

Männyn siementen syyskeräys: Käpyjen kylmävarastoinnin ja idätysolosuhteiden vaikutus itävyyteen

Markku Nygren

SUMMARY: AUTUMN HARVESTED SCOTS PINE SEEDS: THE EFFECT OF CONE STORAGE AND GERMINATION CONDITIONS ON GERMINATION CAPACITY

Nygren, M. 1986. Männyn siementen syyskeräys: Käpyjen kylmävarastoinnin ja idätysolosuhteiden vaikutus itävyyteen. Summary: Autumn harvested Scots pine seeds: The effect of cone storage and germination conditions on germination capacity. *Silva Fennica* 20(1): 59–73.

Six seed collections were made in September – December 1984 in a natural Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand in southern Finland.

The seeds were germinated (1) immediately after the cone collection and (2) after three weeks cold storage of cones at +4.5°C. Two temperature regimes (10° and 20°) and three photoperiods (0, 8 and 24 hours) were used in the germination tests.

The seeds collected in September and October possessed relative dormancy, i.e. they did not germinate in darkness and at 10°C. Later in November and December the seeds were capable to germinate in darkness and at low temperature also. The gradual change in germination capacity is attributed to chilling temperatures in natural environments or in cone storage.

Työssä tutkittiin syys-joulukuussa kerätyn männyn (*Pinus sylvestris* L.) siemenen itämistä erilaisissa idätysolosuhteissa sekä käpyjen lyhytaikaisen kylmävarastoinnin vaikutusta itävyyteen.

Todettiin, että syys-lokakuussa kerätty siemen on ns. syyshorroksessa eikä idä lyhyen päivän (8 h) olosuhteissa eikä alemmassa tutkituista idätyslämpötiloista (+10°C). Pitkän päivän olosuhteissa ja +20°C:een lämpötilassa siemenet sen sijaan itävät normaalisti. Myöhemmin syksyllä marras-joulukuussa siementen itämiskyky vähitellen muuttuu siten, että ne itävät myös lyhyen päivän olosuhteissa ja pimeässä sekä +10°C:een lämpötilassa.

Käpyjen varastointi keräyksen jälkeen +4,5°C:een lämpötilassa paransi erityisesti syys-lokakuussa kerättyjen siementen itävyyttä. Joulukuussa kerättyjen siementen itävyys laski käpyvarastoinnin aikana, mutta tämä muutos havaittiin vain alemmassa tutkituista idätyslämpötiloista.

Key words: *Pinus sylvestris* L., germination capacity, seed dormancy, cone storage
ODC 232.315.2+174.7 *Pinus sylvestris*
Author's address: University of Helsinki, Dept. of silviculture, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki, Finland
Approved on 2. 4. 1986

1. Johdanto

Useiden viileän vyöhykkeen metsäpuiden siemenet¹⁾ eivät idä syksyllä välittömästi tuleentumisen jälkeen, vaikka olosuhteet olisivat itämiselle suotuisat. Tämä ns. syyskorros (vrt. Sarvas 1973) esiintyy etenkin sellaisessa lauhkean tai viileän ilmastovyöhykkeen puiden siemenessä, joka varisee syksyllä, mutta itää pääasiassa vasta seuraavana keväänä. Sarvaksen (1964) mukaan siemenhorroksen fysiologisenä 'tehtävänä' on estää siementen itäminen syksyllä, koska sirkkataimella ei kuitenkaan olisi enää samana syksynä aikaa kehittyä talvehtimiskuntoiseksi. Kyseessä olisi siis evoluutiosta kehittynyt 'ekologinen varmistusmekanismi', jonka avulla siementen itämiskyky säilyy epäsuotuisan vuodenajan yli.

Siementen syyskorros purkautuu syksyn kostean ja viileän sääjakson aikana. Sarvas (1974) mittasi syyskorroksen (dormansi I) purkautumisnopeuden lämpötilariippuvuuden hieskoivun (*Betula pubescens* Ehrh.) siemenissä ja silmuissa ja totesi korroksen purkautuvan tehokkaimmin +3,5°C:n lämpötilassa.

Myös männyn siementen syyskorros purkautuu ja itävyys paranee, kun siemenet altistuvat tuleentumisen loppuvaiheessa ±0–+10°C lämpötiloille joko luonnonolosuhteissa tai esimerkiksi käpyjä varastoitaessa ja siemeniä stratifioitaessa (Simak 1966, Asplund ym. 1973, Kardell 1973a,b, Kardell ym. 1973, Matyas 1973, Remröd ja Alfjorden 1973). Kylmäkäsitteily vähentää itämisen va- lo- ja lämpötilariippuvuutta (Black ja Wa-

reing 1955, Stearns ja Olson 1958, Allen 1958, Asakawa 1959, Adkins ym. 1984, Farmer ym. 1984), jolloin itämistarmo ja -kyky kohoavat. Mm. Sarvas (1964) totesi, että syksyllä kerätty männyn siemen itää kunnolla vain stratifioituna. Ilman kylmäkäsitteilyä männyn siemenet ovat myös herkkiä päivänpituudelle idätyksen aikana (Nordström 1955, Blomqvist 1972).

Käytännön siemenhuollossa ollaan kiinnostuneita männyn siementen keräyksen aloittamisesta mahdollisimman varhain syksyllä. Tällöin on olemassa vaara, että siemenet eivät ole saaneet riittävästi kylmäkäsitteilyä, ts. ne ovat korroksessa ja itävät hitaasti ja epätäydellisesti.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millä tavoin idätysolosuhteet – idätyslämpötila ja päivänpituus – sekä käpyjen ja siementen lyhytaikainen kylmävarastointi vaikuttavat syksyllä kerätyn männyn siemenen itävyyteen.

Tutkimus on osa Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön rahoittamasta hankkeesta 'Männyn siementen siemenhorros käytännön siemenhuollon kannalta'. Artikkele perustuu kirjoittajan opinnäytetyöhön, jonka tarkastaja, prof. Matti Leikola, prof. Erkki Kaukovirtaa ja dos. Veikko Koskea kiitän kommentteista ja parannusehdotuksista. Tutk.apul. Pirkko Heimo huolehti idätyskokeista. FL Juha Lappi ja MMK Helena Henttonen opastivat loglineaarisen mallin käytössä. Heille, samoin kuin muille työssä avustaneille kiitokseni.

2. Tutkimusaineisto ja -menetelmä

2.1. Koekäpyjen keräys ja siementen karistus

Koekävyt kerättiin 22 vuotiaasta kylvömänniköstä (*Pinus sylvestris* L.), Helsingin yliopiston metsäaseman (61°51'N, 24°20'E, 150 m m.p.y.) metsämeteorologisen mittausaseman välittömästä läheisyydestä.

Metsikköön oli kesällä 1983 merkitty 94 puuta, joissa silmävaraisen arvion perusteella oli riittävästi käpyjä koetta varten. Tästä perusjoukosta arvottiin kullakin keräyskerralla kahdeksan koepuuta. Jokaisesta koepuusta poimittiin satunnaisesti latvuksen eri osista 36 käpyä. Käpyjen keräysajankohdat olivat syyskuun 2. ja 17., lokakuun 5. ja 26. sekä marraskuun 15. ja joulukuun 13. päivä 1984.

