



■ Katri Himanen



■ Pekka Helenius



■ Markku Nygren

Katri Himanen, Pekka Helenius ja Markku Nygren

## Liotuskäsittelyiden vaikutus kuusen siementen itämiseen

**Himanen, K., Helenius, P. & Nygren, M.** 2010. Liotuskäsittelyiden vaikutus kuusen siementen itämiseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2010: 103–114.

Tutkimuksessa selvitettiin liotuskäsittelyiden vaikutusta kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) siementen itämiseen. Työssä tutkittiin kolmen liotustavan (seisova, ilmastettu ja vaihtuva vesi) ja kahden liotusajan (12 ja 24 h) vaikutusta kahden eri-ikäisen siemenerän itämiseen. Siemenet idätettiin petrimaljalla ja turpeessa. Turveidätyksessä seurattiin myös sirkkataimien kuolemista. Lisäksi tutkittiin kolmen liotuslämpötilan (15, 24 ja 29 °C) ja seitsemän liotusajan (0, 12, 24, 36, 48, 60 ja 72 tuntia seisovassa vedessä) yhdistelmän vaikutusta kolmen siemenerän itämiseen petrimaljalla.

Liotukset aikaistivat sekä pitkään (17 vuotta) että lyhyen aikaa (talven yli) varastoitujen siementen itämistä. Seisovassa vedessä liottaminen antoi yhtä hyvän tuloksen kuin ilmastetussa tai vaihtuvassa vedessä liottaminen. Vuorokauden pituinen liottaminen paransi itämistarmoa 12 tunnin liotusta enemmän. Parhaimmillaan käsittely aikaisti itämistä kaksi vuorokautta.

Liotusveden lämpötila vaikutti siementen itämiseen. Kaikilla kolmella siemenerällä liotus 29 °C:ssa osoittautui huonoimmaksi käsittelylämpötilaksi. Pisimmätkään käsittelyt 15 °C lämpötilassa eivät alentaneet siementen itämistarmoa tai -kapasiteettia.

Kuusen siementen itämistä on mahdollista aikaistaa liottamalla siemeniä vedessä ennen taimitarhakylvöä 12–36 tunnin ajan 15–24 °C lämpötilassa. Menetelmä sopii myös pitkään varastoiduille siemenierille.

Asiasanat: Kuusi, liotus, liotuslämpötila, itäminen, taimipolte

Yhteystiedot: Metla, Suonenjoen toimipaikka, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki

Sähköposti [katri.himanen@metla.fi](mailto:katri.himanen@metla.fi)

Hyväksytty 24.3.2010

Saatavissa <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff102103.pdf>

## I Johdanto

Kuusi on metsänviljelyssä tärkein puulajimme ja sen viljelymäärät ovat kasvaneet 1970-luvulta lähtien. Kuusen siemenviljelyssiemenen tuotanto ei tällä hetkellä vastaa metsänuudistamisen siementarvetta ja jalostetusta siemenestä on jatkuva pula. Kuusen siemenhankinnassa joudutaan edelleen turvautumaan metsikkösiemenen keräyksiin, ja siemeniä sekä taimia on viime vuosina tuotu myös ulkomailta, pääasiassa Ruotsista (Nygren ym. 2006, Leinonen 2008). Epäsäännöllisen kukinnan lisäksi kuusen siementuotannon ongelmana ovat siemeniä ja käpyjä tuhoavat hyönteiset ja taudit (Hokkanen 2001).

Taimituotannon menetelmien kehittyminen ja pyrkimys yksisiemenkylvöihin ovat tiukentaneet vaatimuksia siementen laadulle ja itämisnopeudelle. Erityisesti metsikkösiemenen epätasainen laatu ja itäminen ei aina täytä näitä vaatimuksia. Idäty- ja kasvatusolojen säätelyn lisäksi taimien kasvatustulosta voidaan parantaa siemenerien laatua kohentamalla (Bergsten 1987, Savonen 1998a, Hilli 2003) sekä itämistä nopeuttavilla esikäsitteilyillä.

Stratifioinnilla eli kosteiden siementen kylmäkäsitteilyllä ja tietyillä kemiallisilla käsitteilyillä voidaan aikaansaada siemenissä biokemiallisia muutoksia, jotka nopeuttavat itämistä (Pehap 1987, Bourgeois ja Malek 1991, Jones ja Gosling 1993, Jinks ja Jones 1996, Savonen 1998b, Powell ym. 2000, Benemar ym. 2003). Stratifioinnin on havaittu nopeuttavan mm. kuusen siementen itämistä erityisesti tuoreilla siemenerillä (Leinonen ja Rita 1995, Savonen 1998a). Stratifioinnin pitkät, puulajista riippuen muutamista viikoista kuukausiin kestävät käsitteilyajat (Jones ja Gosling 1993, Nygren 2003) rajoittavat menetelmän käyttökelpoisuutta.

Havupuiden siemenillä tutkittuja kemiallisia esikäsitteilyjä ovat mm. vetyperoksidi- (Ching 1959, Riffle ja Springfield 1968, Barnett ym. 1999), suolahappo- (Karlberg 1953) ja hormoniliuoskäsitteilyt (Grover 1962, Bhumibhamon 1974). Stratifiointi ja kemikaalikäsitteilyt eivät ole kuitenkaan yleistyneet käytännön taimituotannossa.

Yksinkertaisimmillaan esikäsitteilyssä siemeniä liotetaan vedessä ennen kylvöä. Liotus voidaan tehdä seisovassa vedessä, vesi voidaan vaihtaa käsitteily-

aikana tai sitä voidaan ilmastaa siementen riittävän hapensaannin turvaamiseksi (Tanaka 1984). Vaihtuvan veden käsitteilyillä eli siemeniä huuhtomalla on myös pyritty vähentämään taudinaiheuttajia siemenissä (James 1985, 1987, Campbell ja Landis 1990, Kolotelo ym. 2001).

Liotuskäsitteilyistä on saatu positiivisia tuloksia useilla havupuulajeilla (Ching 1959, Barnett ja McLemore 1967, Riffle ja Springfield 1968), myös kuusella (Karlberg 1953, Löyttyniemi 1969). Käsitteilyn vaikutuksia ei ole kuitenkaan tutkittu säädellyissä ja nykyisiin taimenkasvatusmenetelmiin verrattavissa olevissa olosuhteissa. Menetelmän yksityiskohtia, kuten sopivinta liotuksen pituutta ja lämpötilaa, sekä käsitteilyn vaikutuksia eri-ikäisten siemenerien itävyyteen ei myöskään tiedetä.

Tutkimuksessa selvitettiin seisovassa, ilmastetussa ja vaihtuvassa vedessä tehtyjen 12 ja 24 tunnin pituisten liotusten vaikutusta kuusen siementen itämiseen. Tutkimuksen toisessa osassa tutkittiin eripituisten ja eri lämpötilassa tehtyjen liotusten vaikutusta itämiseen.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Siemenet

Tutkimuksessa käytettiin kolmea kuusen metsikkösiemenerää. Erien A ja C siemenet olivat tuleentuneet tutkimusta edeltävänä syksynä ja erän B siemeniä oli varastoitu 17 vuotta. Siementen tuhatjyväpainot ja itävyydet määritettiin ennen koetta (taulukko 1). Kustakin siemenerästä hankittiin siementen tuottajalta noin 70 g suuruinen eränäyte.

