2012



Metsäpuiden paakkutaimien kasvatusopas

Risto Rikala

METLA

Metsäpuiden paakkutaimien kasvatusopas

Risto Rikala

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto
Jokiniemenkuja 3 B
PL 18, 01301 VANTAA

Rikala, R. 2012. Metsäpuiden paakkutaimien kasvatusopas

Julkaisija:	*Metsäntutkimuslaitos*
Hyväksynyt:	*professori Leena Finer 13.1.2012*
Ulkoasu ja taitto:	*Anne Siika ja Sari Elomaa*
Valokuvat:	*Erkki Oksanen, Metla (EO) ja Risto Rikala, ellei toisin mainita*
Tilaukset ja myynti:	*Metsäkustannus Oy (yksittäiskappaleet)* *Puh. 02077 29136* *www.metsakustannus.fi/kauppa* *Metla, Suonenjoen yksikkö (yli 10 kpl:een erät)* *Juntintie 154* *77600 Suonenjoki*

ISBN 978-951-40-2359-0

Kirjapaino: *Vammalan Kirjapaino 2012*

Alkusanat

Suomessa metsäpuiden taimien kasvatuksella ja tutkimuksella on kunniakkaat perinteet [460]. Taimien kasvatusmenetelmien tutkimus ja myös opastus käynnistyivät, kun Punkaharjulle v. 1924 perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen koetaimitarha. Prof. Olli Heikinheimo julkaisi 1930-luvulla Punkaharjulla toteutettujen kokeiden pohjalta kattavan tutkimuksen paljasjuuristen taimien kasvatuksesta [112]. Vuonna 1930 ilmestyi ensimmäinen opas [3] ja taimitarhatoiminnan vilkastuttua 1950-luvulla Keskusmetsäseura Tapio järjesti kursseja taimenkasvattajille [459]. Perusteellinen paljasjuuritaimikasvatuksen käsikirja "Lehto-Simonlinna: Metsäpuiden taimien kasvattaminen" ilmestyi v. 1966 [242].

4-H kerholaisille suunnatun oppaan ja "Nieminen-Tavaila: Metsäpuiden taimien kasvatus" -kirjan [310] ilmestymisen (1987) jälkeen on uudempia tutkimustuloksia koottu suomenkielellä yhteen vain suppeampien aihealueiden osalta. Sen sijaan englanninkielellä ilmestyi vuosina 1989–2010 erinomainen Tom Landiksen toimittama ja pääosin kirjoittama paakkutaimien kasvatusta käsittelevä 7-osainen kirjasarja "The Container Tree Nursery Manual", joka on luettavissa netistäkin (http://www.rngr.net/publications/ctnm).

Käsillä oleva opas sisältää metsäpuiden paakkutaimien kasvatuksen biologiset perusteet ja kasvatuskäytännöt. Taimituholaiset ja niiden torjunta on pääosin jätetty oppaan ulkopuolelle, koska aiheesta on julkaistu perusteellisia kirjoja [216, 333]. Myöskään taimitarhateknologiaa tai -taloutta ei ole sisällytetty tähän oppaaseen. Kirja perustuu vuosien aikana pitämiini kursseihin ja -luentoihin, joissa olen nojautunut erityisesti suomalaiseen ja skandinaaviseen tutkimukseen. Niiden puuttuessa olen soveltuvin osin hyödyntänyt lähinnä pohjoisamerikkalaista tutkimustietoa.

Heikki Smolander suostutteli ja Metla tarjosi työn puitteissa mahdollisuuden oppaan kirjoittamiseen. Taimitutkimuksen parissa toimineet työtoverini ovat vuosien varrella monin eri tavoin vaikuttaneet tämän oppaan syntyyn. Myöskään ilman taimituottajien mielenkiintoa tätä opasta ei olisi kirjoitettu. He ovat vuosien varrella esittäneet hyviä kysymyksiä ja opastaneet käytännön ongelmiin. Taimitutkimuksen kannustavimpia piirteitä onkin se, että tutkimustuloksille on kysyntää ja ne voidaan siirtää nopeasti käytäntöön – joskus ehkä liiankin nopeasti. Opasta kirjoittaessani olen saanut virikkeitä ja hyviä kommentteja Leena Finériltä, Juha Heiskaselta, Kari Leinoselta, Jaana Luoraselta, Marja Poterilta, Seppo Ruotsalaiselta ja Heikki Smolanderilta. Kiitän lämpimästi kaikkia niin taimitutkimuksen kuin taimituotannon parissa toimineita antoisasta ja miellyttävästä yhteistyöstä.

Suonenjoella, tammikuussa 2012

Risto Rikala

Sisällys

Alkusanat ... 3

1 Johdanto ... 7

2 Viljelyaineisto ja taimien kehitys ... 11

2.1 Viljelyaineisto ... 11
2.2 Taimien kehitys ... 14
2.2.1 Itäminen ja orastuminen ... 14
2.2.2 Ensimmäisen ja toisen vuoden pituuskasvu kuusella ja männyllä ... 15
2.3 Vuosirytmi ... 19
2.3.1 Kasvurytmi ... 20
2.3.2 Karaistuminen ... 23
2.3.3 Suveentuminen ja kasvuunlähtö ... 26
2.3.4 Juurten pakkaskestävyys ... 27
2.4 Kasvatusvaiheet taimitarhalla ... 28

3 Paakut ja kasvatusalusta ... 30

3.1 Paakut ... 30
3.1.1 Kasvatustiheys ja paakun tilavuus ... 31
3.1.2 Paakun muoto, rakenne ja materiaali ... 33
3.1.3 Kemiallinen juurtenleikkaus ... 35
3.1.4 Paakun puhdistettavuus ... 35
3.2 Paakun vaikutus taimien menestymiseen istutuksen jälkeen ... 35
3.3 Kasvatusalusta ... 36

4 Kasvualusta ... 38

4.1 Kasvualustan tehtävät ... 38
4.2 Erot paakun ja rajoittamattoman kasvatuspenkin välillä ... 38
4.3 Huokoskokojakauma ja siihen vaikuttavat tekijät ... 39
4.4 Kasvualustan rakenteen pysyvyys ... 40
4.5 Ravinteiden pidätyskyky ... 41
4.6 Hygienia ... 42
4.7 Turve kasvualustana ... 42
4.8 Muut kasvualustat ja seosaineet ... 45
4.9 Kasvualustan valinta ... 50

5 Olosuhteiden säätö ... 51

5.1 Lämpötila ... 51
5.1.1 Lämpötilan vaikutus taimien elintoimintoihin ja kasvuun ... 51
5.1.2 Optimilämpötila eri kasvatusvaiheissa ... 54
5.1.3 Lämpötilan mittaus ... 56
5.2 Kosteus ... 57
5.2.1 Kosteuden tunnusluvut ja mittaus ... 57
5.2.2 Kosteus kasvutekijänä ... 59

5.2.3 Optimikosteus eri kasvatusvaiheissa ... 60
5.3 Valo ... 62
5.3.1 Ominaisuudet, mittaus ja säteily Suomessa ... 62
5.3.2 Taimien valontarve ... 63
5.3.3 Valon vaikutus kasvin rakenteeseen ... 65
5.3.4 Häirintävalo ... 67
5.3.5 Lyhytpäiväkäsittely (LP) ... 70
5.3.6 Varjostus ... 85
5.3.7 Optimivalaistus eri kasvuvaiheissa ... 86
5.4 Hiilidioksidi ... 88
5.4.1 Vaikutus taimien elintoimintoihin ja kasvuun ... 88
5.4.2 CO_2-säätely eri kasvatusvaiheissa ... 91
6 Kastelu ... 92
6.1 Veden merkitys, otto ja haihdunta ... 92
6.2 Veden saatavuus paakussa ... 93
6.3 Kastelutarpeen määritys ... 96
6.3.1 Haihdunta ... 96
6.3.2 Taimiarkin paino ... 96
6.3.3 Suoraan kasvualustasta mittaavat mittarit ... 98
6.4 Kasteluveden määrä, laatu ja lämpötila ... 99
6.5 Hallakastelu ja sumukastelu ... 103
6.6 Kastelujärjestelmät ja niiden testaaminen ... 103
6.7 Kastelu kasvatuksen eri vaiheissa ... 106
7 Lannoitus ... 110
7.1 Ravinteet: otto, vaikutukset ja puutosoireet ... 110
7.1.1 Kasviravinteet, niiden saatavuus ja otto ... 110
7.1.2 Ravinteiden vaikutus taimien kasvuun ja karaistumiseen ... 111
7.1.3 Puutosoireet ... 115
7.1.4 Kasvualustan happamuus ... 117
7.1.5 Mykorritsat ... 119
7.2 Lannoitteet ... 122
7.2.1 Termejä ... 122
7.2.2 Liuoslannoitus ... 124
7.2.3 Tarpeen mukainen (kasvuun suhteutettu) lannoitus ... 129
7.2.4 Ravinnetankkaus ... 129
7.2.5 Hallitusti liukenevat ja hidasliukoiset lannoitteet ... 131
7.2.6 Lehtilannoitus ... 132
7.3 Lannoitustarpeen määrittäminen ... 133
7.3.1 Taimien ravinnetarve ... 133
7.3.2 Kasvualustan johtokyky ... 134
7.3.3 Kasvualustan ravinnepitoisuus ... 137
7.3.4 Taimien ravinnepitoisuus ... 137
7.4 Lannoitus kasvatuksen eri vaiheissa ... 141

8 Muut tekijät ... 143
8.1 Kasvunsääteet ... 143
8.2 Mekaaninen taivuttelu ... 144
8.3 Haihduntaa vähentävät aineet (antitranspirantit) ... 145
9 Suunnittelu ja kasvatustoimenpiteet ... 146
9.1 Suunnittelu ja kasvatusaikataulu ... 146
9.2 Taimikasvatuksen käytännön toimet ... 147
9.2.1 Paakkujen täyttö ja kasvualustan tiiviys ... 147
9.2.2 Siemenen esikäsittely ... 148
9.2.3 Kylvö ja peitto ... 150
9.2.4 Kylvöksen harvennus- ja täydennys ... 151
9.2.5 Koivun suorakylvö ja priklaus ... 152
9.2.6 Paakku-paakkuun koulinta ... 152
9.2.7 Hallat ja hallantorjunta ... 156
9.3 Esimerkkejä päätaimilajien kasvatusrutiineista ... 161
10 Taimien inventointi, lajittelu, pakkaus ja varastointi ... 169
10.1 Taimien inventointi ... 169
10.2 Taimien lajittelu ... 172
10.3 Taimien irrotus ja pakkaus ... 179
10.4 Varastointi ... 180
10.4.1 Avomaavarastointi ... 181
10.4.2 Jäähdytetyt varastot ... 183
10.4.3 Karaistuneisuuden mittaus ja varastointivalmiuden määrittäminen . 188
10.4.4 Taimien testaus varastoinnin jälkeen ... 194
10.5 Pakkausmerkinnät ... 198
10.6 Taimien luovutustarkistus ja jälkihoito ... 198
11 Seuranta ja dokumentointi ... 203
12 Taimitarhahygienia, riskeihin varautuminen, ongelmien ratkominen .. 207
13 Taimikasvatuksen lyhyt oppimäärä ... 212
Viitteet ... 213
Liite 1. Pohjoismaissa käytettäviä paakkutyyppejä ... 238
Liite 2. Taimien kasvuun liittyvien ongelmien selvittäminen ... 241
Hakemisto ... 244

1 Johdanto

Taimituotannon alkuaikoina taimikasvatus Suomessa pohjautui keskieurooppalaiseen perinteeseen. Paljasjuuriset, koulitut taimet olivat 1910-luvulta lähtien taimitarhojen päätuote [460]. 1930-luvulla tuotettiin pääasiassa kuusen taimia, mutta 1950-luvulla alettiin kasvattaa myös männyntaimia, joita taimipulan vuoksi istutettiin myös koulimattomina, kaksivuotisina taimina [242]. Vaikka koneellinen koulinta, juurten leikkaus ja taimien nosto rationalisoivat paljasjuurituotantoa 1980-luvulla [108], alkoi paakkutaimituotanto voittaa alaa.

Paakkutaimituotanto käynnistyi 1960-luvun lopulla, jolloin männyntaimia ryhdyttiin kasvattamaan paakuissa. Jo 1970-luvun puolivälissä kolmasosa männyistä tuotettiin paakuissa ja 1980-luvulla paakkutaimituotanto kehittyi myös kuusen ja koivun päätuotantolajiksi. Nykyään lähes kaikki Suomessa metsänviljelyyn toimitettavat taimet ovat paakkutaimia. Samalla kun taimituotannossa siirryttiin muutamassa kymmenessä vuodessa paljasjuurituotannosta paakkutaimituotantoon, istutettavien taimien koko pienentyi ja niiden tuotantoaika lyhentyi. Metsänviljelyssä käytettävien puulajien runsaussuhteet ovat myös muuttuneet: männyn ja koivun osuudet ovat vähentyneet kuusenviljelyn lisääntyessä voimakkaasti. Samoin tuotantomenetelmät ja -laitteet ovat kehittyneet paljon ja tuotanto on keskittynyt harvempiin tarhoihin.

Metsänviljelyyn toimitettavien taimien laatu on ensimmäinen ja ratkaiseva osa istutusketjua. Käytännössä taimien laatu mitataan istutuksen onnistumisena, johon toki vaikuttaa moni tekijä taimien ohella. Istutusten onnistumisesta tehdyt selvitykset viime vuosikymmenillä eivät ole osoittaneet kovin suurta muutosta tapahtuneen [367, 414]. Myös taimien laatu on aika ajoin ollut voimakkaan arvostelun kohteena. Metsänviljelyaineiston kauppalain perusteella tehdyt tarkastukset osoittavat kuitenkin istutuksiin toimitettujen taimien laadun kehittyneen parempaan suuntaan [243]. Viime aikoina istutuksessa saavutetut hyvät tulokset osoittavatkin, että hyvin toteutettuna ketjuna istutus tuottaa erinomaisia taimikoita [179].

Tässä oppaassa pyrin kuvaamaan tämänhetkiseen tietoon perustuvat hyvät käytännöt laadukkaan taimen, ns. tavoitetaimien tuottamiseen. Tavoitetaimikäsite on syntynyt tutkittaessa nopeasti istutusalalle mukautuvan ja kasvuun lähtevän taimen ominaisuuksia. On havaittu, että mikään yksittäinen tunnus, kuten esimerkiksi taimen pituus, juurten määrä, ravinnepitoisuus tai fotosynteesiaktiivisuus, ei yksin kuvaa riittävän hyvin taimen laatua [337]. Laadun kuvaamiseen tarvitaan useampia erityyppisiä tunnuksia. Tällaisten taimien istutuksen jälkeistä hyvää menestymistä kuvaavien tunnusten yhdistelmää, eräänlaista ominaisuusprofiilia kutsutaan tavoitetaimeksi. Koska metsänviljelytilanteet, esim.

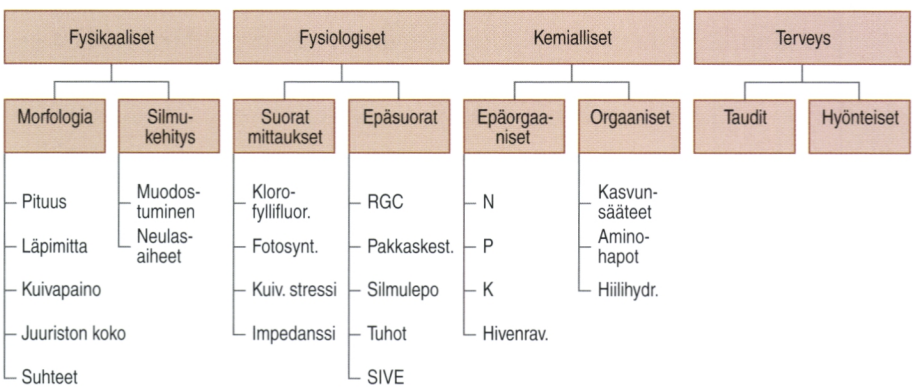
istutuskohteet, -ajankohdat ja -menetelmät vaihtelevat, myös osa tavoitetaimien ominaisuuksista, kuten taimien pituus ja kehitysvaihe, voivat muuttua viljelytilanteen mukaan.

Tavoitetaimea kuvaavat tunnukset voidaan jakaa ns. rakenneominaisuuksiin (esim. pituus, läpimitta, juuriverso-suhde), fysiologisiin ominaisuuksiin (esim. fotosynteesi, vesipotentiaali) ja ns. suoriutumisominaisuuksiin, kuten pakkaskestävyys ja juurtenkasvupotentiaali), kemiallisia ominaisuuksiin (ravinne- ja hiilihydraattipitoisuus) ja sekä terveyttä kuvaaviin ominaisuuksiin [373] (kuva 1.1).

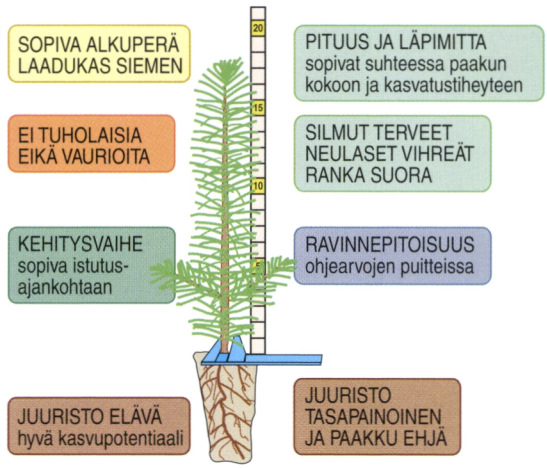
Suuri osa taimien elintoimintoja mittaavista, "fysiologisista" tunnuksista on edelleen kehittämisvaiheessa tai niiden käyttö käytännön toiminnassa on osoittautunut niin työlääksi tai kalliiksi, että ne ovat jääneet tutkijoiden työkaluiksi. Niinpä käytännössä taimien laatua arvioidaan edelleen pääosin taimien ulkonäön perusteella (kuva 1.2).

Tavoitetaimien tuottamiseen on vuosikymmenien saatossa käytetty puutarhapuolelta omaksuttuja ja metsätaimitarhoille sovellettuja kasvatusmenetelmiä sekä -laitteita. Tätä kasvattajan työkalupakkia ja metsätaimien kasvatukseen soveltuvia parhaita käytäntöjä (kuva 1.3) kehitetään jatkuvasti sekä tutkijoiden ja laitevalmistajien että kasvattajien toimesta. Tutkimustulokset on kasvattajien vielä viritettävä omille tarhoilleen ja omiin kasvatusprosesseihin soveltuviksi menetelmiksi.

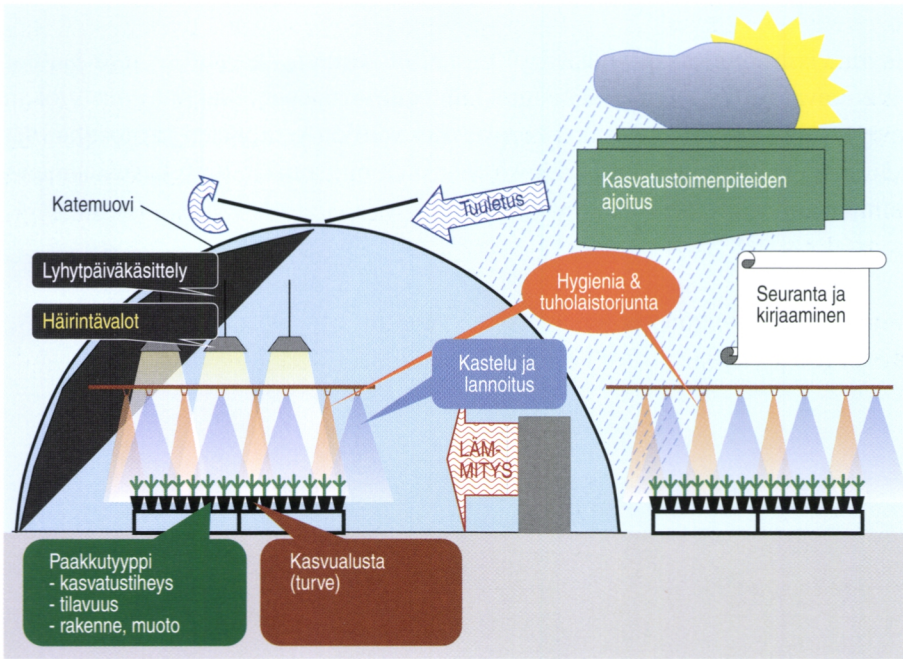
Taimien kasvatustoimenpiteiden vaikutukset ovat pääosin lyhytkestoisia ja vaikuttavat tarhalla ja istutuskesänä. Tämä vaihe on kuitenkin tärkein taimi-



Kuva 1.1. Tavoitetaimen kuvaamiseen käytettyjen taimitunnuksien jako fysikaalisiin, fysiologisiin, kemiallisiin ja terveystunnuksiin. [64] RGC (Root Growth Capacity) – juurten kasvukyky, SIVE (Stress Induced Volatile Emission) – stressin aiheuttamat kaasut

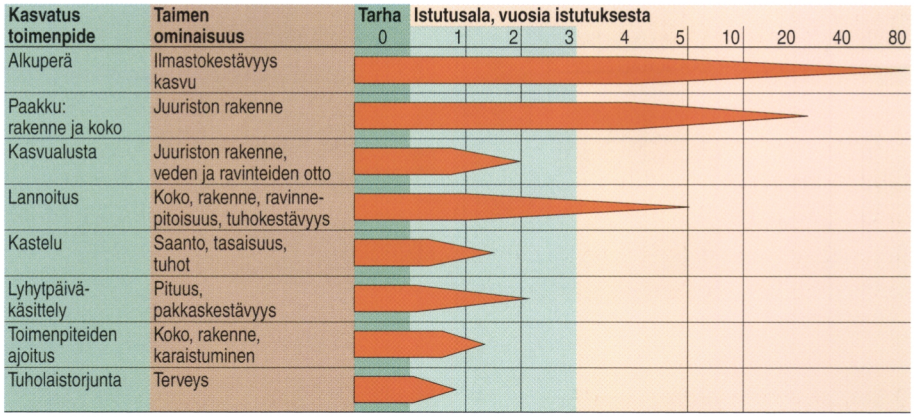


Kuva 1.2. Tavoitetaimen keskeiset ominaisuudet [373].



Kuva 1.3. Paakkutaimenkasvattajan työkalupakki [373].

en uudistusalalle mukautumisessa ja uuden metsän kehityksessä. Pisimmillään kasvatustoimenpiteiden vaikutukset voivat ilmetä vielä 15–20 vuoden ikäisissä taimikoissa (kuva 1.4). Tärkein ja pysyvin vaikutus on siemenen valinnalla. Perintötekijät vaikuttavat koko kiertoajan.



Kuva 1.4. Siemenen alkuperän ja eri kasvatustoimenpiteiden vaikutusten kohde ja kesto. Kriittisin vaihe taimien menestymisessä kestää Etelä-Suomessa 2–5 vuotta ja Pohjois-Suomessa 5–20 vuotta.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi keskeiset taimien kasvatukseen ja laatuun vaikuttavat tekijät siemenestä istutuskohteelle sekä esitellään tutkimustuloksia ja nykyisiä käytäntöjä. Lisäksi korostetaan taimien kehityksen ja olosuhteiden seurantaa ja dokumentointia niin kasvatuksen ohjaamisen kuin kasvatusmenetelmien kehittämisen kannalta.

2 Viljelyaineisto ja taimien kehitys

Viljelyaineiston alkuperä ja perinnöllinen laatu vaikuttavat perustettavien taimikoiden menestymiseen ja puiden ilmastoon sopeutumiseen. Taimien alkuperä onkin tärkein taimien menestymiseen vaikuttavista tekijöistä. Sopeutumattomuus ilmenee tuhoina ja heikkona kasvuna. Sen vuoksi taimien laatua säätelevät yksityiskohtaiset viranomaismääräykset.

2.1 Viljelyaineisto

Taimia voidaan tuottaa siemenistä tai kasvullisesti lisäämällä eli kloonaamalla. Kasvullinen lisääminen tapahtuu esim. oksapistokkaista, juuripistokkaista tai mikrolisäyksellä solukkoviljelyn avulla. Toistaiseksi Suomessa metsänviljelyyn tuotettavat taimet kasvatetaan siemenestä hybridihaavan, visakoivun ja eräitä koristetarkoitukseen kasvatettavien puiden taimia lukuun ottamatta.

Suomessa kuusen kasvullinen lisäys oksapistokkaita juurruttamalla on kehitetty pitkälle. Kasvullisesti lisättyjen taimien tuotanto on ollut kalliimpaa kuin siementaimien tuotanto, minkä vuoksi pistokastaimien käyttö ei ole yleistynyt. Männylläkin pistokaslisäys onnistuu, mutta se on vielä kaukana taimituotantosovellutuksista [296]. Tutkimus- ja kehittämistyö kohdistuu somaattiseen embryogeneesiin eli kasvullisten alkioiden tuottamiseen tavoitteena ns. keinosiemenien massamonistus. Toistaiseksi vasta eräitä ulkomaisia havupuulajeja, kuten radiatamäntyä, loblollymäntyä, valkokuusta ja sitkankuusta kasvatetaan keinosiemenistä pienessä mittakaavassa metsänviljelyyn ja jalostustarkoituksiin [11].

Siemenen laatu ja alkuperä

Taimitarhakylvöissä pyritään käyttämään niin geneettisesti kuin fysiologisesti mahdollisimman korkealaatuista siementä. Fysiologiseen laatuun vaikuttavat siementen kehityksen ja kypsymisen aikana vallinneet olosuhteet sekä keräyksen ja käsittelyn aikaiset toimenpiteet. Aihetta on käsitelty seikkaperäisesti siemenoppaissa [138, 311].

Taimituotannossa käytettävät metsäpuiden siemenet kerätään joko siemenviljelyksiltä, rekisteröidyistä siemenkeräysmetsistä tai talousmetsiköistä hakkuiden yhteydessä. Metsänviljelyaineisto luokitellaan metsänviljelyaineiston kauppalain mukaan neljään luokkaan:

Siemenlähde tunnettu

- Siemen on hankittu alue- tai hakkuukeräyksin yhdellä lähtöisyysalueella sijaitsevista puista tai metsiköistä.

Valikoitu

- Siemen on hankittu yhdellä lähtöisyysalueella sijaitsevista, fenotyypin (ulkonäön) perusteella valituista metsiköistä, joissa hyvälaatuiset valtapuut on merkitty keräyspuiksi.

Alustavasti testattu

- Siemen tuotetaan rekisteröidyiltä siemenviljelyksiltä tai siementuotantoon tarkoitettujen emopuiden risteytyksistä. Luokkaan kuuluvat myös fenotyypin perusteella valituista klooneista tai klooniyhdistelmistä saatu perusaineisto.

Testattu

- Edelliseen luokkaan kuuluvat perusaineistot, joiden paremmuus jalostamattomaan aineistoon verrattuna on osoitettu vertailukokeilla tai emopuiden jalostusarvon perusteella.

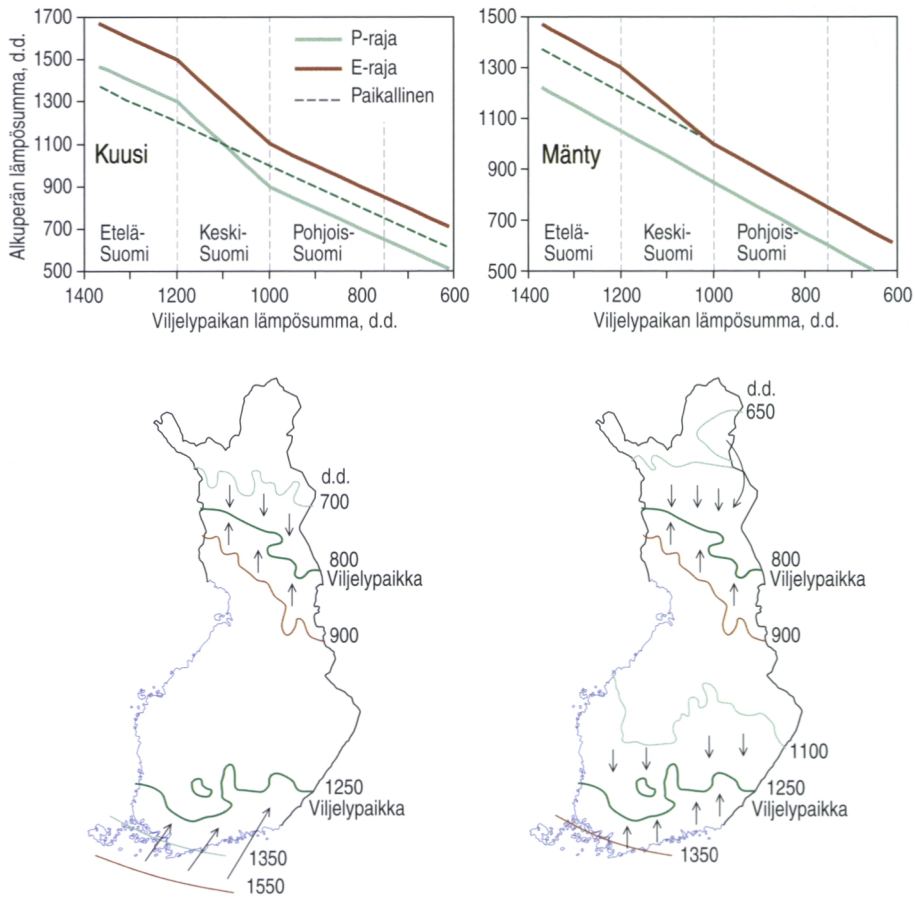
Lähtöisyysalueella tarkoitetaan aluetta, jolla on riittävän yhdenmukaiset luonnonolot ja jonka metsiköt tai siemenlähteet ovat fenotyypiltään tai geneettisiltä ominaisuuksiltaan riittävän samanlaisia, ottaen huomioon korkeusvaihtelut. Suomessa männyllä on 11 ja kuusella sekä koivulla 6 lähtöisyysaluetta (www.evira.fi).

Metsänviljelyssä on käytettävä alkuperältään ja muilta ominaisuuksiltaan sopivaa metsänviljelyaineistoa (Metsäasetus 1200/1996). Vastuu aineiston valinnassa on viime kädessä metsänomistajalla. Taimitarhat vastaavat siitä, että ostaja saa riittävät ja oikeat tiedot taimien alkuperästä. Taimituottajan velvollisuus on neuvoa metsänomistajaa taimimateriaalin valinnassa.

Sekä perimältään että fysiologisesti laadukkaan siemenen käyttö on paitsi metsänomistajan etu, se myös helpottaa taimenkasvattajaa. Metsikkösiementä painavampi siemenviljelyssiemen itää tavallisesti nopeammin ja tasaisemmin, jolloin taimien kokovaihtelu pienenee ja taimisaanto paranee.

Alkuperän valinnassa siemenen *käyttöalue* on keskeinen käsite. Siemenen käyttöalueella tarkoitetaan sitä maantieteellistä aluetta, jolla ko. viljelymateriaalia voidaan turvallisesti käyttää. Käyttöalueet määräytyvät metsänviljelyaineistoluokan mukaan. Metsikkökeräyksistä ja siemenkeräysmetsiköistä peräisin olevilla, 'siemenlähde tunnettu' ja 'valikoitu' -luokkiin kuuluvista siemenistä kasvatetuilla taimilla käytetään "paikallista" alkuperää. Paikalliseksi alkuperä katsotaan

Suomessa silloin, kun se poikkeaa enintään 100 d.d. istutuskohteen lämpösummasta, mikä maantieteellisesti vastaa pohjois-eteläsuunnassa noin 100 km:n ja itä-länsisuunnassa useiden satojen kilometrien matkaa [211]. Maaston korkeus otetaan huomioon siten, että 100 m siirto ylöspäin korkeussuunnassa vastaa 100 km siirtoa pohjoiseen ja päinvastoin. Poikkeuksen näistä säännöistä muodostavat kuusi, jota suositellaan viljeltäväksi Etelä-Suomessa paikallista alkuperää 100–300 d.d. eteläisemmillä alkuperillä ja mänty, jota suositellaan viljeltäväksi Lapissa enimmillään 150 d.d. istutuspaikkaa pohjoisemmilla alkuperillä. Myös Etelä-Suomessa voidaan männyn paikallisen alkuperän ohella käyttää enintään 150 d.d. pohjoisempia alkuperiä (kuva 2.1). Rauduskoivua voidaan siirtää Etelä- ja Keski-Suomessa enintään 150 d.d. alkuperäaluetta lämpimämmälle tai kylmemmälle viljelyalueelle [154].



Kuva 2.1. Kuusen ja männyn 'siemenlähde tunnettu' ja 'valikoitu' -luokkiin kuuluvien siemenien käyttöalueiden etelä- (E-raja) ja pohjois- (P-raja) rajat (yläkuvat) sekä esimerkkialueet, joista kerättyä siementä voidaan käyttää 1250 ja 800 d.d. lämpösummakäyrillä sijaitsevilla viljelypaikoilla (alakuvat). Kuvat laatinut Seppo Ruotsalainen suositusten [154] mukaan.

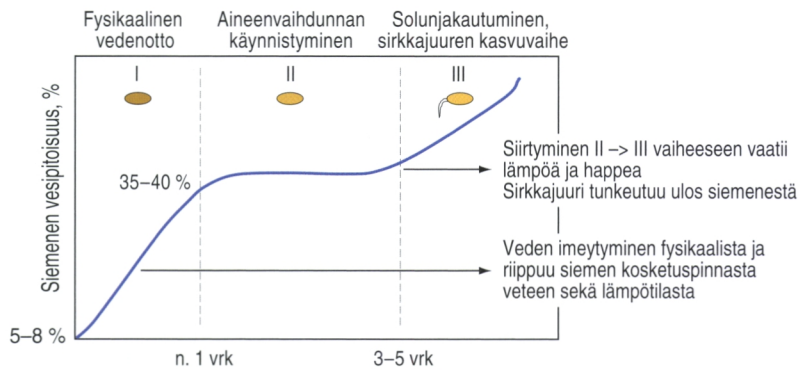
Niille taimille, jotka on kasvatettu suomalaisilta siemenviljelyksiltä kerätyistä, metsänviljelyaineistoluokkiin 'alustavasti testattu' ja 'testattu' kuuluvista siemenistä, Evira vahvistaa lämpösummien ja karttojen avulla ilmoitettavan käyttöalueen. Suomessa käytössä olevien siemenviljelysten tiedot ja käyttöaluekartat löytyvät Eviran www-osoitteesta (www.evira.fi). Metla antaa pyydettäessä lausunnon Suomessa ulkomaisesta siemenestä kasvatettujen taimien soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin sekä suosituksen käyttöalueeksi [244, 408].

2.2 Taimien kehitys

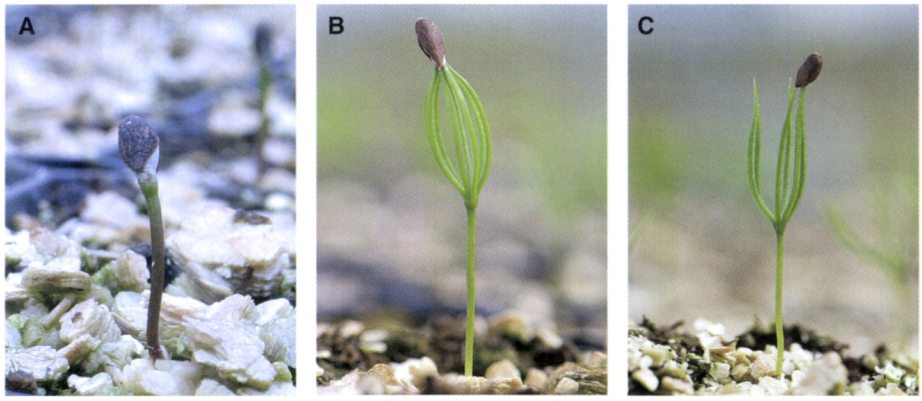
Taimien kasvun ja rakenteen kehittymisen sekä fysiologisten tapahtumien vuotuisen kierron tunteminen on edellytys kasvatusmenetelmien ymmärtämiselle ja laadukkaiden taimien tuottamiselle. Taloudellisista syistä taimet kasvatetaan tavoitekokoon lyhyessä ajassa, suotuisissa olosuhteissa ja suuressa kasvatustiheydessä, minkä vuoksi ne paitsi kehittyvät nopeammin poikkeavat myös rakenteeltaan jossain määrin luonnontaimista.

2.2.1 Itäminen ja orastuminen

Itäminen käynnistyy veden imeytymisellä siemeneen. Tapahtuma voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen [311] (kuva 2.2). Aluksi imeytyminen on fysikaalista ja se riippuu siemenen ja kasvualustan vesipotentiaalieroista sekä siitä kuinka suuri osa siemenen pinta-alasta on suoraan kosketuksessa veteen. Männyllä ja kuusella ensimmäinen vaihe kestää hyvissä olosuhteissa 1–2 vrk. Kun siemenen vesipitoisuus saavuttaa 35–40 % alkaa kasvu- ja erilaistumisvaihe, jolloin entsyymi- ja hormonitoiminta käynnistyy ja vararavinnon hyödyntäminen alkaa. Tähän siemen tarvitsee veden lisäksi happea ja lämpöä. Vaihe päättyy, kun



Kuva 2.2. Periaatekuva veden imeytymisestä kuivaan siemeneen kolmessa vaiheessa. Vaihe I on palautuva, mutta vaiheet II ja III palautumattomia [25].



Kuva 2.3. Taimettumisen eri vaiheita kuusella: A. tappivaihe (sirkkalehdet pääosin siemenkuoren sisällä; 2.–3. vko), B. lintuhäkkivaihe (sirkkalehtien kärjet siemenkuoren sisällä, C. siemenkuori irtoamassa; 3.–5. vko) (EO).

sirkkajuuri tunkeutuu ulos siemenestä ja vesipitoisuus alkaa uudelleen kohota solujakautumisen ja -kasvun nopeutuessa. Havupuilla sirkkajuuri tunkeutuu maahan, sirkkavarsi venyy nostaen siemenkuoren ilmaan ja sirkkalehdet tulevat näkyviin siemenkuoresta (”linnunhäkki”-vaihe) (kuva 2.3). Taimi on orastunut ja omavarainen, kun sirkkalehdet ja sirkkasilmu ovat näkyvissä ja se on alkanut yhteyttää.

Itäminen tapahtuu yleensä 1–4 viikossa puulajista, siemenen kunnosta, käsittelystä ja olosuhteista riippuen. Koivun siemen itää yleensä viikossa, männyn siemen 1–2 viikossa ja kuusi 2–3 viikossa. Joillakin puulajeilla (lehmus, tammi) itäminen voi vaatia kuukausia tai vuosia. Siemenhorroksen purkaminen voi nopeuttaa itämistä [191, 311].

2.2.2 Ensimmäisen ja toisen vuoden pituuskasvu kuusella ja männyllä

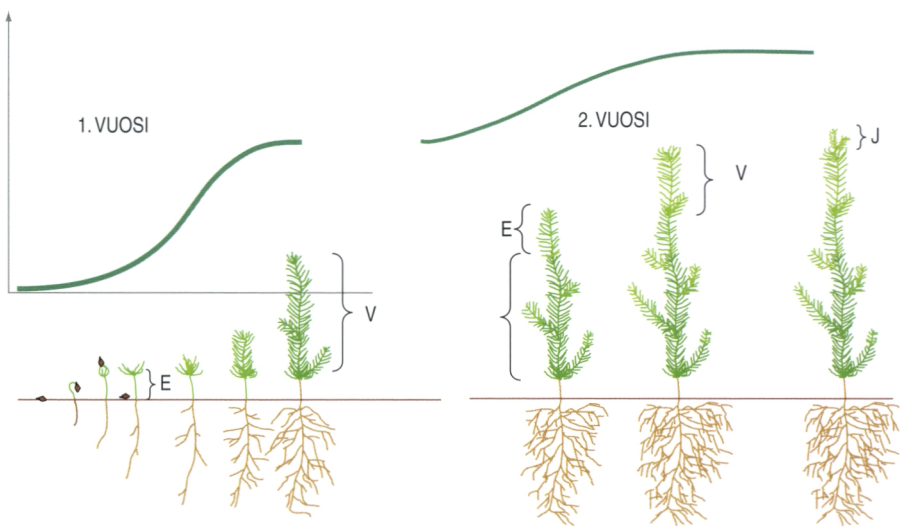
Kuusentaimien ensimmäisen ja toisen vuoden kehitys poikkeavat toisistaan (kuva 2.4). Taimien ensimmäisen vuoden kasvu on siemenalkiosta kehittyvää sirkkataimea lukuun ottamatta ns. *vapaata kasvua,* joka tapahtuu suoraan kasvusolukosta, meristeemistä, ilman edeltävää neulasaiheiden muodostumista. Loppukesän ja syksyn aikana kasvaimen kärkeen muodostuu kärki(pääte)silmu neulasaiheineen. Seuraavana keväänä kärkisilmu puhkeaa ja neulasaiheet kasvavat neulasiksi. Koska tämä kasvu on jo aiemmin muodostuneiden osien edelleen kehittymistä, kutsutaan sitä *ennaltamääräytyneeksi.* Käsite on jossain määrin harhaanjohtava, koska edellisenä kesänä muodostuneiden neulasten ja neulasvälien venyminen loppupituuteen määräytyy kasvukesän olosuhteiden perusteella. Kasvaimen pituuteen vaikuttaa siis kahden perättäisen vuoden sää-

olosuhteet. Valtaosalla havupuista kasvu toisesta kasvukaudesta lähtien on ainakin osittain ennaltamääräytynyttä. Kotimaisista puulajeistamme poikkeuksen tekee kataja, joka ei muodosta syksyllä kärkisilmua.

Pituuskasvun ennustamista vaikeuttaa lisäksi taimilla nuoruusvaiheessa esiintyvä *vapaa kasvu*. Kun nuorilla taimilla ennaltamääräytynyt kasvu loppuu heinäkuussa, kasvu jatkuu ”vapaana” eli kasvupisteen solukosta syntyy uusia neulasia, jotka kasvavat saman tien täyteen mittaansa [46]. Toisena vuonna ennaltamääräytyneen ja vapaan kasvun raja on kuusentaimilla liukuva (kuvat 2.4 ja 2.5) [515]. Taimen vanhetessa raja muodostuu vuosi vuodelta selvemmäksi. Paikallisten alkuperien 1–2-vuotisten kuusentaimien pituuskasvu jatkuu elokuun puoliväliin, kunnes päivänpituus pysäyttää kasvun lämpösumman ollessa 900–1100 d.d. Vapaan kasvun osuus pienenee ja pituuskasvuun kuluva aika lyhenee, kunnes vapaa kasvu alkuperästä riippuen häviää 6–10 vuoden iässä.

Vapaan kasvun osuus on suurempi eteläisillä alkuperillä, joilla kasvu keväällä alkaa myöhemmin, mutta jatkuu syksyllä pitempään kuin pohjoisilla alkuperillä. Osuus voi vaihdella toisena ja kolmantena kasvukautena alkuperästä riippuen 15–65 % [491, 515] ja vielä neljäntenäkin kasvukautena mustakuusella vapaan kasvun osuus on ollut 10–27 % [330].

Taimikasvatuksessa ennaltamääräytyneen ja vapaan kasvun merkitys käy ilmi pysäytettäessä taimien pituuskasvu lyhytpäiväkäsittelyllä (LP). Menetelmä ”pu-

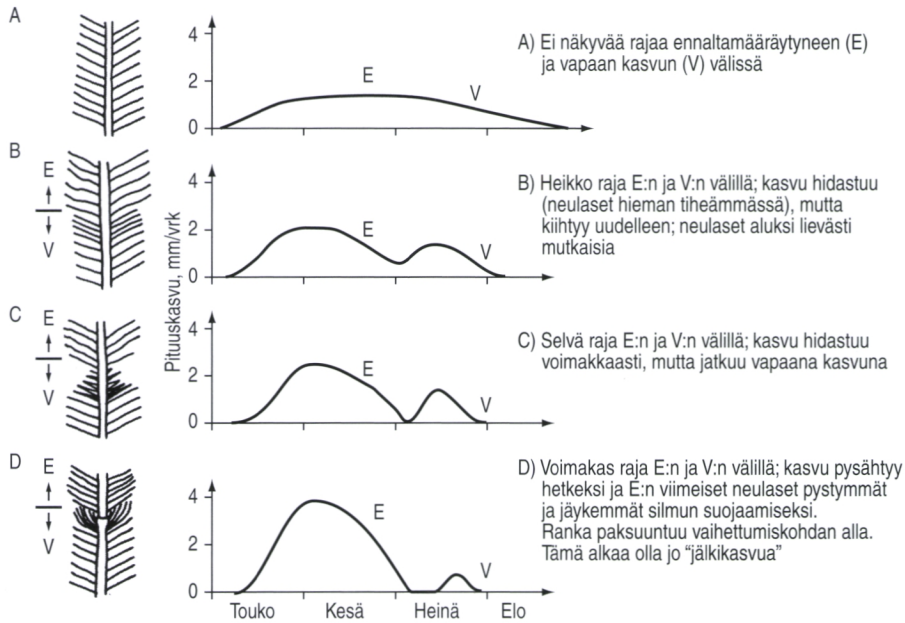


Kuva 2.4. Kuusen taimen kehitys kahden kasvukauden aikana. E = ennaltamääräytynyt kasvu siemenalkiosta tai toisena kasvukautena edellisenä kesänä muodostuneen silmusta, V = vapaa kasvu: ennaltamääräytyneen kasvun päätyttyä nuorella taimella alkaa syntyä uusia neulasaiheita, jotka alkavat kasvaa välittömästi ilman, että niistä muodostuu silmu. J = jälkikasvu: muodostuneen silmun ennenaikaista puhkeamista ja kasvua.

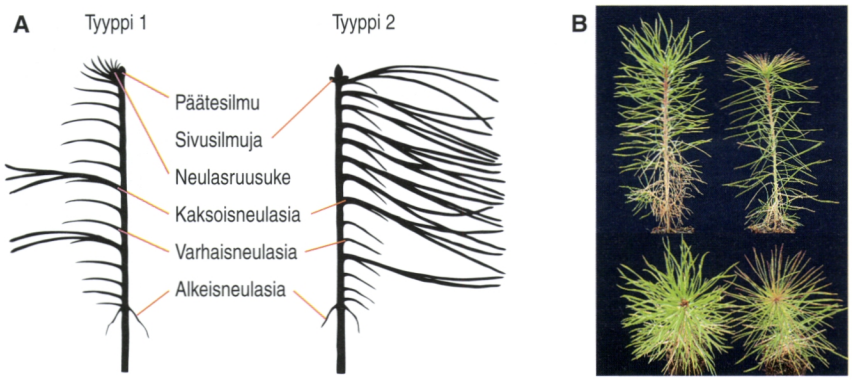
ree" parhaiten vapaan kasvun aikana. Ensimmäisen vuoden taimi, jonka kasvu on siemenalkiosta kehittyvää sirkkataimea lukuun ottamatta vapaata, muodostaa päätesilmun varhaisissa kylvöksissä heti orastumisen jälkeen, jos päivän pituus ei ole riittävä. Myöhempinä kasvukausina LP-käsittely tehoaa heikosti kasvukauden alkupuolella, ennaltamääräytyneen kasvun aikana.

Männyllä ensimmäisen vuoden kasvu on sirkkataimea lukuun ottamatta vapaata kuten kuusella. Alussa syntyvät neulaset ovat ns. varhaisneulasia ("primäärineulasia", "ykkösneulasia"). Taimiin voi jo ensimmäisenä kesänä kehittyä myös lyhytversoja (ns. kaksoisneulasia eli sekundäärineulasia). Kaksoisneulasten muodostuminen riippuu kylvöajankohdasta ja ympäristöolosuhteista. Varhaisten kylvösten taimiin kehittyy yleensä runsaasti kaksoisneulasia [464], mutta samassa taimierässä voi olla myös taimia, joilla ei ole lainkaan kaksoisneulasia (kuva 2.6). "Ykkösneulastyypin" männyntaimiin ei aina kehity ensimmäisenä syksynä selvää kärkisilmua sivusilmuineen, vaan kärkisilmu jää piiloon varhaisneulasten muodostaman ruusukkeen sisälle.

Toisena kasvukautena männyntaimet, joilla on on runsaasti kaksoisneulasia lähtevät nopeammin kasvuun, mutta niiden pituuskasvu loppuu aikaisemmin kuin pelkästään primäärineulasia sisältävällä taimilla. Toisen kasvukauden päätyttyä "ykkösneulastyypin" taimet ovat kasvaneet yleensä pidemmiksi [464].



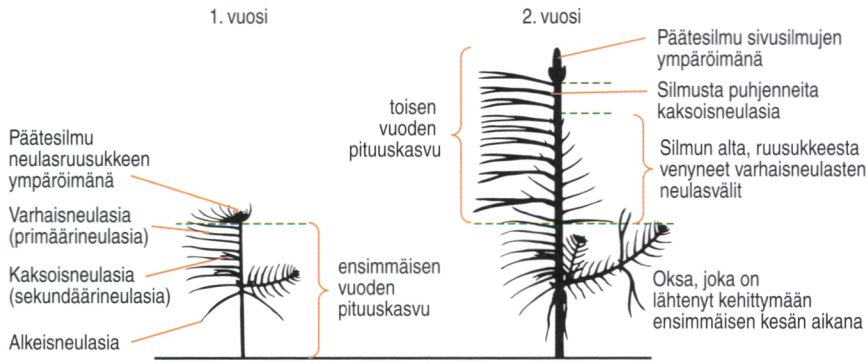
Kuva 2.5. Siirtyminen vapaasta kasvusta ennaltamääräytyneeseen kasvuun kuusen taimilla [515].



Kuva 2.6. A. Yksivuotisia männyntaimia on kahta päätyyppiä, joista tyypissä 1 (”ykkösneulastyyppi”) neulasista pääosa on varhaisneulasia ja latvassa ei ole selvästi erottuvaa päätesilmua sivusilmuineen [464]. **B**. Toukokuun alussa kylvetystä mäntyerän 1-tyypin ja 2-tyypin taimia päältä ja sivulta kuvattuna (EO).

Toisen kasvukauden alussa ”ykkösneulastyypin” (tyyppi 1) männytaimen kasvu alkaa päätesilmun alapuolella olevan varhaisneulasten muodostaman neulasruusukkeen nivelvälien venymisenä, jolloin koko päätesilmu nousee ensin ylöspäin muutaman senttimetrin ja vasta sen jälkeen itse silmu puhkeaa ja alkaa venyä (kuva 2.7). ”Kakkosneulastyypin” (tyyppi 2) taimien toisen kasvukauden pituuskasvu on kokonaan ennaltamääräytynyttä. Se alkaa päätesilmun puhkeamisella ja kasvain venyy täyteen mittaansa yleensä kesäkuun loppuun mennessä noin 500 d.d.:n lämpösummassa. Männyn neulasten pituuskasvu alkaa verson pituuskasvuvaiheen loppupuolella ja ne saavuttavat lopullisen pituutensa elokuussa. Neulasten kasvu ja kasvun päättyminen riippuvat voimakkaasti lannoituksesta ja kastelusta [380].

Taimissa voi loppukesällä esiintyä myös *jälkikasvua*. Jälkikasvulla tarkoitetaan muodostuneen päätesilmun ennenaikaista puhkeamista jo samana vuonna eli



Kuva 2.7. Männyntaimen verso ensimmäisen ja toisen kasvukauden jälkeen [463]

se itse asiassa on ennaltamääräytynyttä kasvua. Jälkikasvut jaetaan kolmeen tyyppiin: kärkisilmusta ja sivusilmusta lähtevään (kuva 2.8) sekä ns. pitkään silmuun, jota esiintyy männyillä. Silmun puhkeamista jälkikasvuksi säätelee perinnöllinen taipumus, jonka laukaisee jokin ulkoinen tekijä. Samalla paikalla kasvatettuina eteläisempien alkuperien puilla tavataan enemmän jälkikasvuja kuin paikallisilla tai pohjoisemmilla alkuperillä [187, 404].



Kuva 2.8. Jälkikasvuja kaksivuotisissa kuusen taimissa. Vasemmanpuoleisin taimen silmu ei ole puhjennut jälkikasvuun, keskimmäisen taimella on sivusilmusta lähtenyt jälkikasvu ja oikeanpuolimaisimmalla taimella sekä kärki- että sivusilmuista lähteneitä jälkikasvuja (EO).

Muutokset ympäristöolosuhteissa, kuten ravinteissa, kosteudessa, lämpötilassa ja hiilidioksidipitoisuudessa, voivat laukaista jälkikasvun. Esimerkiksi keskikesän kylmän tai kuivan sääjakson jälkeinen viikon parin lämpö/sadejakso saattaa indusoida silmun ennenaikaisen puhkeamisen. Ympäristötekijät vaikuttavat voimakkaimmin jälkikasvun syntykesänä [214], mutta männyllä myös edeltävän kasvukauden epäsuotuiset kasvuolosuhteet yhdistettyinä toisen kasvukauden suotuisiin olosuhteisiin voivat lisätä jälkikasvujen määrää toisena vuonna [4].

Säätekijöiden lisäksi eräät kasvatustoimenpiteet voivat laukaista jälkikasvun. Taimitarhoilla tunnetaan hyvin, että voimakas lannoitus heinäkuun loppupuolella lisää taimien jälkikasvuisuutta [366]. Myös poikkeaminen normaalista kasvurytmistä voi lisätä jälkikasvua. Varhainen, mutta liian lyhytkestoinen lyhytpäiväkäsittely pysäyttää taimien kasvun ja käynnistää silmunmuodostuksen, mutta elokuussa nämä silmut usein puhkeavat jälkikasvuun [187, 271]. On syytä muistaa, että jälkikasvu on taimen hallanarin osa, ja jälkikasvuinen taimi kokonaisuudessankin on arempi kuin jälkikasvuton taimi.

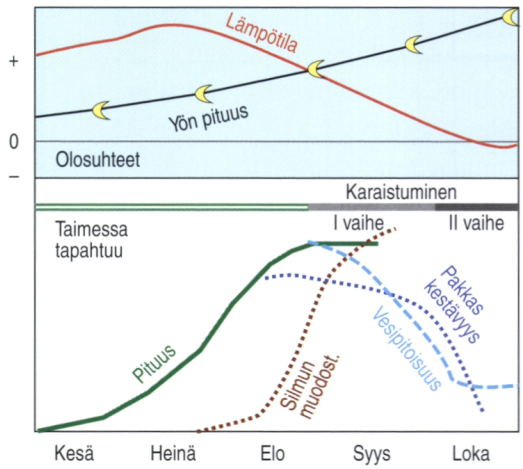
2.3 Vuosirytmi

Vuodenaikojen kierron mukaan tapahtuvaa puiden tilan vaihtelua kutsutaan vuosirytmiksi. Taimien eri osien kasvu samoin kuin karaistuminen ovat seurausta fysiologisista tapahtumista, joita ohjaavat ennen muuta lämpötila ja yön pituus (kuva 2.9). Taimitarhalla kasvatustoimenpiteet ja niiden ajoitus vaikuttavat vuotuiseen rytmiin, kuten kasvun, karaistumisen ja silmujen puhkeamisen ajoittumiseen.

I. Pitenevä yö:
Kasvu päättyy, silmut muodostuvat, aineenvaihdunnassa muutoksia, ravintoaineiden varastointia, vesipitoisuus pienenee, pakkaskestävyydessä vähäisiä muutoksia (-3...-10 °C)

II. Alhaiset lämpötilat:
solukalvoissa rakenteellisia muutoksia, tärkkelys sokeriksi, vesipitoisuus ei juuri vähene enää, pakkaskestävyys lisääntyy nopeasti (-10...-30 °C)

III. Talvipakkaset:
pakkaskestävyys lisääntyy (-30...-70 °C) ja vaihtelee lämpötilan mukaan

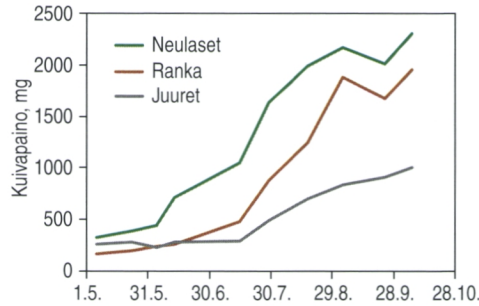


Kuva 2.9. Periaatekuva taimien pituuskasvun, silmunmuodostuksen ja karaistumisen ajoittumisesta karaistumisen I ja II vaiheessa.

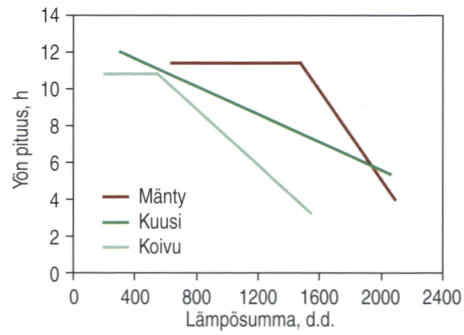
2.3.1 Kasvurytmi

Taimien kasvu käynnistyy joko juuriston tai verson kasvulla riippuen ilman ja kasvualustan lämpötilasta. Silmut puhkeavat, kun lämpösummaa on kertynyt männyllä 40–60 d.d. ja kuusella 100–150 d.d. Jos kasvualustan lämpötila on alle 5 °C ja aurinko lämmittää versoja, alkaa verson kasvu ensin ja juuristo seuraa, kun lämpötila nousee kasvualustassa yli 8 °C. Koska paakkujen lämpötila voi keväällä nousta nopeasti, saattaa juurissa olla uusia valkeita kärkiä ennen kuin silmu puhkeaa. Juuristo tarvitsee kasvuunsa tuoreita yhteyttämistuotteita ja se kasvaa eniten kesä-elokuussa kun valoa, lämpöä ja kosteutta on riittävästi (kuva 2.10). Koska juuristo ja verso kilpailevat yhteyttämistuotteista, juuriston kasvu on hitaampaa verson kasvun alkuvaiheessa. Vaikka loppukesällä pitenevä yö pysäyttää verson pituuskasvun, jatkuu juurten ja läpimitan kasvu. Juuriston kasvu heikkenee vasta syksyllä valon vähetessä ja lämpötilan laskiessa. Juurten kasvu voi kuitenkin jatkua aina lokakuulle saakka, jos on riittävän lämmintä.

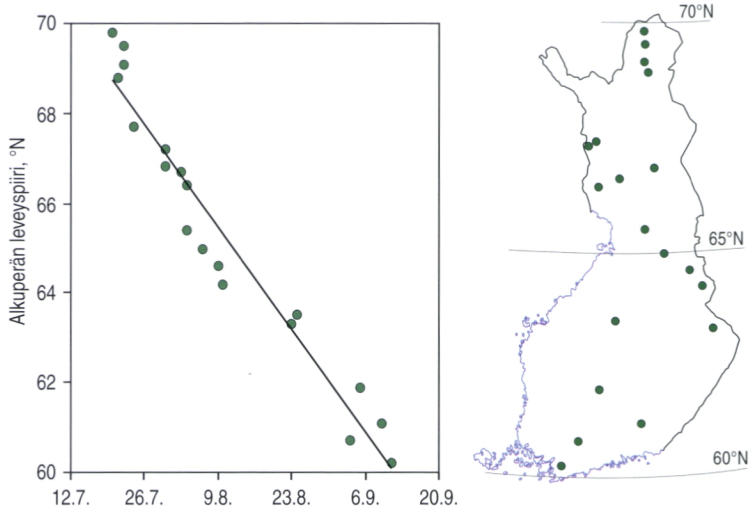
Männyn, kuusen ja koivun taimien pituuskasvu pysähtyy kylvövuonna alkuperän, yön pituuden ja lämpösumman yhteisvaikutuksesta [212, 213] (kuva 2.11). Taimien pituuskasvu päättyy ja lepotila alkaa sitä aikaisemmin, mitä aikaisemmin siemen on kylvetty tai mitä lämpimämpi kasvukausi on ollut. Kasvun päättymisen ja silmun muodostumisen ajoitus ovat voimakkaasti perinnöllisiä, alkuperään sidottuja ominaisuuksia. Mitä pohjoisempi alkuperä sitä aikaisemmin muodostuu päätesilmu [295] (kuva 2.12). Läpimitan tai juuriston kasvun pysähtymiseen ei päivänpituus vaikuta tai vaikuttaa hyvin vähän.