Keräyskerran kävyt, yhteensä 288 kpl jaettiin kahteen yhtäsuureen osanäytteeseen A ja B. Osanäytteen A kävyistä siemenet karistettiin tuuletetussa lämpökaapissa +35°C:een lämpötilassa välittömästi keruun jälkeen. Karistusaika oli kolme vuorokautta. Karistettaessa kävyt olivat paperipusseissa koepuittain erillään. Osanäytteen B kävyt siirrettiin välittömästi keruun jälkeen paperipusseissa kylmävarastoon (+4,5°C, 60–80 % suht. kost.) kolmeksi viikoksi. Kylmävarastoinnin jälkeen tämän ryhmän siemenet karistettiin samalla tavoin ja samanlaisissa olosuhteissa kuin osanäytteen A siemenet.

Siemenet karistettiin koputtelemalla käpyjä varovasti. Ne siemenet, jotka eivät tällä tavoin irroneet, poimittiin käpysuomujen välistä atuloilla. Lenninsiivet poistettiin käsin. Jokaisen kävyn siemenet laskettiin ja punnittiin analyysivaa'alla 10⁻⁴ g:n tarkkuudella. Kunkin kävyn siemenet käsiteltiin omana ryhmänään koko kokeen ajan.

Ennen idätystestin aloittamista otettiin kunkin keräyskerran siemenistä erillinen 200 siemenen satunnaisnäyte. Nämä näytteet röntgenkuvattiin Metsäntutkimuslaitoksen Ruotsinkylän koecasemalla ja röntgenkuvilta luettiin siementen jakautuminen eri alkio- luokkiin sekä tyhjäsiemensadannekset.

2.2. Keräyskauden sääolot

Keräysmetsikköä koskevat sää tiedot saatiin Hyytiälän metsämeteorologiselta asemalta. Tutkimuksessa käytettiin vain lämpötilatietoja ja ne luettiin mittausaseman sääkojun (2 m maanpinnasta) termografin (m/Lambrecht 235) termogrammeilta. Tehoisan lämpötilan summa laskettiin käyttäen vuorokauden keskilämpötiloja +5°C:n kynnysarvolla.

Käpyjen keruun alkaessa 2. 9. 1984 lämpösumma oli Hyytiälässä 1016 d.d. yksikköä. Lämpösumma lisääntyi vielä noin 130 yksikköä syys-lokakuun aikana ja saavutti lopullisen tason 5.11. (1159 d.d. yksikköä). Termisen syksyn (vuorokauden keskilämpötila välillä 0–+10°C, ks. Kolkki 1966) pituus oli 58 vrk. Se alkoi 12.9. ja päättyi 8.11.

Tutkimusjakson lämpöolot vastasivat melko tarkasti alueen keskimääräisiä olosuhteita. Lämpösummakertymä vuonna 1984 oli hyvin lähellä Hyytiälän vuosikeskiarvoa, 1150:tä d.d. yksikköä (ks. esim. Westman ym. 1985). Termisen syksyn alkamisajankohta ja kesto olivat niinkään lähellä keskimääräisiä arvoja: Tampereen seudulla (noin 50 km lounaaseen koalueesta, 95 m m.p.y.) terminen syksy alkaa keskimäärin 17.9. ja kestää 58 vrk (Kolkki 1966, Heino ja Hellsten 1983).

Syyshallojen on todettu toisinaan vioittavan männyn siemeniä (Nordström 1955, Kardell 1974, 1976). Halloja esiintyi tutkimussyksynä jo ennen termisen syksyn alkamista, mutta ne olivat lieviä. Lämpötilan alenemisnopeudet olivat kertaluokkaa pienempiä kuin Kardellin (1976) ilmoittamat, männyn siementen itävyyttä heikentäneet lämpötilan muutosnopeudet.

2.3. Idätykset

Idätystesteissä käytettiin kuutta lämpötilapäivänpituusyhdistelmää: lämpötilat olivat 10±1,0°C ja 20±1,0°C ja päivänpituudet kummassakin 0, 8 ja 24 tuntia.

Idätyskaappeina olivat Santasalo & Sohlbergin valmistamat lämpökaapit m/4–18,

¹⁾ 'Siemen'-nimitystä käytetään tässä esityksessä myös päähylähdelmistä.

joihin asennettiin 8 W pienoisloistelamppu (Philips TL 8W/55). Lampun spektri on valmistajan ilmoituksen mukaan lähellä päivänvaloa. Valaistusvoimakkuus idätysalustan tasossa oli 2550 ± 55 lx.

Idätykset tehtiin kannellisissa, 35 mm:n petrimaljoissa. Idätysalustan kosteus vakioitiin pujottamalla idätyspaperiliuska petrimaljan pohjan läpi alapuolella olevaan vesialtaaseen.

Koejärjestely oli faktoriaalinen, jossa oli kaksi käpyjen varastointitapaa (A ja B), kuusi keräysajankohtaa, kaksi idätyslämpötilaa ja kolme päivänpituutta idätyksen aikana. Kunkin keräyskerran kävyistä arvottiin koeputtaintain kolmen kävyn siemenet jokaiseen varastointitapa - idätysolosuhteet-yhdistelmään. Täysien siementen lukumäärä kussakin käsittelyssä oli 367–630 kappaletta. Yhteensä idätettiin 48 431 siementä.

Siementen itävyys kirjattiin päivittäin 21 vrk:n ajan. Itämisen katsottiin tapahtuneen, jos siemenestä ulos tunkeutunut sirkkajuuri oli ≥ 5 mm. 21 vrk:n kuluttua idätyksen alkamisesta selvitettiin tyhjien siementen ja terveiden, mutta itämättömien siementen osuus leikkaamalla itämättömät siemenet halki preparointiveitsellä. Itävyys laskettiin täysien siementen lukumäärän perusteella.

2.4. Tulosten laskenta

Itäneiden ja itämättömien siementen analyyseissä käytettiin frekvenssiaineistojen tutkimisessa viime aikoina yleistynyttä (ks. Sokal ja Rohlf 1981) analyysimenetelmää, log-lineaarista mallia. Päinvastoin kuin varianssi-analyyseissä, missä kiinnostuksen kohteena ovat yleensä päävaikutukset, log-lineaarisen mallin käytössä päähuomio on luokitusmuuttujien välisten yhdysvaikutusten tutkimisessä.

Itämistulokset järjestettiin 5-ulotteisen frekvenssitaulun muotoon, jossa luokitusmuuttujat olivat seuraavat:

Muuttuja 1: käpyjen varastointi

($i=1$) ei varastointia

($i=2$) käpyvarastointi 3 viikkoa +4,5°C:ssa

Muuttuja 2; keräysajankohta

($j=1$) keräys 2. syyskuuta

($j=2$) keräys 17. syyskuuta

($j=3$) keräys 5. lokakuuta

($j=4$) keräys 26. lokakuuta

($j=5$) keräys 15. marraskuuta

($j=6$) keräys 13. joulukuuta

Muuttuja 3; päivänpituus idätyksen aikana

($k=1$) päivänpituus 0 tuntia

($k=2$) päivänpituus 8 tuntia

($k=3$) päivänpituus 24 tuntia

Muuttuja 4; idätyslämpötila

($l=1$) lämpötila 10°C

($l=2$) lämpötila 20°C

Muuttuja 5; itävyys 21 vrk:n kuluttua kokeen alkamisesta

($m=1$) itäneiden siementen lkm

($m=2$) itämättömien, täysien siementen lkm

Samalla tavoin kuin 2-ulotteisen frekvenssitaulun analyyseissä, voidaan myös useampiulotteisen taulun luokitusmuuttujien vaikutusten riippumattomuutta testata χ^2 -testillä (ks. esim. Bishop ym. 1975). Tämä tehtiin soveltamalla frekvenssiaineistoon log-lineaarinen malli, jonka avulla estimoitii odotusarvot taulukon frekvensseille. χ^2 -testillä tarkistettiin mallin yhteensopivuus aineiston kanssa.