**Taulukko 1.** Tutkimuksessa käytetyt siemenerät.

| Erä           | Tuleentumis-<br>vuosi | Tuhatjyvä-<br>paino (g) | Itävyys %<br>7 vrk | Itävyys %<br>21 vrk |
|---------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| A T03-06-0401 | 2006                  | 5,6                     | 68                 | 96                  |
| B T03-89-0133 | 1989                  | 5,0                     | 5                  | 94                  |
| C T03-06-0419 | 2006                  | 5,4                     | 81                 | 98                  |

## 2.2 Liotuskäsittelyjen siementen laboratorio- ja turveidätys

Kokeessa käytettiin siemeneriä A ja B. Molemmista eristä poimittiin jakolaitteen ja siemenlaskurin avulla satunnaisesti 26 kappaletta 600 siemenen (noin 3 g) toistoja, jotka jaettiin satunnaisesti käsittelyihin. Ennen liotuskäsittelyä siemeniä pidettiin 15 tunnin ajan olosuhdekaapeissa (Vötsch Industrietechnik VCL 0003: +20 °C, RH 80 %) siementen välisten kosteuserojen tasaamiseksi. Liotuskäsittely olivat:

1. Kontrolli
2. Seisova vesi 12 tuntia
3. Seisova vesi 24 tuntia
4. Ilmastettu vesi 12 tuntia
5. Ilmastettu vesi 24 tuntia
6. Vaihtuva vesi 12 tuntia
7. Vaihtuva vesi 24 tuntia

Koe suoritettiin kahdessa osassa kesä–elokuussa 2007 siten, että molemmilla koekerroilla oli mukana kaksi riippumatonta toistoa käsittelyistä 2–7 sekä käsittelemätön kontrolli. Kustakin käsittelystä oli siten yhteensä neljä riippumatonta toistoa molemmilla siemenierillä. Liotusastioina käytettiin 0,9 litran muovisia pakasterasioita, joissa kussakin oli 300 ml vesijohtovettä. Liotuskäsittelyt tehtiin noin 21 °C lämpötilassa. Ilmastetun veden käsittelyssä astioihin johdettiin huoneilmaa akvaariopumpulla ns. ilmastuskiven lävitse. Vaihtuvan veden käsittelyssä vesijohtovettä johdettiin jatkuvasti kuhunkin astiaan ja vesi valui pois astioiden kylkiin tehdyistä rei'istä. Astioiden vesitilavuus vaihtui noin 1,5 minuutin välein.

Liotuskäsittelyn jälkeen siemenet pintakuivattiin ja kustakin toistosta otettiin neljä 0,5 g näytettä vesipitoisuuden määrittämiseksi, mikä tehtiin punnitsemalla näytteet tuoreina ja uunikuivauksen (103 °C, 17 ± 1 h) jälkeen (ISTA handbook on... 2007). Vesipitoisuus laskettiin prosenttina näytteiden tuorepainosta.

Käsittelyiden vaikutusta itämistarmoon (7 vuorokauden itämisprosenttiin) ja itämiskapasiteettiin (21 vuorokauden itämisprosentti) tutkittiin idättämällä siemeniä petrimaljalla (laboratoriodätys) ja turpeessa (turveidätys). Laboratoriodätys määritettiin 4 × 100 siemenen näytteestä, johon otettiin kustakin

toistosta 100 siementä. Siemenet idätettiin petrimaljoilla kostutetun imupaperin päällä idätyskaapeissa (FLOHR Instruments GC 10/11) vakio-olosuhteissa (+20 °C, RH 98 %, päivän pituus 16 tuntia, valaistusvoimakkuus 1000–1500 lux, Osram L 36W/840 Cool White loisteputkivalaistus).

Turveidätyksessä siemenet kylvettiin käsin Kekkilä Oy:n peruslannoitetulla metsätaimiturpeella täytettyihin kovamuovisiin Plantek PL 224 kennostoihin (kasvatustiheys 1400 tainta/m<sup>2</sup>, paakun tilavuus 24 cm<sup>3</sup>, Lännen Plant Systems Oy). Kustakin toistosta otettiin kaksi 49 siemenen näytettä. Näytteet kylvettiin kennostoihin arvotuille paikoille ruuduittain. Samasta toistosta otetut näytteet kasvatettiin eri olosuhdekaapeissa (Snijders Scientific B.V. ECD01E) vakio-olosuhteissa (+20 °C, päivän pituus 16 tuntia, valaistusvoimakkuus 2500–9000 lux, Sylvania F36WT8/2084 loisteputkivalaistus). Ennen kylvöä turve kasteltiin vesijohtovedellä kenttäkapasiteettiin. Jokaiseen kennoon kylvettiin yksi siemen ja siemenet peitettiin vermikuliitilla. Kylvökset kasteltiin lopuksi kevyesti sumuttamalla. Turpeen kosteutta seurattiin punnitsemalla kennostoja taimien laskennan yhteydessä. Kylvöksiä kasteltiin sumuttamalla punnitusten yhteydessä.

Itämistä seurattiin sekä laboratorio- että turveidätyksessä 21 vuorokautta. Laboratoriodätyksessä siemen tulkittiin itäneeksi, kun sirkkajuuri oli vähintään neljä kertaa siemenkuoren pituinen (≥ 15 mm) (International rules for... 2005). Itämätömät siemenet röntgenkuvattiin kokeen päätyttyä tyhjien ja toukkaisten siementen tunnistamiseksi. Turveidätyksessä siemenen katsottiin itäneen kun siemenkuori tai sirkkavarsi oli tullut esiin vermikuliitin alta. Turveidätyksessä kirjattiin muistiin myös seurannan aikana kuolleet taimet. Kuolleiksi luettiin taimipoltteeseen sairastuneet ja pahasti mekaanisesti vaurioituneet taimet.

## 2.3 Vesipitoisuuden nousu liotuksessa

Siementen vesipitoisuuden nousua seisovassa, ilmastetussa ja vaihtuvassa vedessä tutkittiin liottamalla siemenerien A ja B siemeniä 24 tunnin ajan. Siementen vesipitoisuus määritettiin ennen liotusta sekä 12, 15 ja 24 tunnin liotusten jälkeen neljästä 0,5 g näytteestä edellä kuvatusti (luku 2.2).

## 2.4 Liotuskäsittelyn pituus ja lämpötila

Liotusolosuhteiden vaikutusta laboratorioitävyyteen tutkittiin kaikilla kolmella siemenerällä (A, B ja C). Siemeniä liotettiin valossa 12, 24, 36, 48, 60 tai 72 tuntia 15 °C, 24 °C tai 29 °C lämpötiloissa. Liotukset tehtiin seisovassa vedessä 100 ml dekanterilaseissa. Kussakin lasissa oli 50 ml milli-Q vettä ja 105 siementä. Käsittelyn jälkeen siemenet pintakuivattiin ja idätettiin petrimaljoilla, 2×50 siementä kustakin liotusaika × liotuslämpötila -yhdistelmästä, kuten liotuskokeessa (luku 2.2).