Kuva 2.10. Kuusentaimien neulasten, rangan ja juurten biomassakasvu toisena kasvukautena luonnon valo- ja lämpöolosuhteita matkivassa kasvukaapissa [178].



Kuva 2.11. Mitä enemmän taimille on kertynyt lämpösummaa sitä varhaisemmin (lyhyemmässä yössä) niiden kasvu päättyy. Lämpösumman ja yönpituuden yhteisvaikutus yksivuotiaiden männyn (alkuperä: Kerimäki), kuusen (Sulkava) ja koivun (Punkaharju) taimien pituuskasvun päättymiseen. Vaaka-akselilla kylvöstä kasvun päättymiseen mennessä kertynyt lämpösumma ja pystyakselilla yönpituus tunteina kasvun päättyessä [213].



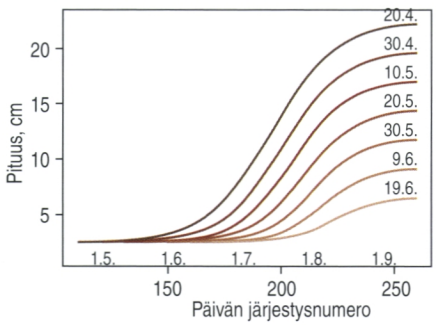
Kuva 2.12. Pohjoiset alkuperät muodostavat silmut aikaisemmin, lyhyemmässä yössä kuin eteläiset alkuperä. Kylvövuoden männyntaimien silmun muodostumisen (50 % silmuista muodostunut) kehitys eri alkuperillä. Koe toteutettu Tuusulassa [295].

Käytännön taimikasvatuksessa kuusentaimien loppupituus määräytyy luonnon valorytmissä pääosin siemenen alkuperän ja kylvöajankohdan mukaan. Kasvatusolosuhteillakin on vaikutusta, mutta esimerkiksi Suonenjoen taimitarhan 10-vuotisessa aineistossa muiden tekijöiden kuin kylvöajankohdan vaikutus taimierien loppupituuteen jäi pieneksi (kuva 2.13).

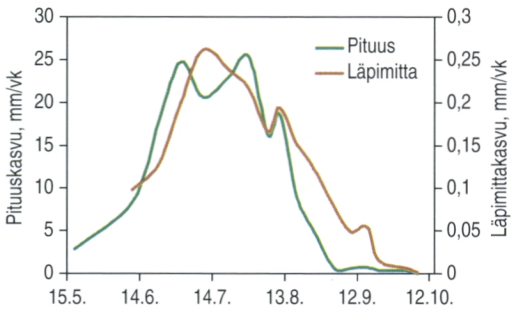
Taimien läpimittakasvun kuvataan usein alkavan hitaasti aikaisin keväällä, ja huipentuvan pituuskasvun päättymisen ja silmun muodostumisen jälkeen ja heikentyen sitten vähitellen lämpötilan laskiessa [234]. Suomen olosuhteissa taimien voimakkain läpimittakasvu näyttäisi seuraavan 1–2 viikon viiveellä voimakkainta pituuskasvua jatkuen aina lokakuun alkupuolelle saakka (kuvat 2.14, 2.15, 2.16).

Taimituotannossa joudutaan usein poikkeamaan taimien luontaisesta kasvurytmistä, kun taimi kasvatetaan tiettyyn kokoon asiakkaan toivomaan ajankohtaan. Pelkkä kylvöajan muutos vaikuttaa paitsi taimien pituuden, läpimitan ja painon kehitykseen, myös eri osien keskinäisiin suhteisiin, kuten juuriversosuhteeseen.

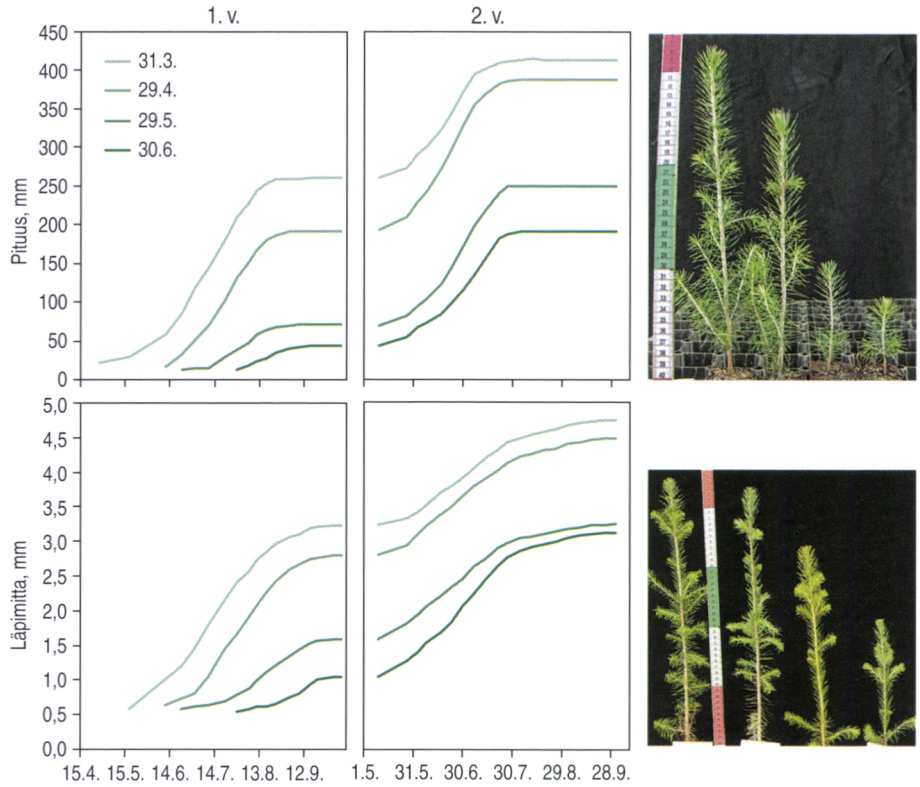
Oksien pituus ilmentää neulaspinta-alaa ja taimen fotosynteesikapasiteettia. Oksien kasvu alkaa kylvövuonna luonnollisesti myöhemmin kuin pituuskasvu, mutta muuten ajoittuu pituuskasvun lailla. Oksien pituus riippuu voimakkaasti kasva-



Kuva 2.13. Kylvöajankohdan vaikutus keskisuomalaista alkuperää edustavien yksivuotiaiden kuusentaimien pituuskehitykseen. Mallilla lasketut pituuskäyrät perustuvat 29 taimierän aineistoon 10 vuodelta Suonenjoen taimitarhalla [387].



Kuva 2.14. Kuusen taimien ensimmäisen kesän läpimittakasvu (ruskea) seuraa pituuskasvua (vihreä) 1–2 viikon viiveellä. Taimierä kylvetty 30.3.

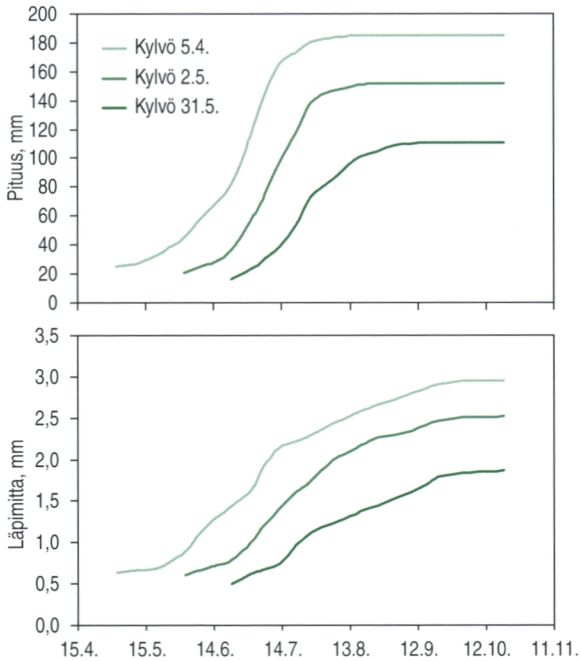


Kuva 2.15. Kuusen taimien pituuden ja läpimitan kehitys eri ajankohtien (31.3., 29.4., 29.5. ja 30.6.) kylvöksillä. Käyriin yhdistetty Plantek 64F, 81F ja 121F-paakuissa kasvatetut taimet. Toisena kasvukautena LP-käsittely (15.7.–5.8.) on pysäyttänyt pituuskasvun, mutta läpimittakasvu on jatkunut. Valokuvissa PL81F-taimia kylvöajankohdittain ensimmäisen ja toisen kasvukauden jälkeen.

tustiheydestä ja taimien kylvöajankohdasta (kuva 2.17). Mitä tiheämmässä taimia kasvatetaan, sitä heikompaa on oksien kasvu. Maalis-huhtikuun kylvöerien kuusentaimien oksien kasvu on jo kylvövuonna selvästi voimakkaampaa kuin myöhemmissä kylvöerissä. Toisena kasvukautena ensimmäisenä vuonna syntyneet erot korostuvat.

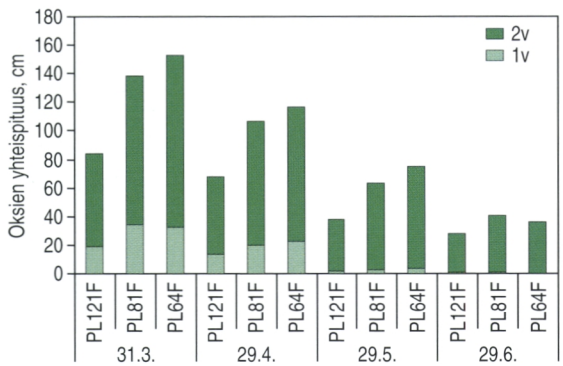
2.3.2 Karaistuminen

Karaistuminen on tapahtumasarja, joka valmistaa taimet kestämään matalia lämpötiloja. Taimien karaistuminen alkaa pituuskasvun päätyttyä, kun yö pitenee ja saavuttaa ao. taimien kannalta ns. kriittisen yön pituuden. Suomalaisilla puilla kriittisen yön pituus vaihtelee muutamasta tunnista (pohjoisin Suomi) 8–10 tuntiin (Etelä-Suomi) [204]. Taimien eri osien pakkaskestävyys kehittyy eri tahtiin ja eri ulkoisten tekijöiden ohjaamina (kuva 2.18).

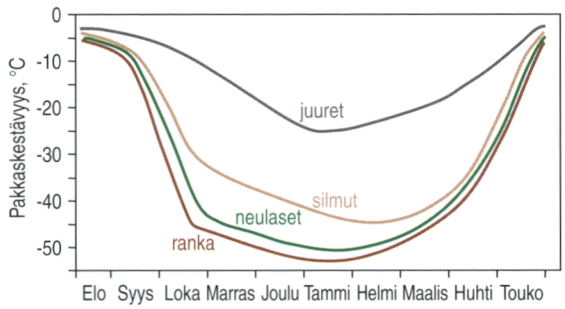




Kuva 2.16. Männyn taimien Pituuskasvu päättyy sitä aikaisemmin mitä varhaisemmin siemen on kylvetty. Läpimittakasvu jatkuu pituuskasvun päättymisen jälkeen jos olosuhteet ovat suotuisat. Käyriin yhdistetty Plantek 64F, 81F ja 121F -taimet. Valokuvassa 31.5., 2.5. ja 5.4. kylvettyjä PL81F-taimia (EO).



Kuva 2.17. Kylvöajankohdan ja paakun koon vaikutus oksien yhteispituuteen ensimmäisen ja toisen kasvukauden jälkeen.

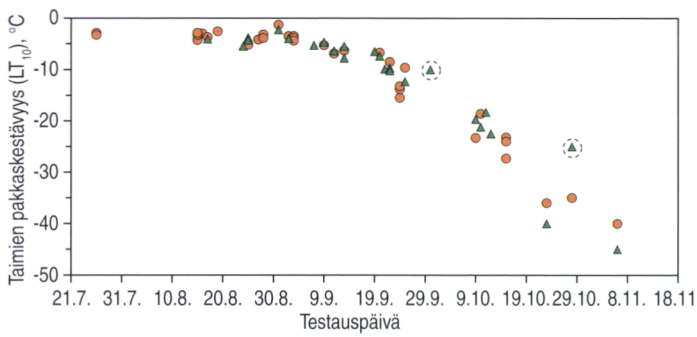


Kuva 2.18. Periaatekuva kuusentaimien eri osien pakkaskestävyyden kehityksestä. Kuva perustuu Suonenjoella tehtyihin mittauksiin ja kirjallisuudesta saatuihin arvoihin.

Verso

Taimien pakkaskestävyys määritellään usein lämpötilana, jossa puolet esim. taimista tai neulasista kuolee. Tällöin merkintä LT_{50} tarkoittaa lämpötilaa (lethal temperature), jossa 50 % taimista kuolee. Näin määritettynä saadaan luotettavampia tuloksia kuin esimerkiksi määritettäessä lämpötila, jossa 5 % taimista kuolee. Kasvukauden aikana neulasten pakkaskestävyys (LT_{50}) on -2...-4 °C. Verson karaistuminen käynnistyy, kun pituuskasvun päättyy ja silmu muodostuu (kuva 2.19). Syyskuun puolivälin jälkeen silmu on jo täysin kehittynyt ja ranka puutunut. Vaikka juurta lähellä oleva tyvi on rangan herkintä osaa [59], hallavauriot kohdistuvat taimen latvaan, missä lämpötila tavallisesti laskee alemmaksi kuin kasvuston sisällä. Kuusella karaistumisen alkuvaiheessa silmu ja rangan yläosa vaurioituvat yhtä herkästi kuin neulaset. Ensimmäinen merkki paleltumisesta on silmua ympäröivien neulasten ruskettuminen ja sen jälkeen varjossa kehittyneiden sivuoksien neulasten ruskettuminen. Muutaman neulasen ruskettuminen ei välttämättä merkitse silmun tuhoutumista. Syyskuun lopulla neulaset ja silmut saavuttavat n. -10 °C kestävyyden (10 % neulasista vaurioituu=LT_{10}) rangan kestäessä jo alempia lämpötiloja [271, 272].

Lokakuun puolivälissä neulaset kestävät pakkasta -15…-20 °C eli noin 5 °C silmua enemmän. Loka-marraskuun vaihteessa neulasten kestävyys on jo -30 °C ja rangan -40 °C [271, 357], mutta silmujen vasta -15…-20 °C [271, 272]. Silmujen pakkaskestävyys voi heiketä nopeasti uudelleen lämpötilan kohotessa [412]. Nopeat lämpötilan muutokset saattavatkin aiheuttaa silmujen vaurioitumista. Neulasten pakkaskestävyyden heikkeneminen vaatii useamman viikon pituisen lämpimän jakson [385].



Kuva 2.19. Kuusen 1-vuotiaiden (vihreä kolmio) ja 2-vuotaiden (oranssi ympyrä) taimien neulasten pakkaskestävyyden (LT_{10}=neulasista 10 % vaurioitunut) kehitys syksyllä. Tulokset perustuvat kaikkiaan 21 vuosina 1998–2008 Suonenjoella taimitarhalla kasvatettuun taimierään (taimieriä ei ole LP-käsitelty). Katkoviivalla ympyröidyt pisteet edustavat poikkeuksellisen lämpimien syksyjen havaintoja [207].

Vaikka pakkaskestävyyden keskimääräinen eteneminen tunnetaan, vuosien välillä vaihtelu voi olla suurta. Hallakastelun tarvetta tai pakkasvarastointikestävyyttä arvioitaessa onkin syytä testata taimien kestävyys vuosittain eräkohtaisesti, sillä myös toteutettu kasvatusohjelma ja -menetelmät vaikuttavat taimien karaistumisnopeuteen.

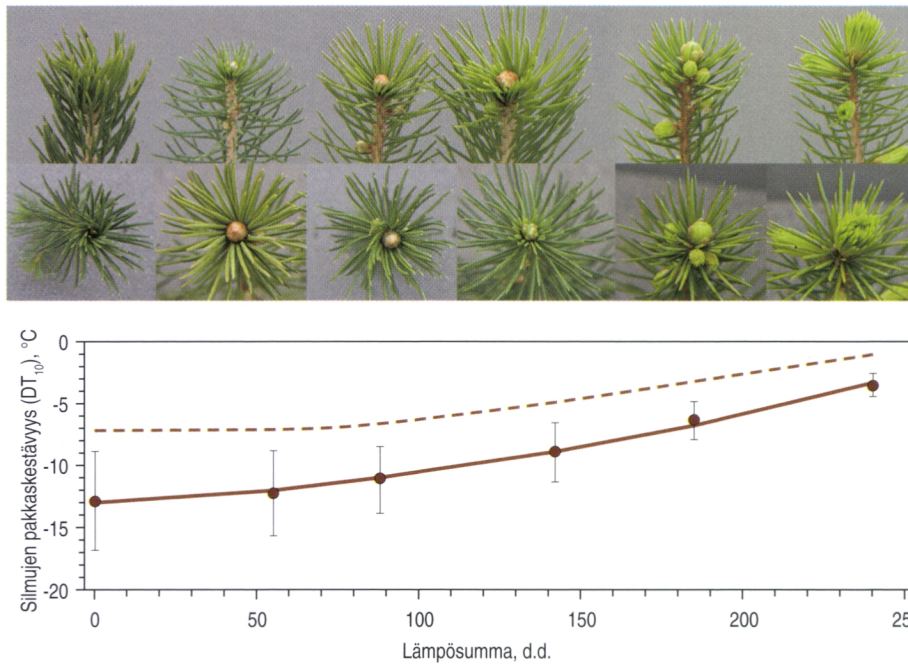
Emopuiden alkuperän ja siemenviljelysten taustapölytyksen lisäksi siemenen syntypaikan sää- ja valo-olosuhteilla voi olla merkittävä vaikutus siemenistä kehittyvien taimien vuosirytmiin eli karaistumisen purkautumiseen, kasvujakson pituuteen ja karaistumiseen [375]. Tällä ns. jälkivaikutuksella tarkoitetaan ilmiötä, jossa emon kasvupaikan ympäristötekijät muuttavat enemmän tai vähemmän pysyvästi jälkeläisten ominaisuuksia [407, 169]. Osa jälkivaikutuksesta voi selittyä siemenalkion kehittymisen aikaisista lämpö- ja päivänpituusolosuhteista, jotka muuttavat taimen kasvurytmiä ja lisäävät vapaan kasvun määrää ensimmäisinä kasvukausina. Jälkivaikutus voi ilmetä kasvun päättymisen ja karaistumisen ajoittumisessa sekä taimitarhalla että istutuksen jälkeen.

2.3.3 Suveentuminen ja kasvuunlähtö

Toisin kuin karaistumisen käynnistymisessä, lämpötilalla on lepotilan purkautumisessa ja kasvun alkamisessa valojaksoa tärkeämpi rooli. Kertyneiden valotuntien määrällä on todettu vain vähäinen vaikutus kasvun alkamiseen [319].

Silmuissa solutason toiminta alkaa varsin alhaisissa lämpötiloissa jo ennen kuin silmun sisällä tapahtuu kasvua [453]. Kuusella neulasaiheiden venyminen alkaa ennen silmujen päällepäin näkyvää turpoamista, kun lämpösumma lähenee 100 d.d. Tuolloin silmujen keskimääräinen pakkaskestävyys (lämpötila, jossa 10 % silmuista vaurioituu) on -12…-9 °C [275]. Ulospäin havaittavasti turvonneiden silmujen pakkaskestävyys on -9…-7 °C (kuva 2.20). Lämpösumman saavuttaessa 150 d.d., silmusuomut alkavat repeillä ja silmun pakkaskestävyys heikkenee -7…-4 °C:een ja kun neulaset lähtevät kasvuun, uuden kasvun pakkaskestävyys laskee edelleen -4…-2 °C:een. On huomattava, että edellä mainitut lämpötilat ovat ilman lämpötiloja ja luonnonoloissa hallayönä silmujen lämpötilat voivat olla 1–2 °C ilman lämpötilaa alhaisempia.

Taimien tai silmujen pakkaskestävyyttä on vaikea ennustaa tarkasti. Taimierien sisällä yksilöiden väliset erot kestävyydessä ovat usean asteen luokkaa pelkästään silmujen eriaikaisen puhkeamisen vuoksi. Myös edellisen kesän kasvatustoimenpiteet ja syksyn olosuhteet [98] voivat vaikuttaa suveentumiseen ja silmujen kestävyyteen seuraavana keväänä. Niinpä kuusen silmuja on joskus vaurioitunut -10 °C:ssa, vaikka lämpösummaa on kertynyt vasta 40–50 d.d. [370]. Lyhytpäiväkäsittely jouduttaa silmujen puhkeamista 2–7 vrk [204] ja korkea typ-



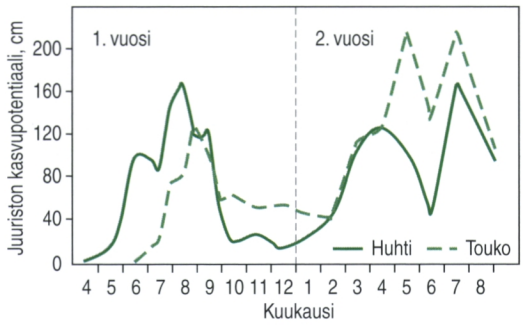
Kuva 2.20. Silmujen ulkoinen kehitys (EO) ja niiden pakkaskestävyys (DT10=10 %:ssa taimia kärkisilmu vaurioitunut) kevään edetessä (lämpösumman kertymä 0–240 d.d.) (yhtenäinen punainen viiva). Punainen katkoviiva kuvaa arvioitua lämpötilaa, jossa taimet eivät vaurioidu lainkaan, ja joka ottaa huomioon taimierän sisäisen vaihtelun sekä testiolosuhteiden ja tarhaolosuhteiden erot yhtenäistä punaista viivaa paremmin [275].

pipitoisuus 2–4 vrk [270]. Joinakin vuosina silmut voivat kestää hallaa paremmin kuin vanhat neulaset tai ranka, mikä myös voi olla seurausta edellisen syksyn sääolosuhteista.

Puulajien välillä on eroja suveentumisessa. Esimerkiksi yksivuotisten männyntaimien uuden verson pakkaskestävyys heikkenee hitaammin kuin kuusentaimien ja on heikoimmillaan vasta pituuskasvun päättyessä, kun lämpösumma on 400–500 d.d. [388].

2.3.4 *Juurten pakkaskestävyys*

Juuret karaistuvat selvästi versoa hitaammin, eivätkä ne kestä likikään yhtä alhaisia lämpötiloja kuin verso. Juuret karaistuvat syksyllä lämpötilan laskiessa [33], eikä päivänpituus vaikuta lainkaan tai vain vaikuttaa hyvin vähän juurten karaistumiseen [30]. Juuristo, toisin kuin verso, ei mene varsinaiseen lepotilaan, vaan kasvaa syystalvellakin, jos olosuhteet ovat suotuisat (kuva 2.21). Syyskuun lopulla juuret voivat vaurioitua -5 °C:ssa ja lokakuun lopulla -10 °C:ssa [197].



Kuva 2.21. Suotuisissa olosuhteissa juuret kasvavat ympäri vuoden, mutta kasvu heikkenee talvikuukausina. Huhti- ja kesäkuussa kylvettyjen männyntaimien juurten-kasvupotentiaali ensimmäisenä ja toisena vuonna. Taimet istutettu kuukauden välein suotuisiin kasvuoloihin kolmeksi viikoksi, jonka jälkeen on mitattu uusien juurien yhteispituus [286].

Lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle juuret karaistuvat verraten nopeasti ja ovat kestävimmillään joulu-tammikuussa, jolloin ne kestävät -15…-25 °C lämpötiloja [202, 256, 260, 411, 452]. Juurten pakkaskestävyyden kehittyminen vaihtelee vuosittain sääolojen mukaan. Poikkeavan lämmin sääjakso myöhäissyksyllä voi heikentää juurten pakkaskestävyyttä jopa 5 °C:lla [447].

Kevättalvella juurten pakkaskestävyys heikkenee tasaisesti tammikuusta lähtien riippumatta varastoidaanko taimia pakkasvarastossa tai lumen alla, ja ne saavuttavat -2…-4 °C:n kestävyyden huhtikuussa [260, 411]. On mahdollista, että lumien sulettua huhtikuussa ankarat yöpakkaset voivat vaurioittaa suojaamattomien paakkutaimien juuristoja.

Juurten pakkaskestävyys riippuu juuren paksuudesta. Lähellä verson tyveä olevat juurten osat ovat kestävimpiä [65]. Männyntaimilla 0,7–0,8 mm paksuiset juuret ovat 2–5 °C kestävämpiä kuin hienojuuret (<0,5 mm) [410,437]. Juurten kärkien karaistumisesta tiedot ovat ristiriitaisia, mutta todennäköisesti nekin karaistuvat hieman [65, 437]. Esimerkiksi männyllä, kun versot kestävät alle -35 °C lämpötiloja, sekä valkeiden että ruskeiden juurenkärkien pakkaskestävyydeksi on mitattu noin -11 °C [437].

2.4 Kasvatusvaiheet taimitarhalla

Tuotannon suunnittelua ja toteuttamista sekä kasvatuksen seurantaa varten kasvukausi voidaan jakaa vaiheisiin, jotka poikkeavat kasvatustavoitteiden, -olosuhteiden ja -toimenpiteiden osalta toisistaan. Käytetyin jako on seuraava: perustamisvaihe, nopean kasvun vaihe ja karaistumisvaihe. Perustamisvaihe jaetaan usein vielä kahteen osaan, itämisvaiheeseen ja varhaisen kasvun vaiheeseen. Tätä jaotusta käytetään jatkossa kasvatusolosuhteiden säätöä ja toimenpiteiden ajoitusta ja kuvattaessa.

Itämisvaihe alkaa kylvöksen ensimmäisestä kastelusta ja päättyy orastumiseen, kun sirkkataimi tulee omavaraiseksi ja alkaa muodostaa sirkkasilmusta lehtiä/neulasia. Koko vaihe kestää 3–5 viikkoa olosuhteista ja siemenen kunnosta riippuen. Itämisvaiheessa taimet ovat hyvin herkkiä erilaisille stresseille, kuten kylmyydelle, kuivuudelle ja märkyydelle. Myös tautiriski on suuri. Itämisen aikana olosuhteet pyritään pitämään mahdollisimman suotuisina tasaisen itämisen saavuttamiseksi.

Varhaisen kasvun vaiheessa taimi ei kasva havaittavasti pituutta, vaan kasvu suuntautuu juuristoon. Pituuskasvu jatkuu, kun uusia varhaisneulasia alkaa kehittyä. Hitaan kasvun vaihe kestää yleensä 3–6 viikkoa. Tänä aikana pääjuuri työntyy liki koko paakun syvyydelle ja sivujuuria alkaa muodostua.

Nopean kasvun vaiheessa taimi kasvaa nopeasti pituutta. Myös pääosa läpimitan kasvusta tapahtuu tässä vaiheessa. Vaiheen lopussa kasvu taas hidastuu. Vaiheen kesto riippuu puulajista, taimen iästä ja kasvatustoimenpiteistä sekä -olosuhteista. Kylvövuonna vaiheen kestää 4–10 viikkoa. Nopean kasvun vaiheessa kaikki kasvuolosuhteet pyritään pitämään optimaalisina.

Karaistumisvaiheen alussa taimen pituuskasvu päättyy ja silmun muodostuminen alkaa. Taimen läpimitan ja juurten kasvu jatkuvat, mutta heikkenevät valon määrän vähentyessä ja lämpötilan laskiessa. Taimet totutetaan kestämään kuivuutta ja kylmyyttä. Kasvatustoimien tavoitteena on pituuskasvun päättyminen ja silmun muodostumisen käynnistäminen olosuhteita säätämällä, kuten päivänpituutta lyhentämällä, lämpötilaa alentamalla tai kastelua vähentämällä. Viimeistään tässä vaiheessa yksivuotiaina metsään toimitettavien taimien juuriston on sidottava paakku kunnolla.

Karaistumisvaiheen toimenpiteet riippuvat myös taimien istutusajankohdasta. Kevät-, kesä- ja syysistutuksiin tarkoitettujen taimien karaisu on erilaista. Kesäistutuksessa käytetään yleensä kasvussa olevia taimia, joiden kuivuudenkestävyyttä voidaan kuitenkin lisätä pitämällä taimia ulkona vähintään 2–3 viikkoa ennen istutusta ja vähentämällä niiden kastelua.

3 Paakut ja kasvatusalusta

3.1 Paakut

Paakkutaimilla on pitkä historia metsänistutuksessa [151, 460]. Ensimmäiset keskiajalla metsänistutukseen käytetyt taimet, olivat eräänlaisia paakkutaimia. Luonnontaimia irrotettiin juuripaakun kanssa tiheässä kasvaneista kohdista tai varta vasten uudistusalan viereen perustetuista, muokatuista "taimitarhoista" ja siirrettiin taimettomiin kohtiin. Paljasjuuritaimien käyttöön siirryttiin, kun myös niiden havaittiin kestävän noston ja siirron. Paljasjuurisia taimia käytetään edelleen päätaimityyppinä mm. Etelä- ja Keski-Euroopassa sekä Yhdysvaltojen etelävaltioissa.

Pohjoismaissa paakkutaimien käyttö alkoi yleistyä 1960-luvun lopulta lähtien [263]. Suomessa paakkutaimien käyttö lisääntyi ensin pohjoisessa, missä männyntaimia alettiin kasvattaa paperikennoissa. 1970-luvun alussa taimista kasvatettiin jo noin 30 % paakuissa. Tällä hetkellä metsään toimitettavista taimista yli 99 % on paakkutaimia.

Paakkutaimien käytön alkuvaiheissa juurten kiertyminen ja epämuodostuminen aiheuttivat huolta sekä Suomessa että Ruotsissa [152, 259, 320, 353]. Uusia paakkutyyppejä kehitettiin tavoitteena tasapainoinen juuristo ja sittemmin myös soveltuvuus koneelliseen ja automatisoituun sekä hygieeniseen tuotantoon.

Suomessa on metsäpuiden taimia kasvatettu lukuisissa paakkutyypeissä, joista eniten käytettyjä olivat paperikenno ja sen seuraaja Ecopot, EPSistä (polystyreeni, "styroksi") valmistetut Takopot-kennostot, turveruukut ja Ensokennot. Erityisesti juuriston tasapainoista rakennetta ajateltiin kehitettäessä ns. kuutiopaakkutainta (Vapopaakku), jossa juurten leikkaamisella saadaan aikaan tuuheutuva, paakun sitova juuristo [321]. 1990-luvulla tuli markkinoille ns. kovamuovikennostoja (mm. Plantek, BCC, Blockplant, Starpot, Planta80), joiden seinämissä on juuriston kiertymistä ehkäiseviä ja haaroittumista edistäviä pystysuoria ohjauslistoja ja/tai seinämän läpäiseviä ilmarakoja (kuva 3.1). Lisäksi on käytetty Jiffy-potteja, jossa juuristo kasvaa verkkomateriaalin ympäröimässä turvepötkylässä.

Edellä mainittujen paakkutyyppien lisäksi maailmalla käytetään metsätaimikasvatuksessa runsaasti erityyppisiä paakkuja aina rei'itetyistä muovipusseista erillisiin, kasvatusyksiköissä pidettäviin 'muovihylsyihin' (esim. Ray Leach Single Cell System). Liitetaulukossa 1 on esitetty Pohjoismaissa tällä hetkellä käytössä olevien paakkutyyppien ominaisuuksia.



Kuva 3.1. Erityyppisiä paakkuja. Uusimmat paakut ovat kovamuovisia yhtenäisiä kennostoja (vasemmalla kuvassa Plantek 100F; EO), joiden pohja on avoin ja kennojen seinämissä on pystysuoria ilmarakoja ja/tai ohjauslistoja juuriston kiertymisen estämiseksi. Erillisiä kasvatusyksiköihin asetettavia "hylsyjä" voidaan täydentää ja harventaa tarpeen mukaan (keskikuvassa RayLeach; EO). Verkon sisälle pakattua, kastelussa turvepriketistä paisuvaa paakkua käytetään erityisesti Kanadassa (kuvassa oikealla Jiffy).

Paakun valinta on usein kompromissi. Paakun tulee täyttää paitsi biologiset myös taloudelliset sekä taimitarha- ja istutusteknologiaan ja -logistiikkaan liittyvät vaatimukset. Paakuille asetettavat tärkeimmät biologiset vaatimukset liittyvät kasvatustiheyteen, paakun tilavuuteen, paakun rakenteeseen ja muotoon sekä paakkuarkin puhdistettavuuteen.

Termit: Paakut ja kennot

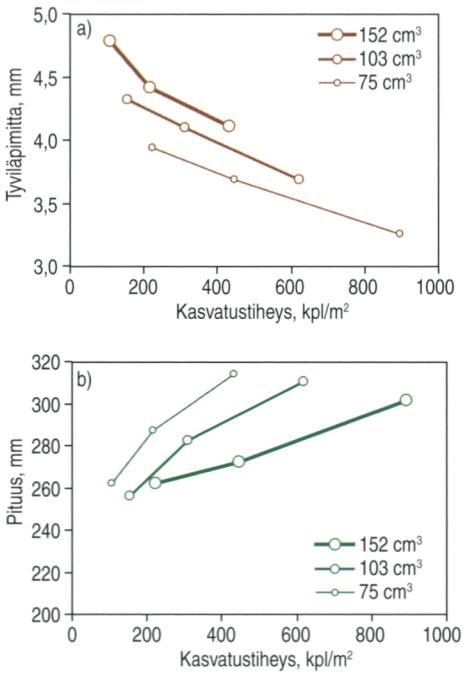
Tässä oppaassa käytetään termiä *paakkutaimi* yleisnimenä metsänviljelytaimille, jotka istutetaan juuripaakun kanssa. Paakkutaimista käytetään yleisesti myös nimityksiä *kennotaimi, pottitaimi, ruukkutaimi* ja yksittäisestä paakusta *kenno, potti, ruukku, holkki* tai *hylsy* vaihdellen paakkutyypin mukaan. Paakkujen tai kennojen muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan *laatikoksi, arkiksi* tai *kennostoksi*. Jos juuripaakun tilavuus on suurempi kuin 0,5 litraa, puhutaan usein *astiataimista*, joita käytetään esimerkiksi koristepuutuotannossa. Toisin kuin metsäpuolella puutarhapuolella paakkutaimella ymmärretään usein avomaapellolla kasvatettuja kookkaita taimia, joiden juuripaakku kääritään noston jälkeen verkkoon tai säkkikankaaseen.

3.1.1 Kasvatustiheys ja paakun tilavuus

Kasvatustiheys ja paakun tilavuus vaikuttavat olennaisesti taimien kasvuolosuhteisiin ja kasvuun. Tiheyden kasvaessa yksittäisen taimen vastaanottama valon määrä vähenee ja laatu muuttuu, kasvustossa ilman suhteellinen kosteus kasvaa ja taimiin kohdistuva mekaaninen rasitus (tuuli) pienenee. Harvemmassa asennossa taimet saavat enemmän valoa alaneulasille, mikä edistää niiden karaistumista [473] ja pienentää tautiriskiä. Suuremman turvepinnan vuoksi suuressa paakussa kastelu muodostuu tasaisemmaksi, mikä tasoittaa taimien veden sekä ravinteiden saantia.

Kasvatustiheys ja paakun koko määrittävät taimen kasvutilan ja vaikuttavat siihen kuinka kauan taimia voidaan kasvattaa ao. paakuissa; mitä pienempi paakku ja tiheämpi kasvatusasento, sitä lyhyempi kasvatusaika. Useimmissa paakkutyypeissä juuripaakku muodostuu juurten sitoessa turpeen. Minipaakussa (10–20 cm^3) juuristo voi sitoa turpeen jo 1–2 kuukauden kasvatuksessa, mutta suuremmissa paakuissa (>100 cm^3) se voi viedä kaksi kasvukautta.

Mitä tiheämmässä taimia kasvatetaan, sitä hennompia ja pitempiä niistä kasvaa (kuva 3.2). Suuri kasvatustiheys johtaa myös suurempaan kokovaihteluun [7]. Myös paakun tilavuus vaikuttaa taimien läpimittaan ja juuriston kokoon; pieni tilavuus johtaa ohuisiin ja pienempijuurisiin taimiin (kuva 3.3). Vaikka paakkutaimilla juuriverso-suhdetta ei olekaan pidetty yhtä olennaisena tunnuksena kuin paljasjuuritaimilla [17], tulee juuriston sitoa paakku hyvin, mutta se ei saa ahtautua liikaa [445]. Tanakoiden ja sopusuhtaisten taimien tuottaminen edellyttää, että taimien kasvatusaika sopeutetaan kasvatustiheyteen ja paakun kokoon. Suomessa paakut ryhmitellään käytännön tarpeita varten karkeasti viiteen kokoluokkaan (taulukko 3.1).



Kuva 3.2. Kasvatustiheyden ja paakun tilavuuden vaikutus 2-vuotisten kuusen paakkutaimien (Ecopot) tyviläpimittaan (a) ja pituuteen (b) [377].



Kuva 3.3. Kasvatustiheys ja paakun koko vaikuttavat tyviläpimitan ja juuriston kasvuun. Kesäkuun lopussa kylvettyjen 1,5-vuotisten kuusentaimien keskityviläpimitat paakkutyypeittäin: PL121F 2,5 mm, PL81F 3,1 ja PL64F 3,3 mm.

Taulukko 3.1. Paakkutyyppien luokitus ja taimien pituussuositus paakun koon (tilavuus ja kasvatustiheys) mukaan. Luokittelu ja nimitykset vaihtelevat jonkin verran taimituottajittain.

Kokoluokka	Paakun tilavuus, cm^3	Kasvatus-tiheys, kpl/m^2	Kuusen-taimien ikä, v	Kuusierän tavoitekeski-pituus, cm	Mäntyerän (1 v) tavoitekeski-pituus, cm
Mini	15–40	1200–2000	0,5	(5–12)	5–8
Pieni	40–80	700–1200	1–1,5	12–22	6–14
Keski	80–125	500–700	1,5–2	15–26	10–16
Iso	125–200	300–500	2	20–30	14–22
Jätti	200–	–300	2–3	25–45	

Koska kasvatustiheys vaikuttaa voimakkaasti kustannuksiin, olisi taloudellista kasvattaa taimet aluksi tiheässä ja harventaa myöhemmin taimien kasvaessa. Tähän on kaksi vaihtoehtoa: joko erillispaakkujen (kasvatustelineestä irrotettavat kennot) käyttö ja niiden siirto harvempaan asentoon taimien kasvaessa (esim. Ray Leach, Hiko) tai ns. paakku-paakkuun koulinta eli taimien kasvatus ensin pienemmässä paakussa ja koulinta myöhemmin isompaan paakkuun, jolloin taimitiheys väljenee koulinnan yhteydessä.

3.1.2 Paakun muoto, rakenne ja materiaali

Juuriston epämuodostuminen on seurausta juurten kasvamisesta kasvualustan ja kennon seinämän väliin tai pohjaan ja kiertymisestä pitkin seinämää. Verkkomainen seinämä tai ilmaraot ja ohjauslistat seinämissä ja pohjassa vähentävät juurten kiertymistä ja johtavat juurten kasvun alaspäin. Ilmarakojen ja verkon toimiminen edellyttävät kohokasvatusta, jolloin kuiva ilma pääsee kosketuksiin turpeen kanssa ja pysäyttää juurten kasvun. Jos ilma on hyvin kosteaa taimiarkkien alapuolella tai paakkuarkkeja pidetään maassa, juuret kasvavat ulos ilmaraoista ja jopa toisiin paakkuihin (kuva 3.4). Paakuista uloskasvaneet juuret tulee leikata viimeistään 2–3 viikkoa ennen kasvukauden päättymistä tai kesällä 1–2 viikkoa ennen istutusta niin, että juuristo ehtii toipua ja kasvattaa uusia juurenkärkiä ennen varastointia tai istutusta.

Paakun pohjareikien tulisi olla suuria, jotta ulospyrkivä juuristo ei niitä tuki ja estä liikaveden valumista ulos, mutta ei liian suuria, jotta kasvualusta ei paakkuja täytettäessä valu ulos paakusta. Nykyisin pohja-aukoilla ja sivuseinien ilmaraoilla varustetuissa paakuissa rakojen osuus seinämästä on 10–15 %. Tämän vuoksi ilmaraollisissa paakuissa turve kuivaa nopeammin ja niiden kastelu on vaativampaa kuin umpiseinäisten paakkujen. Kanadassa on valkokuusen kasva-

tukseen suositeltu umpiseinäisiä paakkuja ilmaraollisten paakkujen nopeamman kuivumisen ja sitä seuraavan kasvun epätasaisuuden vuoksi [221].

Paakun muoto, korkeuden ja läpimitan suhde, on yleensä taloudellisten ja teknisten tekijöiden sanelema. Tutkimusten mukaan eri puulajien biologiset vaatimukset poikkeavat toisistaan. Paakun korkeuden ja läpimitan suhde 1:1 tuottaa painavampia valkokuusentaimia kuin suhteet 3:1 tai 6:1 [87], mutta kontortamännyn kasvuun ei suhteella ole vaikutusta [48]. Suomessa yleisesti käytössä olevilla paakuilla suhde vaihtelee 1:1 ja 2,5:1 välillä.

Seinämien varustaminen ilmaraoilla sekä tekniset seikat, kuten taimen irrottaminen paakusta, ovat johtaneet siihen, että useat paakkutyypit ovat alaspäin kapenevia. Paakun irrottamista voi myös vaikeuttaa juurten kasvu seinämämateriaaliin, jos se on pehmeää (EPS, pahvi, paperi).

Paakun materiaali, muoto ja rakenne vaikuttavat kasvualustan kosteuteen ja kasteluun. Jos paakun yläläpimitta on pieni, kasteluvesi voi latvuspeiton vuoksi jakautua epätasaisesti. Myös paakun pieni korkeuden suhde läpimittaan (matala paakku) voi johtaa syvyyssuunnassa epätasaiseen kuivumiseen. Paakun pohjalle muodostuu veden kyllästämä kerros, josta vesi ei alla olevan ilmatilan vuoksi valu vapaasti ulos, ja kun kasvualustan pinta kuivuu, muodostuu matalaan paakkuun voimakas kosteusgradientti.

Paakun seinämämateriaalin eristävyys ja väri vaikuttavat kasvualustan lämpötilaan. Tumma seinämateriaalin väri kohottaa kasvualustan lämpötilaa reunapaakuissa. Kesällä laitimmaisten taimiarkkien mustaseinäisten reunapaakkujen lämpötila voi lämpimänä, aurinkoisena päivänä nousta 10–15 °C arkin keskellä olevia paakkuja korkeammaksi, aina 50 °C:een, mikä heikentää kasvua ja voi kuivattaa ja tappaa juuria [508]. Tästä syystä kuumilla seuduilla käytetään valkeasta materiaalista valmistettuja paakkukennostoja. Paakkuarkkien reunojen suojaaminen esim. solumuovinauhalla vähentää kuumuus- ja kuivuustuhoja (kuva 9.19).

Paakkumateriaalin hyvä lämmöneristävyys (esim. EPS) voi nopeuttaa juurten kehittymistä keväällä, kun maasta hohkaa kylmyyttä. Toisaalta eristävä paakku altistaa taimet syyshalloille, kun maan ulossäteily yöllä estyy eikä lämmitä kasvualustaa ja taimia. EPS-kennostojen päällä on hallaöinä mitattu useita asteita alhaisempia lämpötiloja kuin esim. Ecopot-kennoston päällä.

3.1.3 Kemiallinen juurtenleikkaus

Juurten kasvun säätelemiseksi paakun sisäseiniä on käsitelty kupariyhdistemaalilla tai jollakin muulla juurten kasvua estävällä aineella. Näin tehdään Kanadassa EPS-kennostoissa, ja Ruotsissa kovamuovisissa Jackpot-ja Powerpot-paakuissa. Myös Ecopot-arkkeja toimitetaan käsiteltynä juurten kasvua kennosta toiseen estävällä kemikaalilla.

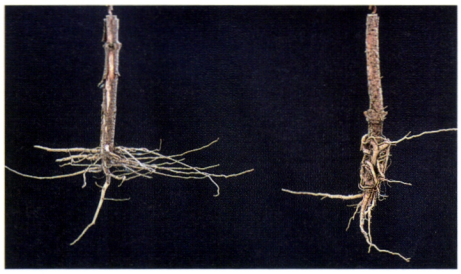
Juuriston rakenteen on todettu tuuheutuvan ja epämuodostumien vähenevän tällä "kemialliseksi juurtenleikkaukseksi" kutsutulla menetelmällä [225, 405]. Kuparin on myös havaittu vähentävän tarhalla taimien juurten altistumista *Fusarium*-sienelle [83]. Kemiallisesti käsitellyissä paakuissa kasvaneiden taimien uudet juuret kasvavat istutuksen jälkeen ulos paakusta tasaisemmin jakautuneina kuin käsittelemättömissä paakuissa kasvaneet juuret [506]. Erot kuitenkin häviävät yleensä muutamassa vuodessa [356], joskin pitempiaikaisiakin positiivisia vaikutuksia on havaittu eräillä mäntylajeilla[5]. Kuparikäsittelyn haittapuolena on kuparin mahdollinen huuhtoutuminen kennostoista taimitarhamaahan, mutta tätä on pidetty myös liioiteltuna ongelmana [68].

3.1.4 Paakun puhdistettavuus

Osa paakuista on kertakäyttöisiä, eikä niistä aiheudu hygieenisyysongelmia uudelleenkäytön vuoksi. Näissä paakkutyypeissä taimi joko istutetaan paakunmuodostajan kanssa (paperikenno, turveruukku, jiffy) tai se (ecopot) poistetaan ennen istutusta. Kertakäyttöisetkin paakut kasvatetaan muovisissa telineissä tai laatikoissa (esim. "Lännen laatikko"), joiden helppo puhdistettavuus on tärkeätä. EPS- ("styroksi") ja kovamuovisia kennostoja käytetään jopa kymmeniä kasvatuskertoja, mikä asettaa vaatimuksia sekä niiden kestävyydelle että puhdistettavuudelle. Pehmeissä EPS-alustoissa ongelmana on juurten kasvaminen kennon seinämään kiinni, mikä vaikeuttaa kennoston puhdistamista. Joskus kovamuovikennostojen koloihin ja ilmarakoihin jää pesusta huolimatta turvetta ja juurenkappaleita, jotka ovat potentiaalisia taudinkantajia ja rikkojen pesimispaikkoja. Paakkuarkkien puhdistaminen kannattaa tehdä huolella rikka- ja tautiongelman välttämiseksi [159, 217].

3.2 Paakun vaikutus taimien menestymiseen istutuksen jälkeen

Paakun koko, kasvatustiheys, seinämärakenne ja -materiaali vaikuttavat paitsi taimien kasvuun taimitarhalla myös niiden juurtumiseen ja kasvuun istutuksen jälkeen.



Kuva 3.4. Paakun koko ja muoto sekä ennen kaikkea kasvatusajan pituus vaikuttavat juuriston rakenteeseen. Liian pitkään kasvatetun taimen juuristo ahtautuu paakussa ja juuriston kasvu istutuksen jälkeen on heikko. Kuvassa kolme kasvukautta istutuksen jälkeen nostettujen männyntaimien juuristoja. Vasemmalla juurileikattu Vapopaakku, oikealla Takopot (EO).

Taimien mukautumiselle istutuspaikan olosuhteisiin juurten tasapainoinen rakenne on tärkeä. Näin erityisesti männyllä, koska sen kasvu istutuksen jälkeen suuntautuu versoon, eikä se kuusen tavoin kykene muodostamaan jälkijuuria. Olennaisia tekijöitä ovat sopivan pituinen kasvatusaika ja juurten tasapainoista kehitystä ohjaavat paakun ominaisuudet [173]. Kokeessa, jossa verrattiin erilaisissa paakuissa kasvatettujen mäntyerien istutuksen jälkeistä menestymistä ja juurten kasvua havaittiin, että juurileikattu Vapo-paakku tuotti parhaan juuriston, joka kehittyi istutuksen jälkeen tasapainoisesti. Muilla tutkituilla paakkutyypeillä (EPS ja ecopot) kasvatusajan pituus oli ratkaiseva juuriston rakenteen kannalta (kuva 3.4).

Vuosikymmenien saatossa on tehty lukuisia testejä, joissa on vertailtu erilaisten paakkutyyppien menestymistä istutuksen jälkeen. Näiden vertailujen ongelmana on se, että erityyppiset paakut vaativat erilaisen kasvatuksen. Tämän vuoksi sekä kasvatuksen onnistuminen että paakkutyypin ominaisuudet vaikuttavat tulokseen, mikä vaikeuttaa tulosten tulkintaa. Keskeiseksi tekijäksi nousee sopiva kasvatusajan pituus paakun kokoon ja kasvatustiheyteen nähden. Testien tulokset ovat usein jääneet ristiriitaisiksi ja johtopäätös on usein se, että onnistuneen taimikasvatuksen jälkeen, istutuskohdan valinnalla on suurempi merkitys kuin paakkutyypillä. Näin on todettu mm. verrattaessa kuparimaalatuissa tai maalaamattomissa styroblock- ja kovamuovisissa, ilmaraoilla varustetuissa airblock-kennostoissa kasvatettujen kontortamännyn taimien istutusmenestystä [171].

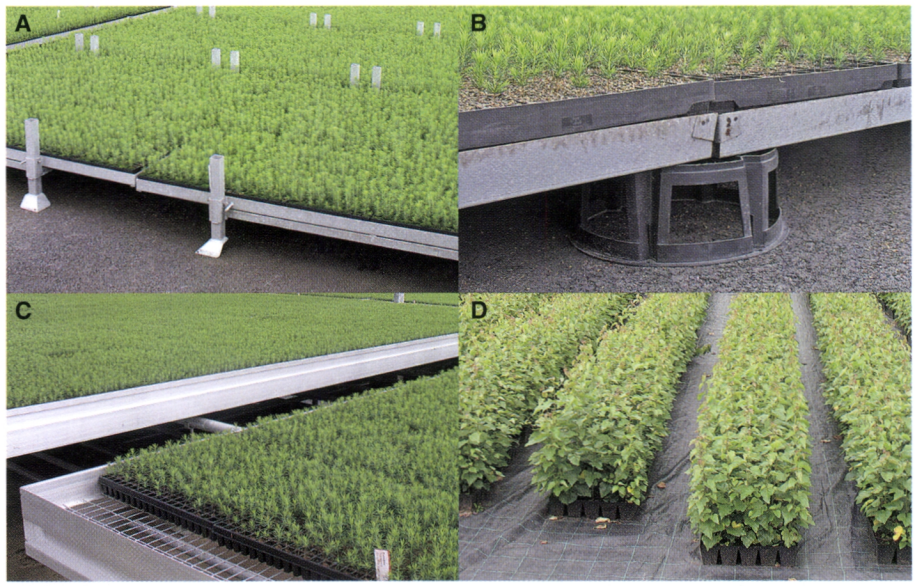
3.3 Kasvatusalusta

Kasvatusalustalla tarkoitetaan pohjaa, kehikkoa tai tukirakennetta, jolla taimiarkkeja pidetään kasvatuksen aikana. Paakkutaimikasvatuksen alkuaikoina taimiarkkeja pidettiin muovihuoneiden turve/multapohjilla tai entisillä avomaakasvatuskentillä, joilla juuret kasvoivat nopeasti paakuista maahan. Myöhemmin nämä pohjat katettiin erilaisilla kasvatuskankailla, jotka helpottivat tilannetta, mutta eivät poistaneet ongelmaa kokonaan. Sittemmin on siirrytty kasvatuskankaalla

peitettyihin tai paljaisiin hiekka-, sepeli- tai asfalttipohjiin. Viimemainitut helpottavat kasvatuspohjien puhdistettavuutta ja taimien koneellista siirtoa.

Koska useimmat paakkutyypit, erityisesti ilmaraoilla varustetut kovamuoviset kennostot edellyttävät ns. kohokasvatusta, on käytössä erilaisia tukirakenteita, joilla paakkuarkit nostetaan 10–30 cm maanpinnan yläpuolelle. Ensimmäiset kokeilut tehtiin nostamalla laatikot kolmiorimoista rakennetuille tasoille, mikä helpotti myös ergonomisesti taimiarkkien kitkemistä ja harvennusta [389]. Sittemmin koneellistamisen myötä erilaiset suuralustat ovat syrjäyttäneet muita tukirakenneratkaisuja (kuva 3.5). Puutarhapuolella yleistyneet kuljettimet ja siirrettävät pöytäratkaisut, jotka helpottavat työskentelyä ja tehostavat tilankäyttöä, soveltuvat myös metsäpuiden taimien kasvatukseen.

Paakkuarkin alle tarvittavan ilmatilan korkeus riippuu ilman kosteudesta ja tuuletuksesta [422]. Hyvin tuuletetussa tilassa 15 cm riittää, mutta jos ilma ei vaihdu ja on kosteaa, saattavat juuret kasvaa 5–10 cm ulos paakuista vaikka ilmatilaa olisi 20 cm. Riittävä tuuletus ja ilmatila takaavat sen, että juuristo pysyy paakussa eikä pääse kosketukseen maan kanssa. Näin on pystytty vähentämään myös taimien juurilahoriskiä [502]. Kasvatustason nostaminen 80–100 cm:n korkeuteen parantaa ergonomiaa helpottaen taimien harventamista, taimiarkien kitkemistä ja näytteiden ottoa. Toisaalta liian kuiva ilma kennoarkkien alla edellyttää tarkkuutta kastelussa. Ulkona varastoitavat taimiarkit on muistettava laskea kohotetuilta alustoilta maahan juurten pakkasvaurioiden estämiseksi.



Kuva 3.5. Jaloilla varustettu suuralusta (**A**), kohotassuille nostettu suuralusta (**B**), siirtopöytä (**C**) ja sepelin päälle levitetty kasvatuskangas (**D**).

4 Kasvualusta

4.1 Kasvualustan tehtävät

Kasvualustan ominaisuuksia voidaan tarkastella sekä taimien että kasvattajan näkökulmasta. Kasvualustan on tarjottava taimen juurille suotuisa kasvuympäristö niin fysikaalisesti, kemiallisesti kuin biologisesti. *Fysikaalisesti* kasvualustan on oltava huokosjakaumaltaan kasvualustaksi sopiva; pidättää riittävästi vettä ja samalla taata riittävä ilmatilan ja ilmanvaihdon juuriston hapen tarpeen tyydyttämiseksi. Kasvattajalle tärkeitä ominaisuuksia ovat kasvualustan rakenteen laadun tasaisuus ja pysyvyys, soveltuvuus viljelytekniikkaan, käsiteltävyys sekä se, että juuristo pystyy ankkuroitumaan siihen ja samalla sitomaan juuripaakun käsittelyä kestäväksi.

Kemiallisiin ominaisuuksiin kuuluvat kasvualustan ravinnekoostumus, happamuus ja pinta-aktiivisuus (suuri kationinvaihtokapasiteetti, KVK). Mitä suurempi KVK sitä enemmän kasvualustaan voi varastoida ravinteita. Kemiallisesti aktiivisia kasvualustoja ovat eloperäiset kasvualustat, kuten multa ja turve. Turpeen KVK on 90–160, peltomaan humuksen 200 ja puhtaan saven noin 30 me/100 g [344]. Inaktiivisia ovat monet keinotekoiset materiaalit, kuten kivivilla ja perliitti. Mahdollisten haitallisten alkuaineiden (esim. alumiini, kloridi) ja eloperäisten yhdisteiden pitoisuus voi rajoittaa kasvualustan käyttöä.

Kasvualustan happamuuden pitää olla sopiva kasvatettaville taimille. Happamuusvaatimus vaihtelee puulajeittain jonkin verran ja kotimaisilla puulajeillamme se on alhaisempi (pH 4,5–5,5; ks. kohta 7.1.4) kuin useimmilla puutarhakasveilla. Luonnostaan happamia kasvualustoja, kuten turvetta kalkitaan sopivan happamuuden saavuttamiseksi. Kaikissa eloperäisissä kasvualustoissa on *biologista* mikrobitoimintaa, joka voi olla hyödyllistä tai haitallista. Mikrobien toiminnan seurauksena eloperäiset kasvualustat hajoavat vähitellen.

4.2 Erot paakun ja rajoittamattoman kasvatuspenkin välillä

Paakkutaimituotannon alkuvaiheessa kasvualustana käytettiin luonnonmaata, multaa ja hiekkaa sekä niiden sekoitteina erilaisia orgaanisia aineita, kuten kuorta, turvetta yms. Pian havaittiin, että kasvatus tilavuudeltaan rajatussa paakussa on vaikeampaa kuin kasvatuspenkissä, jossa juuret voivat levittäytyä vapaasti veden ja ravinteiden hakuun ja vesi voi nousta kapillaarisesti juurien ulottuville.

Metsäpuiden taimien tuotannossa käytetään paakkuja, joiden tilavuus on verraten pieni (15–500 cm^3). Yleisimmin käytetyt tilavuudet ovat 50–120 cm^3 (taulukko

3.1). Näissä paakuissa vesi- ja ravinnevarastot ovat pieniä ja muutokset lämpö-, ravinne- ja kosteusolosuhteissa ovat huomattavasti nopeampia kuin penkkikasvatuksessa. Paakkutaimikasvatuksessa on tyypillistä myös, että kastelun jälkeen paakun pohjalle muodostuu vedellä kyllästynyt kerros, josta vesi ei pääse vapaasti valumaan pois, vaikka paakun pohja onkin rei'itetty.

4.3 Huokoskokojakauma ja siihen vaikuttavat tekijät

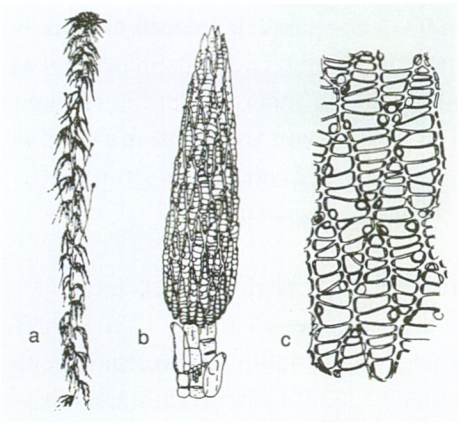
Kasvualusta koostuu kiinteistä hiukkasista ja niiden väliin jäävistä huokosista. Huokostila riippuu hiukkasten koosta, muodosta ja tilajärjestyksestä. Huokostilasta puhuttaessa on syytä erottaa kolme termiä: kokonaishuokostila, ilmatila ja vesitila. *Kokonaishuokostilalla* tarkoitetaan prosentteina ilmaistavaa kasvualustassa olevaa tyhjää tilaa, joka jää hiukkasten väliin tai niiden huokosiin. *Vesitila* on lähinnä pienemmistä huokosista koostuva osa huokostilaa, joka on veden täyttämä. *Ilmatila* on kokonaishuokostilan ja vesitilan erotus, joka koostuu lähinnä isoista huokosista.

Kokonaishuokostila, vesitila ja ilmatila vaihtelevat voimakkaasti kasvualustasta ja kastelusta riippuen (taulukko 4.1). Puustjärven mukaan hyvän kasvualustan kokonaishuokostilan tulisi olla yli 90 % ja sen tulisi jakautua puoliksi vesi- ja ilmatilaan [339]. Esimerkiksi vaalea rahkaturve täyttää nämä vaatimukset hyvin.

Hiukkasten kokojakauma määrää pääosin kasvualustan huokoisuuden [107]. Lisäksi huokostila riippuu paakun täyttötiiviydestä ja korkeudesta. Sopiva hiukkaskoko riippuu materiaalista ja paakun tilavuudesta. Turpeelle suositellaan hiukkaskokoa 0,8–6 mm. Hiukkaskoon pienetessä turve kyllästyy helposti vedellä ja pysyy liian märkänä. Karkeammat hiukkaset eivät taas pidätä riittävästi vettä. Kuorirouheelle sopivana hiukkaskokona pidetään 0,1–0,25 mm ja hiekalle 0,25–1 mm.