5-ulotteiselle frekvenssitaululle voidaan ns. saturoitunut (kaikki pää- ja yhdysvaikutukset sisältävä) malli esittää muodossa

$$(1) \log \hat{f}_{ijklm} =$$

keskiarvo ja päävaikutustermit:

$$u + u_{1(i)} + u_{2(j)} + u_{3(k)} + u_{4(l)} + u_{5(m)} +$$

1. asteen interaktiotermit:

$$u_{12(ij)} + u_{13(ik)} + u_{23(jk)} + u_{14(i)} + u_{24(jl)} +$$

$$u_{34(kl)} + u_{15(im)} + u_{25(jm)} + u_{35(km)} + u_{45(lm)} +$$

2. asteen interaktiotermit:

$$u_{123(ijk)} + u_{124(ijl)} + u_{134(ikl)} + u_{234(jkl)} + u_{125(ijm)} +$$

$$u_{135(ikm)} + u_{235(jkm)} + u_{145(i)lm} + u_{245(j)lm} + u_{345(k)lm} +$$

3. asteen interaktiotermit:

$$u_{1234(ijkl)} + u_{1235(ijkm)} + u_{1245(ijlm)} + u_{1345(iklm)} + u_{2345(jklm)} +$$

4. asteen interaktiotermit:

$$u_{12345(ijklm)}$$

missä \hat{f}_{ijklm} = estimoitu frekvenssi taulukon solussa

$$ijklm, \quad (i=1 \dots 2, \quad j=1 \dots 6,$$

$$k=1 \dots 3, \quad l=1 \dots 2, \quad m=1 \dots 2)$$

u = estimoitu logaritmien keskiarvo

$u_1 \dots u_{12345}$ = logaritmitet parametrit

Mallin formuloinnissa on huomattava seuraavat seikat:

- malli on hierarkkinen: jos tietty yhdysvaikutustermin merkittävä (esim. $u_{25(jm)} \neq 0$) sisältyvät myös kaikki samoihin muuttujiin liittyvät alemmanasteiset vaikutukset ($u_{2(j)} + u_{5(m)}$) malliin.
- nyt tarkasteltavassa frekvenssitaulussa ainoastaan itämisen frekvenssit (luokitusmuuttuja 5) voivat vaihdella vapaasti, muut frekvenssit ovat koejärjestelyn mukaan määrättyjä ('fixed', ks. Sokal ja Rohlf 1981, s. 762). Tällöin on välttämätöntä, että nämä kiinteät vaikutukset ovat kaikki mukana mallissa. Ne eivät ole sinänsä kiinnostavia, eikä niiden merkittävyyden testaaminen ole mielekästä, koska ne ovat koejärjestelyssä määrätty.

Kun halutaan tutkia tietyn termin, esimerkiksi interaktiotermin $u_{125(ijm)}$ merkittävyyttä mallissa, asetetaan hypoteesi $H_0: u_{125(ijm)} =$ kaikilla ijm :n tasoilla. Hypoteesi testataan soveltamalla aineistoon kaksi mallia, jotka olkoot M_a ja M_b . Olkoon M_a malli, joka sisältää muut 2. asteen interaktiotermit, mutta ei termiä $u_{125(ijm)}$. Malli M_b on muuten samanlainen kuin M_a , mutta siinä on mukana $u_{125(ijm)}$.

3. Tulokset

3.2. Siementen paino, anatominen tuleentuminen ja tyhjäsienensadannes

Koko aineistossa täyden siemenen paino oli $4,26 \pm 0,03$ mg. Eri keräysajankohtien siementen painojen välillä oli tilastollisesti erittäin merkittävä ero ($F=38,62$, $P=0,01$). Tärkein keskiarvotestillä (Mäkinen 1974) selvitettiin keräysajankohdat, joiden välillä oli tilastollisesti merkittäviä eroja (taulukko 1).

Siementen anatominen tuleentuminen eri keräysajankohtina vaihteli jonkin verran. Alkioluokan IV siemeniä (alkio täyttää vähintään 65 % alkio-ontelosta) oli kaikissa ke-

Kummallekin mallille lasketaan χ^2 -arvot. Jos mallien χ^2 -arvojen erotus on merkittävä (vapausasteet = M_a :n vap.asteet - M_b :n vap.asteet), niin $u_{125(ijm)} \neq 0$ ja se kuuluu mukaan malliin. Malli b siis selittää aineiston vaihtelun merkittävästi paremmin kuin malli a.

Mallin yhteensopivuutta aineiston kanssa tarkastellaan χ^2 -arvon ja mallin p-arvon perusteella. Saturoituneessa mallissa frekvenssien odotusarvot = havaitut frekvenssit ja tällöin $\chi^2 = 0$ sekä p-arvo = 1,0. Mitä enemmän frekvenssien odotusarvot poikkeavat havaituista frekvensseistä, sitä suurempi on χ^2 -arvo ja sitä pienempi on todennäköisyys (p-arvo) sille, että malli kuvaa aineiston vaihtelua.

Ennustettujen ja havaittujen frekvenssien poikkeamat eli standardoidut residuaalit saadaan seuraavasti:

$$(2) \frac{\text{havaittu frekvenssi} - \text{ennustettu frekvenssi}}{\sqrt{\text{ennustettu frekvenssi}}}$$

Standardoidut residuaalit ovat likimain normaalisti jakautuneet, ja niiden suuruutta voidaan likimääräisesti arvioida normaalijakauman (0,1) perusteella.

Esimerkki itäneiden siementen odotusarvon estimoinnista log-lineaarisella mallilla on liitteessä 2.

räyksissä yli 50 %, mutta kuitenkin enintään 70 %. Tyhjien siementen osuus oli aineistossa $14,4 \pm 0,2$ % ($n=48\ 431$).

3.2. Käpyjen varastoinnin, keräysajankohdan ja idätysolosuhteiden vaikutus itämiskykyyn

Itämiskyvyssä oli suuria eroja eri idätysolosuhteiden välillä ensimmäisissä keräyksissä syys-lokakuussa. Erot tasoittuivat jonkin verran marras- ja joulukuussa kerätyissä näyt-

teissä. Käpyjen kylmävarastointi paransi itämiskykyä lähes kaikissa idätysolosuhteissa. Poikkeuksena oli idätys 20°C:ssa ja 24 tunnin valojaksossa, jossa itämiskyky oli lähes sama varastoiduista ja varastoimattomista kävyistä saaduissa siemenissä. Toinen poikkeus oli joulukuussa kerättyjen siementen idätys 10°C:ssa, jossa itämiskyky laski käpyjen kyl-

Taulukko 1. Täyden siemenen painojen keskiarvot. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (P=0.05) Tukeyn keskiarvotestin perusteella.

