

## Kuusen ja männyn siemensadon ennustemalli

Timo Pukkala

ABSTRACT: A MODEL FOR PREDICTING THE SEED CROP OF *PICEA ABIES* AND *PINUS SYLVESTRIS*

Pukkala, T. 1987. Kuusen ja männyn siemensadon ennustemalli. Abstract: A model for predicting the seed crop of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica* 21(2): 135–144.

Tutkimuksessa kuusen ja männyn siemensadon vaihtelua ennustetaan kahden kukkimista edeltävän kasvukauden touko-elokuun keskilämpötilojen avulla. Laaditut mallit perustuvat noin 10 vuoden pituisiin siemensadon ja ilmastotietojen aikasarjoihin, joita on kaikkiaan 59 kpl. Kummallekin puulajille laadittiin 2 ennustemallia, toinen Lappia ja toinen muuta Suomea varten. Lapissa kuusi kukki runsaasti 2 vuotta viileän ja vuosi lämpimän kesä-heinäkuun jälkeen, muualla Suomessa 2 vuotta viileän ja vuosi lämpimän kesä-heinäkuun jälkeen. Mänty kukki Lapissa runsaasti sellaisen kasvukauden jälkeen, jolloin koko touko-elokuu oli ollut lämmin. Muualla Suomessa kukintaa edelsi usein viileä kesäkuu, jos kasvukausi oli muutoin lämmin. Runsaasta kukintaa edelsi tavallisesti myös viileä kasvukausi kaksi vuotta ennen kukkimisvuotta. Laaditut mallit selittivät 37...49 % siemensadon vaihtelusta. Hyvät ja huonot siemenvuodet malleilla voitiin yleensä ajoittaa oikein. Malleja käytettäessä satoennuste saadaan kuusella n. 1,5 ja männyllä 2,5 vuotta ennen siemenen varisemisvuoden alkua.

The seed crop of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is predicted with the help of mean monthly temperatures during May-August one and two years before the flowering year. The prediction models were made separately for Lapland and for the rest of Finland. The models are based on 10-year periods of seed crop measurements and climatic data. The total number of time series was 59. In Lapland, Norway spruce flowered abundantly and produced an abundant seed crop after warm July-August and two years after cool July-August. In other parts of Finland, warm June and July preceded a good flowering year, especially if these months were cool two years before the flowering year. In Lapland, Scots pine flowered abundantly if the whole previous growing season was warm. Elsewhere in Finland, a cool June preceded prolific flowering in the coming year if the rest of the growing season was considerably warmer than the average. The prediction models explained 37...49 % of the variation in the size of the seed crop. The occurrences of good and poor seed years were usually predicted correctly. Using the presented models, the prediction of the seed crop is obtainable 1.5 year for Norway spruce and 2.5 years for Scots pine before the year of seedfall.

Keywords: flowering initiation, influence of temperature, natural regeneration  
ODC 232.311.1+174.7 *Picea abies* + 174.7 *Pinus sylvestris*.

Author's address: University of Joensuu, Faculty of Forestry, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland.

Approved on 5. 6. 1987

## 1. Johdanto

Kuusen ja männyn siemensatoa voidaan ennustaa mm. puiden kukintaa tarkkailemalla. Tulevan vuoden kukinta ja sitä vastaava siemensato voidaan ennakoita myös sää- tunnusten avulla, sillä kukkimisrunsaus korreloi edellisen kasvukauden sää- tunnusten kanssa (Leikola, ym. 1982). Sää- tunnoiksi käytet- täessä siemensatoennuste saadaan useita kuukausia aikaisemmin kuin kukintaa tark- kaamalla. Lisäksi siemensatoa ennustavat tunnuksat mitataan sää- nöllisesti Ilmatie- teen laitoksen sää- asemilla.

Prof. Risto Sarvaksen laajojen tutkimuk- sien ansiosta Suomessa on poikkeuksellisen paljon täsmällistä tietoa metsiköiden siemen- sadosta (Koski ja Tallqvist 1978). Myös tämä

## 2. Säteekijöiden vaikutus siementuotantoon

Tirén (1935) totesi kuusen käpytuotannon korreloivan positiivisesti kukkimista edeltä- vän kasvukauden heinäkuun lämpötilan kanssa ja kuivuudenkin edistävän kukintaa hieman. Etelä-Norjan siemenviljelmillä läm- pimät säät kesä-heinäkuussa lisäävät ja sade vähentää kuusen hede- ja emikukintaa seuraavana vuonna (Brøndbo 1970). Puolas- sa kuusisiemenviljelmien kukinta riippuu eni- ten kukkasilmujen erilaistumisvuoden kesä- kuun säteilyn määrästä ja lämpötilasta (Chalupka 1975, Chalupka ja Giertych 1977).