Taulukko 4.1. Eräiden kasvualustojen tai seosaineiden ominaisuuksia: tiheys sekä huokostila, ilmatila ja vesitila kun kasvualusta on kyllästetty vedellä (paakkukapasiteetti) [114, 226, 344].

Kasvualusta	Tiheys	Huokostila	Ilmatila	Vesitila
	g/litra		%	
Vaalea rahkaturve	70–90	93–97	12–20	75–90
Perliitti	85–140	90–98	28–32	50
Kookoskuitu	40–80	86–94	9–14	70–80
Kivivilla	200	90–96	20–40	50–60
Hiekka	1200–1800	38	3	10
Vermikuliitti	109	80,5	27,5	53



Kuva 4.1. Rahkaturpeen (*Sphagnum cuspidatum*) hyvät kasvatusominaisuudet perustuvat sammalen huokoiseen rakenteeseen (**a** = koko kasvi, **b** = lehti, **c** = lehden solurakenne) [322].

Hiukkasten fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet vaikuttavat huokosrakenteen pysyvyyteen. Turve ja vermikuliitti voivat tiivistyä, kun taas hiekka, perliitti ja kuori säilyttävät paremmin rakenteensa. Turve ja vermikuliitti myös murenevat helposti käsittelyn (säkeistä purku, sekoitus, täyttö) aikana. Erityisesti kierukkakuljettimen on todettu murentavan turpeen rakennetta ja lisäävän pienten hiukasten osuutta[107,133, 508], mitä voi vähentää kostuttamalla turvetta [298]. Eräät seosaineet, kuten kuori ja sahajauho taas kutistuvat tai maatuvat kasvatuksen aikana.

Monet seosainehiukkaset ovat rakenteeltaan huokosettomia, mutta sellaisissa materiaaleissa kuin turve, vermikuliitti ja kuorirouhe, on suuri hiukkasten sisään jäävä huokostila, johon voi varastoitua vettä. On arvioitu, että esim. turvehiukkasten sisäisen huokostilan (kuva 4.1) vedestä yli 90 % olisi kasveille käyttökelpoista [322], joskin Puustjärven [344] mukaan tiukasti pidättynyttä vettä ja se toimisi vain "hitaan kasvun" vesivarastona. Perliitillä ja hiekalla taas ei ole avointa sisäistä huokosrakennetta, minkä vuoksi niitä käytetään seosaineena lisäämään kasvualustan ilmavuutta ja vedenjohtavuutta.

Kasvualustan fysikaalinen ja kemiallinen tasalaatuisuus (homogeenisuus) on erittäin tärkeää kasvatettaessa taimia pienissä paakuissa. Paakkujen täytön, kastelun, lannoituksen sekä yleensä taimien kasvatuksen onnistuminen on paljolti kiinni kasvualustan rakenteen, kosteuden ja ravinnepitoisuuden tasaisuudesta. Tämä on tärkeää käytettäessä turvetta, mutta vielä tärkeämpää useamman komponentin seoksilla.

4.4 Kasvualustan rakenteen pysyvyys

Paakkutaimikasvatuksessa kasvualustan rakenteen pysyvyys on tärkeää, jotta kasvuolot säilyvät samanlaisina koko kasvatuksen ajan. Kasvualusta ei saisi elää, kutistua tai turvota. Rakenne voi muuttua kuivumiskutistumisen, maatumisen tai lajittumisen seurauksena. Turpeen kutistuminen riippuu sen koostumuksesta ja maatumisasteesta. Vaalea rahkaturve kutistuu kuivuessaan 0–16 % [114]. Kutistuessaan turpeen ja paakun seinämien väliin jää rako, joka johtaa paakku-

jen epätasaiseen kostumiseen. Eloperäisen aineksen, kuten turpeen biologinen hajoaminen aiheuttaa tiivistymistä ja juuripaakun tilavuuden pienenenemistä, mutta sillä ei ole merkitystä taimien lyhyen kasvatusajan vuoksi [116]. Tilavuutta pienentää myös hiukkasten "uudelleen järjestäytyminen" esim. kastelun tai sateen vaikutuksesta. Erityisesti seoksissa, joissa on hiekkaa tai vermikuliittia, lajittuminen aiheuttaa tiivistymistä ja ilmavuuden vähenemistä.

Jos kasvualustan rakenne olennaisesti muuttuu, esim. tiivistyy, kastelutapoja ja ohjearvoja joudutaan muuttamaan kesken kasvatuksen. Näin voi käydä erityisesti käytettäessä kasvualustaseoksissa kompostoimattomia orgaanisia aineita. Tämän vuoksi esim. sahanpurua ja kuorta suositellaan kompostoimaan ennen käyttöä. Useampivuotisessa kasvatuksessa myös taimien juuriston kasvu muuttaa kasvualustan ilmatilaa ja pienentää erityisesti isoimpien huokosten osuutta.

4.5 Ravinteiden pidätyskyky

Kasvit ottavat välttämättömät aineet kasvualustasta alkuaine- tai molekyyli-ioneina. Kasvualustaveden ainekoostumus määräytyy aineiden pidättymiskyvystä kasvualustamatriisin hiukkasten pinnoille. Taimitarhalla kasvualustaveden ainekoostumusta säädellään kalkituksella ja lannoituksella. Koska paakun tilavuus on pieni, kasvualustan täytyy varastoida tehokkaasti ravinteita tai lannoituksen täytyy olla usein toistuvaa.

Kasvualustassa ravinteet esiintyvät pääosin joko sähköisesti negatiivisesti varautuneina anioneina tai positiivisesti varautuneina kationeina. Valtaosa (85 %) ravinteista on kationeina. Kasvualustan kationiravinteiden (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}) varastoimiskykyä mitataan kationinvaihtokapasiteetilla (KVK). Yksikkönä käytetään milliekvivalenttia (meq) kasvualustan painoyksikköä tai paakkutaimikasvatuksessa usein käytettyjen keveiden kasvualustojen osalta tilavuusyksikköä kohti. KVK riippuu hiukkasten pinta-alasta ja ominaisuuksista sekä kasvualustan happamuudesta; mitä alhaisempi pH sitä pienempi KVK. Korkea KVK on toivottu ominaisuus, koska silloin ravinnepitoisuus pysyy tasaisempana ja ravinnehuuhtoutumat vähäisempinä kuin alhaisen KVK:n kasvualustassa.

Juuret irrottavat kationeja negatiivisesti varautuneiden maahiukkasten pinnoilta erittämällä positiivisesti varautuneita protoneja (H^+), jotka tarttuvat maahiukkasten pintaan ja vapauttavat kationeja kasvualustaliuokseen. Noin 15 % ravinneioneista (PO_4^{3-}, NO_3^-, SO_4^{2-}) on anioneja, joita juuret irrottavat maahiukkasten pinnoilta erittämällä anionien tilalle asettuvia negatiivisesti varautuneita vetykarbonaatti-ioneja (HCO_3^-). Turvekasvualustassa anionit ovat kuitenkin pääosin liuenneina veteen tai muodostavat vaikealiukoisia yhdisteitä

Taimien ravinnetarve on vähäinen itämisjakson aikana, jolloin siemenen ravinnevarasto takaa riittävän ravinnemäärän taimelle [19]. Kasvualustan alhainen ravinnepitoisuus kasvatuksen alkuvaiheessa on toivottava piirre, sillä korkea ravinnepitoisuus hidastaa itämistä ja taimettumista. Korkea johtokyky altistaa taimia myös taimipoltesienille.

4.6 Hygienia

Kasvualustalta edellytetään tautivapautta. Aiemmin kun kasvualustasekoituksia tehtiin taimitarhoilla ja ainesosana käytettiin multaa, kasvualustaan saattoi joutua taudinaiheuttajia. Nykyisin käytettävää vaaleata rahkaturvetta pidetään tautivapaana ja siinä esiintyviä sädesieniä antagonistisina useille taudinaiheuttajille [457]. Sekoitemateriaaleina ja peittomateriaaleina käytetyt perliitti ja vermikuliitti ovat steriilejä kasvualustakomponentteja syntytapansa vuoksi. Myös hiekkaa ja tuoretta purua voidaan pitää varsin puhtaina materiaaleina. Ongelmia aiheuttavat kasvatuksen eri vaiheissa leviävät, kasvualustan kostealla pinnalla viihtyvät levät, sammalet ja siemenlevintäiset rikat sekä taudit ja nematodit.

Rikkojen siemenet ja taudinaiheuttajat on pyritty tappamaan kuumentamalla ja höyryttämällä kasvualusta 60–82 °C:een 30 minuutin ajan [39]. Työ on kuitenkin kallista ja hidasta, eikä sitä ole toistaiseksi Suomessa käytetty laajemmin.

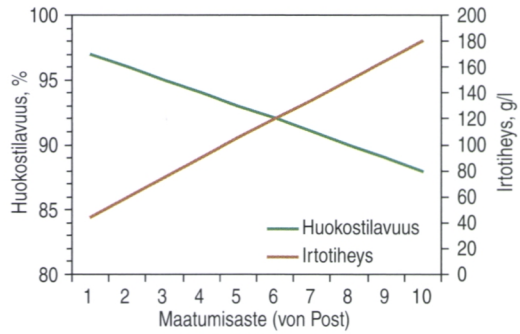
4.7 Turve kasvualustana

Turve on maatuneiden suokasvien jäänteistä muodostunutta eloperäistä maata [344]. Turpeet luokitellaan kasvilajikoostumuksen ja maatumisasteen mukaan. Tärkeimmät turvetta muodostavat kasvilajiryhmät ovat rahkasammalet sekä saramaiset ja puumaiset kasvit. Nostamissyvyydestä riippuen turpeet edustavat erilaista maatumisastetta, jota mitataan 10-luokkaisella von Post'n luokituksella. Kasvuturpeet jaetaan kolmeen luokkaan maatumisasteen mukaan (taulukko 4.2). Alimmaisena suolla on voimakkaasti maatunut, musta turve (H 6–10), sitten keskimaatunut, tumma turve (H 3–6) ja elävien pintasammalien alla heikosti maatunut, vaalea turve (H 1–3). Mitä maatuneempaa turve on, sitä suurempi on sen irtotiheys ja pienempi kokonaishuokostila (kuva 4.2).

Metsäpuiden taimikasvatuksessa käytetään vaaleaa rahkaturvetta, maatumisaste (H 1–3). Myös maatuneempaa turvetta voidaan käyttää, mutta silloin turpeeseen sekoitetaan yleensä muita aineita rakenteen parantamiseksi. Kasvualustaksi myytävien turpeiden ominaisuuksien vaihtelu onkin suuri, eivätkä kaikki turpeet

Taulukko 4.2. Lannoittamattoman ja kalkitsemattoman kasvuturpeen irtotiheys, maatumisaste ja johtokyky (laimennussuhde 1:5) laatuluokittain (Kasvuturpeen ja turvepohjaisten kasvualustojen laatuohje (http://www.vapo.fi/filebank/5040-kasvuturve_laatuohje__1_10_2010.pd).

Luokka	Irtotiheys kg kuiva-ainetta/m^3	Maatumisaste (von Post)	Johtokyky, mS/m (SFS 1+5)
vaalea	<75	H 1–3	< 6 (<0,06)
tumma	75–120	H 3–6	<10 (<0,1)
musta	>120	H 6–10	<15 (<0,15)



Kuva 4.2. Rahkaturpeen maatumisasteen (von Post) vaikutus turpeen irtotiheyteen ja huokostilaan [344].

sovellu taimikasvatukseen [226]. Erityisesti harrastelijatarpeisiin on kaupan turpeita, jotka eivät sovi metsäpuiden taimien ammattimaiseen kasvatukseen.

Turve seulotaan eri karkeusasteisiin käyttötarkoituksen mukaan. Turpeen karkeusaste ilmoitetaan joko maksimihiukkaskokona tai termeillä: hieno, keskikarkea ja karkea. Pienissä kylvöruukuissa (<50 cm^3) käytetään yleensä hienojakoista turvetta ja suuremmissa (50–300 cm^3) keskikarkeata turvetta. Suurissa ruukuissa (300–500 cm^3) voidaan käyttää myös karkeaa turvetta. Yleensä karkeaa turvetta käytetään peti- ja allasviljelyssä.

Turpeen ravinnevarasto

Luonnontilainen vaalea rahkaturve sisältää niukasti ravinteita, kuten fosforia (0,02–0,3 % kuiva-aineesta) ja kaliumia (0,02–0,07 %). Eniten on typpeä, jota vaalea rahkaturve sisältää 0,5–0,7 % kuiva-aineesta [344]. Maatuneemman, tumman rahkaturpeen ja turvemullan typpipitoisuus on 1–2 %. Turpeen typpi on kuitenkin pääosin sitoutunut orgaanisiin yhdisteisiin ja se vapautuu luonnonoloissa hyvin hitaasti kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Kalkituksen ja kastelun seurauksena turpeessa käynnistyy vilkas pieneliöstötoiminta, mikä sitoo aluksi typpeä.

Hajoamistoiminnan jatkuttua muutaman kuukauden kuolevasta pieneliöstöstä alkaa vapautua typpeä. Puutarhaturpeen hajoaminen on 10 % luokkaa vuodessa [344], mutta metsätaimikasvatuksessa todennäköisesti pienempi vähäisemmistä kalkitusmääristä ja lyhyemmästä kasvukaudesta johtuen.

Suomessa turpeeseen lisätään 0,8–1,0 kg peruslannoitetta turvekuutiometriä kohti, mikä nostaa johtokykyä 1–1,5 mS/cm:iin. Tätä pidetään sopivana kasvatusvaiheessa, mutta hieman korkeana idätysvaiheessa. Osa taimituottajista käyttääkin kalkittua, mutta peruslannoittamatonta turvetta. Havupuun taimien kasvatuksessa se on toimiva menettely, jos hoitolannoitus aloitetaan riittävän aikaisin (1–2 viikon kuluttua kylvöstä) laimeina annoksina. Erityisen tärkeää on, että peruslannoitetussa turpeessa lannoite on jakautunut tasaisesti kasvualustaan, sillä epätasaisuudet näkyvät nopeasti taimien kasvussa. Suomessa metsäpuiden kasvatukseen tarkoitetut turpeet on peruskalkittu ja -lannoitettu verraten tasaisesti [378].

Turpeen kostuvuus ja kostutusaineet

Monet orgaaniset aineet kuten turve ja kuori muuttuvat kuivuessaan vettähylkiviksi ja niiden uudelleenkostutus on vaikeaa. Vedenhylkivyys johtuu rautahumaattien turpeen pinnalle muodostumasta kalvosta [39].

Kuivatun ja pakatun säkkiturpeen kostuttaminen on vaikeaa varsinkin jos turve on päässyt kuivumaan vielä paakkujen täytön jälkeen. Mitä kuivuneempaa, hienojakoisempaa tai maatuneempaa turve on, sitä vaikeampi on sitä kostuttaa. Erityisesti tummat turpeet ja pienimmät turvehiukkaset ovat alttiita kuivumiselle. Turve ei saisi kuivua alle 50 paino-% ja jos se kuivuu alle 25 paino-%, sen käyttökelpoisuus on kyseenalaista [345].

Kostuvuuden lisäämiseksi ja kastelun helpottamiseksi turpeeseen voidaan lisätä kostutusainetta, joka on tavallisesti veden pintajännitystä alentavaa ainetta. Kostutusaine parantaa turpeen vedenpidätyskykyä ja veden liikkuvuutta sekä parantaa kasvien kasvua [52]. Mitä hienompijakoinen turve sitä voimakkaampi on kostutusaineen vaikutus. Eri kostutusaineiden vaikutusten kestot voivat poiketa toisistaan [354]. Kokemusten mukaan kostutusaineella käsitelty turve vaatii erilaisen kastelun kuin käsittelemätön turve sallien esimerkiksi pitemmät kasteluvälit.

Kostutusaineiden vaikutusta metsäpuiden taimiin on tutkittu niukasti, mutta ainakin liian korkeina pitoisuuksina ne saattavat heikentää itämistä [16]. Käytännön kokemukset kostutusaineella käsitellystä turpeesta ovat olleet myönteisiä ja valtaosa Suomessa metsätaimitarhoilla käytettävästä turpeesta on nykyään kostutusaineella käsiteltyä.

4.8 Muut kasvualustat ja seosaineet

Suomessa vaalea rahkaturve on erinomainen kasvualusta metsäpuiden taimien kasvatukseen. Heikomman turvelaadun ja turpeen huonomman saatavuuden vuoksi ulkomailla käytetään metsäpuiden taimikasvatuksessa paljon turvepohjaisia kasvualustasekoitteita. Myös Suomessa on tutkittu erilaisia sekoitteita paitsi kasvatusominaisuuksien vuoksi myös taimien istutuksen jälkeisen juurtumisen parantamiseksi.

Seoksien koostaminen perustuu paljolti kokeiluun, sillä sekoitettavien ainesosien ominaisuuksista on vaikea ennakoida seoksen lopullisia ominaisuuksia. Seoksen tilavuus on aina pienempi kuin erikseen mitattujen aineosien summa, koska erikokoiset hiukkaset menevät sekoitettaessa aina jossain määrin sisäkkäin.

Seokset voivat olla yhdestä aineesta muodostuvia kasvualustoja ongelmallisempia käsiteltäviä. Ne saattavat lajittua jo säkissä lastauksen ja kuljetuksen aiheuttaman tärinän vaikutuksesta. Kasvualustan tai sen aineosien ominaisuudet muuttuvat yleensä myös kasvatuksen kuluessa. Eloperäiset aineet kuten turve ja kuorirouhe maatuvat, ja hienojakoisemmat aineet voivat suotautua alemmaksi kastelun ja sateen vaikutuksesta.

Lisäämällä karkearakenteisia epäorgaanisia aineita kasvualustaseoksiin kasvatetaan isojen huokosten ja ilmatilan osuutta ja parannetaan veden johtumista. Ne myös parantavat rakenteen säilyvyyttä. Tavallisimpia epäorgaanisia seosaineita ovat vermikuliitti, perliitti ja hiekka, jota käytetään lähinnä isojen astiataimia kasvatuksessa.

Vermikuliitti

Vermikuliitti on ohuista, rinnakkaisista suomuista koostuva alumiini-rauta-magnesium silikaatti, jota saadaan kaivoksista. Kaupalliseksi kasvualustoissa käytettäväksi tuotteeksi se valmistetaan kuumentamalla nopeasti 1000–1100 °C:een, jolloin silikaattipartikkelit paisuvat alkuperäiseen tilavuuteensa nähden 10–20-kertaisiksi "haitarimaisiksi" rakeiksi (kuva 4.3). Vermikuliitin keveys ja suomumainen rakenne antavat sille suuren vedenpidätyskyvyn ja kationinvaihtokapasiteetin. Se pystyy myös sitomaan fosforia [39]. Voimakas kuumennusprosessi tekee vermikuliitista steriilin aineen, joka on pH-arvoltaan lähes neutraali.

Vermikuliittin vettä hylkivää muotoa käytetään seosaineena [226] metsätaimitarhoilla Yhdysvalloissa, missä on suositeltu raekokoa 1,2–10 mm yli 164 cm^3 paakuissa ja raekokoa 1,6–4,7 mm sitä pienemmissä paakuissa [478].



Kuva 4.3. Kasvualustaseoksissa ja siemenen peittämisessä käytettyjä aineita: **A** perliitti, **B** vermikuliitti, **C** seulottu kivi, **D** puru ja **E** kostutettu vermikuliittirae, joka koostuu lähekkäisistä, vettä varastoivista suomuista (EO).

Suomessa vettä sitovaa vermikuliittia on käytetty metsätaimitarhoilla lähinnä kylvösten peittoon. Vermikuliittia on Suomessa saatavilla neljää raekokoa (1 = 0–1 mm, 2 = 2–4 mm, 3 = 3–6 mm, 4 = 5–8 mm). Vettä ja ravinteita pidättävänä ja helposti murenevana aineena vettä sitova vermikuliitti muodostaa kasvualustan pinnalle kostean, siemenien itämistä edistävän kerroksen, joka samalla suosii sammalien ja levien kasvua.

Perliitti

Perliittiä valmistetaan vulkaanista alkuperää olevista alumiini-silikaatti-laavakiviaineksista, jotka murskataan ja kuumennetaan 900–1100 °C:seen, jolloin aineksen tilavuus paisuu 30-kertaiseksi. Perliitillä on monia etuja kasvualustaseoksissa. Se on kevyttä (85–95 g/l) ja sillä on suuri "suljettu" huokostila (96–88 %), mikä merkitsee, että vesi voi kiinnittyä vain perliittirakeiden pinnalle [344]. Rakeet ovat kovia, eivätkä painu kasaan kasvatuksen aikana. Perliittiä on saatavilla eri raekokoja. Perliitti on pH-arvoltaan neutraali, eikä se juuri sisällä ravinteita tai ole kemiallisesti aktiivinen. Ominaisuuksiensa vuoksi perliittiä käytetään yleensä lisäämään kasvualustan ilmavuutta. Suomessa perliittiä on metsätaimitarhoilla käytetty vähän, mutta Pohjois-Amerikassa ilmavuuden lisäämiseksi turpeeseen sekoitetaan yleisesti perliittiä 10–30 % [226] ja Norjassa 25–30 % [185].

Siemenen peittomateriaalina perliitti jää kevyenä ja ilmatiiviinä herkästi kellumaan veden pinnalle, jos kasvualustaa kastellaan niin nopeasti, ettei vesi ehdi imeytyä alla olevaan turpeeseen. Perliitti toisin kuin vermikuliitti kuivuu verraten nopeasti eikä siten ole peittomateriaalina yhtä altis sammaloitumaan. Sekä vermikuliitin että perliitin haittapuolena on niistä vapautuva pöly, joka voi aiheuttaa silmä- ja keuhkoärsytystä [232].

Kivivilla

Kivivilla on diabaasi- ja kalkkikivestä koksin kanssa kuumentamalla (1200–1600 °C) valmistettu neutraali ja steriili, kuitumainen aine, johon on lisätty kostu-

mista helpottavia aineita ja sidonta-aineeksi hartsia. Kivivilla otettiin kasvualustakäyttöön puutarhapuolella 1960-luvun lopulla. Kivivilla on rakenteelta kestävä ja sillä on korkea vedenpidätyskyky. Kuitujen paksuutta ja suuntaa, kostutus- ja sideaineiden määrää ja puristetun levyn paksuutta säätelemällä saadaan eri käyttötarkoituksiin soveltuvia kasvualustoja. Kivivilla pakataan levyiksi, kuutioiksi tai rouheeksi, jota voidaan käyttää seoksena muissa kasvualustoissa.

Kivivillan edut ovat suuri huokostila (>95 %) ja tasainen rakenne, jossa on helppo ylläpitää sopivaa vesi/ilmatasapainoa [344, 180]. Villan puskurikapasiteetti on alhainen, joten kasvatuksen tarkkailun tulee olla tehokasta ja kastelun sekä lannoituksen päivittäistä. Kivivillan rakenteen kesto heikkenee kasteluveden pH:n laskiessa alle 5:n. Kivivillaa voidaan myös käyttää rouheena sekoittamalla se turpeeseen kasvualustan ilmatilan ja kaasunvaihdon lisäämiseksi [117, 236].

Männyntaimien kasvatusta kivivillalevyissä ja -kuutioissa on Suomessa kokeiltu hyvällä menestyksellä [158], mutta siitä ei ole tullut turpeen korvaajaa. Myös Ruotsissa kehitettiin kivivillaan perustuva kasvatuslinja [21], joka jäi kuitenkin pian pois käytöstä.

Sahanpuru, kuorirouhe ja kookoskuitu

Pohjois-Amerikassa, missä hyvälaatuista turvetta on niukasti saatavissa, muiden orgaanisten aineiden käyttö (sahanpuru, kuorirouhe, kookoskuitu, erilaiset biojätekompostit) kasvualustaseoksissa on lisääntynyt. Lisättäessä näitä aineita turpeeseen on muistettava niiden korkea hiili-typpisuhde (C:N), minkä vuoksi niiden kompostointia suositellaan ennen käyttöä. Mitä korkeampi C:N, sitä enemmän typpeä sitoutuu orgaaniseen hajotustoimintaan taimille käyttökelvottomaan muotoon, ja sitä enemmän seokseen tarvitaan lisätyppeä. Rahkaturpeen C:N on noin 50:1, lehtipuiden sahanpurun C:N on 400:1 ja kuoren 75:1. Havupuiden sahanpurun ja kuoren C:N on 2–4 -kertainen lehtipuihin verrattuna [229, 344].

Useissa maissa *sahanpurua* käytetään kasvualustaseoksissa kompostoituna. Käytössä on huomioitava, että eri puulajien ja jopa erilaisilla kasvupaikoilla kasvaneiden puiden sahanpuruilla voi olla erilaisia, jopa haitallisia (fytotoksisia) vaikutuksia taimiin. Männyn ja koivun sahanpurut ovat osoittautuneet kuusen purua huonommaksi kasvualustaksi [287], Suomessa sahanpurua on käytetty menestyksellisesti kylvösten peittoon. Tällöin on purun oltava tuoretta ja puhdasta.

Mäntyjen ja lehtipuiden *kuorirouhetta* on kokeiltu puutarhapuolella turpeen ilmavuutta lisäävänä komponenttina [246]. Kuorilisäyksen määräksi on suositeltu 25–50 % [444]. Kompostoidun kuoren on havaittu vähentävän tautiriskiä kasvualustassa [148]. Kuoren ongelmana on sen laadun vaihtelevuus ja mahdolliset

fytotoksiset vaikutukset. Kuorta on saatavana raakana ja kompostoituna ja eri karkeusasteisina säkitettyinä tuotteina, joita turpeeseen sekoitettuna on kokeiltu meillä myös metsätaimikasvatuksessa. Kokeissa kuorirouhe todettiin sopivaksi seosaineeksi, mutta olennaista lisäetua se ei tuonut taimitarhakasvatukseen eikä taimien menestymiseen istutuksen jälkeen verrattuna vaaleaan rahkaturpeeseen [362].

Kookoskuitua (coir, coco peat) saadaan kookospähkinän kuoresta ja viime vuosina sitä on tullut runsaasti markkinoille prosessoituna erilaisiksi kasvualustatuotteiksi. Kuidulla on samoja hyviä ominaisuuksia kuin turpeellakin. Se on kevyttä, se pidättää runsaasti vettä, KVK on korkea ja sitä helppo käsitellä. Lisäksi sillä on melko kestävä rakenne. Haittana on sen sisältämä korkea natriumkloridi- ja kaliummäärä, joka on huuhdottava pois tuotteen valmistusprosessissa.

Biojätteet

Puutarhapuolella biojätteitä on käytetty seosaineina ja aiheesta on runsaasti tutkimuksia. Biojätteen ongelmana on ollut laadun suuri vaihtelevuus. Määrien kasvaessa ja käsittelyprosessien yhtenäistyessä on mahdollista, että biojätteistä saadaan tasalaatuisempaa materiaalia. Vakka biojätesekoite ei paranna turpeen laatua kasvualustana, sitä on mahdollista lisätä 20 % saakka sekoitteena taimien laadun kärsimättä. Sen sijaan totuttuja, turvekasvualustaan sopivia kasvatustoimenpiteitä on muutettava uusiin kasvualustoihin sopiviksi [125, 126].

Taimitarhojen omat biojätteet, rikat, raakkitaimet ja turve, on kompostoitava kunnolla, jos niitä aiotaan käyttää kasvualustaseoksiin. Tautien itiöt ja rikkojen siemenet ovat suuri riski. Koetulokset antavat viitteitä siitä, että huolellisesti kompostoidun kompostituotteen käyttö osana kasvualustaa voi olla mahdollista, joskin lisätietoa tarvitaan mm. sopivan kastelun ja lannoituksen löytämiseksi [501].

Hiekka

Hiekkaa eri karkeusasteissaan on käytetty kasvualustan parantamiseen. Kun halutaan lisätä kasvualustan ilmavuutta ja vedenjohtavuutta sopiva raekoko on 2–3 mm. Myös hienompijakoisen kivennäismaan, kuten karkean hiedan (0,06–0,2 mm) ja hienon hiekan (0,2–0,6 mm) lisäyksellä 40 %:iin saakka voidaan kasvualustan ilmakapasiteettia nostaa, mutta sen jälkeen se pienenee [344].

Hienojakoisen kivennäismaan kuten hiesun on todettu parantavan veden liikkuvuutta turvekasvualustan ja juurten sekä paakun ja metsämaan välillä [121, 518]. Taimien juurtumisessa ja mukautumisessa istutusalalle hiesusekoitteesta ei kuiten-

kaan havaittu olevan hyötyä [129, 130, 131]. Päinvastoin, sateisina kesinä kasvualusta, johon on lisätty hienoja aineksia voi kärsiä taimitarhalla hapenpuutteesta [119].

Kastelukiteet (geelit)

Kastelukiteitä eli -geelejä, joita markkinoidaan erilaisilla englanninkielisillä nimillä (hydrogel, watering crystals, water retention granules), käytetään puutarhapuolella mm. amppelikukilla parantamaan kasvualustan vedenpidätyskykyä. Kastelukiteet ovat synteettisiä polymeerejä, jotka sitovat vettä monta kertaa tilavuutensa verran. Ne voivat sitoa myös muita aineita, minkä vuoksi niitä käytetään kasvualustan sitomisessa eroosiota vastaan [51].

Kiteet ovat parantaneet tomaatintaimien elossaoloa kuivissa olosuhteissa [2] ja lisänneet sitruunantaimien veden ja typen ottoa sekä kasvua [456]. Paljasjuuristen havupuuntaimien juuristoja on käsitelty geeliseoksella noston jälkeistä kuivumista vastaan, mikä on antanut muutaman tunnin lisäsuojan käsittelemättömiin tai savivellillä käsiteltyihin taimiin verrattuna.

Metsäpuiden paakkutaimikasvatuksessa kiteet ovat vähentäneet jonkin verran vaalean rahkaturpeen vedenpidätyskykyä kasvatuskosteudessa mutta lisänneet sitä voimakkaasti turpeen kuivuessa vähentäen samalla turpeen kuivumiskutistumista [118]. Kiteet lisäävät turpeen vedenpidätystä ja voivat samalla vähentää kasvualustan ilmanvaihtoa, mikä puolestaan heikentää erityisesti juuriston kasvua [482]. Geelit voivat sisältää sähköäjohtavia ioneja (esim. natrium) ja sitoa lannoiteravinteita, mikä nostaa veden suolapitoisuutta ja saattaa heikentää taimien veden saantia kasvualustan kuivuessa [115, 116, 482].

Geelikidetuotteita on erilaisia ja ne poikkeavat kemiallisilta ominaisuuksiltaan. Eri tuotteden vertailuissa esiin tulleet ristiriitaisuudet voivatkin johtua paitsi tuotteiden kemiallisista eroista, myös itse kasvualustojen ominaisuuksien vaikutuksesta kiteiden rakenteiden pysyvyyteen ja veden sitomiskykyyn [51]. Kemiallisista ominaisuuksista riippuen kiteet voivat olla haitallisia niin ihmisille kuin maaperä- ja vesieliöille [51].

Geelikiteiden hyödyistä ja haitoista kaivataan lisätietoa. Erityisesti kesäistutettavien taimien istutuksen jälkeisen vedensaannin turvaamiseksi geelit saattaisivat tarjota mielenkiintoisen vaihtoehdon. Toisaalta pelkästään taimipaakkujen kastelu läpimäriksi ennen istutusta on osoittautunut hyväksi keinoksi parantaa istutusmenestystä [142]. Tarhavaiheessa kasvualustan ilmanvaihtoa heikentävien ominaisuuksien vuoksi saattaisikin olla hyödyllisempää imeyttää juuripaakut kastelugeelillä vasta ennen istutusta [462] tai sijoittaa kastelukiteitä istutuskuoppaan [230].

Muita aineita

Puutarhapuolella käytetään lukuisia muita epäorgaanisia aineita joko sellaisenaan tai muihin kasvualustoihin sekoitettuna. Sellaisia ovat mm. laavaperäisistä aineista valmistetut pumice (hohkakivi) ja scoria (murskattua vulkaanista laavakiveä), alumiinisilikaateista koostuva zeoliitti sekä erilaiset polystyreenipohjaiset rakeet.

4.9 Kasvualustan valinta

Turpeen voi hankkia suoraan suolta irtotavarana tai ostaa valmiiksi pakattuja tuotteita, joita on tarjolla suuri valikoima. On puhtaita, eri sammallajeista muodostunutta ja eri maatumis- ja karkeusasteita edustavia turpeita eri tavoin peruslannoitettuna ja -kalkittuna. Säkitettyinä tuotteina on saatavilla myös erilaisia turve-multaseoksia.

Kasvattaja voi myös räätälöidä oman kasvualustan. Käytettävissä on edellä mainittuja aineita, joista voi koostaa niin kasvatusominaisuuksiltaan kuin hinnaltaankin omien tarpeiden mukaisen kasvualustan. Tällöin on hyvä tuntea kasvualustakomponenttien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ja niiden käyttäytyminen sekoitettuna. Pelkästään sekoitemateriaalien ominaisuuksista ei yleensä pystytä johtamaan optimiratkaisua, vaan käytännössä joudutaan kokeilemaan komponenttien suhteet ja sekoituskäytännöt.

Nykyään Suomessa suuri osa taimituottajista hankkii kasvualustaksi metsäpuiden taimikasvatukseen tarkoitettua, vaaleaa rahkaturvetta joko matalalla peruslannoitus- ja kalkitustasolla tai vain peruskalkittuna 320 litran säkeihin tai suurpaaleihin pakattuna. Vaalea, niukasti maatunut rahkaturve on osoittautunut käytännössä hyväksi kasvualustaksi. Taimia voidaan kasvattaa myös erilaisissa sekoitteissa ja joissain tapauksissa juuriston rakenne kehittyy paremmaksi kuin rahkaturpeessa. Eri kasvualustat poikkeavat usein toisistaan kasvatusominaisuuksiltaan, minkä vuoksi ne edellyttävät erilaisia kasvatusohjelmien käyttöä ennen muuta kastelun ja lannoituksen osalta.

Myös paakun muoto ja tilavuus (paakkutyyppi) sanelevat omat reunaehtonsa. Niinpä paakkutyypin vaihto voi edellyttää muutoksia niin kasvualustassa kuin kasvatusmenetelmissä. Eri vuosina saman kasvualustamateriaalikin ominaisuudet saattavat vaihdella niin paljon, että paakkujen täytössä ja taimikasvatuksen alkuvaiheessa on syytä seurata tarkasti kasvualustan käyttäytymistä.

5 Olosuhteiden säätö

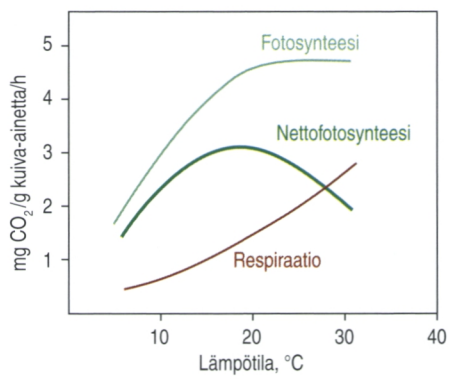
5.1 Lämpötila

5.1.1 Lämpötilan vaikutus taimien elintoimintoihin ja kasvuun

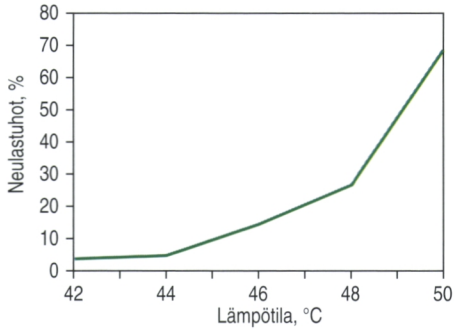
Lämpötila vaikuttaa suoraan ja välillisesti lukuisiin kasvien aineenvaihdunnassa ja kasvualustassa tapahtuviin kemiallisiin tapahtumiin. Suora lämpötilavaikutus ilmenee mm. aineenvaihduntanopeudessa ja äärilämpötilojen aiheuttamina soluvaurioina. Välillisesti lämpötila vaikuttaa esim. veden ja ravinteiden saatavuuteen kasvualustassa.

Kasvien kasvu perustuu *fotosynteesiin* eli *yhteyttämiseen*. Fotosynteesissä kasvi sitoo lehtivihreällisissä osissa epäorgaanisessa muodossa otetut aineet, hiilidioksidin ja veden auringon säteilyenergian avulla orgaanisiksi yhdisteiksi, kuten hiilihydraatteiksi. Viherhiukkasissa tapahtuvassa valoreaktiossa osa muunnetusta valoenergiasta sitoutuu energiaa sisältäviksi yhdisteiksi (ATP- ja NADPH-molekyylit) ja osa käytetään veden hajottamiseen vedyksi ja hapeksi. Happi vapautuu pois solusta. Biokemiallisessa pimeäreaktiossa (Calvinin sykli), jossa ei tarvita valoenergiaa, hiilidioksidi sidotaan orgaanisiksi hiiliyhdisteiksi. Fotosynteesiin vaikuttavat valo, lämpötila, hiilidioksidipitoisuus ja vesi.

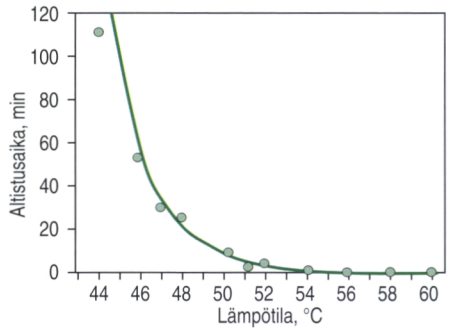
Fotosynteesissä sidottu energia vapautuu *respiraatiossa* eli *hengityksessä* kasvin käyttöön solujen kasvun ja elintoimintojen energialähteeksi. Respiraatio voimistuu lämpötilan noustessa. Fotosynteesissä sidotun ja respiraatiossa vapautuneen hiilidioksidin erotusta kutsutaan *nettofotosynteesiksi*. Kasvien kasvu riippuu nettofotosynteesin määrästä, joka on suurimmillaan noin 20 °C lämpötilassa (kuva 51.1). Taimien elintoiminnat ja kasvu hiipuvat lämpötilan noustessa 35–40 °C:seen [214] ja silmin havaittavat vauriot lisääntyvät yli 44 °C:ssa [181, 28] (kuva 51.2) valkuaisaineiden alkaessa saostua [247]. Lämpötilan vaikutus taimiin on sitä voimakkaampi mitä pitempi on sen kesto (kuva 51.3) [62].



Kuva 51.1. Fotosynteesin (yhteyttämisen), respiraation (hengityksen) ja nettofosynteesin (nettoyhteyttämisen) riippuvuus lämpötilasta [235].



Kuva 51.2. Lämpötilan vaikutus valkokuusen neulasten vaurioihin 30 min altistuksessa [28].



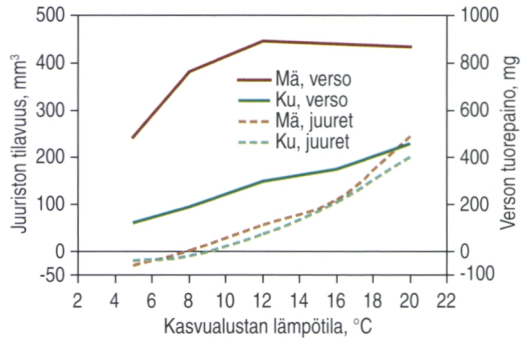
Kuva 51.3. Lämpötilan ja sen keston vaikutus 1-v mustakuusen taimiin. Käyrä osoittaa lämpötilan ja sen keston yhdistelmät, joissa puolet neulasista vaurioituu [62].

Taimien kasvun optimilämpötila riippuu puulajin ja alkuperän lisäksi taimen iästä sekä kehitysvaiheesta, ja se muuttuu taimen mukautuessa uusiin olosuhteisiin. Lämpötilavaatimus riippuu myös muista ympäristötekijöistä, kuten valon ja hiilidioksidin määrästä. Voimakkaassa valossa samoin kuin korkeassa hiilidioksidipitoisuudessa kasvun optimilämpötila on korkeampi kuin heikossa valossa ja matalassa hiilidioksidipitoisuudessa. Lämpötilavaste pohjoisen havumetsävyöhykkeen eri puulajien taimilla on hyvin samantapainen [262].

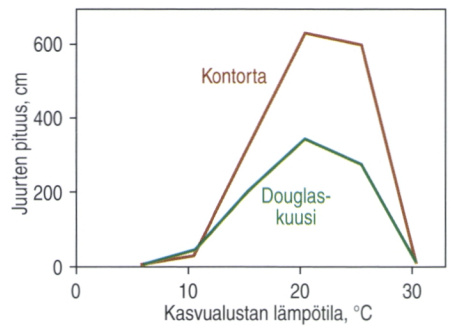
Lämpötilan säätö liittyy olennaisesti taimien kasvatukseen. Ohjeita annetaankin päivä-, yö-, juuristo-, verso-, optimi, -maksimi- ja minimilämpötiloille. Fotosynteesin tai biomassan kasvun kannalta optimaalisin lämpötila ei aina tuota parasta laatua, vaan esim. puutarhapuolella haluttaessa parantaa kasvien laatua ja vähentää rehevyyttä, lämpötilaa, lasketaan jonkin verran kasvun optimilämpötilasta [163].

Veden ja ravinteiden otto, haihdunta ja juurten kasvu riippuvat kasvualustan lämpötilasta, joka vaikuttaa myös verson kasvuun [496]. Keväällä juuripaakkujen kylmyys jarruttaa myös verson kasvua, vaikka ilman lämpötila olisikin optimissa (kuva 51.4). Juurten kasvun lämpötilaoptimi paakkutaimikasvatuksessa on 20–25 °C (kuva 51.5). Lämpötilan kohoaminen yli 25 °C johtaa respiraation kiihtymiseen, mikä voi rajoittaa juuriston hapen saantia, varsinkin jos kasvualusta on hyvin märkä ja happipitoisuus pieni.

Varhaista kevättä lukuun ottamatta verson ja juuripaakun lämpötilat eivät eroa paljon toisistaan, varsinkin jos taimet ovat kohokasvatuksessa. Jos taimiarkit ovat keväällä pitkään maata vasten, voi paakun lämpeneminen kestää kauemmin, mikä hidastaa juurten kasvun alkamista. Toisaalta kesällä, helteisellä ja aurinkoisella säällä tumman turpeen pintalämpötila saattaa nousta haitallisen korkeaksi (>40 °C).



Kuva 51.4. Kasvualustan lämpötilan vaikutus männyn ja kuusen taimien uuden kasvaimen tuorepainoon ja uusien juurien tilavuuteen kuuden (mänty) tai seitsemän (kuusi) viikon kasvatuksessa toisen kasvukauden alussa [496].



Kuva 51.5. Kasvualustan lämpötilan vaikutus uusien (>1 cm) juurien yhteispituuteen douglaskuusen ja kontortamännyn taimilla 5,5 kasvatusviikon jälkeen [262].

Lämpötila vaikuttaa myös taimien rakenteeseen. Korkeassa lämpötilassa havupuun taimet kasvavat pitkiksi ja ohuiksi [398]. Yhdistettynä korkeaan suhteelliseen kosteuteen tämä saattaa johtaa ohutseinäiseen ja ”löyhään” solukkoon, mikä puolestaan aiheuttaa versojen mutkittelevaa kasvua.

Myös vuorokauden lämpötilarytmin, päivä- ja yölämpötilan eron (termoperiodisuus) on havaittu vaikuttavan taimien kasvuun. Tulokset kuitenkin vaihtelevat voimakkaasti puulajeittain ja alkuperittäin ja vaikutus riippuu ilmeisesti myös ilman suhteellisesta kosteudesta. Eteläisemmät lajit vaatinevat pohjoisia lajeja korkeampaa yölämpötilaa [235]. Valkokuusella ja kontortamännyllä pituuskasvun kannalta optimaaliset päivä/yölämpötilat ovat 22–25/16 °C. Radiatamännyn pituuskasvu ja neulasten kasvu on voimakkainta päivälämpötilaa (20–29 °C) hieman alemmassa yölämpötilassa (17–23 °C), kun taas selvästi matalampi yölämpötila (5 °C) lisää taimien läpimittaa ja tanakkuutta [144].

5.1.2 Optimilämpötila eri kasvatusvaiheissa

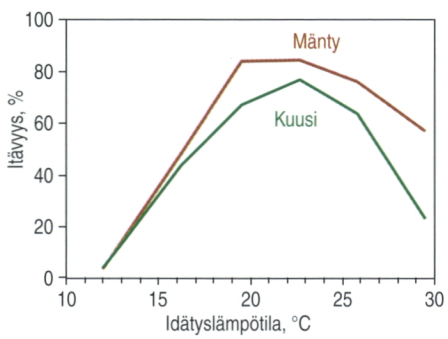
Itämisvaihe

Perustamisvaiheessa pyritään nopeaan ja tasaiseen itämiseen, jota parhaiten edistävät sopiva kosteus ja lämpötila. Sopivana itämislämpötilana monilla lajeilla pidetään 22–24 °C [235]. Pohjoismaissa männyn ja kuusen siemenille sopivaksi itämislämpötilaksi suositellaan 20–23 °C [25, 311] (kuva 51.6). Korkeammissa (yli 25 °C) ja alemmissa (alle 18 °C) lämpötiloissa sekä itämistarmo että itämisprosentti laskevat selvästi [245]. Koivun siemenen itämisen optimilämpötila on mäntyä ja kuusta korkeampi (25–30 °C) [303].

Itämisen lämpötilariippuvuutta tutkittaessa on yleensä käytetty vakiolämpötiloja (samaa päivä- ja yölämpötilaa) ja myös muut ympäristötekijät on vakioitu. Käytännön kasvatusoloissa, muovihuoneessakin, itämisolosuhteet vaihtelevat ja päivälämpötila on yleensä 5–10 °C yölämpötilaa korkeampi. Lämpötilavaihtelun ei ole todettu alhaisissa lämpötiloissa (<18 °C) juuri vaikuttavan itämiseen, mutta korkeissa (>25 °C) vaihtelu hidastaa itämistä [245]. Siemenen itämisvaiheen jälkeen on taimipolteriskin vähentämiseksi ja sirkkavarren tanakoittamiseksi suositeltu lämpötilan laskemista hieman optimin alapuolelle [477].

Nopean kasvun vaihe

Eri puulajien taimien kasvun optimilämpötiloja on tutkittu paljon kontrolloiduissa kasvukaappiolosuhteissa. Tulokset ovat vaihtelevia varsinkin yölämpötilojen osalta. Lukuisiin tutkimuksiin ja taimitarhojen kokemuksiin perustuen Pohjois-Amerikassa kasvatuksen lämpötilaoptimiksi suositellaan 21–27 °C päivällä ja 16–24 °C yöllä [235]. Suomen olosuhteissa sopivana tavoitelämpötilana männylle, kuuselle ja koivulle voidaan pitää päivällä 18–22 °C (taulukko 51.1). Männylle suotuisa yölämpötila on alempi kuin kuuselle. Lyhytaikaiset poikkeamiset optimilämpötiloista eivät aiheuta ongelmia, mutta useamman päivän kestävät yli



Kuva 51.6. Lämpötilan vaikutus männyn ja kuusen siementen itävyyteen 14 vrk:n kuluttua jatkuvassa valossa tapahtuneen idätyksen aloittamisesta [25].

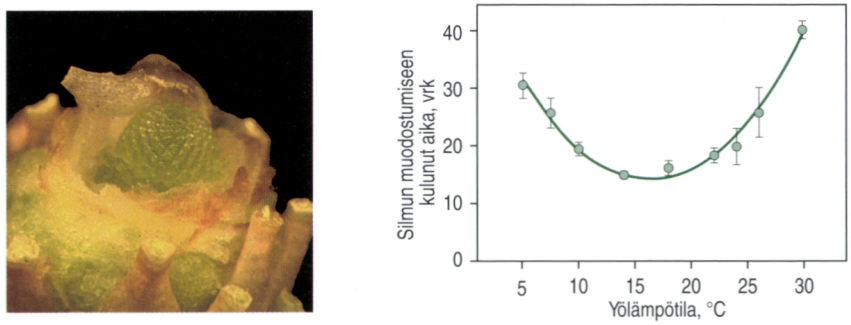
5 °C:n lämpötilapoikkeamat optimialueelta hidastavat kasvua. Lämpötilan lasku alle 5 °C tai nousu yli 35 °C kiihkeimmän kasvun aikana voi johtaa voimakkaaseen kasvun hidastumiseen ja pahimmillaan jopa silmun muodostukseen.

Karaistumisjakso

Karaistumisjaksolla pysäytetään pituuskasvu ja edistetään neulasaiheiden kehittymistä silmuissa sekä läpimitan ja juurten kasvun jatkumista taimen tanakoittamiseksi. Myös karaistumisprosessi vaatii riittävästi valoa ja lämpöä. Lämpötilaa ei olekaan syytä laskea liian aikaisin. Kuuselle sopivana yölämpötilana elokuun silmujen kehittymisen aikaan pidetään 15–20 °C [316] (kuva 51.7). Männyn karaistumista puolestaan jouduttaa suurempi päivä-yölämpötilojen ero [13].

Taulukko 51.1. Sopiva lämpötila eri kasvuvaiheissa oleville männyn (mä), kuusen (ku) ja koivun (ko) taimille.

Vaihe	Jakso	Lämpötila, °C	
		päivä	yö
Itäminen	0–3 vk	20–23	18–21
		24–28 (ko)	
Kasvu	3 vk – heinäkuu	18–22	14–18 (ku)
			10–15 (mä)
Karaisu	elokuu	16–21	15–20 (ku)
			5–10 (mä)
	syyskuu	10–15	8–12 (ku)
			5–10 (mä)
	lokakuu	4–10	0–5



Kuva 51.7. Syksyllä neulasaiheiden muodostuminen silmuun (vas.) on riippuvainen yölämpötilasta. Valkokuusen neulasaiheet kehittyvät kaksi kertaa nopeammin 15–20 °C kuin 5 tai 25 °C yölämpötilassa [316]. (Kuva: Pekka Voipio).

Kun silmut neulasaiheineen ovat muodostuneet, yleensä syyskuun puoliväliin mennessä, lämpötilaa lasketaan ja aloitetaan taimien sopeuttaminen talveen. Tällöin yölämpötila on osoittautunut päivälämpötilaa tärkeämmäksi kuusella [77] ja varsinkin männyllä [13]. Kun taimet siirretään muovihuoneesta ulos, lämpötilan liian nopea lasku voi aiheuttaa vaurioita, vaikka taimien pakkaskestävyys on riittävä. Myös kova tuuli voi jouduttaa versojen jäähtymistä ja lisätä vaurioita [64]. Karaistumisjakson lopulla, ennen pakkasten tuloa tavoitteena on silmulevon purkautuminen, joka tapahtuu lämpötila-alueella –5…+7 °C ja on nopeimmillaan +3,5 °C:ssa.

On muistettava, että juurten pakkaskestävyys kehittyy pääosin lämpötilan laskun myötä. Juuret on totutettava alhaisiin lämpötiloihin siirtämällä taimet riittävän aikaisin ulos tai tilaan, mikä vastaa ulkolämpötilaa [197]. Lämmin jakso lokamarraskuussa, kesken karaistumisjakson, voi heikentää juuriston pakkaskestävyyttä merkittävästi [447].

5.1.3 Lämpötilan mittaus

Lämpötilaa on hyvä seurata niin avomaalla kuin muovihuoneessa. Lämpötilamittareita on monenlaisia perinteisistä, yksinkertaisista lasimittareista uusiin digitaalisiin mittareihin ja piirtävistä termografeista automaattisiin sääasemiin. Lämpötilan mittaus ei aina ole helppoa, vaikka lämpötilamittarit ovat sinänsä helppokäyttöisiä ja sähköisillä sekä tallentavilla mittareilla voidaan kerätä runsaasti lämpötilatietoa.

Aina ei ole itsestään selvää, että lämpömittari näyttää oikean lämpötilan. Mittarit on kalibroitava ennen käyttöä ja määrävälein, tai vähintään tehdä vertailu luotettavaan, tunnetusti oikein näyttävään mittariin. Suurimpia virheitä aiheuttaa väärin sijoitettu mittari. Esimerkiksi aurinkoisella seinällä, vaikkakin säteilysuojassa oleva mittari voi antaa monta astetta liian korkean lukeman. Mittarin tulee olla oikein sijoitettu ja tuuletetussa varjoisassa tilassa (säteilysuojassa). Mitattaessa yölämpötilaa säteilysuojaa ei käytetä. Hallavahtina toimiva mittari tulee sijoittaa tarhan hallanarimmalle paikalle taimien tasolle.

Sääasemilla lämpötila mitataan normaalisti 2 m:n korkeudesta. Taimien kasvuympäristön lämpötilaa seurattaessa mittarit sijoitetaan taimien korkeudelle. On muistettava, että taimien lämpötila voi auringon paisteessa olla 3–10 °C säteilysuojasta mitattua ilman lämpötilaa korkeampi ja vastaavasti yöllä 1–2 °C ilman lämpötilaa alhaisempi.

5.2 Kosteus

5.2.1 Kosteuden tunnusluvut ja mittaus

Vesi esiintyy kolmessa olomuodossa: höyrynä, nesteenä ja jäänä. Vesihöyry käyttäytyy ilmassa kuin mikä muu tahansa kaasu. Ilma sisältää aina jonkin verran vesihöyryä. Se kuinka paljon ilmassa voi enimmillään olla vettä riippuu ilman lämpötilasta. Kun ilmassa on lämpötilan mukainen enimmäismäärä vesihöyryä, sanotaan ilmaa *kyllästyneeksi*. Jos vesihöyryn määrä vielä kasvaa, se *tiivistyy* (kondensoituu) vetenä pinnoille.

Veden höyrystyminen kaasuksi vaatii paljon energiaa (540 cal/g). Sama määrä energiaa vapautuu kun vesihöyry kondensoituu. Haihdunta on siis endoterminen, lämpöä sitova, ja tiivistyminen eksoterminen, lämpöä vapauttava, reaktio.

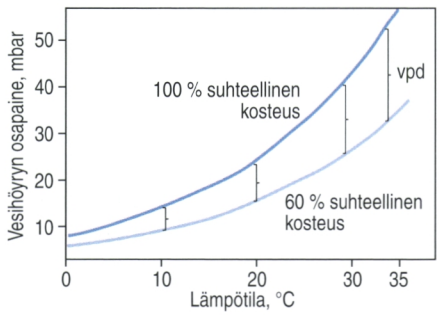
Ilman vesihöyrypitoisuus voidaan ilmaista absoluuttisena kosteutena sekä vesihöyryn osapaineena. *Absoluuttinen kosteus* ilmoittaa veden määrän grammoina kuutiossa ilmaa (g/m^3). *Suhteellinen kosteus* puolestaan ilmoittaa kuinka paljon ilmassa on vettä suhteessa sen enimmäiskykyyn sitoa vesihöyryä ao. lämpötilassa. Vaikka suhteellisella kosteudella on huomattava vaikutus haihdunnan suuruuteen, on syytä muistaa, että se ei yksin selitä haihtumisedellytyksiä, vaan myös lämpötilalla on olennainen vaikutus. Jos esimerkiksi suhteellinen kosteus on 80 % ja lämpötila 10 °C, on haihdunta 0,06 mm/h, mutta samassa suhteellisessa kosteudessa lämpötilan nousu 30 °C:seen kolminkertaista (0,20 mm/h) haihdunnan.

Suhteellista kosteutta mitataan psykrometrillä, joka koostuu kuivasta (tavallisesta) ja märästä (märkä tuuletettu sukka mittarin ympärillä) lämpömittarista. Kosteus lasketaan kuivan ja märän lämpötilan perusteella. Suhteellista kosteutta mitataan myös hiushygrometrillä ja erilaisilla sähköisillä mittareilla, kuten Vaisalan Humicapilla ®.

Vesihöyrypaineen kyllästysvajaus (englanniksi water vapor pressure deficit, VPD) on vedellä kyllästyneen ilman (100 % suhteellinen kosteus) vesihöyrypaineen ja vallitsevan vesihöyrypaineen erotus (kuva 52.1) eli se kertoo kuinka paljon lisää vesihöyryä mahtuu ilmaan ennen kuin ilma on kyllästynyt vedellä. Koska lämpötila vaikuttaa ilmaan mahtuvan vesihöyryn määrään, on kyllästyspaineen vajaus suhteellisen kosteuden ja lämpötilan funktio (taulukko 52.1). Laatuna käytetään paineyksiköitä, yleensä kilopascaleita (kPa). Kyllästyspaineen vajaus siis ilmaisee ilman haihduntaimua, josta kasvien haihdunnan määrä riippuu ja on sen vuoksi kastelutarpeen määrittämisen kannalta tärkeä tunnus.

Kastepistelämpötila liittyy läheisesti ilman kosteuteen ja on sään ennustamisessa paljon käytetty suure. Se tarkoittaa lämpötilaa, jossa vesihöyry alkaa tiivistyä (kondensoitua) vedeksi kasvien ja esimerkiksi muovihuoneessa muovien ja rakenteiden pinnoille, mistä vesi saattaa tippua kasvustoon aiheuttaen turpeen tiivistymistä ja taimien heikkoa kasvua (kuva 52.2). Ohuet katekalvot jäähtyvät yöllä nopeammin ja niihin tiivistyy vesi herkemmin kuin kaksikerroksisiin muovi- tai lasikuitukatteisiin. Mitä enemmän ilmassa on kosteutta, sitä korkeampi on kastepistelämpötila eli sitä korkeammassa lämpötilassa kosteus alkaa tiivistyä vedeksi.

Kastepisteen merkitys on hyvä tuntea myös taimikasvatuksessa. Esimerkiksi kun pyritään välttämään tauteja, kasvien pinnalle ei saisi tiivistyä kosteutta. Se voidaan välttää pitämällä kasvihuoneen lämpötila kastepistettä korkeampana. Kesäaikaan kastepisteen avulla voi myös illalla arvioida tulevan yön hallariskiä. Ilman lämpötila voi heikkotuulisena ja selkeänä yönä laskea kastepistelämpötilaa vastaavaan lukemaan.



Kuva 52.1. Taimien haihdunta riippuu haihduntaimusta (VPD), joka on kylläisen vesihöyryn (100 %:n suhteellinen kosteus) ja vallitsevan vesihöyryn (kuvassa 60 % suhteellinen kosteus) osapaineiden erotus, joka kasvaa lämpötilan noustessa [438].

Taulukko 52.1. Ilman haihduntaimu (VPD, kPa)) suhteellisen kosteuden ja lämpötilan funktiona. Haihduntaimun tulisi pysyä alle 1,0 kPa, jotta kuivuusstressi ei olisi liian voimakas [235].

Lämpö	Suhteellinen kosteus, %										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,61	0,55	0,49	0,43	0,37	0,31	0,24	0,18	0,12	0,06	0
5	0,87	0,78	0,70	0,61	0,52	0,44	0,35	0,26	0,17	0,09	0
10	1,23	1,11	0,98	0,86	0,74	0,62	0,49	0,37	0,25	0,12	0
15	1,71	1,54	1,37	1,20	1,03	0,86	0,68	0,51	0,34	0,17	0
20	2,33	2,10	1,86	1,63	1,40	1,17	0,93	0,70	0,47	0,23	0
25	3,17	2,85	2,54	2,22	1,90	1,59	1,27	0,95	0,63	0,32	0
30	4,24	3,82	3,39	2,97	2,54	2,12	1,70	1,27	0,85	0,42	0
35	5,63	5,07	4,50	3,94	3,38	2,82	2,25	1,69	1,13	0,56	0
40	7,37	6,63	5,90	5,16	4,42	3,69	2,95	2,21	1,47	0,74	0

ei suositeltava | idätysaikana | kasvatus- ja karaisuaikana



Kuva 52.2. Katemuoviin tai rakenteisiin tiivistyvän veden tippuminen paakkuarkkien päälle johtaa liikakosteuteen ja turpeen painumiseen ja pienentää taimisaantoa.