Keräys pvm	Siemenen paino, mg±s _g
Syyskuu 2.	4,33±0,08 a
Syyskuu 17.	3,95±0,04 b
Lokakuu 5.	4,04±0,04 b
Lokakuu 26.	4,36±0,06 a
Marraskuu 15.	4,13±0,05 b
Joulukuun 13.	3,97±0,04 b

Taulukko 2. Eri ajankohtina kerättyjen männyn siementen itämiskyky käytetyissä idätysolosuhteissa. Odotusarvojen keskiarvot (ei merkitty) vaihtelivat 0,0–4,5 %-yksikköä.

Näyte A: ei käpyvarastointia
Näyte B: käpyvarastointi 3 viikkoa +4,5°C

Käpyjen keräys pvm	Idätyslämpötila, °C					
	10±1		20±1			
	0	8	Päivänpituus, h		8	24
			24	0		
			Itämiskyky (21 vrk), %			
Näyte A:						
Syyskuu 2.	0,0	0,0	38,4	4,9	44,7	82,9
Syyskuu 17.	0,0	0,0	81,9	52,2	93,6	98,1
Lokakuu 5.	1,5	28,9	95,8	54,7	97,4	96,4
Lokakuu 26.	22,3	91,9	97,9	82,3	97,3	98,4
Marraskuu 15.	36,8	84,5	96,3	89,8	97,8	94,5
Joulukuun 13.	32,2	82,8	92,8	85,1	97,6	95,6
Näyte B:						
Syyskuu 2.	0,0	2,0	61,0	7,6	75,9	94,3
Syyskuu 17.	3,1	4,9	78,0	57,5	96,3	93,3
Lokakuu 5.	19,9	76,3	94,8	80,7	97,4	98,5
Lokakuu 26.	56,0	95,5	95,6	98,4	98,2	97,7
Marraskuu 15.	60,3	79,6	95,5	94,7	96,5	91,6
Joulukuun 13.	31,6	46,6	83,8	96,5	97,6	96,8

mävarastoinnin jälkeen kaikissa päivänpituuskäsittelyissä (taulukko 2).

Taulukkoa 2 vastaava frekvenssitaulu on esitetty liitteessä 1.

Log-lineaarisen mallin avulla tarkasteltiin lähemmin selittävien muuttujien pää- ja yhdysvaikutusta itämiskykyyn. Aineiston vaihtelun kuvasi parhaiten ns. saturoitunut malli (1) (ks. s. 62), ts. kaikki pää- ja yhdysvaikutukset olivat tilastollisesti merkitseviä. Koska saturoituneen mallin avulla estimoidut frekvenssit = havaitut frekvenssit, saavat testisuureet seuraavat arvot:

X ²	vap.ast.	p-arvo
0.00	0	1.00

Frekvenssien vaihtelua kuvattiin myös toisella mallilla, jossa testattiin hypoteesia H₀: $u_{12345(ijklm)} = 0$ eli 4. asteen interaktiotermin merkitsevyyttä. Tämän mallin testisuureet olivat:

X ²	vap.ast.	p-arvo
30.98	10	0.00059

Tämä malli hylättiin suuren X²-arvon perusteella, ts. interaktiotermin $u_{12345(ijklm)} \neq 0$ ja on siis merkitsevä, joten aineiston vaihtelu voitiin kuvata ainoastaan kaikki yhdysvaikutustermit sisältävällä mallilla.

Mallin parametrien estimaatit kuvaavat pää- ja yhdysvaikutukset luokitusmuuttujien eri tasoilla: negatiivinen parametrien arvo osoittaa vaikutuksen pienentävän mallin avulla laskettua frekvenssin odotusarvoa ja positiivinen osoittaa vaikutuksen lisäävän sitä.

Päävaikutusten käpyjen varastointi (i), keräysajankohta (j), päivänpituus (k) ja lämpötila (l) logaritmistien parametrien estimaatit on esitetty taulukossa 3. Kaikki tarkastelut on tehty luokitusmuuttujan m tasolla 1, ts. tarkastelun kohteena ovat päävaikutukset itäneiden siementen frekvenssin odotusarvoon.

Huomataan, että termi $u(im); i=2, m=1$ on positiivinen, ja parametri tulkitaan siten, että käpyjen varastointi yleisesti paransi itämiskykyä. Käpyjen keräysajankohdan vaikutus (termi $u(jm); j=1-6, m=1$ vaihteli siten, että itämiskyky parani asteettain siirryttäessä syyskuun keräyksistä joulukuun keräykseen. Päivänpituuden (k) vaikutus itäneiden siementen frekvenssiin oli tasolla 0 tuntia negatiivinen, tasolla 8 tuntia likimain ±0 ja tasolla 24 tuntia positiivinen. Idätyslämpötila (l) vaikutti siten, että siementen itämiskyky oli 10°C:ssa huonompi kuin 20°C:ssa.

Taulukossa 4 on esitetty osa yhdysvaikutustermien logaritmisista parametrien estimaateista. Termi $u(ijm); i=2, m=1$ on positiivinen vain j:n tasolla 1–4, ts. käpyjen varastointi lisäsi itäneiden siementen frekvenssin

Taulukko 3. Mallin (1) päävaikutusten logaritmistien parametrien estimaatit. Kaikki parametrit esitetty luokitusmuuttujan m tasolla 1 (= itäneiden siementen frekvenssi).

Luokitusmuuttuja	Termi	Parametrien estimaatti
Käpyjen varastointi × itävyys	$u(im), i=1$	-0.151±0.019
	$i=2$	+0.151±0.019
Käpyjen keräysajankohta × itävyys	$u(jm), j=1$	-1.648±0.064
	$j=2$	-0.635±0.056
	$j=3$	+0.203±0.032
	$j=4$	+0.845±0.037
	$j=5$	+0.605±0.030
	$j=6$	+0.451±0.029
Päivänpituus × itävyys	$u(km), k=1$	-0.888±0.030
	$k=2$	+0.052±0.029
	$k=3$	+0.836±0.024
Idätyslämpötila × itävyys	$u(lm), l=1$	-0.694±0.019
	$l=2$	+0.694±0.019

odotusarvoa vain syys- ja lokakuun keräyksissä. Termi $u(jkm); i=1-6, m=1, k=1-3$ voidaan tulkita seuraavasti: päivänpituuden vaikutus itäneiden siementen frekvenssin odotusarvoon riippuu käpyjen keräysajankohdasta ja tämä riippuvuus on erilainen eri päivänpituuksissa. Vastaava yhdysvaikutus todettiin käpyjen keräysajankohdan ja idätyslämpötilan välillä (termi $u(jlm); j=1-6, l=1-2, m=1$).

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Koekäpyjen otanta ja siementen ominaisuudet

Poimimalla koekävyt satunnaisesti latvuksen eri osista pyrittiin välttämään systemaattiset, kävyn sijainnista johtuvat erot siementen itävyydessä ja muissa ominaisuuksissa (vrt. Bergman 1976). Otannan onnistumista voidaan arvioida esim. tyhjien siementen osuuden ja siementen painon perusteella.

Tämän tutkimuksen näytteiden tyhjäsiemensadannes (14,4 %) on lähellä Sarvaksen (1962) ja Kosken (1972) esittämää männyn keskimääräistä tyhjäsiemensadannesta. Sarvaksen tutkimusmetsiköissä tyhjäsiemensadannes oli vapaapölytyksen tuloksena syntyneissä siemenissä keskimäärin 13,7 % ja Kosken tutkimissa pluspuiden siemenissä (hedekukkien poiston ja vapaapölytyksen jälkeen) 12,7 %. Keräysajankohtien väliset erot tyhjä-

Taulukko 4. Osa mallin (1) yhdysvaikutustermien logaritmisista parametreista. Kaikki parametrit esitetty luokitusmuuttujan m tasolla 1 (= itäneiden siementen frekvenssi).