Minskin seudulla männyn siemensatoa suurentaa kukkimista edeltävän vuoden elo- lokakuun lämpötila (Jurkevitch ja Lubjako 1955). Puolassa mäntysiemenviljelmien siemensadon on todettu korreloivan positiivisesti ilman kuivuuden ja auringon säteilyn määrän (Fober 1976) kanssa. Ruot- sin mäntysiemenviljelmillä korkeat läm- pötilat kesäkuun lopulla ja heinäkuun alussa aiheuttavat runsaan kukinnan seuraavana vuonna (Eriksson 1980). Leikolan ym. (1982) mukaan korkea lämpötila lisää, pilvisuus ja

luo hyvät edellytykset siemensadon vaihtelu- jen selittämiseksi ja ennustamismenetelmien laatimiseksi. Käytännön metsätalouteen soveltuvaa siementuotannon ennustamis- menetelmää ei kuitenkaan ole kehitetty.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on laatia koko maahan soveltuva männyn ja kuusen siemensadon ennustemalli. Mallin käytön tulee olla yksinkertaista eikä ennustaminen saa edellyttää suuriteoisia mittauksia.

Tutkimuksen käsikirjoituksen ovat lukeneet prof. Sep- po Kellomäki, dos. Veikko Koski, MH Taneli Kolström ja MH Timo Kuuluvainen. Leena Kaunisto on tarkas- tanut englanninkieliset tekstinosat. Esitän parhaat kiitokseni em. henkilöille.

sade vähentävät männyn ja kuusen kukintaa seuraavana kesänä.

Edellisten tulosten yhteinen piirre on, että kasvukauden lämpötila, kuivuus ja suuri säteily määrä lisäävät kuusen ja männyn kukintaa seuraavana kesänä. Edellisen kaltaisi- siin johtopäätöksiin ovat muilla havupuula- jeilla päätyneet Matthews (1963), Maguire (1956), Daubenmire (1960), Wachter (1964), Lester (1967), Bastide ja Vredenburg (1970), Ebell (1970), Rehfeldt ym. (1971) ja Eis (1973, 1976).

Koska metsikön puut ja eri metsiköt kuk- kivat laajoillakin alueilla runsaasti samoina vuosina (Eis ym. 1965, Chalupka ja Giertych 1973, Koski ja Tallqvist 1978), säteekijöiden voidaan päätellä olevan tärkeitä siemen- tuotannon vaihtelun aiheuttajia.

Metsäpuiden siementuotannolle on tyypil- listä, että runsaan kukinnan jälkeisenä vuon- na kukkiminen on yleensä vähäistä (esim. Tirén 1935, Wachter 1964, Powell 1977). Eisin ym. (1965) ja Eisin (1973) mukaan tämä johtuu osittain siitä, että kukkiminen edellyttää kahdelta peräkkäiseltä vuodelta

sellaisia sääoloja, että jokavuotinen kukkimi- nen on mahdotonta. Mm. douglaskuusi (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) ja jät- tiläisjalokuusi (*Abies grandis* (Dougl.) Lind.) kukkivat runsaasti, kun kukkasilmujen erilaistumisvuoden on ollut aurinkoista ja lämmintä, mutta sitä edellisenä kesänä koleaa ja pilvistä (Eis 1973, Bastide ja Vre- denburg 1979). Sama riippuvuus on havait- tu myös Amerikan punamännyn (*Pinus resin- osa* Ait., Lester 1967) ja kuusella (Brøndbo 1970): viileä, pilvinen ja sateinen kasvukausi 2 vuotta ennen kukintaa sekä lämmin, aurin-

koinen ja vähäsateinen kasvukausi vuosi en- nen kukintaa edeltävät usein hyvää siemen- satoa.

Kaksi vuotta aiemman kasvukauden kyl- myyden ja pilvisyyden kukintaa lisäävä vai- kutus voidaan ainakin osittain selittää kukin- nan ja puun energiatilanteen avulla. Kolea ja pilvinen sää vähentää kukkasilmujen erilai- tumista, joten seuraavana vuonna kukinta on niukkaa. Niukan kukinnan vuoksi kilpailu hiilihydraateista on vähäistä, mikä lisää kuk- kasilmujen erilaistumista ja seuraavan vuo- den kukintaa.

## 3. Tutkimusaineisto

Lähdeaineisto koostuu Metsäntutkimus- laitoksen siemensatomittauksen tuloksista vuosilta 1956...1974 (Koski ja Tallqvist 1978) ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnois- ta (Ilmastohavainnot 1950...1978). Siemensatoja on mitattu 21 kuusikossa ja 38 männikössä, jotka sijaitsevat eri puolilla Suomea. Yhdessä metsikössä mittausjakso on yleensä ollut n. 10 v.

Metsiköiden siemensatoa on mitattu kariesuppiloiden avulla. Yhdessä metsikössä suppiloita on yleensä ollut 10 kpl, mutta jois- sakin metsikössä ainoastaan 2 kpl. Sup- piloiden suuaukon pinta-ala on ollut 0,5 m<sup>2</sup>. Suppiloihin varissee siemenet on kerätty kuukauden väliajoin. Tutkimusmetsiköt ovat olleet pinta-alaltaan suhteellisen laajoja ja puustoltaan varttuneita ja täystiheitä (Koski ja Tallqvist 1978).

Aineiston alustavan tarkastelun perusteella tutkimusaineisto jaettiin kummallakin puula- jilla kahteen osaan: Lappi ja muu Suomi. Eri metsiköiden siementuotanto tehtiin ver- tailukelpoiseksi muuttamalla siemensadot suhteelliseksi arvoiksi (% metsikön kes- kimääräisestä vuotuisesta siemensadosta) Saatua osamäärää nimitetään siemensatoin- deksiksi.