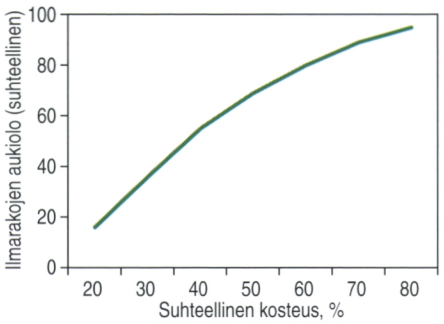
5.2.2 Kosteus kasvutekijänä

Ilman kosteus on olennainen kasvutekijä. Ilmarakojen aukiolo riippuu mm. ilman suhteellisesta kosteudesta. Ilmaraot ovat auki korkeassa kosteudessa (kuva 52.3), jolloin taimet eivät kuitenkaan haihduta voimakkaasti, koska vesihöyryn kyllästyspaineen vajaus on pieni, ts. ilmaan ei juuri "mahdu" lisää vettä. Taimi kyllä ottaa avoimien ilmarakojen kautta hiilidioksidia, mutta ravinteiden saanti maasta hidastuu, koska haihduntavirta on alhainen. Erityisesti kalsiumin ja magnesiumin otto heikkenee ja niistä voi syntyä puutetta.

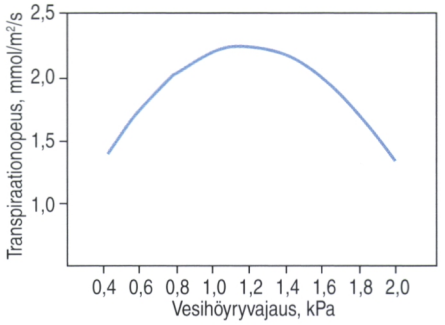
Alhainen suhteellinen kosteus, kuiva ilma (suuri haihduntaimu), puolestaan rajoittaa taimien kasvua, koska ilmaraot sulkeutuvat, hiilidioksidin saanti vähenee ja fotosynteesi heikkenee. Taimien haihduntanopeus kasvaa vesihöyryvajauksen kasvaessa 1 kPa:iin, mutta sen jälkeen haihdunta pienenee, koska juuret eivät pysty ottamaan vettä haihduntaa vastaavaa määrää [505] (kuva 52.4). Hyvin aurinkoisina ja lämpiminä päivinä kasvu voikin heiketä huomattavasti, vaikka taimet ovat hyvin kasteltuja.

Ilman kosteus tiheässä taimikasvustossa on yleensä huomattavasti korkeampi kuin kasvuston yläpuolella. Jos ilmavirtaukset ovat heikkoja, kuten kasvihuoneessa usein on laita, lehtien ja neulasten pinnoille muodostuu kostea ilmakerros. Tuuletuksen rooli on tärkeä kasvuston läheisen ilmakerroksen kosteuden alentamisessa ja taimien haihdunnan lisäämisessä.

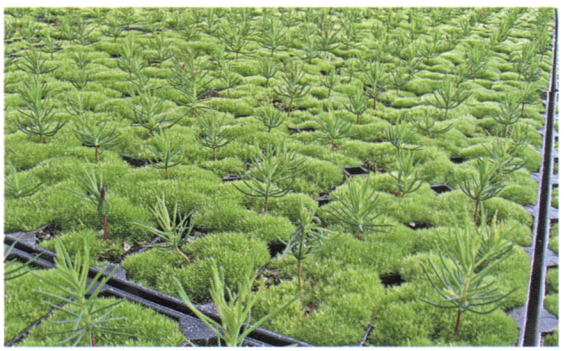
Jatkuvassa korkeassa kosteudessa lehtiä/neulasia suojaavan vahakerroksen (kutikula) muodostuminen saattaa jäädä heikoksi, jolloin taimet kärsivät kuivuudesta ulossiirron jälkeen. Liika kosteus lisää myös tautiriskiä sekä sammalien ja levien kasvua (kuva 52.5). Kosteissa kasvihuoneoloissa vakavan ongelman voi muodostaa herkästi leviävä harmaahome. Jo kolmen tunnin jakso 98 % suhteellisessa kosteudessa riittää harmaahomeen leviämiseen [251]. Ensimmäiset



Kuva 52.3. Ilmarakojen aukiolo riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta. Mitä kosteampaa ilma on, sitä aukinaisempia ovat ilmaraot [167].



Kuva 52.4. Mäntyjen haihduntanopeuden riippuvuus ilman vesihöyryvajauksesta 20 °C:n lämpötilassa täydessä päivän valaistuksessa [505].



Kuva 52.5. Hitaan kasvujakson aikana liika kastelu ja vähäinen tuuletus ovat johtaneet turpeen pinnan sammaloitumiseen ja koko taimierän menetykseen.

oireet ilmaantuvat muovihuoneessa jo 1–2 vrk:n kuluessa [327]. Syyskesällä riski kasvaa, kun päivä lyhenee, ilman suhteellinen kosteus lisääntyy ja lämpötilan laskee öisin alle kastepistelämpötilan tiivistäen pintakosteutta kasvustoihin [443]. Myös eräät hyönteiset, kuten sienisääsket viihtyvät kosteassa ympäristössä ja sammalkasvustossa.

5.2.3 Optimikosteus eri kasvatusvaiheissa

Sopivan ilman kosteuden ylläpito muovihuoneessa on tasapainoilua tuuletuksen, lämmityksen ja kastelun kanssa. Muovihuoneilman kosteuteen vaikuttavat myös katemateriaali, saumojen ja rakenteiden tiiviys sekä tietysti taimikasvusto. Suomen metsätaimitarhoilla ei käytetä varsinaisia kosteuden säätölaitteita, vaan kosteuden ohjaus perustuu tuuletukseen, lämmitykseen ja kasteluun.

Perustamisvaihe

Siemenien tulee pysyä kosteina itämisen aikana. Siemen imee vettä kylvön jälkeen noin vuorokauden ajan. Sen jälkeen elintoiminnat käynnistyvät ja siemen tarvitsee veden lisäksi happea (kuva 2.2). Suhteellisen kosteuden pitäminen korkeahkona (60–90 %) vähentää usein toistuvan kastelun tarvetta ja itävä siemen saa riittävästi happea (taulukko 52.2).

Nopean kasvun vaihe

Orastumisvaiheessa, kun juuret ovat kasvaneet yli paakun puolivälin (3–4 viikkoa), suhteellinen kosteus voidaan laskea 50–80 %:iin. Kasvualustan pinta ja taimet ehtivät kuivahtaa kastelujen välillä, jolloin sammaloitumisen ja homehtumisen riski pienenee. Jos sumukastelua käytetään korkeiden lämpötilahuippujen alentamiseksi, se tehdään pienin annoksin niin, että osa pisaroista haihtuu jo ilmassa. Varsinaiset kastelut on parasta toteuttaa aamulla tai aamupäivällä, jotta versojen pintakosteus haihtuu ennen yötä. Kun kasvusto sulkeutuu, versot pysyvät kauan pintakosteina, mikä tarjoaa homeille suotuisat olosuhteet. Tässä vaiheessa tuuletuksen rooli on erittäin tärkeä kosteuden laskemiseksi ja kasvuston kuivattamiseksi.

Karaisuvaihe

Taimet ovat karaisuvaiheessa useimmiten jo ulkokentillä, ja kasvuston kosteutta voidaan säädellä vain kastelulla. Muovihuoneissa olevat taimet on edelleen syytä kastella aamuisin, jotta versot ehtivät kuivua ja ilman kosteus laskea illaksi. Syksyn viiletessä suhteellinen kosteus nousee ja kosteus tiivistyy yhä herkemmin taimiin. Tällöin pyritään jo päivällä tuulettamaan mahdollisimman paljon, jotta kasvusto ei jää kosteaksi. Yöllä lämpötilan pitäminen kastepisteen yläpuolella vähentää taimiin tiivistyvää pintakosteutta ja sen aiheuttamaa tautiriskiä.

Taulukko 52.2. Sopivat kosteusolosuhteet muovihuoneessa suhteellisena kosteutena ja kyllästysvajauksena ilmoitettuna [235].

Vaihe	Suhteellinen kosteus, %		Kyllästyspaineen vajaus, kPa, 25 °C	
	Tavoite	Vaihteluväli	Tavoite	Vaihteluväli
Itäminen-orastuminen	80	60–90	0,6	1,3–0,3
Nopea kasvu	60	50–80	1,2	1,6–0,6
Karaistuminen	vallitseva		vallitseva	

5.3 Valo

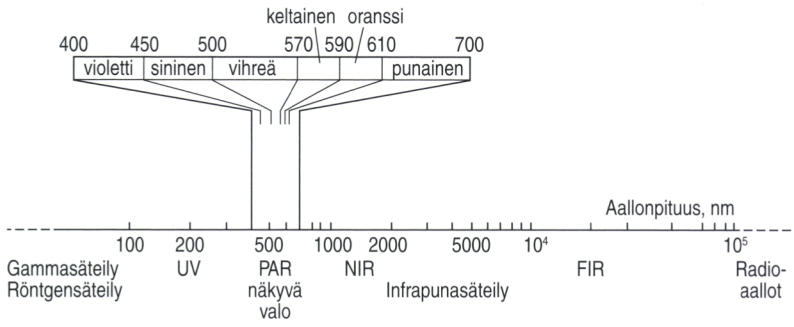
5.3.1 Ominaisuudet, mittaus ja säteily Suomessa

Auringon säteily ja spektri

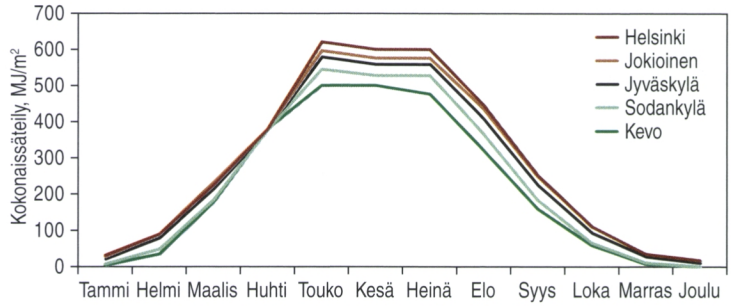
Säteilyn laatua voidaan kuvata sekä aallonpituutena että energiana. Säteilyn eri aallonpituudet sisältävät eri määrän energiaa, lyhytaaltoinen enemmän kuin pitkäaaltoinen. Näkyvä valo on osa koko elektromagneettista säteilyä (kuva 53.1). Näkyvän, ihmissilmän havaitseman valon aallonpituudet ovat alueella 400–700 nm. Tätä aluetta lyhytaaltoisempaa säteilyä kutsutaan ultraviolettisäteilyksi ja pitkäaaltoisempaa säteilyä infrapuna- eli lämpösäteilyksi.

Maan ilmakehä suodattaa pois osan auringon ultravioletti- ja näkyvästä säteilystä. Maahan tulevaa säteilyä kutsutaan kokonaissäteilyksi. Se koostuu suorasta säteilystä ja hajasäteilystä. Säteilyn määrä ja laatu riippuvat säteilykulmasta, johon vaikuttavat paikkakunnan leveysaste, vuodenaika ja vuorokauden aika sekä pilvisyys.

Vuoden kokonaissäteilymäärä riippuu maantieteellisestä sijainnista (kuva 53.2). Helsingistä Sodankylän korkeudelle siirryttäessä koko vuoden kokonaissäteily vähenee noin 17 %. Vuodenaikaisvaihtelu on suurempaa. Esimerkiksi toukokuun säteilymäärä on 30–35 % elokuun määrää suurempi (kuva 53.3a). Myös pilvisyys vaikuttaa huomattavasti säteilymäärään. Pilvisenä, sateisena päivänä määrä jää alle kolmasosaan kirkkaan päivä säteilystä (kuva 53.3b).



Kuva 53.1. Valo kuuluu elektromagneettiseen säteilyyn, joka ulottuu kosmisesta säteilystä radio- ja TV-aaltoihin [218].



Kuva 53.2. Keskimääräinen kuukausittainen kokonaissäteily eri paikkakunnilla Suomessa vuosina 1971–2000. (http://ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot_9.html)

Säteilyn mittaus, yksiköt ja muuntokertoimet

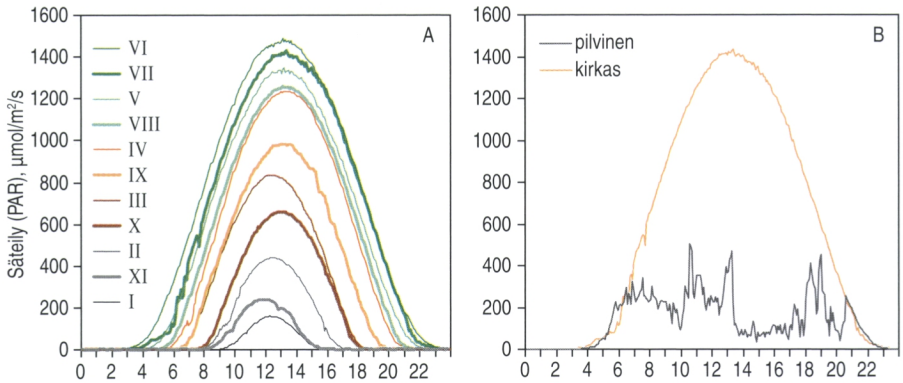
Säteilyn laatua ja määrää mitataan monella tavalla. Auringon valon mittaamisessa käytetään yleensä energiayksiköitä. Säteilyn *energia* ilmoitetaan pinta-ala- ja aikayksikköä kohti (esim. J/m^2/vrk). Säteilyn *teho* ilmoitetaan pinta-alayksikköä kohti (W/m^2). Tehoa käytetään yleensä kohtuullisen vakioisesti toimivan valolähteen, esim. kasvihuonevalaistuksen valotehon kuvaamisessa.

Valoisuutta mitataan fotometrisesti luksimittarilla, jonka mittausalue (380–710 nm) vastaa ihmissilmä herkkyyttä ja on herkimmillään lähellä vihreän valon aallonpituutta (555 nm) (kuva 53.4). *Kasveille käyttökelpoisen valon määrää* (PAR, photosynthetically active radiation) mitataan kvanttimittarilla, jonka herkkyys on säädetty kasveille yhteyttämiskelpoisille aaltoalueille. Määrä ilmoitetaan yleensä mikromooleina pinta-ala- ja aikaksikköä kohti (µmol /m^2/s). Koska eri mittarit painottavat eri tavoin valon eri aallonpituuksia, ei yksiköiden välillä ole yksiselitteisiä muuntokertoimia. Suuntaa-antavan kuvan eri valolähteiden valon voimakkuuksista eri mittareilla mitattuina saa taulukosta 53.1.

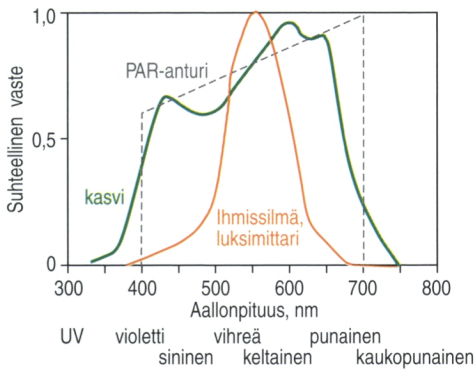
5.3.2 Taimien valontarve

Valon *voimakkuus* ja *laatu* (aallonpituus) vaikuttavat fotosynteesiin ja valon *jaksottaisuus* sekä laatu kasvien vuodenaikaisrytmiin ja rakenteeseen (fotomorfogeneesi).

Valon voimakkuuden vaikutus fotosynteesiin on käyräviivaista: ensin valon lisääntyessä ylitetään ns. valon kompensaatiopiste, jossa kasvin hiilidioksidin sidonta on samansuuruinen kuin respiraatiossa (hengityksessä) vapautunut hiilidioksidimäärä (kuva 53.5). Kompensaatiopiste saavutetaan valon voimakkuudella 20–50 µmol/m^2/s (1100–2700 lx) kasvilajista ja ympäristötekijöistä riippuen.



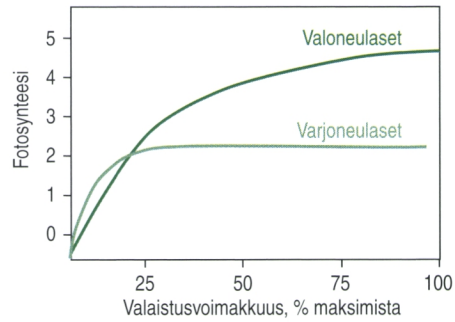
Kuva 53.3. Säteilyn määrä vaihtelee hyvin paljon ajankohdasta ja pilvisyydestä riippuen. (**A**) Kirkkaan, lähes pilvettömän päivän fotosynteettisesti aktiivisen säteilyn määrä eri kuukausina Suonenjoella. (**B**) Kirkkaan ja pilvisen päivän säteilymäärä heinäkuun puolivälissä.



Kuva 53.4. Periaatekuva kasvin fotosynteesin, fotosynteettisesti aktiivista säteilyä mittaavan PAR-anturin ja ihmissilmän herkkyydestä säteilyn eri aallonpituuksille [235].

Taulukko 53.1. Fotosynteettisesti aktiivisen säteilyn (PAR) määrä erilaisissa valaistuksissa ilmoitettuna watteina, mikromooleina ja lukseina sekä muuntokerroin PAR-yksiköistä (µmol m^{-2} s^{-1}) lukseiksi (lx) [235].

Valolähde	Säteily	Säteilyteho (PAR)	Valaistus-voimakkuus	Muunto-kerroin
	W/m^2	µmol m^{-2} s^{-1}	lx	PAR→lx
Kirkas auringonpaiste (meren pinnassa)	450	2000	108000	54
Paksu pilvipeite	15	60	3200	54
Täysikuu	0,05	0,2	10	54
Hehkulamppu (100 W)	0,2	1,2	59	49
Suurpainenatriumlamppu (400 W)	4	20	1670	84
Pienpainenatriumlamppu (180 W)	2	10	1090	109
Monimetallilamppu (400 W)	4	19	1330	70
Loisteputki (cool white) (40 W)	0,3	1,3	103	79



Kuva 53.5. Nettofotosynteesi lisääntyy valomäärän lisääntyessä erityisesti valoneulasissa. Varjoneulaset pystyvät yhteyttämään valoneulasia voimakkaammin vähässä valossa, mutta tietyn valaistusvoimakkuuden jälkeen yhteyttäminen ei enää lisäänny. Toisaalta hyvin vähässä valossa neulaset alkavat respiroida. Tätä valomäärän raja-arvoa kutsutaan kompensaatiopisteeksi. [235].

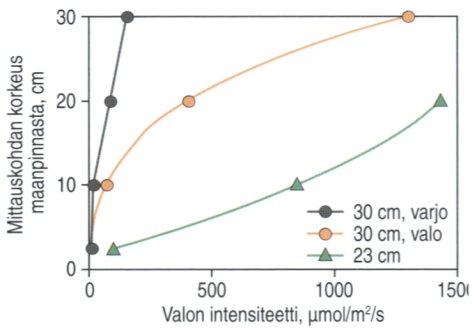
Valon voimakkuuden kasvaessa fotosynteesi lisääntyy nopeasti noin 150–200 µmol/s/m^2 (noin 10000 lx) saakka, minkä jälkeen lisääntyvä valo tuottaa yhä pienemmän lisän fotosynteesiin, kunnes saavutetaan kyllästymispiste ja yhteyttäminen ei enää lisäänny, vaikka valon määrä kasvaa. Kasvilajeista ja olosuhteista riippuen kyllästymispiste on 300–500 µmol/s/m^2 (noin 20000 lux) eli noin neljännes kirkkaasta kesäpäivän valon voimakkuudesta. Kyllästymispisteen suuruus vaihtelee verson eri osissakin mm. valo- ja varjoneulasten välillä.

Tiheiden taimikasvustojen itsevarjostuksesta johtuen valon määrä vähenee nopeasti latvasta tyveen (kuva 53.6). Niinpä koko taimen keskimääräinen kyllästymispiste voi olla kolminkertainen yksittäiseen latvalehteen/neulaseen nähden [235]. Harvemmassa kasvaessaan taimet saavat enemmän valoa alaneulasille. On huomattava, että kasvihuonekatteet ja rakenteet leikkaavat valon määrästä 5–40 % (kuva 53.7). Hyvänä esimerkkinä valon vähenemisestä kasvuston alaosassa ovat kookkaat männyn tai kuusen taimet, joiden alaneulaset ruskettuvat valonpuutteessa (kuva 53.8). Yleisesti ottaen kasvihuoneessa on käytettävä hyväksi kaikki mahdollinen valo, jotta taimet yhteyttäisivät tehokkaasti.

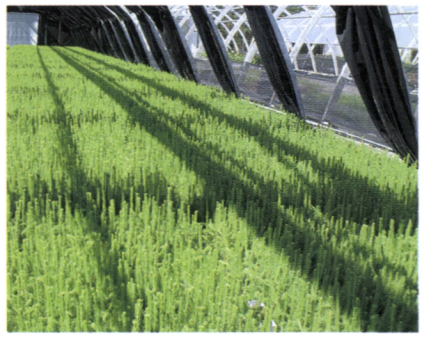
Hyvin voimakkaasta, kyllästymispisteen yli menevästä valosta voi olla haittaa. Haitta ilmenee ns. fotoinhibitiona, fotosynteesipigmenttien vaurioitumisena, joka aiheuttaa kloroosia neulasissa. Suomessa fotoinhibitiota voi ilmetä kevättalvella aurinkoisina päivinä taimikoissa ja taimitarhoilla sekä kesällä siirrettäessä taimia kasvihuoneesta ulos kirkkaaseen aurinkoon ja mahdollisesti istutettaessa taimia pimeistä suljetuista laatikoista suoraan aurinkoiselle uudistusalalle.

5.3.3 Valon vaikutus kasvin rakenteeseen

Päivä/yörytmi sekä valon eri aallonpituudet ja niiden suhteet vaikuttavat moni tavoin kasvien kasvuun ja rakenteeseen. Keskeisin vaikutuksista on valon päivä/yörytmi eli fotoperiodisuus.



Kuva 53.6. Valon voimakkuuden (intensiteetti) muutos latvasta tyveen 30 cm mittaisessa kuusikasvustossa PL81F-arkissa kuvan 53.7 aurinkoisissa (valo) ja varjokohdissa. Vertailuna vastaava muutos 23 cm pituisessa kuusikasvustossa aurinkoisessa kohdassa mitattuna.



Kuva 53.7. Muovihuonerakenteet muodostavat voimakkaita varjoja, joiden paikka muuttuu jossain määrin auringon kierron mukaan. Varjokohdissa valon voimakkuus on kymmenesosa aurinkoisten kohtien voimakkuudesta, mikä vaikuttaa voimakkaasti haihduntaan.



Kuva 53.8. Kookkaiden kaksivuotiaiden kuusen (vasen) ja männyn taimien alaneulaset ovat ruskettuneet valon puutteessa.

Eri maantieteellisiltä alueilta peräisin olevat taimet reagoivat eri tavoin pitenevään yöhön. Taimien pituuskasvu päättyy, silmun muodostuminen käynnistyy ja karaistuminen alkaa kun ao. alkuperän ”kriittinen yönpituus” ylitetään. Kriittisellä yönpituudella tarkoitetaan sitä yön pituutta, jossa 50 % ko. taimipopulaation taimista muodostaa silmun [76]. Lyhytpäiväkäsittely ja häirintävalojen käyttö ovat taimien päivä/yörytmin manipulointia.

Valon aallonpituus ohjaa myös kasvun suuntautumista kasvissa. Mitä enemmän valossa on kaukopunaista (far red) valoa suhteessa punaiseen (red) valoon, sitä voimakkaammin kasvi kasvaa pituutta. Näin tapahtuu esim. metsässä latvuston alla, missä punainen aallonpituus imeytyy osittain latvustoon ja kaukopunainen siivilöityy taimille. Sininen valo puolestaan säätelee rakenteellista ohjautumista kuten oksien muodostumista ja tanakkuutta.

Säteily, erityisesti sen UV- ja siniset aallonpituudet, vaikuttaa lehden/neulasen pinnalle muodostuvan vahakerroksen (kutikulan) rakenteeseen ja vahvuuteen [479]. Mitä vähemmän on valoa, sitä heikommaksi vahakerros jää. Niinpä varjostuksessa, UV-valoa suodattavan muovin alla tai tiheässä kasvavien taimien alaosan neulasiin muodostuva vahakerros voi jäädä ohuemmaksi ja taimien kuivuuden ja homeen kestävyys heikommaksi. Vahakerroksen muodostuminen ja siihen vaikuttavat tekijät tunnetaan kuitenkin varsin heikosti.

5.3.4 Häirintävalo

Pitkä yö voi varhaisissa kevätkylvöksissä pysäyttää taimien kasvun ja indusoida silmun muodostumisen sirkkataimen päähän (kuva 53.9). Tämä voidaan estää lyhentämällä yön pituutta ns. häirintävalolla (fotoperiodivalo). Häirintävalon samoin kuin lyhytpäiväkäsittelyn käyttö perustuu viherhiukkasissa esiintyvien fytokromipigmenttien toimintaan. Kasvit mittaavat vuorokautisen valojakson pituutta fytokromien avulla. Fytokromit tunnistavat punaisen (660 nm) ja kaukopunaisen (tummanpunaisen) (735 nm) aallonpituuden suhteen, joka luonnonvalaistuksessa kasvaa keväällä päivän pidentyessä ja pienenee syksyä kohti öiden pidetessä [204].

Pohjois-Amerikassa häirintävaloja käyttää 82 % paakkutaimitarhoista ja niitä käytetään myös syksyllä sekä muovihuoneissa että avomaakentillä [235]. Suomen taimitarhoilla häirintävalon käyttö on toistaiseksi rajoittunut lähinnä taimien päätesilmun muodostumisen estämiseen aikaisissa kevätkylvöksissä. Käyttö syyskesällä ja syksyllä voi olla tarpeellista, jos kasvatetaan taimitarhaa pohjoisempaa tai korkeammilta kasvupaikoilta peräisin olevia alkuperiä tai jos kasvatetaan useampia taimisatoja vuodessa ja viimeinen sato ei ehdi kasvaa luonnon päivänpituudessa riittävän kookkaaksi. Syyskesän häirintävalotuksella pyritään myös vähentämään taimien pituuskasvueroja, joskin syyslokakuussa häirintävalon kasvuvaikutus ilman lisävalaistusta jää vähäiseksi.



Kuva 53.9. Maaliskuun alussa kylvetyistä siemenistä 16 tunnin päivänpituudessa kasvaneita kuusen taimia 2 kk ikäisinä. Osa taimista muodosti silmun kuuden viikon kuluttua kylvöstä. Silmuuntumisen estämiseksi päivän pituutta olisi pitänyt jatkaa 18 tuntiin tai jakaa yö kahteen osaan 2 tunnin valotuksella (EO).

Häirintävalotukseen tarvittavan valon voimakkuus on pieni fotosynteesiin tarvittavaan valaistukseen verrattuna. Valotarpeen kriittisiä rajoja ei tosin tunneta hyvin ja myös valotustavalla on siihen vaikutuksensa. Tarvittava valon voimak-

kuus vaihtelee puulajeittain 1–16 µmol/s/m^2 (100–860 lx) [235]. Yhtäjaksoisessa valotuksessa riittänee alhaisempi valaistusvoimakkuus kuin jaksoittain (esim. ns. ramppivalotus) toteutetussa valotuksessa. Syyskesällä häirintävaloa käytettäessä on muistettava hallojen riski.

Kaikkien puulajien taimet eivät reagoi häirintävaloon samalla tavalla. Reagointi riippuu myös taimien alkuperästä ja iästä [155]. Tarve yön lyhentämiseen keinovaloilla voi vaihdella keväisin sääolosuhteiden mukaan. Voimakas pilvisyys pidentää vuorokautista hämärän aikaa, jolloin yö on kasveille pitempi kuin aurinkoisena keväänä. Häirintävalotusjakson aikana kasvuolosuhteet on pyrittävä pitämään optimaalisina. Stressaantuneet (alhainen lämpötila, veden tai ravinteiden puute) taimet voivat häirintävalotuksesta huolimatta muodostaa päätesilmun.

Kuusella tarve häirintävalaistukseen on suurempi kuin männyllä. Kuusentaimien silmun muodostumisen estäminen voi vaatia häirintävalon käyttöä huhtikuun puolivälin kylvöksiin saakka taimien alkuperästä riippuen. Herkimpiä silmuuntumaan ovat taimitarhaa pohjoisemmat alkuperät. Kuuselle riittävänä häirintävalaistuksen voimakkuutena on pidetty keväällä noin 10 µmol/s/m^2 (500 lx) [88].

Kuinka pian kylvön jälkeen häirintävalotus olisi aloitettava? Kuusella valotus on syytä aloittaa sirkkavarren alkaessa työntyä ulos siemenkuoresta, sillä kuusentaimet reagoivat yön pituuteen hidastamalla kasvua ja muodostamalla päätesilmun jo 4–5 viikon ikäisinä [109], minkä jälkeen pitkän päivän olosuhteissa taimet lähtevät usein uudelleen kasvuun [70]. Männyntaimilla reagointiherkkyys lisääntyy vasta 6–8 viikon iässä [465]. Ruotsalaisilla taimitarhoilla on häirintävaloa käytetty myös varhaisilla mäntykylvöksillä, vaikka tutkimusten perusteella maaliskuun mäntykylvösten valokäsittelyä ei ole pidetty tarpeellisena [75].

Häirintävalotuksen lopettamisajankohdasta ei myöskään ole tarkkaa tietoa. Käytännön kokemusten mukaan taimet eivät muodosta silmua, jos valotusta jatketaan toukokuun alkuun saakka. On kuitenkin mahdollista, jos häirintävalotus toteutetaan jakamalla yö kahteen osaan, että valotuksen loputtua ja yön pituuden tavallaan kaksinkertaistuessa, taimet reagoivat muodostamalla silmun. Häirintävalotusta kannattaneekin jatkaa jos mahdollista yli toukokuun puolivälin, jolloin päivän pituus Keski-Suomessa on jo n. 18 h.

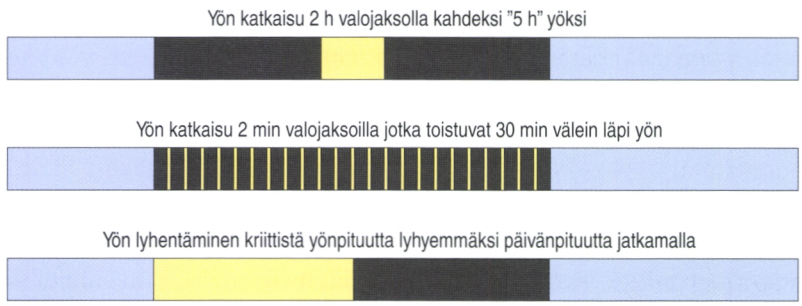
Kasvun jatkamiseksi syyskesällä kuusi vaatii voimakkuudeltaan 20 µmol/s/m^2 (1000 lx) häirintävalaistuksen [430]. Mänty ja lehtikuusi reagoivat kuusta alhaisempiin voimakkuuksiin ja jo yhden tunnin lisävalaistus (0,5–20 µmol/s/m^2 eli 40–1000 lx) yöllä on estänyt kasvun pysähtymisen ja silmun muodostuksen [429, 430].

Päivänpituutta voidaan jatkaa keinovalolla joko illasta tai aamusta niin paljon, että kriittinen yönpituus ei ylity. Tällä menetelmällä joudutaan valaistusta kuitenkin jatkamaan kauan. Toinen vaihtoehto on katkaista yö useilla lyhyillä, säännöllisin väliajoin toistuvilla valojaksoilla (kuva 53.10). Jos valojakso toistetaan 5–30 minuutin välein koko pimeäjakson ajan, kokonaisvaloajaksi riittää 3–10 % pimeän ajasta. Valojaksojen väliin jäävän pimeän jakson pituus ei tällöin saa kuitenkaan ylittää 30 minuuttia [478].

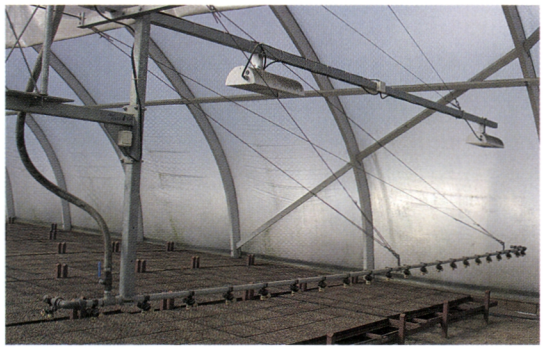
Useiden lyhyiden, säännöllisin väliajoin toistuvien valojaksojen antaminen yön aikana voidaan toteuttaa asentamalla lamput kiinteästi kattoon tai kiinnittämällä ne kasteluramppiin, jota ajetaan huoneessa edestakaisin säännöllisin väliajoin (esim. nopeudella 5 m/min). Jaksottaisessa häirintävalaistuksessa valaistuksen voimakkuuden ohella myös valistuksen kesto vaikuttaa tulokseen.

Kiinteä, koko huoneen valaisu tulee kalliiksi, mutta se mahdollistaa kasvatusvalaistuksen (fotosynteettisen valaistuksen), jos valaisimia on riittävästi. Ramppiin asennetut lamput lienee helpoin, taloudellisin ja myös eniten käytetty ratkaisu liikkuvalla kastelulaitteistoilla varustetuissa kasvihuoneissa (kuva 53.11). Kokeessa kasteluramppiin kiinnitettyjen 400 W suurpainenatriumlamppujen antamalla 22–50 μmol/s/m^2 (1800–4000 lx) valaistuksella toteutettu 1,5 tunnin yön katkaisu (kolme edestakaista ajokertaa) paransi eteläsuomalaisen kuusialkuperän siemenien itämistä 10 %:lla, esti pääosin sirkkataimien silmuuntuminen (0,5 % taimista silmuuntui) ja lisäsi taimien keskipituutta 3 cm:llä [193,293]. Käytännössä kannattaa kuitenkin kokonaisvalaistusaikana käyttää 2–3 tuntia (4–6 ajokertaa), koska taimien reagointi riippuu taimien alkuperästä ja mahdollisesti myös muista olosuhteista.

Häirintävalaistusta suunniteltaessa on hyvä konsultoida asiantuntijoita valaisimien ominaisuuksista, sopivasta spektristä ja valaistusvoimakkuudesta sekä asennustavasta. Valoja asennettaessa on hyvä muistaa, että valaistuksen voi-



Kuva 53.10. Erilaisia yönpituuden lyhentämisvaihtoehtoja [204].



Kuva 53.11. Liikkuvaan kastelulaitteeseen kiinnitettyjä häirintävalolamppuja.

makkuus laskee, kun etäisyys valaisimesta kasvaa. Valaistuksen voimakkuus on kääntäen verrannollinen valaisimen ja kohteen välisen etäisyyden neliöön. Asennuksen jälkeen kannattaa varmistaa mittaamalla valaistuksen riittävyys ja tasaisuus. Riittämätön valaistus ja häiriöt valojen toiminnassa voivat heikentää tai peräti mitätöidä toimenpiteen vaikutuksen. Valaistuksen puute jo yhtenä yönä voi käynnistää taimien silmun muodostumisen [10].

5.3.5 Lyhytpäiväkäsittely (LP)

Päinvastoin kuin häirintävalolla, lyhytpäiväkäsittelyllä (LP) pidennetään pimeän jakson osuutta yli kriittisen yön pituuden. LP-käsittely pysäyttää taimien pituuskasvun, indusoi silmun muodostumisen ja käynnistää taimien karaistumisen (kuva 53.12). LP-käsittelyn ensimmäisellä viikolla muodostuvat silmusuomut ja silmujen kehittyminen alkaa neulasaiheiden muodostumisella, joka kestää 2–3 kk olosuhteista riippuen [282]. LP- käsittelyä suunniteltaessa on teknisen toteuttamisen ohella otettava huomioon kasvatettava puulaji, alkuperä, taimien ikä sekä muut kasvatustoimenpiteet.

Päivänpituuden lyhentäminen vaikuttaa sinänsä vain taimien pituuskasvuun. Käsittely voi kuitenkin heikentää myös läpimitan ja juurten kasvua vähentämällä säteilyn kokonaismäärää ja lisäämällä respiraatiota pimennyskankaan alla yleensä vallitsevan korkeamman lämpötilan vuoksi [206, 437, 446]. LP-käsittelyssä kannattaa välttää alkuperän kriittistä yönpituutta selvästi pitempiä yönpituuksia ja liian pitkiä käsittelyjaksoja. Pitkä yö ja korkea suhteellinen kosteus luovat suotuisat olosuhteet myös harmaahomeelle.

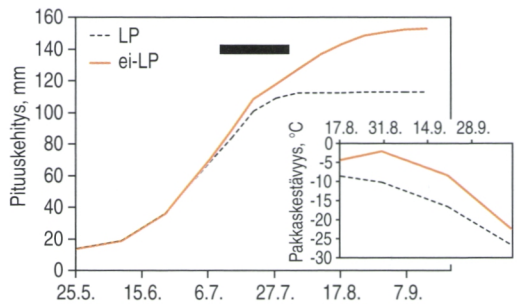
LP-käsittely voidaan toteuttaa eri tavoin (kuva 53.13). Perinteisessä, *staattisessa käsittelyssä* päivän pituus lyhennetään vakiopituuteen, esim. 12 tuntiin, koko käsittelyjakson ajaksi. Käsittely on luonnonmukaisempi ns. *dynaamisessa käsittelyssä*, jossa päivän pituutta lyhennetään vähitellen luontaisen muutoksen tahdissa. Se saattaa vähentää käsittelyn sivuvaikutuksia. *Jaksottaisessa* LP-kä-

sittelyssä päivän pituutta lyhennetään esim. vain arkipäivinä. LP-käsittelyn keskeytyminen 1–2 yöksi, esim. viikonloppuina, ei mitätöi käsittelyn vaikutusta, jos käsittelyn alussa on vähintään 3–4 vuorokauden jakso, jolloin kasvun pysähtyminen ehtii kunnolla käynnistyä [195].

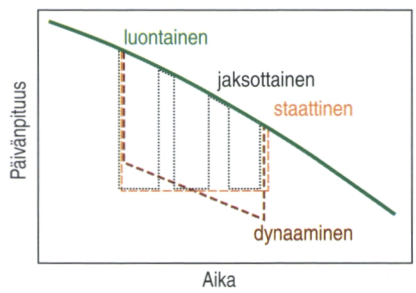
Voimakas päivänpituuden lyhentäminen vaalentaa lehtien/neulasten väriä. Käsittelyn jälkeen väri palautuu 1–2 viikossa normaaliksi tai muuttuu jopa tummemman vihreäksi[268]. Käsittelyn aikana taimien latvojen vesipitoisuus nousee korkeammaksi kuin käsittelemättömillä taimilla[206]. Vesipitoisuuden aleneminen ja taimien puutuminen alkaa käsittelyn päätyttyä.

LP-käsittelyllä on myös sivuvaikutuksia. Käsiteltyjen taimien silmut puhkeavat seuraavana keväänä muutamaa päivää aikaisemmin kuin käsittelemättömillä taimilla [204, 203] ja kasvukausi voi jatkua pitempään [317, 273]. LP-käsittelyn jälkeen on joskus esiintynyt ongelmia silmujen muodostumisessa, minkä on oletettu johtuvan liian korkeasta lämpötilasta käsittelyjakson aikana [315]. Joskus taas osa käsiteltyjen taimien silmuista on jäänyt puhkeamatta keväällä [290].

Suomessa pimennyslaitteistot rakennettiin aluksi muovihuoneiden kaarien varaan (kuva 53.14a). Muovihuoneissa, joissa on kiinteä katemuovi, lämpötila voi nousta iltaisin ja aamuisin auringonpaisteella liian korkeaksi, koska riittävää tuuletusta on pimennyskankaiden vuoksi vaikea järjestää. Nykyisin on siirryt-



Kuva 53.12. Lyhytpäiväkäsittely pysäyttää pituuskasvun ja nopeuttaa karaistumiskehitystä parantaen taimien hallankestävyyttä. Kuvassa LP-käsiteltyjen ja käsittelemättömien kuusentaimien pituuden ja pakkaskestävyyden (LT_{10}) kehitys ensimmäisenä kesänä. Musta vaakapalkki kuvaa LP-jakson ajoitusta [206].



Kuva 53.13. Periaatekuva staattisesta, dynaamisesta ja jaksoittaisesta lyhytpäiväkäsittelystä.

ty yhä enemmän ulkokentille rakennettuihin automaattisiin tai käsikäyttöisiin laitteisiin (kuvat 53.14 a ja c), mikä ei kokonaan poista lämpötilan ja kosteuden nousun riskiä. Ongelmaa voi vähentää lämpösäteilyä heijastavalla ja riittävän huokoisella pimennyskankaalla. Pimennysverhoihin ei saa jäädä rakoja, sillä kasvuston päälle lankeavat valokiilat mitätöivät käsittelyvaikutukset.

LP-käsittely puulajeittain

Seuraavassa esitellään LP-käsittelyn vaikutuksia ja käyttöä puulajeittain tai puulajiryhmittäin. Kasvattajan kannattaa itse kokeilla omissa kasvausolosuhteissaan erilaisia käsittelyvaihtoehtoja, sillä tutkimustieto on saatu tietynlaisista olosuhteista ja rajoitetulla materiaalilla. Koska kuusen LP-käsittelystä on käytettävissä eniten tutkimustietoa, käsitellään se muita perusteellisemmin.

Kuusi

Pituuskasvu ja silmun muodostuminen

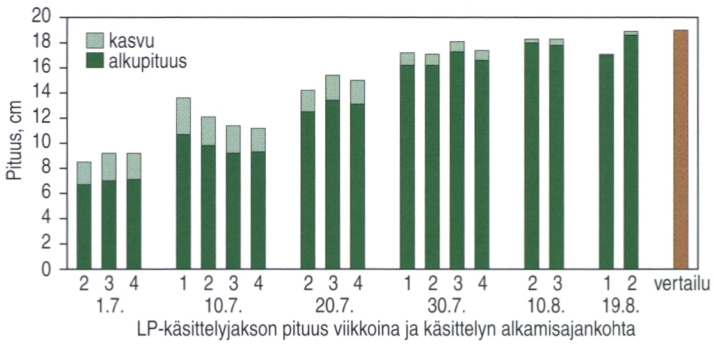
Kuusella kylvövuonna yönpituus on tärkein pituuskasvun päättymiseen vaikuttava tekijä. LP-käsittely samanaikaistaa eri taimiyksilöiden pituuskasvun päättymistä vähentäen näin taimierän sisäistä pituusvaihtelua [109, 110, 273]. Taimien tavoitepituus ja toimitusajankohta määräävät LP-käsittelyn ajoituksen. On hyvä muistaa, että taimet kasvavat pituutta 2–5 cm vielä käsittelyn aloittamisen jälkeen, ja sitä enemmän mitä aikaisemmin käsittely toteutetaan (kuva 53.15) ja mitä myöhemmin ne on kylvetty.



Kuva 53.14. Erilaisia lyhytpäiväkäsittelylaitteistoja. Muovihuonekaarien varaan rakennettu laitteisto (**A**), automaattinen (EO) (**B**) ja käsin hoidettava (**C**) avomaalaitteisto.

Ensimmäisen vuoden taimilla liian aikaisin aloitetun tai liian lyhyen LP-jakson jälkeen jälkikasvun riski lisääntyy. Koska jälkikasvun myötä suuri osa LP-käsittelyn hyödystä menetetään, on käsittelyn ajoitus ja kesto sovitettava kasvuvaiheeseen nähden oikean pituisiksi. Varhain, helmi-maaliskuussa, kylvetyn kesäistutukseen tarkoitetun erän LP-käsittely voidaan aloittaa kesäkuun loppupuoliskolla, mutta käsittelyjakson pituuden tulee olla 4 viikkoa. Heinäkuussa yleensä riittää 3 viikon käsittelyjakso taimien jälkikasvujen välttämiseen. Mitä enemmän taimille on kertynyt lämpösummaa (taimet pidemmällä kehityksessään) LP-käsittelyn alkaessa, sitä pienempi on jälkikasvun riski.

Toisena vuonna kuusen taimien jälkikasvuriski vähenee olennaisesti, kun lämpösummaa on kertynyt ennen LP-käsittelyn alkamista enemmän kuin 300 d.d. ja käsittelyn lopetuksen jälkeen ei kerry 450 d.d.:tä enempää[271]. Siten Etelä-Suomen olosuhteissa LP-käsittelyn aloittaminen ennen juhannusta lisää jälkikasvuriskiä. Riskiä voi pienentää pitämällä taimia muovihuoneessa toisen kasvukauden alussa, mikä jouduttaa lämpösumman kertymistä. Norjalaistutkimuksen [187] mukaan taimitarhaa eteläisempien alkuperien taimilla varhaisen LP-käsittelyn jälkeinen jälkikasvun riski on suuri ja pohjoisilla (64–65 °N) tarhoilla tämä riski on eteläisiä (60 °N) tarhoja suurempi. Tutkimuksessa jo kolmen viikon käsittely pienensi jälkikasvuriskiä selvästi kahden viikon käsittelyyn verrattuna, mutta kesäkuussa aloitettavaa LP-käsittelyä kannattaa jatkaa neljään viikkoon. Toinen mahdollisuus on toteuttaa LP-käsittely kahtena viikon jaksona, joiden väliin jää 2 viikon käsittelemätön jakso. Norjassa on saatu myönteisiä kokemuksia tällaisesta jaksottaisesta LP-käsittelystä, mikä myös haittaa vähemmän taimien läpimitan ja juuriston kasvua [96].



Kuva 53.15. Pituuskasvun pysähtyminen vie aikaa sitä enemmän, mitä aikaisemmin LP-käsittely toteutetaan. LP-käsittelyt (14 h yö) toteutettu kesän aikana (1.7.–19.8.) ja eripituisina käsittelyjaksoina (1–4 vk). Oikeassa reunassa käsittelemättömien vertailutaimien pituus [200].

Aiemmin LP-käsittelyssä käytettiin 16 tunnin yönpituutta. Sittemmin Suomessa on siirrytty 12–14 tunnin yönpituuteen, mikä on kokeissa riittänyt pysäyttämään pituuskasvun. Myös taimien homehtumisriski pienenee lyhyemmässä yössä. Brittiläisessä Kolumbiassa käytetyt yönpituudet ovat vaihdelleet 10–16 tuntiin [441, 215]. Pisintä yötä on käytetty tarhaa eteläisemmillä ja läheltä merenpintaa kotoisin olevilla puulajeilla tai alkuperillä.

Karaistuminen

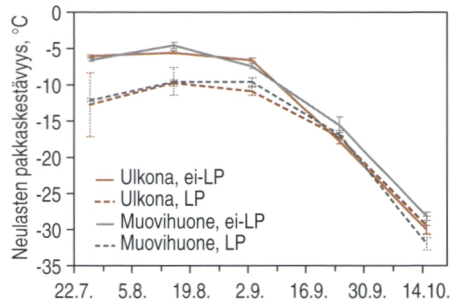
LP-käsittely aikaistaa ja nopeuttaa kuusen taimien karaistumista [56, 271, 401]. Karaistumista voi jouduttaa 2–6 viikolla ja taimien pakkaskestävyys voi olla syyskuun alussa 5–7 °C käsittelemättömiä taimia parempi [206, 273]. Vaikutus on melko samanlainen sekä yksi- että kaksivuotiailla taimilla kuusilajista riippumatta. Kuitenkin varhain, kesäkuussa aloitetun 3 viikon LP-käsittelyn pakkaskestävyyttä lisäävä vaikutus näyttää häviävän syyskuun puoliväliin mennessä [271] (kuva 53.16) ja kahta viikkoa lyhyemmät käsittelyt lisäävät selvästi taimien jälkikasvuriskiä [187].

Käsittelyjakson riittävä pituus riippuu taimien alkuperästä ja alkuperäpaikan korkeudesta merenpinnasta. Esimerkiksi Brittiläisessä Kolumbiassa vuoriston douglaskuusille riittää 5–10 päivän, mutta rannikon alkuperät vaativat 3–4 viikon käsittelyn [441]. On huomattava, että taimet eivät ole karaistuneita heti lyhyen, 1–2 viikon käsittelyn päättyessä [30, 67, 200, 205]. Kolmen neljän viikon käsittelyssä, taimien pakkaskestävyys lisääntyy jo käsittelyn aikana [66]. LP-käsittely on aloitettava viimeistään elokuun alussa, jotta taimet ehtivät karaistua riittävästi ennen mahdollisia syyskuun alun halloja [205]. Elokuun lopulla ja sen jälkeen toteutetuista LP-käsittelyistä on osin huonoja kokemuksia, ainakin paikallisilla alkuperillä [205]. Tarhaa selvästi eteläisemmillä alkuperillä myös myöhäisemmistä käsittelyistä saattaa olla hyötyä, mutta Suomesta tutkimustietoa ei ole käytettävissä.

Pitkä yö karaisee taimia lyhyttä paremmin [29]. Yö ei kuitenkaan saa olla liian pitkä, sillä karaistuminen vaatii energiaa ja siten yhteyttämistuotteita [13]. Yön pidentäminen 10 h:sta 16 h:iin lisää kuusen verson pakkaskestävyyttä vain vähän [206], joten eteläsuomalaisilla alkuperillä 12–14 tunnin yötä voidaan pitää riittävänä. Pohjoisempien alkuperän kuusentaimille karaistumiseen riittää lyhyempi yö kuin eteläisten alkuperien taimille, jotka eivät saavuta LP-käsittelyn jälkeenkään pohjoisten alkuperien pakkaskestävyyttä [336].

LP:n vaikutus syysistutettaviin ja pakkasvarastoitaviin taimiin

Ajoissa toteutettu LP-käsittely pienentää syksyllä istutettavien kuusen taimien vaurioitumisriskiä syyshalloissa. Käsittelyn tulee päättyä 1–2 viikkoa ennen istutusta. Heinäkuun aikana aloitetut LP-käsittelyt antavat elokuussa istutettaville taimille riittävän suojan halloja vastaan [277, 400, 410].



Kuva 53.16. Varhain aloitettu (20.6.) 3 viikon LP-käsittely jouduttaa kuusen taimien neulasten karaistumista käsittelemättömin taimiin verrattuna, mutta erot tasoittuvat syyskuun puolivälin jälkeen. Taimien pitäminen muovihuoneessa keväällä ennen LP-käsittelyä ei vaikuta neulasten pakkaskestävyyteen [271].

LP-käsittelyn vaikutuksesta kuusen taimien pakkasvarastointiin on niukasti tietoja. Norjalaistutkimuksen mukaan LP-käsiteltyjen taimien varastointi on mahdollista aloittaa aikaisemmin syksyllä kuin käsittelemättömien taimien ja myöhemminkin aloitettuna käsittely parantaa taimien varastointikestävyyttä varsinkin eteläisillä alkuperillä [416, 418]. Taimia ei kuitenkaan pidä viedä liian nopeasti LP-käsittelyn jälkeen pakkasvarastoon. Ruotsalaistutkimusten mukaan heinäkuun loppupuoliskolla LP-käsitellyt taimet on mahdollista siirtää pakkasvarastoon aikaisintaan syyskuun lopulla [400, 401]. Suomessa elokuussa LP-käsitellyt (13.–24.8.) 2-vuotiaat kuusentaimet kärsivät pahoja varastointivaurioita 11.9. alkaneessa ja lieviä vaurioita 25.9. alkaneessa varastoinnissa. Tuolloin taimien pakkaskestävyydet olivat -9 ja -19 °C. Vasta 9.10. alkaneessa varastoinnissa (pakkaskestävyys -29 °C) taimet kestivät varastoinnin hyvin [385]. Ajankohdasta ja olosuhteista riippuen LP-käsittely mahdollistaa 1–1,5 viikkoa aikaisemman varastoinnin aloittamisen. Ennen lokakuun alkua varastointia ei voi aloittaa, koska LP-käsittely ei vaikuta juurten karaistumiseen.

Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen

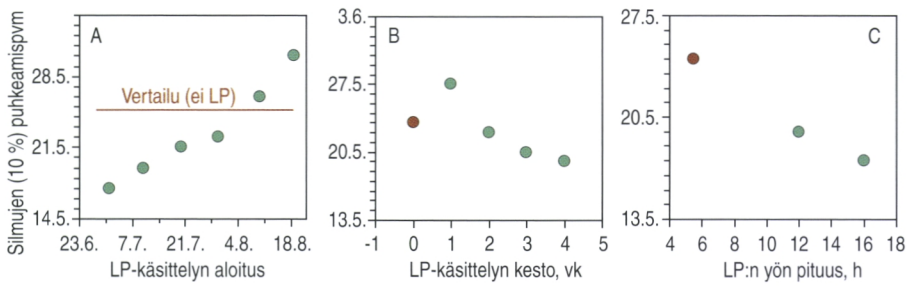
LP-käsittelyn jälkivaikutuksena kuusentaimien silmujen puhkeaminen aikaistuu seuraavana keväänä [29, 109, 215]. Kuusentaimien päätesilmut yleensä puhkeavat sitä aikaisemmin, mitä pitempikestoinen ja mitä aikaisemmin käsittely on toteutettu ja mitä pitempää yötä on käytetty. Ennen elokuun alkua aloitettu 3–4 viikon käsittely aikaistaa silmujen puhkeamista 3–5 vrk (kuva 53.17). Sen sijaan myöhäinen elokuun käsittely näyttäisi jopa viivästyttävän silmujen puhkeamista käsittelemättömiin taimiin verrattuna. LP-käsittely voi aikaistaa silmujen puhkeamista vielä toisena istutuksen jälkeisenä kasvukautena [273]. Samalla kun silmujen puhkeaminen aikaistuu, puhkeamatta jäävien silmujen osuus voi hieman lisääntyä aikaisen tai pitkän käsittelyn jälkeen.

Tiedot LP-käsittelyn vaikutuksesta istutuksen jälkeiseen pituuskasvuun ovat vaihtelevia. Yleensä LP-käsittelyn on todettu lisänneen kuusentaimien pituuskasvua käsittelemättömiin taimiin verrattuna istutuskesänä [111, 316, 351] ja tarhalla syntynyt pituusero on tasoittunut (kuva 53.18). Mustakuusella, valkokuusella

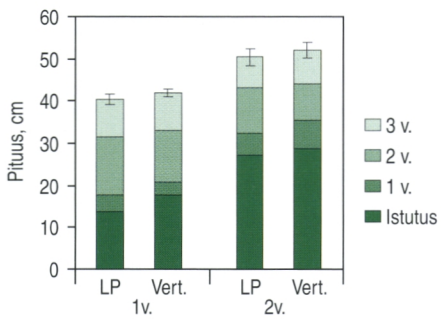
ja engelmanninkuusella vaikutus on kestänyt jopa 2–5 vuotta istutuksesta [215, 316, 450]. Sitä vastoin ruotsalaistutkimuksessa kuusen LP- ja vertailutaimien kasvussa ei havaittu eroja istutuksen jälkeen [401].

LP-taimien mahdollisesti parempi pituuskasvu perustunee siihen, että käsittelyn seurauksena aiemmin muodostuvaan silmuun kehittyy suotuisammissa olosuhteissa enemmän neulasaiheita ja seuraavana kesänä ennaltamääräytyneen pituuskasvun osa muodostuu pitemmäksi kuin käsittelemättömillä taimilla. Toisaalta myös kasvukauden pidentyminen LP-käsittelyn seurauksena voi johtaa parempaan pituuskasvuun.

LP-käsittely lisää taimien istutusstressikestävyyttä ja parantaa elossaoloa ensimmäisten vuosien aikana [71]. LP-taimien elossaolo on ollut ensimmäisen kasvukauden jälkeen käsittelemättömiä taimia korkeampi huolimatta siitä, että LP-taimien aikaisemmin puhkeavilla silmuilla on suurempi riski vaurioitua keväthalloissa. Sen sijaan juuri kevään hallavioituksista johtuen LP-taimissa on voinut olla enemmän monilatvaisia taimia kuin käsittelemättömissä taimissa [188, 277]. LP-taimien menestymistä voi parantaa myös niiden käsittelemättömiä taimia nopeampi juurtuminen kylmään maahan keväällä [164] ja kesällä kuivissa olosuhteissa [276].



Kuva 53.17. Lyhytpäiväkäsittelyn aloitusajankohdan (**A**), keston (**B**) ja yön pituuden (**C**) vaikutus silmujen puhkeamiseen (10 % silmuista puhjennut) Suonenjoen tarhalla tehdyissä kokeissa [206, 207]. Ruskea viiva ja ruskeat pisteet edustavat luontaisessa päivänpituudessa kasvatettuja taimia.



Kuva 53.18. Istutuspituudeltaan lyhyemmät LP-taimet saavuttavat yleensä käsittelemättömien taimien pituuden 1–2 kasvukauden kuluessa. Vasemmalla kuusen 1- ja oikealla 2-vuotisten LP-käsiteltyjen ja vertailutaimien (Vert.) pituuskehitys 3 istutuksen jälkeisenä vuonna.

Käytännön ohjeita kuusen LP-käsittelyyn

LP-käsittelyn ajankohta

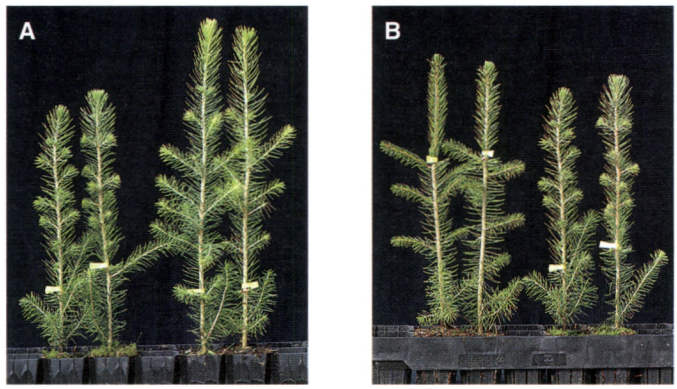
LP-käsitellyt taimet jäävät käsittelyn ajoituksesta riippuen 4–10 cm käsittelemättömiä taimia lyhyemmiksi (kuva 53.19a). Käsittely aloitetaan, kun tavoitepituudesta puuttuu 2–4 cm ja toisen kesän taimet ovat riittävän pitkällä kehityksessään (>300 d.d.) (kuva 53.20). Erilaisilla kylvö- ja LP-käsittelyajankohtayhdistelmillä voidaan kasvattaa pituudeltaan samanmittaisia taimia (kuva 53.19b).

Jos taimitarhalla kasvatetaan useita alkuperiä ja satoja, taimierien käsittelyjärjestystä suunniteltaessa kannattaa ottaa huomioon seuraavat tekijät:

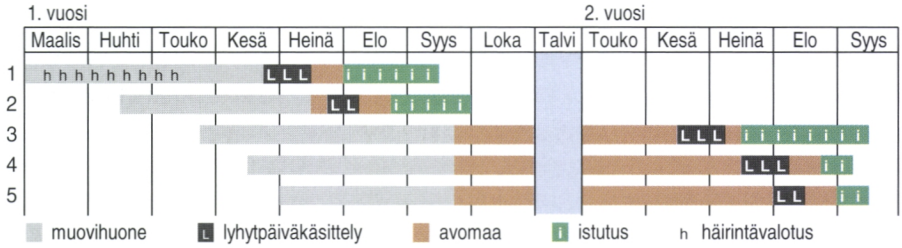
- Tarhaa pohjoisemmat alkuperät reagoivat käsittelyyn nopeammin kuin paikalliset tai eteläisemmät alkuperät ja niiden kasvu päättyy luontaisestikin jo aiemmin. Eteläisempien alkuperien taimet kasvavat syksyllä pitempään ja niiden karaistuminen saattaa viivästyä ilman LP-käsittelyä.
- Myöhään kylvettyjen erien karaistuminen ilman LP-käsittelyä voi viivästyä, mutta toisaalta pitkään muovihuoneessa pidettävillä taimilla LP-käsittelyn tarve on vähäinen.
- Elo–syyskuun vaihteessa paikallisten alkuperien LP-käsittelyä ei enää kannata aloittaa, sillä taimien karaistuminen saattaa viivästyä ja juuriston kasvu heikentyä.
- Ennen heinäkuun puoltaväliä aloitettujen 2 viikkoa lyhyempien LP-käsittelyjen jälkeen jälkikasvun riski kasvaa.
- Taimien karaistuminen hallankestäviksi vie noin 2 viikkoa käsittelyn päättymisen jälkeen.

