

Kyösti Konttinen ja Risto Rikala

# Lyhytpäiväkäsittely ulkomaisten havupuiden taimien karaisussa

Konttinen, K. & Rikala, R. 1996. Lyhytpäiväkäsittely ulkomaisten havupuiden taimien karaisussa. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(3): 199–211.

Lyhytpäivä (LP)-käsittelyn käyttöä 1-vuotiaiden ulkomaisten havupuiden taimien karaisemisessa tutkittiin 10 puulajilla: palsamipihdalla (*Abies balsamea* (L.) Mill.), harmaapihdalla (*A. concolor* (Gordon & Glend.) Lindl. ex Hildebr.), lännenpihdalla (*A. lasiocarpa* (Hook.) Nutt.), siperianpihdalla (*A. sibirica* Ledeb.), japaninpihdalla (*A. veitchii* Lindl.), valkokuusella (*Picea glauca* (Moench) Voss), ajaninkuusella (*P. jezoensis* (Sieb. & Zucc.) Carr.), mustakuusella (*P. mariana* (Mill.) B. S. B.), serbiankuusella (*P. omorika* (Pančić) Purk.) ja douglaskuusella (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco). Käsittelyjakson pituus oli kaikilla puulajeilla 3 viikkoa (1. 8.–22. 8.) ja päivänpituus 8 tuntia. Verson kuiva-ainepitoisuutta seurattiin elo–syyskuussa 1–2 viikon välein. Taimien pakkaskestävyys testattiin syyskuun puolivälissä altistamalla taimet kasvatuskaapissa –4, –6, –8, ja –10 °C:n lämpötiloille ja arvioimalla taimien vaurioituminen silmävaraisesti neulasten ruskettumisen ja taimien kasvuunlähdon perusteella. LP-käsittely aikaisti pakkaskestävyyskehitystä puulajista riippuen 1–5 viikkoa ja nosti verson kuiva-ainepitoisuutta kaikilla puulajeilla. Eri puulajien karaistumisaikataulu oli hyvin erilainen. Pihdoista oli siperianpihta karaistunein ja japaninpihta arin syyskuun puolivälissä. Pihtojen LP-taimet, japaninpihtaa lukuunottamatta, kestivät lähes vaurioitta –10 °C. Eroja LP-taimien ja vertailutaimien välille syntyi yleensä vasta –8 ja –10 °C:ssa. Kuusilla LP-taimien ja vertailutaimien välille syntyi eroja jo –4 ja –6 °C:ssa. LP-käsittely paransi eniten ajaninkuusen pakkaskestävyyttä, myös serbiankuusen ja mustakuusen pakkaskestävyys parani merkittävästi vaikka neulasvauriot muodostuivatkin suuriksi. Verson kuiva-ainepitoisuuden kehitys kuvasi taimien karaistumiskehitystä, mutta se ei ennustanut pakkaskestävyyttä kaikilla puulajeilla samalla tavalla.

Asiasanat: kuuset, *Picea*, pihdat, *Abies*, douglaskuusi, *Pseudotsuga*, lyhytpäiväkäsittely, pakkaskestävyys, kuiva-ainepitoisuus, karaistuminen, päivänpituus  
Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, 77600 Suonenjoki. Faksi (017) 513 068, sähköposti kyosti.konttinen@metla.fi  
Hyväksytty 23.9.1996

## 1 Johdanto

Suomessa kasvatetaan koriste- ja metsitystarkoituksiin useita ulkomaisia havupuulajeja. Suomen metsätaitarhoilta metsänviljelyyn luovutettiin 1994 mm. seuraavien ulkomaisten havupuiden taimia: siperianlehtikuusi (*Larix sibirica* Ledeb.) 1 454 000 tainta, kontortamänty (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud.) 357 000 tainta, serbiankuusi (*Picea omorika* (Pancic) Purk.) 11 000 tainta ja mustakuusi (*Picea mariana* (Mill.) B. S. B.) 137 000 tainta (Metsänviljelyyn... 1995). Ulkomaiset puulajit ovat yleensä eteläisempää alkuperää tai peräisin mereisemmältä ilmastoalueelta, mistä osaltaan johtuu, että niiden talveentuminen Suomen olosuhteissa saattaa viivästyä tai epäonnistua. Monet lajit esim. japaninpihta (*Abies veitchii* Lindl.) ja ajaninkuusi (*Picea jezoensis* (Sieb. & Zucc.) Carr.) menestyvät hyvin vain Etelä-Suomessa (Lähde ym. 1984) ja Keski-Suomessakin kestävät lajit mm. serbiankuusi ovat kokemuksen mukaan taimena arempia hallalle kuin kuusi (*Picea abies* (L.) Karst.).

Taimet joutuvat alttiiksi varhaisille syyshalloille jo taitarhalla. Etelä-Suomessa esiintyy syyshalloja keskimäärin joka kolmas vuosi (Solantie 1987). Taimia vaurioittavat erityisesti voimakkaat syyshallat. Monet kestävätkin ulkomaiset puulajit ovat arkoja taitarhavaiheessa. Heikinheimo on jo todennut pakkasen vaurioittaneen mm. douglaskuusen (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco), ajaninkuusen ja harmaapihdan (*Abies concolor* (Gordon. & Glend.) Lindl. ex Hildebr.) taimia Solbölen, Ruotsinkylän ja Punkaharjun taitarhoilla 1920- ja 1930-luvuilla (Heikinheimo 1956). Vuonna 1993 Suonenjoen tutkimusasemalla mitattiin syyskuun puolivälissä maan pinnassa useana yönä  $-5...-8$  °C:n lämpötiloja. Tuolloin mustakuusen ja serbiankuusen kaksivuotiaat paakkutaimet tuhoutuivat täysin ja kolmivuotiaiden douglaskuusen ja serbiankuusen paljasjuuristen taimien neulasista ruskettui yli puolet.

Taimen pituuskasvun päättymiseen ja silmun muodostumiseen sekä edelleen karaistumiskehitykseen vaikuttaa ns. kriittinen yönpituus, joka vaihtelee taimien alkuperän (leveysaste ja korkeus merenpinnasta) mukaan. Pohjoisilla ja korkealla merenpinnasta olevilla alkuperillä silmun muodostumisen käynnistävä yönpituus on lyhempi kuin etelä-

semmillä ja lähellä merenpintaa olevilla alkuperillä (Dormling 1973, Ekberg ym. 1976, Jonsson ym. 1981). Yön pituuden lisäksi myös lämpösummakertymä vaikuttaa taimien kasvun päättymiseen. Yön pituus vaikuttaa pituuskasvun päättymiseen asteittain: mitä pitempi yö, sen pienemmällä lämpösummakertymällä kasvu päättyy (Koski ja Sievänen 1985).

Lyhytpäivä(LP)-käsittelyä on käytetty kuusien (*Picea*) pituuskasvun säätelyyn ja pakkaskestävyyskehityksen jouduttamiseen taimikasvatuksessa Norjassa (Kaasen 1981), Ruotsissa (Rosvall-Ähnebrink 1982), Kanadassa ja USA:ssa (Brissette ym. 1991, Bigras ja D'Aoust 1992). Kokeita on tehty myös männynillä (*Pinus*) (Aronsson 1975, Christersson 1978, Vaartaja 1957, Jonsson ym. 1981, Calme ym. 1993) ja monilla muillakin havupuulajeilla kuten lännenhemlokilla (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) (Grossnickle ym. 1988, 1991), douglaskuusella (Lavender ym. 1972, Tanaka 1974), jättituijalla (*Thuja plicata* Donn ex D. Don) (Grossnickle ym. 1988, Krasowski 1991, Silim ym. 1994), kanadantuijalla (*Thuja occidentalis* L.) (Colombo ja Raitanen 1991), nutkansypressillä (*Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don) Spach) (Arnott ym. 1993, Silim ym. 1994) ja lehtikuusilla (*Larix*) (Robak 1954, 1957, Vaartaja 1957, Colombo ja Raitanen 1993). Pihta-lajeista on tietoja vain palsamipihdasta (*Abies balsamea* (L.) Mill.) (McGuire 1962), saksanpihdasta (*Abies alba* Mill.), jättipihdasta (*Abies grandis* (Dougl. ex D. Don) Lindl.) (Robank 1957) ja *Abies procera* Rehd- ja *Abies magnifica* Murr -lajeista (Tung ja Deyoe 1991).