## 2.5 Tulosten analysointi

Liotuskäsittelyjen vaikutusta itämiseen petrimaljalla ja turpeessa sekä taimien kuolemista analysoitiin satunnaistettujen lohkojen kokeena yleistetyllä lineaarisella mallilla. Vastemuuttujina olivat laboratorio- ja turveidätyksen seitsemän ja 21 vuorokauden itämisprosentit sekä turveidätyksessä kuolleiden sirkkataimien osuus 21 vuorokauden kuluttua kylvöstä. Koeyksikkönä oli laboratorioidätyksessä 100 siemenen ja turveidätyksessä 98 siemenen näyte, jotka otettiin valikoimatta 600 käsitellyn siemenen joukosta. Selittävänä muuttujana oli liotuskäsittely. Lohkotekijöinä olivat idätys- tai olosuhdekaappi ja koekerta. Tilastolliset mallit sovitettiin erikseen A ja B itämisaineistoihin.

Liotusajan ja lämpötilan vaikutusta laboratorioitävyyteen analysoitiin logistisella regressioanalyysillä. Selittävinä muuttujina olivat siemenerä (luokamuuttuja) sekä liotusaika ja liotusveden lämpötila (jatkuvia muuttujia). Koeyksikkönä oli 100 siemenen näyte, joka otettiin valikoimatta 105:n liotetun siemenen joukosta. Käsittelyjen vaikutuksia analysoitiin sovittamalla mallit erikseen siemenerien A, B ja C seitsemän ja 21 vuorokauden itämisaineistoihin. Kaikissa analyyseissä itämisprosentit laskettiin suhteessa täysien, itämiskykyisten siementen määrään.

Itämis- ja kuolleisuusaineistoihin sovitettiin logistinen regressiomalli, jossa vastemuuttujana oli tapahtuman (siemen itänyt määräajan kuluttua kylvöstä, taimi kuollut) vedosta otettu luonnollinen logaritmi, ns. logit-muunnos (Rita 2004). Malli on

tällöin muotoa

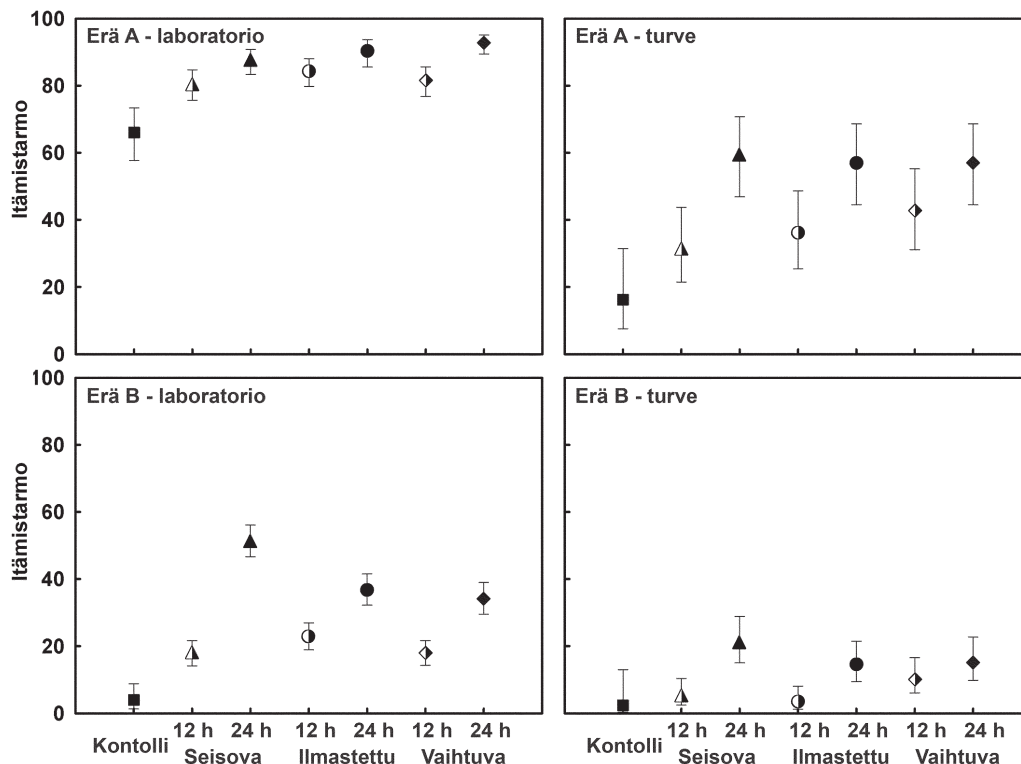
$$\ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta X \quad (1)$$

Malleja rakennettaessa muodostettiin ensin perusmalli, jossa olivat mukana kaikki hypoteesien mukaiset selittävät muuttujat ja niiden yhdysvaikutukset. Lopulliseen malliin valittiin 5 %:n riskitasolla (Waldin testi) merkitsevät muuttujat. Mallien sopivuutta aineistoon tarkasteltiin yhteensopimattomuusindeksin (devianssi) ja jäännöshajontakuvien perusteella. Ylihajontatilanteessa selvitetiin ensin mahdollisten poikkeavien havaintojen vaikutus tuloksiin. Ellei niitä ollut ja mallissa olivat mukana kaikki tarpeelliset selittäjät, estimoitiin aineistosta ns. skaalaparametri, jolloin ylihajonta tuli huomioon otetuksi mallin parametrien keskivirheiden estimoinnissa (Collett 2003). Mallinnus tehtiin SAS tilasto-ohjelman (SAS 9.1) GENMOD proseduurilla analysoitaessa liotuskäsittelyjen siementen itämistä petrimaljalla ja turpeessa sekä sirkkataimien kuolleisuutta. Liotusajan ja -lämpötilan logistinen regressioanalyysi tehtiin GenStat-tilasto-ohjelmalla (GenStat 11.0).

Itämisajan keskiarvo ja sen keskivirhe turveidätyksessä käsittelyittäin ja siemenerittäin määritettiin ei-parametrisellä elinaikamallinnuksella. Elinaikamallinnuksessa analyysin kohteena on tapahtuma-aika. Itämisen mallinnuksessa tapahtuma, jota mallinetaan, on siemenen itäminen ja elinaika on itämiseen kuluva aika. Mallinnuksessa lasketaan tapahtumajan kertymäfunktioille ei-parametrinen estimaatti. Välttötodennäköisyys, eli todennäköisyys sille, että siemen ei ole itänyt hetkellä  $t$ , on

$$p_t = \frac{(r_t - d_t)}{r_t} \quad (2)$$

missä  $r_t$  on itämättömien ja  $d_t$  itäneiden siementen lukumäärä ajanhetkellä  $t$ . Kertymäfunktiossa ilmaistaan välttötodennäköisyydet jokaisella aika-askeleella, itämisen mallinnuksessa itäneiden lukupäivinä. Itämisajan keskiarvo on ajanhetki, jolloin itämisen välttötodennäköisyys kertymäfunktiossa on 0,5. Mallinnus tehtiin SAS-ohjelman LIFETEST proseduurilla.