(a)
Parametri $u(ijm)$ - käpyvarastointi (i) \times keräysajankohta (j) \times itävyys (m)

$j =$	$i = 1$		$i = 2$	
	1	-0.111 \pm 0.064		+0.111 \pm 0.064
2	-0.076 \pm 0.056		+0.076 \pm 0.056	
3	-0.129 \pm 0.032		+0.129 \pm 0.032	
4	-0.037 \pm 0.018		+0.037 \pm 0.018	
5	+0.151 \pm 0.029		-0.151 \pm 0.029	
6	+0.183 \pm 0.029		-0.183 \pm 0.029	

(b)
Parametri $u(jkm)$ - keräysajankohta (j) \times päivänpituus (k) \times itävyys (m)

$j =$	$k = 1$		$k = 2$		$k = 3$	
	1	-0.425 \pm 0.109		-0.262 \pm 0.092		+0.686 \pm 0.067
2	-0.145 \pm 0.086		-0.324 \pm 0.087		+0.468 \pm 0.063	
3	-0.309 \pm 0.045		+0.173 \pm 0.045		+0.137 \pm 0.045	
4	+0.117 \pm 0.050		+0.225 \pm 0.053		-0.342 \pm 0.053	
5	+0.387 \pm 0.049		+0.098 \pm 0.044		-0.485 \pm 0.040	
6	+0.375 \pm 0.041		+0.089 \pm 0.044		-0.463 \pm 0.039	

(c)
Parametri $u(jlm)$ - keräysajankohta (j) \times idätyslämpötila (l) \times itävyys (m)

$j =$	$l = 1$		$l = 2$	
	1	-0.256 \pm 0.064		+0.256 \pm 0.064
2	-0.502 \pm 0.056		+0.502 \pm 0.056	
3	+0.467 \pm 0.032		-0.467 \pm 0.032	
4	+0.286 \pm 0.037		-0.286 \pm 0.037	
5	+0.347 \pm 0.030		-0.347 \pm 0.030	
6	+0.078 \pm 0.029		-0.078 \pm 0.029	

siemensadanneksissa eivät vaikuta itävyyystietojen luotettavuuteen, koska itämiskyky ja -tarmo laskettiin täysien siementen lukumäärän perusteella. Se, millä tavoin muut erot alkioluokkajakauassa mahdollisesti vaikuttavat itämistulokseen ei selviä tämän tutkimuksen aineistosta. Simakin (1980) mukaan männyn siemenet, joiden alkiot eivät ole täysin kehittyneitä itävät hitaammin kuin anatomisesti täysin kehittyneet siemenet. Nyman (1963) totesi, että männyn siemenet reagoivat valoon itämisen aikana samalla tavoin riippumatta alkion anatomisesta kehitystasosta.

Täyden siemenen paino vastaa hyvin eteläsuomalaisen männyn siemenen keskimääräistä arvoa (Kujala 1927). Havupuiden siementen itämisnopeuden ja itämiskyvyn on todettu olevan yhteydessä siementen painoon (von Weissenberg 1981, Dunlap ja Barnett 1983, Mikola 1983). Mitä painavampi siemen on, sitä nopeammin ja tasaisemmin sen siemenet tavallisesti itävät. Tässä tutkimuksessa joidenkin keräysajankohtien siementen painot poikkesivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Täysien siementen painossa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri idätys-

olosuhteiden välillä, joten käsittelyt olivat siinä suhteessa yhteismitallisia.

Alkukesän poikkeukselliset lämpöolot (Hyttiälässä mitattiin $-10,2^{\circ}\text{C}$ 2 m korkeudella maanpinnasta 10. 6. 1984) ovat saattaneet hidastaa männyn siementen anatomista kehittymistä tutkimuskesänä. Tätä osoittaa myös röntgenkuvista mitattu heikko anatominen tuleentumisaste (IV alkioluokan siemeniä 50–70 %).

4.2. Idätykset ja analyysimenetelmä

Log-lineaarisen mallin avulla pystyttiin hyvin kuvaamaan itämiskyvyn vaihteluita. Tulosten yleistettävyyttä heikentää jonkin verran se, että siementen sijoittaminen eri idätysolosuhteisiin ei ollut täysin satunnainen, vaan jokaisesta koepuusta idätettiin aina kolmen kävyn siemenet kaikissa päivänpituus-lämpötila-yhdistelmissä. On todennäköistä, että mahdolliset puukohtaiset erot itävyydessä johtavat näin liian pessimistisiin mallien ja aineiston yhteensopivuusmitoihin. Siten saattavat esim. yhdysvaikutusten merkitsevyydet liikaa korostua malleissa.

Idätysolosuhteiden, päivänpituuden ja lämpötilan, sekä siementen keräysajankohdan välinen yhdysvaikutus osoittautui tilastollisesti erittäin merkitseväksi itämiskyvyn ja -tarmoon selittäjäksi. Vastaavan tuloksen ovat saaneet Farmer ym. (1984) mustakuusen (*Pinus mariana* Britt.) siemenillä tehdyssä kokeessa. Itämiskykyä ja -tarmoa kuvaavien mallien parametrien estimaateista (taulukot 3. ja 4.) havaitaan, että tutkitut päävaikutukset (käpyjen varastointi, keräysajankohta, idätyslämpötila ja päivänpituus idätyksen aikana)

olivat selkeät ja kirjallisuustietojen perusteella odotetut. Yhdysvaikutusten kohdalla on muistettava, että niiden 'paino' estimoitaessa itäneiden siementen frekvenssejä esitettyjen mallien avulla on suhteellisen pieni. Yhdysvaikutustermien parametrien estimaattien vaihtelu osoittaa kuitenkin, että itäminen, idätysolosuhteet ja käpyjen keräysajankohta ovat dynaamisessa vuorovaikutuksessa. Log-lineaarista mallia käyttämällä voitiin alustavasti tutkia tätä vuorovaikutusta laajentamalla varianssianalyysin logiikka frekvenssiaineiston analyysiin.

4.3. Siementen itämiskyky

Tutkimuksessa todettiin, että syys-loka-kuussa kerätyt, anatomisesti tuleentuneet männyn (*Pinus sylvestris* L.) siemenet ovat horroksessa ja itävät ainoastaan pitkän päivän (24 h fotoperiodi) olosuhteissa ja vain korkeammassa tutkituista idätyslämpötiloista ($+20^{\circ}\text{C}$). Horros purkautuu vähitellen, kun siemenet ennen itämistä altistuvat matalille ($\pm 0 - +5^{\circ}\text{C}$) lämpötiloille. Altistuksen lisääntyessä yhä suurempi osa siemenistä itää lyhyen päivän olosuhteissa (8 h päivänpituus) ja myös pimeässä, sekä alemmassa tutkituista idätyslämpötiloista ($+10^{\circ}\text{C}$). Matalien lämpötilojen ($\pm 0 - 5^{\circ}\text{C}$) vaikutus itämiseen oli samansuuntainen riippumatta siitä, altistuvatko siemenet kylmäkäsittelylle käpyjen varastoinnin aikana tai luonnonolosuhteissa.

