kuusimetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa. Referat: Untersuchungen über die Verjüngungsjahre der Fichtenwälder in Süd- und Mittelfinland. Commun. Inst. For. Fenn. 4: 1—58.
- LEHTO, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction on Scots pine on the upland soils of Southern Finland. Acta For. Fenn. 66(3): 1—106.
- 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. Commun. Inst. For. Fenn. 67(4): 1—140.
- MIKOLA, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Commun. Inst. For. Fenn. 38(5): 1—131.
- 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseuduilla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timber-line region of Northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 40(2): 1—36.
- RUMMUKAINEN, U. 1955. Eräiden kuusenkäpytuhoisten esiintymisestä eri leveysasteilla. Deutsches Referat: Über das Auftreten einige Zapfenschädlinge der Fichte auf verschiedenen geographischen Breiten in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 42(4): 1—21.
- 1956. Käpysadon arvioimisesta. Helsingin yliopiston metsänhoitotiedotteen laitos. Konekirjoite.
- 1960. Kuusen siementuhojen runsaudesta ja laadusta. Referat: Über Reichlichkeit und Art der Samenschäden bei der Fichte. Commun. Inst. For. Fenn. 52.3: 1—83.
- 1975. Männyn käpysadon ennustamisesta. Summary: On forecasting the cone crop of Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 84(6): 1—26.
- RYYNÄNEN, M. 1973. Vajaasti tuleentuneiden männyn alkioiden luokittelu ja kasvatus. Kolarin tutkimusaseman tiedonantoja 5.
- SARVAS, R. 1948. Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. Summary: A research on the regeneration of birch in South Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 35(4): 1—91.
- 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Selostus: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Commun. Inst. For. Fenn. 53(4): 1—198.
- 1965. Metsäpuiden vuotuinen periodi. Suomalainen Tiedeakatemia. Esitelmät ja pöytäkirjat. ss. 239—259.
- 1968. Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. Selostus: Tutkimuksia kuusen kukkimisesta ja siemensadosta. Commun. Inst. For. Fenn. 67(5): 1—84.
- 1974. Investigations on the annual cycle of development of forest trees II. Autumn dormancy and winter dormancy. Selostus: Tutkimuksia metsäpuiden vuotuisesta syklistä. Syys- ja talvihorros. Commun. Inst. For. Fenn. 84(1): 1—101.
- SIRÉN, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Summary in English. Commun. Inst. For. Fenn. 54(2): 1—66.

SUMMARY

This study examines how good seed years Scots pine and Norway spruce can be predicted 1—3 years prior to seed fall. The following variables are used for the prediction of seed crops:

- information on previous seed crops
- number of stamen remains
- visual assessments of flower and cone crops
- growing season effective temperature sum (degree days, threshold +5 °C)
- May-September temperature, rainfall and cloudiness mean monthly values.

The Department of Silviculture, Finnish Forest Research Institute has measured Scots pine and Norway spruce seed production in different parts of Finland between 1924—46 and 1954—74. During the first period, crops were measured with 1 m² litter catchment boxes. Measurements were made in both single species stands and in some mixed stands. The 1954—74 measurements were made with 0,5 m² litter catchment funnels and only seed crops of single species stands were measured. In addition to seed, stamen remains collected in the funnels were separated and weighed. The seed crop measurement system outlined above is described in detail by Heikinheimo (1932) and Sarvas (1948, 1962, 1968).

The visual assessments used in the study are taken from records made by the National Board of Forestry, between 1924—67. Professionals in this state forestry service made annual inventories of flower, cone and seed crops of Scots pine and Norway spruce in different parts of the country. These crops were assessed visually into 6 crop classes: (0) none, (1) very little, (2) little, (3) medium, (4) rather large, (5) abundant.

Weather information is based on recording made by the Finnish Meteorological Office stations.

Three data sub-groups were formed from the observation classes outlined above (Apps. 1—3, Figs. 1—3), and it was on the basis of these that seed crop prediction was investigated. Correlation analysis and regression analysis were used to explain the dependence of different variables. Correlation factors between seed crops and predicting variables, calculated for different stages in the study, are given in Appendices 4—9.

The relationship between estimated and actual crop amounts can be seen from Figs. 4—12 and Tables 1—3. In general, averages of visual assessments of flower and cone crops over a fairly large area, can be used to explain 20—80 % on the variation in seeding of a stand in that area. Cone crop size is, notably in pine and slightly so in spruce, a better predictor than flower crop size for forecasting seed crops. Using visual assessments, good spruce seed crops are more reliably predicted than those of pine. For both species, any particular crop class accommodates a markedly larger

seed crop in Southern Finland compared to Northern Finland.

In spruce, measurement of the amount of stamens cast to the ground permits satisfactory prediction of the following year's seed crop Table 8, Fig. 16). In pine, seed crop predictions based on anthesis are noticeably less reliable (Fig. 13). The amount of stamen remains can be used to explain approx. 25 % of the variation in pine seed crops in Northern Finland, and 40 % of the variation in Southern Finland ($r \sim 0,5-0,7$). In spruce, anthesis explains approximately 65 % of the variation in seed crops in Southern Finland ($r \sim 0,6-0,9$).

In pine especially, the seed crop depends decisively on the weather during the growing season prior to flowering (Table 5). High temperatures increase flowering during the following spring, whilst abundant rainfall and cloud decrease it. In spruce, the above correlations are markedly weaker (Table 9). On the basis of the correlation coefficients in Tables 5 and 9, it is deduced that seed production is not determined by a single sub-period of the growing season (e.g. during differentiation on the flower-buds), but rather the nature of the whole growing season prior to flowering effects seed crop size.

The possibility of predicting seed production solely on the basis of weather factors is particularly good with pine, providing that the energy loss in trees caused by prolific flowering and seeding does not affect seed production during the following year.

Particularly in spruce, a good seed year is usually followed by several poor seed years. In pine, an abundant seeding in Southern Finland clearly affects the size of the following year's crop, and in Northern Finland the same phenomena lasts for two years.

Another factor complicating the compilation of a seed production forecasting model is that, even within a limited area, there are between stand differences in seeding prolificness (Figs. 11 and 12). Some of the variations are probably ostensible; they appear because as yet no-one has succeeded in developing a parametric test which would make possible the exact comparison of seed crops in different stands.

From Tables 6, 7, 10 and 11 and Figures 14, 15, 17 and 18, it is evident that by using climatic factors one can create quite practical models for predicting the seed crop of a single stand. By selecting 4—5 predictor variables, consisting of weather parameters measured during the summer prior to flowering, it is usually possible to explain 80—90 % of the variation in seeding. The reliability of prediction can be further improved by using the amount of stamen remains as an explanatory variable as well as e.g. records of seed, cone or flower crops during the two previous years (according to how far in advance forecasts are desired).

Liite 1. Tiedot alueista, joilla siemensadon mitaus- ja arviointituloksia on vertailtu.
Appendix 1. Information on districts where measured and estimated seed crops have been compared.