**Kuva 1.** Mallien ennusteet itämistarmolle (7 vrk itämisprosentti) ja ennusteiden 95%-luottamusvälit laboratorio- ja turveidätyksessä käsittelyittäin siemenerialle A ja B. Erän A laboratorioitävyyden mallin devianssi = 22,39 df = 17, erän B laboratorioitävyyden devianssi = 10,29 df = 11, erän A turveitävyyden devianssi = 234,19 df = 44 ja erän B turveitävyyden devianssi = 110,57 df = 38.

## 3 Tulokset

### 3.1 Laboratoriodätyks

Kaikki liotuskäsittelyt nostivat molempien siemenerien itämistarmoa eli 7 vuorokauden itämisprosenttia (5%:n riskitasolla) laboratoriodätyksessä kontrolliin verrattuna (kuva 1). Itämistarmo oli molemmilla siemenerialla toisella koekerralla ensimmäistä kertaa korkeampi ( $p < 0,0001$ ). Siemenerial A mallissa tilastollisesti merkitsevä muuttuja oli koekerran lisäksi käsittely ( $p < 0,0001$ ). Erän B mallissa tilastollisesti merkitsevä muuttuja oli näiden lisäksi käsittelyn ja koekerran yhdysvaikutus ( $p < 0,0001$ ). Käsittelyillä ei ollut vaikutusta kummankaan siemenerial 21 vuorokauden itämisprosenttiin eli itämiskapasiteettiin.

### 3.2 Turveidätys

Kaikki käsittelyt nostivat siemenerial A itämistarmoa turpeessa lukuun ottamatta 12 tunnin liotusta seisovassa ja ilmastetussa vedessä (kuva 1). Erän B itämistarmoa nosti kontrolliin verrattaessa ainoastaan 24 tunnin seisovan veden käsittely.

Molempien siemenerial itämistarmoon käsittely oli tilastollisesti merkitsevä muuttuja ( $p < 0,0001$ ). Erän A itämistarmo oli toisella koekerralla ensimmäistä kertaa korkeampi ( $p < 0,0001$ ).

Myös turveidätyksessä käsittelyiden väliset erot itämisprosentteissa tasoittuivat ajan kuluessa. Itämiskapasiteetin malleissa ei käsittelyiden eikä koekertojen välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

Itämisaian keskiarvo turveidätyksessä oli molemmilla siemenerialla pienin kun siemeniä oli liotettu 24 tunnin ajan seisovassa vedessä (taulukko 2). Itämis-

ajan keskiarvo pieneni tämän käsittelyn seurauksena noin kaksi vuorokautta kontrollisiemeniin verrattuna. Kaikki liotuskäsittelyt lyhensivät siemeniä A itämisaajan keskiarvoa lukuun ottamatta käsittelyä 2. Erässä B 24 tunnin käsittelyt sekä 12 tunnin liotus ilmastetussa vedessä lyhensivät itämisen keskiarvoa kontrollisiemeniin verrattuna.

### 3.3 Sirkkataimien kuolleisuus

Taimia sairastui ja kuoli turveidätyksessä taimipolteeseen. Eri tavoin käsitellyistä siemenistä kasvatettujen taimien kuolleisuudessa tai kuolleisuudessa koekertojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Sirkkataimien kuolleisuus 21 vuorokauden kuluttua kylvöstä oli suurempaa erän A siemenistä kasvaneissa taimissa kuin erän B siemenistä kasvaneissa taimissa ( $p=0,0003$ ). Erän A taimista kuoli mallin ennusteen mukaan kolmen ensimmäisen kasvatusviikon aikana 1,8 %. Erän B taimien kuolleisuuden ennuste oli 0,6 %. Kuolleisuuden mal-

**Taulukko 2.** Elinaika-analyysin estimaatit siemenierien A ja B itämisaikojen keskiarvoille ja niiden keskivirheille.

| Käsittely            | Itämisaajan keskiarvo $\pm$ keskivirhe (vrk) |                |
|----------------------|--|----------------|
|                      | Erä A  | Erä B          |
| Kontrolli            | 10,6 $\pm$ 0,3                               | 11,5 $\pm$ 0,2 |
| Seisova vesi 12 h    | 10,2 $\pm$ 0,2                               | 11,6 $\pm$ 0,2 |
| Seisova vesi 24 h    | 8,5 $\pm$ 0,1                                | 9,6 $\pm$ 0,2  |
| Ilmastettu vesi 12 h | 9,5 $\pm$ 0,1                                | 11,9 $\pm$ 0,2 |
| Ilmastettu vesi 24 h | 9,8 $\pm$ 0,2                                | 10,8 $\pm$ 0,2 |
| Vaihtuva vesi 12 h   | 9,4 $\pm$ 0,1                                | 10,9 $\pm$ 0,2 |
| Vaihtuva vesi 24 h   | 9,8 $\pm$ 0,2                                | 10,8 $\pm$ 0,2 |

linnuksessa lopulliseen malliin (devianssi = 119,10  $df = 102$ ) ainoaksi tilastollisesti merkitseväksi muutujaksi jäi siemeniä.

### 3.4 Vesipitoisuuden nousu liotuksessa

Siementen vesipitoisuus nousi 12 tunnissa lähes yhtä korkealle kuin 24 tunnissa siemeniästä ja liotustavasta riippumatta (taulukko 3). Siemeniä A vesipitoisuus oli liotusta ennen kaksinkertainen erän B vesipitoisuuteen verrattuna, mutta erilaiset lähtökosteudet tasoittuivat 12 tunnissa.