Sarvas (1973) julkaisi alustavia tuloksia siementen kylmäkäsittelystä dormansi I:n poistamiseksi (taulukko 5). Esimerkiksi Rovaniemen alkuperää olevan männyn sieme-

Taulukko 5. Syyshoroksen (dormansi I) kesto männyn, hieskoivun ja mongolianvaahteran siemenissä Sarvaksen (1973) mukaan. Chilling unit-yksiköiden laskeminen ks. Sarvas (1974).

Puulaji	Alkuperä	Syyshoroksen kesto, 'ch.u./h'-yksiköissä
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Rovaniemi	60
<i>Betula pubescens</i> Ehr.	Punkaharju	360
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	tuntematon	1200

nen kylmäsäätelytarve on 62 ch.u. yksikköä, jotta siemenhorros purkautuisi. Tämä vastaa vajaan kolmen vuorokauden pituista kylmäsäätelyä +3,5°C:ssa. Tässä tutkimuksessa ei yritetty kvantifioida siementen kylmäsäätelyn ja itämistodennäköisyyden välistä riippuvuutta. Voidaan kuitenkin todeta, että jo ennen termisen syksyn alkua, syyskuun 2. p:nä kerätyt siemenet, itivät +20°C:ssa ja 24 tunnin päivänpituudessa lähes 90 %:sti. Tämä tulos tukee taulukossa 5 esitettyjä tietoja siitä, että männyn siementen kylmäsäätely ei välttämättä tarvitse olla viikkojen pituinen. Muutamien vuorokausien mittainen kylmäsäätely saattaa – idätyslämpötilasta ja päivänpituudesta riippuen – riittää horroksen purkautumiseen.

Nyt havaitut, kävyissä olevien siementen kylmäsäätelyn vaikutukset itävyyteen ovat samanlaisia kuin aikaisemmin saadut tulokset männyn siementen stratifioinnista (Eliason ja Heit 1941, Vaartaja 1956, Nyman 1963). Siementen ja pähkylähedelmien kylmäsäätelyn aiheuttamat muutokset itämisen valo- ja lämpötilariippuvuudessa tunnetaan myös muilla viileän vyöhykkeen metsäpuilla (Black ja Wareing 1955, Stearns ja Olson 1958, Allen 1958, Asakawa 1959, Winston ja Haddon 1981, Adkins ym. 1984, Farmer ym. 1984). Kokoavasti voidaan todeta, että kylmäsäätelyn jälkeen itämiselle suotuisa lämpötila-alue laajenee ja itämisen valoriippuvuus vähenee (ks. myös Hatano ja Asakawa 1964).

Saatujen tulosten perusteella männyn siementen itävyyden 'vuosirytmii' näyttää pääpiirteissään samanlaiselta kuin useiden viileän vyöhykkeen metsäpuiden silmujen dormansin synkronointi vuodenaikojen vaihtelun kanssa (vrt. Vegis 1964, Landsberg 1974, Sarvas 1974). Sarvas (m.t.) korostaakin vegetatiivisten silmujen ja siementen horroksen yhtäläisiä piirteitä. Hän totesi hieskoivun (*Betula pubescens* Ehrh.) silmujen ja siementen syyshorroksen purkautumisen kylmäsäätelyn tuloksena olevan likimain samanlainen.

Tässä työssä saadut tulokset osoittavat, että männyn siementen kylmäsäätely voidaan ainakin osittain korvata idättämällä siemenet pitkän päivän olosuhteissa. Myös männyn vegetatiivisten silmujen horrosta tutkittaessa on havaittu, että silmujen kylmäsäätelytarve voidaan korvata pitkän päivän kasvatusolosuhteilla (Jensen ja Gatherum 1965, Arons-

son 1980). Männyn siementen kylmäsäätelyn ja idätysolosuhteiden, erityisesti päivänpituuden välisen yhteisvaikutuksen itämisessä ovat aikaisemmin todennet mm. Eliason ja Heit (1941), Vaartaja (1956) sekä Nyman (1963). Em. tutkimuksissa on selvitetty siementen stratifioinnin ja itämisen valoriippuvuuden välistä yhteyttä. Nyt saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että myös luonnonolosuhteissa ja käpyjen varastoinnin aikana tapahtuvalla kylmäsäätelyllä on samantapainen vaikutus männyn siementen itämiseen kuin stratifioinnilla.

Valon välttämättömyys männyn siementen itämiselle on tunnettu jo kauan (Haack 1906, Sarvas 1950, Huss 1961). Nyman (1961, 1963) osoitti, että männyn siementen itäminen riippuu samalla tavoin valon aallonpituudesta ja siementen fytochromipigmentin tilasta kuin esimerkiksi salaatin (*Lactuca sativa* L., var. Grand Rapids) siemenillä tehdyissä klassisissa kokeissa oli havaittu (Borthwick ym. 1952, Toole ym. 1953 ja Borthwick ym. 1954).

Fytochromi esiintyy kahdessa muodossa P₆₆₀ ja P₇₃₀. Edellinen muoto on fysiologisesti inaktiivinen ja muuttuu punaisen valon (aallonpituus 660 nm) vaikutuksesta muotoon P₇₃₀. Männyn siemenissä riittää hyvin lyhyt, noin 100 s valotus ko. aallonpituudella itämisen käynnistymiseen (Nyman 1963). Fytochromin aktiivimuoto P₇₃₀ puolestaan palautuu takaisin inaktiiviin tilaan P₆₆₀ joko (1) pitempiaaltoisen punaisen valon (aallonpituus 730 nm) vaikutuksesta tai (2) hitaan, valon aallonpituudesta riippumattoman reaktion seurauksena.

Männyn siemenissä gibberelliinisynteesi on voimakasta päivänvalossa tapahtuvassa itämisessä (Kopcewicz 1971) sekä myös punaista valoa käytettäessä (Taylor ja Wareing 1979). Tämän tutkimuksen idätyksissä käytetyn valolähteen spektri oli lähellä päivänvaloa, jossa itämistä edistävät aallonpituudet (660 nm) ovat dominoivia verrattuna itämistä inhiboivaan pitempiaaltoiseen säteilyyn. Nyt saatu tulos tukee aikaisemmin esitettyjä päätelmiä siitä, että männyn siementen itämisen reagointi päivänpituuteen on biokemiallisella tasolla fytochromista riippuva.

Mitattaessa syksyllä kerätyn männyn siemenen itävyyttä on ratkaiseva merkitys sillä, minkälaisissa olosuhteissa idätykset tehdään. Idätyslämpötilan ja päivänpituuden muutos-

ten aiheuttamat vaihtelut idätystuloksissa tulisivatkin ottaa huomioon arvioitaessa siemensadon keräyskelpoisuutta männyn siemenviljelyksillä. Jatkotutkimuksin on tarpeellista selvittää kylmäsäätelyn vaikutus männyn siementen itävyyteen esimerkiksi Sarvaksen (1974) 'chilling'-yksiköitä tms. kylmäsäätely-

lyindeksiä käyttäen. Tämän tutkimuksen tulokset yhdessä Sarvaksen esittämien syyshorroksen purkautumisnopeutta koskevien tietojen kanssa (taulukko 5) ovat hyvä perusta operationaalille mallille, jonka avulla voidaan ennustaa männyn siementen itävyys erilaisissa itämisolosuhteissa.