Metsätutkimuslaitoksen siemensantonnaukukset Seed crop measurements by the Finnish Forest Research Institute		Koealat — Experimental plots		Metsähallituksen ilmastoohavainnot Meteorological office					
Numero Number	Kokeilualue ja mittausjakso Experimental district and measurement period	Tukittavat puulajit Studied tree species p = pine s = spruce	Puulajisuhteet Tree species proportions, %		Metsähallituksen silmävaraiset arviointitiedot tarkastuspiiri ¹⁾ Visual assess- ments by the State board of Forestry, in- spektion distric sum				
			Numero Number	Tutkimus kohta ²⁾ Research point		Ikä, v Age, years	Keski- pituus m Mean height,	Tiheys Density	Siemen- laatikot, kpl No. of seed boxes
1	Pallasjärvi 1933—1939	mä, ku P, s	1	1	140	13	0,6	2	Utsjoki & Sodankylä
			2	2	160	15	0,7	2	Sodankylä, & Inari
			3	3	160	13	0,4	2	keskiarvo ³⁾ keskiarvo ⁵⁾
2	Kivalo 66°25' 1930—1939	ku s	4	4	150	12	0,5	2	North, western
			1	5	120	14	0,2	2	Perä-Pohjolan
			2	6	100	15	0,6	2	itäinen
			3	7	95	14	0,8	2	North, eastern
			4	9	100	15	0,7	1	
3	Viilppula 62°5' 1925—1945	mä p	5	10	70	16	0,9	1	
			6	14	100	14	0,9	1	
			7	17	100	18	0,8	1	
			8	18	100	19	0,8	1	
			1	31	70	30	0,7	1	Länsi-Suomen
			2	35	60	40	0,8	2	keskinen
			3	36	40	60	0,7	1	West-Finland,
4	Punkaharju 61°50' 1925—1938	mä p	4	38	120	26	0,8	1	central
			1	61	65	19	0,7	2	Itä-Suomen
			2	62	100	23	0,8	2	Pielisen
			3	63	100	23	0,7	2	East-Finland,
5	Ruotsinkylä 60°20' 1930—1938	mä p	4	70	80	25	0,8	2	Pielinen
			1	57	100	18	0,2	2	Länsi-Suomen
			2	58	100	18	0,2	2	eteläinen
			3	59	100	17	0,2	2	West-Finland,
			4	60	130	20	0,2	2	southern

1) Numerot vastaavat Heikinheimon (1937) Metsätieteellisen Tutkimuslaitoksen Julkaisussa 24.4. käyttämää (uudemmaa) numeroointia.

2) Tarkastuspiiri jakoo vastaa vuoden 1957 tilannetta. Tarkastuspiiri on merkitty kuvan 1.

3) Kokeilualueen lämpösukka on estimoitu laskemalla kahden sellaisen havaintopisteen lämpösukmien keskiarvo, joiden puolivälissä (pohjois-eteläsuunnassa) kokeilualue sijaitsee.

4) Vuosien 1924—1930 lämpösukka on estimoitu kertomalla Tohmajärven lämpösukka luvulla 1,26. Kerroin on saatu jakamalla vuosien 1931—1941 Tohmajärven ja Lappeenrannan lämpösukmien keskiarvojen summa saman ajanjakson Tohmajärven lämpösukmien summalla.

5) Kokeilualueen sijaintipaikkakunnan sademäärätietoja ei ollut käytettävissä.

1) Numbers correspond to those used by Heikinheimon (1937). Forest Science Research Institute publication 24.4.

2) The division of inspection districts is according to that of 1957 and is shown in figure 1.

3) The temperature sum is the mean of values taken from two observation stations, between which (north-south direction) the study district lies.

4) The 1924—1930 temperature sum is estimated by multiplying the Tohmajärvi temperature sum by 1.26. This multiplier is obtained by dividing the sum of the 1931—1941 averages of Tohmajärvi/Lappeenranta temperature sums by the Tohmajärvi temperature sums of the same period.

5) Rainfall data for the location of the study area was not available.

Liite 2. Tiedot alueista, joilla siemensadon ennustettavuutta on tutkittu.
Appendix 2. Information on districts where forecasting of the seed crop has been studied.

Metsäntutkimuslaitoksen siemensatomittaukset <i>Seed crop measurements by the Finnish Forest Research Institute</i>									Metsähallituksen silmävaraiset arviointitiedot tarkastuspiiri ⁴⁾	Tehoisa lämpösumma
Numero	Paikkakunta ja mittausjakso	Latitudi	Puulaji	Koeala ¹⁾	Taulukon numero ²⁾	Ikä (1966), v	Valtapi- tuus (1966), m	Runko- luku, kpl/ha ³⁾	Visual assess- ments by the State Board of Forestry, in- spection dis- trict	Effective temperature sum
<i>Number</i>	<i>Locality and measurement period</i>	<i>Latitude</i>	<i>Tree species p = pine s = spruce</i>	<i>Experi- mental plot¹⁾</i>	<i>Table number²⁾</i>	<i>Age (1966), years</i>	<i>Dominant height (1966), m</i>	<i>Stem number stems/ha³⁾</i>		
1	Inari 1956—1968	62°28'	mä-p	I	133	199	15	—	Perä-Pohjolan pohjoinen North, northern	Utsjoki ja Sodankylä keskiarvo ⁵⁾
			mä-p	II	134	195	15	—		
	Kittilä 1962—1973	68°01'	ku-s	III	84	80	17	550		Utsjoki and Sodankylä, mean
			ku-s	IV	85	163	20	754		
2	Rovaniemen mlk. 1954—1973	66°21'	mä-p	Ia	123	119	18	—	Perä-Pohjolan läntinen North, western	Kuusamo
			mä-p	XXVII	126	108	22	—		
			ku-s	XVIII	82	123	19	632		
			ku-s	I	81	262	24	708		
3	Vilppula 1954—1973	62°03'	mä-p	XI	119	129	27	—	Länsi-Suomen keskinen West-Finland, central	Pälkäne
			mä-p	VII	118	100	26	—		
			ku-s	XVII	78	79	28	240		
			ku-s	XII	77	129	27	272		
4	Punkaharju 1960—1975	61°48'	mä-p	I	109	143	27	—	Itä-Suomen keskinen East-Finland, central	Tohmajärvi ja Lappeenranta, keskiarvo Tohmajärvi and Lappeen- ranta, mean
			mä-p	XLV	110	115	21	—		
			ku-s	LII	74	92	23	—		
5	Tuusula 1956—1973	60°21'	mä-p	XXIII	102	131	22	—	Länsi-Suomen eteläinen West-Finland, southern	Helsinki
			mä-p	XXXII	103	140	19	—		
			ku-s	XXX	68	87	24	500		
			ku-s	XXXIV	69	63	22	400		

1) Metsäntutkimuslaitoksen siemensatutkimuksen koealan numero.