Tutkimuksessa käytetyt sää- tunnoukset ovat

Ilmatieteen laitoksen sää- asemilla klo 14 mitattujen lämpötilojen kuukausikeskiarvoja touko-elokuulta. Yhden siemensatometsikön satoa selittämään valittiin metsikköä lähinnä sijaitsevan sää- aseman keskilämpötilat (Il- mastohavainnot 1950...1978). Tut- kimusaineistona on käytetty kaikkiaan 20 sää- aseman mittauksia. Myös sää- tunnoukset muutettiin indekseiksi (% keskiarvosta), jotta eri osissa maata tehdyt havainnot olisivat paremmin vertailukelpoisia. Ajankohta klo 14 valittiin siksi, että ko. hetken mittaukset olivat täydellisimmät. Lämpötilamittauksen kellonajalla ei ole olennaista vaikutusta tut- kimustuloksiin, koska eri tavoin lasketut kes- kilämpötilat korreloivat voimakkaasti keske- nään, ja tutkimuksessa käytetään suhteellisia lämpötiloja.

Tutkimuksen alkuvaiheessa mukana olivat myös pilvisyyden kuukausikeskiarvot ja kuukausisadannat. Nämäkin sää- tunnoukset korreloivat siemensadon kanssa, mutta siementuotannon ennustemallia laadittaessa niiden tuoma selitysvaikutus ei yleensä ollut tilastollisesti merkitsevä, jos mallissa olivat jo mukana parhaat lämpötilaindeksit. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa tarkaste- laan vain siementuotannon ja lämpötilan väl- istä riippuvuutta.

## 4. Siemensadon ennustemallit

### 4.1. Kuusi

Kuusen siemensato korreloi Lapissa parhaiten heinä-elokuun ja muualla Suomessa kesä-heinäkuun lämpötilan kanssa (taulukko 1). Runsasta kukintaa edelsi usein viileä kasvukausi kaksi vuotta aikaisemmin ja lämmin kasvukausi vuotta aikaisemmin.

Korrelaatiokertoimien ja alustavien regressioanalyysien perusteella keskilämpötiloista muodostettiin joukko yhdistelmämuuttujia, joita käytettiin siemensadon ennustemallin selittäjinä. Lapissa kuusen kukkimista ennakoi parhaiten kukkimista edeltävän ja kaksi vuotta aikaisemman kasvukauden heinä-elokuun lämpötilojen suhde (E1 ja H1 ovat elo- ja heinäkuun lämpötilaindeksit kukkimista edeltävänä vuonna, E2 ja H2 vastaavat indeksit 2 vuotta ennen kukintaa):

$$L12 = 100 \times (E1+H1)/(E2+H2) \quad (1)$$

Muualla Suomessa paras ennustemalli saatiin, kun kahden kukkimista edeltävän vuo-

Taulukko 1. Kuusen siemensatoindeksin korrelaatio lämpötilaindeksien kanssa.

Table 1. Correlation between temperature and seed crop of Norway spruce.

Lämpötilaindeksi Temperature index	Korrelaatiokerroin Correlation coefficient	
	Lappi Lapland	Muu Suomi Rest of Finland
Kukkimista edeltävä vuosi Year before flowering		
- Toukokuu - May	-0.18	0.06
- Kesäkuu - June	-0.06	0.39
- Heinäkuu - July	0.30	0.43
- Elokuu - August	0.34	0.20
Kaksi vuotta ennen kukintaa Two years before flowering		
- Toukokuu - May	-0.26	-0.10
- Kesäkuu - June	0.05	-0.15
- Heinäkuu - July	-0.26	-0.24
- Elokuu - August	-0.22	-0.03

den lämpötiloja kuvattiin erillisillä muuttujilla:

$$L1 = (H1+K1)/2 \quad (2)$$

$$L2 = (2H2+K2)/3 \quad (3)$$

Siemensatoindeksin (SI) ennustemallit olivat seuraavat (kertoimen alapuolella on sen t-arvo):

$$\begin{aligned} \text{Lappi} \\ SI &= -94.124 + 1.6667^{-8}L12^3 \quad (4) \\ t\text{-arvo:} & \quad 5.87 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Muu Suomi} \\ SI &= 175.35 + 0.06144 L1^2 - 5.9860 L2 \quad (5) \\ t\text{-arvo:} & \quad 9.27 \quad -4.88 \end{aligned}$$

Yhtälöiden merkitsevyystaso on korkea ( $p < 0.01$ ), mutta selitysaste melko alhainen ja jäännöshajonta suuri:

	Lappi	Muu Suomi
Havaintoja	52	179
F-arvo	34.4 (1,50)	52.9 (2,176)
Selitysaste	40,8 %	37,5 %
Jäännöshajonta	153.3	112.8

### 4.2. Mänty

Siemensatoindeksin ja kahden kukkimista edeltävän kasvukauden lämpötilojen väliset korrelaatiot olivat männyllä samansuuntaiset kuin kuusella (taulukko 2). Lapin eteläpuolella siemensato korreloi positiivisesti kukkimista edeltävän kesän keskilämmön kanssa ja negatiivisesti vuotta aikaisemman kasvukauden keskilämmön kanssa.