LP-käsittelyjakson pituus

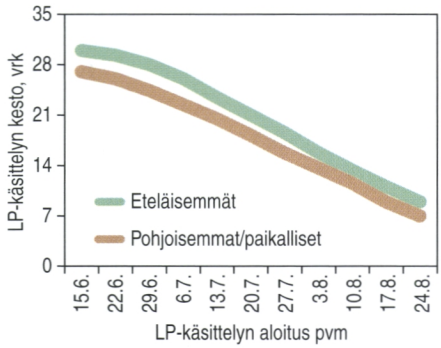
Jo yhden viikon käsittely pysäyttää taimien pituuskasvun ja jouduttaa jonkin verran karaistumista, mutta jälkikasvun riski on suuri varsinkin ennen heinäkuun puolta väliä aloitettavilla erillä. Kesäkuun loppupuoliskolla aloitettavan käsittelyn tulisi kestää 3,5–4,5 viikkoa alkuperästä riippuen jälkikasvuriskin minimoimiseksi (kuva 53.21). Heinäkuussa kannattaa käyttää vielä 3 viikon käsittelyä, mutta elokuun alkupuolella 2 viikon ja loppupuolella viikon käsittely riittää. Suomea paljon eteläisemmillä kuusialkuperillä ja ulkomaisilla kuusilla tarvitaan usein vielä heinä–elokuussa 4 viikon käsittely, mikä yleensä hidastaa jonkun verran juurten ja läpimitan kasvua tarhalla.



Kuva 53.19. A. LP-käsitellyt taimet jäävät yleensä 4–10 cm käsittelemättömiä taimia lyhyemmiksi. Kuvassa vasemmalla 15.6.02 kylvettyjä ja 14.7. 03 LP-käsiteltyjä sekä oikealla käsittelemättömiä 2-vuotiaita kuusen taimia. **B**. Erilaisilla kylvö- ja LP-ajoitusyhdistelmillä voidaan saavuttaa loppupituudeltaan varsin samanlaisia taimia. Vasemmalla 10.5.02 kylvettyjä ja 19.6.03 alkaen LP-käsiteltyjä sekä oikealla 15.6.02 kylvettyjä ja 14.7.03 alkaen LP-käsiteltyjä taimia (pituus 27–29 cm). Keltainen teippi osoittaa taimien ensimmäisen vuoden pituuden. (EO).



Kuva 53.20. Kuusen taimien erilaisia kasvatus- ja lyhytpäiväkäsittelyvaihtoehtoja. Tarkat ajoitukset riippuvat olosuhteista ja taimien kasvusta. Varhaisissa kylvöissä on syytä käyttää häirintävalotusta. Heinäkuun puolivälin jälkeen aloitetut LP-käsitellyt taimet voidaan joko istuttaa tai varastoida kevätistutuksia varten.



Kuva 53.21. Sopiva LP-käsittelyjakson pituus kesän eri vaiheissa tarhaa eteläisemmillä (100–300 km) ja paikallisilla/pohjoisemmilla kuusialkuperillä.

Yönpituus LP-käsittelyn aikana

Alkuperästä riippuen 10–14 tunnin yönpituus on riittävä. Tarhaa pohjoisemmille alkuperille sopivat 1–2 tuntia lyhyemmät ja eteläisemmille pitemmät yönpituudet.

LP-käsittely ja syysistutus

Istutusajankohdasta ja käsittelyjakson pituudesta riippuen LP-käsittely on aloitettava viimeistään 4–6 viikkoa ennen istutusta, niin että käsit-

telyn jälkeen taimet ehtivät 1–2 viikon ajan mukautua normaaliin päivärytmiin ja kosteuteen. Käsittelyn aloitus ennen kesäkuun puoliväliä aiheuttaa todennäköisesti jälkikasvua.

LP-käsittely ja pakkasvarastointi

LP-käsittelyllä voidaan aikaistaa pakkasvarastoinnin aloitusajankohtaa yhdellä, enintään 2 viikolla käsittelemättömiin taimiin verrattuna. Käsittely on aloitettava heinäkuun jälkipuoliskolla, mutta ei aikaisemmin. Aloitettaessa pakkasvarastointi ennen lokakuun puoltaväliä on taimien pakkaskestävyys tai varastointivalmius aina syytä varmistaa mittaamalla (kohta10.4.3). On muistettava, että LP-käsittely ei lisää juurten pakkaskestävyyttä.

Kuusen LP-käsittelyyn liittyviä riskejä

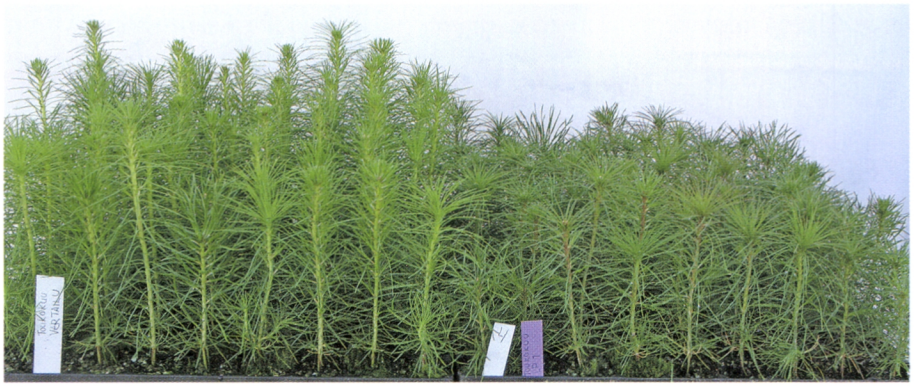
- Liian varhain (ennen 20.6.) ja liian lyhyenä (alle 3 vko, riippuu ajankohdasta) toteutettu LP-käsittely voi johtaa taimien jälkikasvuun ja karaistumisen viivästymiseen.
- Käsittelyn aikana pimennysverhon alla vallitseva korkea lämpötila ja kosteus altistavat taimet harmaahomeelle
- Käsittelyä seuraavana keväänä silmujen puhkeaminen aikaistuu ja joskus osa silmuista voi jäädä puhkeamatta etenkin pitkien (>4 vk) ja aikaisten (ennen 1.7.) aloitettujen LP-käsittelyjaksojen jälkeen.

Mänty

Pituuskasvu

Pitkät yöt hidastavat tai pysäyttävät ensimmäisen vuoden männyntaimien pituuskasvun, mutta kasvu päättyy ennemmin tai myöhemmin myös lyhyessä yössä [86]. Toisena vuonna pituuskasvu päättyy jo kesä–heinäkuun vaihteessa luontaisessa päivän pituudessa, kun lämpösummaa on kertynyt 400–500 d.d.

Toukokuun alkupuolella kylvetyille männyntaimille heinäkuun alussa aloitettu 4 viikon LP-käsittelyjakso (14 tunnin yö) pysäyttää pituuskasvun. Sen sijaan samaan aikaan aloitettu 1 tai 2 viikon käsittely ei juuri vaikuta kasvuun [204]. Kuukautta myöhemmin, heinä–elokuun vaihteessa aloitettu 3 viikon (12–14 tunnin yö) käsittelyjakso pysäyttää huhti–toukokuun vaihteen mäntykylvösten pituuskasvun hieman ennen kasvun luonnollista päättymistä, joka tapahtuu elokuun alkupuolella [382] (kuva 53.22).



Kuva 53.22. LP-käsitellyt männyntaimet jäävät käsittelemättömiä lyhyemmiksi, mutta tasapituisemmiksi. Kuvassa toukokuussa alussa kylvettyjä käsittelemättömiä (vasemmalla) ja 25.7.–15.8. LP-käsiteltyjä taimia (oikealla).

Karaistuminen

Lämpötilalla on päivänpituuden ohella suuri merkitys männyntaimien karaistumiseen. Korkea lämpötila hidastaa LP-käsiteltyjen taimien karaistumista. Karaistuminen edellyttää riittävää eroa yö- ja päivälämpötilojen välillä ja varsinkin riittävän alhaista yölämpötilaa. Männyn taimet kannattaa siirtää ulos viimeistään LP-käsittelyn jälkeen [399, 400, 401].

LP-käsittely nopeuttaa talvivärin muodostumista ja jouduttaa neulasten (kuva 53.23), rangan ja silmujen karaistumista elo–syyskuun aikana, mutta ero käsittelemättömiin taimiin häviää lokakuun alussa, jolloin taimet saavuttavat vähintään -10 °C:n pakkaskestävyyden [382]. Syksyllä istutettaville männyntaimille suositellaan LP-käsittelyä hallavaurioiden välttämiseksi.

LP-käsittelyn ajoitus ja yönpituus

Syyskesällä istutettavien männyntaimien LP-käsittely on aloitettava heinäkuun puolivälin jälkeen. Kolmen viikon käsittely on riittävä, sillä 3 ja 4 viikon pituisten käsittelyjen välillä ei ole havaittu eroja taimien karaistumisessa [399, 401]. Taimet on hyvä siirtää ulos jo ennen käsittelyä tai välittömästi sen jälkeen. Pakkasvarastoitavien taimien LP-käsittely on myös aloitettava jo heinäkuun lopulla, vaikka varastointi aloitetaan vasta lokakuussa.

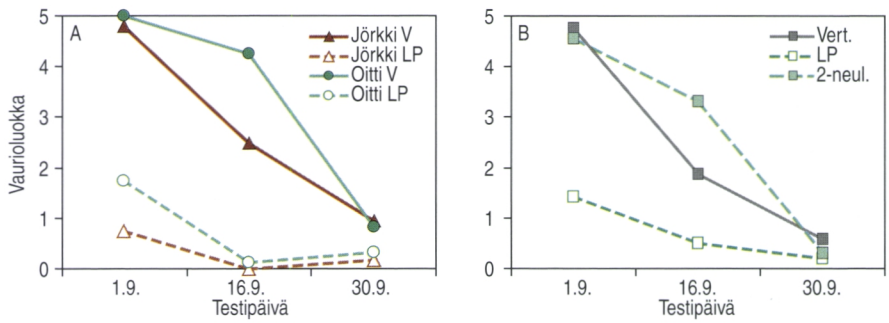
On muistettava, että taimien alkuperä vaikuttaa yönpituuden valintaan. Saman pakkaskestävyyden saavuttamiseen pohjoisemman alkuperän männyn taimille riittää pari tuntia lyhyempi yönpituus kuin eteläisempien alkuperien taimille [86, 399, 401].

Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen

Männyllä jälkivaikutuksia ei juuri ole havaittu [36,399,400]. LP-käsittely saattaa tosin jouduttaa silmujen puhkeamista käsittelyä seuraavana keväänä [73]. Tutkittua tietoa LP-käsittelyn vaikutuksesta männyntaimien istutuksen jälkeiseen kasvuun on niukasti, mutta kokemusten mukaan kasvuerot ovat vähäisiä.

"Kaksoisneulasmännyn" kasvatus yhdessä vuodessa

Pituuskasvun pysäyttämis- ja karaisutavoitteen lisäksi LP-käsittelyä käytetään ns. kaksoisneulasmäntyjen kasvattamiseen yhdessä kasvukaudessa. Tällöin varhain keväällä kylvetyn taimierän kasvu pysäytetään LP-käsittelyllä alkukesällä, jolloin taimet muodostavat silmun, mutta aloittavat parin viikon kuluttua uuden pituuskasvuun (kuva 53.24). Menettelyä perustellaan oletuksella, että uuteen kasvaimeen muodostuvat kaksoisneulaset kestävät varhaisneulasia paremmin kuivuutta ja hallaa [57]. Myös juurtenkasvupotentiaali on varhain LP-käsitellyillä männyntaimilla parin kuukauden kuluttua voimakkaampi kuin käsittelemättömillä taimilla [313]. Tulokset eivät kuitenkaan ole olleet yksiselitteisiä, eikä viljelykokeissa ole osoitettu kaksoisneulasmäntyjen paremmuutta [306,442]. Huhtikuun alussa kylvettyjen ja kesäkuun alussa LP-käsiteltyjen taimien uudet versot paleltuvat käsittelemättömien taimien versoja herkemmin vielä syyskuussa [382] (kuva 53.23 B). "Kaksoisneulasmäntyjen" kasvatukseen tarkoitettu taimierä tulisikin kylvää jo maaliskuussa ja LP-käsitellä toukokuun alkupuolella, jotta taimet ehtivät kunnolla karaistua. Ruotsalaisohjeiden mukaan 3 viikkoa kestävä 16 tunnin yön käsittely aloitetaan 6–8 viikon kuluttua kylvöstä [101,402].



Kuva 53.23. A. LP-käsittelyn (26.7.–16.8.) vaikutus ensimmäisen vuoden (kylvö 22.4.) eteläisen (Oitti 1120–1320 dd) ja keskisuomalaisen (Jörkki 980–1180 dd) sv-alkuperän männyntaimien karaistumiseen. **B**. LP-käsittelyn vaikutus eteläisen mäntyerän (Dagarby 1120–1320 dd) taimiin, jotka LP-käsiteltiin joko 31.5.–14.6. tavoitteena samana kesänä uusi kasvu kaksoisneulasineen (2-neul.) tai 26.7.–16.8. tavoitteena karaistuminen syysistutusta varten (LP) ja vertailuna (vert) käsittelemätön erä. Karaistuminen arvioitiin neulasten pakkasvaurioina -10 °C:n altistuksessa kolmena ajankohtana Vaurioluokat: 0 = <10 % ja 5 = >90 % neulasista kuollut [382].



Kuva 53.24. Varhainen LP-käsittely pysäyttää männyntaimien pituuskasvun ja indusoi silmunmuodostumisen. Uudesta silmusta kehittyy samana kesänä toinen vuosikasvu kaksoisneulasineen. Kuvassa huhtikuun alussa kylvetyn mäntyerän kesäkuun alkuviikoilla LP-käsitelty (oikealla) ja käsittelemättömän (vasemmalla) taimi.

Käytännön ohjeita männyn LP-käsittelyyn

Elokuun lopulla istutettavia ja pakkasvarastossa tai ulkona varastoitavia taimia varten siemenet kylvetään muovihuoneeseen huhti–toukokuun vaihteessa ja 3 viikon LP-käsittely (12–14 h yö, Pohjois-Suomessa 1–2 tuntia lyhyempi) aloitetaan heinäkuun puolivälissä, kun taimet ovat 2–3 cm tavoitepituudestaan. Taimet siirretään ulkokasvatukseen viimeistään LP-käsittelyn jälkeen, mutta mieluiten jo 1–2 viikkoa ennen LP:n aloittamista. "Kaksoisneulastaimien" kasvattamista varten siemenet kylvetään muovihuoneeseen maaliskuun puolivälissä ja 2–3 viikon LP-käsittely (12–16 h yö) aloitetaan toukokuun aikana, kun taimet ovat noin 5 cm pitkiä. Taimet siirretään ulos, kun halloja ei enää esiinny (varhainen LP-käsittely ei lisää taimien pakkaskestävyyttä).

Lehtikuuset

Lehtikuuset reagoivat herkästi pitkään yöhön, mutta lajien ja alkuperien välillä on huomattavia eroja. LP-käsittely nopeuttaa selvästi siperian-, kanadan-, euroopan- ja olganlehtikuusien karaistumista kylvövuonna. Eteläisten lajien, euroopan- ja olganlehtikuusen yksivuotiaat taimet eivät Suomen olosuhteissa aina ehdi päättää kasvuaan ja karaistua ilman LP-käsittelyä [204].

LP-käsitely jouduttaa siperianlehtikuusen taimien silmujen puhkeamista seuraavana keväänä. Osa silmuista voi jäädä puhkeamatta, mutta kasvu jatkuu ylimmästä sivusilmusta ja LP-taimet ottavat kiinni käsittelystä johtuvan pituuseron syksyyn mennessä. Kokeissa siperianlehtikuusen yksivuotiaiden LP-käsiteltyjen taimien pituuskasvu oli käsittelyä seuraavana vuonna 60 % vertailutaimia parempi [193].

Pituuskasvun pysäyttämiseksi ja taimien karaisemiseksi 2–3 viikon LP-käsittely (yö 14–16 h) aloitetaan heinäkuun loppupuolella kun taimierä on saavuttanut tavoitepituuden. LP-käsittelyn jälkeen taimet pidetään muovihuoneessa

1–2 viikkoa, jonka jälkeen ne siirretään ulos. Pakkasvarastoon taimet voidaan siirtää lokakuussa, kun neulaset ovat karisseet.

Ulkomaiset havupuut

Kaikkien havupuusukujen taimet eivät reagoi samalla tavalla pitkään yöhön. Monet Suomessa kasvatettavat ulkomaiset havupuut ovat Suomea eteläisempää alkuperää (35–55 °N) ja osa myös mereisemmältä ilmastoalueelta. Ne ovat sopeutuneet pitempään yöhön ja leudompiin talviin, minkä vuoksi niiden kasvu jatkuu kylvövuoden syksyllä paikallista kotimaista kuusta myöhempään. Ilman LP-käsittelyä ne eivät aina ehdi muodostaa silmuja ja karaistua, minkä vuoksi taimien latvat voivat kuivua talvella. Useiden lajien kaksivuotiaat taimet reagoivat LP-käsittelyyn selvästi kylvövuoden taimia heikommin jos lainkaan [199]. Elokuun alussa aloitettu LP-käsittely estää tai ainakin vähentää pihtojen taimien jälkikasvua kylvövuonna. Poikkeuksen muodostaa palsamipihta, jolla LP-käsittely kokeessa lisäsi jälkikasvuja [192]. Kokemusten mukaan LP-käsittely ei estä kaksivuotiaiden pihtojen jälkikasvua.

Monet Suomessa menestyvät ulkomaiset havupuut ovat taimivaiheessa herkkiä syyshalloille ja jopa talven pakkasille. Vanhemmilla taimilla tämä riski on jo vähäisempi. Näin ollen LP-käsittely, sikäli kuin taimet siihen reagoivat, on edellytys ao. lajin taimikasvatukselle. LP-käsittely aikaistaa 1–4-vuotiaiden pihtojen karaistumista ja lisää pakkaskestävyyttä [204]. Vaikutus pihtojen karaistumiseen on kuitenkin vähäisempi kuin kuusilla [199]. Suomen olosuhteissa muovihuoneessa kasvatettavien ulkomaisten kuusien ja pihtojen LP-käsittely on aloitettava heinäkuun lopussa [199]. Myöhemmin aloitettaessa taimet eivät ehdi karaistua kestämään syksyn halloja ja talven pakkasia.

Suomessa menestyville ulkomaisten havupuiden ensimmäisen vuoden taimien 3–4 viikon LP-käsittely (16 h yö) aloitetaan viimeistään elokuun alussa ja taimet pidetään muovihuoneessa lokakuulle saakka. Kaksi- ja kolmevuotiailla taimilla, jotka kasvatetaan yleensä avomaalla, LP-käsittely aloitetaan heinäkuun puolivälissä. Mereiset ja eteläiset lajit tulisi varastoida talveksi hyvin suojattuna pakkasvarastoon. Vain kestävimpien lajien taimet säilyvät ulkovarastoinnissa.

Koivu

Pituuskasvu ja karaistuminen

Useimpien lehtipuiden pituuskasvu pysähtyy kriittisen yönpituuden ylittyessä, mutta kaikki lehtipuut eivät reagoi samalla tavalla [204]. Raudus- ja hieskoivun sekä harmaalepän taimien kasvu päättyy 16 tunnin yössä jopa orastumisvaiheessa [493]. Kasvun päättyminen ei kuitenkaan välttämättä aiheuta lepotilaa, vaan

kasvu voi jatkua yönpituuden palattua luontaiseksi [268]. Rauduskoivun taimien LP-käsittelyn jälkeinen jälkikasvu on merkki siitä, että käsittelyn kesto ei ole ollut riittävä tai taimet on käsitelty liian aikaisin tai liian nuorina.

Rauduskoivun taimilla pituuskasvun päättyminen LP-käsittelyyn ilman kasvun uudelleen käynnistymistä edellyttää, että 2/3 ao. alkuperän keskimääräisen kasvukauden lämpösummasta on kertynyt ennen käsittelyn aloittamista [267]. Käytännössä sopiva aloitusajankohta on määritettävissä tavoitepituuden ja lämpösummakertymän avulla, ts. aikaisin mahdollinen LP-käsittelyn aloitusajankohta on yleensä heinäkuussa (kuva 53.25).

Koivulla optimaaliset karaistumisolosuhteet muodostuvat pitkistä öistä, alhaisista yö- ja korkeista päivälämpötiloista [155]. LP-käsittely aikaistaa taimien karaistumiskehitystä parilla viikolla ja lisää taimien pakkaskestävyyttä useilla asteilla [268]. Jos LP-käsittely aloitetaan liian aikaisin, taimet jatkavat käsittelyn jälkeen kasvuaan ja karaistuminen viivästyy [267].

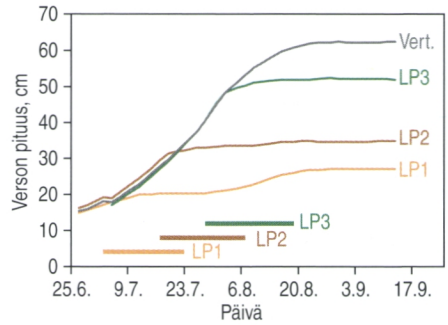
Pakkaskestävyyden lisäksi lehtien variseminen on tärkeä tekijä lehtipuun taimien varastointiajankohdasta päätettäessä. LP-käsittely nopeuttaa lehtien kellastumista (kuva 53.26) ja varisemista 1–2 viikolla [267].

Lehtipuiden LP-käsittelykokeissa yönpituutena on yleensä käytetty 16 tuntia ja käsittelyjaksona kolmea viikkoa [44, 267, 314]. Suomalaisilla alkuperillä 12–14 tunnin yön pituus todennäköisesti riittää [249].

Jälkivaikutukset ja maastomenestyminen

Koivun LP-käsittelyn jälkivaikutuksista on niukasti tietoa. Käsittelyn seurauksena osa rauduskoivun taimien silmuista saattaa jäädä puhkeamatta ja osan puhkeaminen aikaistua seuraavana keväänä [268]. Erot silmun puhkeamisessa käsittelemättömiin taimiin verrattuna ovat kuitenkin vähäisiä. Puhkeamattomat silmut voivat johtaa lievään monilatvaisuuteen. LP-käsittely lisää hieman keväällä istutettavien taimien kasvua ensimmäisenä kasvukautena [268, 314]. Sen sijaan kesällä istutettujen taimien kasvussa ei ole havaittu eroja.

LP-käsittely on joissakin tapauksissa lisännyt rauduskoivun taimien tuhoalttiutta (nisäkästuhot, versolaikkutauti) erityisesti kesällä istutetuilla taimilla [268]. Alttius jänistuhoille näyttää lisääntyvän, jos taimet käsitellään ennen kuin versoihin on muodostunut hartsinystyjä [204]. Noudatettaessa sääntöä 2/3-lämpösummakertymästä pimennyskäsittelyn ajoittamisessa tämä riski lienee vähäinen. Versolaikkuriski liittynee korkeaan kosteuteen ja lämpötilaan LP-käsittelyssä.



Kuva 53.25. Eri ajankohtina aloitetun (LP1=29.6., LP2=16.7., LP3=31.7.; vaakapalkit kuvan alaosassa) kolmen viikon LP-käsittelyn (16 h yö) ja luontaisen päivänpituuden (vert.) vaikutus koivuntaimien pituuskasvuun kylvövuonna. Kesäkuussa aloitettu käsittely (LP1) on pysäyttänyt kasvun, mutta taimet ovat lähteneet uudelleen kasvuun heinäkuussa [268].



Kuva 53.26. LP-käsiteltyjen koivuntaimien lehdet kellastuvat ja varisevat jonkin verran käsittelemättömiä aikaisemmin.

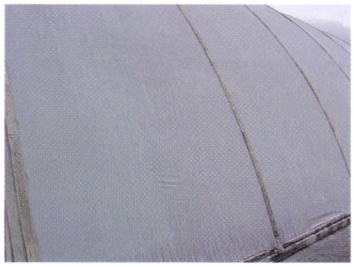
Ohjeita koivun LP-käsittelyyn

Kolmen viikon LP-käsittely (12–16 h yö) aloitetaan aikaisintaan, kun 2/3 alkuperän keskimääräisen kasvukauden lämpösummasta on kertynyt. Käytännössä koivun LP-käsittely voidaan aloittaa heinäkuun loppupuolella, jolloin taimet ovat 30–50 cm:n mittaisia.

5.3.6 Varjostus

Kasvihuoneen rakenteet ja kate vaikuttavat luonnonvalon saantiin varjostamalla ja muuttamalla valon spektriä. Kalvon paksuudesta ja muista ominaisuuksista riippuen yksinkertaisen katemuovin valonläpäisevyys on 85–90 % ja kaksinkertaisen 70–80 % [6]. Vanhetessaan ja likaantuessaan vähennys saattaa olla 30–40 %. Jo pelkkä pölyyntyminen voi vähentää katteen läpäisevyyttä 20 %:lla, minkä vuoksi katteet on syytä pestä vesisuihkulla aika ajoin [235].

Kasvustoa voidaan tarvittaessa varjostaa varjostuskankailla, -verkoilla tai -maalilla (kuva 53.27). Varjostuskankaita ja -verkkoja valmistetaan eri materiaaleista ja erilaisella valon läpäisevyydellä. Varjostuskankaat ja -maalit voivat muuttaa myös valon spektriä. Jotkut maalit ovat poutasäällä heijastavia, mutta muuttuvat sateessa kirkkaiksi, paremmin valoa läpipäästäviksi. Jotkut maalit taas heijastavat lämpösäteilyä niin, että huone pysyy viileämpänä.



Kuva 53.27. Varjostusmaalilla maalattu muovihuoneen lämpötila pysyy aurinkoisina, lämpiminä päivinä ulkolämpötilaa viileämpänä, mutta samalla varjostaa kasvustoa.

5.3.7 Optimivalaistus eri kasvuvaiheissa

Valon voimakkuudella on tärkeä merkitys taimikasvatuksessa. Koska Suomessa valon voimakkuuden vuodenaikaisvaihtelu on voimakas, eikä keinovalaistusta juuri käytetä, on erityisesti useampia satoja kesässä kasvatettaessa fotoperiodin lisäksi valon voimakkuus otettava huomioon.

Kun auringonvalo halutaan hyödyntää täysimääräisesti, on kahden sadon kasvatuksessa toisen sadon kasvatus pyrittävä aloittamaan kesäpäivän seisaukseen mennessä (21.6.), minkä jälkeen päivä lyhenee ja myös valon voimakkuus vähenee [163, 235, 344]. Varsinkin heinäkuun kylvösten taimet voivat pilvisenä kesänä kasvaa heikosti. Säteilyn määrän vähetessä varjostuksen tai pilvisyyden vuoksi, taimikasvustoon muodostuu kasvihuoneolosuhteissa harmaahomeelle suotuisat kosteat olosuhteet [488, 454]. Pilvisenä kesänä myös avomaalla juurten kasvu on heikkoa, eikä avomaalle suositella kotimaisilla puulajeilla varjostuksen käyttöä.

Perustamisvaihe

Eri puulajien siemenet reagoivat valoon eri tavoin. Sekä valon aallonpituudella että päivänpituudella voi olla merkitystä. Männyn ja koivun siemenet itävät paremmin valossa kuin pimeässä, kun taas kuusen siemenen itämiseen valolla ei juuri ole vaikutusta [311].

Itämisen jälkeen sirkkavarren ja -lehtien kehittyminen riippuvat hiilihydraattivarastosta. Kun siemenkuori on irronnut sirkkaneulasista, on taimi täysin omavarainen ja kasvaa fotosynteesin varassa. Valonpuute, korkea lämpötila ja liika kosteus johtavat sirkkavarren venymiseen pitkäksi ja hennoksi sekä juuriston heikkoon kehittymiseen. Heikko ja vinosti suuntautunut valo aiheuttaa herkästi myös taimien taipumista valoon päin (fototropismi).

Itämisvaiheessa lievä varjostus jouduttaa ja tasoittaa itämistä, mikä johtuu lämpöhuippujen leikkautumisesta ja kosteusolojen tasoittumisesta. Varjostus ei kuitenkaan saa olla liian voimakasta eikä sitä pitäisi jatkaa 2–3 viikkoa pi-

dempään. Liian vähäinen valo johtaa sirkkavarren venymiseen ja hentouteen (kuva 53.28).

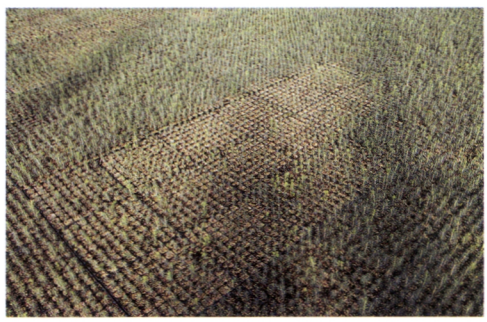
Kasvihuonerakenteet, varjostavat rakennukset tai ympäröivät puut voivat muuttaa valaistusolosuhteita huomattavasti, mikä ilmenee epätasaisena haihduntana ja johtaa kasvuston epätasaisuuteen (kuva 53.29). Siemenen peittoaine vaikuttaa taimiin heijastuvan valon määrään. Vaaleat peittoaineet heijastavat valoa ja tummat imevät. Joissain tapauksessa tumma peittoaine saattaa lämmetä auringonpaisteen vaikutuksesta haitallisen korkeaksi aiheuttaen vaurioita sirkkataimille.

Nopean kasvun vaihe

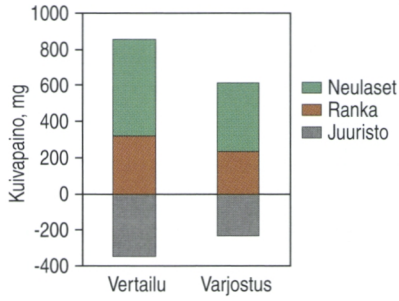
Sen jälkeen kun juuri on kasvanut yli puolenvälin kennon syvyydestä ja taimen veden saanti on turvattu, taimet tarvitsevat kaiken mahdollisen valon. Vain kasvihuoneen liika lämpeneminen voi edellyttää varjostuksen käyttöä. Poikkeuksen muodostavat myös jotkut ulkomaiset varjoa vaativat puulajit [235]. Riittävän valon takaamiseksi taimet kannattaa siirtää ulos tai poistaa huoneesta muovit mahdollisimman varhain, heti kun lämpö- ja sadeolosuhteet sen sallivat. Varjostus vähentää jossain tapauksissa taimien pituuskasvua, mutta erityisesti läpimittakasvua ja kuivapainoa [391] (kuva 53.30).



Kuva 53.28. Heikko valaistus itämisen aikana johtaa pitkiin, hentoihin ja herkästi silmuuntuviin sirkkataimiin. Kuvan kuusentaimet kasvaneet noin neljäsosassa täydestä luonnonvalaistuksesta (EO).



Kuva 53.29. Kasvihuonerakenteet voivat aiheuttaa varjostuksellaan kosteuseroja kasvualustassa, mikä johtaa siementen epätasaiseen itämiseen. Kuvassa keskellä olevan kuvaajan varjon molemmin puolin tukikaarien varjot, jotka ovat keskipäivällä pitäneet kosteuden suotuisampana itämiselle.



Kuva 53.30. Varjostuksen (30 %) vaikutus muovihuoneessa kasvatettujen 1-vuotiaiden kuusentaimien kuivapaino-ositteisiin [391].

Mitä voimakkaampaa varjostusta kasvihuoneessa käytetään, sitä stressaavampi taimille on ulossiirtovaihe. Stressi ilmenee taimien neulasten värisävyn muuttumisena harmahtavan violetiksi ja kasvun heikkenemisenä ulossiirron jälkeen. Yleensä taimet toipuvat tästä kuitenkin muutamassa viikossa.

Karaisuvaihe

Taimien karaistumisessa sekä valon määrä että päivän pituus ovat tärkeitä tekijöitä. Syksyllä tai seuraavana keväänä istutuksiin toimitettavat taimet siirretään kasvihuoneesta ulos yleensä heinäkuussa tai elokuun alussa. Jos LP-käsittelyä käytetään karaisun jouduttamiseen, on tärkeää, että taimet saavat riittävästi valoa lyhennetyn päivän aikana ja etenkin käsittelyjakson jälkeen, sillä taimet tarvitsevat energiaa karaistumiseen [77].

5.4 Hiilidioksidi

5.4.1 Vaikutus taimien elintoimintoihin ja kasvuun

Hiilidioksidi (CO_2) on näkymätön ja hajuton kaasu, jonka pitoisuus ilmassa on noin 390 ppm. Vaikka ilman CO_2-pitoisuus on noussut viimeisen sadan vuoden aikana lähes 100 ppm, on se silti edelleen kasvua rajoittava tekijä.

Kasvit yhteyttävät hiilidioksidia ja vettä valoenergian avulla sokeriksi. Hiilidioksidi kulkeutuu avoimien ilmarakojen kautta kasvin soluvälien ilmatilaan ja liukenee solujen pintoja peittävän vesikalvon kautta soluun. Yleensä kasveilla ilmaraot on auki vain valoisana aikaan ja kun ilma on riittävän kosteaa. Kun yhteyttämistuotteita muutetaan takaisin energiaksi kasvuun ja elintoimintojen ylläpitämiseen, hiilidioksidia vapautuu kasveista respiraatiossa (hengityksessä).

Kun ilman CO_2-pitoisuus laskee, fotosynteesi vähenee ja tietyssä pitoisuudessa fotosynteesi ja respiraatio ovat yhtä suuria, ts. kaikki syntyvät yhteytystuotteet kuluvat välttämättömien elintoimintojen ylläpitoon. Tätä kutsutaan CO_2-pitoisuuden kompensaatiopisteeksi. Käytännössä tilanne on hyvin harvinainen. Se voisi tapahtua kirkkaina, viileinä päivinä, jolloin kasvihuonetta lämmitetään, mutta ei voida kylmyyden vuoksi tuulettaa. Kompensaatiopiste saavutetaan 40–60 ppm:n CO_2-pitoisuudessa [235].

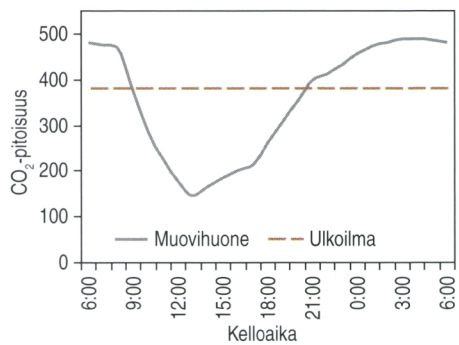
Kesäaikaan kasvihuoneessa, jossa muita kasvutekijöitä voidaan helposti parantaa, hiilidioksidin kasvua rajoittava merkitys korostuu. Näin käy erityisesti viileinä ajanjaksoina, jolloin tuuletus on vähäistä ja ulkoilman sekoittuminen kasvihuoneilmaan on hidasta. Tämän vuoksi kauppapuutarhoissa kasveille an-

netaan usein hiilidioksidia joko painesäiliöstä tai tuottamalla se maakaasua, nestekaasua tms. polttamalla ja johtamalla syntyneet savukaasut kasvihuoneeseen [163]. Painesäiliössä olevan hiilidioksidin antaminen on helppokäyttöinen ja turvallinen, mutta kallis menetelmä. Kaasun polttaminen on halvempaa, mutta savukaasuissa saattaa olla haitallisia epäpuhtauksia.

Suljetussa, tuulettamattomassa kasvihuoneessa vallitsee säännöllinen CO_2-pitoisuuden vuorokausirytmi (kuva 54.1). Yöllä, pimeän aikana, kun kasvien hengityksessä ja hajoavasta turpeesta vapautuu hiilidioksidia pitoisuudet ovat korkeita. Auringon noustua taimien fotosynteesi voimistuu, minkä seurauksena CO_2-pitoisuus laskee nopeasti. Yöllä CO_2-pitoisuus voi nousta 500 ppm:ään ja päivällä laskea alle 200 ppm:n, jolloin se jo rajoittaa fotosynteesiä. Niinpä hiilidioksidin lisäys ajoitetaan valoisaan aikaan aloittamalla lisäys juuri auringonnousun jälkeen ja lopettamalla pari tuntia ennen auringon laskua.

Tyynessä taimien neulasten/lehtien läheisen ilmakerroksen CO_2-pitoisuus laskee päivällä voimakkaasti. Tämän vuoksi ilma pitää saada kasvihuoneessa liikkeelle avaamalla tuuletusluukkuja tai kierrättämällä ilmaa tuulettimilla, jos ilma on ulkona liian kylmä.

Pohjois-Amerikassa 17 % taimitarhoista käytti 1980-luvulla hiilidioksidilannoitusta [235]. Pohjoismaissa hiilidioksidilannoituksen käyttö metsäpuiden taimikasvatuksessa on ollut kokeiluluontoista. Menetelmää on tutkittu mm. Ruotsissa [435,483] ja sen positiivisesta vaikutuksesta on selviä näyttöjä. Tutkimukset osoittivat, että sekä kontortamännyllä [146] että männyllä [487] verson ja erityisesti juurten paino lisääntyvät, kun CO_2-pitoisuutta nostetaan 330 ppm:stä 900–1000 ppm:ään (kuva 54.2). Pitoisuuden kohottaminen edelleen 2000 ppm:ään heikentää tulosta, mikä todennäköisesti johtuu siitä, että muut tekijät alkavat rajoittaa kasvua [146]. Puutarhapuolella ilman CO_2-pitoisuus nostetaan tavallisesti vain 600 ppm:ään, eikä yli 1000 ppm pitoisuuksia suositella [163].

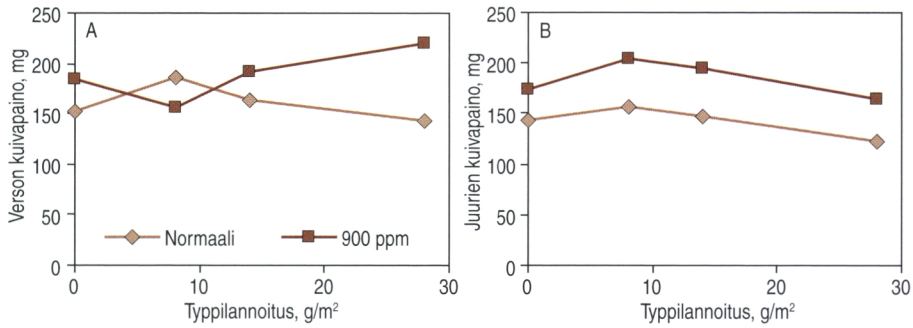


Kuva 54.1. Tuulettamattomassa muovihuoneessa CO_2-pitoisuus nousee yöllä kasvien hengityksen seurauksena ja laskee nopeasti aamulla auringon noustua, kun yhteyttäminen käynnistyy [235]. Katkoviiva kuvaa ulkoilman CO_2-pitoisuutta.

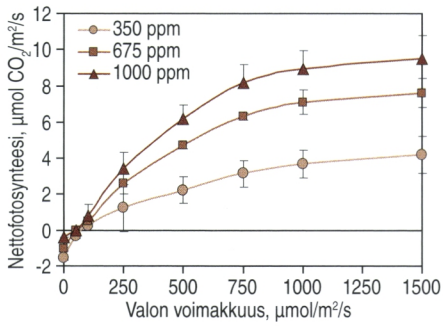
Ilman CO_2-pitoisuudella ja muilla kasvutekijöillä on yhdysvaikutuksia, jotka tulee ottaa huomioon CO_2-lannoitusta käytettäessä. Kun CO_2-pitoisuus nousee, säteilyn kyllästymisraja fotosynteesin suhteen myös nousee, ts. taimet pystyvät hyödyntämään suurempaa säteilymäärää korkeammassa CO_2-pitoisuudessa [304, 481] (kuva 54.3). Kohotetussa CO_2-pitoisuudessa taimet hyödyntävät tehokkaammin myös alhaista valotasoa.

Hiilidioksidilannoituksen nopeuttama kasvu lisää myös veden ja ravinteiden ottoa. Muutos on puulajiriippuvainen ja ravinnekohtainen. Taimitarhaolosuhteissa, missä ravinteita annetaan kasteluveden mukana, ei ongelmia todennäköisesti synny, jos kasvualustan ravinnetasoa seurataan ravinne- tai johtokykyanalyysein.

Hiilidioksidilannoituksen vaikutus taimien karaistumiseen on epäselvä. Eräät tutkimukset viittaavat siihen, että korkea CO_2-pitoisuus hidastaa karaistumista viivästyttämällä taimien puutumista [283, 483], mutta toisaalta korkeiden pitoisuuksien on havaittu myös parantavan pakkaskestävyyttä [487]. CO_2-lannoituksella on havaittu myös yhdysvaikutuksia typpilannoituksen ja taimien alkuperän kanssa karaistumiskehityksen aikana [69]. Kohotettu CO_2-pitoisuus yhdessä voimakkaan



Kuva 54.2. CO_2-lannoitus lisää erityisesti juuriston kuivapainoa. Typpilannoituksen ja CO_2-lannoituksen vaikutus yksivuotiaiden kuusentaimien verson (**A**) ja juuriston (**B**) kuivapainoon [487].



Kuva 54.3. Hiilidioksidilannoituksen vaikutus yhteyttämiseen riippuu valon voimakkuudesta. Lehtipuihin lukeutuvan ambrapuu taimien yhteyttäminen lisääntyi CO_2-lannoituksen (tasot 350, 675 ja 1000 ppm) vaikutuksesta sitä enemmän mitä voimakkaampi oli valaistus [235].

typpilannoituksen kanssa aluksi jouduttaa karaistumista, mutta myöhemmässä vaiheessa hidastaa sitä erityisesti eteläisillä alkuperillä.

5.4.2 CO_2-säätely eri kasvatusvaiheissa

Perustamisvaihe

Siemen tarvitsee kylvön jälkeisen 1–2 vrk:n aikana vain vettä ja sen jälkeen myös happea. Taimet alkavat olla omavaraisia 2–3 viikon kuluttua kylvöstä kun siemenkuori putoaa. Tässä vaiheessa CO_2-lannoituksen on havaittu lisäävän taimien kasvua. Hyvä tuuletus takaa kuitenkin riittävän CO_2-pitoisuuden.

Nopean kasvun vaihe

Kiihtyvän kasvun vaiheessa 1–3 kuukauden kuluttua kylvöstä taimet yhteyttävät voimakkaasti ja pystyvät hyödyntämään kohotetun hiilidioksidipitoisuuden aina 1000 ppm:ään saakka. Tänä ajanjaksona on erittäin tärkeää, että CO_2-pitoisuus kasvihuoneessa ei laske paljon alle ulkoilman CO_2-pitoisuuden. Taimien kasvu hidastuu, jos CO_2-pitoisuus laskee alle 300 ppm, minkä vuoksi tuuletus ja ilman liike kasvihuoneessa on tärkeää.

Karaistumisvaihe

Korkean CO_2-pitoisuuden hyöty pienenee, kun kasvu hidastuu loppukesällä. Mahdollinen CO_2-lannoitus on syytä lopettaa nopean kasvu -vaiheen päätyttyä. Sen sijaan tehokas tuuletus on oleellinen toimenpide taimien karaistumisen edistämiseksi ja kosteuden sekä lämpötilan alentamiseksi.

Käytettäessä hiilidioksidilannoitusta on hyvä tuntea CO_2-pitoisuuden vaikutus myös ihmisiin, vaikka hiilidioksidilannoituksella ei yleensä nosteta CO_2-pitoisuutta haitallisiin lukemiin (taulukko 54.1).

Taulukko 54.1. Hiilidioksidipitoisuuden vaikutus taimiin ja työntekijöihin [235].

Vaste	Hiilidioksidipitoisuus (ppm)
Taimiin	
Negatiivinen kasvu	<100
CO_2-kompensaatiopiste	50–100
Heikentynyt kasvu	100–350
Ilman CO_2-pitoisuus	350 (nykyisin 390)
Parantunut kasvu	350–1000
Rajallinen hyöty	1 000–2 500
Mahd. haittavaikutus	>2 500
Ihmisiin	
Huoneilman ohjeellinen enimmäispitoisuus [1] 700 (yksilöllinen), 900 (hyvä), 1300 (tyydyttävä)	
Altistumisen raja	5 000 (teollinen työpaikka)
Päänsärky ja voimattomuus	<5 000
Tajuttomuus ja kuolema	80 000

[1] Virta, J. 2003. Terveellinen sisäilmasto (ISBN 951-22-5800-5)

6 Kastelu

6.1 Veden merkitys, otto ja haihdunta

Vesi on kasveille välttämätön aine. Solujen elintoiminnot tapahtuvat solulimassa, joka on suurimmaksi osaksi vettä. Vettä käytetään ravinteiden kuljetukseen juurista versoon sekä sokerin muodostamiseen yhteyttämisessä ja sen kuljettamiseen kasvin eri osiin. Vesi pitää nestejännityksen avulla puutumattomia kasvinosia pystyssä ja haihduntavirtaus jäähdyttää kasveja. Kasvit sisältävät paljon vettä; ruohovartiset kasvit yleensä yli 90 % ja tuoreessa puussakin on vettä 50–75 %. Kuusen ja männyn taimien versoissa on vettä 55–85 % kasvukauden vaiheesta riippuen. Kuiva-ainegramman tuottamiseen havupuut käyttävät 200–300 g vettä [238].

Kasvit ottavat veden maasta juurillaan ja haihduttavat sen lehtiensä kautta ilmaan. Veden siirtyminen maasta kasvien juurikarvasoluihin ja edelleen johtojänteisiin tapahtuu osmoosin avulla. Osmoosissa vesi siirtyy kalvon läpi laimeammasta liuoksesta väkevämpään tasoittaen kalvon erottamat väkevyyserot. Koska kasvien soluneste on yleensä väkevämpää kuin juurta ympäröivän maaperän vesi, vettä siirtyy solun ulkopuolelta soluun.

Soluissa osmoosi saa aikaan painetta, joka ylläpitää nestejännitystä. Jos nestejännitys häviää, kasvi nuutuu. Johtojänteissä vesi nousee haihtumisimun, veden koheesiovoimien (vesimolekyylejä toisissaan kiinni pitävä voima), kapillaarivoimien ja juuripaineen avulla ylös lehtiin. Veden haihtuminen lehdistä, pääosin ilmarakojen kautta, saa aikaan nestevirtauksen, jonka mukana ravinteet nousevat verson ylimpiin osiin asti.

Ilman lämmetessä sen kyllästysvajaus kasvaa, mikä lisää haihduntaa, jos maassa on riittävästi vettä. Mikäli kasvi ei saa tarpeeksi vettä, se kärsii kuivuudesta ja lakastuu. Kasvi voi kuivua myös, jos sitä kastelee suolaisella merivedellä tai lannoittaa liikaa. Tällöin kasvualustan vesi väkevöityy (johtokyky nousee) juurisolujen nestettä väkevämmäksi ja vettä alkaa siirtyä juurista kasvualustaan.

Kasvi säätelee lehdissä olevilla ilmaraoilla haihduntaa. Jos maassa ei ole riittävästi vettä tai ilma on hyvin lämmintä ja kuivaa, kasvi sulkee ilmarakonsa minimoiden haihduttamisen. Vesi haihtuu osin myös suoraan lehtien pintakelmun, kutikulan, läpi. Lehtipuilla kutikulaarinen haihdunta on 10–20 % luokkaa ja havupuilla noin 3 % kokonaishaihdunnasta [238].

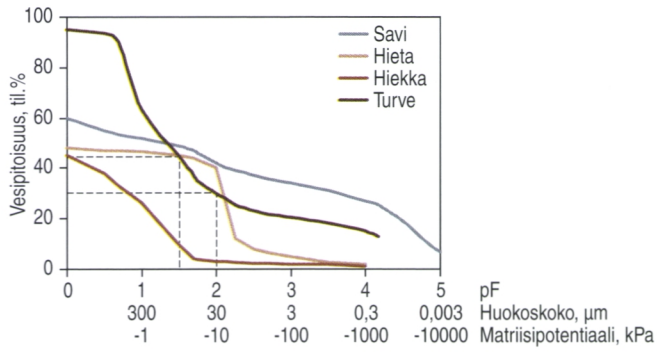
6.2 Veden saatavuus paakussa

Paakkutaimikasvatuksessa kastelun merkitys on tärkeämpi kuin paljasjuuritaimikasvatuksessa, missä kasvualusta on tavallisesti kapillaarisessa yhteydessä pohjamaahan. Paakkutaimikasvatuksessa taimien vedensaanti riippuu yksinomaan paakussa olevasta vesivarastosta ja kastelu- tai sadevedestä.

Vedenpidätyskyky

Kasvualustan *vedenpidätyskykyä* kuvataan tavallisesti laboratoriossa paineastioiden avulla määritettävällä vedenpidätyskäyrällä. Käyrä kuvaa kasvualustan matriisipotentiaalin (voima, jolla vesi on pidättynyt kasvualustaan) ja vesipitoisuuden suhdetta (kuva 6.1).

Kasvualusta on *kyllästystilassa* ja maaveden matriisipotentiaali on 0, kun kaikki huokoset ovat runsaan kastelun tai sateen jälkeen veden täyttämiä. Kun painovoimasta johtuva veden valuminen huokosista pysähtyy, kasvualusta on *paakkukapasiteetissa* (maassa ja avomaapenkissä tilaa kutsutaan *kenttäkapasiteetiksi*). Tällöin paakun pohja on edelleen vedellä kyllästynyt, mutta sen keskiosassa matriisipotentiaali on noin -1 kPa. Kasvualustan edelleen kuivuessa matriisipotentiaali alenee ja kasvilta vaaditaan yhä enemmän imuvoimaa veden irrottamiseksi. Kun kuivuminen on edennyt *lakastumisrajalle* (matriisipotentiaali -1500 kPa), kasvien vedenotto tyrehtyy ja ne lakastuvat. Vesimäärä, joka on sitoutunut kasvualustaan paakkukapasiteetin ja lakastumisrajan välille, pidetään *kasveille käyttökelpoisena vetenä*. Käsite on jossain määrin harhaanjoh-



Kuva 6.1. Turpeen [114] ja eräiden kivennäismaalajien [494] vedenpidätyskäyriä. Vihreällä katkoviivalla merkitty taimien kasvulle keskimäärin suotuisin matriisipotentiaalialue keskikarkealla, vaalealla rahkaturpeella (-3...-10 kPa, joka vesipitoisuutena vastaa 30...47 %). Kuvan x-akselille on merkitty myös pF-asteikko sekä veden täyttämien huokosten läpimittoja (1µm=0,001 mm) maaveden eri jännityksissä.

tava, koska kasvien veden saatavuus ei ole koko tällä alueella sama, vaan se vaikeutuu sitä mukaa kuin maaveden matriisipotentiaali alenee ja lähestytään lakastumisrajaa.

Monet paakkutaimikasvatuksessa käytettävät kasvualustat, kuten turve, komposti ja vermikuliitti omaavat suuren vedenpidätyskyvyn. Ne pystyvät pidättämään huomattavasti enemmän kasveille käyttökelpoista vettä kuin kivennäismaapohjaiset kasvualustat (kuva 6.1).

Veden liike kasvualustassa

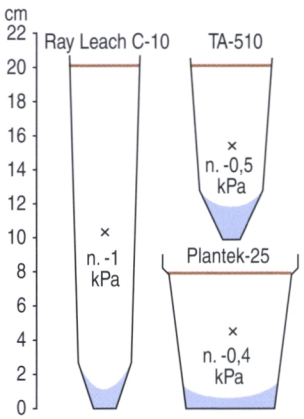
Veden *imeytymisnopeus* kasvualustaan ja *kapillaarinen johtavuus* muuttuvat vesipitoisuuden muuttuessa. Turpeessa ja turvesekoitteissa imeytymisnopeus on melko suuri suuren huokoisuuden ansiosta. Jos turve kuivaa liikaa, imeytyminen heikkenee voimakkaasti, koska kuivat turvekolloidit hylkivät vettä. Turpeeseen lisätään usein kostutusaineita, jotka vähentävät veden pintajännitystä, jolloin vesi imeytyy paremmin turvehiukkasiin (kohta 4.7).

Kastelun aikana vesi liikkuu turpeessa alaspäin painovoiman ansiosta, mutta kastelun loputtua liike hidastuu suuren huokoisuuden vuoksi. Veden liike alaspäin on vedellä kyllästyneessä turpeessa sitä nopeampaa mitä suurempia huokoset ovat. Kyllästymättömässä turpeessa veden liikettä voi nopeuttaa sekoittamalla kasvualustaan raekoostumusta hienontavia aineksia tai tiivistämällä kasvualustaa täytön yhteydessä. Toisaalta liian hieno raekoostumus tai voimakas tiivistäminen voivat johtaa sateisena kesänä tai liikaa kasteltaessa veden kyllästymistilaan, jolloin syntyy helposti hapen puutetta.

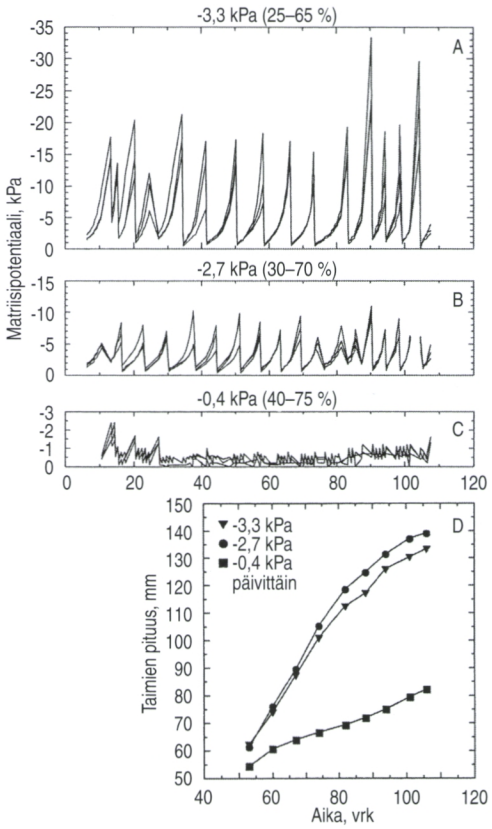
Paakun vaikutus

Vesi käyttäytyy rajatussa kasvualustassa, kuten paakussa, eri tavoin kuin avomaapenkissä. Lisäksi paakun muoto ja koko vaikuttavat veden käyttäytymiseen. Paakussa kasteluvesi imeytyy kasvualustassa rintamana alaspäin ja pysähtyy kastelun loputtua. Jos kastellaan riittävästi, se pysähtyy saavutettuaan paakun pohjan, koska kasvualustamatriisin vettä pidättävät voimat ovat suurempia kuin veteen kohdistuva painovoima. Tämän vuoksi paakkukapasiteetissa paakun pohjalla on aina veden kyllästämää kasvualustakerros riippumatta onko taimiarkki maassa vai kohotetulla alustalla. Vedellä kyllästyneen kasvualustakerroksen korkeus riippuu kasvualustan karkeudesta. Mitä hienojakoisempi turve sitä suurempi on veden kyllästämän kerroksen korkeus. Sen sijaan paakun korkeus tai muoto eivät vaikuta kyllästyneen kerroksen korkeuteen. Siten esim. 5 cm korkeassa paakussa vedellä kyllästynyt turvekerros on yhtä paksu kuin 15 cm paakussa (kuva 6.2).

Koska kasvualustan vedenpidätyskyky vaikuttaa huokostilan vesi- ja ilmasuhteeseen, vaikuttaa se myös taimien *veden ja hapen saatavuuteen.* Kun koko kasvualusta on vedellä kyllästynyt ja matriisipotentiaali lähellä nollaa, juuristo paakun alaosassa kärsii hapen puutteesta [117]. Kasvualustan kuivuessa matriisipotentiaali alenee ja ilmalla täytynyt huokostila, ilmanvaihto sekä taimien hapensaatavuus lisääntyvät. Jotta taimet saisivat riittävästi happea, tulisi turpeessa olla 35–45 % ilmalla täyttyneitä huokosia [117, 279]. Pienemmissä paakuissa (<50 cm^3) saattaa 26–40 % ilmatilavuus riittää [237]. Metsäpuiden paakkutaimien *kasvulle suotuisin matriisipotentiaalialue* vaaleassa kasvuturpeessa on välillä -3...-10 kPa, vastaten noin 30–47 % vesipitoisuutta [121] (kuva 6.3).



Kuva 6.2. Turpeen vedenpidätyskyky (arvot paakun keskellä mitattu paakkukapasiteetissa) erityyppisissä paakuissa riippuu paakun korkeudesta ja muodosta, joista riippumatta paakun pohjalle muodostuu aina samanlainen vedellä kyllästynyt kerros [120].



Kuva 6.3. Turpeen matriisipotentiaalin vaihtelu (**A–C**) ja kuusen taimien pituuskasvu (**D**) vaaleassa rahkaturpeessa kolmessa eri kastelukäsittelyssä, joissa turve kasteltiin paakkukapasiteettiin päivittäin (C = -0,4 kPa), aina kun matriisipotentiaali on saavuttanut -5 kPa (B) ja -10 kPa (**A**). Lukemat kuvaavat kasvatusjakson keskimääräisiä matriisipotentiaaleja (kPa) ja turpeen vesipitoisuuden vaihtelua (%). Päivittäinen kastelu (**C**) johti turpeen hapettomuuteen ja taimien heikkoon kasvuun [117].

Käytännössä vesi ei juuri koskaan ole täysin tasaisesti jakautunut, vaan kasvualusta kuivuu haihdunnan seurauksena nopeimmin pinnalta ja ilmaraollisissa paakuissa myös pohjasta ja seinämistä ja paakun keskiosa jää kosteimmaksi. Kun matriisipotentiaali on keskellä turvepaakkua -20...-30 kPa (vesipitoisuus 25–30 til-%), saattaa se olla pintakerroksessa -80 kPa (vesipitoisuus 15–20 til-%), jolloin turpeen pinta alkaa kuorettua ja on vaikeasti uudelleen kostutettavissa [121]. Kuivuessaan orgaanisten aineiden tilavuus pienenee ja samalla *tiheys* (g/cm^3) kasvaa.

Paakun muoto ja erityisesti suuaukon pinta-ala vaikuttavat kasteluveden jakautumiseen paakkuihin. Erityisesti lehtipuilla, joilla lehtipeitto on suuri, saattaa veden epätasainen jakautuminen paakkuihin olla ongelma. Pienet paakut vaativat pienen vesivaraston johdosta useammin toistuvaa kastelua.

6.3 Kastelutarpeen määritys

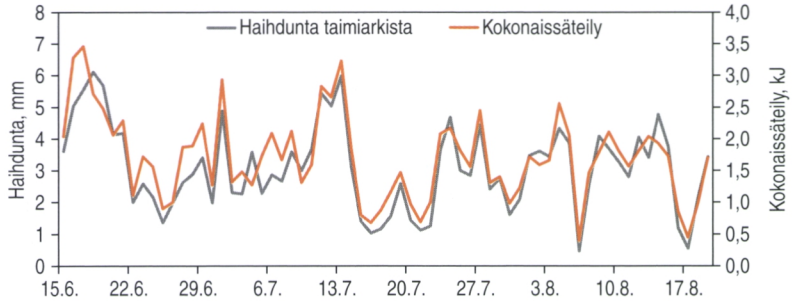
6.3.1 Haihdunta

Kastelussa korvataan paakusta haihtunut vesimäärä. Osa vedestä haihtuu suoraan paakun pinnalta (*evaporaatio*) ja kohokasvatuksessa ilmaraoilla varustetuista paakuista myös pohjalta sekä sivuilta ja osa taimien haihduttamana, *transpiraationa*. Mitä kuivempaa ja lämpimämpää ilma on paakkujen alapuolella, sitä nopeammin vettä haihtuu alakautta ja turve paakun pohjaosassa kuivuu. Alkuvaiheessa, kun taimet ovat pieniä, pääosa haihdunnasta tapahtuu suoraan turpeen pinnoilta [363]. Myöhemmin taimen juurten vallatessa paakun, vettä poistuu tasaisemmin koko paakun syvyydeltä. On tärkeää, että kastelussa annetaan kerrallaan niin paljon vettä, että paakku kostuu kunnolla pohjaa myöten.