2) Julkaisun Folia Forestalia 364/1978 liitetaulukon numero.

3) Se tiedossa oleva runkoluku, joka koealalla oli lähinnä mittausjakson puolivälillä.

4) Tarkastuspiirijako vastaa vuoden 1957 tilannetta. Tarkastuspiirit on merkitty kuvaan 2. Metsähallituksen silmävaraisia arviointitietoja oli käytettävissä vuoteen 1967 saakka.

5) Utsjoen tehoiset lämpösummat on estimoitu siten, että vuosien 1931—1960 Sodankylän ja Utsjoen lämpösummien (30 havaintoa) perusteella on muodostettu regressioyhtälö

$$Y = 0,8513X - 142,39,$$

missä Y on Utsjoen lämpösumman estimaatti ja X Sodankylän lämpösumma, ja tällä yhtälöllä on laskettu vuosien 1956—1973 Utsjoen lämpösummien regressioarvot. Utsjoen ja Sodankylän lämpösummien välinen korrelaatiokerroin oli vv. 1931—1960 0,87). Inarin ja Kittilän lämpösummat on estimoitu laskemalla Sodankylän ja Utsjoen lämpösummien estimaattien keskiarvot.

1) Finnish Forest Research Institute seed crop experimental plot number.

2) Appendix table number in the publication Folia Forestalia 364/1978.

3) Stem number on the experimental plot during the middle of the measurement period.

4) The division of inspection districts is according to that of 1957 and is shown in figure 2. The State Board of Forestry used visual estimates until 1967.

5) 1956—1973 Utsjoki effective temperature sums are calculated using the regressions equation for the relationship between 1973—1960 known values of temperature sums in Sodankylä and Utsjoki,

$$Y = 0,8513X - 142,39,$$

where Y is the estimate of effective temperature sum for Utsjoki and X is the Sodankylä temperature sum. (The correlation coefficient between Utsjoki and Sodankylä temperature sums was 0,87 during 1931—1960). Temperature sums for Inari and Kittilä are estimated using the averages of Sodankylä and Utsjoki.

Liite 3. Tiedot alueista, joille siemensadon ennustemalli on laadittu.

Appendix 3. Information on districts for which a seed crop forecasting model has been derived.

Metsäntutkimuslaitoksen siemensomittaukset <i>Seed crop measurements by the Finnish Forest Research Institute</i>						Ilmatieteen laitoksen ilmastohavainnot			
Numero	Paikkakunta ja mittausjakso	Latitudi	Puulaji	Koeala ¹⁾	Taulukon numero ²⁾	Ikä (1966), v	Valtapi- tuus (1966), m	Tehoisa lämpösukka	Lämpötila, sademäärä, pilvisuus
<i>Number</i>	<i>Locality and measurement period</i>	<i>Latitude</i>	<i>Tree species</i> B = birch P = pine S = spruce	<i>Experi- mental plot¹⁾</i>	<i>Table number²⁾</i>	<i>Age (1966) years</i>	<i>Dominant height (1966), m</i>	<i>Effective temperature sum</i>	<i>Temperature rainfall, cloudiness</i>
1	Utsjoki 1964—1973	69°44'	mä P	I	135	—	10	Utsjoki ³⁾	Utsjoki
2	Kittilä 1961—1973	68°01'	ko B	—	53	91	15	Sodankylä	Kittilä
3	Sodankylä 1959—1973	67°22'	mä P	552	128	130	18	Sodankylä	Sodankylä
4	Siilinjärvi 1959—1973	63°04'	mä-P ku-S	545 544	120 80	112 72	25 20	Maaninka	Maaninka
5	Punkaharju 1960—1974	61°48'	ko-B	LIV	43	55	24	Tohmajärvi ja Lappeenranta, keskiarvo <i>Tohmajärvi and Lappeen- ranta, mean</i>	Punkaharju
6	Padasjoki 1954—1970	61°25'	ku-S ko-B	III 162	72 40	87 44	28 14	Pälkäne	Pälkäne
7	Tuusula 1957—1973	60°21'	mä-P ku-S	XXXII XXX	103 68	140 87	19 24	Helsinki	Tuusula

1) Metsäntutkimuslaitoksen siemensotutkimuksen koealan numero.

2) Julkaisun Folia Forestalia 364/1978 liitetaulukon numero.

3) Utsjoen lämpösukka on estimoitu siten, että v. 1970—1974 (5 havaintoa) Sodankylän ja Utsjoen (Nuorgamin) lämpösukmien perusteella on muodostettu regressioyhtälö

$$Y = 1,4075X - 532,09,$$

missä Y on Nuorgamin lämpösukman estimaatti ja X Sodankylän lämpösukka, ja tällä yhtälöllä on laskettu vuosien 1963—1969 Nuorgamin lämpösukmien regressioarvot. (Sodankylän ja Nuorgamin lämpösukmien välinen korrelaatiokerroin oli v. 1970—1974 0,98).

1) Finnish Forest Research Institute seed crop experimental plot number.

2) Appendix table number in the publication Folia Forestalia 364/1978.

3) 1970—1974 Utsjoki effective temperature sums are calculated using the regression equation for the relationship between 1963—1969 known values of temperature sums in Sodankylä and Utsjoki (Nuorgam).

$$Y = 1,4075X - 532,09,$$

where Y is the estimate of effective temperature sum for Utsjoki (Nuorgam) and X is the Sodankylä temperature sum. (The correlation coefficient between Nuorgam and Sodankylä temperature sums was 0,98 during 1970—1974).

Liite 4. Ensimmäisessä vaiheessa lasketut männyn siemensatojen ja niitä selittävien muuttujien väliet korrelaatiokertoimet.
Appendix 4. Pine - correlation coefficients (first stage calculations) for the relationships between seed crops and their explanatory variables.