Korrelaatiokertoimissa kiinnittää huomiota, että Lapin eteläpuolella siemensatoindeksi korreloi negatiivisesti kukkimista edeltävän vuoden kesäkuun lämpötilan kanssa. Koska kesäkuun lämpötilan korrelaatio oli

Taulukko 2. Männyn siemensatoindeksin korrelaatio lämpötilaindeksien kanssa.

Table 1. Correlation between temperature and seed crop of Scots pine.

Lämpötilaindeksi Temperature index	Korrelaatiokerroin Correlation coefficient	
	Lappi Lapland	Muu Suomi Rest of Finland
Kukkimista edeltävä vuosi Year before flowering		
- Toukokuu - May	0.27	0.45
- Kesäkuu - June	0.36	-0.10
- Heinäkuu - July	0.48	0.35
- Elokuu - August	0.43	0.48
Kaksi vuotta ennen kukintaa Two years before flowering		
- Toukokuu - May	-0.13	-0.15
- Kesäkuu - June	0.00	-0.01
- Heinäkuu - July	-0.08	-0.39
- Elokuu - August	0.28	-0.28

positiivinen muiden kuukausien lämpötilojen kanssa, on kesäkuun lämpötilan osittaiskorrelaatio siemensadon kanssa ilmeisesti selvemmin negatiivinen kuin -0.1. Tämän mukaisesti näyttäisi siltä, että mänty kukkisi Etelä- ja Keski-suomessa runsaasti, jos edeltävä kasvukausi on muuten lämmin, mutta kesäkuun vaiheilla on viileä kausi.

Kesäkuun lämpötilan negatiivinen korrelaatio seuraavan vuoden kukinnan kanssa oli sitä selvempi, mitä etelämmäs siirrytään; yksittäisessä eteläsuomalaisessa männikössä siemensatoindeksin ja edellisen vuoden kesäkuun lämpötilaindeksin välinen korrelaatiokerroin oli tyypillisesti -0.2...-0.4. Tämä erikoinen korrelaatio selittää osittain sen, että parhaat männyn ja kuusen kukkimisvuodet eivät olleet samat, vaikka yleisesti ottaen kumpikin laji kukki runsaasti kaksi vuotta viileän ja vuosi lämpimän kasvukauden jälkeen. Tutkimusaineistossa hyviä männyn kukkimisvuosia olivat mm. 1958, 1960, 1964, 1968 ja 1970. Kuusen parhaat kukkimisvuodet olivat 1954, 1967 ja 1973.

Myös Lapissa kukkasilmujen erilaistumisvuoden lämpötilan ja siemensadon määrän positiivinen korrelaatio oli vahva. Kaksi vuotta ennen kukintaa vallinneiden lämpötilojen vaikutus ei ollut yhtä selvä (taulukko 2).

Lapissa runsaaseen siemensatoon liittyi pitkä jakso lämpimiä kesäkuukausia, joista ensimmäinen oli elokuun 2 vuotta ennen kukintaa ja viimeinen kukkimista edeltävän vuoden elokuu.

Lapin männiköiden siemensatoa päädyttiin ennustamaan seuraavalla yhdistelmämuuttujalla, joka kuvaa kasvukauden lämpimyyttä silmujen erilaistumisvuonna ja elokuussa 2 vuotta ennen kukintaa (E1 on elokuun lämpötilaindeksi kukintaa edeltävänä vuonna jne.):

$$L12 = (3E1+4H1+3K1+T1+E2)/12 \quad (6)$$

Muualla Suomessa siemensatoa ennustettiin kolmella muuttujalla, joista ensimmäinen kuvaa kasvukauden alun lämpötilamuutoksia silmujen erilaistumisvuonna (T1K1), toinen kasvukauden lopun lämpimyyttä erilaistumisvuonna (H1E1) ja kolmas sitä edeltävänä vuonna (H2E2):

$$T1K1 = 100 \times (T1/K1) \quad (7)$$

$$H1E1 = (2E1+H1)/3 \quad (8)$$

$$H2E2 = (E2+3H2)/4 \quad (9)$$

Siemensatoindeksille saatiin seuraavat ennustemallit:

$$\begin{aligned} \text{Lappi} \\ SI &= -216.5 + 0.03133 L12^2 \quad (10) \\ t\text{-arvo:} & \quad 9.54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Muu Suomi} \\ SI &= -329.7 + 1.766 T1K1 + 4.829 H1E1 - 2.282 H2E2 \quad (11) \\ t\text{-arvo:} & \quad 9.22 \quad 11.40 \quad -5.14 \end{aligned}$$

Merkitsevyystasoltaan männyn siemensatoindeksin ennustemallit olivat selvästi parempia kuin kuusen. Männyn malleihin liittyvät tunnusluvut ovat:

	Lappi	Muu Suomi
Havaintoja	156	331
F-arvo	90.9 (1,154)	105.3 (3,327)
Selitysaste	37,1 %	48,9 %
Jäännöshajonta	79.9	62.1

Siemensatoennusteiden laskemiseksi laditiin FORTRAN-kielinen tietokoneohjelma, joka käyttää edellä esitettyjä malleja. Ennustajina käytetään klo 14 mitatun lämpötilan kuukausikeskiarvoja touko-elokuulta (pitkän ajan keskiarvot sekä yhden kuukauden keskiarvot kahdelta kukintaa edeltävältä vuodel-