Suomessa lyhytpäiväkäsittelyä ei ole metsäpuilla laajasti tutkittu. Ensimmäiset LP-kokeet on tehty kuusilla 1991–1992 (Luoranen ym. 1994). Tulokset olivat samansuuntaisia kuin aiemmissa ulkomaisissa tutkimuksissa: lyhytpäiväkäsittelyllä aikaansaatu karaistumisen aikaistuminen vaikutti pituuskasvun päättymisen aikaistumisen lisäksi myös pakkaskestävyyteen syksyllä, talvella ja seuraavana keväänä. Taimikolmio Oy:n Pieksämäen ja Röykän taitarhoilla on LP-käsittelyä käytetty ulkomaisten havupuiden taimien karaisemisessa jo parin vuoden aikana (Esko Koivistoinen, Pieksämäen taitarha, Arja Tervonen, Röykän taitarha 1995, suullinen tieto). Metsähallituksen Nuojuan ja Imarin taitarhoilla on kaikki 1990-luvulla kasvatetut siperianleh-

tikuksen taimet ja osa kuusen taimista karaistu LP-käsittelyllä (Päivi Hänninen, Metsähallitus Rovaniemi 1995, suullinen tieto).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää voidaanko lyhytpäiväkäsittelyllä jouduttaa Suomessa kestäväksi todettujen ulkomaisten havupuiden, kuusien (*Picea*), pihtojen (*Abies*) ja douglaskuusen (*Pseudotsuga*) pakkaskestävyyden kehitystä. Samalla selvitettiin taimien versojen kuiva-ainepitoisuuden käyttökelpoisuutta taimien karaistumiskehityksen seurannassa.

## 2 Tutkimusaineisto ja menetelmät

### Taimimateriaali ja kasvatusolosuhteet

Kasvatuskokeet tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen

Suonenjoen tutkimustaimitarhalla (62°38'N ja 27°04'E ja 142 m mpy). Koe toteutettiin muovihuoneessa ulkomaisten puulajien käytännön mittakaavan kasvatuksessa, jossa oli yhteensä 10 puulajia ja noin 70 000 tainta (800 taimiarkkia) (taulukko 1). Siemen oli kerätty Metsäntutkimuslaitoksen hyvin menestyneiltä viljelmiltä (Lähde ym. 1984). Siemenerat olivat hyvin eri-ikäisiä ja laadultaan vaihtelevia (taulukko 1). Vaikka vanhimmat siemenerat olivat olleet varastossa jo 30 vuotta, niiden itävyys oli kuitenkin 20–50 %. Kotimaisilta viljelmiltä kerättyjen pihtojen siementen itävyydet ovat yleensäkin olleet alhaiset, keskimäärin vain noin 10 % (Konttinen 1994). Huonosta itävyydestä ja siemenen iästä johtui, että niiden itäminen muovihuoneessa oli hidasta ja hyvin eriaikaista.

Taimet kasvatettiin puulajista riippuen neljässä erilaisessa paakkualustassa: PS-808 (300 cm<sup>3</sup>, 221 kpl/m<sup>2</sup>), PS-608 (152 cm<sup>3</sup>, 433 kpl/m<sup>2</sup>), PL-25 (380 cm<sup>3</sup>, 156 kpl/m<sup>2</sup>) ja PL-63F (90 cm<sup>3</sup>, 528 kpl/m<sup>2</sup>).

Taulukko 1. Kokeissa olleiden puulajien siementunnukset, itävyysprosentit (kuuset laboratorioitävyys, pihdat koetaimien kylvöistä laskettu itävyys), lisäyslähde ja tiedossa olleet alkuperät

| Puulaji  | Siementunnus          | Itävyys-% | Lisäyslähde                | Alkuperä  |
|--|-----------------------|-----------|----------------------------|---|
| Palsamipihta<br>( <i>A. balsamea</i> )               | G1-64-467             | 21        | Punkaharju<br>Mv. 292      | Kanada<br>New Brunswick, St. John 46°N                    |
| Harmaapihta<br>( <i>A. concolor</i> )                | G1-89-0355            | 30        | Solböle<br>Mv. 247         | USA<br>Colorado   |
| Lännenpihta<br>( <i>A. lasiocarpa</i> )              | G1-78-172<br>G4-87-21 | 10<br>4   | Punkaharju<br>Mv. 353      | Kanada, Britt.<br>Kolumbia 51°8'N ja 119°7' W, 1800 m mpy |
| Siperianpihta<br>( <i>A. sibirica</i> )              | G4-89-75              | 31        | Punkaharju<br>Mv. 56, 58   | Venäjä  |
| Japaninpihta<br>( <i>A. veitchii</i> )               | G1-83-0021            | 10        | Ruotsinkylä<br>Mv. 367     | Japani<br>Hokkaido  |
| Valkokuusi<br>( <i>P. glauca</i> )                   | G4-83-143             | 56        | Punkaharju<br>Mv. 138      | Kanada, Alberta<br>Lesser Slave Lake                      |
| Ajaninkuusi<br>( <i>P. jezoensis</i> )               | G1-64-459             | 51        | Punkaharju<br>Ka. 29, 76   | Venäjä, Sahalin+<br>Japani, Hokkaido                      |
| Mustakuusi<br>( <i>P. mariana</i> )                  | G4-89-86              | 44        | Punkaharju<br>Mv. 199, 200 | Kanada<br>New Brunswick, John River Walley                |
| Serbiankuusi<br>( <i>P. omorika</i> )                | G4-86-193             | 92        | Punkaharju<br>Mv. 350      | Elimäki Mustila /<br>Bosnia                               |
| Douglaskuusi<br>( <i>Pseudotsuga<br/>menziesii</i> ) | G1-83-0025            | 42        | Ruotsinkylä<br>Mv. 419     | Kanada<br>Britt. Kolumbia<br>Tate Jaune                   |

Kuusien siemenet (3–4 siementä/paakku) kylvetiin 16.5.1994 muovihuoneessa suoraan kasvatuskennoihin. Kylvökset harvennettiin ja täydennettiin 4–5 viikkoa kylvön jälkeen 1 taimi/paakku-asetoon. Pihtojen ja douglaskuusen siemenet kylvettiin 2.5.1994 idätyslaatikoihin, joista sirkkataimet kouluttiin 4–7 viikon kuluttua paakkuihin. Kasvualustana käytettiin vaaleaa, keskikarkeaa, lannoitettua ja kalkittua metsätaimiturvetta (Vapo E). Paakkuarkit olivat sepelin päällä olevalla kasvatuskankaalla (musta UV-suojattu katekangas 95 g/m<sup>2</sup>, Tarha Tuote Oy).

Muovihuoneen lämpötilaa ja kosteutta seurattiin Vaisalan kosteus- ja lämpötila-anturilla (HMP 131 Y). Kastelun tarvetta seurattiin viikottaisella taimiarkkien punnituksella. Kastelua jouduttiin eri paakutyypin ja useiden puulajien vuoksi täydentämään käsikastelulla. Puulajien välillä syntyi kasvu-alustan kosteuseroja. Syyskuussa havaittiin lännenpihdan taimissa juurilahoa, minkä todennäköisesti aiheutti turpeen liika kosteus. Koetaimet olivat muovihuoneessa 28.10. saakka, jolloin ne siirrettiin kylmävarastoon. Muovihuoneessa kasvatuksen aikana kertyi lämpösummaa 2.5. kylvetyille taimille 1793 d.d. ja 16.5. kylvetyille 1633 d.d. Vastaava lämpösomma ulkona (2.5.–21.10.) oli 1173 d.d. Muovihuoneen päivittäinen suhteellinen kosteus touko–elokuussa oli keskimäärin 65 % (vaihteluväli 46–84 %) ja syys–lokakuussa 88 % (vaihteluväli 77–94 %).