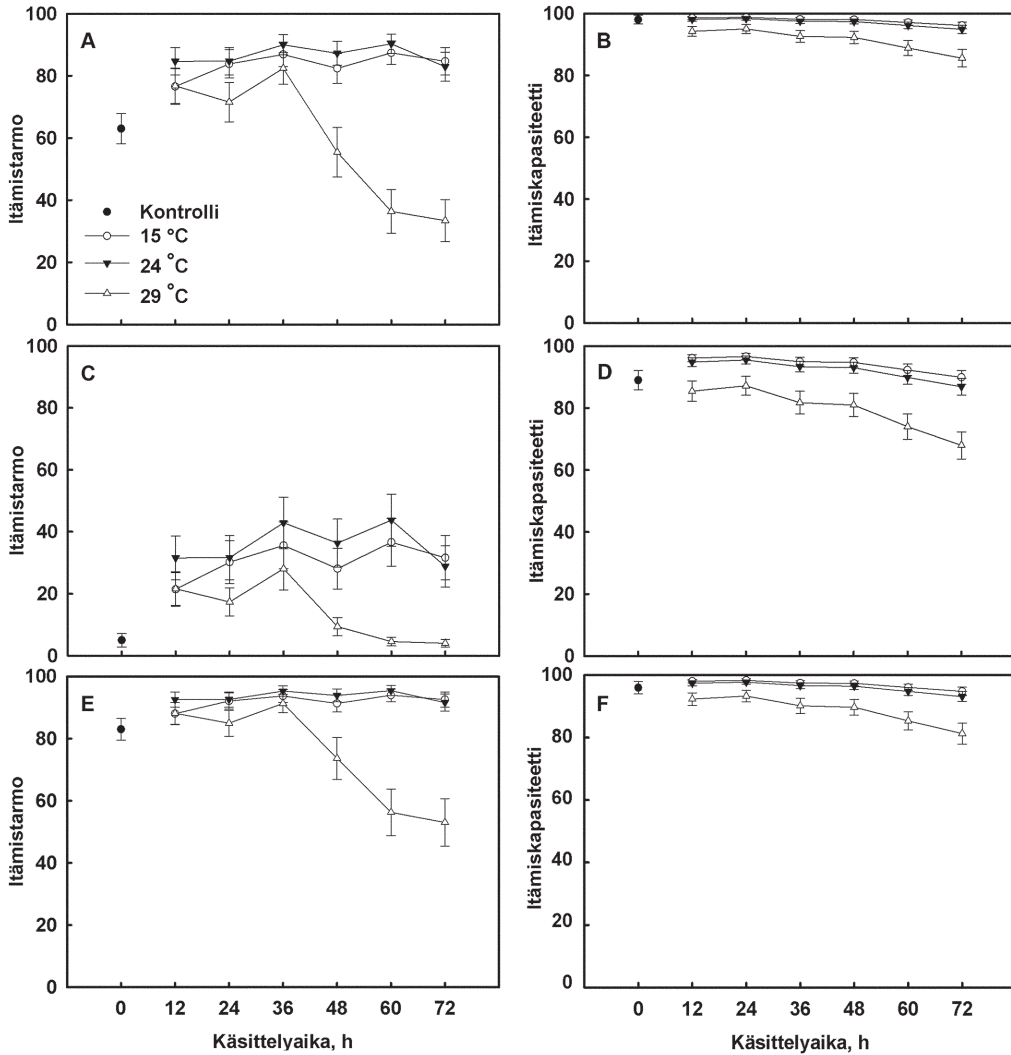
### 3.5 Liotuskäsittelyn pituus ja liotusveden lämpötila

Liotusveden lämpötila vaikutti sekä itämistarmoon että -kapasiteettiin (kuva 2). Lämpötilan vaikutus korostui käsittelyajan pidentyessä. Korkein liotuslämpötila, 29 °C, osoittautui kaikilla siemeniäillä huonoimmaksi.

Kaikki 15 ja 24 °C lämpötiloissa tehdyt liotukset nostivat siemeniä A ja B itämistarmoja kontrolliin verrattuna (kuvat 2A ja 2C). Erän C itämistarmoa nostivat niin ikään kaikki 15 ja 24 °C:ssa tehdyt käsittelyt, lukuun ottamatta 12 tunnin liotusta 15 °C:ssa (kuva 2E). Pitkät, 60 ja 72 tunnin liotukset 29 °C lämpötilassa alensivat erien A ja C itämistarmoja huomattavasti (kuvat 2A ja 2E). Mitkään käsittelyt eivät alentaneet siemeniä B itämistarmoa verrattaessa käsittelemättömiin siemeniin, mutta itämistarmo oli myös tällä siemeniällä alhaisin pitkien 29 °C lämpötilassa tehtyjen liotusten seurauksena (kuva 2C). Itämistarmon mallinnuksessa tilastollisesti

**Taulukko 3.** Siemeniä A ja B vesipitoisuudet ja vesipitoisuuksien keskihajonta eripituisten liotuskäsittelyiden jälkeen.

| Siemeniä | Liotustapa      | Siementen vesipitoisuus $\pm$ keskihajonta (%) |                |                |                |
|----------|-----------------|--|----------------|----------------|----------------|
|          |                 | 0 h  | 12 h           | 15 h           | 24 h           |
| A        | Seisova vesi    | 8,4 $\pm$ 0,2                                  | 27,1 $\pm$ 0,4 | 27,7 $\pm$ 0,2 | 28,8 $\pm$ 0,8 |
| A        | Ilmastettu vesi | 8,4 $\pm$ 0,2                                  | 28,3 $\pm$ 1,7 | 28,3 $\pm$ 0,8 | 29,3 $\pm$ 0,1 |
| A        | Vaihtuva vesi   | 8,4 $\pm$ 0,3                                  | 27,2 $\pm$ 0,2 | 27,9 $\pm$ 0,3 | 29,5 $\pm$ 0,2 |
| B        | Seisova vesi    | 4,2 $\pm$ 0,7                                  | 28,0 $\pm$ 0,3 | 27,5 $\pm$ 0,3 | 29,5 $\pm$ 0,5 |
| B        | Ilmastettu vesi | 4,2 $\pm$ 0,7                                  | 28,9 $\pm$ 0,4 | 29,1 $\pm$ 0,3 | 29,9 $\pm$ 0,2 |
| B        | Vaihtuva vesi   | 4,2 $\pm$ 0,7                                  | 28,7 $\pm$ 0,5 | 28,7 $\pm$ 0,2 | 29,9 $\pm$ 0,3 |



**Kuva 2.** Kontrollisiementen itämistarmo (7 vrk itämisprosentti), itämiskapasiteetti (21 vrk itämisprosentti) ja näiden keskivirheet sekä mallin ennusteet ja ennusteiden keskivirheet erien A, B ja C itämistarmolle ja -kapasiteetille 15, 24 ja 29 °C lämpötilassa tehtyjen liotusten jälkeen. Kuva 2A = siemenä A itämistarmo, 2B = siemenä A itämiskapasiteetti, 2C = siemenä B itämistarmo, 2D = siemenä B itämiskapasiteetti, 2E = siemenä C itämistarmo, 2F = siemenä C itämiskapasiteetti

merkitseviksi muuttujiksi osoittautuivat siemenä (p<0,001), liotusaika (p=0,009), liotuslämpötila (p<0,001) sekä ajan ja lämpötilan yhdysvaikutus (p=0,002).

Käsittelyt eivät nostaneet tuoreiden siemenerien (A ja C) itämiskapasiteettia (kuvat 2B ja 2F). Siemenä B itämiskapasiteettia nostivat kontrolliin verrattuna 12–48 tunnin pituiset käsittelyt 15 °C lämpötilassa sekä 12 ja 24 tunnin käsittelyt 24 °C:ssa

(kuva 2D). Erän A itämiskapasiteettia alensivat kaikki 29 °C lämpötilassa tehdyt liotukset sekä 72 tunnin liotus 24 °C:ssa (kuva 2B). Erien B ja C itämiskapasiteetti laski kun liotus 29 °C:ssa kesti 36 tuntia tai pidempään (kuvat 2D ja 2F). Itämiskapasiteetin mallissa tilastollisesti merkitseviä muuttujia olivat siemenä (p<0,001), liotusaika (p=0,001) sekä liotuslämpötila (p<0,001).