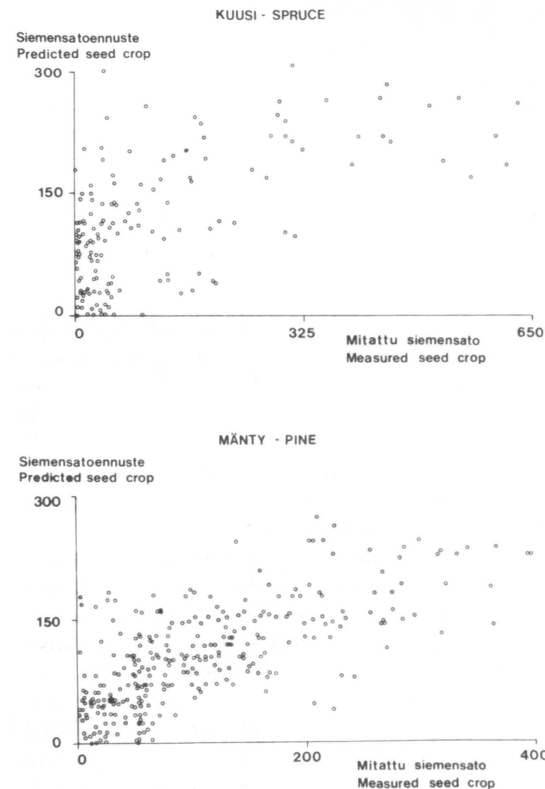
ta). Ohjelma muuttaa lämpötilat indekseiksi. Ennustamisessa tarvittavat tunnuksat ovat saatavissa Ilmatieteen laitoksen sääasemilta. Ohjelma laskee sekä siemensatoennusteen että arvion ennusteen luotettavuudesta. Tietokoneohjelma on saatavissa kirjoittajalta.

## 5. Tarkastelua

Tutkimuksessa esitetyillä siemensadon ennustemalleilla voidaan laskea satoennusteita kukkimista edeltävän kesän lopulla. Kuuselle ennuste saadaan lähes 1,5 vuotta ja männyllä 2,5 vuotta ennen sen vuoden alkua, jolloin siemen varisee. Ennuste saadaan siis lähes vuotta aikaisemmin kuin kukintaa tarkkailemalla, ja siihen tarvitaan vain kesäkuukausien keskilämpötilat kahdelta kukintaa edeltävältä vuodelta. Näin aikainen ennuste antaa runsaasti aikaa uudistamistoimenpiteiden suunnittelulle ja valmistelulle.

Muun Suomen mallit ovat parempia kuin Lapin alueelle laaditut, ja männyllä mallit parempia kuin kuusen. Mallit selittävät vain 37...40 % siemensadon vaihtelusta. Jäänöshajonta on suuri ja yksittäistapauksissa ennusteet ovat huonoja (kuva 1). Yksi syy jäänöshajonnan suuruuteen ovat siemensadon mittausvirheet. Metsikön siemensato on mitattu otannalla kahdella tai kymmenellä suuaukoltaan 0,5 m<sup>2</sup>:n karikesuppilolla. Mittauksen luotettavuutta kuvaava keskiarvon keskivirhe on kuusella tyypillisesti 20...40 % ja männyllä 10...15 %, kun siemensato on keskinkertainen. Otantavirhe siemensatoa mitattaessa selittää siten Lapin eteläpuolella kuuselle 20...40 % ja männyllä 15...25 % mitatun ja ennustetun siemensadon eroa, Lapissa jonkin verran vähemmän.

Toinen jäänöshajontaa suurentava tekijä on se, että satoindeksejä muodostettaessa käytetyt keskisadot eivät ilmaise kovin tarkasti ko. metsikön keskimääräistä siemenen tuottokykyä, koska keskisadot on laskettu vain n. 10 vuoden perusteella. Eri metsiköissä mittausjaksoon on sattunut eri määrä hyviä siemenvuosia, minkä vuoksi keskisato on asettunut eri tasolle. Tästä aiheutuva metsiköiden välinen siemensatoindeksin vaihtelu