Lannoite (Kekkilä Oy:n superex-lannoitteet) annettiin kasteluveden mukana 0,1–0,2 %:n lannoite-liuksena 10 g/m<sup>2</sup> kerta-annoksin. Superex 9-lannoitetta annettiin 23. 6., 29. 6., 5. 7. ja 13. 7. ja superex-7 annettiin 3. 8. Kaikkiaan typpeä annettiin 7,6 g/m<sup>2</sup>, fosforia 3,6 g/m<sup>2</sup> ja kaliumia 10 g/m<sup>2</sup>. Turpeen puristenesteen johtokykyä ja happamuutta seurattiin viikoittain viidestä taimiarkista (1 arkki/puulaji). Johtokyky vaihteli 1,5–2,4 mS/cm ja happamuus pH 3,9–4,6. Taimiarkin pohjasta läpikasvaneet juuret leikattiin douglaskuusella ja muilla kuusilla ensimmäisen kerran heinäkuun lopussa, juuri ennen lyhytpäiväkäsittelyä ja toisen kerran syyskuussa. Pihdoilla tehtiin vain yksi leikkaus syyskuussa. Rikkaruohot kitkettiin, herbisidejä ei käytetty. Kasvukauden päättyessä pihtojen pituudet olivat 3,5–6,5 cm, kuusien 8–13 cm ja douglas-kuusen n. 15 cm.

### *Lyhytpäiväkäsittely*

Lyhytpäiväkäsittelyn (LP) pituus oli kaikilla puulajeilla kolme viikkoa ja se toteutettiin 1. 8.–22. 8. Päivänpituus lyhennettiin kahdeksaan tuntiin arkisin klo 7–15 ja viikonloppuina klo 8–16. Pimennys toteutettiin muovihuoneessa kahden puukehikon (24 m × 5 m × 0,7 m) varaan pingotetulla muovikalvolla, joka rullattiin auki ja suljettiin päivittäin. Muovikalvo oli PE mustavalkeaa muovia josta valkea puoli oli ulospäin (paksuus 0,15 mm, Rani Muovi Oy). Pihdat olivat toisen ja kuuset sekä douglaskuusi toisen kehikon alla. Pimennysvaiheen aikana lämpötilaa muovin alla seurattiin termografilla. Käsittelyn aikana vuorokauden keskilämpötila muovihuoneessa vaihteli 14–24 °C:n välillä niin, että lämpötila laski käsittelyjakson loppua kohti. Vuorokauden keskimääräinen päivä/yö lämpötila käsittelyjakson aikana pimennyskehikon alla oli 21/16 °C. Vuorokauden keskilämpötila pimennyskehikon alla (19 °C) oli n. 1 °C korkeampi kuin ulkopuolella. Päivittäisen pimennyksen alussa klo 16–18 lämpötila pimennysmuovin alla saattoi nousta 2–3 °C korkeammalle kuin sen ulkopuolella. LP-käsittelyn alkaessa 1.8. oli 2.5. kylvetyille taimille kertynyt lämpösomma 1198 d.d. ja 16. 5. kylvetyille 1038 d.d. Vastaavan ajan lämpösomma ulkona (2.5.–1.8.) oli 758 d.d.

### *Kuiva-ainepitoisuuden mittaus*

Karaistumisen kehitystä seurattiin mittaamalla taimien latvakasvaimen kuiva-ainepitoisuutta viikon (serbiankuusi ja douglaskuusi) tai kahden viikon (muut puulajit) välein. Seuranta aloitettiin serbiankuusella ja douglaskuusella jo ennen LP-käsittelyä 27.7., mustakuusella LP-käsittelyn puolivälissä 10.8. ja muilla puulajeilla LP-käsittelyn päätyttyä 24.8. tai viikkoa myöhemmin. Näytteeksi otettiin jokaisen puulajin LP-käsittelystä erästä ja vertailuerästä viisi tainta (yksi taimi/taimiarkki). Poikkeuksen muodosti japaninpihta, jolta vertailutaimet otettiin kaikki samasta arkista. Näytetaimet otettiin aina samaan kellonaikaan (11.30–12.00). Näytetaimien latvasta leikattiin 2 cm:n kappaleet, jotka yhdistettiin puulajeittain ja käsittelyittäin. Näin muodostetut näytteet punnittiin analyysivaa'alla 1 mg:n

tarkkuudella ennen kuivatusta ja kuivatuksen (105 °C, 24 h) ja eksikaattorissa jäädytyksen jälkeen. Taimien kuiva-ainepitoisuus ilmaistiin kuiva- ja tuorepainon suhteena.

### *Pakkastesti*

Taimien pakkaskestävyys testattiin neljässä lämpötilassa neljänä perättäisenä yönä 12–16.9., jolloin taimien kasvatusajan lämpösumma oli 1505 tai 1665 d.d. kylvöajasta riippuen. Vastaava lämpösumma ulkona oli 1095 d.d. Testausta varten arvottiin jokaisesta puulajista 40 LP-käsiteltyä ja 40 vertailutainta (10 tainta/lämpötila) samoista arkeista, joista taimet otettiin kuiva-ainepitoisuuden mittaukseenkin. Testattavat taimet kouluttiin juuri-paakkuineen TA-710 solumuoviseen kennoalustaan juurien pakkasvaurioiden estämiseksi altistumisaikana. Alustassa on 40 kennoa, potin tilavuus on 296 cm<sup>3</sup>. Jokaiseen alustaan kouluttiin kahdesta puulajista 10 LP-käsiteltyä tainta ja 10 vertailutainta satunnaisesti arvottuihin kennoihin. Yhden puulajin taimet kouluttiin neljään eri kennostoon eri testilämpötiloja varten. Käytettyjen testilämpötilojen (−4, −6, −8 ja −10 °C) katsottiin riittävän edustamaan syyskuun puolenvälin hallalämpötiloja. Testit tehtiin kahdessa kasvatuskaapissa (Weiss 1600 sp) neljänä peräkkäisenä yönä. Kaapin lämpötila laskettiin 5 °C tunnissa haluttuun testilämpötilaan, jota pidettiin 3 tuntia ja tämän jälkeen lämpötila nostettiin 5 °C tunnissa kunnes saavutettiin huonelämpötila. Kaapin lämpötilaa seurattiin taimien latvojen tasolta termopariantureilla. Todeutet lämpötilat vastasivat säätölämpötiloja ± 0,5 °C:n tarkkuudella. Testin aikana kaapissa ei ollut valoa. Testin jälkeen taimiarkit siirrettiin kasvihuoneeseen (+15 °C), jossa käytettiin lisävalaistukseen SON-T 400 watin suurpainenaatriumlamppuja (8 h/vrk, 100 μmol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>). Pakkaskäsittelyn taimille aiheuttamat vauriot arvioitiin silmävaraisesti rusketuneiden neulasten osuutena 10 %:n luokissa kahden viikon kuluttua kylmäkäsittelystä. Vihreiden neulasten osuutta kutsutaan myöhemmin neulasten elävyydeksi.

Inventoinnin jälkeen syyskuun lopussa taimet siirrettiin kasvihuoneesta takaisin muovihuoneeseen ja 28.10. taimet laitettiin alustoissaan muovi-

säkkeihin ja siirrettiin talveksi kylmävarastoon (−2 °C, RH 70–90 %). Ennen siirtoa taimet käsiteltiin 18.10. harmaahometta vastaan Benlate-torjunta-aineella (tehoaine Benomyyli 500 g/kg, 0,06 g/m<sup>2</sup>, 0,07 %:n liuos).

Varastosta 13.3.1995 otetut taimet sulatettiin (1 viikko, +5 °C) ja siirrettiin em. kasvihuoneeseen (+20 °C), jossa käytettiin lisävalaistukseen SON-T 400 watin suurpainenaatriumlamppuja (16 h/vrk, 100 μmol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>). Taimien kasvuunlähtö tarkastettiin 11.4. neljän viikon kasvatuksen jälkeen, kun taimissa oli 1–2 cm:n pituiset uudet kasvaimet. Tuolloin taimet luokiteltiin ylimmän kasvuun lähteneen silmun sijainnin mukaan kuuteen luokkaan: taimi kuollut (0), taimi jatkanut kasvua rangan alimman neljänneksen silmusta (1), puolivälin alapuoleisen neljänneksen silmusta (2), puolivälin yläpuoleisen neljänneksen silmusta (3), ylimmän neljänneksen silmusta (4), päätesilmusta (5). Eläviksi taimiksi katsottiin luokat 1–5.