Selittävä muuttuja Explanatory variable	Siemensato — seed crop																						
	Kokonaissiemensato Total seed crop				Täydet siemenet Full seeds				Kokonaissiemensato Total seed crop				Täydet siemenet Full seeds										
	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Pallasjärvi	Kiva-lo	Ruotsin-sin-kylä	Pallasjärvi	Kiva-lo	Ruotsin-sin-kylä	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Pallasjärvi	Kiva-lo	Ruotsin-sin-kylä	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality	Paikkakunta — Locality		
Tuleentumiskesän siemensato, logaritimi Seed crop, ripening summer, log n	-.27	.04	-.19	-.34	-.16	-.27	.03	-.21	-.33	-.23	-.23	-.32	-.14	-.31	-.17	-.23	-.27	-.13	-.28	-.13	-.28	-.33	
Kukkimiskesän siemensato, logaritimi Kukkimiskesän siemensato, logaritimi	-.33	-.46	-.39	.00	-.36	-.28	-.44	-.39	-.44	-.39	-.46	-.16	-.29	.09	-.16	-.41	-.16	-.30	.09	-.10	-.30	.09	-.10
Siemensato, logaritimi Seed crop, flowering summer, log n	.77	.76	.16	.42	-.42	.78	.76	.19	.45	-.55	.86	.58	.04	.33	-.27	.83	.59	.05	.33	-.45	.33	-.45	
Silmävarainen kukkisarvio Visual flowering estimate	.97	.90	.64	.54	.88	.99	.92	.63	.56	.79	.86	.87	.50	.40	.74	.89	.87	.52	.43	.62	.43	.62	
Silmävarainen käpsätoarvio Visual cone crop estimate	.95	.92	.62	.53	.91	.98	.94	.62	.56	.83	.82	.82	.46	.38	.76	.85	.83	.48	.40	.66	.48	.66	
Muunnettu käpsätoarvio Transformed cone crop estimate	.85	.73	.53	.51	.87	.84	.76	.54	.51	.76	.81	.82	.35	.48	.75	.85	.82	.37	.48	.58	.48	.58	
Silmävarainen siemensatoarvio Visual seed crop estimate	.41	.06	.01	.01	.34	.84	.08	.01	.01	.55	.29	.02	.02	.02	.54	.30	.03	.03	.03	.03	.03	.03	
Kokonaissato — total crop täydet siemenet — full seeds	.80	.02	.01	.01	.84	.04	.04	.04	.04	.60	.25	.02	.02	.02	.64	.26	.02	.02	.02	.02	.02	.02	
Kokonaissato, logaritimi — total seed crop, log n	.44	.12	-.19	-.19	.39	.11	-.18	-.18	-.18	.54	.20	-.20	-.20	-.20	.54	.20	-.19	-.19	-.19	-.19	-.19	-.19	
Täydet siemenet, logaritimi — full seeds, log n	.79	-.01	-.09	-.09	.82	.01	-.09	-.09	-.09	.59	.09	-.12	-.12	-.12	.63	.10	-.11	-.11	-.11	-.11	-.11	-.11	
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusma Temperature sum, summer prior to flowering	.73	.65	.53	.37	.52	.73	.65	.53	.36	.39	.67	.65	.20	.45	.61	.71	.65	.23	.45	.46	.45	.46	
Kukkimiskesän lämpösusma Kukkimiskesän lämpösusma	-.14	.08	.02	-.23	-.19	-.07	.02	.05	-.21	-.36	-.28	-.06	-.23	-.18	.00	-.27	-.07	-.21	-.15	-.24	-.15	-.24	
Tuleentumiskesän lämpösusma Tuleentumiskesän lämpösusma	-.27	.01	.09	.37	.32	-.29	.02	.10	.37	.27	-.17	-.06	-.25	.19	.22	-.14	-.04	-.22	.16	-.03	.16	-.03	
Kukkimivuoden kesäkuun sademäärä Rainfall, flowering summer	.46	.43	.29	.21	-.31	.43	.43	.32	.22	-.24	.60	.11	.28	.24	-.25	.52	.14	.29	.21	-.13	.29	.21	
Kukkimista edeltävän kesän sademäärä Rainfall, summer prior to flowering	-.37	.09	.21	-.08	-.42	-.37	.05	.21	-.07	-.43	-.45	-.18	.08	.02	-.52	-.38	-.17	.08	.03	-.48	.03	-.48	
Kukkimisarvion neliö Flowering estimate, squared	.89	.78	.25	.45	-.41	.89	.77	.28	.48	-.54	.92	.60	.10	.35	-.27	.90	.61	.11	.35	-.44	.11	-.35	
Käpsätoarvion neliö Cone crop estimate, squared	.96	.93	.63	.53	.91	.98	.94	.62	.56	.84	.83	.83	.47	.38	.76	.86	.84	.49	.41	.66	.49	.66	
Siemensatoarvion neliö Siemensatoarvion neliö	.87	.77	.51	.55	.88	.87	.80	.51	.55	.79	.83	.81	.32	.51	.76	.86	.81	.34	.51	.60	.34	.51	
Siemensatoarvion neliö Siemensatoarvion neliö	.77	.66	.54	.37	.52	.77	.66	.55	.36	.38	.70	.64	.21	.47	.61	.73	.64	.25	.46	.47	.25	.46	
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusman neliö Kukkimista edeltävän kesän lämpösusman neliö	-.13	.10	.00	-.22	-.19	-.06	.05	.03	-.20	-.37	-.25	-.04	-.25	-.18	-.01	-.25	-.04	-.23	-.14	-.25	-.14	-.25	
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusman neliö Kukkimista edeltävän kesän lämpösusman neliö	-.31	-.01	.08	.36	.30	-.33	.01	.08	.35	.25	-.20	-.07	-.26	.18	.21	-.18	-.06	-.23	.15	-.05	-.23	.15	
Kukkimista edeltävän ja kukkimiskesän lämpösusmien summa Sum of temperature sums, previous summer and flowering summer	.43	.50	.34	.08	.24	.48	.47	.37	.09	.03	.29	-.41	.01	.17	.41	.32	.41	.01	.19	.16	.01	.19	
Kokojen siemenen varisemista edeltävän kesän lämpösusmien summa Sum of temperature sums, three summers prior to seed fall	.25	.39	.31	.27	.34	.28	.37	.33	.27	.16	.17	-.28	-.13	.25	.43	.23	.29	-.09	.24	.11	-.09	.24	

Liite 5. Ensimmäisessä vaiheessa lasketut kuusen siemensatojen ja niitä selittävien muuttujien väliset korrelaatiokerroimet.
Appendix 5. Spruce - correlation coefficients (first stage calculations) for the relationship between seed crops and their explanatory variable.