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Laboratorio- ja turveidätys

Tulokset itämisen aikaistumisesta käsittelyiden seurauksena ovat yhtenevät aiempien kuusen siemenillä (Löyttyniemi 1969) ja muilla havupuilla (Ching 1959, Barnett ja McLemore 1967, Pehap 1987) tehtyjen esikäsitteilytutkimusten kanssa. Löyttyniemen (1969) tutkimuksessa osa kokeilluista käsittelyistä, mm. vedessä liottaminen, nostivat myös lopullista itämisprosenttia (100 vrk). Tässä kokeessa liotustapojen erot tasoittuivat idätysajan kasvaessa eikä käsittelyillä ollut vaikutusta itämiskapasiteettiin. Myös muilla havupuulajeilla tehdyissä tutkimuksissa liotuksilla on havaittu olevan vain vähän tai ei lainkaan vaikutusta itämiskapasiteettiin (Ching 1959, Bourgeois ja Malek 1991).

Itämistarmo on turveidätyksessä laboratoriodätystä alempi (kuva 1). Siemenet vaikuttivat näin ollen itävän turpeessa hitaammin kuin petrimaljoilla. Ero selittyy kuitenkin osin itämisen määritelmän erilaisuudella. Kun siemen luettiin itäneeksi turveidätyksessä, sirkkajuuri oli useimmiten pidempi kuin laboratoriodätyksessä itämisen määritelmä edellyttää. Tulokset käsittelyiden vaikutuksista olivat kuitenkin samansuuntaiset idätystavasta riippumatta. Idätys voidaankin esimerkiksi siementen esikäsitteilyjen vaikutuksia tutkittaessa tehdä perustellusti laboratoriodätyksenä, mikä on turveidätystä helpommin toteutettavissa. Turveidätys on käytökelppoinen menetelmä, mikäli halutaan seurata sirkkaimien jatkokehitystä tai idätys halutaan tehdä muovihuoneessa, jolloin esimerkiksi lämpötilan luontainen vaihtelu voidaan ottaa mukaan tekijäksi koearjestykseen.

Siementen vanheneminen ilmenee mm. itämiskapasiteetin ja erityisesti itämisnopeuden laskuna (McDonald 1999, Black ym. 2006) Vanhentuminen johtuu biokemiallisista ja fysiologisista muutoksista siemenissä (McDonald 1999). Siemenen B erää A hitaampi itäminen johtuu pääosin sen pidemmästä varastointiajasta. Myös erän B alempi vesipitoisuus ennen liotusta voi selittää sen erää A alemman itämistarmon (taulukko 3).

Liotukset aikaistivat kuitenkin molempien siemenien itämistä (taulukko 2). Liotuskäsittely voi siis

hyödyttää myös vanhoja siemeneriä, mikä poikkeaa stratifioinnista saaduista tuloksista (Savonen 1998a, Nygren 2003). Koska hidaskasvatusta ja epätasainen itäminen on ongelmaksi erityisesti pitkään varastoiduissa siemenenerissä (Karssen ym. 1989, Metsäpuiden siemenhuoltotyöryhmän... 2004), liotuskäsittelyiden hyödyt voivat olla merkittäviä juuri vanhoilla erillä.

#### 4.1.1 Liotusaikojen ja -tapojen väliset erot

Siementen vesipitoisuuden havaittiin nousevan liotuksen alussa nopeasti ja nousevan vain hiukan 12 ja 24 tunnin välisenä aikana (taulukko 3). Molempien siemenerien itämistarmot olivat kuitenkin idätystavasta (laboratorio- ja turveidätys) riippumatta korkeammat 24 tunnin kuin 12 tunnin käsittelyiden jälkeen samassa käsittelytavassa (seisova, ilmastettu ja vaihtuva vesi) (kuva 1). Tulos on yhtenevä Karlbergin (1953) ja Löyttyniemen (1969) tekemien kuusen siementen liotuskokeiden kanssa, joissa 24 tunnin käsittelyt osoittautuivat 12 tuntia paremmiksi. Pelkkä vesipitoisuuden nousu liotuksessa ei näin ollen yksin selitä käsittelyjen itämistä nopeuttavaa vaikutusta.

Käsittelytapojen vaikutusten välillä oli vain vähän eroja. Veden ilmastamisen ja vaihtuvan veden käsittelyn tarkoituksena on huolehtia veden happipitoisuuden säilymisestä korkeana käsittelyn ajan (Tanaka 1984). Siemenet tarvitsevat hapetta itääkseen, ja puutteellisen hapensaannin on havaittu useilla lajeilla hidastavan itämistä, alentavan itämiskapasiteettia ja johtavan epänormaaliin itämiseen (Côme ja Tissaoui 1972, Corbinau ym. 2002). Hapen puutteen liotuskäsittelyn aikana on havaittu hidastavan itämistä ja alentavan itämiskapasiteettia (Heydecker ja Orphanos 1967, Barnett ja McLemore 1967). Vaihtuvan veden käsittelyssä siemenistä veteen liukenevat, mahdollisesti itämistä estävät aineet (Mayer ja Poljakoff-Mayber 1975, Tanaka 1984, Kolotelo ym. 2001) ja mikrobit (Riffle ja Springfield 1968, James 1985) voivat huuhtoutua pois.

Käsitellyt siemenmäärät olivat pieniä suhteessa vesitilavuuteen (n. 3 g siemeniä, 3 dl vettä) ja liotusajat lyhyitä. Siemenet eivät tästä johtuen todennäköisesti kärsineet hapen puutteesta seisovan veden käsittelyssäkään. Käytännössä taimitarhoilla käsiteltävät siemenmäärät ovat satojen grammojen



tai kilogrammojen suuruisia. Tällaisia siemenmääriä käsiteltäessä ilmastus- ja vaihtuvan veden käsittelyt voivat olla hyödyllisiä tai välttämättömiä siementen hapensaannin turvaamiseksi.

Syynä koekertojen välisiin eroihin itämistarmossa on oletettavasti siementen korkeampi vesipitoisuus jälkimmäisellä koekerralla liotusta edeltäneiden olosuhdekaappikäsittelyjen jälkeen. Ennen liotusta siementen väliset kosteuserot pyrittiin tasaamaan pitämällä niitä vakio- lämpötilassa ja -ilmankosteudessa olosuhdekaapeissa. Tässä ei kuitenkaan täysin onnistuttu: Erän A siementen vesipitoisuudet ennen liotusta olivat jälkimmäisellä koekerralla prosenttiyksikön ensimmäistä kertaa korkeammat 15 tunnin olosuhdekaappikäsittelyn jälkeen. Tämä antoi todennäköisesti toisella koekerralla siementen itämiselle "varaslähdön" verrattuna ensimmäiseen koekertaan.

#### 4.1.2 Sirkkataimien kuolleisuus

Liotuskäsittelyn hyödyllisyys riippuu myös sen mahdollisesta vaikutuksesta taimien kuolleisuuteen. Siementen huuhtelukäsittelyiden on todettu vähentävän tautitapausten määrää havupuiden taimissa ja mikrobikontaminaatiota siemenissä (Riffle ja Springfield 1968, James 1985, James 1987). Kanadassa havupuiden siementen liotuskäsittely tehdään vaihtuvassa vedessä patogeeneiden määrän vähentämiseksi (Kolotelo ym. 2001).