### *Aineiston analysointi*

Puulajit oli sijoitettu omiksi ryhmikseen sekä vertailualueella että LP-käsittelykehikoissa. Kustakin puulajista arvottiin kokeeseen viisi taimiarkkia vertailualueelta ja viisi arkkia LP-käsittelyalueelta. Näistä arkeista arvottiin taimet kuiva-ainepitoisuusmittauksiin ja pakkastesteihin. Pakkastesteissä oli kaikkiaan 800 tainta ja kuiva-ainepitoisuuden seurannoissa 670 tainta. Pakkastestissä kasvukaapissa ja altistuksen jälkeisessä seurantakasvatuksessa LP- ja vertailutaimien paikat arvottiin puulajeittain.

Taimien latvojen kuiva-ainemäärityksistä piirrettiin pitoisuuden kehityksen kuvaajat LP- ja vertailutaimille. Käsittelyjen eroa ei voitu testata tilastollisesti, koska näytteet yhdistettiin punnituksiin käsittelyittäin ja mittaussajankohdittain. LP- ja vertailutaimien neulasten elävyyserot testilämpötiloittain testattiin Mannin-Whitneyn U-testillä, koska prosenttijakaumat olivat voimakkaasti vinoja. Syksyllä altistuksen jälkeen arvioidun neulasten elävyyden ja seuraavana keväänä mitatun taimien ylimmän silmun puhkeamiskorkeuden riippuvuutta kuvattiin sigmoidisella regressiomallilla.

### 3 Tulokset

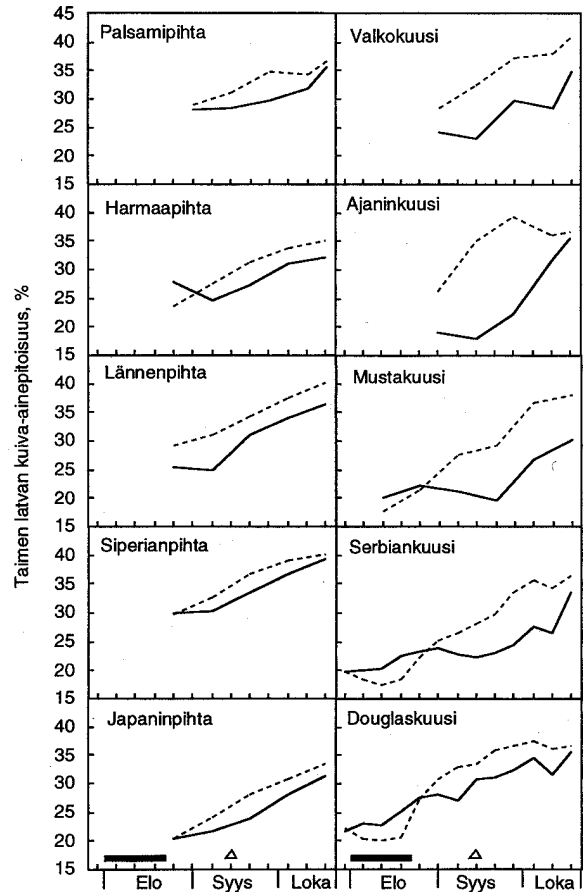
#### Kuiva-ainepitoisuus

LP-käsittelyjen taimien latvojen kuiva-ainepitoisuudet olivat LP-käsittelyn aikana alhaisemmat kuin vertailutaimilla (douglaskuusi, serbiankuusi ja mustakuusi) (kuva 1). Käsittelyjakson päätyttyä LP-käsittelyjen taimien kuiva-ainepitoisuudet nousivat vertailutaimia korkeammiksi kaikilla puulajeilla. Erot olivat suurimmillaan syyskuun lopulla ja lokakuun alussa. Pihdoilla ja douglaskuusella ero oli pienin (3–6 %-yksikköä) ja ajaninkuusella suurin (17 %-yksikköä). Viimeisissä mittauksissa, lokakuun puolivälissä, vertailutaimien kuiva-ainepitoisuus alkoi nousta LP-käsittelyjen taimien tasolle, selvimmän tämä oli havaittavissa ajaninkuusella. Seurantajakson lopussa korkein kuiva-ainepitoisuus (41 %) oli LP-käsittelyillä valkokuusen (*Picea glauca* (Moench) Voss) taimilla ja matalin (30 %) mustakuusen vertailutaimilla.

#### Pakkaskestävyys

Ensimmäiset neulasvauriot olivat havaittavissa heti pakkastestin jälkeen. Taimien pakkaskestävyys vaihteli voimakkaasti puulajeittain testausajankohdasta, syyskuun puolivälissä. Pihtojen vertailutaimista paras pakkaskestävyys oli siperianpihdalla (*Abies sibirica* Ledeb.) ja heikoin japaninpihdalla (kuvat 2 ja 3). LP-käsittely paransi kaikkien puulajien pakkaskestävyyttä. Tosin siperianpihdalla, jolla vertailutaimienkin karaistuminen oli edennyt pitkälle, jäi LP-käsittelyn vaikutus pieneksi. Myös palsamipihtan, harmaapihtan ja lännenpihtan (*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.) LP-käsittelyjen taimien ja vertailutaimien kestävyyserot ilmenivät vasta  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n ja  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötiloissa. Japaninpihdalla sekä LP-käsittelyjen että vertailutaimien pakkaskestävyys oli merkittävästi muita pihtoja huonompi.

Kuusien pakkaskestävyys oli yleensä huonompi kuin pihtojen. Valkokuusta lukuunottamatta kuusien vertailutaimien neulasvauriot olivat jo  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa yli 50 %. LP-käsittely paransi selvästi valkokuusen ja ajaninkuusen pakkaskestävyyttä. Vaikka LP-kä-

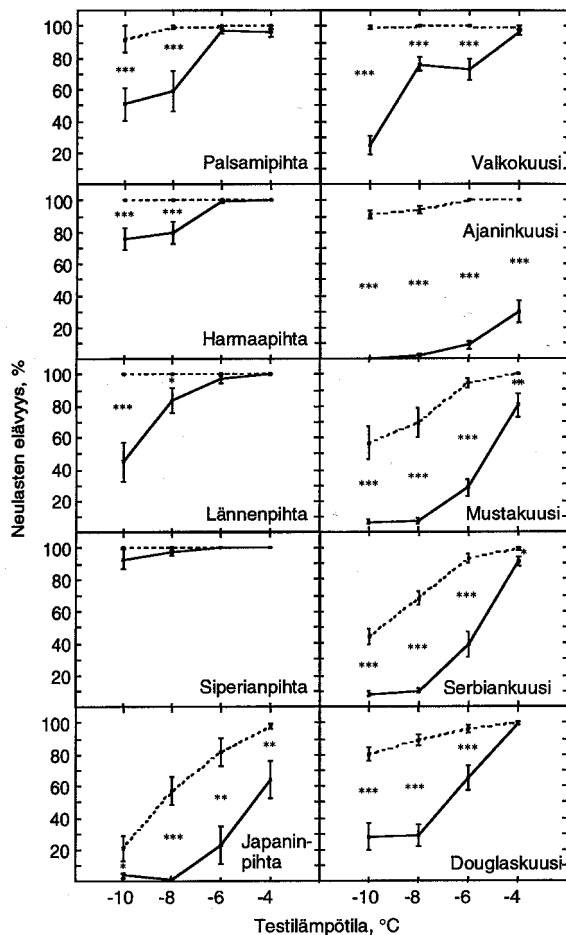


Kuva 1. Verson latvan kuiva-ainepitoisuuden kehitys LP-käsittelyillä taimilla (---) ja vertailutaimilla (—) karaistumisen aikana puulajeittain. Kuvaajat edustavat viiden taimen kuiva-ainepitoisuuden keskiarvoa. Vaakapalkki osoittaa LP-käsittelyn ja kolmio pakkastestin ajankohdan kaikilla puulajeilla.

sittely lisäsi merkittävästi myös mustakuusen ja serbiankuusen pakkaskestävyyttä, silti puolet näiden puulajien käsittelyjen taimien neulasista vaurioitui  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa. Myös douglaskuusen LP-käsittelyt taimet karaistuivat hyvin; neulasvauriot  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa olivat vain 20 %, kun ne vertailutaimilla olivat 70 %.