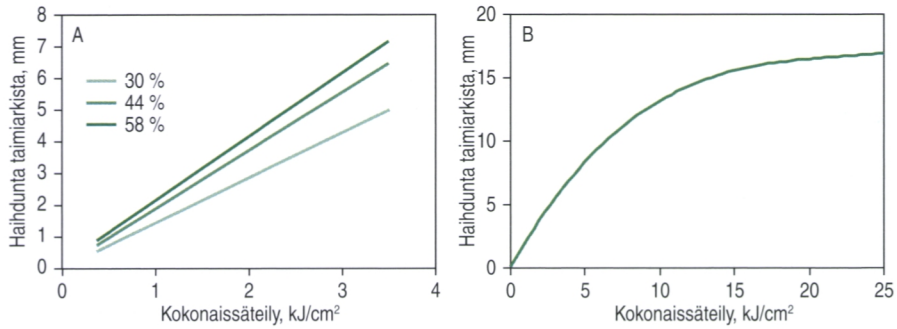
Haihdunnan voimakkuuteen vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten, säteily (kuva 6.4), vesihöyryn kyllästysvajaus (ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus), tuuli ja kasvualustan kosteus. Haihduntaa ja näin myös kastelutarvetta voidaan ennustaa epäsuorasti kokonaissäteilyllä (kuva 6.5). Kasteluautomatiikoissa käytetäänkin usein kastelun ohjaukseen säteilyä tai suoraan haihduntaa mittaavia antureita.

6.3.2 Taimiarkin paino

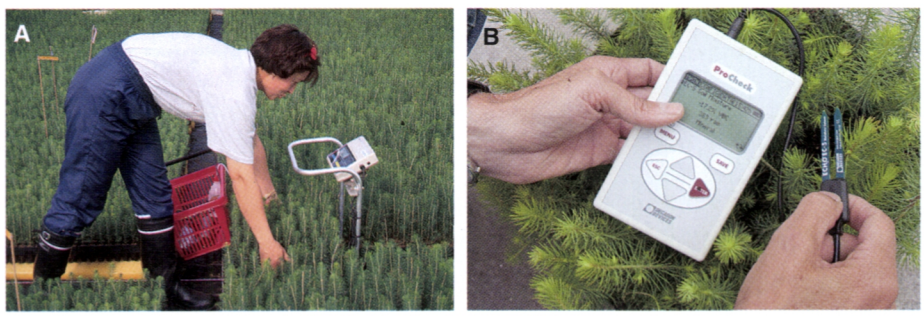
Kasvuturve itsessään on hyvin kevyttä, mutta se sitoo painoonsa nähden runsaasti vettä. Taimiarkin painoa käytetäänkin yleisesti kuvaamaan turpeen kosteutta (kuva 6.6).



Kuva 6.4. Haihdunta mäntyarkeista (Ecopot) kohotetulla kasvatusalustalla noudattelee kokonaissäteilyn muutoksia [363].



Kuva 6.5. (**A**) Turpeen tavoitekosteuden (30, 44 ja 58 % turvetilavuudesta) ja kokonaissäteilykertymän vaikutus mäntytaimiarkin (Paperikenno FS408) haihduntaan päivittäin kasteltaessa. Mitä kosteampi turve ja mitä suurempi kokonaissäteilykertymä, sitä nopeammin vettä haihtuu taimiarkista. (**B**) Kokonaissäteilykertymän vaikutus mäntytaimiarkin (turpeen alkukosteus 46 % turvetilavuudesta) haihduntaan viikon aikana. Haihdunnan riippuvuus säteilykertymästä pysyy lähes suoraviiväisena noin 2 päivän ajan, jona aikana kertymä on n. 6 kJ/cm², minkä jälkeen turpeen kuivuessa myös haihdunta pienenee [363].



Kuva 6.6. Kastelutarpeen voi määrittää epäsuorasti (**A**) punnitsemalla taimiarkki ja laskemalla kasvualustan vesipitoisuus tai vertaamalla ohjearvoihin (taulukko 6.1) tai (**B**) mittaamalla vesipitoisuus sähköisellä mittarilla suoraan kasvualustasta (EO).

Turpeen vesipitoisuuden laskenta taimiarkin painon perusteella

Veden osuus turvealustan painosta saadaan vähentämällä taimiarkin koko painosta kuivan turpeen, kasvatuskennoston, peittomateriaalin sekä taimien paino. Turpeen laskennallinen vesipitoisuus saadaan jakamalla em. veden osuus kasvatuskennoston turvetilavuudella.

Esimerkki: kuusiarkki Plantek 81F:

Tyhjän kennoston paino 1000 g

Täyttötilavuus: 81 kennoa x 85 cm^3 = 6,885 litraa

Turpeen paino: 6,885 litraa x 70 g (kuivan turpeen litrapaino) = 480 g

Peittoaineen paino (puru) 50 g

Taimien tuorepaino juurineen (esim. 150 g)

Jos taimiarkin paino on 4900 g ja kun siitä vähennetään kennoston (1000 g), kuivan turpeen (480 g) ja peittoaineen (50 g) sekä taimien (150 g) painot (yhteensä 1780 g) saadaan veden osuudeksi 3220 g. Veden paino jaettuna turvetilavuudella (6885 cm^3) antaa vesipitoisuudeksi 47 %. Yleensä kennojen täyttö jätetään 3–4 mm vajaaksi, jolloin täyttötilavuus jää 3–6 % laskelmassa käytettyä arvoa pienemmäksi.

Kasvattajan on hyvä laatia painotaulukot (esim. taulukko 6.1) niille paakkutyypeille, joita tarhalla käytetään ja seurata laskettujen arvojen toimivuutta taimien kasvun avulla. Painoihin vaikuttavat turpeen laatu, kennojen täyttötiiviys ja -aste sekä peittoaineen sekä taimien paino. Laskelmia varten on hyvä mitata muutamasta arkista peittoaineen paino ja käyttää omalta tarhalta mitattuja taimien painoja. Taimien painon arvioimiseksi punnitaan erikokoisten taimien tuorepainoja (turpeesta puhdistetut juuret mukana). Kuusentaimet noudattavat likimain seuraavaa pituuden ja painon suhdetta: 10 cm: 2–3 g, 20 cm: 5 g, 30 cm: 12 g, 40 cm: 20 g, 50 cm: 30 g. Päivittäisessä toiminnassa on helpompi seurata taimiarkkien painoja kuin laskettuja vesipitoisuusarvoja, joita kuitenkin tarvitaan kun verrataan punnittuja arvoja suositeltuihin kasvatuskosteuksiin.

6.3.3 Suoraan kasvualustasta mittaavat mittarit

Markkinoille on viime vuosina tullut helppokäyttöisiä sähkömagneettiseen kenttään perustuvia kasvualustan vesipitoisuusmittareita [124] (kuva 6.6b). Nopeuden lisäksi sähköisten mittareiden etu on, että niillä voidaan mitata yksittäisten kennojen vesipitoisuus ja näin saada kuva myös taimiarkkien sisäisestä vaihtelusta. Pienimmät vesipitoisuusanturit mahtuvat ”81-kokoluokan” kennoihin, mutta sekä vesipitoisuutta että johtokykyä mittaavien yhdistelmäantureiden nykyinen koko on edelleen liian suuri käytössä oleviin paakkuihin. Mittapään anturipiikki-

Taulukko 6.1. Optimikosteudessa sekä kuivahkon ja paakkukapasiteetissa olevien ("läpimärän") taimiarkkien painot Plantek® -paakkutyypeille. Kastelu aloitetaan, kun optimikosteusalueen alaraja saavutetaan ja kastelu lopetetaan kun yläraja on saavutettu. Arvot on laskettu 6 % (n. 3 mm) vajaasti täytetyille arkeille. Arvoihin on lisättävä taimien ja mahdollisen peittoaineen paino.

Plantek®	Optimikosteusalue 35–50 %	Kuivahko 25 %	"Läpimärkä" 70 %
	Taimiarkin paino, kg		
121F	3,4–4,3	2,9	5,4
81F	3,8–4,8	3,1	6,0
64F	3,9–5,0	3,2	6,3
49F	4,0–5,1	3,2	6,5
36F	4,2–5,3	3,3	6,8
25	4,4–5,8	3,5	7,6

en joutuminen liian lähellä kennoseinämää johtaa virheellisiin tuloksiin. Toinen huomioitava seikka on, että mittareiden esikalibrointi ei ole turpeelle yleensä riittävän tarkka, vaan mittarit on syytä itse kalibroida kasvualustatyypeittäin.

6.4 Kasteluveden määrä, laatu ja lämpötila

Paakkutaimikasvatuksessa, jossa jokainen taimi kasvaa omassa rajatussa kennossaan, on veden jatkuva saanti tärkeää. Veden tarve vaihtelee voimakkaasti ajankohdan ja olosuhteiden mukaan. Kohotetulla suuralustalla muovihuoneessa Ecopot-taimiarkeista mitattu haihtuvan veden määrä vaihtelee 0,5–6 mm (litraa/m^2) vuorokaudessa ja on kasvukauden aikana 2–4 mm [279, 363]. Tämä merkitsee lämpimimpinä päivinä yli 10 litraa vettä 1000 tainta kohti. Koska kastelulaitteista riippuen 10–20 % vedestä joutuu käytäville ja seinille [83, 176], veden kokonaistarve on vielä suurempi.

Suomalaiset raakavedet ovat hyvälaatuisia matalien lämpötilojen ja maaperän vähäravinteisuuden vuoksi [180]. Veden saatavuuskin on yleensä hyvä. Taimitarhat käyttivät vuonna 1996 kasteluun pääosin järvi- tai lampivettä (62 %) sekä jokivettä (34 %), mutta jotkut tarhat ottivat osan kasteluvedestä kunnallisesta vesijohtoverkostosta (2 %) tai pohjavesikaivosta (2 %) [aineisto 175].

Kasteluvedelle ei ole asetettu virallisia laatuvaatimuksia paitsi syötäväksi tarkoitettujen kasvien kasteluveden bakteeripitoisuuksien osalta. Kasteluveden hyvä laatu on kuitenkin tärkeä paakkutaimikasvatuksessa, jossa lannoite annetaan yleensä kasteluveden mukana. Tavallisimmat kasteluveden ongelmat johtuvat korkeasta humuspitoisuudesta tai veteen liuenneista suoloista, liiallisista ki-

vennäisaineista, rikistä, raudasta, natriumista, boorista, kloorista tai korkeasta pH:sta. Pohjaveden laatu vaihtelee alueen maakerrosten mukaan. Savialueilla rauta- ja mangaanipitoisuus ja meren lähellä natrium- ja kloridipitoisuus saattavat kohota haitallisen korkeiksi. Paikallisesti myös ihmisen toiminta (maatalous, teollisuus) voi lisätä vesien nitraatti- ja suolapitoisuutta. Kunnallisten vesijohtovesien pudistamiseen ja pH:n säätelyyn käytetään erilaisia kemikaaleja, jotka saattavat vaikuttaa vesien kastelukäyttöön. Heikkolaatuinen kasteluvesi voi vaikuttaa taimiin, mutta useammin se tukkii kastelulaitteiden suuttimia.

Metsäpuiden taimitarhat eivät ole kovin aktiivisesti seuranneet kasteluveden laatua [175]. Kasteluveden laatu on kuitenkin syytä tutkia aina ennen kuin uusi vesilähde otetaan käyttöön ja sen jälkeen vuosittain tai joka toinen vuosi. Koska pintavesien (järvi-, lampi- ja jokivedet) laatu voi vaihdella myös vuodenajan mukaan [350], samaan aikaan vuotta otettu näyte helpottaa mahdollisten laatumuutosten seurantaa.

Kasteluvedestä olisi hyvä tarkkailla erityisesti veteen liuenneiden suolojen pitoisuutta (kokonaispitoisuus ja yksittäisten haitallisten ionien pitoisuus). Tärkeätä, mutta ongelmallisempaa ja kalliimpaa on seurata tautien itiöitä, rikkakasvien siemeniä ja itiöitä, levän määrää sekä mahdollisia torjunta-aineiden ja muiden kemikaalien jäämiä

Kaupalliset laboratorioiden raakavesitutkimukseen sisältyy yleensä johtokyky, alkaliteetti (bikarbonaattina), kaliumpermanganaattikulutus, nitraattityppi, fosfori, kalium, kalsium, magnesium, rikki, kloridi, rauta, boori, kupari, mangaani, sinkki, natrium ja pii sekä ehdollisena fluorin, jos sitä esiintyy alueella runsaasti (taulukko 6.2).

Veden kokonaiskovuus (kalsium- ja magnesiumsuolojen määrä) ilmoitetaan saksalaisina kovuusasteina (°dH). Haittavaikutukset, jotka ilmenevät saostumina kastelusuuttimissa ja tahraavina läiskinä lehdissä, lisääntyvät kovuuden kasvaessa. Kasteluveden sopivana kovuutena pidetään 3–5 °dH. Kaliumpermanganaattikulutus kertoo humuksen määrän vedessä. Jos arvo on yli 10 mg/l, humuksen määrä alkaa vaikuttaa tippukastelulaitteiden toimintaan.

Kasteluveden pH pyritään pitämään 5,5–6,5:ssä. Jos pH nousee liian korkeaksi, voi se aiheuttaa ravinteiden saostumista lannoiteliuoksessa. Matala tai hyvin korkea pH voi liuottaa sinkkiä galvanoiduista putkista. Joskus tarhoilla onkin ilmennyt herkkien sirkkataimien sinkkimyrkytystä (kuva 6.7).

Kasteluveden pH-säätötarve ilmoitetaan alkaliteettina (bikarbonaattipitoisuutena) [511]. Bikarbonaatti-ionien pitoisuus kuvastaa veden puskurikykyä säilyttää

Taulukko 6.2. Raakavesianalyysin tulkinta kasvin ja kastelutekniikan kannalta. Arvot koottu eri lähteistä [149, 183, 346, 350, 511].

Tunnukset	Mitta-yksikkö	Arveluttavan korkea pitoisuus		Viljavuus-palvelussa mitattujen arvojen vaihtelu
		kasvin kannalta	kastelutekniikan kannalta	
Johtokyky	mS/cm	>0,2–0,5[1]		0,01–2,1
Alkaliteetti (HCO_3)	mg/l	50		0–309
Permanganaattikulutus	mg/l	20	20	0,9–354
Kokonaiskovuus	dH°	>3–5	3–5	
Typpi	mg/l	[2]		0–52
Fosfori	mg/l	*[2]		0,2–5,3
Kalium	mg/l	*[2]		0,2–42
Kalsium	mg/l	*[2]		0,5–95
Magnesium	mg/l	*[2]		0,2–76
Rikki	mg/l	>30–50		0,1–122
Mangaani	mg/l	2,0	0,2	0,01–2,4
Rauta	mg/l	5,0	0,2	0,01–35
Kupari	mg/l	0,2		0,01–4,6
Sinkki	mg/l	0,5		0,01–17
Boori	mg/l	0,2		0,01–0,60
Natrium	mg/l	30		1,1–260
Kloridi	mg/l	>30–100		0,6–530
Alumiini	mg/l	2		
Fluori	mg/l	2		

[1] Arvo ei sinänsä ole haitallisen korkea, mutta kaventaa lannoitteen lisäysmahdollisuutta veteen. Jos johtokyky halutaan muuntaa kokonaissuolapitoisuudeksi, käytetään suhdetta 1 mS/cm ~ 640 ppm 224.
[2] Pääravinteiden (N, P, K, Ca ja Mg) pitoisuudet eivät yleensä ole liian korkeita. Sekä pää- että hivenravinteiden pitoisuudet tulee ottaa huomion lannoitusohjelmaa suunniteltaessa.

sille ominainen happamuus huolimatta happo- tai emäslisäyksestä. Kasvatettaessa taimia inaktiivisilla alustoilla (esim. kivivilla) tai ravinneliuoksessa, alkaliteetille suositellaan tasoa HCO_3 20–50 mg/l. Kalkituilla turvealustoilla kasteluveden happamuus ei yleensä muodostu ongelmaksi.

Suolaiseen veteen (korkea johtokyky) ravinteita ei voi lisätä riittävästi taimien veden saatavuuden heikentymättä. Korkea suolapitoisuus (esim. kalsium



Kuva 6.7. Galvanoiduista kasteluputkista sumukastelussa liuenneen sinkin aiheuttama myrkytys männyn sirkkataimissa.

ja magnesium) kasteluvedessä, johtaa helposti myös kasvualustan epätasapainoisiin ravinnesuhteisiin. Suolapitoinen merivesi ei sovellu kasvihuoneviljelyyn eikä herkkien kasvilajien kasteluun, vaikka sitä on käytetty suolapitoisuutta kestävien kasvien tilapäiseen kasteluun. Meriveden jatkuvan käytön seurauksena saattaa olla mm. kloridin, natriumin, magnesiumin, sulfaatin ja etenkin boorin haitallista kertymistä kasvualustaan.

Useat puuvartiset kasvit ja havupuista erityisesti kuuset ovat herkkiä korkealle suolapitoisuudelle. Keskeisin vaikutus on kasvun heikentyminen, joka ilmenee ennen muita näkyviä oireita. Jo 2,5 mS/cm:iin nouseva johtokyky voi vähentää puoleen herkimpien kuusilajien kasvua [223]. Näkyvät oireet ilmenevät neulasen kärkien ruskettumisena, lehtien laikkuisuutena, kuivumisena, neulasten sinertävyytenä, kasvun pysähtymisenä, laikuittaisena kasvustona ja lopulta kuolleina taimina [223].

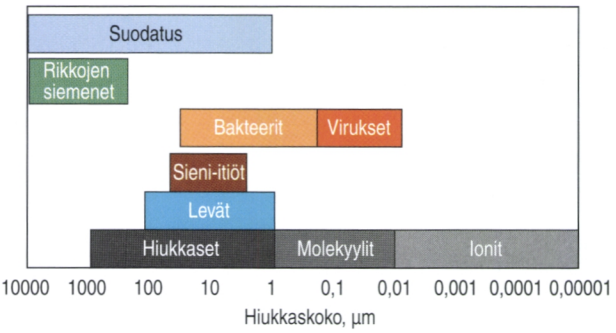
Kemiallisten ominaisuuksien lisäksi on varmistettava, että vedessä ei ole rikkojen siemeniä tai itiöitä. Maatalousalueiden pintavesissä saattaa myös olla sellaisten sienitautien kuten *Pythium* ja *Phytophthora*-sienien itiöitä [509]. Ongelmana on, että monet itiöt ja siemenet ovat niin pieniä, että ne läpäisevät suodattimet (kuva 6.8). Luonnonvesissä esiintyy myös useita levälajeja, jotka voivat pesiytyä kastelujärjestelmiin. Varsinkin levien lepoasteet ovat hankalia, koska ne havaitaan yleensä vasta, kun ne aktivoituvat valossa ja alkavat lisääntymään.

Veden laatua voidaan korjata monin keinoin. Korjaavia toimenpiteitä ovat happamuuden säätö, ei-toivottujen ionien poisto käänteisosmoosilla tai ionivaihdolla ja veteen liuenneiden kiintoaineiden kuten hienon hiekan ja humuksen poisto suodattamalla.

Kasteluveden lämpötila

Metsäpuiden taimituotannossa kasteluveden lämpötilan vaikutuksia on tutkittu niukasti. Koriste- ja vihanneskasvituotannossa kylmän kasteluveden on todettu alentavan kasvualustan lämpötilaa ja taimien kasvua [224]. Vihannesviljelyssä kasvualustan lämpötilan on mitattu palautuvan kastelun jälkeen ilman lämpötilaan 40 minuutissa ja kasvin lämpötilan 5 minuutissa [514]. Metsäpuiden paakkutaimikasvatuksessa kasvualustan lämpötila palautunee paakkujen pienen tilavuuden vuoksi huomattavasti nopeammin.

Muovihuoneen kasvatuspenkissä 16 °C lämpöisellä vedellä kastellut kuusentaimet kasvoivat parhaiten kokeessa, jossa taimia kasteltiin kastelukannulla eri lämpöisillä (10–26 °C) vesillä [90]. Vesi annetaan kuitenkin yleensä kastelujärjestelmän suuttimien kautta, jolloin se lämpenee tai jäähtyy lähelle ilman lämpötilaa



Kuva 6.8. Kasteluveden sisältämien epäpuhtauksien koko vaihtelee paljon ja osa niistä voidaan suodattaa. Puutarhapuolelle suositellaan laitteita, jotka suodattavat 5 µm suuremmat hiukkaset [224].

pisarakoosta ja pisaran kulkemasta matkasta riippuen [58]. Taimet ovat herkimmillään veden lämpötilavaikutukselle itämis- ja orastumisvaiheissa. Silloinkin kasvualustan lämmitystä alhaaltapäin pidetään taloudellisempana vaihtoehtona kuin kasteluveden lämmitystä [224]. Kasteluveden lämpötilalla saattaa olla suurempi merkitys vesihygienian kuin taimien kasvun kannalta. Yli 15 °C lämpöisessä lannoitusliuoksessa erilaiset levät, sienet ja bakteerit alkavat lisääntyä nopeasti ja saattavat tukkia suuttimet.

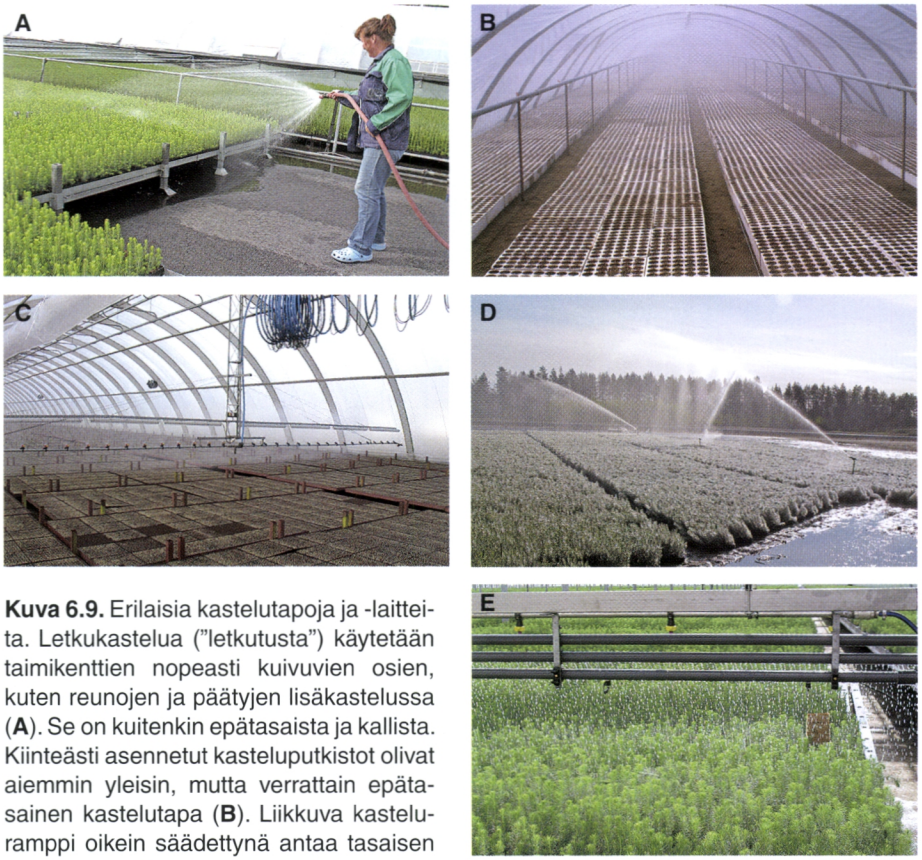
6.5 Hallakastelu ja sumukastelu

Hallakastelulla tarkoitetaan hallavaurioiden torjumiseksi käytettävää kastelua. Kastelu aloitetaan illalla ennen kuin ilman lämpötila laskee alle nollan ja jatketaan aamuun kunnes taimien pinnalle muodostunut jää on sulanut. Kastelun on oltava jatkuvaa. Hallakastelusta tarkemmin hallantorjunnassa (kohta 9.2.7).

Sumukastelua käytetään kasvien ja muovihuoneen ilmatilan jäähdyttämiseen ja kostuttamiseen. ”Karkeasumutukseen” voidaan käyttää sumusuuttimilla varustettuja kastelulaitteita, joita käytetään myös kasteluun. Metsätaimitarhoilla sumusuuttimia pitäisi käyttää vain itämisvaiheessa, sillä sumukastelu jää usein pinnalliseksi ja johtaa nopeasti levän ja sammalen kasvuun turpeen pinnalla. Puutarhapuolella käytetään ns. hienosumutuslaitteistoja, joista korkeapainesumutuslaitteet ovat yleisimpiä [6]. Tavoitteena on niin pieni pisarakoko, että sumu haihtuu ilmassa eikä kastele kasvustoa.

6.6 Kastelujärjestelmät ja niiden testaaminen

Taimitarhoilla käytettävät kastelumenetelmät ja -laitteet vaihtelevat suuresti (kuva 6.9). Pienimmät tarhat saattavat turvautua yksinomaan letkukastelua, mutta suurillakin tarhoilla ”letkutusta” käytetään paikkauskasteluun. Kastelu-



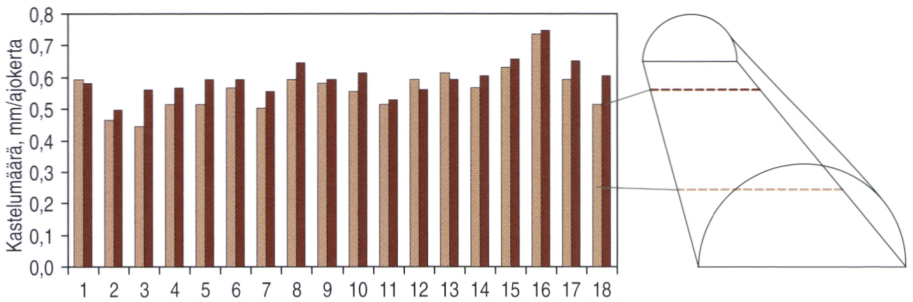
Kuva 6.9. Erilaisia kastelutapoja ja -laitteita. Letkukastelua ("letkutusta") käytetään taimikenttien nopeasti kuivuvien osien, kuten reunojen ja päätyjen lisäkastelussa (**A**). Se on kuitenkin epätasaista ja kallista. Kiinteästi asennetut kasteluputkistot olivat aiemmin yleisin, mutta verrattain epätasainen kastelutapa (**B**). Liikkuva kasteluramppi oikein säädettynä antaa tasaisen kastelun, mutta ei sovellu hallakasteluun (**C**). Siirrettäviä ympyräsadettimia, ns. sprinklereitä käytetään usein ulkokentillä ja ne soveltuvat hyvin hallakasteluun (**D**). Rampin kasteluputkeen porattujen reikien kautta, ilman suuttimia, tuleva kasteluvesi valuu pisaramaisena, eikä kostuta turhaan ilmatilaa (**E**).

laitteet ja -menetelmät voidaan jakaa yleisimmin käytössä oleviin päältäkasteluun, tippukasteluun sekä altakasteluun. Viimemainittua käytetään yleisesti mm. kukkakasvatuksessa, mutta sitä on kokeiltu myös metsäpuiden taimien kasvatuksessa [123, 372].

Päältäkastelulaitteet ovat kiinteitä, siirrettäviä tai liikkuvia. Liikkuvat kasteluramppi antavat tasaisemman kastelutuloksen kuin kiinteisiin putkistoihin asennetut suuttimiin tai siirrettäviin ympyrä- tai sektorisadettimiin perustuvat laitteet [221, 223]. Liikkuvat laitteistot eivät kuitenkaan sovi hallakasteluun, vaan ulkokentät joudutaan varustamaan joko kiinteillä tai siirrettävillä ympyräsadettimilla, jotta veden tulo olisi riittävää ja jatkuvaa hallatilanteessa (tarkemmin kohdassa 9.2.7).



Kuva 6.10. Tuulisella säällä suuri osa kasteluvedestä ajautuu kastelualueen ulkopuolelle.



Kuva 6.11. Muovihuoneesta kahdella pakasterasiarivillä mitattu liikkuvan kasteluramppin kastelutulos (mm=litraa/m^2). Pienet erot huoneen pitkittäissuunnassa johtuvat ramppin vauhdin epätasaisuudesta ja veden paineen vaihteluista.

Käytettiinpä millaista kastelulaitteistoa tahansa, sen antama veden määrä ja kastelun tasaisuus on hyvä tuntea erilaisilla veden paineilla ja rampin ajonopeuksilla. Myös muovihuoneen haihduntaolosuhteet on tunnettava, jotta suuttimet osataan säätää oikein. Ulkona kastelussa on huomioitava tuuli, joka voi vaikuttaa huomattavasti kastelutulokseen (kuva 6.10). Mitä pienempi suutin ja pisarakoko sitä suuremman osan vedestä tuuli ajaa kastelualueen ulkopuolelle.

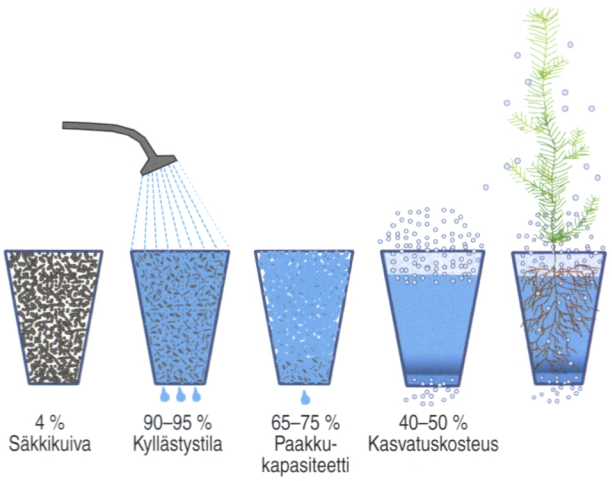
Laitteiden antama vesimäärä on helppo mitata asettamalla laitteen alle pieniä astioita (esim. pakasterasioita) ja ajamalla kasteluramppia eri nopeuksilla ja paineilla rasiarivistön yli. Punnitsemalla talteen saatu vesimäärä ja suhteuttamalla se rasian aukon pinta-alaan voidaan kastelumäärä laskea (esim. g/m^2 tai mm) (kuva 6.11).

On muistettava, että haihduntaolosuhteet vaihtelevat muovihuoneessa säteilyolosuhteiden ja tuuletusluukkujen sijainnin mukaan. Kasvuston reunassa haihdunta on suurempi kuin keskellä, minkä vuoksi reunataimet kuivuvat helpos-

ti, ellei niitä suojata tai kastelua täydennetä lisäsuuttimilla tai letkukastelulla. Myös taimien kokoero vaikuttaa haihduntaan. Suuremmat taimet haihduttavat enemmän ja kuivattavat turvetta nopeammin kuin pienemmät taimet. Tämä ongelma ei poistu kastelun tasaisuudella, vaan paakkuarkin sisäisten kosteuserojen kasvaessa kaikki taimet on kasteltava kyllästymispisteeseen ja tasoitettava kennojen väliset erot.

6.7 Kastelu kasvatuksen eri vaiheissa

Metsätaimitarhoilla kastelu toteutetaan yleensä päältäkasteluna. Kastelussa on tärkeää, että kasvualusta kostuu koko syvyydeltään (kuva 6.12). Päältä annettava vesi painuu "rintamana" syvemmälle kasvualustaan sitä mukaan kun ilma huokosista väistyy veden tieltä. Jos kastelu keskeytetään ennen kuin rintama saavuttaa kennon pohjan, jää kasvualustan alaosa kuivaksi, sen seurauksena juuristo kasvaa vain paakun yläosaan eikä sido paakkua koko syvyydeltä.



Kuva 6.12. "Säkkikuiva" turve kastellaan aluksi hitaasti kyllästymistilaan, jotta koko turvekerros kostuu. Tällöin paakun pohjalta alkaa tippua vettä. Ylimäärä, jota turve ei kykene sitomaan suurimpiin huokosiinsa valuu painovoiman vaikutuksesta pois muutaman kymmenen minuutin kuluessa ja turve on ns. paakkukapasiteetissa. Tämän jälkeen vesi poistuu haihtumalla turpeen ylä- ja alapinnalta. Kun paakussa oleva taimi kasvaa ja alkaa haihduttaa, paakku kuivuu myös sisältäpäin.

Perustamisvaihe

Heti kylvön jälkeen kasvualusta kastellaan läpimäräksi kennojen pohjaan asti. Kastelun on kuitenkin oltava hidasta, että vesi ehtii imeytyä kunnolla kuivaan turpeeseen, eivätkä siemenet ajaudu pintaan kellumaan jäävän veden mukana kennojen reunoille. Turvekerroksen läpikastelu kestää muutaman päivän.

Siemenen ensimmäisen, fysikaalisen vedenimeytymisvaiheen voi toteuttaa jo ennen kylvöä liottamalla siemeniä vedessä niin, että siementen vesipitoisuus nousee lähelle 30 % [147]. Jos siemeniä ei ole liotettu ennen kylvöä, kannattaa kylvöksen pinta pitää kosteana kastelemalla parin kolmen vuorokauden ajan usein toistuvilla pienillä vesimäärillä.

Sen jälkeen, ensimmäisen viikon ajan, kasvualustan pinta pidetään kosteana säätilasta riippuen 1–3 kertaa päivässä toistuvilla pintakerroksen kostuttavilla kasteluilla. Siemenet eivät saa kuivaa, mutta liika märkyys heikentää siementen hapen saantia ja lisää taimipolteriskiä. On myös varmistettava, ettei kasvualusta kennon pohjalla pääse kuivumaan liikaa. Tämä riski on suuri ilmaraollisissa paakuissa kohokasvatuksessa. Jos turpeen pintalämpötila kohoaa idätysaikana liian korkealle (>27 °C), auttaa hienojakoinen jäähdytyskastelu alentamaan pintalämpötilaa.

Heti kun siemen on itänyt ja sirkkajuuri on työntynyt kasvualustaan, voidaan kastelutaajuutta vähentää ja kerralla annettavaa vesimäärää lisätä. Näin saadaan kasvualustan pinta kastelujen välillä kuivahtamaan, mikä vähentää levän ja sammalten iskeytymismahdollisuuksia. Kun taimet ovat 2–3 viikon ikäisiä ja juuret 2–4 cm:n mittaisia, voidaan pitää jopa 1–2 vuorokauden taukoja kastelussa, jos kasvualusta on tasaisesti pohjaan saakka kostea.

Nopean kasvun vaihe

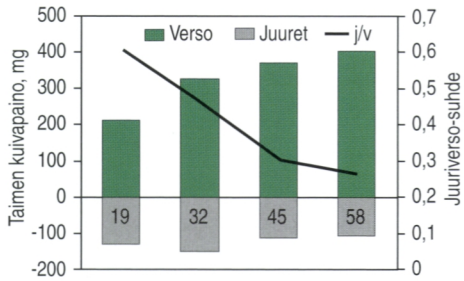
Taimien kasvaessa niiden haihdunta (transpiraatio) lisääntyy ja kasvuston peittävyyden lisääntyessä kasvualustan pinnasta tapahtuva haihdunta (evaporaatio) vähenee. Samalla veden ja ravinteiden otto kohdistuu syvemmälle paakkuun.

Ulkomaiset oppaat suosittelevat kasvualustan kastelemista kyllästystilaan tai jopa sen yli, jotta paakun pohjalle kasvatuksen aikana rikastunut suolaisempi vesikerros huuhtoutuu pois [224]. Suomessa kasvualusta kastellaan 50–60 % vesipitoisuuteen, korkeintaan paakkukapasiteettiin, niin ettei läpivaluntaa tapahdu. Tätä menettelyä tukevat myös kanadalaistulokset, joiden mukaan taimien kasvu tai karaistuminen ei kärsi, vaikka kasvualustaa ei kastella paakkukapasiteettiin ja annetaan sen kuivua 30 %:iin ennen seuraavaa kastelua [47, 220]. Myöskään hai-

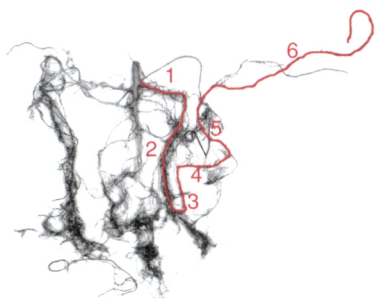
tallista suolojen rikastumista ole havaittu ainakaan kokeissa, jotka on toteutettu ilmaraoilla varustetuissa 350 ml kovamuovisissa paakuissa [221].

Kasvualustan kosteus vaikuttaa yhteyttämistuotteiden jakosuhteeseen juurten ja verson välillä. Kuivissa olosuhteissa juuriverso -suhde kasvaa (kuva 6.13), neulasten pintakelmu (kutikula) vahvistuu ja haihdunta vähenee stressitilanteessa [451]. Samalla myös säästyy vettä ja ravinteita. Pienemmissä paakuissa alle 35 tilavuus-%:n tavoitekosteutta on kuitenkin syytä testata ennen laajempaa käyttöä. Paakun pohjaosan liiallista kuivumista on syytä varoa, sillä se johtaa helposti juurten ylösalaiseen "hissiliikkeeseen" (kuva 6.14).

Kasvatusvaiheessa turpeen kosteutta seurataan punnitsemalla taimiarkkeja tai mittaamalla sähköisellä kosteusmittarilla. Turvekasvualustan optimivesipitoisuusalueena pienemmillä paakuilla (<100 cm^3) 40–50 tilavuus-% (kastellaan ylärajalle ja kasvatusvaiheen aikana annetaan kuivua alarajalle). Isommilla paakuilla voidaan kastelu aloittaa 35 tilavuus-%:sta.



Kuva 6.13. Turpeen vesipitoisuuden vaikutus yksivuotiaiden männyntaimien verson ja juurten kuivapainoon sekä juuriverso-suhteeseen (j/v). Numerot juuripylväissä osoittavat turpeen tavoitevesipitoisuuden (til.-%), johon paakut on kasvatuksen aikana päivittäin kasteltu [361].



Kuva 6.14. Juuristo hakeutuu kohtiin, missä vesi- ja happiolosuhteet ovat suotuisimmillaan. Kastelun osittaisesta epäonnistumisesta johtuva kuusen 2-v taimien juurten hakeutuminen Plantek 81F-paakussa normaalisti ensin sivulle (1) ja sitten seinämää myöten alas (2) ja sen jälkeen takaisin ylös (3), uudelleen alas (4), vielä ylös (5) ja lopulta yläpinnan ja pinnalle kasvaneen sammaleen kautta toiseen paakkuun (6). Juuripaakusta on turve pesty pois.

Paakkuarkissa kosteuserot yksittäisten kennojen välillä voivat joskus kasvaa suuriksi, varsinkin jos taimien kehitys on epätasaista. Tällöin koko taimierä kannattaa ”ylikastella” kyllästymistilaan, jotta kaikkiin kennoihin saataisiin sama kosteustilanne. Perinteisessä muovihuoneessa haihdunta on 2–4 mm/vrk, jolloin kastelu 1–3 kertaa viikossa riittää. Tällöin kastellaan koko turvekerros kerralla kosteaksi. Kastelu toteutetaan aamupäivällä, jotta kasvusto ehtii kuivaa yöksi (homeriskien välttäminen).

Karaisuvaiheen kastelu

Jotkut kasvatusohjeet suosittelevat lievää, parin viikon kuivuusstressiä karaisujakson alussa tai sen aikana [224]. Tutkimustulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia. Kasvualustan lievän kuivuuden on todettu lisäävän taimien kuivuudenkestävyyttä, nopeuttavan kasvun päättymistä ja silmun muodostumista sekä vähentävän jälkikasvuisuutta ja parantavan pakkaskestävyyttä [34, 473]. Osassa tutkimuksia kuivuus on kuitenkin heikentänyt [34] tai ei ole vaikuttanut lainkaan pakkaskestävyyteen [47]. Taimien läpimitan kasvu todennäköisesti kärsii kuivuusstressin vaikutuksesta [473].

Käytännössä kuivuusstressin toteuttaminen on taimikasvatuksessa ongelmallista. Karaisuvaiheen aikana taimet ovat usein ulkona ja sateisina kausina ongelma on päinvastainen; liian veden vuoksi hapen saatavuudesta saattaa muodostua taimien kasvua ja elinvoimaisuutta rajoittava tekijä [127]. Kuivuus on mahdollista aikaansaada vai sateettomana aikana. Ilmaraollisilla, pienillä paakkutyypeillä hallitun kuivuuden toteuttaminen on taitolaji. Paakkujen välillä voi olla suurta kosteusvaihtelua ja yksittäisten taimien kuivumisriski kasvaa, kun kasvualustaa pyritään kuivattamaan. Kovin voimakkaaseen kuivattamiseen ei ole syytä lähteä. Karaisujakson aikana voi kastelun aloittaa kun turve on kuivunut 30–35 tilavuus-%:iin ja ylenmääräistä kastelua kannattaa välttää. Eri puulajit, erilaiset kasvu- ja kasvatusalustat (pohjat) sekä erilaiset paakkutyypit edellyttävät ao. yhdistelmälle räätälöityä kastelua, mitä varten tarvitaan omakohtaista kokeilua ja kokemusta.

Kastelun päivittäistä toteuttamista helpottaa, jos kastelusta pidetään kirjaa: kasteluajankohta, rampin ajonopeus tai sadettimilla kasteluaika. Tietojen perusteella voidaan laskea annettu vesimäärä (mm) edellyttäen, että etukäteen on mitattu kastelurampin antama vesimäärä/ajokerta eri nopeuksilla ja sadettimien aikayksikössä antama vesimäärä. Samoin kastelulaitteiden kastelutasaisuutta on aika ajoin seurattava.

7 Lannoitus

7.1 Ravinteet: otto, vaikutukset ja puutosoireet

7.1.1 Kasviravinteet, niiden saatavuus ja otto

Ravinteella tarkoitetaan alkuainetta tai kemiallista yhdistettä, jota kasvit ottavat maaperästä tai vedestä. Kasvaakseen ja kehittyäkseen normaalisti taimien saatavilla pitää olla sopivina määrinä kaikkia kasveille tarpeellisia ravinteita. Kasveille välttämättömien ravinteiden lista on vuosikymmenien kuluessa pidentynyt, kun on tarkemmin opittu tuntemaan kasvien vaatimuksia. Ravinteet jaetaan kasvien tarvitsemien määrien mukaan pääravinteisiin (makroravinteet) ja hivenravinteisiin (mikroravinteet) sen mukaan kuinka paljon kasvit niitä tarvitsevat. Pääravinteita ovat: typpi (N), fosfori (P), kalium (Ca), kalsium (Ca), magnesium (Mg) ja rikki (S) ja hivenravinteita rauta (Fe), mangaani (Mn), sinkki (Zn), kupari (Cu), molybdeeni (Mo), boori (B) ja kloori (Cl). Näiden lisäksi on joillekin kasviryhmille tärkeitä aineita, kuten pii (Si) ja alumiini (Al). Eräitä ravinteita (esim. seleeni), joita etenkin maatalouspuolella lisätään lannoitteisiin, ei ole todettu kasvulle välttämättömiksi, mutta ihmis- ja eläinravitsemuksen kannalta ne ovat olennaisia.

Kasvit ottavat ravinteet kasvualustasta juurillaan, joskin kasvit pystyvät ottamaan ravinteita myös lehtien kautta. Maasta kasvit ottavat ravinnesuoloja veteen liuenneina positiivisesti tai negatiivisesti varautuneina ioneina. Lisäksi kasvit voivat ottaa joitakin ravinteita orgaanisina yhdisteinä, kuten typpeä ureamuodossa tai aminohappoina. Eräitä hivenravinteita, esim. rautaa, kasvit voivat ottaa myös ns. kelaattimuodossa.

Lannoitteet annetaan yhdisteinä, jotka liukenevat vedessä ionimuotoon. Esimerkiksi ammoniumsulfaatti [$(NH_4)_2SO_4$]) purkautuu (dissosioituu) positiiviseksi ammoniumioniksi (NH_4^+) (kationi) ja negatiiviseksi sulfaatti-ioniksi (SO_4^{2-}) (anioni). Näin muodostuneet ionit jäävät vapaaksi maanesteeseen tai sitoutuvat sähköisesti kasvualustan maa-, turve-, vermikuliitti- tms. partikkeleiden pinnalle, mistä kasvit ottavat niitä. Hivenlannoitteissa käytetään usein hyväksi kasvien käyttämiä kelaattoreita (EDTA = eteenidinitrilotetraetikkahappo), jolloin ravinteet eivät saostu kasveille käyttökelvottomaan muotoon.

Niukasti maatuneessa, vaaleassa turvekasvualustassa, joka itsessään on varsin niukkaravinteista, valtaosa lannoitteina lisätyistä ravinteista on kasvien helposti otettavassa vesiliukoisessa muodossa. Osa kationeista kiinnittyy sähköisesti maahiukkasten pinnoille, mistä kasvin juuret kykenevät irrottamaan niitä ionivaihdon avulla.

Maanesteeseen liuenneet ravinteet kulkeutuvat kasvien juurten ulottuville joko veden liikkeen (massavirtaus) mukana tai diffuusion avulla. Massavirtauksella ymmärretään ravinteiden kulkeutumista vesivirran (kasteluveden tai taimien haihduntavirtauksen aiheuttaman veden liikkeen) mukana. Se miten paljon ravinteita kulkeutuu juurten ulottuville, riippuu veden virtausnopeudesta, taimien veden kulutuksesta sekä veden ravinnepitoisuudesta. Kalsium on tyypillinen massavirtauksen mukana otettava ravinne, josta voi olla puutetta jos haihdunta on vähäistä.

Diffuusiossa puolestaan ionit ja molekyylit liikkuvat, kun liuoksen väkevyyserot pyrkivät tasoittumaan. Ravinteiden oton seurauksena juurten ympärille muodostuu niukkaravinteinen vyöhyke, joka vähitellen täyttyy diffuusion voimasta. Hivenravinteet ja fosfori ovat tyypillisiä diffuusion avulla otettavia ravinteita. Sekä massavirtaus että diffuusio riippuvat maan vesitilanteesta, minkä vuoksi ravinteiden puutostiloja syntyy herkemmin kuivassa kuin märässä kasvualustassa. Usein ravinneionien liikkuminen turpeessa on hidasta, jopa hitaampaa kuin juurten kasvu. Käytännön taimikasvatuksessa ravinteet annetaan yleensä kasteluliuoksessa. Uusi kasteluliuos korvaa maassa olevan vanhan liuoksen, joka valuu pois tai rikastuu paakun alaosaan.

Juurten soluväleistä ravinteet siirtyvät solukalvon läpi kasvisoluihin joko aktiivisesti tai passiivisesti. Kasvisolujen negatiivisen varauksen vuoksi useimmat positiivisesti varautuneet ravinneionit, esimerkiksi kalium, magnesium ja kalsium siirtyvät solun sisälle passiivisesti, ilman, että kasvin tarvitsee tehdä työtä. Ottaessaan negatiivisesti varautuneita ravinneioneja, kasvi joutuu käyttämään energiaa eli ravinteiden otto on aktiivista.

7.1.2 Ravinteiden vaikutus taimien kasvuun ja karaistumiseen

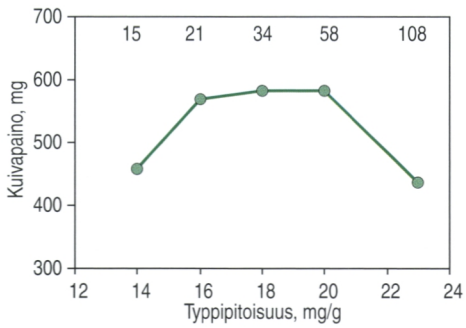
Ravinteiden pitoisuudet ja niiden keskinäiset suhteet vaikuttavat taimien elintoimintoihin, kuten yhteyttämiseen, kasvuun ja rakenteen muodostumiseen, pakkasen, kuivuuden sekä tuholaisten kestävyyteen. Ravinnepitoisuus vaikuttaa taimien juurtumiseen ja kasvuun myös istutuksen jälkeen.

Kasvu

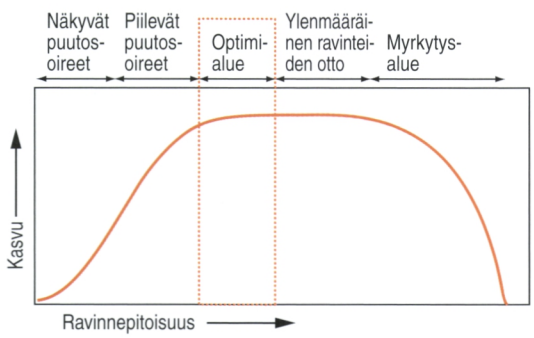
Lannoituksen vaikutus ilmenee ensin neulasten/lehtien ravinne*pitoisuuden* (concentration) nousuna. Vanhemmilla taimilla ravinnepitoisuuden nousu on vähäisempää, sen sijaan taimien ravinne*sisältö* (content) kasvaa biomassan kasvaessa. Kun taimitarhalla lannoitetaan muutaman päivän välein tai viikoittain, taimen ravinnepitoisuuden ja kasvun välille muodostuu selvä käyräviivainen riippuvuus (kuva 7.1). Liian niukka ravinteiden saanti johtaa ravinnepuutokseen. *Puutos*alu-

een alarajalla taimiin muodostuu silmin havaittavia ravinnepuutosoireita (symptomeita) (kuva 7.2). Puutosalueen ylärajalla, *piilevän puutoksen* alueella, selviä oireita ei ilmene, mutta taimien kasvu on heikkoa. *Optimitilassa* ravinteiden määrä ei rajoita kasvua. Optimialueen laajuus vaihtelee ravinteesta ja olosuhteista riippuen. Jos taimia lannoitetaan niiden saavutettua optimitilan ja ne ottavat ravinteita, puhutaan "ylenmääräisestä" (engl. luxorious) ravinteidenotosta. Taimien kasvu ei enää lisäänny, mutta ravinnepitoisuus nousee. Jos lannoitusta edelleen lisätään, kasvualustan korkea suolapitoisuus alkaa haitata taimien vedenottoa, taimien kasvu hidastuu (ylilannoitustilanne) ja taimi ajautuu myrkytystilaan. Joissakin tapauksissa isommilla taimilla tai puilla lannoitus saattaa lisätä kasvua, mutta laskea ravinnepitoisuutta. Tämä johtuu ns. *laimentumisilmiöstä* (dilution), joka aiheutuu siitä, että lannoitus on käynnistänyt voimakkaan kasvureaktion, mutta ei riitä ylläpitämään korkeaa ravinnepitoisuutta [467].

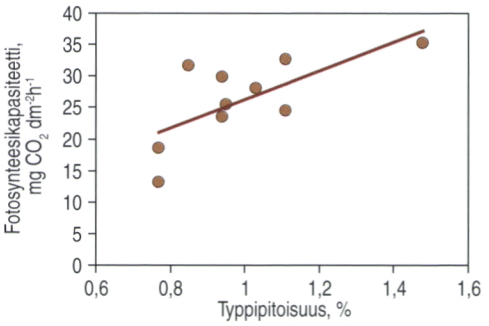
Typpilannoitus vaikuttaa yhteyttämiskapasiteettiin (kuva 7.3) ja edelleen taimien kasvuun, sillä valtaosa lehtien typestä on fotosynteesientsyymeissä, kuten rubiscossa. Lannoituksen aikaansaama kasvun lisäys kohdistuu ennen muuta versoon, vähemmän juuristoon, minkä seurauksena juuriverso-suhde yleensä pienenee lannoituksen lisääntyessä [85] (kuva 7.4). Yksivuotiailla männyn paakkutaimilla [364, 479] lannoituksen vaikutus juuriverso-suhteeseen on vähäinen, mutta kaksivuotisilla paakkutaimilla [380] se pienentää selvästi juuriverso-suhdetta.



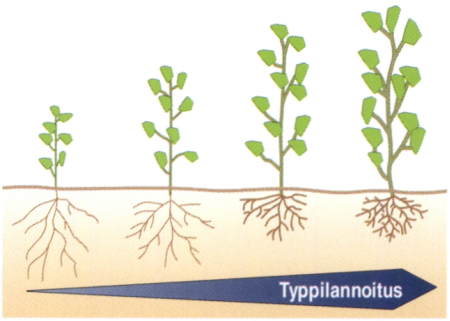
Kuva 7.1. Yksivuotiaiden männyntaimien kokonaiskuivapainon riippuvuus verson typpipitoisuudesta. Arvot (15–108) käyrän yläpuolella ilmoittavat lannoitteena kasvukauden aikana annetun typpimäärän tainta kohti (N mg/taimi) [361].



Kuva 7.2. Kaaviokuva kasvin ravinnepitoisuuden ja kasvun välisestä riippuvuudesta [27, 285, 368].



Kuva 7.3. Fotosynteesikapasiteetin riippuvuus männyn neulasten typpipitoisuudesta [439].

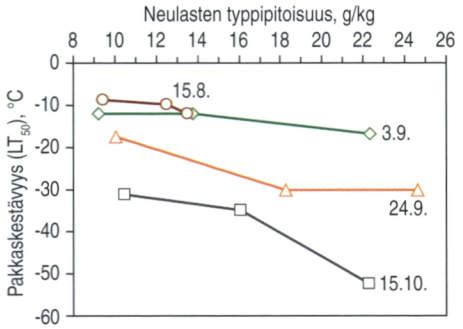


Kuva 7.4. Periaatekuva typpilannoituksen vaikutuksesta taimien kasvuun. Kasvualustan ravinnepitoisuuden kasvaessa juuristo haaroittuu ja tiheys kasvaa, mutta taimen juuriverso-suhde pienenee.

Karaistuminen ja talvenkesto

Taimien karaistumisen yksi edellytys on riittävä ravinteiden saanti [184, 31, 63]. Tätä vahvistavat myös käytännön havainnot, joiden mukaan loppukesän hallavauriot ovat olleet vakavampia taimierissä, joissa neulaset ovat vaalean vihreitä, tummemman vihreiden taimierien selvitessä vähemmin vaurioin. Toisaalta liian korkea typpipitoisuus pituuskasvun loppuvaiheessa voi hidastaa verson karaistumista viivästyttämällä kasvun päättymistä tai vaikuttamalla taimien solujen biokemialliseen koostumukseen [247, 323]. Lannoitus voi lisätä huomattavasti myös taimien jälkikasvuisuutta [380, 366], mikä puolestaan altistaa taimia hallatuhoille. Juuriston pakkaskestävyyteen lannoituksen ei ole havaittu vaikuttavan [32].

Yksittäisten ravinteiden, erityisesti typen ja kaliumin vaikutuksesta karaistumiseen on esitetty erilaisia näkemyksiä. Näyttäisi siltä, että kohtuullinen typpitaso takaa parhaan pakkas- ja varastointikestävyyden (kuva 7.5). Männyntaimien pakkaskestävyyden on todettu olevan parhaimmillaan, kun neulasten typpipitoisuus on 1,3–1,8 % [14, 143, 318, 388, 480]. Kuusella hieman männylle suositeltua korkeampi typpipitoisuus (1,5–2,3 %) on parantanut taimien pakkaskestävyyttä [72, 272], mutta jo yli 2,4 % typpipitoisuus on heikentänyt sekä pakkas- [79] että varastointikestävyyttä [376]. Tosin aina ei korkeammillakaan typpipitoisuuksilla (2,2–3,3 %) ei ole havaittu haitallista vaikutusta kuusen pakkaskestävyyteen [95].



Kuva 7.5. Matala typpipitoisuus heikentää taimien pakkaskestävyyttä. Lyhytpäiväkäsiteltyjen, kaksivuotiaiden kuusentaimien neulasten pakkaskestävyyden riippuvuus neulasten typpipitoisuudesta loppukesällä ja syksyllä [272].

Ilmeisesti korkeahko (>2,5 %) typpipitoisuus karaistumisen alkuvaiheessa elo–lokakuussa voi parantaa taimien pakkaskestävyyttä, mutta saattaa heikentää sitä hieman myöhemmin syksyllä.

Tutkimustulokset loppukesän kaliumlannoituksen karaistumista jouduttavasta vaikutuksesta poikkeavat jossain määrin aiemmista suosituksista [335]. Kokeissa kaliumlannoitus ei ole vaikuttanut [53, 54, 393] tai se on jopa heikentänyt taimien pakkas- ja varastointikestävyyttä [174, 352, 419]. Aiempi näkemys kaliumin talvenkestävyyttä parantavasta vaikutuksesta saattaa perustua kaliumin kuivuudenkestävyyttä lisäävään vaikutukseen [94]. Kaliumin on todettu hidastavan taimien pakkaskuivumista [55, 239].

Myös muiden ravinteiden, kuten kalsiumin ja boorin, on oletettu vaikuttavan taimien puutumiseen ja karaistumiseen. Selvää näyttöä tai pitoisuuksien rajaarvoja ei kuitenkaan ole esitetty. Kokeissa esimerkiksi kalsiumin lehtilannoitus joudutti hieman koivuntaimien karaistumista [252, 253], mutta boorilla ei ole havaittu pakkaskestävyyttä parantavaa vaikutusta [383] tai vaikutus on lievä [413].

Ravinteiden saatavuuteen ja taimien ravinnepitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Lannoitteet koostuvat ravinnesuoloista. Mitä runsaammin lannoitetaan, sitä korkeammaksi nousee kasvualustan suolapitoisuus. Suolapitoisuuden noustessa liian korkeaksi, kasvien vedensaanti vaikeutuu ja kasvu hidastuu. Koska ravinnesuolat johtavat sähköä, suolapitoisuutta usein mitataan johtokykynä (johtokyvystä tarkemmin kohdassa 7.3.2).

Myös kasvualustan vesipitoisuus vaikuttaa ravinteiden saatavuuteen, koska turvekasvualustassa taimet ottavat valtaosan ravinteista vesiliuoksesta. Kuivuuden lisääntyessä ravinteiden otto hidastuu ja kasvu heikkenee. Myös liian märkä kasvualusta johtaa ravinteiden oton tyrehtymiseen hapenpuutteen ja energian

loppumisen vuoksi. Kasvualustan vesipitoisuus on pidettävä optimissa täyden lannoitusvaikutuksen saamiseksi.

Paakkutaimikasvatuksessa käytettävät kasvualustat ovat varsin niukkaravinteisia ja happamia. Turpeessa on typpeä, mutta niin hitaasti vapautuvassa muodossa, ettei sillä ole merkitystä 1–2 vuoden kasvatuksessa. Happamuutta vähennetään lisäämällä turpeeseen kalkkia. Suomessa turve tavallisesti myös peruslannoitetaan, jolloin kasvualustassa on alusta lähtien saatavilla liukoisessa muodossa olevia ravinteita. Myös hallitusti liukenevilla ja hidasliukoisilla lannoitteilla lannoitettua turvetta käytetään tarhoilla. Ensimmäisen kasvukauden loppupuolella ja toisena kasvukautena taimet ovat kuitenkin yleensä hoitolannoituksen varassa.

Koska metsätaimiturve kalkittunakin on verraten hapanta (pH 4,5–5), on ammoniumin hapettuminen nitraatiksi (nitrifikaatio) hidasta ja osa lannoitetypestä esiintyy ammonium-muodossa. Tämän vuoksi nitraattiliuskojen käyttö typpitason määrityksessä voi osittain johtaa harhaan. Jos ammoniumpitoisuus nousee liian korkeaksi, taimien juuret voivat kärsiä. Oireet ovat tyypillisiä juuristovaurioiden oireita, kuten verson lakastumista, neulasten ja lehtien ruskettumista ja kuolemista [223].