Tässä tutkimuksessa liotettujen ja liottamattomien siementen sirkkataimien kuolleisuuden välillä ei havaittu eroa. Erän A siemenistä kasvatettujen sirkkataimien kuolleisuus oli sen sijaan tilastollisesti merkittävästi erän B taimien kuolleisuutta suurempi. Taimia kuoli lähinnä taimipolteeseen. Taimipolte on havu- ja lehtipuilla tavattava, taimitarhoilla yleinen tauti, joka aiheuttaa taimien kuoleamisen pian kylvön jälkeen. Oireena on sirkkavarren nekroosi lähellä kasvualustan pintaa, mikä johtaa taimen vääntymiseen, kaatumiseen ja lopulta kuolemaan (Lilja 2008). Tauti voi olla siemen- tai kasvualustalevintäinen ja sitä aiheuttavat mm. *Pythium*-, *Phytophthora*-, *Fusarium*-, *Cylindrocarpon*- ja *Rhizoctonia* -sukujen patogeeneit (Lilja ja Sutherland 2007, Lilja 2008).

Huuhtelukäsittelyt, kuten myös pintasterilointi esimerkiksi vetyperoksidilla tai natriumhypokloriitilla,

vähentävät mikrobien määrää siementen pinnalla. Mikrobeja voi kuitenkin olla havupuiden siementen pinnan lisäksi siemenkuoren sisäpuolisissa rakenteissa (Dwinell 1999, Dwinell ja Fraedrich 1999, Tillman-Sutela ym. 2004), jolloin pinnan käsittely ei vaikuta mahdolliseen mikrobikontaminaatioon. Se, onko mikrobeja siemenen pinnalla, sisällä vai molemmissa riippuu tartuntalähteestä sekä puu- ja mikrobilajista (Dwinell ja Fraedrich 1999, Lilja ja Sutherland 2007). Erityisesti siementen pintarakenteissa esiintyy normaalisti suuriakin määriä mikrobeja, joista vain osa on mahdollisesti patogeenejä (Campbell ja Landis 1990, Nygren 2003, Lilja ja Sutherland 2007) ja joista osa voi edistää itämistä (Lilja ja Sutherland 2007). Koska siementen esikäsitteily vaikuttavat eri tavoin eri mikrobeihin, mikrobien määrää vähentävien käsittelyiden vaikutukset eivät ole yksiselitteisen positiivisia (James ym. 1996, Lilja ja Sutherland 2007).

#### 4.2 Liotuskäsittelyn pituus ja liotuslämpötila

Esikäsitteilyjä tehtäessä lämpötilaan tulee kiinnittää huomiota. Liotustutkimukset on havupuilla usein toteutettu lähellä itämisen optimilämpötilaa (Karlberg 1953, Ching 1959, Riffle ja Springfield 1968), käsittely on ilmoitettu tehdyn "huoneenlämmössä" (Löylyniemi 1969, Bourgeois ja Malek 1991, Rautiainen 2002) tai käsittelylämpötilaa ei ole mainittu lainkaan (Barnett ym. 1999). Kanadassa havupuiden siementen esikäsitteilyissä stratifiointia edeltävä liotus tehdään noin 11 °C:ssa (Kolotelo ym. 2001). Kuusen siementen itämisen lämpötilavaste tunnetaan hyvin (Bergsten 1987, 1989, Leinonen ym. 1993), mutta liotuslämpötilan vaikutusta itämiselle ei ole aiemmin tutkittu. Leinosen ym. (1993) tutkimuksessa kuusen siemenet eivät itäneet alle 10 °C lämpötilassa, 50 % itävyys saavutettiin 14 °C:ssa ja itäminen aleni yli 25 °C lämpötilassa. Kuusen siementen itämisen optimilämpötila on 20–22 °C (Nygren 2003).

Lämpötila vaikuttaa biokemiallisten reaktioiden nopeuteen ja siten itämisen nopeuteen ja siementen sekä mikrobien hapen kulutukseen. Lämpötila vaikuttaa myös kaasujen liukoisuuteen veteen. Lämpötilan noustessa hapen kulutus nousee tiettyyn

rajaan saakka ja toisaalta hapen liukoisuus veteen pienenee. Käsittelylämpötilan noustessa siemenet voivatkin kärsiä hapen puutteesta.

Siementen itävyys heikkeni, kun liotus korkeassa lämpötilassa kesti pitkään. Syynä itämistarmon tai -kapasiteetin alenemiseen on ollut liian korkea lämpötila, hapen puute, tai näiden yhdistelmä. Tutkimuksen perusteella kuusen siementen liotuskäsittelyt on turvallista toteuttaa itämisen optimilämpötila-alueella tai tätä alemmassa lämpötilassa, 15–24 °C:ssa. Vaikka pitkätkin käsittelyt nostivat itämistarmoa 15 ja 24 °C lämpötiloissa, käytännössä sopivien käsittelyiden pituutta rajoittaa siemenkuorten avautuminen käsittelyssä. Siementen vesipitoisuus nousee liotuksessa nopeasti (taulukko 3) ja pitkissä liotuksissa yksittäisten siementen siemenkuorten havaittiin avautuvan. Siemenet, joiden siemenkuoret ovat avautuneet, ovat alttiita kuivumiselle käsittelyä seuraavan pintakuivauksen aikana ja mekaanisille vaurioille kylvössä, eikä pitkiä, yli 36 tunnin liotuskäsittelyitä ole näin ollen perusteltua käyttää.

## Kiitokset

Tutkimus on tehty Metsämiesten Säätiön rahoittamissa hankkeissa ”Kuusen siemenerien kunnostaminen ja itävyyden parantaminen” sekä ”Kuusen siementen liotuskäsittelyt: vesipitoisuuden säätely ja itävyyden parantaminen”. Käsikirjoituksen tarkastajia kiitämme asiantuntevista kommentteista ja muutosehdotuksista.

## Kirjallisuus

- Barnett, J.P. & McLemore, B.F. 1967. Germination of loblolly pine seed hastened by soakings in aerated cold water. *Tree Planter's Notes* 18(2): 24–25.
- , Pickens, B. & Karrfalt, R. 1999. Improving longleaf pine seedling establishment in the nursery by reducing seedcoat microorganisms. Tenth biennial southern silvicultural research conference. s. 339–343.
- Benemar, A., Tallon, C. & Mancherel, D. 2003. Membrane integrity and oxidative properties of mitochondria isolated from imbibing pea seeds after priming or accelerated ageing. *Seed Science Research* 13: 34–45.
- Bergsten, U. 1987. Incubation of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seeds at controlled moisture content as an invigoration step in the IDS method. Väitöskirja. Swedish university of agricultural sciences. Department of silviculture. 98 s.
- 1989. Temperature tolerance of invigorated seeds of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. using the TTGP-test. Swedish university of agricultural sciences. Department of silviculture, Seed laboratory. 21 s.
- Bhumibhamon, S. 1974. Effect of pretreatments on seed respiration. University of Helsinki. Department of Silviculture. 47 s.
- Black, M., Bewley, J.D. & Halmer, P. 2006. The encyclopedia of seeds. Science, technology and uses. CAB International. 828 s.
- Bourgeois, J. & Malek, L. 1991. Metabolic changes related to the acceleration of jack pine germination by osmotic priming. *Tree Physiology* 8: 407–413.
- Campbell, S.J. & Landis, T.D. 1990. Managing seedborne diseases in western forest nurseries. *Tree Planter's Notes* 41(3): 3–7.
- Ching, T.M. 1959. Activation of germination in Douglas fir seed by hydrogen peroxide. *Plant Physiology* 34: 557–563.
- Collett, D. 2003. Modelling binary data. 2. painos. Chapman & Hall/CRC. 369 s.
- Côme, D. & Tissaoui, T. 1972. Interrelated effects of imbibition, temperature and oxygen on seed germination. Teoksessa: Heydecker, W. (toim.). Seed ecology. Proceedings of the nineteenth easter school in agricultural science. University of Nottingham. s. 157–168.
- Corbinau, F., Bianco, J., Garelló, G. & Côme, D. 2002. Breakage of *Pseudotsuga menziesii* seed dormancy by cold treatment as related to changes in seed ABA sensitivity and ABA levels. *Physiologia Plantarum* 114: 313–319.
- Dwinell, L.D. 1999. Association of the pitch canker fungus with cones and seeds of pines. Julkaisussa: Devey, M.E., Matheson, A.C. & Gordon, T.R. (toim.). 1999. Current and potential impacts of pitch canker in radiata pine. Proc. IMPACT Monterey workshop. s. 35–39.
- & Fraedrich, S.W. 1999. Contamination of pine seeds by the pitch canker fungus. Julkaisussa: Landis, T.D. & Barnett, J. P. 1999. National proceedings: forest and conservation nursery associations. General technical