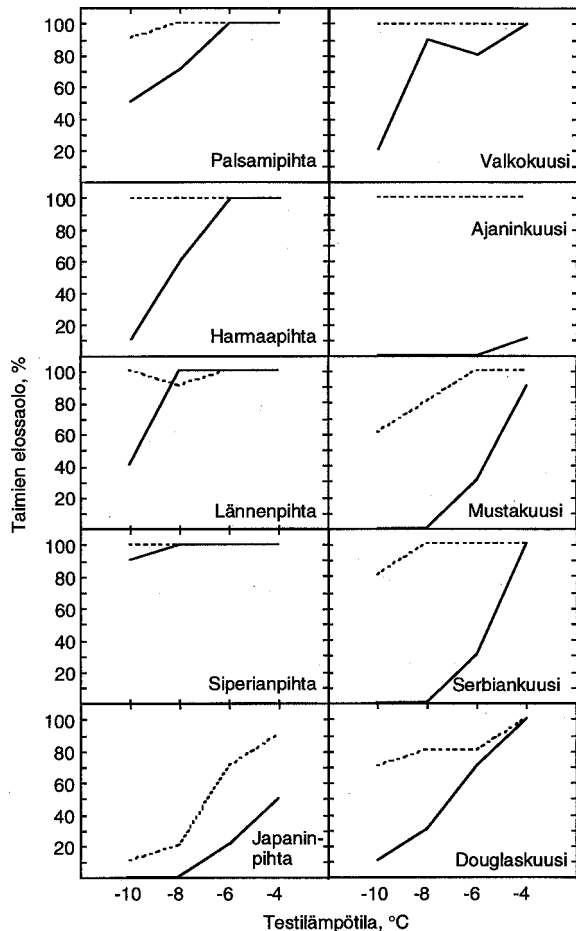
Neulasten vaurioituminen alkoi latvasta. Mitä suurempi osa neulasista vaurioitui pakkas-käsittelyn seurauksena sitä suurempi osa taimista kuoli ja sitä alemmaa elävien taimien versoista puhkesivat silmut kasvuun keväällä talvehtimisen jälkeen. Neu-





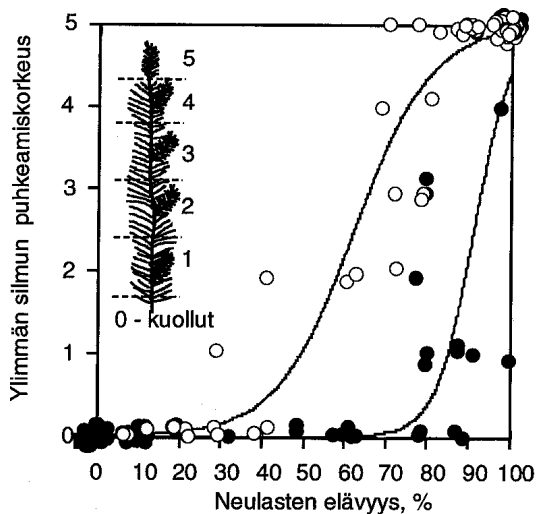
Kuva 2. Neulasten elävyys (vihreiden neulasten osuus) syyskuun puoleessa välissä toteutetussa pakkastestissä altistetuilla vertailutaimilla (—) ja LP-taimilla (---) testilämpötiloittain ja puulajeittain. Pystyjanat kuvaavat 10 havainnon keskiarvon keskivirhettä ja tähdet erojen tilastollista merkittävyyttä (Mannin-Whitneyn U-testi) LP-käsiteltyjen ja vertailutaimien neulasten elävyyden välillä testilämpötiloittain (merkittävyyksien riskitasot: \*—5%, \*\*—1%, \*\*\*—0,1%).

lasvauriot kuvasivat hyvin myös taimien elossaoloa seuraavana keväänä, kun eläväksi taimeksi on laskettu kaikki taimet joihin silmuja on puhjennut. Poikkeuksena olivat harmaapihta, jolla vertailutaimien kuolleisuus oli suurempi kuin neulasvaurioista voisi päätellä ja serbiankuusi, jolla taas LP-taimien kuolleisuus oli neulasvaurioita pienempi (kuvat 2 ja 3). Neulasvaurioiden ja silmun puhkeamisen välisessä riippuvuudessa oli selviä puulajittaisia ero-



Kuva 3. Pakkastestissä altistettujen vertailutaimien (—) ja LP-taimien (---) elossaolo keväällä testilämpötiloittain ja puulajeittain. Eläväksi taimiksi on luettu kaikki taimet, joihin silmuja puhkesi (luokat 1–5, kuva 4).

ja. Selvimmin tämä ero ilmeni japaninpihtan ja valkokuusen välillä (kuva 4). Pihdoilla yleensä neulasvaurioiden ollessa noin 20 % myös päätesilmu ja ylimmät sivusilmut olivat tuhoutuneet. Kuusilla ja douglaskuusella taas päätesilmu ja ylimmät sivusilmut säilyivät vaurioitumattomina vielä neulasvaurioiden ollessa 20 %. Vasta noin 40–50 %:n neulasvauriot valkokuusella merkitsivät myös päätesilmun ja ylimpien sivusilmujen tuhoutumista.



Kuva 4. Vihreiden neulasten osuus ja ylimmäisen puhjenneen silmun sijainnin riippuvuus valkokuusella (○) ja japaninpihdalla (●). Vihreiden neulasten osuus on luokiteltu kaksi viikkoa pakkastestin jälkeen ja ylimmän puhjenneen silmun sijainti pakkastestiä seuraavan kasvukauden alkupuolella. Yksi piste edustaa yhtä tainta ja havainnot sisältävät LP-käsitellyt ja vertailutaimet kaikista testilämpötiloista. Tasoituskurvat on laadittu aineistoon sovitetun sigmoidisen regressiomallin avulla.

## 4 Tulosten tarkastelu

### *LP-käsittelyn vaikutus karaistumiseen eri puulajeilla*

LP-käsittely joudutti verson kuiva-ainepitoisuuden kasvua ja paransi taimien pakkaskestävyyttä kaikilla tutkituilla puulajeilla. LP-käsiteltyjen *mustakuusen* taimien neulasista vaurioitui 45 %  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa (kuva 2). Bigrasin ja D'Aoustin (1992) mukaan 4 kk vanhat mustakuuset (alkuperä Etelä-Quebec) kestivät ( $LT_{50}$ ) kuuden viikon käsittelyjakson lopussa jopa  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kolmen viikon käsittelyn jälkeen kestävyys oli  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $LT_{50}$ ), mikä vastaa tämän tutkimuksen tulosta. Colombo ym. (1981) ovat myös testanneet 4 kk vanhoja mustakuusen ja valkokuusen LP-käsiteltyjä taimia (alkuperä Etelä-Ontario)  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa. Kun käsittely oli kestänyt 6 viikkoa versot eivät vaurioituneet. On huomattava, että näiden kokeiden pakkastetit on tehty myöhemmin syksyllä kuin tässä

työssä. Yksivuotiaat mustakuusen taimet kestävät pakkasta hieman vastaavia kuusentaimia (*P. abies*) paremmin kasvukauden aikana, mutta lepotilassa olevat taimet ovat kuusia arempia pakkaskuivumiselle (Christersson ym. 1987, Christersson ym. 1991). Pakkaskestävyyteen vaikuttaa myös taimien alkuperäero. Dormlingin (1982) mukaan eteläisemmät kuusialkuperät eivät saavuta koskaan samaa kestävyyttä kuin paikallinen alkuperä. Myös Luorasen ym. (1994) tutkimuksessa eteläsuomalaiset kuusialkuperät karaistuivat LP-käsittelyn jälkeenkin hitaammin eivätkä saavuttaneet samaa kestävyyttä kuin kajaanilaiset alkuperät. Tämän hankkeen myöhemmissä kokeissa LP-käsitellyt, Alaskan alkuperää olevat yksivuotiaat mustakuusen taimet kestivät vaurioitta  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa kun taas Albertan alkuperän taimien neulasista vaurioitui 12 % ja vertailutaimissa vastaavasti vauriot olivat alaskalaisilla 34 % ja albertalaisilla 83 % (Konttinen 1996). Myös kuiva-ainepitoisuus kasvoi nopeammin Alaskan kuin Albertan alkuperän taimilla.