Selittävä muuttuja Explanatory variable	Siemensato, kpl/m ² Seed crop, seeds/m ²						Siemensato, kpl/m ² , logaritmi Seed crop, (log seeds/m ²)					
	Kokonaissiemensato Total seed crop			Täydet siemenet Full seeds			Kokonaissiemensato Total seed crop			Täydet siemenet Full seeds		
	Paikkakunta Locality		Paikkakunta Locality	Paikkakunta Locality		Paikkakunta Locality	Paikkakunta Locality		Paikkakunta Locality	Paikkakunta Locality		Paikkakunta Locality
	Pallas- järvi	Kiva- lo	Vilp- pula	Pallas- järvi	Kiva- lo	Vilp- pula	Pallas- järvi	Kiva- lo	Vilp- pula	Pallas- järvi	Kiva- lo	Vilp- pula
Kukkimiskesän siemensato, logaritmi <i>Logarithm of seed crop, summer of flowering</i>	-.18	-.04	-.35	-.64	-.04	-.37	-.22	-.36	-.06	-.74	-.31	-.21
Silmävarainen kukkimisarvio <i>Visual flowering estimate</i>	.01	.87	.62	.38	.86	.61	.11	.76	.80	.36	.79	.83
Silmävarainen käpysatoarvio <i>Visual cone crop estimate</i>	-.11	.82	.54	.46	.82	.52	.04	.76	.87	.45	.79	.81
Muunnettu käpysatoarvio <i>Transformed cone crop estimate</i>	-.12	.96	.54	.44	.95	.53	.03	.78	.73	.44	.85	.79
Silmävarainen siemensatoarvio <i>Visual seed crop estimate</i>	-.24	.91	.47	-.08	.91	.46	-.12	.81	.54	.04	.87	.62
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusma <i>Temperature sum, summer prior to flowering</i>	.15	.07	-.02	.64	.51	-.01	.14	.11	-.28	.72	-.07	-.21
Kukkimiskesän lämpösusma <i>Temperature sum, flowering summer</i>	-.50	-.32	-.43	.18	-.32	-.43	-.30	.22	-.25	.12	.03	-.34
Kukkimisvuoden kesäkuun sademäärä <i>June rainfall, flowering year</i>	.03	.44	.01	.12	.44	.02	-.08	.57	-.03	.12	.52	.01
Kukkimista edeltävän kesän sademäärä <i>Rainfall, summer prior to flowering</i>	-.09	-.54	.08	-.31	-.52	.06	-.15	-.58	.16	-.30	-.58	.10
Kukkimisarvion neliö <i>Flowering estimate, squared</i>	-.03	.94	.65	.46	.94	.64	.12	.78	.79	.44	.83	.83
Käpysatoarvion neliö <i>Cone crop estimate, squared</i>	-.11	.90	.55	.48	.90	.54	.04	.78	.78	.47	.82	.81
Siemensatoarvion neliö <i>Seed crop estimate, squared</i>	.00	.90	.55	.00	.79	.53	.35	.45	.60	.36	.12	.66
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusman neliö <i>Temperature sum, squared, summer prior to flowering</i>	.14	.05	-.04	.67	.03	-.03	.13	.10	-.30	.75	-.08	-.23
Kukkimiskesän lämpösusman neliö <i>Temperature sum, squared, flowering summer</i>	-.45	-.32	-.40	.17	-.31	-.40	-.26	.23	-.22	.11	.03	-.32
Kukkimista edeltävän ja kukkimiskesän lämpösusmien neliö <i>Sum of temperature sums, squared, previous summer and flowering summer</i>	-.22	-.15	-.28	.59	-.16	-.28	-.10	.22	-.33	.60	-.03	-.35

Liite 7. Toisessa vaiheessa lasketut kuusen mitattujen siemensatojen ja niitä selittävien muuttujien väliset korrelaatiokerroimet.
Appendix 7. Spruce – correlation coefficients (second stage calculations) for the relationships between seed crops and their explanatory variables.

Selittävä muuttuja Explanatory variable	Siemensato — Seed crop									
	% kapasiteetista % of capacity					Siemeniä/m ² , luonnoll. logaritmi Seeds/m ² , natural log				
	Paikkakunta — Locality					Paikkakunta — Locality				
	Kit- tilä	Rova- niemi	Vilp- pula	Tuusula	Kit- tilä	Rova- niemi	Vilp- pula	Tuusula	Punka- harju	Tuusula
	Korrelaatiokerroin — Correlation coefficient									
Toisen metsikön sato, % kapasiteetista	.94	.21	.63	.45	.58	.45	.51	—	—	.25
Crop of stand two, % of capacity										
siemeniä/m ² , ln — seeds/m ² , log n	.78	.14	.58	.01	.86	.43	.48	—	—	.05
Hedettäneiden määrä, % kapasiteetista	.97	.77	.29	.93	.72	.83	.32	—	—	.76
Amount of stamen remains, % of capacity										
g/m ² , ln — g/m ² , log n	.78	.64	.37	.73	.67	.84	.51	.76	—	.86
Hedettäneiden määrän (% kapasiteetista) neliö	.99	.84	.20	.93	.70	.78	.25	—	—	.65
Amount of stamen remains (% of capacity), squared										
Kukkimisvuoden sato, % kapasiteetista	—	.14	—	.07	—	.04	—	.15	—	.04
Seed crop, flowering year, % of capacity										
siemeniä/m ² , ln — seeds/m ² , log n	—	.55	—	.07	—	.21	—	.25	—	.03
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusma	.03	—	.16	.46	.44	.16	—	.02	.42	.44
Temperature sum, summer prior to flowering										
Kukkimisesän lämpösusma	.35	.19	.07	.33	.24	.13	—	.05	.02	.21
Temperature sum, flowering summer										
Kukkimista edeltävän ja kukkimisesän lämpösusmien summa	.28	.02	.41	.59	.30	.07	.28	.37	.65	.65
Sum of temperature sums, previous summer and flowering summer										
Kukkimista edeltävän kesän lämpösusman neliö	—	.16	.46	.47	.11	—	.04	.40	.40	.62
Temperature sum, squared, summer prior to flowering										
Kukkimisesän lämpösusman neliö	.36	—	.14	.05	.31	.28	.07	.10	.01	.17
Temperature sum, squared, flowering summer										
Kukkimis- ja kukkimista edeltävän kesän lämpösusmien neliöiden summa	.26	—	.01	.39	.59	.28	.02	.23	.32	.59
Sum of temperature sums, squared, previous summer and flowering summer										
Silmävarainen kukkimisarvio	.07	.20	.52	.16	.08	.37	.55	.55	.42	.42
Silmävarainen kukkimisarvio										
Visual flowering estimate										
Silmävarainen käypysatoarvio	.07	.20	.47	.18	.07	.37	.49	.49	.44	.44
Visual seed crop estimate										
Kukkimisarvion neliö	.08	.20	.46	.15	.07	.35	.51	.54	.40	.40
Flowering estimate, squared										
Käypysatoarvion neliö	.07	.19	.41	.17	.06	.34	.46	.49	.42	.42
Cone crop estimate, squared										

Liite 8. Kolmannessa vaiheessa lasketut männyn mitattujen siemensatojen ja niitä selittävien muuttujien väliset korrelaatiokerroimet.
Appendix 8. Pine - correlation coefficients (third stage calculations) for the relationship between seed crops and their explanatory variables.