Vaikka turpeella on hyvä kationiravinteiden sitomiskyky ja turve sitoo kohtalaisen ravinnereservin, ravinteet huuhtoutuvat helposti voimakkaassa kastelussa ja sateessa. Tämä on haitta, mutta toisaalta myös etu kasvattajan kannalta. Mikäli on epäilyä tai mittaustuloksia siitä, että ravinteita on kertynyt kasvualustaan liikaa tai ravinnesuhteet ovat kasvatuksen aikana vääristyneet, voidaan kasvualusta huuhdella runsaalla kastelulla tai laimealla lannoiteliuoksella. Tällöin vanha liuos valuu paakuista ja lannoitus voidaan aloittaa ”puhtaalta pöydältä”. Turvekerroksen läpimäräksi kasteluun tarvitaan runsaasti vettä tai lannoiteliuosta (10–30 l/m^2) turpeen alkukosteudesta ja paakun koosta riippuen. Vanhan, liian väkevän liuoksen poistuminen on syytä varmistaa mittaamalla paakuista ulosvaluvan liuoksen johtokyky. Kasvualustan huuhtominen ei kuitenkaan ole toivottavaa ympäristösyistä, sillä ravinteet joutuvat maahan ja mahdollisesti pohjaveteen.

7.1.3 Puutosoireet

Lievä ravinnepuutos heikentää kasvua, mutta voimakas puutos ilmenee silmin havaittavina oireina (taulukko 7.1). Kun oireet ovat näkyvissä, ovat puutoksen vaikutukset ehtineet jo pitkälle ja saattavat olla palautumattomia. Samankin ravinteen puutoksessa oireet vaihtelevat paljon riippuen puulajista, taimen iästä, kasvuvaiheesta ja kasvuolosuhteista. Poikkeavuutta tyypillisiin oireisiin voi

Taulukko 7.1. Ravinteiden merkitys sekä yliannostuksen ja puutoksen oireet. Kloroosi on lehtivihreän vähenemisestä tai hajoamisesta sekä muiden väripigmenttien esiintulosta johtuva vaalea, kellertävä tai joskus punertava sävy. Nekroosi on lehti/neulassolukkojen kuolemista, jolloin solukkoon syntyy vaaleita tai tummia laikkuja. Taulukossa lehdet ja neulaset on eroteltu varsinkin, jos oireet ovat erilaisia. Taulukko perustuu useisiin tietolähteisiin [91, 222, 223, 355, 467] sekä omiin havaintoihin.

Ravinne liikkuvuus kasvissa	Merkitys	Yliannostus	Puutos
Typpi (N) Liikkuva	Valkuaisaineiden muodostuminen ja energia-aineenvaihdunta. Typpipitoisuus korreloi yhteyttämiskapasiteetin kanssa ja vaikuttaa versojen ja lehtien kasvuun.	Tummanvihreät neulaset, kärkikloroosia ja nekroosia, versot kasvavat liikaa, ovat vetisiä ja hauraita, sekä alttiita etenkin kirvoille ja sienitaudeille. Puutumisen viivästyy.	Heikko kasvu, lehdet ja neulaset pieniä ja tasaisesti vaaleanvihreitä. Ne kellastuvat ja kärjet myös punertuvat loppukesällä, kärkikuivumista. Oireet ensin vanhemmissa lehdissä/ neulasissa, jotka voivat pudota ennenaikaisesti.
Fosfori (P) Hyvin liikkuva	Energiatalous, solujen kalvorakenteet. Fosforia myös proteiineissa ja hiilihydraateissa. Tärkeä juurten kasvulle, etenkin viileissä oloissa.	Aineenvaihdunta häiriöitä, N-, Ca- ja hivenravinne (Fe, Zn, B, Cu) puutoksia, harmaata kärkikloroosia, neulasissa ruskeita laikkuja.	Kasvun heikkeneminen (erit. juuret), värinmuutos oireettomasta, sinivihreään ja –punertavaan. Havupuilla nuorimmat neulaset muuttuvat ensin kellertäviksi ja vanhat neulaset violetinpunaisiksi. Ankarassa puutoksessa koko taimi punertuu. Oireet ilmenevät ensin vanhoissa kasvinosissa.
Kalium (K) Hyvin liikkuva	Soluliman yleisin ioni vaikuttaa vesitalouteen (vesipotentiaali, ilmarakojen toiminta) ja entsyymitoimintaan. Lujittaa solukoita ja edistää juuriston kehitystä. Lisää talvenkestävyyttä.	Kasvun pysähtymistä, N ja Mg puutosta.	Oireet vaihtelevia. Heikko kasvu. Aluksi neulaset voivat olla sinivihreitä, myöhemmin lyhyet neulaset kellastuvat, usein tyveltä vihreät. Lehtien täplittyminen etenee kloroosiksi. Vanhemmat lehdet ruskettuvat ensin reunoista lähtien ja käpertyvät. Kärkikasvupiste voi kuolla.
Magnesium (Mg) Liikkuva	Viherhiukkasmolekyylin keskusatomi. Edistää lehtivihreän muodostumista. Osallistuu sokereiden ja valkuaisaineiden muodostumiseen. Säätelee muiden ravinteiden (esim. Mg) ottoa.	Ca-, K- ja Mn- puutos mahdollinen. Alttius kirvoille lisääntyy.	Pienien taimien neulaset aluksi sinivihreitä. Vanhempien taimien neulasten kärjet kirkkaan keltaisia tai oransseja, mutta voivat ruskettua myöhemmin. Oireet ensin alaoksissa. Lehtipuilla vanhemmat lehdet kellastuvat ensin, lehtisuonien jäädessä vihreiksi.
Kalsium (Ca) Ei liikkuva	Solunsisäinen tiedonvälitys, entsyymitoiminta ja soluseinien rakenne. Edistää juurten ja versojen kasvua sekä vaikuttaa muiden ravinteiden ottoon.	Heikentää muiden ravinteiden saatavuutta (P, Mg, Mn, B, Fe, Zn, Cu), jonka seurauksena kloroosia.	Kasvun pysähtymistä, kloroosia, neulasten kärkien koukkumaisuutta ja kuolemista. Voimakkaassa puutoksessa silmut kuolevat. Pihkavuotoa. Uusimmat lehdet jäävät pieniksi, lehtien reunojen ruskettumista. Uusi ranka mutkainen ja juuriston kasvu heikko. Oireet ilmenevät ensin uusissa kasvinosissa (esim. juurenkärjet).
Rikki (S) Liikkuva	Valkuaisaineiden rakenneosa, edistää aineenvaihduntaa, ylläpitää lehtien tummaa vihreyttä.	Hapettomissa olosuhteissa rikkivedyn muodostumisen seurauksena Fe-puutos. S-päästölähteiden lähellä ruskeita laikkuja lehdissä, neulaset ruskettuvat.	Kasvu niukkaa, lehdet pienikokoisia. Nuorimmat lehdet/ neulaset kalpean kellertäviä. Voimakas puutos aiheuttaa neulasten kärkien kellertävyyttä tai punertavuutta ja nekroosia. Vanhoissa neulasissa kirjavuutta.
Rauta (Fe) Liikkumaton	Valkuaisaine- ja lehtivihreäsynteesi, entsyymit.	Suurilla yliannoksilla taimien lakastumista. Ilmenee mahdollisesti turpeen rautapitoista tuhkaa käytettäessä (P-puute). Alhainen pH tekee raudan liukoiseksi.	Nuorissa neulasissa/lehdissä vain vähittäistä kloroosia, joka voimakkaassa puutoksessa muuttuu kirkkaan keltaisesta valkoiseen ja silmujen kehitys estyy. Lehtiruodit ja vanhimmat lehdet/neulaset säilyvät vihreinä.
Mangaani (Mn) Liikkumaton	Entsyymit ja aineenvaihdunta, klorofyllisynteesi ja yhteyttäminen. Parantaa Ca, Mg ja P saatavuutta.	Ruskeita täpliä ensin vanhimmissa lehdissä. Myrkyllisyyttä hyvin happamissa, märissä kasvualustoissa.	Neulasissa lievää kloroosia ja voimakkaassa puutoksessa nekroosia. Lehdissä suonenvälinen kloroosia (muistuttaa raudan puutosta).
Sinkki (Zn) Liikkuva	Entsyymitoiminta, kasvihormonituotanto (auksiini), hiilihydraattiaineen-vaihdunta.	Voi esiintyä galvanoiduista putkista irtoavan sinkin vuoksi. Punertavan ruskeat neulaset, sirkkataimien kuoleminen. Oireet muistuttavat Fe-myrkytystä.	Neulaset tiheässä, keltaisia ja lyhyitä. Lehtien kääpiöitymistä ja kasvun taantumista. Lehtien laidoilta alkava ja lehtisuonten väleihin jatkuva kloroosi, joka johtaa nekroosiin ensin vanhemmissa kasvinosissa.

Taulukko 7.1 jatkuu

Ravinne liikkuvuus kasvissa	Merkitys	Yliannostus	Puutos
Kupari (Cu) Suhteellisen liikkumaton	Valkuaisaineet, entsyymien aineosa, fotosynteesitehokkuus, respiraatio, entsyymit, puutuminen.	Juuriston kasvu tyrehtyy. Lehdissä muistuttaa Fe-puutosta.	Neulasten kiertymistä. Aluksi väri tummenee, myöhemmin kellertymistä ja kärkien pronssinsävyä ja "palamista". Lehtisuonten välissä ja kärjissä nekroosia. Voimakkaassa puutoksessa rangan taipumista ja mutkaisuutta.
Boori (B) Hyvin liikkumaton	Hiilihydraattisynteesi, solurakenne, juurten kasvu.	Vanhojen lehtien ruskettumista reunoilta, neulasten kärkien kellastumista ja ruskettumista, kasvupisteiden ja lopuksi taimen kuolemista.	Kärkisilmujen kuolemista, monihaaraisuutta ja pensastumista, joskus mutkaisuutta. Lehdet/neulaset voivat olla paksuja ja epämuodostuneita. Alussa ei värioireita, mutta myöhemmin voi olla kloroottisuutta ja nekroosia.
Molybdeeni (Mo) Liikkuva	Entsyymit, typpiaineenvaihdunta.	Keltainen/oranssi kloroosi, pituuskasvu tyrehtyy, silmujen avautumattomuutta.	Lehden kärjestä ja lehtisuonten välistä alkavaa kloroosia ja nekroosia sekä lehden käpertymistä sisäänpäin ensin vanhoissa kasvinosissa.

aiheuttaa useamman ravinteen samanaikainen puute. Myös liikalannoituksesta aiheutuvat myrkytystilat ja erilaiset tuhonaiheuttajat (hyönteiset, sienitaudit, halla) aiheuttavat oireita, jotka voivat muistuttaa ravinnepuutosoireita.

Puutos- tai myrkytysoireita tulkittaessa on aluksi hyvä tutkia missä taimen osassa oireet ilmenevät. Ravinnepuutokset ilmenevät symmetrisinä oireina kasvinosissa, joissa aineenvaihdunta on vilkkainta. Hitaasti liikkuvien ravinteiden (esim. boori ja kalsium) puute ilmenee ensin nuorissa, kasvavissa osissa. Liikkuvia ravinteita (esim. typpi, fosfori, kalium) kasvi siirtää vanhoista osista uusiin, minkä vuoksi puutosoireet näkyvät ensin vanhoissa lehdissä/neulasissa. Yleensä oireita on vaikea tulkita silmävaraisesti, minkä vuoksi lehti/neulasanalyysi on usein ainoa keino ravinneongelmien selvittämisessä (kohta 7.3.4). Analyysitulos kertoo puutoksen, mutta ei välttämättä paljasta syytä puutokseen. Lisäksi voidaan joutua tutkimaan kasvualustan ravinnetilanne.

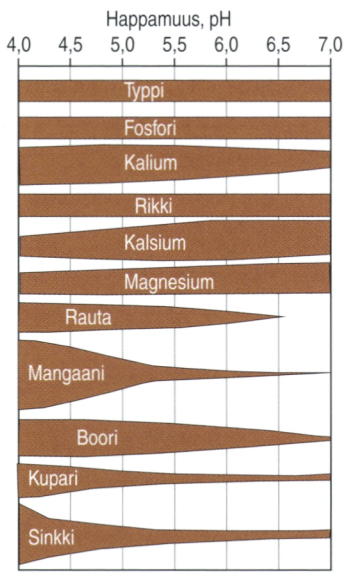
7.1.4 Kasvualustan happamuus

Happamuutta mitataan pH-asteikolla, joka on suhteellinen, logaritmisella asteikolla ilmoitettu mitta liuoksessa olevien vetyionien (H^+) määrälle. Asteikon logaritmisuus merkitsee sitä, että aina kun pH kasvaa yhdellä yksiköllä, nousee vetyionien määrä 10-kertaiseksi eli pH 6:ssa vetyioneja on 10 kertaa enemmän kuin pH 5:ssä ja 100 kertaa enemmän kuin pH 4:ssä. Happamuus voi vaihdella pH-yksiköissä 0–14, jossa 0 on hyvin hapan ja 14 hyvin emäksinen. Kun pH on 7, sanotaan liuosta neutraaliksi. Koska muut ionit voivat vaikuttaa vetyionien määrään, voi poikkeava pH-arvo kasvualustassa olla merkkinä myös jostain muusta poikkeavasta tekijästä, kuten esim. kasteluveden laadusta tai ravinne-epätasapainosta.

Kasvualustan happamuus vaikuttaa taimien ravinteiden saatavuuteen ja kasvuun eri tavoin puulajista riippuen. Vaikutus voi olla suora tai välillinen. Vaikutus on suora hyvin korkeilla tai matalilla pH-arvoilla. Happamuuden laskeminen alle pH 3:n vaikuttaa haitallisesti juuristoon [292]. Merkittävämpää taimien kannalta on kuitenkin happamuuden välillinen vaikutus ravinteiden liukoisuuteen, maamikrobistoon sekä juuritautien ja mykorritsojen esiintymiseen.

Useiden ravinteiden liukoisuus kasveille käyttökelpoiseen muotoon paranee pH:n noustessa yli 5:n, mutta sen noustessa edelleen kohti neutraalia, erityisesti hivenravinteiden saatavuus heikkenee [107, 264] (kuva 7.6). Toisaalta kun pH laskee alle 5,5:n liukoisen alumiinin pitoisuus voi turpeessa kasvaa monille kasvilajeille haitalliseksi (yli 1 mg/l) [344]. Männyn ja kuusen taimet kestävät kuitenkin verraten korkeita alumiinipitoisuuksia ja haitalliset vaikutukset esiintyvät vasta 10–80 mg/l pitoisuuksilla [12, 291].

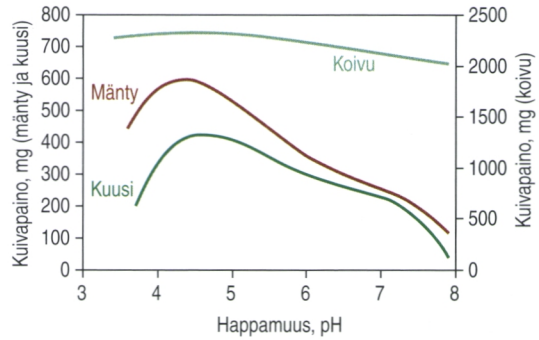
Kasvualustan happamuus vaikuttaa merkittävästi myös typen eri muotojen käyttökelpoisuuteen. Nitraattitypellä lannoitetut douglaskuusen taimet kasvavat paremmin happamassa kasvualustassa ja ammoniumtypellä lannoitetut taimet neutraalissa kasvualustassa [78].



Kuva 7.6. Orgaanisten kasvualustaseosten happamuuden (pH) vaikutus ravinteiden suhteelliseen saatavuuteen. Mitä leveämpi kaista sitä helpommin on ravinne kasvin saatavissa [107].

Käsitykset kasvualustan happamuuden merkityksestä metsäpuiden taimien itämiseen ja kasvuun ovat vaihdelleet. Happamuus vaikuttaa voimakkaammin taimien kasvuun kuin siementen itämiseen [1]. Havupuille on suositeltu happamuutta pH 5,0–6,0 [478], mutta on esitetty myös alhaisempia arvoja (pH 4,5–5,9) [37,415]. Lehtipuiden kasvualustan optimihappamuutena on pidetty pH 6,0–7,0, mutta leppä- ja koivulajeille suositellaan matalampia pH-arvoja [512].

Suomessa turvealustalla tehdyssä kokeessa männyn siementen itämistarmo laski yli pH 6 -arvoilla, mutta itävyyteen sillä ei juuri ollut vaikutusta. Kuusen ja koivun siemenet itivät lähes samalla tavalla pH-alueella 4–7 [381]. Parhaiten männyn ja kuusen taimet kasvavat vaaleassa rahkaturpeessa pH-alueella 4–5, kun taas koivun taimien kasvuun turpeen happamuudella on vain vähäinen vaikutus [89, 161, 381] (kuva 7.7).



Kuva 7.7. Turpeen happamuuden (pH) vaikutus männyn, kuusen ja koivun 4 kk ikäisten taimien kokonaiskuivapainoon [381].

Kalkitus happamuuden säädössä

Vaalean rahkaturpeen happamuuden neutraloimiseksi sopiva dolomiittikalkkilisäys on 2–3 kg turvekuutiota kohti 1–2 -vuotiaiden metsäpuiden taimikasvatuksessa [381]. Lisäys nostaa pH:n 4,5–5,5:een, mikä takaa taimille riittävän kalsiumin saannin ja estää kasvualustassa mahdollisesti esiintyvän alumiinin muuttumisen kasveille haitalliseen muotoon. Pitempiaikaisessa kasvatuksessa kalkitustarve lisääntyy taimien juurten happamoittavan vaikutuksen vuoksi. Samoin jos käytetään maatuneempaa turvetta, happamuuden neutraloimiseksi tarvitaan suurempia kalkkimääriä, mustalla turpeella jopa 10–15 kg/m^3 [344].

Dolomiittikalkki ja puuntuhka ovat vaalean rahkaturpeen kalkitusaineina lähes samanarvoisia. Puuntuhkalla voidaan korvata kasvuturpeen peruskalkitus ja -lannoitus, jos käytetään hoitolannoitetta, joka sisältää fosforia ja mahdollisesti muita tuhkassa niukasti esiintyviä ravinteita [381]. Tuhkan koostumus on kuitenkin tunnettava, koska eri tuhkalähteiden ja jopa tuhkaerien ravinnepitoisuus ja liukenevuus vaihtelee. Teollisuustuhkassa saattaa olla vierasaineita [105, 210], jotka jo alhaisina pitoisuuksina voivat olla taimille haitallisia.

7.1.5 Mykorritsat

Mykorritsa eli sienijuuri on sienen ja kasvin juuren symbioosi, yhteiselon muoto, jossa juuristoon muodostuu sienen ja juurisolukon yhteisiä rakenteita [475]. Yhteiseloa pitää yllä työnjako, jossa sieniosakas tehostaa puiden ravinteiden ja veden ottoa ja vastaavasti saa puulta mm. hiiliyhdisteitä.

Mykorritsat jaetaan kahteen pääryhmään: ektomykorritsoihin ja endomykorritsoihin. Ektomykorritsalla sienirihmat kasvavat yhtenäisenä tuppena juurenkärkien pinnalla ja juurisolujen välisessä tilassa, kun taas endomykorritsalla sieni tunkeutuu juuren solujen seinien läpi muuttuen rakkulamaiseksi tai haaroittuen

voimakkaasti. Mykorritsojen tehokkuus veden ja ravinteiden otossa perustuu niiden ulottuvuuteen kauas kasvin juuren ulkopuolelle.

Ektomykorritsa on yleinen viileän ja lauhkean vyöhykkeen puulajeilla ja monet sienilajit, kuten rouskut, tatit, seitikit, haperot, kärpässienet ja valmuskat muodostavat ektomykorritsoja. Endomykorritsa puolestaan on tavallinen ruohovartisilla kasveilla ja eräillä lehtipuilla. Mykorritsaa muodostavilla sienillä saattaa olla useita isäntäkasvilajeja ja toisaalta yhdellä kasvilla voi olla useita eri mykorritsasienilajeja samanaikaisesti. Sienilajit voivat myös vaihtua olosuhteiden muuttuessa.

Puilla mykorritsat muodostuvat pienien sivujuurien kärkiin, jotka paksunevat ja/tai haaroittuvat mykorritsainfektion seurauksena (kuva 7.8). Mykorritsoittuneen juurenkärjen pinnalla kasvaa sienirihmastoa ja väri saattaa muuttua. Ektomykorritsarakenteet pystyy havaitsemaan paljain silmin, mutta tunnistamisessa käytetään apuna suurennuslasia tai mikroskooppia. Parhaiten mykorritsarihmasto erottuu syksyllä taimien karaistuttua.

Mykorritsat parantavat taimien ravinteiden, typen ja erityisesti fosforin ottoa [35] sekä lisäävät kuivuuden kestävyyttä [219]. Lisäksi mykorritsat saattavat suojata juuristoa sienitaudeilta [50, 250, 308, 455]. Istutuskokeissa mykorritsat ovat parantaneet taimien menestymistä erityisesti ongelmallisilla uudistuskohteilla, kuten kaivosten avolouhoksilla, jätemaiden läjitysalueilla ja hyvin pitkään maatalouskäytössä olleilla mailla [510] sekä alueilla, missä ei entuudestaan esiinny ao. puulajin mykorritsalajistoa [84, 297]. Pohjoisemmissa olosuhteissa metsämaalla vaikutukset ovat olleet vaihtelevampia. Taimitarhakasvatuksessa pienemmäksi jääneet mykorritsaympätyt taimet ovat istutuksen jälkeen 3–4 vuodessa saavuttaneet istutuspituudeltaan pitemmät, ilman mykorritsaymppiä kasvatetut taimet [492, 449].



Kuva 7.8. Tavallisimpia taimitarhoilla tavattavia mykorritsasieniä on lohisieni (EO). Lohisienen infektoima lännen hemlokin juurenkärki (Kuva: J.M. Kranabetter: http://www.pfc.cfs.nrcan.gc.ca/biodiversity/bcern/profiles/pdf/Laccaria_laccata-Thete-JMK0022.pdf)

Mykorritsasienien itiöt leviävät luontaisesti ilmateitse ja taimien juuristot infektoituvat tarhalla, jos olosuhteet ovat suotuisat. Paljasjuurisilla taimilla, joiden kasvatusaika on pitempi kuin paakkutaimilla, mykorritsoittuminen on tavallista [403, 240]. Taimitarhamaan sienilajisto ei kuitenkaan välttämättä menesty istutuksen jälkeen.

Paakkutaimilla on havaittu mykorritsoja paljasjuurisia taimia vähemmän. Yksivuotisten kuusentaimien juuristoista alle 20 % ja kaksivuotisten 50–60 % on mykorritsoittunut [99, 240]. Yleisimpiä mykorritsan muodostaneita sieniä ovat karvasilokka ja lohisieni (kuva 7.8), joiden itiöemiä näkee yleisesti taimitarhoilla. Karvasilokkaa voi esiintyä taimitarhoilla liikakastelun, lannoituksen ja alhaisen pH:n [49] seurauksena jopa haitallisessa määrässä. Taimen rangan ympärillä tiiviisti kasvava itiöemä saattaa tukahduttaa taimen [333]. Karvasilokan merkityksestä istutuksen jälkeen on ristiriitaisia tuloksia [241, 449].

Taimien luontaista mykorritsojen muodostumista voidaan edistää sopivalla kasvatusohjelmalla [99]:

- lannoitetaan alkuvaiheessa niukasti ja jatkossa useammin, mutta vähän kerrallaan (johtokyky pysyy alhaisena)
- fosforia ja typpeä käytetään harkitusti
- vältetään liikakastelua, annetaan kasvualustan välillä kuivahtaa
- torjunta-aineita käytetään vain tarpeeseen

Taimitarhataimiin voidaan siirrostaa mykorritsoja. Siirrostamiseen on käytetty metsästä kaivettua humusta ja kariketta, jota on lisätty kasvualustaan [297]. Uudempi menetelmä on lisätä kasteluveteen sienistä liotettua itiösuspensiota [49]. Markkinoilla on myös kaupallisia mykorritsavalmisteita. Suomessa on tutkittu ja testattu kuuselle sopivia suomalaisia sienilajeja ja -kantoja. Tulokset ovat olleet lupaavia ja antavat viitteitä siitä, että tehokkaan mykorritsakannan siirrostaminen taimitarhalla edistäisi taimien kehitystä enemmän kuin taimien luontainen mykorritsoituminen taimitarhalla [324]. Taimet, joihin on siirrostettu mykorritsasieni, vaativat jossain määrin nykykäytännöstä poikkeavan taimikasvatuksen. Puhdasta turvetta suotuisammaksi kasvualustaksi on osoittautunut turve, johon lisätään puuperäistä materiaalia, kuten puun kuorta, ja kasteluveden mukana annettavaa kivennäislannoitetta paremmaksi on osoittautunut orgaaninen lannoite [492].

7.2 Lannoitteet

7.2.1 Termejä

Taimitarhalla käytettävät lannoitteet voidaan ryhmitellä eri tavoin ravinnekoostumuksesta, liukoisuudesta, käyttötavasta- tai ajankohdasta riippuen. *Pääravinnelannoitteet* koostuvat typestä, fosforista ja/tai kaliumista. *Hivenlannoitteet* puolestaan sisältävät yhtä tai useampaa hivenravinnetta. Lannoitteet voivat olla yksi- tai moniravinnelannoitteita.

Puhutaan myös perus- ja hoito/kasvatuslannoitteesta. *Peruslannoite* sekoitetaan ennen kasvatuksen aloittamista kasvualustaan, kun taas *hoito-* eli *kasvatus*lannoite nimensä mukaan annetaan kasvukauden aikana. Rakeina, jauheena tai kasteluveden mukana annettavat hoitolannoitteet jaetaan antoajankohdan mukaan usein kevät-, kesä- ja syyslannoitteisiin.

Taulukko 7.2. Kasvualustan ravinne-epätasapainon vaikutus kasvissa havaittaviin ravinnepuutoksiin. Vaikka tiettyä ravinnetta on riittävästi kasvualustassa, sen saatavuutta voi vähentää toisen ravinteen korkea pitoisuus tai kasvualustan muu kemiallinen ominaisuus. Erityisesti hivenravinteet ovat alttiita epätasapaino-ongelmille [223].

Havaittu puutos kasvissa									Kasvualustan epätasapainotekijä
S	Ca	Mg	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mo	
•	•	•		•		•			Korkea typpi
		•		•		•	•		Korkea fosfori
				•					Alhainen kalium
	•								Alhainen kalsium
		•		•	•				Korkea kalsium
							•		Korkea magnesium
				•		•		•	Korkea mangaani
			•			•			Korkea rauta
			•	•				•	Korkea kupari
						•			Alhainen sinkki
			•	•		•			Korkea sinkki
	•	•	•					•	Alhainen pH
		•	•	•	•	•	•		Korkea pH
								•	Korkea rikki
	•	•	•						Korkea natrium
				•					Korkea bikarbonaatti
				•					Rauta:kupari-magnesium epätasapaino

Ingestad-menetelmästä (eksponentiaalinen lannoitus, steady-state lannoitus) puhutaan, kun ravinteet annetaan taimien kasvunopeuteen suhteutettuna. *Ravinnetankkauksella* puolestaan tarkoitetaan taimien ravinnepitoisuuden nostamista lannoituksella, ilman että lannoitus vaikuttaa taimien pituuteen tai rakenteeseen. Käytännössä se merkitsee runsasta, kasvun tarpeen ylittävää lannoitusta loppukesällä tai lyhytpäiväkäsittelyn jälkeen pituuskasvun päätyttyä.

Ravinnepitoisuus, ravinnesisältö ja laskentaesimerkkejä

Taimien tai kasvualustan ravinnetilannetta voidaan kuvata pitoisuutena (concentration) tai sisältönä (content). Ravinteiden suhteellinen osuus, pitoisuus, esimerkiksi paino- tai tilavuusyksikköä kohti on yleisin tapa ilmoittaa taimen tai kasvualustan ravinnetila. Tällöin laatuna voidaan käyttää prosenttia (% = 1/100), promillea (‰ = 1/1000), miljoonasosaa (ppm=parts per million = 1/1 000 000) tai kuivapainoa kohti ilmoitettaessa esim. g/kg tai mg/kg). Vastaavasti nesteiden osalta pitoisuus voidaan ilmoittaa tilavuutta kohti, esim. g/l tai mg/l.

Ravinnesisältöä käytetään esimerkiksi tarkasteltaessa kasvien ravinteiden ottoa ja ravinnetasetta, jolloin ravinnemäärä ilmoitetaan koko kasvia tai sen osaa kohti (esim. mg/taimi, mg/neulasto).

Haluttaessa kuvata tarkasti ravinteen kemiallista aktiivisuutta, käytetään laatuna milliekvivalenttia (meq) tai millimoolia (mmol) litraa kohti.

Laskentaesimerkkejä:

Jos kuusen taimi painaa kuivana 1,2 g (1200 mg) ja sen typpipitoisuus on 1,5 % (= 15 mg/kg), saadaan kuusentaimen typpisisällöksi
1,5/100 * 1200 mg = 18 mg.

Jos valmistetaan 0,15 % lannoiteliuosta 50 litraa (=50 000 ml = 50 000 g), liuoksen tekemiseen tarvittava lannoitemäärä saadaan:

0,15/100 * 50 000 g = 75 g

Jos em. lannoitteessa pääravinteiden (NPK) pitoisuudet ovat prosentteina 20-10-15, niin voidaan laskea mikä on edellä lasketun 0,15 % lannoiteliuoksen typpipitoisuus ppm'inä (miljoonasosia=mg/litra). Lannoitteen typpipitoisuus on siis 20 %, jolloin saadaan liuokseen lisättävän lannoitteen (75 g) typpimääräksi 20/100 * 75 g = 15 g ja liuoksen (50 l) pitoisuus saadaan kun kysytään montako ppm'ää 15 g on 50 000 g:sta eli x/1 000 000=15/50 000, josta saadaan x= 15 g * 1 000 000/50 000 g = 300 ppm (liuoksen typpipitoisuus on siis 300 ppm eli 300 mg/litra), mikä on varsin korkea pitoisuus.

Lannoitteiden ravinnepitoisuudet ilmoitetaan Suomessa alkuaineina, mutta Euroopan ulkopuolella usein yhdisteiden pitoisuuksina. Esimerkiksi jos fosforin ja kaliumin pitoisuudet on ilmoitettu yhdisteinä, tarvitaan kertoimia muuttamaan ne alkuainepitoisuuksiksi: P_2O_5 (yhdiste) × 0,4364 = P (alkuainepitoisuus) ja K_2O (yhdiste) × 0,8301= K (alkuainepitoisuus).

7.2.2 *Liuoslannoitus*

Typpilannoitteet

Typpi annetaan veteen liukenevina yhdisteinä. Kaksi tärkeintä epäorgaanista typpimuotoa ovat nitraatti (NO_3^-)- ja ammoniumtyppi (NH_4^+). Myös ureatyppeä [$(NH_2)_2CO$] käytetään lannoitteissa. Se on hieman hidasvaikutteisempi kuin esim. kalkkisalpietari. Urean typpi on amiinimuodossa, jonka bakteeritoiminta muuttaa ammonium- ja sitten nitraattitypeksi. Muutosnopeus samoin kuin ammonium/nitraatti-tasapaino riippuvat kasvualustan kosteudesta, lämpötilasta ja happamuudesta. Kylmässä ja märässä kasvualustassa muutos on hidas ja ammoniumtyppeä saattaa kertyä kasvualustaan haitallisia määriä. Kuumassa muovihuoneessa muutos voi olla liiankin nopea ja osa typestä vapautuu ammoniakkina suoraan ilmaan. Myös ureajohdannaista, ureafosfaattia on käytetty lehti- ja liuoslannoitteena. Taimet pystyvät käyttämään myös aminohappomuodossa olevaa typpeä, kuten arginiinia ja sitä on saatavilla lannoitteena [334, 359]. Sen etuna pidetään liukoisia typpilannoitteita parempaa pidättymistä kasvualustaan.

Typpipitoisuus ja ravinnesuhteet

Typpi on yksi tärkeimmistä taimien kasvuun vaikuttavista ja sen vuoksi myös säännöllisimmin taimille annettavista ravinteista. Aiemmin taimia lannoitettiin harvoin, muutaman viikon välein. Kerralla annettiin runsaasti typpeä, mikä johti varsin korkeisiin lannoiteliuoksen ja kasvualustan typpipitoisuuksiin (200–400 mg/l). Nykyisten kehittyneiden lannoitus- ja kastelulaitteiden ansiosta voidaan lannoittaa useammin, vähemmän kerrallaan ja laimeammilla liuoksilla. Ingestad suosittelee liuoskasvatuskokeisiin perustuen 20–50 mg/l typpipitoisuuksia. Turvekasvualustalla sekä kuusen [329] että männyn taimille [423] sopivaksi pitoisuudeksi on esitetty 100 mg/l. Kun kasvualustaveden typpipitoisuus nousee männyn kasvatuksessa yli 400 mg/l ja neulasten typpipitoisuus yli 2,7 % ja kuusella vastaavasti yli 800 mg/l ja 2,8–3,4 %, kasvu heikkenee ja taimia alkaa kuolla [161]. Mitä tasaisempana kasvualustan ravinnepitoisuus pystytään pitämään, sitä alhaisemmalla ravinnetasolla tullaan toimeen.

Ravinteiden suhteet ovat tärkeitä, koska ravinneionit "kilpailevat" keskenään ja jonkun ravinteen ylimäärä voi haitata toisen ravinteen ottoa (taulukko 7.2). Muiden ravinteiden pitoisuudet yleensä suhteutetaan typen pitoisuuteen [161]. Kasvit ottavat yksiarvoisia ioneja (esim. K^+) nopeammin kuin useampiarvoisia ioneja. Nitraattityppi kasvualustassa "suosii" ammoniumtyppeä enemmän kationiravinteiden (K^+, Ca^{2+} ja Mg^{2+}) ottoa. Ammonium- ja nitraattitypen yhteispitoisuuttakin tärkeämpänä pidetään niiden suhdetta. Hyvään kasvuun tarvitaan kumpaakin typpimuotoa, joskin nitraattityppi suosii juurten kasvua [78].

Lannoitteen valinta

Lannoitteen voi itse räätälöidä kemikaaleista, mutta yleensä käytetään valmiita kaupallisia lannoitteita. Markkinoilla on metsäpuiden taimille kasvukauden eri vaiheisiin tarkoitettuja, ravinnesuhteiltaan erilaisia lannoitteita. Lannoitteen valinnassa ravinnekoostumusten erilaisuus aiheuttaa usein epävarmuutta. Perinteisesti ravinteiden koostumusta on muutettu kasvukauden eri vaiheissa. Kevätlannoitteet ovat fosforipainotteisia, kesälannoitteet typpipainotteisia ja syyslannoitteet kalium-fosforipainotteisia. Hivenravinteiden pitoisuus on yleensä melko vakio.

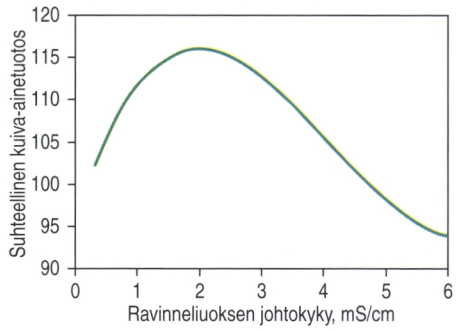
Taimikasvattajilla on vahvoja ja usein poikkeaviakin näkemyksiä lannoitteiden oikeista ravinnesuhteista kasvukauden eri vaiheissa. Myös tutkimustulokset ovat jossain määrin ristiriitaisia. On selvä, että jonkun olennaisen ravinteen puuttuminen vaikuttaa kasvatustulokseen. Pelkkä fosforia ja kaliumia sisältävä syyslannoite ei sovellu aktiivisen kasvun vaiheeseen, jolloin taimet tarvitsevat typpeä. Typpi onkin olennaisin kasvatuksen aikana säätelyä vaativista ravinteista. Alussa kohtuullinen typpipitoisuus takaa, että kasvu ei pysähdy, mutta nopean kasvun aikana tarvitaan typpeä runsaammin. Karaistumisvaiheessa taimet tarvitsevat vähemmän typpeä, mutta kuitenkin riittävästi turvaamaan syyskuun lopulle jatkuvan läpimitan ja juurten kasvun. Perus- tai hoitolannoitteen tulee sisältää riittävä määrä myös muita ravinteita. Ingestadin [161] mukaan paras kasvu saavutetaan ravinnesuhteella, jossa typpeä merkitään 100:lla ja kalium on 60–65, fosfori 14, kalsium 6, magnesium 6. Taimien ravinteidenotto on kuitenkin melko valikoivaa, minkä vuoksi lannoitteiden pienillä ravinnesuhde-eroilla ei ole havaittu olevan kovin suurta merkitystä [423]. Oikeat suhteet varmistavat, ettei kasvualustaan rikastu käyttämättömiä ravinteita.

Liuosten valmistus ja väkevyydet

Emoliuos

Kasteluveteen lisättävät lannoitteet ovat olomuodoltaan jauhomaisia, kiteisiä tai nestemäisiä. Ne liukenevat helposti veteen. Lannoitteesta tehdään yleensä ensin emoliuos (perusliuos) esimerkiksi 50–100 litran astiaan lisäämällä lannoite vähitellen sekoittamalla ensin puoleen tarvittavasta vesimäärästä ja lopuksi täyttämällä astia haluttuun tilavuuteen. Lannoitteen täydellinen liukeneminen on tärkeää, jotta kastelujärjestelmä pysyy puhtaana. Jokaisella kastelulannoitteella on enimmäisliukoisuusmäärä (g lannoitetta/l vettä), jonka jälkeen säiliön pohjalle alkaa sakkautua liukenematonta lannoitetta. Suositeltava emoliuosväkevyys on 10–15 %, vaikka lämpimään veteen voidaan valmistaa jopa 40 % emoliuos [428]. Lannoitteen liukenemista voidaankin parantaa käyttämällä lämmintä (20–40 °C) vettä. Suositeltua väkevämpiä liuoksia ei kannata tehdä, sillä jos emoiliuoksen lämpötila laskee lannoituksen aikana 10 °C:een, se voi alkaa

kyllästyä ja muodostaa sakkaa [428]. Jos kuitenkin tehdään väkeviä liuoksia, on syytä tehdä liuotuskoe pienessä astiassa ennen varsinaisen emoliuoksen valmistusta. On myös tärkeätä, että emoliuoksen sekoitussäiliöt puhdistetaan aika ajoin kuumalla vedellä, etteivät sienet ja levät pääse lisääntymään kastelujärjestelmässä.



Kuva 7.9. Kasvualustan puristenesteen johtokyvyn nousu yli 2 mS/cm heikentää kasvin veden saantia ja kasvua. Kuvassa vesiviljelystä saatu tulos [344].

Käyttöliuos

Käyttöliuoksen väkevyys ilmoitetaan prosentteina, promilleina tai liuoksen johtokykynä. Yleensä väkevyys on 0,1–0,2 % (1–2 ‰), joka liuoksen johtokykynä mitattuna on lannoitteesta riippuen 0,8–2,2 mS/cm. Mitä useammin lannoitetaan sen laimeampi liuos riittää turvaamaan taimien ravinnetarpeen.

Jos kasvualusta liikakastelun tai sateen seurauksena on hyvin märkää ja ravinteet ovat huuhtoutuneet, voi lannoiteliuoksen väkevyyttä nostaa 0,2–0,4 %:iin ilman haittavaikutuksia [364]. Korkeampiakin pitoisuuksia on käytetty, mutta väkevien liuosten jatkuva käyttö nostaa turpeen johtokykyä, mikä vaikeuttaa taimien vedenottoa ja voi vaurioittaa juuria. Puristenesteen johtokyvyn nouseminen 2–3 mS/cm alkaa heikentää kasvien vedenottoa [344] (kuva 7.9). Käytettäessä väkevämpiä lannoiteliuoksia, on kasvusto hyvä huuhdella puhtaalla vedellä lannoituksen jälkeen. Ravinteiden huuhtominen kasvualustan pinnalta syvemmälle vähentää levän muodostumista ja sammaloitumista.

Lannoituksen ajoitus

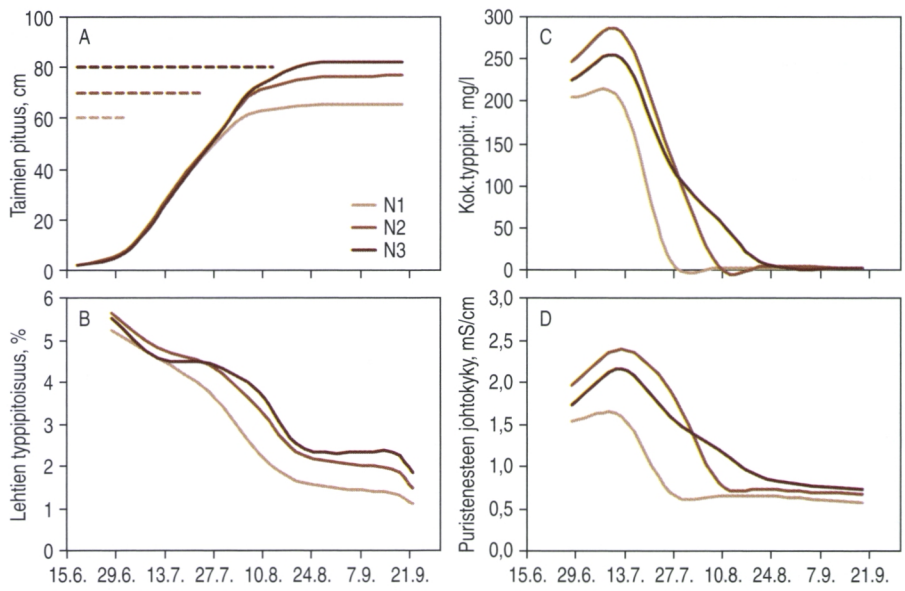
Lannoitettaessa on käytettävä riittävää vesimäärää, jotta liuos leviää koko turvekerrokseen. Taimet lannoitetaan mieluiten aikaisin aamulla, jotta kasvusto ehtii kuivua illaksi. Näin pienennetään tautiriskiä.

Missä vaiheessa kasvatusta lannoitus aloitetaan, riippuu turpeen ravinnetilanteesta. Jos käytetään peruslannoitettua turvetta, hoitolannoitus aloitetaan 3–7 viikon kuluttua kylvöstä. Peruslannoittamattomassa turpeessa lannoitus on syytä aloittaa laimealla kasteluliuoksella ennen kuin siemenkuori irtoaa sirkkataimesta. Lyhytaikainenkin ravinnepuutos voi aiheuttaa kasvun pysähtymisen erityisesti nopeakasvuisilla lehtipuilla, mutta myös kuusella. Loblollymännyllä kolmen viikon viive lannoituksen aloituksessa pienensi taimien kuivapainoa lähes viidenneksellä [19]. Lannoituksen aloittamisajankohdan tarkempaa määrittämistä varten

kannattaa seurata turpeen ravinnetilannetta tai johtokyvyn muutosta. Kun peruslannoitetussa turpeessa johtokyky laskee alle 1 mS/cm, on aika lannoittaa.

Paljasjuuritaimikasvatuksessa peltomultaan kertyi kasvukauden aikana runsaasti typpeä, minkä vuoksi lannoitus lopetettiin jo heinäkuussa, ettei taimien karaistuminen vaarantuisi. Tilanne turvepohjaisessa paakkukasvatuksessa on toinen. Vaaleassa rahkaturpeessa on niukasti kasveille käyttökelpoista typpeä ja lannoitetyppi on pääosin vesiliukoisessa muodossa, ja se huuhtoutuu helposti sateessa. Tämän vuoksi typpilannoituksen lopettaminen liian aikaisin johtaa yleensä elo–syyskuussa typen puutteeseen. Lannoitusta onkin jatkettava niin kauan kuin kasvu jatkuu ja taimet ottavat ravinteita, lämpimänä syksynä syyskuun loppupuolelle asti.

Syksyä kohti lannoitemäärää on syytä pienentää, koska myös kasvu vähenee. Runsas typpilannoitus pituuskasvun päättymisen aikoihin, heinä–elokuun vaihteessa, voi viivästyttää kasvun päättymistä ja hidastaa karaistumista jopa 2–3 viikolla (kuva 7.10). Jos pituuskasvu on jo päättynyt esim. lyhytpäiväkäsittelyn seurauksena, voi lannoitusannosta tarvittaessa lisätä (ks. ravinnetankkaus kohta 7.2.4).

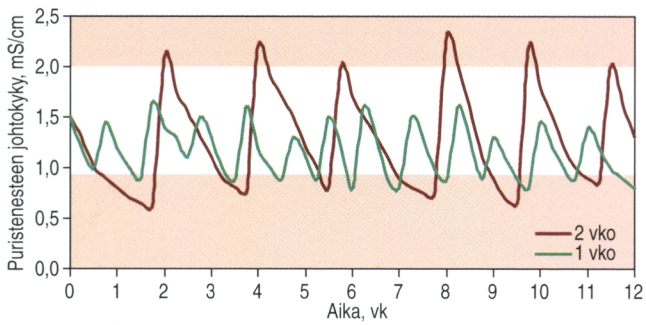


Kuva 7.10. Voimakas typpilannoitus pituuskasvuvaiheen loppupuolella voi viivästyttää taimien pituuskasvun päättymistä 2–3 viikolla. Kuvassa lannoitusjakson pituuden vaikutus koivuntaimien pituuskehitykseen (**A**), lehtien typpipitoisuuteen (**B**), turpeen puristenesteen kokonaistyppipitoisuuteen (**C**) ja johtokykyyn (**D**). Vaakajanat osakuvassa A osoittavat lannoitusjakson pituuden eri käsittelyissä (N1=77, N2=117 ja N3=158 mg typpeä/taimi). Vaikka liukoinen kokonaistyppi lannoitusjakson jälkeen häviää turpeesta, johtokyky pysyy 0,5–0,8 mS/cm tasolla muiden ravinteiden ansiosta.

Lannoituskertojen määrä ja kerta-annoksen suuruus vaihtelevat huomattavasti. Aiemmin, varsinkin jos lannoite annettiin jauheena tai rakeina, saatettiin lannoittaa vain 2–3 kertaa kasvukaudessa [360]. Kastelulannoituksen tultua käyttöön vaihtelee määrä 8–17 kertaan kasvukaudessa [175]. Yleensä lannoitetta annetaan kerran viikossa. Osa kasvattajista seuraa tarkasti turpeen johtokyvyn muutoksia ja lannoittaa sen mukaisesti. Tarkempaa menetelmää, turpeen ravinnetilanteen seurantaa, käytetään vähän lannoitustarpeen määrittämisessä.

Kerta-annoksen suuruus riippuu siitä kuinka usein lannoitetaan. Lisättäessä lannoitetta kasteluliuokseen joka kastelukerta (esimerkiksi 2–3 kertaa viikossa), liuos voi olla laimeaa vastaten kasvualustaveden pitoisuutta (0,05–0,1 %, n. 0,5–1 mS/cm). Kerran viikossa lannoitettaessa yleisesti käytetty lannoitemäärä on 5 g/m^2 (n. 2 mg typpeä/taimi/viikko). Lannoiteliuoksena se merkitsee 5–10 litraa /m^2 käytettäessä 0,1–0,2 % (1–2 mS/cm) pitoisuutta. Neljää kasvualustalitraa kohti suositellaan annettavaksi litra lannoiteliuosta [223], mikä esim. Plantek 81F-arkeilla tarkoittaa 10–12 litraa/m^2.

Harvemmin lannoitettaessa kasvualustan ravinnepitoisuus vaihtelee enemmän ja voi johtaa hetkellisiin korkeisiin ja toisaalta alhaisiin ravinnepitoisuuksiin hidastaen jonkin verran taimien kasvua (kuva 7.11). Lannoittamalla useammin ja vähemmän kerrallaan ylilannoitusriski on pieni ja sateisina jaksoina myös huuhtoutumisriski pienenee. Silti lannoiteliuosta tulee antaa riittävästi, ettei liuos imeydy pelkästään turpeen pintakerrokseen, vaan jakautuu tasaisesti koko turvekerrokseen.

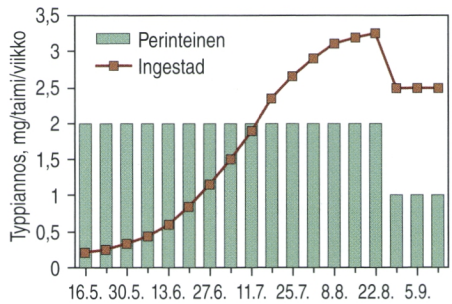


Kuva 7.11. Periaatekuva viikoittain ja kahden viikon välein toistuvan lannoituksen vaikutuksesta turpeen puristenesteen johtokykyyn. Viikon välein (1 vko) toistuvassa lannoituksessa puristenesteen johtokyky on helpompi pitää kasvun kannalta suotuisissa puitteissa (vaalea alue), kun taas harvemmin 2 viikon välein toistuvassa lannoituksessa joudutaan käyttämään korkeampia lannoiteliuospitoisuuksia ja puristenesteen johtokyky voi lannoituksen jälkeen nousta haitallisen korkeaksi.

7.2.3 Tarpeen mukainen (kasvuun suhteutettu) lannoitus

Ruotsalaisen ravinnetutkija Torsten Ingestadin vesiviljelyssä kehittämässä menetelmässä ravinteet pyritään antamaan taimien tarpeen mukaan kasvunopeuteen suhteutettuna (mistä nimitys "eksponentiaalinen lannoitus") ja näin vakioimaan taimen ravinnepitoisuus (nimitys "steady-state lannoitus") kasvukauden aikana [162] (kuva 7.12). Menetelmän käyttöä on tutkittu turvepohjaisilla kasvualustoilla metsäpuiden taimien kasvatuksessa [42, 43, 299, 300, 409, 472, 486]. Tulosten mukaan taimien laatu on ollut yhtä hyvä tai hieman parempi kuin perinteisesti kiintein, tasasuuruisin annoksin lannoitettaessa. Erityisesti juuriverso-suhde on muodostunut suuremmaksi tarpeen mukaisessa lannoituksessa. Tarpeen mukaan lannoitetut taimet ovat yleensä jääneet pienemmiksi kuin perinteisesti lannoitetut taimet, mutta pituusero on tasoittunut muutamassa vuodessa istutuksen jälkeen [409].

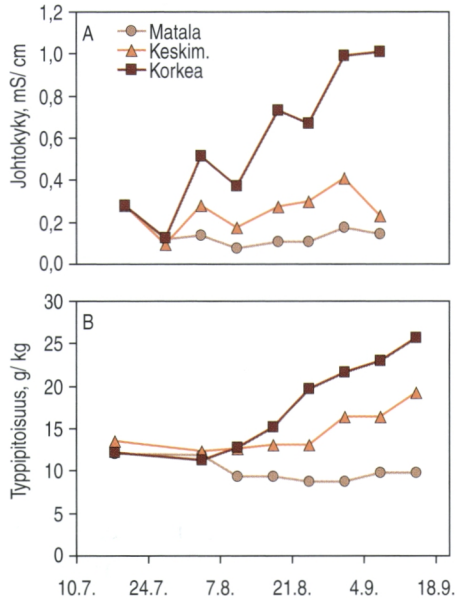
Lannoitustarpeen laskeminen Ingestadin menetelmällä on monimutkaisempaa ja lannoittaminen työläämpää kuin perinteisillä menetelmillä [468]. Selvänä etuna on vähäisempi lannoitteiden tarve ja pienempi ravinteiden huuhtoutumisriski. Samantyyppiseen lopputulokseen päästään myös pitämällä kasvualustan ravinnepitoisuus tai johtokyky jatkuvasti optimitasolla, jolloin taimien kasvaessa ja ravinnetarpeen lisääntyessä ravinneannosta tai lannoitustaajuutta kasvatetaan samalla tapaa kuin tarpeen mukaisessa lannoituksessa.



Kuva 7.12. Periaatekuva perinteisestä tasa-annoksin annettavasta ja taimien kasvun mukaan lisääntyvästä "Ingestad"-menetelmän mukaisesta lannoituksesta. Molemmissa tavoissa syyskesän karaisuvaiheen lannoitusta vähennetty. Kokonaistyppimäärä 33 mg/taimi.

7.2.4 Ravinnetankkaus

Ravinnetankkauksella tarkoitetaan lannoitusta, jolla taimien ravinnepitoisuutta kohotetaan vaikuttamatta taimien kasvuun tai pituuteen. Tavoitteena on yleensä korkea typpipitoisuus, jonka on havaittu nopeuttavan taimien juurtumista, ravinteiden ottoa ja kasvua istutuksen jälkeen [469, 470, 471]. Tankkaus voidaan toteuttaa antamalla nopean kasvun aikana typpeä ylen määrin, jolloin taimet varastoivat kasvusta ylijäävän osan. Näin menetellen taimien pituuskasvua on kuitenkin vaikea hallita ja taimet usein kasvavat tavoitetta enemmän. Käytännössä tank-



Kuva 7.13. Turpeen puristenesteen johtokyky (**A**) ja kuusen neulasten typpipitoisuus (**B**) kolmella lannoitustasolla lyhytpäiväkäsittelyn jälkeen annetun tankkausvaiheen aikana (kuusi lannoituskertaa) [272].



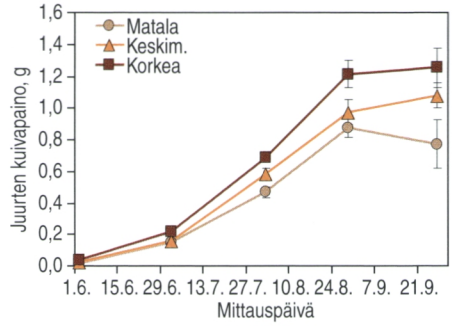
Kuva 7.14. Ravinnetankkaus kohottaa neulasten typpipitoisuutta vaikuttamatta taimien pituuteen. Kohonnut typpipitoisuus ilmenee neulasten tumman vihreänä värinä. Kuvassa kaksivuotiaita kuusentaimia, joita on tankattu toisen kasvukauden elokuussa LP-käsittelyn jälkeen. Taimien neulasten typpipitoisuudet vasemmalta oikealle: 10, 18 ja 27 mg/g.

kaus toteutetaankin syyslannoituksena (kuvat 7.13 ja 7.14) pituuskasvun päättymisen, esim. lyhytpäiväkäsittelyn jälkeen.

Taimien runsaalla lannoituksella on taimitarhavaiheessa myös muita vaikutuksia. Voimakas lannoitus etenkin kasvukauden alkupuolella toteutettuna, vähentää juuristojen mykorritsainfektiota [99]. Tankkaus pituuskasvujakson aikana saattaa viivästyttää taimien karaistumista, mutta elokuussa annettuna se parantaa taimien pakkaskestävyyttä [480, 388, 272].

Tankkausta seuraavana keväänä korkea typpipitoisuus jouduttaa silmujen puhkeamista muutamalla vuorokaudella ja parantaa istutuskesänä sekä verson että juurten kasvua [97, 134, 390] (kuva 7.15). Kanadalaistutkimuksissa tankkaus on parantanut taimien ravinteidenottoa vielä istutuksen jälkeen [467]. Tankkauksen kasvua parantava vaikutus on kotimaisissa kokeissa kestänyt kuusella vain istutuskesän, kun taas mustakuusella Kanadassa sen on todettu kestävän jopa 6 vuotta.

Tankkaus sopii kuuselle paremmin kuin männylle. Männyn taimien kehitys on kuusta riippuvaisempi istutuspaikan ravinneoloista, eikä niinkään istutettavien taimien ravinnepitoisuudesta [485]. Männyllä korkea typpipitoisuus (> 2 %) ro-



Kuva 7.15. Tankkauslannoituksen vaikutus kaksivuotiaiden kuusentaimien juurtumiseen istutuskesänä lannoituskäsittelyittäin. Neulasten typpipitoisuudet taimia istutettaessa kuten kuvassa 7.14 [392].

mahtaa istutuksen jälkeen ja johtaa helposti neulasten kellastumiseen ja heikkoon kasvuun [380].

Korkean typpipitoisuuden on epäilty altistavan taimia istutuksen jälkeen hyönteis- ja eläintuhoille, mistä onkin havaintoja esimerkiksi metsäkauriiden [24] ja tukkimiehentäin osalta [427, 517]. Toisaalta uusimmissa tutkimuksissa ravinnesuhteiltaan tasapainoisella lannoitteella ravinnetankattujen kuusentaimien ei ole havaittu altistuvan tukkimiehentäin syönnille tavanomaisesti lannoitettuja taimia enempää [503, 504]. Lisäksi voimakkaasti lannoitetut taimet näyttävät toipuvan niukemmin lannoitettuja nopeammin tukkimiehentäin aiheuttamista vaurioista [504].

7.2.5 Hallitusti liukenevat ja hidasliukoiset lannoitteet

Kastelulannoitteiden ja jauheina tai rakeina levitettävien hoitolannoitteiden ravinteet liukenevat nopeasti taimien käytettäviksi. Hitaammin liukenevat, pidemmällä aikavälillä vaikuttavat lannoitteet sekoitetaan valmiiksi kasvualustaan tai levitetään pintalannoitteina. Nämä jaetaan usein kahteen ryhmää, ”hallitusti liukenevat” (controlled-release, CFR) ja ”hidasliukoiset” (slow-release, SRF) [9]. Hallitusti liukenevat lannoiterakeet (esim. Multicote®, Nutricote®, Osmocote®) on päällystetty hartsi-, muovi- tai polymeerikuorella. Kuoren rakenteella ja paksuudella säädellään lannoitteen liukenemista ja vaikutuksen kestoa. Kun vesi on imeytynyt rakeeseen, ravinteiden liukenemisnopeus riippuu kuoren rakenteen lisäksi lämpötilasta [107]. Tämän vuoksi lämpötilan äkillinen kohoaminen saattaa vapauttaa ravinteita liian nopeasti ja kasvualustan johtokyky nousee haitallisen korkeaksi. Ennenaikainen ravinteiden vapautuminen on joskus johtanut koko kylvöksen epäonnistumiseen. Toisaalta viileä kesä voi hidastaa liukenemista ja johtaa liian alhaisiin ravinnepitoisuuksiin.

Hallitusti liukenevien lannoitteiden etuna on ajallisesti tasainen ravinteiden vapautuminen kasvualustaan ja tarpeettoman kastelun välttäminen kosteina kasvukausina [289]. Koska hallitusti liukenevan lannoitteen vaikutuksen kesto riippuu

lämpötilasta ja kasvukaudet ovat erilaisia, saattaa lannoitusvaikutus loppua kesken ja lannoitusta joudutaan jatkamaan muilla lannoitteilla. Toinen ongelma voi olla lannoiterakeiden epätasainen jakautuminen kasvualustaan, mikä pienissä paakuissa johtaa epätasaisiin kasvustoihin.

Hallitusti liukenevia lannoitteita käytettäessä ravinteiden huuhtoutuminen on vähäisempää kuin vesiliukoisilla lannoitteilla [508]. Näin ei kuitenkaan ole aina. Koivun kasvatuksessa typpen huuhtoutuminen ei vähentynyt hallitusti liukenevilla lannoitteilla lannoitettaessa [177]. Se saattoi johtua siitä, että muovihuoneen korkea lämpötila joudutti ravinteiden liukenemista ja itämisjakson runsas kastelu lisäsi huuhtoutumista. Saman kasvutuloksen saavuttamiseksi hallitusti liukenevia lannoitteita on kulunut taimikohtaisiksi ravinnemääriksi laskettuna enemmän kuin kastelulannoituksessa [364].

7.2.6 Lehtilannoitus

Lehtilannoituksessa lannoite annetaan hienojakoisena, miltei sumumaisena kasteluliuoksena suoraan lehtien kautta kasvin käyttöön. Lehtilannoituksen onnistumiseen vaikuttavat hyvin monet tekijät (kasvilaji, ajankohta, sääolosuhteet, lannoitteen ominaisuudet jne.), eikä niitä tunneta kovinkaan hyvin [92].

Lehtilannoituksen vaikutus on lyhytaikainen, mutta yksikin ruiskutuskerta voi puutostapauksissa auttaa. Tarvittaessa ruiskutus uusitaan 7–10 vuorokauden välein. Yleensä 2–3 ruiskutuskertaa riittää tuntuvaankin vajaukseen. Lehtilannoitteisiin sekoitetaan tensidejä veden pintajännityksen vähentämiseksi ja paremman imeytymiskyvyn saavuttamiseksi sekä mahdollisesti myös kiinnitysaineita. Tyyni, kostea ja pilvinen, mutta sateeton ilma parantaa ravinteiden imeytymistä. Hivenaineiden (Zn, Fe, B, Mn) puutetta on lehtilannoituksella voitu korjata nopeammin kuin maan kautta annettavalla lannoituksella, mutta myös pääravinteita (N, K, Ca) on annettu lehtilannoituksena.