*Valkokuusen* LP-käsitellyt taimet kestivät vaurioitta  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (kuva 2). Bigrasin ja D'Aoustin (1992) mukaan 4 kk vanhojen valkokuusen taimien neulas (alkuperä Etelä-Quebec) kestivät kolmen viikon LP-käsittelyjakson päättyessä n.  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $LT_{50}$ ) ja kuuden viikon jakson päättyessä  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $LT_{50}$ ). Nämä tulokset eivät merkittävästi poikkea tämän tutkimuksen tuloksesta ja on huomioitava, että tässä kokeessa pakkastesti tehtiin kolme viikkoa LP-käsittelyn päättymisen jälkeen, jolloin taimien karaistuminen on kehittynyt pitemmälle ja tässä kokeessa ollut Albertan alkuperä on Etelä-Quebecin alkuperää kestävämpi.

*Serbiankuusen* taimet on taimitarhoilla tiedetty ennestään hyvin aroiksi kevät- ja syyslhalloille sekä ankarille talvipakkasille. Tässä kokeessa LP-käsiteltyjen taimien neulasvauriot  $-8$  ja  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötiloissa olivat suuria, vaikka ne olivatkin selvästi vertailutaimia kestävämpiä (kuva 2). LP-käsittelyn vaikutuksesta serbiankuusen pakkaskestävyyteen ei ole tiedossamme ulkomaisia tutkimustuloksia, mutta nyt saatu tulos tukee kotimaisia, käytännön taimikasvatuksessa tehtyjä havaintoja LP-käsittelyn serbiankuusen pakkaskestävyyttä lisäävästä vaikutuksesta.

*Douglaskuusen* paakkutaimien karaisemiseen voidaan käyttää LP-käsittelyä korkeiden alueiden



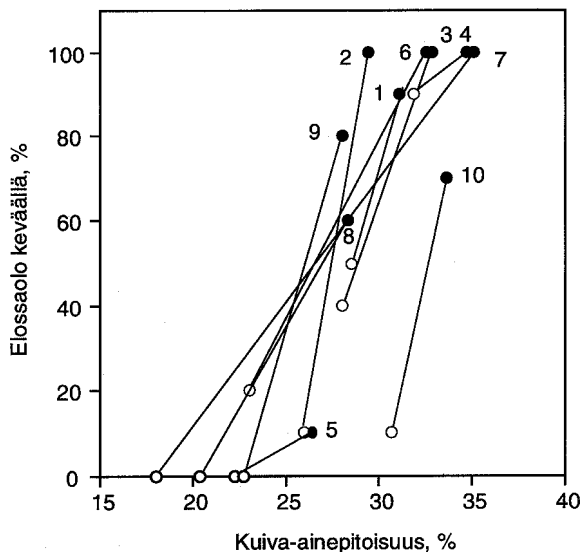
syysistutuksia varten USA:ssa (Tanaka 1974). Tässäkin kokeessa douglaskuusen LP-käsiteltyjen taimien neulasvauriot olivat merkittävästi vähäisemmät kuin vertailutaimilla alle  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötiloissa (kuva 2), vaikka verson kuiva-ainepitoisuusero käsittelyjen välillä oli pienempi kuin muilla kuusilla (kuva 1).

Ajaninkuusi tiedettiin kokemuksen perusteella erityisen hallanaraksi puulajiksi, vaikka tiedossamme ei ollutkaan aikaisempia tutkimustuloksia. Se osoittautuikin kaikista kokeissa olleiden puulajien vertailutaimista arimmaksi, mutta LP-käsittelyssä taimet karaistuivat nopeasti. Verson kuiva-ainepitoisuus oli syyskuun puolivälissä jo 35 % (kuva 1) ja pakkastestin  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa vain 10 % neulasista vaurioitui (kuva 2).

Pihdoilla LP-käsittely nosti verson kuiva-ainepitoisuutta selvästi vähemmän kuin kuusilla (kuva 1). Siperianpihta mantereisen ilmaston puulajina karaistui nopeimmin (kuva 2). Lännenpihta, harmaapihta ja palsamipihta karaistuivat myös hyvin. Japaninpihdan LP-käsitellyillä taimilla oli nyt tutkituista puulajeista suurimmat neulasvauriot  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa. Pihtojen karaisusta LP-käsittelyllä on aikaisempia tutkimustuloksia hyvin vähän. Myöhemmissä kokeissa kolmella muulla itäaasialaisella pihdalla, sahalininpihdalla (*A. sachaliensis* (Fr. Schmidt) Mast.), koreanpihdalla (*A. koreana* Wils.) ja ohotanpihdalla (*A. neprolepis* Maxim) saadut tulokset eivät poikkea merkittävästi japaninpihdasta (Kontinen 1996). Näillä pihdoilla LP-käsittely paransi pakkasenkestävyyttä vain 0 %, 9 % ja 14 % yksikköä vertailutaimiin nähden ja LP-käsiteltyjen taimien neulasvauriot  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa olivat 68 %, 73 % ja 66 %. LP-käsittely nosti latvan kuiva-ainepitoisuutta vain 2–6 %. Tämän kokeen perusteella varsinkin arkojen pihtojen karaistumisen säätely LP-käsittelyllä on vaikeampaa kuin arkojen kuusien.

#### Kuiva-ainepitoisuus ja pakkaskestävyys

Taimien verson kuiva-ainepitoisuuden tiedetään kasvavan karaistumisen aikana (esim. Rosvall-Åhnebrink 1977, Colombo 1990). LP-käsittelyn on todettu usealla puulajilla nopeuttavan verson kuiva-ainepitoisuuden kasvua karaistumisvaiheessa (Calme ym. 1993, Luoranen 1993). Myös tässä



Kuva 5. Taimien elossaolon (kevällä) riippuvuus latvojen kuiva-ainepitoisuudesta syyskuun puolivälissä. Aineisto käsittää pakkastestissä ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) altistetut taimet puulajeittain ja käsitellyittäin. Puulajit: 1 = palsamipihta, 2 = harmaapihta, 3 = lännenpihta, 4 = siperianpihta, 5 = japaninpihta, 6 = valkokuusi, 7 = ajaninkuusi, 8 = mustakuusi, 9 = serbiankuusi, 10 = douglaskuusi. Saman puulajin LP-käsitellyt taimet (●) ja vertailutaimet (○) yhdistetty viivalla.

tutkimuksessa LP-käsittely lisäsi kuiva-ainepitoisuutta vertailutaimiin nähden kaikilla puulajeilla. Kuiva-ainepitoisuuden ja taimien elossaolon keskinäistä riippuvuutta tarkasteltiin koko aineistosta syyskuun puolivälin testin  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n altistumisen perusteella (kuva 5). 1 %-yksikön lisäys puulajikäsittely-yhdistelmän taimien kuiva-ainepitoisuudessa vastasi keskimäärin 7 %-yksikön parannusta taimien elossaoloon. Puulajien ja käsittelyjen aiheuttama vaihtelu oli kuitenkin suuri. Kuiva-ainepitoisuus ei siis kaikilla puulajeilla ennustanut samalla tavalla taimien pakkaskestävyyttä. Jotta kuiva-ainepitoisuutta voitaisiin käyttää luotettavana pakkaskestävyyden indikaattorina olisi niiden keskinäinen riippuvuus selvitettävä erikseen kullekin puulajille ja mahdollisesti myös eri alkuperille. Sen sijaan kuiva-ainepitoisuusmittausten avulla voidaan seurata taimien karaistumisen kehitystä kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu (Toivonen ym. 1989, Calme ym. 1993, Luoranen 1993).