Selittävä muuttuja Explanatory variable	Siemensato — Seed crop				Siemensä/m ² Seeds/m ²				ln (siemensä/m ²) log (seeds/m ²)					
	Utsjoki	Paikkakunta — Sodan- kylä	Tuusula	Utsjoki	Paikkakunta — Sodan- kylä	Tuusula	Utsjoki	Paikkakunta — Sodan- kylä	Tuusula	Utsjoki	Paikkakunta — Sodan- kylä	Tuusula	Utsjoki	Paikkakunta — Sodan- kylä
Kukkimista edeltävän kesän — Summer prior to flowering:														
siemensato, siemensä/m ² — seed crop, seeds/m ²	-22	-02	-09	-20	-02	-09	-20	-10	-10	-02	-09	-20	-10	-10
siemensato, ln (siemensä/m ²) — seed crop, log n (seeds/m ²)	-33	-03	.24	.65	-03	.24	.65	.00	.32	-03	.24	.65	.00	.32
lämpösумma — temperature sum	.52	.72	.44	.58	.72	.44	.58	.73	.57	.72	.44	.58	.73	.57
lämpösумman neliö — square of temperature sum	.52	.71	.42	.47	.71	.42	.47	.71	.53	.71	.42	.47	.71	.53
keskilämpötila — mean temperature in,														
toukokuussa — May	.21	.58	.42	.39	.58	.42	.44	.50	.36	.58	.42	.39	.50	.36
kesäkuussa — June	.30	.37	-.25	.13	.37	-.25	.12	.41	.03	.37	-.25	.13	.41	.03
heinäkuussa — July	.38	.48	.16	.42	.48	.16	.42	.25	.29	.48	.16	.42	.25	.29
elokuussa — August	.50	.52	.84	.48	.52	.84	.17	.48	.83	.52	.84	.17	.48	.83
syyskuussa — September	.29	.18	.25	.46	.18	.25	.27	.46	.23	.29	.18	.25	.46	.23
keskimääräinen pilvisuus — mean cloudiness in,														
toukokuussa — May	-10	-11	-49	-21	-11	-49	-21	-05	-28	-11	-49	-21	-05	-28
kesäkuussa — June	-42	-26	-16	-25	-26	-16	-16	-25	-38	-26	-16	-16	-25	-38
heinäkuussa — July	-19	-58	-45	.21	-58	-45	.21	.00	-65	-19	-58	-45	.21	-65
elokuussa — August	-65	-67	-54	-13	-67	-54	-13	-48	-66	-65	-67	-54	-13	-66
syyskuussa — September	-07	.38	-11	-34	.38	-11	-34	-08	.45	-07	.38	-11	-34	.45
sademäärä — rainfall in,														
toukokuussa — May	-50	-12	-08	-45	-12	-08	-02	-45	-28	-50	-12	-08	-02	-45
kesäkuussa — June	-34	-32	-26	-47	-32	-26	-24	-47	-38	-34	-32	-26	-24	-38
heinäkuussa — July	-19	-12	-35	-19	-12	-35	-19	-07	-16	-19	-12	-35	-19	-16
elokuussa — August	-46	.01	.18	.05	.01	.18	.05	.41	.15	-46	.01	.18	.05	.41
syyskuussa — September	.16	.05	-14	.04	.05	-14	.04	.14	.12	.16	.05	-14	.04	.12
lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly temperature	.43	.69	.47	.48	.69	.47	.48	.45	.67	.43	.69	.47	.48	.61
pilvisyyden kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly cloudiness values	-55	-52	-50	-29	-52	-50	-37	-29	-54	-55	-52	-50	-37	-54
touko—syyskuun sademäärä — May–September rainfall	-42	-21	-24	-24	-21	-24	-24	-38	-20	-42	-21	-24	-24	-20
Kukkimisvuoden — Flowering year														
hedetähteiden määrä, g/m ² — amount of stamen remains, g/m ²	.51	.47	.68	.35	.47	.68	.61	.53	.61	.51	.47	.68	.61	.53
hedetähteiden määrä, ln (g/m ²) — amount of stamen remains, log n (g/m ²)	.46	.45	.64	.33	.45	.64	.57	.33	.55	.46	.45	.64	.57	.37
siemensato, siemensä/m ² — seed crop, seeds/m ²	-24	-30	-11	-21	-30	-11	-21	-21	-33	-24	-30	-11	-21	-33
siemensato, ln (siemensä/m ²) — seed crop, log n (seeds/m ²)	-29	-29	-02	-27	-29	-02	-27	-27	-32	-29	-29	-02	-27	-32
lämpösумma — temperature sum	.14	.16	.12	-02	.16	.12	-17	-02	.12	.14	.16	.12	-02	.12
lämpösумman neliö — temperature sum, squared, in,	.10	.12	.42	-02	.12	.42	-19	-02	.05	.10	.12	.42	-02	.05
keskilämpötila — mean temperature in,														
toukokuussa — May	.32	.10	-14	.18	.10	-14	-49	.18	-07	.32	.10	-14	-49	.18
kesäkuussa — June	.07	.06	.42	-15	.06	.42	-02	-15	.18	.07	.06	.42	-02	.18
heinäkuussa — July	.04	.26	.18	-39	.26	.18	-39	-08	.28	.04	.26	.18	-39	.00
elokuussa — August	.16	.00	.02	-16	.00	.02	-16	-03	.00	.16	.00	.02	-16	-03
syyskuussa — September	.06	.06	-20	-06	.06	-20	-01	-06	-10	.06	.06	-20	-01	-06

keskimääräinen pilvisuus — average cloudiness values in,

toukokuussa — May	-17	.38	.02	.38	-04	.46	.31	-26
kesäkuussa — June	-27	-24	-48	-09	-14	-14	-46	-06
heinäkuussa — July	.01	.07	-01	.04	.03	.18	-03	.33
elokuussa — August	.01	.14	-05	.29	.05	.17	-04	.23
syyskuussa — September	.35	.24	.07	.01	.26	.15	.23	.27
sademäärä — rainfall in:								
toukokuussa — May	-56	-32	.01	.32	-43	-12	.02	.37
kesäkuussa — June	-57	-16	-13	-10	-42	-14	.00	-34
heinäkuussa — July	-17	.49	.22	-26	-10	.59	.10	-18
elokuussa — August	.53	.26	-27	.01	.59	.21	-24	.02
syyskuussa — September	.42	.03	-07	-01	.56	.11	.00	.23
lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly temperatures	.11	.18	.10	-37	-05	.16	-24	-56
pilvisyyden kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly cloudiness values	-06	.21	-12	.22	.04	.26	.03	.30
touko—syyskuun sademäärä — May–September rainfall	.00	.23	-12	.02	.17	.35	-09	.06
toukokuun keskilämpötilan neliö — mean May temperature, squared	.30	.01	-18	-47	.19	-19	-63	-59
kesäkuun keskilämpötilan neliö — mean June temperature, squared	.08	.06	.42	-02	-16	.18	.32	-11
toukokuun sademäärän neliö — mean May rainfall, squared	-34	-20	-02	.40	-21	-01	.03	.40
kesäkuun sademäärän neliö — mean June rainfall, squared	-45	.09	-06	-17	-32	-09	.02	-42
Tuulentumisvuoden — Ripening summer:								
siemensato, siemeniä/m ² — seed crop, seeds/m ²	.20	.00	-32	-15	.10	.14	-05	-02
siemensato, ln (siemeniä/m ²) — seed crop, log (seeds/m ²)	.21	-08	-42	-05	.13	.00	-27	.06
lämpösumma — temperature sum	.39	-08	-30	-22	.25	-08	-18	-23
lämpösumman neliö — temperature sum, squared	.43	-06	-29	-20	.27	-04	-17	-20
keskilämpötila — mean temperature sum in,								
toukokuussa — May	.15	-19	-36	-50	.16	-10	-20	-43
kesäkuussa — June	.47	.09	-14	-03	.38	.07	-03	-18
heinäkuussa — July	.20	.00	-17	.02	.14	-04	-09	-05
elokuussa — August	.32	-28	-31	.11	.26	-35	-20	.19
syyskuussa — September	.06	.23	-09	-19	.14	.13	-03	-10
keskimääräinen pilvisuus — mean cloudiness values in,								
toukokuussa — May	.18	.57	-07	-19	.10	.43	-25	-29
kesäkuussa — June	-66	.05	.30	-06	-65	.03	.34	-07
heinäkuussa — July	.13	.11	-02	-12	.13	.00	.05	-08
elokuussa — August	.27	.39	-21	-49	.30	.37	-16	-51
syyskuussa — September	.44	.10	-03	.23	.51	.08	-06	.10
sademäärä — rainfall in,								
toukokuussa — May	-39	.24	-58	-08	-37	.19	-05	.00
kesäkuussa — June	-53	.43	-01	-23	-56	.39	-14	-35
heinäkuussa — July	.66	.11	-01	-02	.76	.11	.10	-10
elokuussa — August	.29	.33	-14	.11	.40	.23	-21	.07
syyskuussa — September	.23	-14	-25	.32	.37	-28	-19	.49
lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly temperatures	.30	-04	-39	-24	.27	-07	-20	-23
pilvisyyden kuukausikeskiarvojen summa — sum of monthly cloudiness values	.13	.46	-05	-22	.13	.34	.06	-29
touko—syyskuun sademäärä — May–September rainfall	.36	.39	-30	-12	.53	.22	-28	.12