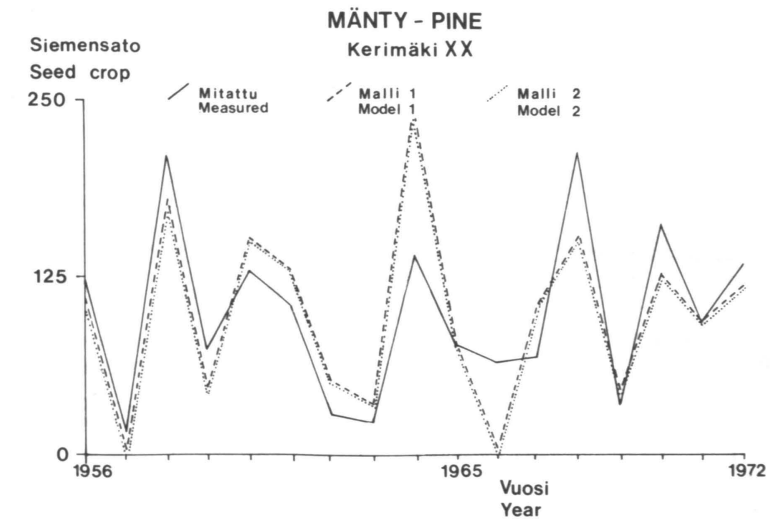
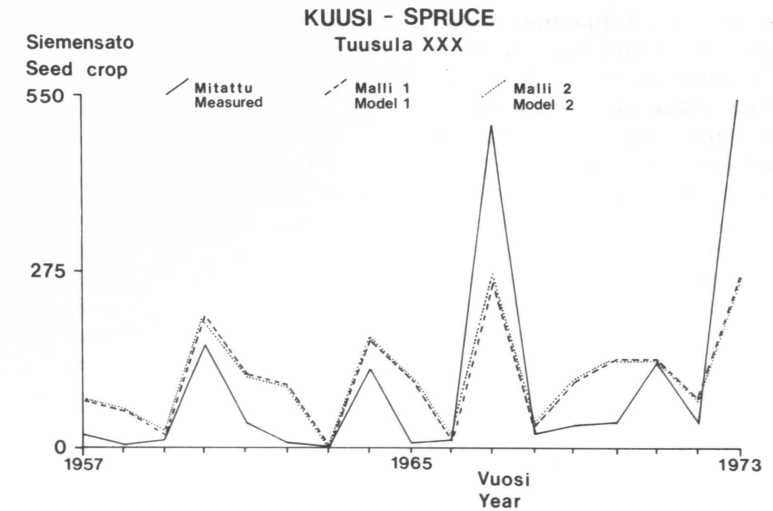


Kuva 1. Mitatun ja ennustetun siemensadon yhteisvaihtelu Lapin eteläpuolella kuusella ja männyllä.

Fig. 1. Correlation between measured and predicted seed crop in Norway spruce and Scots pine stands in southern and central Finland.

on tämän tutkimuksen kannalta mittausvirhettä, joka huonontaa ennusteiden luotettavuutta kuvaavia tunnuslukuja.

Mallien hyvyttä ei pidä arvostella pelkäs-



Kuva 2. Esimerkkejä mitatun siemensadon ja ennusteen vuotuisvaihtelusta Lapin eteläpuolella kuusella ja männyllä. Malli 1 on laadittu koko Lapin eteläpuolisen aineiston perusteella. Mallia 2 laadittaessa ei ole käytetty sitä metsikköä, jonka siemensatoa kuva esittää.

Fig. 2. Examples of the variation of measured and predicted seed crop in spruce and pine stands locating in central Finland. Model 1 is based on all data concerning southern and central Finland. Model 2 is made without the stand presented in the figure.

tään ennustevirheen perusteella. Oleellista on myös, pystytäänkö mallilla ennustamaan ne vuodet, jolloin siemensato on poikkeuksellisen hyvä tai huono. Tässä tutkimuksessa esitetyt mallit ennustavat hyvät ja huonot sie-

menvuodet yleensä oikein, vaikka ennusteen ja mitatun siemensadon välinen ero olisikin absoluuttisesti suuri (kuva 2).

Mallien laatua heikentävä tekijä on se, että yksi malli kattaa laajan maantieteellisen

alueen. Siementuotannon riippuvuus sää-  
tunnuksista vaihtelee pienialaisemmin kuin en-  
nustemallien laskenta-alueet. Laskenta-alue-  
et jouduttiin tekemään näin laajoiksi sie-  
mensatotietojen vähäisyyden takia. Siemen-  
sadon ennustamisen luotettavuutta voitai-  
siinkin parantaa hankkimalla satotietoja sel-  
laisista osista maata, joista mittauksia on  
toistaiseksi niukasti, etenkin tietoja kuusen  
siemensadoista Keski- ja Pohjois-Suomessa.  
Tutkimusaineistossa ei ole lainkaan Siilinjär-  
ven ja Rovaniemen leveysasteiden välillä si-  
jaitsevia metsiköitä, minkä vuoksi ei voida