Taimien voidaan katsoa karaistuneen, kun ne kestävät syyskuun hallat ja ovat kylmävarastointikelpoisia. Karaistuneen taimen raja-arvona on pidetty 30–32 %:n kuiva-ainepitoisuutta (Rosvall-Åhnebrink 1977, Calme ym. 1993), mikä tässä tutkimuksessa vastasi keskimäärin 50 %:n neulasvaurioita  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa. LP-käsittelystä huolimatta eri puulajien taimet karaistuivat hyvin eriaikaisesti. Mainitun 30 %:n raja-arvon mukaan siperianpihdan LP-käsitellyt taimet ja vertailutaimet olivat karaistuneita jo elokuun lopussa kun taas japaninpihdan LP-käsitellyt taimet viimeisenä vasta lokakuun alussa ja vertailutaimet noin kaksi viikkoa myöhemmin. Douglaskuusen LP-käsitellyt taimet saavuttivat 30 %:n kuiva-ainepitoisuuden elokuun lopussa, mutta serbiankuusen- ja mustakuusen LP-käsitellyt taimet vasta syyskuun 20. päivän jälkeen. Vertailutaimet saavuttivat vastaavan kuiva-ainepitoisuuden douglaskuusella kaksi viikkoa ja muilla kuusilla 3–5 viikkoa LP-käsiteltyjä taimia myöhemmin. Jos arkojen puulajien LP-käsittely tehdään aikaisemmin, niiden karaistumisen kehitys saattaa vastaavasti aikaistua. D’Aoust (1981) on osoittanut, että jo viisivuorokkoiset mustakuusen taimet reagoivat päivänpituuden muutoksiin. Luorinen ym. (1994) suosittelevat huhtikuussa kylvettyjen kuusentaimien LP-käsittelyn aloittamista heinäkuun puolivälissä.

Tässä tutkimuksessa pakkasvauriot arvioitiin sekä ruskettuneiden neulasten osuuden perusteella, niin kuin se yleensä käytännön taimikasvatuksessakin joudutaan tekemään, että myös kasvuun lähteneiden silmujen sijainnin perusteella seuraavana keväänä. Neulasvaurioihin perustuvan arvioinnin luotettavuutta näyttää heikentävän se, että neulasten vaurioitumisasteen ja silmujen tuhoutumisen välinen riippuvuus vaihteli puulajeittain. Pihdoilla jo pienet neulasvauriot merkitsivät päätesilmun ja ylimpien sivusilmujen tuhoutumista. Selvimmin tämä näkyi harmaapihdan vertailutaimilla (kuvat 2 ja 3), joista huolimatta vain n. 20 %:n neulasvaurioista kuoli myöhemmin 90 %. Kuusilla (mm. valkokuusi) vasta 40–50 %:n neulasvauriot merkitsivät ylimpien silmujen tuhoutumista (kuva 4). On mahdollista, että myös taimien pituus vaikutti tähän tulokseen koska pihdat olivat huomattavasti kuusia lyhempiä. Colombon ym. (1995) mukaan taimien rangan pakkaskestävyys yleensä heikke-

nee asteittain latvasta juuriston kärkeen siirryttäessä. Tässä tutkimuksessa taas silmut vaurioituivat latvasta käsin sitä voimakkaammin mitä suuremmat olivat neulasvauriot.

#### *Päivänpituus, käsittelyjakson pituus ja -lämpötila*

Vuorokautinen valojakson pituus vaikuttaa karaistumiskehitykseen. Yleisimmin, kuten tässäkin tutkimuksessa, on käytetty 8 tunnin päivänpituutta. Bigras ja D’Aoustin (1993) mukaan se antaa mm. valkokuusella paremman tuloksen (kahden viikon käsittelyajalla) kuin pitemmät 10 tai 12 tunnin päivänpituudet. Toisaalta neljän tunnin päivänpituus on antanut douglaskuusella parhaan tuloksen, kun on käytetty keinovaloa (Timmis ja Worrall 1975). Käytännön taimituotannossa on käytetty 8 tunnin päivänpituutta ja noin kolmen viikon pimennysjaksoa.

Tulokset pimennysjakson aikaisen lämpötilan vaikutuksesta karaistumiseen ovat jonkin verran ristiriitaisia. Korkean lämpötilan on todettu LP-käsittelyn aikana edistävän karaistumisen kehittymistä: Dormling ja Lundkvist (1983) suosittelevat  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n päivälämpötilaa. Kuitenkin Odlumin ym. (1993) mukaan mustakuusi karaistuu vain hieman paremmin  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa kuin  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa, 4 viikon käsittelyaikana. Myös yölämpötilan pitäisi olla riittävän korkea,  $+10\text{...}+24\text{ }^{\circ}\text{C}$  Odlumin ja Colombon (1989) mukaan. Käytettäessä pitkää kuuden viikon pimennysjaksoa on kuitenkin käytetty matalaa  $+10/5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n (päivä/yö) lämpötilaa (Bigras ja D’Aoust 1992). Tässä kokeessa käsittelyjakson vuorokautinen keskilämpötila oli  $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $21/16\text{ }^{\circ}\text{C}$  päivä/yö). Pimennyskankaita ja tekniikkaa valittaessa on muistettava kuitenkin, että liian korkea lämpötila kiihdyttää taimien hengitystä. Jos vuorokautinen pimennys aloitetaan aikaisin iltapäivällä voi lämpötila hellejakson sattuessa nousta pimennysverhon alla huomattavasti yli  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een.

#### *LP-käsittelyn käyttökelpoisuus ulkomaisten havupuiden karaisemisessa*

LP-käsittely aikaisti kaikkien puulajien pakkaskestävyyden kehitystä ja lisäsi kuiva-ainepitoisuutta,

mutta puulajien välillä oli suuria eroja ja myös lajien sisäinen vaihtelu voi olla laaja (Dormling 1982, Luoranen ym. 1994, Konttinen 1996). Karaistuminen aikaistui puulajista riippuen 1–5 viikkoa. Kuusilla LP-käsittelystä oli suurempi hyöty kuin pihdoilla, jotka ilman käsittelyäkin olivat syyskuun puolivälissä melko karaistuneita. LP-käsittelyä voidaan suosittelua kuitenkin myös pihtojen karaisussa. Hallanaroilla puulajeilla viikkoa tai kahda aikaisempi käsittelyajankohta saattaisi antaa paremman kestävyuden syyskuun alkupuolen halloja ajatellen. Pihtojen karaisemisesta LP-käsittelyllä tarvitaan lisäkokeita, koska etenkin aremmat pihdat näyttävät reagoivan kuusista poikkeavalla tavalla. Latvan kuiva-ainepitoisuus ei ennustanut kaikilla puulajeilla samalla tavalla taimien pakkaskestävyyttä, mikä heikentää tunnuksen käyttökelpoisuutta yleispätevänä pakkaskestävyyden indikaattorina.

## Kiitokset

Tutkimus toteutettiin Suonenjoen tutkimustaimitarhalla tutkimushankkeessa ”Ulkomaisten puulajien ja erikoispuiden kasvatusta (3018)”. Arja Tervonen ja Esko Koivistoinen Taimikolmio Oy:n taimitarhoilta ja Päivi Hänninen Metsähallituksen taimitarhoilta antoivat tietoja lyhytpäiväkäsittelyn käytöstä ulkomaisten havupuiden taimien kasvatuksessa ja Jaana Luoranen luki käsikirjoituksen. Kaikille tutkimuksen eri vaiheissa avustaneille henkilöille esitämmme parhaat kiitokset.

## Kirjallisuus

Arnott, J.T. Grossnickle, S.C., Puttonen, P., Mitchell, A.K. & Folk, R.S. 1993. Influence of nursery culture on growth, cold hardiness, and drought resistance of yellow cypress. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 2537–2547.

Aronsson, A. 1975. Influence of photo and thermoperiod on the initial stages of frost hardening and dehardening of phytotron-grown seedlings of Scots pine

(*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Studia Forestalia Suecica* 128. 20 s.

Bigras, F.J. & D’Aoust, A.L. 1992. Hardening and dehardening of shoots and roots of containerized black spruce and white spruce seedlings under short and long days. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 388–396.

— & D’Aoust, A.L. 1993. Influence of photoperiod on shoot and root frost tolerance and bud phenology of white spruce seedlings (*Picea glauca*). *Canadian Journal of Forest Research* 23: 219–228.

Brissette, J.C., Barnett, J.P. & Landis, T.D. 1991. Container seedlings. Julkaisussa: Duryea, M.L. & Dougherty, P.M. (toim.). *Forest regeneration manual*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. s. 117–141.