- report. USDA. Forest Service, Southern Research Station. s. 41–42.
- Grover, R. 1962. Effect of gibberellic acid on seed germination of elm, Scots pine, Colorado and white spruce. *Forest Science* 8(2): 187–190.
- Heydecker, W. & Orphanos, P.I. 1967. Delayed damage to *Phaseolus vulgaris* L. seeds by water trapped during soaking. *Nature* 216: 388–389.
- Hilli, A. 2003. Kuusen siementen itävyyden muutokset esikäsitellyiden aikana. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). 2003. Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2003. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 907. s. 33–43.
- Hokkanen, T. 2001. Siemenet ja siemensato. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 69–79.
- International rules for seed testing. 2005. International Seed Testing Association. PAINOS 2005/2.
- ISTA handbook on moisture determination. 2007. International Seed Testing Association. Ensimmäinen painos. 248 s.
- James, R.L. 1985. Pathogenic *Fusarium* on spruce seed from Towner Nursery, North Dakota. USDA Forest Service. Forest Pest Management. Report 85–23. 9 s.
- 1987. Effects of water rinse treatments on occurrence of fungi on spruce seed from the Towner Nursery, North Dakota. Forest Pest Management. Report 87–5. 4 s.
- , Dumroese, R.K. & Wenny, D.L. 1996. Western larch seed-contaminating fungi and treatments to reduce infection and improve germination. Forest Health Protection. Report 96-7. 13 s.
- Jinks, R.L. & Jones, S.K. 1996. The effect of seed pretreatment and sowing date on the nursery emergence of Sitka spruce (*Picea sitchensis* [Bong.] Carr.) seedlings. *Forestry* 69(4): 335–345.
- Jones, S.K. & Gosling, P.G. 1993. "Target moisture content" prechill overcomes the dormancy of temperate conifer seeds. *New Forests* 8(4): 309–321.
- Karlberg, S. 1953. Om behandling av tall- och granfrö i gröningsstimulerande syfte. Kungl. Skogshögskolans Skrifter 11. 42 s.
- Karsen, C.M., Haigh, A., van der Toorn, P. & Weges, R. 1989. Physiological mechanisms involved in seed priming. Teoksessa: Taylorson, R.B. (toim.). Recent advances in the development and germination of seeds. Plenum Press. New York. s. 269–280.
- Kolotelo, D., Van Steenis, E., Peterson, M., Bennett, R., Trotter, D. & Dennis, J. 2001. Seed Handling Guidebook. British Columbia. Ministry of Forest. Tree Improvement Branch. 151 s.
- Leinonen, K. 2008. Metsätaimitarhojen valvonnan tulokset vuonna 2007. *Taimiuutiset* 2/2008. s. 14–16.
- & Rita, H. 1995. Interaction of prechilling, temperature, osmotic stress and light in *Picea abies* seed germination. *Silva Fennica* 29(2): 95–106.
- , Nygren, M. & Rita, H. 1993. Temperature control of germination in the seed of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 107–117.
- Lilja, A. 2008. Taimipolte. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimituho-opas. 3. uudistettu painos. s. 34.
- & Sutherland, J. 2007. Taudinaiheuttajat siemenillä. *Taimiuutiset* 4/2007. s. 10–12.
- Löytyniemi, K. 1969. Männyn ja kuusen siementen esikäsitellyn vaikutuksesta itämiseen ja taimien alkukehitykseen kasvihuoneolosuhteissa. *Silva Fennica* 3(3): 201–212.
- Mayer, A.M. & Poljakoff-Mayber, A. 1975. The germination of seeds. 2. painos. Pergamon press Ltd. 192 s.
- Metsäpuiden siemenhuoltotyöryhmän muistio. 2004. Työryhmämuistio 2004:12. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 48 + 5 s.
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assesment. *Seed Science and Technology* 27: 177–237.
- Nygren, M. 2003. Metsäpuiden siemenopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 882. 2. painos. 138 s. + 6 liitesivua.
- , Koivula, K. & Leinonen, K. 2006. Metsäpuiden siementen tuonti ja vienti. Julkaisussa: Metsätalostollinen vuosikirja 2006. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2006. Metsäntutkimuslaitos. s. 108.
- Pehap, A. 1987. Is "priming" of seeds an activation of enzymes? Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Arbetsrapporter 15. 27 s.
- Powell, A.A., Yule, L.J., Jing, H.-C., Groot, S.P.C., Bino, R.J. & Pritchard, H.W. 2000. The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany* 51(353): 2031–2043.
- Rautiainen, A. 2002. Stratifioinnin vaikutus kuusen siementen itävyyteen UPM-Kymmene Metsän Joroisten taimitarhalla. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 34 + 8 s.

- Riffle, J.W. & Springfield, H.W. 1968. Hydrogen peroxide increases germination and reduces microflora on seed of several southwestern woody species. *Forest Science* 14: 96–101.
- Rita, H. 2004. Vetosuhde (odds ratio) ei ole todennäköisyysien suhde. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2004. s. 207–212.
- Savonen, E.-M. 1998a. Paakkuihin kylvettyjen kuusen siementen stratifiointi: vaikutus siementen itävyyteen ja itämisenopeuteen. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1998: 5–14.
- 1998b. Siementen stratifiointi muovipussissa. Ehdotus uudeksi stratifiointimenetelmäksi. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). *Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1998*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 696. s. 88–91.
- Tanaka, Y. 1984. Chapter 4. Assuring seed quality for seedling production: Cone collection and seed processing, testing, storage and stratification. Julkaisussa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.). *Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings*. Forest Research Laboratory, Oregon State University. s. 27–39.
- Tillman-Sutela, E., Kauppi, A., Hilli, A. & Kaitera, J. 2004. Fungal injury to seed tissues of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. *Trees* 18: 151–156.

#### 49 viitettä