Kirjallisuus

- Adkins, C. R., Hinesley, L. E. & Blazich, F. A. 1984. Role of stratification, temperature, and light in Fraser fir germination. *Can. J. For. Res.* 14: 88–93.
- Alfjorden, G. & Remröd, J. 1975. Ny metodik för att utsäga grobarheten hos tall- och granfrö. *Inst. för skogsförbättring, Information 3, 1975/1976.*
- Allen, G. S. 1958. Factors affecting the viability and germination behavior of coniferous seed. I. Cone and seed maturity, *Tsuga heterophylla* (Rafn.) Sarg. *For. Chron.* 34: 266–274.
- Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral status. *Stud. For. Suec.* 155.
- Asakawa, S. 1959. Germination behavior of several coniferous seeds. *J. Jap. For. Soc.* 41: 430–435.
- Asplund, K., Lähde, E. & Numminen, E. 1973. Vajaasti kypseneen männyn siemenen kehitys käpyjen varastoinnin aikana. Summary: On the development of incompletely ripened seeds of Scots pine in cones under storage. *Folia For.* 185: 1–12.
- Bergman, F. 1976. Kott- och fröegenskaper i skilda krondelar hos tall *Pinus sylvestris* L. i norra Sverige. Abstract: Characteristics of cone and seed from different parts of the crown in Scots pine *Pinus sylvestris* L. in Northern Sweden. Skogshögskolan, Inst. för skogsförnyring, Rapporter och uppsatser 68.
- Bishop, Y. M. M., Fienberg, S. E. & Holland, P. W. 1975. *Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice.* MIT Press. 557 s.
- Black, M. & Wareing, P. H. 1955. Growth studies in woody species VII. Photoperiodic control of germination in *Betula pubescens* Ehrh. *Physiol. Plant.* 8: 300–316.
- Blomqvist, S. 1972. Frömgod i mellansvenska tallfröplantager. Summary: Seed maturity in seed orchards of pine in central Sweden. Föreningen skogsträdsförädling. *Inst. för skogsförbättring, Årsbok 1972*, ss. 87–119. Uppsala Grafiska AB.
- Borthwick, H. A., Toole, E. H. & Toole, V. K. 1952. A reversible photoreaction controlling seed germination. *Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A.* 38: 662–666.
- Toole, E. H. & Toole, V. K. 1954. Action of light on lettuce-seed germination. *Bot. Gaz.* 115: 205–225.
- Dixon, W. J., Brown, M. B., Engelman, L., Frane, J. W., Hill, M. A., Jennrich, R. I. & Toporek, J. D. 1981. *BMDP Statistical software.* Univ. of California Press. 725 s.
- Dunlap, J. R. & Barnett, J. P. 1983. Influence of seed size on germination and early development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) germinants. *Can. J. For. Res.* 13: 40–44.
- Eliason, E. J. & Heit, C. E. 1941. The effect of light and temperature on the dormancy of Scotch pine seed. *Proc. Ass. Off. Seed Anal. N. Amer.* 32: 92–102.
- Farmer, R. E., Charrette, P., Searle, I. E. & Tarjan, D. P. 1984. Interaction of light, temperature, and chilling in germination of black spruce. *Can. J. For. Res.* 14: 131–133.
- Haack, O. H. A. 1906. Über die Keimung und Bewertung des Kiefersamens nach Keimproben. *Z. Forst-u. Jagdwesen* 38: 441–475.
- Hatano, K.-I. & Asakawa, S. 1964. Physiological processes in forest tree seeds during maturation, storage and germination. *Int. Rev. For. Res.* 1: 279–323.
- Heino, R. & Hellsten, E. 1983. Tilastoja Suomen ilmastosta. Suomen meteorologinen vuosikirja 80:la. 560 s.
- Huss, E. 1961. Undersökningar över tallfröets ljusbehov. Summary: Investigations of the light requirements of Scots pine seed (*Pinus sylvestris*). *Medd. Stat. Skogsforskn. Inst.* 50 (6): 1–34.
- Jensen, K. F. & Gatherum, G. E. 1965. Effects of temperature, photoperiod and provenance on growth and development of Scotch pine seedlings. *For. Sci.* 11: 189–199.
- Kardell, L. 1973a. Studier över tallens (*Pinus sylvestris* L.) frö- och kottmgod i södra Västerbottens inland. Summary: Studies on the ripeness of Pine seeds and cones in the county of Västerbotten. *Berlinska Boktryckeriet, Lund*, 104 s.
- 1973b. Lagringsförsök med norrländskt tallkott (*Pinus sylvestris* L.). Summary: Investigations on storage of Pine cones and Pine seeds (*Pinus sylvestris* L.) in northern Sweden. *Berlinska Boktryckeriet, Lund*, 70 s.
- 1974. Stratifieringsförsök med norrländsk tallfrö (*Pinus sylvestris* L.). Summary: Stratification of Scots pine seeds (*Pinus sylvestris* L.). *Skoghögskolan, Inst. för skogsskötsel, Rapporter och uppsatser* 5.

- 1976. Frysförsök med norrländsk tallkott (*Pinus silvestris* L.). Summary: Freezing tests with cones of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) from northern Sweden. Skoghögskolan, Inst. för skogsskötsel, Rapporter och uppsatser 9.
- Nyman, B. & Bobeck, S. 1973. Ripening process in relation to temperature and sugar content in seeds of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Stud. For. Suec. 107: 1–21.
- Kolkkij, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931–1960. Suomen meteorologinen vuosikirja 65:la. 42 s.
- Kopcewicz, J. 1971. Effect of white light irradiation on the endogenous growth regulators content in seeds and seedlings of pine (*Pinus silvestris* L.). Acta Soc. Bot. Polon. 40: 431–438.
- Koski, V. 1972. Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. Suomenkielinen selostus: Alkioleaalit ja tyhjät siemenet kuusella ja männyllä. Comm. Inst. For. Fenn. 75 (3): 1–20.
- Kujala, V., 1927. Untersuchungen über den Bau und die Keimfähigkeit von Kiefern- und Fichtensamen in Finnland. Comm. Inst. For. Fenn. 12 (6): 1–106.
- Landsberg, J. J. 1974. Apple fruit bud development and growth; analysis and empirical model. Ann. Bot. 38: 1013–1023.
- Matyas, Cs. 1973. Handling of autumn harvested cones in Scotch pine seed orchards. Teoksessa: Proceedings of IUFRO International Symposium on Seed Processing, Bergen, Norway, 1973. Vol 1 (13): 1–11.
- Mikola, J. 1980. The effect of seed size and duration of growth on the height of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances and progenies at the nursery stage. Seloste: Siemenen koon ja kasvun keston vaikutuksesta männyn (*Pinus sylvestris* L.) ja kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) alkuperien ja jälkeläistöjen pituuskasvuun taimitarhaviheissa. Silva Fenn. 14: 84–94.
- Mäkinen, Y. 1974. Tilastotiedettä biologeille. Synapsi r.y., Turku. 306 s.
- Nordström, L. 1955. Vår fröförsörjning med tallfrö med särskild hänsyn tagen till Norrlands höjdlägen. Norrlands Skogsv. Förb. Tidskr. 1: 101–160.
- Nyman, B. 1961. Effect of red and far-red irradiation on the germination process in seeds of *Pinus sylvestris* L.. Nature 191: 1219–1220.
- 1963. Studies on the germination in seeds of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) with special reference to the light factor. Stud. For. Suec. 2: 1–164.
- Remröd, J. & Alfjorden, G. 1973. Time for cone collection in seed orchards of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Teoksessa: "Proceedings of IUFRO International Symposium on Seed Processing", Bergen, Norway, 1973. Vol. 1 (1): 1–13.
- Sarvas, R. 1950. Effect of light on the germination of forest tree seeds. Oikos 2: 109–119.
- 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*. Suomenkielinen selostus: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemen-sadosta. Comm. Inst. For. Fenn. 53 (4): 1–198.
- 1964. Havupuut. WSOY. Helsinki. 518 s.
- 1973. Dormansi I ja sen pituuden kokeellinen määrittäminen. Metsäntutkimuslaitos, Metsänviljelyn koekaseman tiedonantoja 9: 27–33.
- 1974. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. II. Autumn dormancy and winter dormancy. Comm. Inst. For. Fenn. 84 (1): 1–101.
- Simak, M. 1980. X-radiography in research and testing of forest tree seeds. Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Dept. of Silviculture, Res. Notes 3.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. 1981. Biometry. 2nd ed. W. H. Freeman and Co., San Francisco. 859 s.
- Stearns, F. & Olson, J. 1958. Interactions of photoperiod and temperature affecting seed germination in *Tsuga canadensis*. Am. J. Bot. 45: 53–58.
- Taylor, J. S. & Wareing, P. F. 1979. The effect of light on the endogenous levels of cytokinins and gibberellins in seed of sitka spruce (*Picea sitchensis* Carrière). Plant, Cell and Env. 2: 173–179.
- Toole, E. H., Borthwick, H. A. Hendricks, S. B. & Toole, V. K. 1953. Physiological studies of the effects of light and temperature on seed germination. Proc. Int. Seed Test. Ass. 18: 267–276.
- Vaartaja, O. 1956. Photoperiodic response in germination of seeds of certain trees. Can. J. Bot. 34: 377–388.
- Vegis, A. 1964. Dormancy in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 15: 185–224.
- Weissenberg, K. von, 1981. Taimitarhakasvatuksen ja -lajittelun vaikutukset metsien geneettisiin ominaisuuksiin. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 34: 15–40.
- Westman, C. J., Starr, M. R. & Laine, J. 1985. A comparison of gravimetric and volumetric soil properties in peatland and upland sites. Seloste: Gravimetrisesti ja volumetrisesti ilmaistujen maan ominaisuuksien vuorosuhteita turve- ja kangasmailla. Silva Fenn. 19: 73–80.
- Winston, D. A. & Haddon, B. D. 1981. Effects of early cone collection and artificial ripening on white spruce and red pine germination. Can. J. For. Res. 11: 817–826.