Liite 9. Kolmannessa vaiheessa lasketut kuusen mitattujen siemensatojen ja niitä selittävien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet.
Appendix 9. Spruce - correlation coefficients (third stage calculations) for the relationship between seed crops and their explanatory variables.

	Enustajamuuttuja Predictor variable				Siemensato — Seed crop			
	Sii- lin- järvi	Paikkakunta — Locality	Tuusula	Korrelaatiokerroin — Correlation coefficient	Sii- lin- järvi	Tuusula	Paikkakunta — Locality	In (siemeniä/m ²) log (seeds/m ²)
Kukkimista edeltävän vuoden — Year prior to flowering:								
Siemensato, siemeniä/m ² — seed crop, (seeds/m ²)	.13	.05	.06	.24	.02	.02	.02	-.03
siemensato, ln (siemeniä/m ²) — seed crop, log (seeds/m ²)	.09	.03	.01	.10	.10	.10	.10	-.04
tehoisa lämpösumma — effective temperature sum	.01	-.14	.46	.01	.00	.00	.00	.65
lämpösumman neliö — temperature sum, squared	.01	-.13	.47	-.02	.00	.00	.00	.64
kuukauden keskilämpötila — mean monthly temperature in,								
toukokuussa — May	-.08	.06	.06	-.38	-.16	-.16	-.16	.21
kesäkuussa — June	.41	.44	.46	.41	.15	.15	.15	.68
heinäkuussa — July	.21	.16	.59	.23	.24	.24	.24	.52
elokuussa — August	-.20	.32	.22	.05	.53	.53	.53	.55
syyskuussa — September	-.24	.00	-.19	-.33	-.02	-.02	-.02	-.03
kuukauden keskim. piviisyys — mean monthly cloudiness in,								
toukokuussa — May	-.03	.08	-.17	.10	.14	.14	.14	-.34
kesäkuussa — June	-.45	-.27	-.17	-.43	-.41	-.41	-.41	-.44
heinäkuussa — July	-.01	.01	-.37	-.19	-.37	-.37	-.37	-.27
elokuussa — August	.06	.08	-.09	.04	-.20	-.20	-.20	-.37
syyskuussa — September	.44	-.21	.07	.36	-.04	-.04	-.04	-.38
sademäärä — rainfall in,								
toukokuussa — May	-.27	-.02	-.34	-.30	.05	.05	.05	-.34
kesäkuussa — June	-.54	.06	-.20	-.44	-.33	-.33	-.33	-.24
heinäkuussa — July	.52	.26	-.19	.16	-.13	-.13	-.13	-.10
elokuussa — August	-.20	-.01	.18	-.12	-.24	-.24	-.24	-.12
syyskuussa — September	.41	-.02	-.24	.14	.04	.04	.04	-.50
lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly temperatures	.07	.34	.39	.00	.23	.23	.23	.64
piviisyyden kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly cloudiness values	.01	.08	-.20	-.03	-.27	-.27	-.27	-.57
touko—syyskuun sademäärä — May–September rainfall	.06	.13	-.24	-.17	-.26	-.26	-.26	-.54
Kukkimisvuoden — Flowering year:								
hedetähteiden määrä, g/m ² — amount of stamen remains, g/m ²	.70	.39	.93	.79	.58	.58	.58	.76
hedetähteiden määrä, ln (g/m ²) — amount of stamen remains, log (g/m ²)	.61	.28	.73	.85	.48	.48	.48	.86
siemensato, siemeniä/m ² — seed crop, seeds/m ²	-.25	-.10	-.19	.10	-.43	-.43	-.43	-.04
siemensato, ln (siemeniä/m ²) — seed crop, log (seeds/m ²)	-.18	-.12	-.11	.24	-.33	-.33	-.33	-.04
tehoisa lämpösumma — effective temperature sum	-.20	.24	.34	-.02	.06	.06	.06	.22
lämpösumman neliö — square of temperature sum	-.25	.23	.33	-.07	.04	.04	.04	.20

kuukauden keskilämpötila — mean monthly temperature in,									
toukokuussa — May	-36	.46	.24	-.51	.40	-.04			
kesäkuussa — June	-34	-.03	.13	.10	.23	.17			
heinäkuussa — July	-12	.18	.45	.14	.03	.39			
elokuussa — August	.00	-.03	.15	.14	-.17	.07			
syyskuussa — September	.14	.08	-.12	-.03	-.15	-.40			
kuukauden keskim. piviisyys — mean monthly cloudiness value in,									
toukokuussa — May	.25	-.44	.28	.25	-.45	.27			
kesäkuussa — June	.40	.57	.20	.21	.08	.09			
heinäkuussa — July	-.11	.25	-.28	-.06	.09	-.19			
elokuussa — August	.23	.28	.06	.08	.24	.01			
syyskuussa — September	.00	-.13	.15	-.02	-.25	.29			
sademäärä — rainfall in,									
toukokuussa — May	-.17	-.26	.23	-.17	-.39	.02			
kesäkuussa — June	.02	.18	-.12	.10	.01	.00			
heinäkuussa — July	.09	.47	-.53	.11	.53	-.30			
elokuussa — August	.20	.00	-.11	-.04	-.17	-.03			
syyskuussa — September	.08	.03	.29	-.26	-.19	-.10			
lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly temperatures	-.26	.29	.31	-.07	.16	.07			
piviisyyden kuukausikeskiarvojen summa — sum of mean monthly cloudiness values	.24	.10	.17	.15	-.13	.18			
touko—syyskuun sademäärä — May–September rainfall	.00	.21	-.09	-.06	-.06	-.08			
toukokuun keskilämpötilan neliö — mean May temperature, squared	-.34	.47	.20	-.51	.37	-.11			
kesäkuun keskilämpötilan neliö — mean June temperature, squared	-.35	-.04	.13	.09	.20	.17			
toukokuun sademäärän neliö — May rainfall, squared	-.11	-.26	.29	-.07	-.41	.10			
kesäkuun sademäärän neliö — June rainfall, squared	.02	.11	-.04	.08	-.07	.11			