Calme, S. Margolis, H.A. & Bigras, F.J. 1993. Influence of cultural practices on the relationship between frost tolerance and water content of containerized black spruce, white spruce and jack pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 503–511.

Christersson, L. 1978. The influence of photoperiod and the development of frost hardiness in seedlings of *Pinus silvestris* and *Picea abies*. *Physiologia Plantarum* 44: 288–294.

—, von Fircks, H. & Sihe, Y. 1987. Damage to conifer seedlings by summer frost and winter drought. Julkaisussa: Li, P.H. (toim.). *Plant cold hardiness*. Alan R. Liss Inc, New York, USA. s. 203–210.

— & von Fircks, H. 1991. Frost and winter desiccation as stress factors. Julkaisussa: Donnelly, F.P. & Lusenburger, H.W. (toim.). *Proceedings of the 1991 Forest Nursery Association of British Columbia Meeting*. s. 3–8.

Colombo, S.J. 1990. Bud dormancy status, frost hardiness, shoot moisture content, and readiness of black spruce container seedling for frozen storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115(2): 302–307.

— & Raitanen, E.M. 1991. Frost hardening in white cedar container seedlings exposed to intermitted short days and cold temperatures. *Forestry Chronicle* 67(5): 542–544.

— & Raitanen, E.M. 1993. Frost hardening in first year eastern larch (*Larix laricina*) container seedlings. *New Forests* 7(1): 55–61.

—, Webb, D.B. & Glerum, C. 1981. Cold hardiness and bud development under short days in black spruce and white spruce seedlings. Julkaisussa: Scarratt, J.B., Glerum, C. & Plexman, C.A. (toim.). *Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium, Toronto, Ontario*. s. 171–176.

—, Zhao, S. & Blumwald, E. 1995. Frost hardiness gra-

- dients in shoots and roots of *Picea mariana* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10(1): 32–36.
- D'Aoust, A.L. 1981. The induction of dormancy by short day treatment of container grown black spruce seedlings. *Rapport d'Information Centre de Recherches Forestières des Laurentides, Canada, No. LAU X 47*. 16 s.
- Dormling, I. 1973. Photoperiod control of growth and growth cessation in Norway spruce seedlings. IUFRO, Division 2, Working party 2.01.4. Growth Process Symposium on Dormancy in Trees, Kornik, Poland, September 5–9, 1973. 16 s.
- 1982. Frost resistance during bud flushing and shoot elongation in *Picea abies*. *Silva Fennica* 16: 167–177.
- & Lundkvist, K. 1983. Vad bestämmer skogsplantors tillväxt och hårdighet i plantskolan? *Skogsfakta, Biologi och skogsskötsel* 8: 1–6.
- Ekberg, I., Dormling, I. & Eriksson, G. 1976. Inheritance of the photoperiodic response in forest trees. *Julkaisussa: Cannell, M.G.R. & Last, F.T. (toim.). Tree physiology and yield improvement. Academic Press, London. s. 173–220.*
- Grossnickle, S.C., Arnott, J.T. & Major, J.E. 1988. A stock quality assessment procedure for characterizing nursery grown seedlings. *USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM 167: 77–88.*
- , Arnott, T.J., Major, J.E. & Tschaplinski, T.J. 1991. Influence of dormancy induction treatments on western hemlock seedlings. *Seedling development and stock quality assessment. Canadian Journal of Forest Research* 21(2): 164–174.
- Heikinheimo, O. 1956. Tuloksia ulkomaisten puulajien viljelystä Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45 (3). 129 s.
- Jonsson, A., Eriksson, G., Dormling, I. & Ifver, J. 1981. Studies on frost hardiness of *Pinus contorta* Dougl. seedlings grown in climate chambers. *Studia Forestalia Suecica* 157. 47 s.
- Kaasen, N. O. 1981. *Daglengderegulering og planteskoldeforskning. Norsk skogbruk* 27(4): 33–35.
- Koski, V. & Sievänen, R. 1985. Timing of growth cessation in relation to the variations in the growing season. *Julkaisussa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.). Crop physiology of forest trees. Helsinki University Press, Helsinki. s. 167–193.*
- Kontinen, K. 1994. Havaintoja ulkomaisten havupuiden siementen itävyydestä. *Sorbifolia* 25(3): 109–112.
- 1996. Ulkomaisten taimien karaiseminen lyhytpäiväksittelyllä. *Puutarha* 99(4): 202–203.
- Krasowski, M.J. & Owens, J.N. 1991. Growth and morphology of western red cedar seedlings as affected by photoperiod and moisture stress. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 340–352.
- Lavender, D. P. & Wareing, P. F. 1972. Effects of daylight and chilling on the responses of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) seedlings to root damage and storage. *New Phytologist* 71(6): 1055–1067.
- Luoranen, J. 1993. Lyhytpäiväksittelyn käyttö kuusen paakkutaimien kasvatuksessa. *Helsingin yliopisto, metsänhoitotiede. Pro gradu-tutkielma*. 67 s.
- , Puttonen P. & Rikala, R. 1994. Lyhytpäiväksittely kuusen paakkutaimien kasvatuksessa. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1: 51–67.
- Lähde, E., Werren, M., Etholen, K. & Silander, V. 1984. Ulkomaisten havupuiden varttuneista viljelmistä Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 125. 87 s.
- McGuire, J.J. & Flint, H.L. 1962. Effects of temperature and light on frost hardiness of conifers. *Proc. American Society for Horticultural Science*. 80: 630–635.
- Metsänviljelyyn luovutetut ”muut puulajit”. 1995. *Maa- ja metsätalousministeriö, metsäpolitiikan osasto 28.2.1995. Konekirjoite*. 1 s.
- Odlum, K.D., Blake, T.J., Kim, Y.T. & Glerum, C. 1993. Influence of photoperiod and temperature on frost hardiness and free amino acid concentrations in black spruce seedlings. *Tree Physiology* 13(3): 275–282.
- & Colombo, S.J. 1989. The influence of night temperature under declining photoperiod on bud initiation in black spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*. 19 (2): 274–275.
- Robak, H. 1954. The reasons for poor winter survival of *Larix leptolepis* in nurseries on coast. *Årsskrift for Norske Skogplanteskoler* 1953: 34–40.
- 1957. The relation between day length and the end of the annual growth period in some conifers of interest to Norwegian forestry. *Wedd. Vestland. forstl. Forsakssta*. 31. 62 s.
- Rosvall-Åhnebrink, G. 1977. *Artificiell invintring av skogsplantor i plastväxthus. Summary: Artificial hardening of spruce and pine seedlings in plastic greenhouses. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsförnyring, Interna rapporter* 14: 153–161.
- 1982. Practical application of dormancy induction techniques to greenhouse-grown conifers in Sweden. *Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium, September 14–16, 1981, Toronto, Ontario. s. 163–170.*
- Silim, S.N. & Lavender, D.P. 1994. Seasonal patterns

- and environmental regulation of frost hardiness in shoots of seedlings of *Thuja plicata*, *Chamaecyparis nootkatensis* and *Picea glauca*. *Canadian Journal of Botany* 72(3): 309–316.
- Solantie, R. 1987. Hallojen loppuminen keväällä ja alkaminen syksyllä. Ilmatieteen laitos, Meteorologisia julkaisuja 6. 60 s.
- Tanaka, Y. 1974. Increased cold hardiness of container grown Douglas fir seedlings. *Journal of Forestry* 72 (6): 349–352.
- Timmis, R. & Worrall, J. 1975. Environmental control of cold acclimation in Douglas fir during germination, active growth and rest. *Canadian Journal of Forest Research* 5: 464–477.
- Toivonen, A., Rikala, R., Repo, T. & Smolander H. 1989. Autumn colouration of first year *Pinus sylvestris* seedlings during frost hardening. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6(1): 31–39.
- Tung, C-H. & Deyoe, D.R. 1991. Dormancy induction in container-grown *Abies* seedlings: Effects of environmental cues and seedling age. *New Forests* 5 (1): 13–22.
- Vaartaja, O. 1957. Photoperiodic responses in seedlings of northern tree species. *Canadian Journal of Botany* 35: 133–138.

47 viitettä