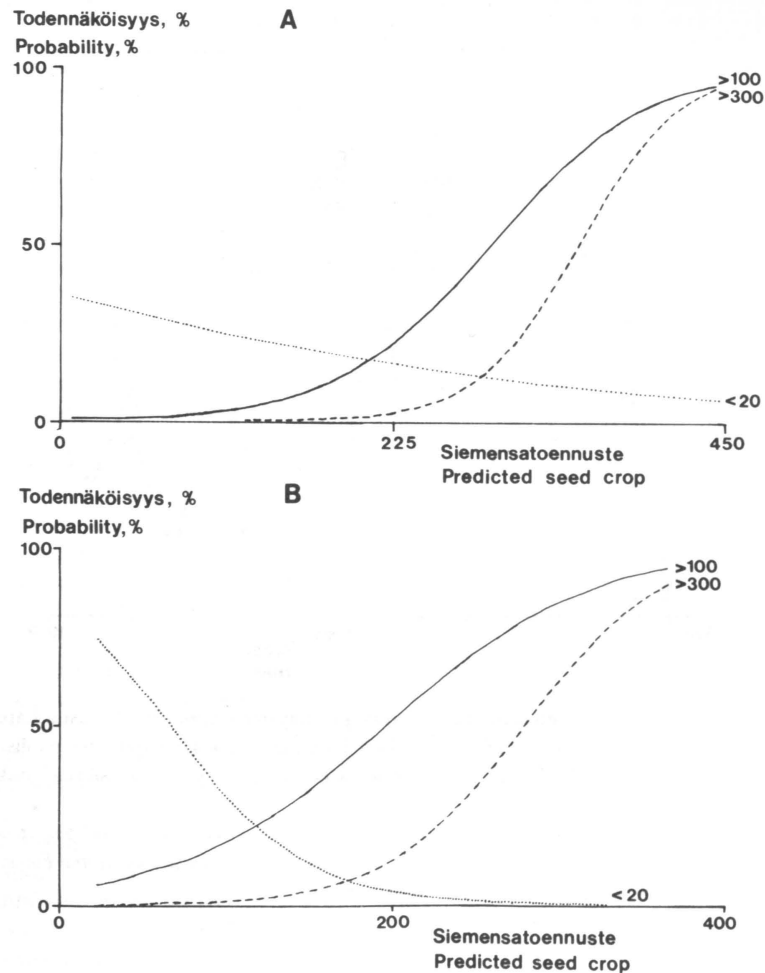
sanoa täsmällisesti, missä Lapin ja muun  
Suomen mallin käyttöalueen raja kulkee, tai  
voidaanko välialueella käyttää kumpaakaan  
mallia. Jos malleja käytetään suuralueen kes-  
kimääräisen siemensadon ennustamiseen, ei  
Etelä-Suomessa tehtävistä lisämittauksista il-  
meisesti olisi paljonkaan hyötyä; ennustemal-  
lien parametrit eivät näet paljonkaan muut-  
tuisi, vaikka mallit laadittaisiin vain osasta  
aineistoa (kuva 2).

Ennen kukkimisvuotta käytettävissä olevil-  
la säätiedoilla ei milloinkaan voida täysin  
ennakoida tulevaa siemensatoa. Pölytys saat-

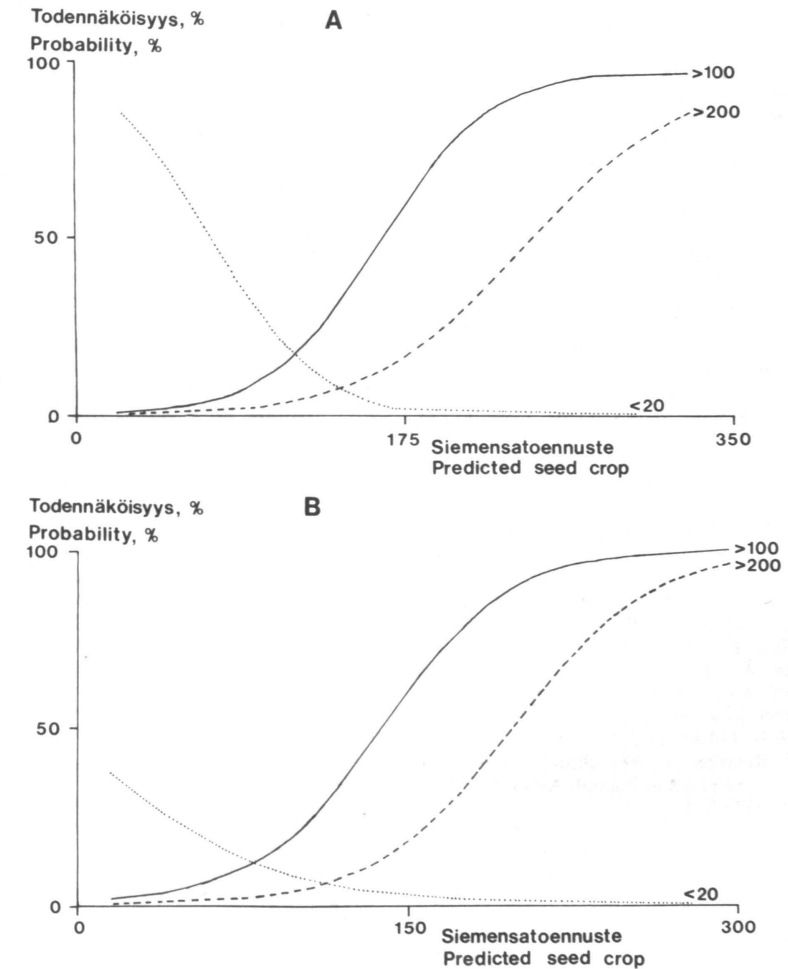
taa epäonnistua epäedullisten säiden takia tai  
sato saattaa tuhoutua kukinnan jälkeen tuho-  
hyönteisten tai sienitautien vuoksi. Ennuste-  
mallien käyttö lisää kuitenkin omalta osaltaan  
luontaisen uudistamisen onnistumista. Hyvän  
siemensadon todennäköisyys on varsin suuri  
silloin, kun mallilla ennustettu sato on runsas  
(kuvat 3 ja 4). Toisaalta riski, että siemensato  
on poikkeuksellisen pieni, on tällöin erittäin  
pieni. Melkoisella varmuudella voidaan myös  
sanoa, että mallin ennustaessa

niukkaa satoa todennäköisyys saada keski-  
määräistä parempi sato on erittäin pieni (ku-  
vat 3 ja 4).