ODC 232.311.1+174.7 *Pinus sylvestris*+174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0593-7
ISSN 0015-5543

LEIKOLA, M., RAULO, J. & PUKKALA, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. Summary: Prediction of variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce. *Folia For.* 537:1—43

This study examines the prediction of Scots pine and Norway spruce seed crops by visual assessments of flower and cone crops, anthesis, the size of previous seed crops and certain meteorological parameters. A nationwide total of 56 stands was studied.

In general, averages of visual assessments of flower or cone crops over a rather large area, can be used to explain 20—80 % of the variation in seed crops of a pine or spruce stand within that area. A regression model, having as explanatory variables 4—5 meteorological parameters of the growing season prior to flowering (e.g. mean monthly temperature, cloudiness or rainfall), often explains 90 % of seed crop variation for the stand for which the seed crop model is composed. Particularly in spruce, the number of stamens cast to the ground is a more reliable predictor of the seed crop.

Authors' addresses: *Leikola & Pukkala*: The University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland. *Raulo*: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 232.311.1+174.7 *Pinus sylvestris*+174.7 *Picea abies*
ISBN 951-40-0593-7
ISSN 0015-5543

LEIKOLA, M., RAULO, J. & PUKKALA, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. Summary: Prediction of variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce. *Folia For.* 537:1—43

This study examines the prediction of Scots pine and Norway spruce seed crops by visual assessments of flower and cone crops, anthesis, the size of previous seed crops and certain meteorological parameters. A nationwide total of 56 stands was studied.

In general, averages of visual assessments of flower or cone crops over a rather large area, can be used to explain 20—80 % of the variation in seed crops of a pine or spruce stand within that area. A regression model, having as explanatory variables 4—5 meteorological parameters of the growing season prior to flowering (e.g. mean monthly temperature, cloudiness or rainfall), often explains 90 % of seed crop variation for the stand for which the seed crop model is composed. Particularly in spruce, the number of stamens cast to the ground is a more reliable predictor of the seed crop.

Authors' addresses: *Leikola & Pukkala*: The University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland. *Raulo*: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

Tilaan kortin kääntäpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

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

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

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



Folia Forestalia _____

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia _____

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoegasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

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

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

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

Kannuksen energiametsäkoegasema
Kannus Energy Forestry Experiment Station
Os. — *Address:* 69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

- No 513 Kalaja, Hannu & Rantamäki, Jari: Junkkari laikkahakkurit.
Junkkari disc chippers.
- No 514 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Kuitupuupinojen painuminen.
Shrinkage of pulpwood piles.
- No 515 Kärkkäinen, Matti & Uusvaara, Olli: Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä.
Factors affecting the quality of young pines.
- No 516 Päivänen, Juhani: Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen.
The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area.
- No 517 Sepponen, Pentti, Laine, Lalli, Linnilä, Kimmo, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsätyyppit ja niiden kasvillisuus Pohjois-Suomessa. Valtakunnan metsien III inventoinnin (1951—1953) aineistoon perustuva tutkimus.
The forest site types of North Finland and their floristic composition. A study based on the III National Forest Inventory (1951—1953).
- No 518 Kubin, Eero & Poikolainen, Jarmo: Hakkaamattoman metsän sekä eri tavoin muokatun avohakkuualan rousta- ja lumisuhteista.
Snow and frost conditions in an uncut forest and open clear-cut areas prepared in various ways.
- No 519 Schildt, Jyri: Unimog kuorma-autoon perustuva polttohakkeen hankintajärjestelmä.
Producing fuel chips with Unimog truck.
- No 520 Kärkkäinen, Matti: Tuloksia pystykarsittujen mäntyjen sahaustuksesta.
Results on sawing pruned pines.
- No 521 Kärkkäinen, Matti & Kallinen, Jorma: Kemin seudun mäntytukkien koesahaustuloksia.
On the sawing of pine logs from northern Finland, Kemi region.
- No 522 Björklund, Tarja: Kontortamännyn puutekniset ominaisuudet.
Technical properties of lodgepole pine wood.
- No 523 Vuokila, Yrjö: Metsien teknisen laadun kehittäminen.
The improvement of technical quality of forests.
- No 524 Varmola, Martti: Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen.
Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning.
- No 525 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1981.
Abstracts of the publications of the Finnish Forest Research Institute, 1981.
- No 526 Silfverberg, Klaus: Näringsanalys i två spårämnesgödslande granplanteringar.
Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients.
- No 527 Nikkanen, Teijo: Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemenen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella.
Survival and height growth of North Finland × South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas.
- No 528 Siren, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainproessorilla.
Stand damage in thinning operation with grapple loader processor.
- No 529 Valtonen, Kari: Sahatavaran ja puulevyjen käyttö uudisrakentamiseen 1970-luvulla.
Use of sawnwood and wood-based panels in new building construction in the 1970's.
- No 530 Hannelius, Simo: Metsäkiinteistöjen kauppahinta-aineisto ja sen soveltuvuus kauppa-arvomenetelmän vertailuperusteeksi.
Forest real estate purchase price statistics as a basis for comparison method in real estate appraisal.
- No 531 Kinnunen, Kaarlo: Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa.
Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland.
- No 532 Lyly, Olavi & Saksala, Timo: Pituuskasvun vaihtelu ja puuluokkien eriytyminen nuorena istutusmännikössä.
Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation.
- No 533 Lähde, Erkki, Nieminen, Jarmo, Etholén, Kullervo & Suolahti, Pekka: Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa.
Older lodgepole pine stands in southern Finland.
- No 534 Mälkönen, Eino & Saarsalmi, Anna: Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa.
Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands.
- No 535 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forest of western Finland.
- No 536 Raitio, Hannu: Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä.
Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field.
- No 537 Leikola, Matti, Raulo, Jyrki & Pukkala, Timo: Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen.
Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaleilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomoniesteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341

ISBN 951-40-0593-7
ISSN 0015-5543