Total of 53 references

Summary

Autumn harvested Scots pine seeds: The effect of cone storage and germination conditions on germination capacity

The aim of the study was to investigate the germination capacity of autumn collected Scots pine seeds in different light and temperature regimes and to monitor the changes in the germination response due to natural and artificial chilling of cones.

Six seed collections were made in September – December 1984 in a natural Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand in southern Finland. The seeds were germinated (1) immediately after the cone collection and (2) after three weeks cold storage of cones at +4.5°C. Two temperature regimes (10° and 20°C) and three photoperiods (0, 8 and 24 hours) were used in the germination tests.

The seeds collected in September and October possessed relative dormancy, i.e. they did not germinate in darkness and at 10°C. Later in November and December

the seeds were capable to germinate in darkness and at low temperature also. The gradual change in germination capacity is attributed to chilling temperatures in natural environments or in cone storage.

The results of the study have practical implications for seed procurement where the desirable germination patterns are characterized by a rapid and complete germination. By manipulating germination conditions and combining them with pre-germination treatments, such as after-ripening or stratification, it is possible to obtain more uniform germination patterns in seed populations of Scots pine. The use of more than one incubation temperature and photoperiod might be beneficial when autumn cone collections are scheduled according to the results of the germination test.

Liite 1. Itäneiden ja itämättömien siementen havaitut frekvenssit eri käsittelyissä 21 vrk:n kuluttua idätyskokeen aloittamisesta.
 Näyte A: ei käpyvarastointia
 Näyte B: käpyvarastointi 3 viikkoa +4,5°C

Käpyjen keräys pvm	Idätyslämpötilä, °C					
	10±1			20±1		
	0	8	Päivänpituus, h		8	24
		24	0			
	Itäneitä siemeniä, kpl					
Näyte A:						
Syyskuu 2.	0	0	231	26	235	252
Syyskuu 17.	0	0	417	258	422	460
Lokakuu 5.	8	165	564	294	526	515
Lokakuu 26.	111	395	417	367	470	496
Marraskuu 15.	188	421	496	522	478	502
Joulukuu 13.	161	420	477	421	525	495
Näyte B:						
Syyskuu 2.	0	12	345	48	289	600
Syyskuu 17.	15	23	363	266	442	473
Lokakuu 5.	116	399	552	423	567	590
Lokakuu 26.	232	400	504	444	445	475
Marraskuu 15.	314	432	492	445	440	557
Joulukuu 13.	170	261	445	502	490	515
	Itämättömiä siemeniä, kpl					
Näyte A:						
Syyskuu 2.	544	627	319	501	291	51
Syyskuu 17.	503	474	92	238	29	9
Lokakuu 5.	534	407	25	244	14	19
Lokakuu 26.	386	35	9	79	13	8
Marraskuu 15.	323	77	19	59	11	24
Joulukuu 13.	324	87	37	74	13	23
Näyte B:						
Syyskuu 2.	620	587	221	587	92	36
Syyskuu 17.	475	445	91	197	17	34
Lokakuu 5.	466	124	30	101	15	9
Lokakuu 26.	182	19	23	7	8	11
Marraskuu 15.	207	111	23	25	16	51
Joulukuu 13.	368	302	86	18	12	17

Liite 2. Esimerkki frekvenssin odotusarvon estimoinnista log-lineaarisen mallin avulla. Itäneiden siementen ($m = 1$) frekvenssin odotusarvo, varastoimattomat kävyt ($i = 1$), keräysajankohta 2. 9. 84 ($j = 1$), idätyslämpötilä 20° ($k = 2$) ja päivänpituus 0 h ($l = 1$).

Termi	Logaritminen param.	Termi	Logaritminen param.
u	4.0007 keskiarvo	$u(ijk)$	0.0348
$u(i)$	-0.5286	$u(ijl)$	-0.0526
$u(j)$	0.1117	$u(ikl)$	0.0086
$u(k)$	0.0773 päävaikutustermit	$u(jkl)$	-0.0056
$u(l)$	0.8054	$u(ijm)$	0.0054 2. asteen interaktiotermit
$u(m)$	0.9970	$u(ikm)$	0.0335
		$u(jkm)$	0.1143
$u(ij)$	0.0705	$u(ilm)$	-0.1016
$u(ik)$	-0.0325	$u(jlm)$	-0.0476
$u(jk)$	-0.1863	$u(klm)$	-0.2446
$u(il)$	0.0163		
$u(jl)$	-0.1406 1. asteen interaktiotermit	$u(ijkl)$	0.0391
$u(kl)$	-0.0232	$u(ijkm)$	0.0368 3. asteen interaktiotermit
$u(im)$	-0.0231	$u(ijlm)$	0.1195
$u(jm)$	-0.2140	$u(iklm)$	-0.0808
$u(km)$	-0.1085		
$u(lm)$	-2.0555		

$\sum 2.6258$

$$\hat{f}_{(ijklm)}, (i=1, j=1, k=2, l=1, m=1) = \exp 2.6258 = 13.8156$$