Lopullisesti luontaisen uudistamisen on-  
nistumisen ratkaisevat muut seikat kuin sie-  
mensadon määrä. Lapissa minimitekijä on  
usein siementen kypsyminen ja muualla Suo-  
messa itämisolosuhteet. Näitä tekijöitä ei kui-  
tenkaan voida ennustaa muulla tavoin kuin  
ennustamalla tulevaa säätä.



Kuva 3. Todennäköisyyden, että kuusen siemensatoindeksi on >100, >300 tai <20, riippuvuus satoennusteesta. A: Lappi, B: muu Suomi. Riippuvuudet on määritetty regressioanalyysillä tutkimusaineiston perusteella.  
Fig. 3. Dependence of probability that the seed crop of spruce stand is >100, >300 or <20 on the predicted seed crop. A: Lapland, B: rest of Finland. The probabilities are calculated with regression models which are based on the study material.



Kuva 4. Todennäköisyyden, että männyn siemensatoindeksi on >100, >200 tai <20, riippuvuus satoennusteesta. A: Lappi, B: muu Suomi. Riippuvuudet on määritetty regressioanalyysillä tutkimusaineiston perusteella.  
Fig. 4. Dependence of probability that the seed crop of pine stand is >100, >200 or <20 on the predicted seed crop. A: Lapland, B: rest of Finland. The probabilities are calculated with regression models which are based on the study material.

# Kirjallisuus

- Bastide, J. A. & van Vredenburg, C. L. M. 1970. The influence of weather conditions on the seed production of some forest trees in Netherlands. Medd. Bosboufproefst. Wageningen. 102 s.
- Brøndbo, P. 1970. The effect of meteorological factors on the flowering intensity and cone crop of *Picea abies* in southeastern Norway. Proceedings of IUFRO Sect. 22, Working Group on Sexual reproduction of Forest Trees, Varparanta. 16 s.
- Chalupka, W. 1975. Wpływ czynników klimatycznych na urodzaj szyszek u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.). Arboretum Kornickie 20: 213–225.
- & Giertych, M. 1973. Seed years in *Picea abies* (L.) Karst. Arboretum Kornickie 18: 183–186.
- & Giertych, M. 1977. The effect of polyethylene covers on the flowering of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) grafts. Arboretum Kornickie 22: 185–192.
- Daubenmire, R. 1960. A seven-year study of cone production as related to xylem layers and temperature in *Pinus ponderosa*. The American Midland Naturalist 64 (1): 187–193.
- Ebell, L. F. 1970. Physiology and biochemistry of flowering of Douglas-fir. Proceedings of IUFRO Sect. 22, Working Group on Sexual Reproduction of Forest Trees, Varparanta. 10 s.
- Eis, S. 1973. Cone production of Douglas-fir and grand fir and its climatic requirements. Can. J. For. Res. 3 (1): 61–70.
- 1976. Association of western white pine cone crops with weather variables. Can. J. For. Res. 6 (1): 6–12.
- , Garman, E. H. & Ebell, L. F. 1965. Relation between cone production and diameter increment of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), grand fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lind.) and western white pine (*Pinus monticola* Dougl.). Can. J. Bot. 43 (12): 1553–1559.
- Eriksson, G. 1980. Är lokaliseringen A och O för granens och tallens sexliv. Summary: The importance of the correct location of seed orchards. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1–2: 65–71.
- Fober, H. 1976. Relation between climatic factors and Scots pine cone crops in Poland. Arboretum Kornickie 21: 367–374.
- Ilmastohavainnot 1950–1978. Suomen Meteorologinen vuosikirja. Osa 1a. Niteet 50–78. Ilmatieteen laitos.
- Jurkevitch, I. D. & Lubjako, M. N. 1955. Tavallisen kuusen satoisuus mänty-kuusimetsissä. Suomen metsätaloudellisten teosten kokoelmasta. 6. julkaisu, s. 18. Minsk 1955. Metsäkirjasto. Moniste. 8 s.
- Koski, V. & Tallqvist, R. 1978. Tuloksia 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.
- Larcher, W. 1981. Ökologie der Pflanzen. 3. painos. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart. 399 s.
- Leikola, M., Raulo, J. & Pukkala, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihtelujen ennustaminen. Summary: Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce. Folia For. 537: 1–43.
- Lester, D. T. 1967. Variation in cone production of red pine in relation to weather. Can. J. Bot. 45: 1683–1691.
- Maguire, W. P. 1956. Are Ponderosa pine cone crops predictable? J. For. 54 (11): 778–779.
- Matthews, J. D. 1963. Factors affecting the production of seed by forest trees. For. Abs. 24: 1–8.
- Powell, G. R. 1977. Biennial strobilus production in balsam fir: a review of its morphogenesis and discussion of its apparent physiological basis. Can. J. For. Res. 7 (4): 547–555.
- Rehfeldt, G. E., Stage, A. R. & Bingham, R. T. 1971. Strobili development in western white pine: periodicity, prediction, and association with weather. For. Sci. 17 (4): 454–461.
- Tirén, L. 1935. Om granens kottsättning, des periodicitet och samband med temperatur och nederbörd. Medd. St. SkogförsAnst. 28: 413–518.
- Wachter, R. 1964. Über die Beziehungen zwischen Witterung und Büchen-Mastjahren. Forstarchiv 35: 69–78.

Total of 24 references