Tavallisimmin lehtilannoitusta käytetään hedelmäpuu- ja marjaviljelmillä. Lehtipuilla ravinteiden imeytyminen ohuen kutikulan läpi on tehokkaampaa kuin havupuilla. Myös metsätaimitarhoilla lehtilannoitusta on käytetty hivenainepuutosten poistamiseen ja taimien "värin korjaamiseen" [223]. Koivuntaimilla ei lehtilannoituksena annettu kalsium kuitenkaan vaikuttanut taimien ravinnepitoisuuteen tai morfologiaan [252]. On syytä muistaa, että kasvuston lehtilannoitus voi lisätä homehtumisriskiä, jos kasvusto pysyy pitkään kosteana.

7.3 Lannoitustarpeen määrittäminen

Taimia lannoitettiin aikaisemmin usein "sormituntumalla" tai etukäteen suunnitellun, kiinteän aikataulun mukaan [360]. Näin saatetaan onnistua, mutta sääolosuhteiden ja taimien kasvunopeuden vaihtelun vuoksi, "vakiolannoituksella" ei aina päästä toivottuun tulokseen. Paakkutaimikasvatuksen myötä turpeen johtokykymittaus ja ravinnemääritykset yleistyivät lannoitustarpeen määrittämisessä niin, että vuonna 1996 noin 75 % tarhoista käytti johtokykymittaria apuvälineenä ja viidennes tarhoista lähetti näytteitä laboratorioon määritettäväksi [175]. Hyvään taimien laatuun ja ympäristövaikutukset huomioon ottavaan kasvatukseen pyrkivän kasvattajan kannattaa luoda mittauksiin perustuvat rutiinit lannoitustarpeen määrittämiseen. Kasvualustan ravinnetilan ja vesipitoisuuden seuranta varmistaa oikea-aikaisen lannoituksen ja sopivien lannoiteannosten käytön.

7.3.1 Taimien ravinnetarve

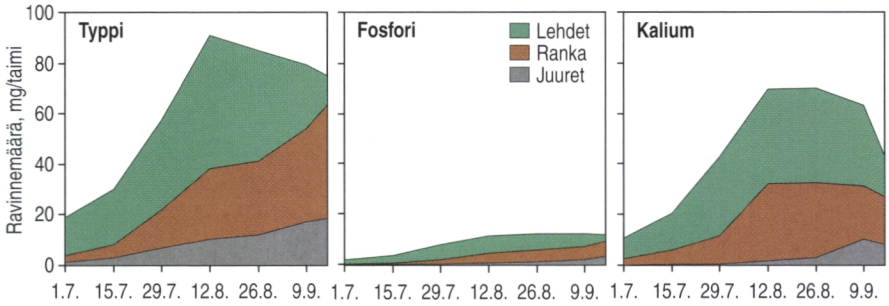
Taimien tavoitekuivapainon ja -ravinnepitoisuuksien perusteella voidaan laskea taimien tarvitsema ravinnemäärä. Taimien ottama ravinnemäärä vaihtelee puulajin, taimen koon ja ravinnepitoisuuden mukaan (taulukko 7.3, kuva 7.16). Lisäksi ravinteita sitoutuu turpeeseen, mahdollisiin rikkakasveihin ja osa huuhtoutuu. Typpeä voi myös haihtua ilmaan. Niinpä lannoitustarvetta ei voida ennustaa pelkästään taimien ravinteiden käytön perusteella.

Paakkutaimet käyttävät 15–65 % annetusta typestä [177, 380, 484] (taulukko 7.3). Erityisesti peruslannoitettua turvetta käytettäessä ravinteita voi huuhtoutua merkittäviä määriä, koska itämisjakson aikana kastelu on runsasta. Nopean kasvujakson aikana ravinteiden huuhtoutuminen vähenee, koska kastelu voidaan säätää tarvetta vastaavaksi. Sen sijaan taimien ulossiirron jälkeen sateet voivat lisätä huuhtoutumista [176]. Huuhtoutumista voi pyrkiä vähentämään myös lannoitevalinnalla. Hidasliukoisista lannoitteista ravinteiden liukeneminen on vesiliukoisia

Taulukko 7.3. Esimerkkejä taimien sisältämästä typpimäärästä ja sen osuudesta lannoitteena annetusta typestä eri puulajeilla ja eri-ikäisillä taimilla [176, 177, 392].

Puulaji/ikä	Taimen pituus, cm	Typpimäärä mg/taimi	Osuus annetusta lannoitetypestä, %
Koivu, 1v	70	72–105	29–63
Kuusi, 1v	19	16–60[1]	
Kuusi, 1. vuosi[2]	6	7	15
Kuusi, 2. vuosi	27	27–60[1]	62
Mänty 1 v	12	8–15	28–52

[1] riippuen taimien typpipitoisuudesta, [2] jatkokasvatettava



Kuva 7.16. Yksivuotiaiksi kasvatettujen (kylvö 12.5.) koivun taimien lehtien, rangan ja juuriston typpi-, fosfori- ja kaliummäärän kehitys kesän aikana. Alalehtien variseminen ja ravinteiden siirtyminen rankaan alkoi elokuussa, jolloin lehtien typpisisältö alkoi vähetä [369].

ravinteita hitaampaa. Aminohappotyppeä sisältävän lannoitteen typpi pidättyy osin turvehiukkasiin, mikä vähentää huuhtoutumista ja lannoitusvaikutus säilyy pitempään [359].

7.3.2 Kasvualustan johtokyky

Turpeen puristenesteestä tai turpeen vesilietoksesta mitattu sähkönjohtokyky kuvaa sähköisesti varautuneiden ravinneionien yhteismäärää eli tavallaan kokonaisravinnetasoa. Mittaustuloksia tulkittaessa on muistettava, että sähkönjohtokykyyn eivät vaikuta sähköisesti varautumattomat hiukkaset kuten urea, boorihappo ja molekyylimuodossa olevat orgaaniset hapot, jotka kyllä muuttavat liuoksen osmoottista painetta ja siten vaikuttavat taimien vedensaantiin [343]. Vasta kun urea on muuttunut ammonium- tai nitraattitypeksi se vaikuttaa johtokykyyn.

Johtokyvyn mittaus onnistuu tarhalla omatoimisesti. Käytössä on erilaisia johtokyvyn mittausmenetelmiä, joiden antamat tulokset tosin poikkeavat jossain määrin toisistaan. Perinteisesti kasvualustan johtokyky on mitattu joko turpeesta puristetusta tai suodatetusta nesteestä, tai turpeen ja veden lietoksesta. Liettämissuhteena käytetään 1 osa kasvualustaa : 5 osaa vettä (aikaisemmin käytettiin suhdetta 1:2,5), josta mitattua johtokykyarvoa kutsutaan johtoluvuksi. Tätä mittaustapaa käytettiin varsinkin paljasjuurikasvatuksen aikana, kun mullasta tai hiekkaturveseoksesta otetusta näytteestä mitattiin johtoluku.

Paakkutaimikasvatuksessa käytetään *puristenestemittausta*, jossa johtokyky mitataan kasvatuskosteasta turpeesta puristetusta vesinäytteestä (kuva 7.17). Koska monissa maissa turpeeseen sekoitetaan usein perliittiä, vermikuliittia tai muita kovia aineita, on nesteen puristaminen näytteestä vaikeampaa kuin puhtaasta turpeesta. Standardiksi onkin noussut ns. *kyllästymismenetelmä,* jossa näyttee-



Kuva 7.17. Turpeen johtokykyä voidaan mitata eri tavoin turpeesta irrotetusta vedestä tai suoraan turpeesta. Kuvassa puristenesteestä tapahtuvaa mittausta johtokykymittarilla (vasemmalla) ja suoraan turpeesta mittaavalla mittarilla (oikealla, EO).

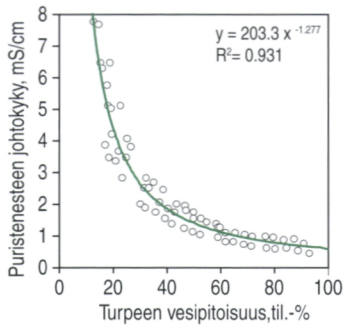
seen valutetaan ionivaihdettua tai tislattua vettä, kunnes vesi kiiltelee näytteen pinnalla, minkä jälkeen mitattava näyte imetään vakuumipumpulla mittausastiaan [231]. Tästä menetelmästä tarhakäytäntöön yksinkertaistetussa *läpivalutus*-menetelmässä turvepaakkuun valutetaan tietty määrä puhdasta vettä ja paakun pohjalta huuhtoutuvasta vedestä mitataan johtokyky [231].

Johtokyvyn voi mitata myös suoraan turpeesta sähköisillä mittareilla [122, 132] (kuva 7.17). Mitataanpa johtokyky millä menetelmällä tai laitteella hyvänsä, on muistettava, että tulos riippuu käytetystä menetelmästä ja siihen vaikuttavat kasvualustanesteen ionimäärän lisäksi sekä kasvualustan vesipitoisuus että lämpötila. Liuoksen lämmetessä johtokyky kasvaa 2–3 % astetta kohti lämpötila-alueella 5–25 °C. Uudemmat mittarit tekevät lämpötilakorjauksen automaattisesti. Kasvualustan kuivuessa johtokyky suurenee ja kastelun jälkeen taas pienenee ionipitoisuuden laimentuessa. Jos johtokykymittauksella halutaan selvittää nimenomaan kasvualustan ravinnetilaa, kasvualustan tulee olla optimikosteudessa (40–50 til.- %) tai mittausarvo on muunnettava vesipitoisuuden perusteella (kuva 7.18).

Koska eri ravinteet vaikuttavat eri painolla johtokykyyn, voi sama johtokykyarvo edustaa erilaisia ravinnekoostumuksia ja -pitoisuuksia. Ravinteiden vaikutus johtokykyyn vertautuu seuraavan Puustjärven[340] esittämän asetelman mukaan, jossa magnesiumia on merkitty 100:lla ja muiden ravinteiden arvo kertoo, kuinka paljon niitä painossa mitattuna tarvitaan saamaan sama vaikutus kuin 100 painoyksiköllä magnesiumia:

Magnesium	100	Kalsium	165
Nitraattityppi	136	Rikki	174
Ammoniumtyppi	143	Kloori	292
Natrium	161	Kalium	399

Vaikka johtokyky ei kerro yksittäisten ravinteiden pitoisuudesta mitään, on se hyödyllinen menetelmä kasvualustan lannoitustarvetta määritettäessä, etenkin silloin, kun käytetään lannoitteita, joiden vaikutukset on opittu tuntemaan. Eri kasvatusvaiheille on annettu suositukset kasvatuskosteasta kasvualustasta puristetun veden johtokykyarvoille (taulukko 7.4).



Kuva 7.18. Turpeen vesipitoisuus vaikuttaa johtokykyyn. Vesipitoisuuden kasvaessa ja ravinnemäärän pysyessä samana puristenesteen johtokyky laskee, liuos siis laimenee ja toisaalta turpeen kuivuessa liuos väkevöityy ja johtokyky kasvaa [379].

Taulukko 7.4. Metsäpuiden taimien kasvualustan (turpeen) puristenesteen johtokyvyn ohjearvot kasvatus- ja karaisuvaiheessa. Jos puristenesteen johtokyky nousee yli 2,5 mS/cm, taimien kasvu hidastuu. Ohjearvot olettavat, että kasteluveden johtokyky on alle 0,1 mS/cm. Jos se on korkeampi, tulee arvo lisätä johtokyvyn ohjearvoon.

Kehitysvaihe	1-vuotiaat	2-vuotiaat
	mS/cm	
Kasvatusvaihe	1,0–2,0	0,8–1,4
Karaisuvaihe	0,6–1,0	0,5–0,9

Johtokyvyn yksiköiden muuntosuhteita ja suuntaa-antavia esimerkkejä erilaisten vesien johtokyvystä mikrosiemensseinä (µS) ja millisiemensseinä (mS) senttimetriä kohti:

1 mS/m = 10 µS/cm
1 mS/cm = 1000 µS/cm
1 S/cm = 1000 mS/cm

	µS/cm	mS/cm
Deionisoitu vesi	0,05–0,2	0,00005–0,0002
Tislattu vesi	0,5–3.0	0,0005–0,003
Juomavesi	40–110	0,04–0,110
Järvivesi	30–150	0,03–0,15
Meren lahdet	1000–2000	1–2
Merivesi	11000–13000	11–13

7.3.3 Kasvualustan ravinnepitoisuus

Nitraattiliuskan avulla kasvualustan puristenesteestä voidaan omatoimisesti määrittää nitraattitypen pitoisuus. Myös ammoniumtypen mittaamiseen on saatavilla liuskoja. Menettely on hieman monimutkaisempi ja hitaampi kuin nitraatin mittauksessa. Liuskojen värimuutoksen voi määrittää silmävaraisesti tai optisella mittarilla. Pikatestiä pidetään kohtalaisen luotettavana käytännön tarpeisiin [113]. Nitraattilukema on hyvä osviitta typpitilanteesta kasvualustassa, jossa yleensä pääosa typestä on nitraattimuodossa. Happamassa kasvualustassa esiintyy typpeä myös ammoniummuodossa, jolloin myös ammoniumtyppipitoisuutta on syytä seurata.

Parhaan kuvan kasvualustan ravinnetilanteesta saa teettämällä puristenestetai turvenäytteestä analyysin olennaisten ravinteiden pitoisuuksista. Suomessa paakkutaimikasvatuksessa on yleisimmin käytetty ns. puristenesteanalyysiä. Turpeesta puristetusta näytteestä laboratoriossa määritetään ravinnepitoisuudet, joita verrataan ohjearvoihin (taulukko 7.5). Puristeveden ravinneanalyysiä on pidetty perinteistä maa-analyysiä parempana menetelmänä lannoituksen ohjaamiseen[153, 341, 342], vaikka tulos kertoo vain maanesteeseen liuenneiden ravinteiden pitoisuuden, eikä hiukkasten pinnoille pidättyneiden tai varastoituneiden ravinteiden määriä. Puristenesteanalyysin tulokset ovat myös yleensä nopeammin käytettävissä kuin maanäytteiden uutoksista mitatut pitoisuudet, mikä on kasvukauden aikana lannoituksen ohjaamisessa tärkeää. Molemmissa tapauksissa näytteet toimitetaan analysoitavaksi johonkin ravinneanalyysejä tekevään laboratorioon.

Taimiarkkien ja yksittäisten paakkujenkin välillä ravinnepitoisuuksissa on aina eroja, jotka korostuvat yleensä taimien kasvaessa. Siksi on tärkeää, että sekä kasvualustan johtokyvyn että ravinnepitoisuuden analysointia varten otettavat näytteet edustavat koko mitattavaa taimierää. Puristenesteanalyysiä varten, mitataanpa siitä johtokyky tai ravinnepitoisuuksia, kerätään 10 taimipaakun näyte koostuen 5 satunnaisesti valitusta taimiarkista. Paakuista puristetut näytteet yhdistetään (1 dl) puhtaaseen pulloon, joka toimitetaan mahdollisimman nopeasti laboratorioon. Jos analyysi teetetään kasvuongelman tai tuho selvittämiseksi, otetaan näytteet ongelmakasvuston ja vertailuksi terveen kasvuston paakuista.

7.3.4 Taimien ravinnepitoisuus

Luotettavimman kuvan lannoituksen onnistumisesta antaa kasvianalyysi, joskin taimien ravinnepitoisuuteen voivat vaikuttaa muutkin tekijät kuin lannoitus. Suomen taimitarhoilla kasvianalyysiä ei juuri käytetä lannoitustarpeen määritykseen muutoin kun ongelmatapauksissa. Sen sijaan muutamat taimenkasvat-

Taulukko 7.5. Metsäpuiden taimien kasvualustan puristenesteanalyysin ohjearvot (päivitetty Viljavuuspalvelu Oy:n ohjeistosta[511]).

Määritys	Ohjearvo	
	Kasvatusvaihe	Karaisuvaihe
	mg /l	
Liukoinen typpi (N), mg/l	100–150	40–80
- josta NO_3-N	40–120	20–60
- josta NH_4-N	20–80	10–40
Fosfori (P)	20–50	
Kalium (K)	100–200	
Kalsium (Ca)	20–100	
Magnesium (Mg)	20–50	
Rikki (S)	10–50	
Kloridi (Cl)	< 50	
Rauta (Fe)	1,0–5,0	
Boori (B)	0,1–0,5	
Kupari (Cu)	0,1–1,0	
Mangaani (Mn)	0,2–2,0	
Sinkki (Zn)	0,2–2,0	
Natrium (Na)	< 50	
Molybdeeni (Mo)	0,005–0,1	
Alumiini (Al)	< 5	
Pii (Si)	5–50	
Happamuus (pH)[1]	4,3–5,5	

[1] Puristenesteen pH saattaa olla noin 0,5 pH-yksikköä korkeampi, koska se yleisesti kohoaa näytteen säilytyksen aikana

tajat mittaavat kasvatuksen onnistumista kasvukauden päätyttyä morfologisten tietojen ohella myös taimien ravinnepitoisuudella.

Näytteet neulas/lehtianalyysiin

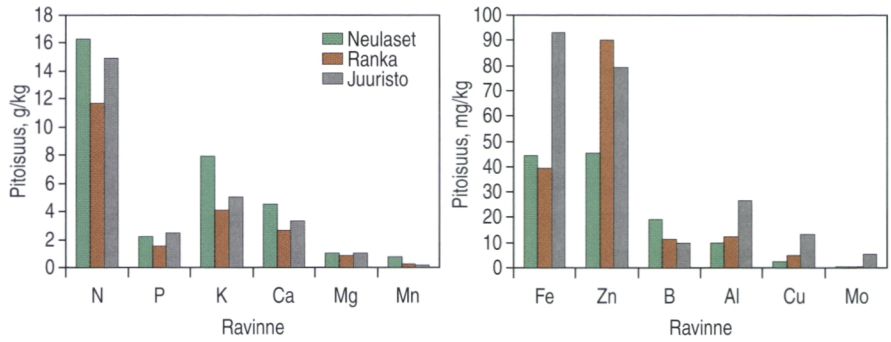
Ravinnepitoisuus vaihtelee paitsi taimiyksilöiden välillä myös taimen eri osien, neulasvuosikertojen ja vuodenajan mukaan. Ravinnepitoisuus on yleensä korkein neulasissa ja matalin rangassa, mutta esimerkiksi raudan, kuparin ja alumiinin pitoisuudet ovat korkeimmat juuristossa (kuva 7.19). Ravinnepitoisuus määritetään uusimpien vuosikasvaimien neulasista, koska ne ilmentävät parhaiten senhetkistä ravinnetilannetta. Myös viitearvoja on eniten käytettävissä tuoreimmasta neulasvuosikerrasta.

Metsästä neulasnäytteet ravinneanalyysiä varten on suositeltu otettaviksi puiden lepokauden aikana joulu–maaliskuussa [355], mutta uusien tutkimusten mukaan näytteet voi ottaa jo lokakuussa [302]. Taimisadon laadun arviointia varten näytteet

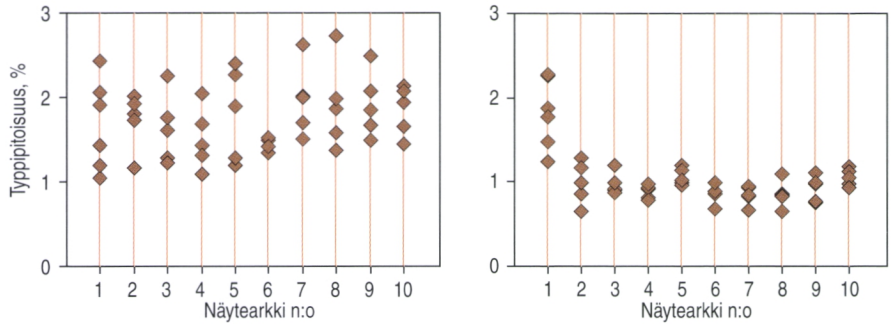
havupuun taimista on otettu yleensä lokakuussa ennen taimien pakkausta ja varastointia. Lehtipuilla lehtinäyte otetaan elokuussa ennen lehtien kellastumista. Lannoitusseurantaa varten näytteet otetaan kasvukauden aikana.

Ravinnepitoisuuden samoin kuin muidenkin ominaisuuksien mittauksessa on tärkeää, että näyte edustaa arvioitavaa taimierää. Koska taimierän sisällä ravinnepitoisuus vaihtelee (kuva 7.20), on näyte koostettava eri puolilta kasvustoa vähintään 5–10 satunnaisesti valitusta taimiarkista (5–10 tainta/arkki). Jos ravinneanalyysiä käytetään ongelman selvittelyyn jo näkyvän oireen perusteella, ongelmakasvuston näytteen lisäksi on syytä ottaa vertailunäyte terveestä kasvuston osasta.

Näytteitä kerätessä on hyvä käyttää suojakäsineitä. Jos näytteet ovat pölyisiä tai multaisia, ne huuhtaistaan kevyesti puhtaalla vedellä. Pintakosteat neulaset



Kuva 7.19. Esimerkki kaksivuotiaiden kuusentaimien tavallisimmin analysoitavien pää- ja hivenravinteiden pitoisuuksista neulasissa, rangassa ja juuristossa [272].



Kuva 7.20. Yksi- (vas.) ja kaksivuotisen (oik.) mäntyerän taimien neulasten typpipitoisuus mitattuna 50 taimesta jakautuen 10 taimiarkkiin. Kuvan yksivuotisten taimien typpipitoisuuden hajonta on suuri ja viittaa ongelmiin kasvatuksessa. Kaksivuotisten taimien typpipitoisuuden pitoisuus on alhainen ja vaihtelu pieni joskin 1-arkin taimien typpipitoisuus poikkeaa selvästi muista.

kuivataan homehtumisen välttämiseksi. Laboratorioon lähetystä varten neulaset pakataan puhtaaseen pahvirasiaan tai paperipussiin. Jos näytteitä joudutaan säilyttämään pitkään ennen analyysiä, ne on homehtumisen välttämiseksi kuivattava lämpimässä paikassa, korkeintaan 50–70 °C lämmössä 2–3 vrk ajan.

Ravinneanalyysin tulkinta

Käytettäessä ravinneanalyysiä etsitään yleensä niukimmin saatavissa olevaa, eniten kasvua rajoittavaa tai jo silmin havaittavia puutosoireita aiheuttavaa ravinnetta. Niinpä käytetyin tulkintatekniikka on ollut verrata analyysissä saatuja arvoja ns. *kriittisiin pitoisuuksiin* eli *optimiarvoihin* [93,160, 222, 223, 338, 348, 511].

Kriittinen ravinnepitoisuus on pitoisuus, joka juuri riittää kasvin maksimikasvuun, ja jota korkeampi pitoisuus ei enää lisää kasvua [27] (kuva 7.2). Kriittisten pitoisuuksien käytössä oletetaan, että kasvu riippuu yksittäisen ravinteen pitoisuudesta muiden ravinteiden pitoisuuksien ollessa optimissa. Menetelmän käyttö on nopeaa ja helppoa. Se on myös ainoa mahdollinen menetelmä, jos tulkittavana on yksittäinen ravinnearvo. Taulukossa 7.6 on kokeisiin ja kirjallisuuteen pohjautuen esitetty sopivat (kriittiset) pitoisuudet männyn ja kuusen neulasten ja koivun lehtien ravinnepitoisuuksiksi. Silmin havaittavien puutosoireiden tulkinnassa voi tukeutua lisäksi oireiden ilmenemiskuvauksiin (taulukko 7.1).

Tulkintamenetelmän ongelma on se, että harvoin esiintyy tilanteita, jolloin vain yhdestä ravinteesta on puutetta muiden kasvutekijöiden ollessa optimissa. Kriittiset ravinnearvot ovat yleensä kasvilaji- tai jopa kloonikohtaisia, ja niiden käyttökelpoisuus rajoittuu tiettyihin kasvuvaiheisiin ja tietynlaisiin kasvuolosuhteisiin. Lisäksi nopeat muutokset ravinnetilassa voivat aiheuttaa taimissa silminnähtäviä oireita, vaikka ravinnepitoisuudet olisivat optimialueella. Esimerkiksi ravinteiden saatavuuden äkillinen heikkeneminen voimakkaasti lannoitetuissa kasveissa aiheuttaa näkyviä puutosoireita korkeammilla ravinnepitoisuusarvoilla kuin niukasti lannoitetuissa kasveissa [285].

Toinen, usein kriittisten pitoisuuksien kanssa yhdessä käytetty menetelmä on *ravinnetasapaino-menetelmä*, jonka mukaan kasvien kasvu riippuu yksittäisten ravinteiden pitoisuuksien ohella niiden keskinäisistä suhteista [467]. Ingestad [161] on määrittänyt ravinneliuoskokeiden perusteella nuorille taimille optimaaliset ravinnesuhteet, joissa muut ravinteet on esitetty suhteessa typpeen (taulukko 7.6).

Pyrkimys tehokkaaseen lannoittamiseen ja optimiravitsemukseen on johtanut monipuolisempien, mutta myös monimutkaisempien tulkintamenetelmien kehittämiseen. Tällaisia ovat mm. vektorimenetelmä ja DRIS (Diagnosis and Re-

Taulukko 7.6. Kuusen- ja männyntaimien neulasten sekä koivuntaimien lehtien sopivat ravinnepitoisuudet ja rajat arveluttavan matalille ja korkeille havupuun taimien neulasten ravinnepitoisuuksille. Näytteet otetaan havupuun taimilla kasvukauden päätyttyä, loka–marraskuussa ja koivun taimilla elokuussa lehtien ollessa vielä vihreitä. Arvot perustuvat omiin kokeisiin sekä kirjallisuuteen. Vertailuna Ingestadin [161] esittämät optimiravinnesuhteet havupuiden neulasissa.

Ravinne	Kuusi	Mänty	Havupuut		Koivu	Optimi-ravinne-suhteet [161]
			arveluttavan			
	sopiva		matala	korkea	sopiva	
			g/kg			
Typpi (N)	16,0–23,0	13,0–18,0	11,0	26,0	25–40	100
Fosfori (P)	1,4–3,0	1,4–2,8	1,0	3,5	3,5–5	14
Kalium (K)	7,0–12,0	6,0–10,0	4,0	16,0	15–25	60
Kalsium (Ca)	2,5–5	1,5–3,0	0,8	7,0	3–5	6
Magnesium (Mg)	1,2–2,0	1,2–2,0	0,8	3,0	2–3,5	6
			mg/kg			
Rauta (Fe)	50–200		30	200	-	0,7
Boori (B)	15–50		8	100	10–50	0,2
Kupari (Cu)	4–15		2	25	3–10	0,03
Mangaani (Mn)	100–500		20	1500	200–1000	0,4
Sinkki (Zn)	30–150		20	200	80–600	0,03

commendation Integrated System). Menetelmillä voidaan tunnistaa yksittäisen ravinteen tai useiden ravinteiden samanaikainen puutos- ja myrkkyvaikutus, ravinne-epätasapaino sekä selittää ravinteiden välisiä yhdysvaikutuksia. Näitä menetelmiä on kuvattu yksityiskohtaisesti lannoituskirjallisuudessa [27, 104, 368, 467].

7.4 Lannoitus kasvatuksen eri vaiheissa

Perustamisvaihe

Perustamisvaiheessa taimet ovat herkkiä korkeille ravinnepitoisuuksille. Jos käytetään peruslannoitettua turvetta, lannoitus aloitetaan 4–7 viikon kuluttua kylvöstä, kun kasvualustan johtokyky on yleensä laskenut 1,5 mS/cm:stä alle 1 mS/cm:iin. Lannoituksen voi joutua aloittamaan aikaisemminkin, jos alkukastelussa ravinteita on huuhtoutunut runsaasti. Peruslannoittamatonta turvetta käytettäessä lannoitus aloitetaan laimeilla liuoksilla jo pian siementen itämisen jälkeen puulajista riippuen 1–3 viikon kuluttua kylvöstä. Myöhästyminen voi pysäyttää taimien kehityksen viikon kahden ajaksi. Sopivana typpipitoisuutena pidetään perustamisvaiheessa 25–50 mg/l. Myös fosforin ja kalsiumin saanti on tässä vaiheessa tärkeää juurten kehittymisen kannalta.

Nopean kasvun vaihe

Nopean kasvun vaiheessa on turvattava taimille riittävä typen saanti. Ravinnetilanne pyritään pitämään optimissa: johtokyky 1,5 mS/cm ja typpipitoisuus 80–150 mg/l. Jos taimia lannoitetaan lähes aina kasteltaessa, riittää kolmasosaa alempi ravinnetaso. Jos pituuskasvua on tarve hillitä tai jälkikasvuriski on ilmeinen, vähennetään lannoitusta vaiheen loppupuolelle (johtokyky 0,5–0,7 mS/cm, typpi 30–60 mg/l).

Karaisuvaihe

Liian korkea typpipitoisuus, erityisesti ammoniummuodossa, kiihdyttää verson kasvua. Typpilannoitusta ei kuitenkaan pidä lopettaa karaisuvaiheessa, sillä läpimitan ja juuriston kasvu voivat jatkua aina syyskuun loppupuolelle saakka. Johtokyky alennetaan 0,5–1,0 mS/cm:iin ja typpipitoisuutta 40–80 mg/l lannoitteesta ja taimien iästä riippuen (taulukot 7.4 ja 7.5). Niukkatyppisiä lannoitteita käytettäessä, voi johtokyvyn joutua nostamaan yli 1 mS/cm:n. Parasta olisi kuitenkin varmistaa mittaamalla typpitilanne. Koska kaliumlannoituksen rooli karaistumisen edistäjänä on epäselvä, korkeina pitoisuuksina ehkä jopa haitallinen, runsasta kaliumlannoitusta ilman ravinneanalyysin osoittamaa tarvetta ei voi suositella.

Toinen kasvukausi

Keväällä kasvualustassa on syyssateiden ja talven lumen sulamisvesien aiheuttaman huuhtoutumisen vuoksi niukasti typpeä sekä usein myös fosforia ja kaliumia. Lannoituksen voi aloittaa joko pelkällä typellä tai runsastyppisellä seoslannoitteella toukokuussa, kun kasvualusta lämpenee. Johtokyky pidetään 0,8–1,4 mS/cm, kunnes heinäkuun lopulla aloitetaan taimien karaisu ja johtokyky lasketaan 0,5–0,9 mS/cm. Mikäli taimet LP-käsitellään heinä–elokuun vaihteessa ja typpipitoisuuden kohottamiseen on tarvetta, voi tankkauslannoituksen aloittaa vajaan viikon kuluttua LP-käsittelyn päättymisestä. Ilman LP-käsittelyä kasvatettavien taimien typpilannoitusta voi lisätä elokuun jälkipuoliskolla. Lämpiminä syksyinä neulasten ravinnepitoisuuden nostaminen onnistuu vielä syyskuun alussakin.

8 Muut tekijät

8.1 Kasvunsääteet

Solujen ja kasvinosien kasvua ja kehitystä ohjaavat kasvihormonit, jotka ovat hyvin pieninä pitoisuuksina esiintyviä yhdisteitä. Hormonien pitoisuuksia ja keskinäisiä suhteita säätelevät kasvuolosuhteet, joista tärkeimpiä ovat lämpötila ja valojaksoisuus [91]. Hormonit ovat yleensä joko kasvua edistäviä (esim. auksiinit, sytokiniinit, gibberelliinit) tai hidastavia (esim. abskisiinihappo, etyleeni). Vaikutustapa riippuu solukosta ja hormonin määrästä.

Keinotekoiset kasvunsääteet ovat kasvihormonien kaltaisia, teollisesti valmistettuja kemiallisia yhdisteitä. Niitä käytetään viljelykasvien sadon määrän ja laadun parantamiseen vaikuttamalla mm. kasvin kokoon, rakenteeseen, kestävyyteen ja vuosirytmiin.

Kasvunsääteiden vaikutuksia metsäpuiden taimiin on tutkittu melko niukasti [266]. Havupuilla on eniten tutkittu paclobutratsolia (CONFER®, Bonzi®), joka hillitsee havupuun taimien pituuden, mutta myös läpimitan sekä juurten kasvua [80, 436]. Pacloputrazolin on myös havaittu lisäävän taimien kuivuuden kestävyyttä [81, 284] ja pakkaskestävyyttä [64] sekä vähentävän kuusentaimien harmaahomealttiutta taimia stressaavissa lämpimissä ja kuivissa olosuhteissa [517]. Uniconazoli (Sumagic®) on puolestaan vähentänyt havupuiden taimien pituuskasvua, mutta lisännyt tanakkuutta ilman haitallisia vaikutuksia verson muotoon tai juuristoon [425].

Suomessa on koivuntaimilla tutkittu sekä klormekvattikloridia (Maatilan CCC ®) että daminotsidia (B-nine SP®), jotka hidastavat koivun pituuskasvua ilman haitallisia jälkivaikutuksia [8, 274]. Kaksi CCC-ruiskutusta vähensi 1-v koivun taimien pituuskasvua 26 %:lla (65 cm:stä 48 cm:iin) samalla kun läpimitta pieneni 9 %:lla.

Juurten kasvun tehostamiseksi on kokeiltu synteettistä auksiinia (IBA ja NAA) ja etyleeniä (Stim-root®, Ethrel®, Hormogel®) sekä alginaattia sisältäviä tuotteita vaihtelevalla menestyksellä. Ne paransivat douglaskuusen menestymistä, mutta eivät vaikuttaneet kontortamännyn juurten kasvuun eivätkä taimien eloonjäämiseen [421].

Kasvunsääteiden käyttö metsäpuiden taimikasvatuksessa ei ole edennyt kokeilua pidemmälle. Kasvunsääteet vaativat torjunta-aineiden lailla kasvilajikohtaisen hyväksynnän eli myyntiluvan. Kasvunsääteiden käyttöä suunniteltaessa käyttöohjeisiin kannattaa tutustua huolella sillä yliannostus voi johtaa kasvun heikkenemiseen ja kohonneeseen taimikuolleisuuteen [358]. Aineiden käytöllä on säähän ja

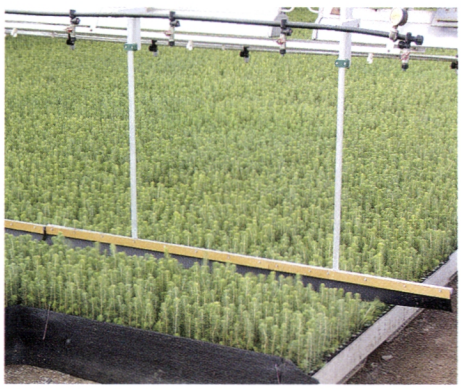
kasvuston kosteuteen liittyviä rajoituksia. Niillä on usein myös sekä terveydelle että ympäristölle haitallisia vaikutuksia, minkä vuoksi käyttörajoituksista sekä pakkausten ja käsiteltyjen kasvien hävityksestä on annettu tarkat ohjeet.

8.2 Mekaaninen taivuttelu

Mekaanisen stressin vaikutus kasveihin on tunnettu kauan. Puutarhapuolella erilaisia mekaanisia käsittelyjä, kuten taimien harjausta ja latvojen taivuttelua taimien yli vedettävillä tangoilla ja kankailla on selvitelty paljon. Menetelmiä on kokeiltu ennen muuta vihannes- ja kukkakasveille. Yleensä mekaaninen stimulointi vähentää taimien pituuskasvua ja lehtien lukumäärää ja kokoa sekä lisää läpimittaa ja indusoi silmun muodostumista [26].

Mekaanisen stressin (taivuttelun) metsäpuiden taimien läpimittaa lisäävästä vaikutuksesta on julkaistu tuloksia yksittäin kasvatetuilla taimilla. Joitakin kokeiluja on tehty myös taimiarkeissa kasvatetuilla taimilla. Koivun- tai kuusentaimien päivittäinen taivuttelu neljällä edestakaisella ajolla kastelurampista vaakatasossa riippuvalla tangolla ei vaikuttanut taimien tanakkuuteen, mutta vähensi taimien pituusvaihtelua [374]. Sen sijaan Ruotsissa taimien taivuttelu kasteluramppiin kiinnitetyllä laahuksella vähensi taimien pituutta 20 % ja lisäsi tyviläpimittaa 30 %, kun ramppeja ajettiin kastelu- ja lannoitusajojen lisäksi neljä kertaa päivässä [135] (kuva 8.1). Erilainen tulos voi johtua siitä, että ruotsalaiskokeessa taivuttelujakso oli pitempi ja taimia pidettiin lokakuun loppuun saakka tuulettomassa ja lämpimässä muovihuoneessa. Ulossiirretyillä taimilla tuuli ainakin osin korvaa taivutteluvaikutuksen.

Taivuttelulla voi olla myös muita vaikutuksia. Kastelun jälkeen se irrottaa versoihin tarttuneet pisarat ja voi pintakosteutta vähentämällä pienentää homeris-



Kuva 8.1. Kasteluramppiin kiinnitetty taimien latvoja taivuttava laahus Bergvik Skog AB:n Sör Amsbergin taimitarhalla Ruotsissa (kuva Pekka Helenius).

kiä. Toisaalta jos kasvustossa on jo homepesäkkeitä, laahustanko saattaa levittää itiöitä kasvustossa.

Taivuttelun voi alkaa aikaisintaan, kun taimet ovat 3–4 cm pitkiä (n. 5 viikkoa kylvöstä). Taivuttelutangon asentaminen kulkemaan riittävän matalalla edellyttää tasaisia taimikenttiä ja tarkkaa säätöä. Käsittelyn jatkaminen syyskuuhun voi tuntua turhalta läpimittakasvun vähenemisen vuoksi, mutta lepokauden aikaisen taivuttelun on havaittu lisänneen 5-v männyntaimien läpimittakasvua seuraavana kesänä [495]. Menetelmän käyttöönotto vaatii lisäkokemusta ja tarhakohtaista kokeilua.

8.3 Haihduntaa vähentävät aineet (antitranspirantit)

Verson haihduntaa vähentävillä aineilla ei ole merkitystä taimikasvatuksessa, mutta niitä on kokeiltu havupuiden taimien istutusmenestyksen parantamisen. Käytännön toiminnassa käsittely todennäköisesti toteutettaisiin jo taimitarhalla. Käyttö perustuu ajatukseen, että juurtumisen kannalta taimen kuivuusstressin vähentäminen on olennaisempaa kuin fotosynteesin ylläpito [102]. Antitranspirantit vähentävät taimen haihduntaa joko kasvin pinnalle muodostettavalla ja ilmaraot peittävällä kalvolla tai hormonaalisella ilmarakojen sulkemisella (esim. abskisiinihappokäsittely).

Taimen pinnalle upotuksella tai ruiskutuksella aikaansaatavilla kalvoilla on havaittu sekä myönteisiä [61, 513] että kielteisiä [431] vaikutuksia. Kalvon muodostavien aineiden vaikutusaika jää melko lyhyeksi uusien versojen kasvaessa "ulos" kalvosta. Suomen olosuhteissa haihduntaa vähentävillä aineilla voisi olla merkitystä kesällä istutettavien taimien kuivuudenkestävyyden lisäämisessä. Eri kalvonmuodostajat toimivat ja vaikuttavat eritavoin, minkä vuoksi aineiden ja niiden annostelun vaikutuksia tulisi verrata puulajeittain eri olosuhteissa.

9 Suunnittelu ja kasvatustoimenpiteet

9.1 Suunnittelu ja kasvatusaikataulu

Taimituotantoa varten tehdään vuosittain kylvö- ja kasvatussuunnitelmat. Ne sisältävät taimieräkohtaiset taimimäärät, alkuperät ja paakkutyypit, taimien tavoitepituudet, toimitusajankohdat sekä tarvittavat työpanokset ja -materiaalit. Suunnitelman perusteella voidaan valmistella materiaalihankinnat, varautua työvoiman palkkaukseen sekä määrittää kasvatus- ja varastointitilatarve.

Kokonaissuunnitelman lisäksi on hyvä laatia yksityiskohtaiset taimieräkohtaiset kasvatussuunnitelmat (kuva 9.1). Suunnitelmaan aikataulutetaan olosuhdetavoitteet, tarvittavat toimenpiteet kylvöstä taimien lajitteluun ja varastointiin. Tässä voidaan hyödyntää kasvatusajan jakamista eri jaksoihin. Alusta alkaen on hyödyllistä kirjata muistiin käytetty materiaali ja toteutuneet kasvatustapahtumat (paakkutyyppi, taimiarkkien täyttö turpeella, turvelaatu ja erämerkinnät, kylvöajankohta, käytetty siemen, peittomateriaali, kastelun aloitus, harvennus/täydennysajankohta, lannoitus- ja kasteluohjelma, kasvinsuojeluainekäsittelyt, taimierän siirtoajankohdat). Myös kaikki kasvatuksen aikana tehdyt mittaukset on hyvä dokumentoida vastaisen varalle. Jos kasvatuksessa esiintyy ongelmia, minkä vuoksi seuraavina vuosina on tarve muuttaa olosuhteita, on vaikea toimia ilman tarkkoja muistiinpanoja (kohta 11).

KASVATUSSUUNNITELMA																								
Puulaji		Kuusi																						
Siemen		sv 235, EY/FIN/M29-98-0010																						
Paakkutyyppi		PL81F	Kasvatustiheys, tainta/m²					546																
Turve:		White 420 F6																						
Tavoitepituus, cm		22 (18-26)																						
Tavoiteläpimitta, mm		3,0 (>2,5)																						
Kylvöaika		15.4.																						
		Huhti				Touko				Kesä					Heinä				Elo					Syys
Viikko	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Kasvatusvaihe		Itämisvaihe				Hitaan kasvun vaihe			Nopean kasvun vaihe							Karaistumisvaihe								
Toimet	Kylvö					harvennus			Tehokasto tuletusta					Siirto ulos			LP/12 h							
Lämpötila/päivä				20-23 °C		18-24 °C (jäähdytyskastelu, jos lämpötila nousee yli 27 °C)													Juuriston tarkkailu ja hoito					
Lämpötila/yö				15-18 °C		15-20 °C													Hometarkastukset					
Suhteell. kosteus				80 %		60-70%																		
Valaistus		Häirintävalo+luonnonvalo				Luonnonvalo																		
Kastelu		Läpikastelu		Pinta kosteana		Koko paakun korkeus kosteana, kastelut 1-3 päivän välein 5-8 mm/kerta										Vain aamuisin 1-3 kert./vko								
Lannoitus, g/m²			0	0	0	0	0	5	5	5	5	8	8	8	8	5	5	0	0	5	5	3		
Torjuntatoimet																								
Mittaukset																								
Tavoitepituus, mm						25	27	28	31	35	40	60	85	105	140	170	190	205	215	220	225	225		
Pituus, mm																								
Turp.vesipit.tavoite, %	60	60	55	55	50	45	45	45	45	45	45	45	45	40	40	40	40	45	45	45	45			
Vesipitoisuus, %																								
Tavoitejohtokyky, mS/cm	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	0,9	1,4	1,5	1,4	1,6	1,5	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0			
Johtokyky																								
Juuriston tarkastus																								
Neulasanalyysi																								
Varastointivalmius																								

Kuva 9.1. Esimerkki taimieräkohtaisesta kasvatussuunnitelmasta, johon on merkitty tavoitteet ja aikataulutettu tärkeimmät toimenpiteet ja kasvatusolosuhteet sekä seurantamittaukset.

9.2 Taimikasvatuksen käytännön toimet

9.2.1 Paakkujen täyttö ja kasvualustan tiiviys

Paakkuarkkien täyttö kasvualustalla on tärkeä ja vaativa työvaihe tapahtuipa se koneellisesti tai käsin. Suuri osa kasvatusvaikeuksista ja kasvustojen epätasaisuudesta juontaa epäonnistuneesta täytöstä.

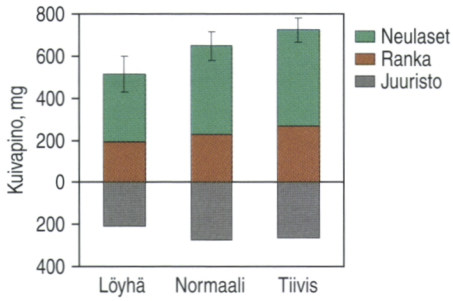
Täyttötyö alkaa turvepaalien purkamisella. Purkuvaiheessa turpeeseen lisätään vettä (10–20 litraa/puristepaali ja 200–300 litraa/maksipaali) turpeen kosteuden lisäämiseksi. Kostutus vähentää turpeen hienonemista käsittelyn aikana. Kastelun avulla saavutetaan myös kasvualustan todellinen ”ulostulotilavuus”.

Kasvualusta tiivistetään tasaisesti koko kennoston syvyydeltä ja laajuudelta. Kasvualustan ominaisuudet heikkenevät, jos täyttö on liian tiivis tai liian löyhä. Liian löyhä täyttö johtaa turpeen painumiseen kasvatuksen aikana ja näin juuriston kasvutilan pienentymiseen. Jos täyttö on liian tiivis, huokostila ja erityisesti isojen huokosten osuus pienenee, mikä johtaa heikkoon ilmanvaihtoon ja hitaaseen liikaveden (sade, liikakastelu) poistumiseen. Maatunut ja hienojakoinen turve tiivistyy herkästi liikaa.

Juuriston aktiivisuus on kääntäen verrannollinen kasvualustan tiiviyteen [301]. Ilmaraollisissa kovamuovikennoissa kuusentaimien juuret kasvoivat parhaiten normaalisti (keskitiiviisti) ja verso tiiviisti täytetyissä arkeissa [391] (kuva 9.2).

Vaalea, keskikarkea turve on niin kimmoisaa, että liian tiiviin täytön seurauksena se pursuaa kastelun jälkeen yli kennon reunojen. Tämä johtaa taimien juurien kasvuun kennosta toiseen ja vaikeuttaa taimien irrottamista kennostoista [391] (kuva 9.3). Niinpä paakut kannattaa jättää noin 3–6 mm vajaiksi paakun koosta riippuen.

Toinen yleinen ongelma on liian tiivis täyttö kennoston keskellä ja liian löyhä reunaosissa. Se johtaa turpeen kosteuseroihin ja taimien epätasaiseen kasvuun. Kolmas ongelma on liian löyhä täyttö kennojen pohjalla, vaikka pinta onkin tiivis. Turpeen kokkaroituminen ja epäpuhtaudet, kuten tupasvillojen ja varpujen kappaleet, aiheuttavat erityisesti alaspäin suppenevissa kennoissa kasvualustan onkaloitumista. Se estää juuriston tasaisen levittäytymisen paakkuun ja johtaa juuripaakun hajoamiseen taimea irrotettaessa. Vaihtelu turpeen tiiviydessä vaikuttaa varastoituvaan ravinne- ja vesimäärään. Epätasaisuus täytössä, olipa se arkin syvyys- tai vaakasuunnassa, johtaa epätasaiseen taimikasvustoon.



Kuva 9.2. Turpeen täyttötiiviyden vaikutus yksivuotiaiden kuusen paakkutaimien (PL81F) kuivapainoon. Tiiviys käsittelyittäin: löyhä 64 g, normaali 78 g ja tiivis 103 g kuiva-ainetta turvelitraa kohti [391].



Kuva 9.3. Liian tiivis täyttö ja turpeen pinnan sammaloituminen johtavat pinnalliseen juurten kasvuun paakusta ja jopa arkista toiseen, mikä hankaloittaa taimien irrottamista.

Liian tiivis täyttö ilmenee ensin juuriston heikompana kasvuna ja juurten kärkien kuolemisena [236], mikä vähitellen kellastuttaa myös neulasia/lehtiä. Juuristotaudit, kuten *Pythium* ja *Fusarium*, iskevät helposti liiallisen tiiviyden, märkyyden ja hapen puutteen heikentämiin juuriin [251]. Oire ilmenee versoissa kloroottisuutena.

Täyttötyön onnistumista voi seurata ottamalla määrävälein näytearkkeja, joiden tiiviyttä kokeillaan ”peukalotuntumalla” arkin eri osista ja tarkastelemalla alapuolelta kennonpohjien tasaista täyttymistä. Kennoarkkeja punnitsemalla voi seurata täytön tasaisuutta prosessin aikana. Painoon vaikuttaa myös turpeen kosteus. Vertailuksi Suonenjoen taimitarhalla punnittu keskimääräinen täyttömäärä Plantek81F-arkkeissa oli 1800 g/arkki ”säkkikuivaa” turvetta, jonka kosteus oli 66 paino-% [175].

9.2.2 Siemenen esikäsittely

Siementen itämistä ja taimien kasvamista voidaan parantaa siemenerien laatua kohentamalla sekä itämistä nopeuttavilla esikäsittelyillä. Havupuiden siemenen käsittelyyn on käytettävissä ns. PREVAC- ja IDS-menetelmät. Edellinen erottelee rikkoutuneet siemenet ja jälkimmäinen täydet, mutta kuolleet siemenet elävistä. Kokemukset mäntysiemenerien käsittelystä ovat hyviä, mutta kuusen osalta vaihtelevia. Siemenen esikäsittelyä on käsitelty seikkaperäisesti Metsäpuiden siemenoppaassa [311].

Eräillä puulajeilla siemenen koko siemenerässä voi vaihdella paljon. Koska siemenen painon on joillakin mäntylajeilla havaittu ennustavan itämisnopeutta ja taimen kasvun alkukehitystä, Yhdysvalloissa lajitellaan siemeniä kylvöeriin koon tai painon mukaan [234]. Eräillä mäntylajeilla siemenen kokolajittelulla on-

kin saavutettu tasaisempi kylvös, mutta taimien eloonjäämiseen ei lajittelulla ole ollut vaikutusta. Erikokoisista siemenistä kasvatettujen taimien tarhavaiheen kokovaihtelu on hävinnyt pian istutuksen jälkeen [18,20]. Suomessa jälkeläiskoeaineistojen perusteella on todettu, että siemenen painon merkitys kasvuerojen aiheuttajana vähenee tasaisesti ja usein nopeastikin itämisvaiheen jälkeen [294].

Painolajitteluun voi liittyä geneettisiä ongelmia erityisesti siemenviljelyssiemenen osalta. Lajittelu jakaa siemeniä jossain määrin emopuittain, mikä voi johtaa geneettisesti erilaisiin ryhmiin [507]. Siementen jakamista koko- tai painoluokkiin kylvöä varten ei Suomessa olekaan pidetty tarpeellisena tai edes suotavana.

Stratifioinnilla eli kosteiden siementen keinotekoisella kylmäkäsittelyllä ja myös kemiallisilla käsittelyillä voidaan saada aikaan biokemiallisia muutoksia, jotka nopeuttavat itämistä [170, 420, 332]. Vanhojen siemenerien itävyys ei stratifioinnilla yleensä parane [493]. Yksityiskohtaisia stratifiointiohjeita on esitetty siemenoppaassa [311] ja muissa siemenjulkaisuissa [191, 466].

Yksinkertaisimmillaan esikäsittelyssä siemeniä liotetaan vedessä ennen kylvöä, jolloin siementen vesipitoisuus kohoaa. Tavoitteena on saada siemeneen 25–30 % alkukosteus. Esiliotus toteutetaan esim. lasiastiassa, johon yhtä siemenkiloa kohti lisätään 15–20 litraa vettä. Sopiva liotustilan lämpötila on 15–24 °C ja liotusaika 12–36 tuntia [147]. Siemeniä ei tule ottaa liotukseen suoraan suljetusta varastoastiasta, vaan niiden annetaan ensin ”ilmastua” avoimessa astiassa muutama tunti. Jos siemeniä ei etukäteen ilmasteta, niitä pitää sekoittaa muutaman kerran liotuksen aikana. Liotuksessa voi vettä ilmastoida esim. akvaariopumpulla siementen vettymisen tehostamiseksi.

Kuusen siementen esiliotuksessa veden pinnalle kellumaan jäävät siemenet ovat usein tyhjiä tai toukkaisia ja ne voidaan kauhoa pois. Liotuksen jälkeen siemenet pintakuivataan esimerkiksi levittämällä ne verkkoalustalle ja kuivattamalla alustan alle asennetulla pienellä puhaltimella. Kuivatuksen aikana siemenmassaa käännellään, jotta se kuivuu tasaisesti. Kuivauksen jälkeen siemenet ovat valmiita kylvettäviksi. Liotettavaksi kannattaa ottaa kerrallaan vain kylvössä tarvittava määrä, sillä liotetun siemenen varastointikestävyydestä on niukasti tietoa.

Esiliotus jouduttaa itämistä 1–2 vrk [147] ja sitä suositellaan erityisesti kuuselle. Männyn siemenien esiliotuksessa riskit ovat suuremmat ja hyödyt vähäisemmät kuin kuusella. Liotus voi jopa heikentää itämistä [281].

9.2.3 Kylvö ja peitto

Männyn ja kuusen siemenet kylvetään käsin tai koneella. Kennoon kylvettävä siemenmäärä riippuu siemenen itävyydestä. Tavoitteena on saada yksi taimi jokaiseen kennoon. Sekä tyhjät kennot että useampi taimi kennossa aiheuttavat lisäkustannuksia. Kylvölaite kannattaa säätää huolella kulloinkin kylvettävälle siemenerälle. Kylvön aikana on syytä ottaa määrävälein näytearkkeja ja seurata kylvön onnistumista laskemalla kennoihin sattuneiden siementen lukumäärä.

Yksisiemenkylvö edellyttää hyvin itävää (>95 %) siementä. Vaikka se on kalliimpaa, vältytään täydennys- ja harvennuskustannuksilta. Kun siemenerän itämisprosentti tunnetaan, voidaan laskea odotettavissa oleva tyhjien, yhden tai kahden taimen kennojen todennäköisyys 2-siemenkylvössä [312] ja näin arvioida etukäteen kokonaiskustannuksia.

Täytön yhteydessä turpeen pinnalle painetaan kolo siementä varten. Kolo muodostaa siemenelle suotuisat olosuhteet sekä ohjaa siemenen keskelle paakkua. Kylvön jälkeen siemenet peitetään itämisolosuhteiden parantamiseksi sekä levän ja sammalen kasvun ehkäisemiseksi. Erityisesti myöhäiskylvöissä (kesä–heinäkuu) peittäminen parantaa ja tasoittaa itämistä. Peittämiseen käytetään mm. seulottua karkeaa (esim. 2–4 mm) hiekkaa, perliittiä, vermikuliittia, purua ja polystyreenihelmiä. Peittosyvyys on 2–4 mm (kylvökolon kohdalla enemmänkin). Liian syvä peitto hidastaa ja aiheuttaa epätasaista itämistä. Sammalen ja levän kasvua ehkäisemiseen pinnalta nopeasti kuivuva aine, kuten seulottu kiviaines ja perliitti ovat vettä sitovaa vermikuliittia parempia (kuva 9.4). Puru on yleistynyt peittoaineena, mutta sen on oltava tautivapaata ja kuivaa. Eri peittoaineella peitetyt taimiarkit edellyttävät varsinkin kasvatuksen alkuvaiheessa erilaista kastelua.



Kuva 9.4. Peittoaineet vaikuttavat sammalkasvuston kehittymiseen riippuen peittoaineen kosteuden sitomiskyvystä. Karkea hiekka kuivahtaa pinnalta nopeasti, mutta vermikuliitti sitoo vettä ja kuivuu hitaasti. Erityisesti maksasammal leviää herkästi paakun pinnalla jo kasvatuksen alkuvaiheessa ja valtaa nopeasti koko paakun.

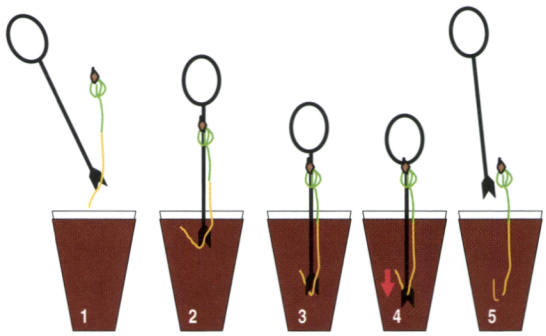
9.2.4 Kylvöksen harvennus- ja täydennys

Vaikka siemenen itävyys olisi hyvä, voi kennoja jäädä jostain syystä tyhjiksi ja niitä joudutaan täydentämään. Tätä varten voidaan esim. taimiarkkien reunakennoihin kylvää useampia siemeniä tai käyttää täydennystaimina erillisissä laatikoissa kasvatettua materiaalia. Täydennys tulee tehdä huolella, sillä täydennystaimi jää helposti jälkeen kehityksessä ja kehittyy koukkujuuriseksi. Koukkujuurisuutta on havaittu jopa puolessa ns. pinsettikoulituista täydennystaimista [145] (kuva 9.5). Huolellisesti koulittuina täydennystaimet kehittyvät lähes normaalisti.

Taimet harvennetaan ja täydennetään, kun juuret ovat kasvaneet noin puoleen paakun syvyydestä, eivätkä ole alkaneet haaroittua. Tässä vaiheessa havupuun taimet ovat 2–4 viikon ikäisiä, eikä siemenkuori ole vielä pudonnut sirkkalehtien päästä. Koivun sirkkataimien juuret haaroittuvat nopeasti ja harvennus ja täydennys on tehtävä pian itämisen jälkeen. Laadukas täydennystyö on taitolaji, johon kannattaa hankkia opastusta. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota siihen, että täydennystaimen juuri ei jää mutkalle (kuva 9.6). Kun turve on riittävän kosteaa, poistettavan ja täydennykseen käytettävän taimen juuri irtoaa ylösvedettäessä katkeamatta. Täydennystaimien on oltava tuoreita ja käytettäessä ns. käsivarastoa, kannattaa sirkkataimet pitää vedessä ja suojassa kuivumiselta.



Kuva 9.5. Jos priklatun täydennystaimen juuren kärki ei katkea, vaan juuri jää mutkalle, juuristo jää pinnalliseksi, eikä sido paakkua kunnolla.



Kuva 9.6. Täydentäminen vaatii kokemusta ja näppäryyttä. Täydennystaimen juuri painetaan kärjestä lovetun meisselin avulla turpeeseen (1–3) ja kun juuri on riittävän syvällä painetaan meisseliä nopeasti alaspäin (4) niin, että juuren kärki katkeaa, eikä juureen jää mutkaa (5). Meisseli vedetään pois. Sirkkataimi istutetaan 2–3 mm alkuperäistä kasvusyvyyttä syvemmälle.

9.2.5 Koivun suorakylvö ja priklaus

Koivun suorakylvössä käytetään yleensä pilleröityä siementä. "Irtosiemenellä" kylvettäessä käytetään usein pientaimikoulintamenetelmää eli "priklausta". Tällöin siemen hajakylvetään ensin laatikoihin, joissa on n. 2 cm:n tiivistetty turvekerros. Kylvös peitetään ohuelti esim. vermikuliitilla tai purulla. Kylvömäärä n. 0,5 g siementä/laatikko tuottaa noin 500 tainta. Nämä luvut pätevät siemeneen, jossa lenninsiivet on mukana ja jonka itävyys on n. 60 %. Sirkkataimet koulitaan 2-lehtiasennossa noin 2 viikon kuluttua kylvöstä ns. pinsettikoulintana.

Kylvöt kannattaa porrastaa niin, että taimet ehditään priklata ennen kuin ne kasvavat liian isoiksi. Taimi irrotetaan pinseteillä turvekokkareen kanssa, etteivät jo haaroittuneet juuret vaurioidu ja pistetään hyvin kasteltuun kasvatuspaakun turpeeseen. Taimia kastellaan aluksi runsaasti, jotta koulinnassa muodostuneet raot täyttyvät. Taimia kasvatetaan muovihuoneessa kunnes ne saavuttavat 6–10 cm pituuden. Ulossiirtopäivän olisi hyvä olla pilvinen, mutta ei tuulinen, eikä rankkasateinen. Laikkutaudit iskevät herkkään taimeen ulossiirtovaiheessa.

9.2.6 Paakku-paakkuun koulinta

Paakku-paakkuun (p-p) koulintamenetelmällä tarkoitetaan taimien kasvatustapaa, jossa siemenet kylvetään pienikokoisiin "alkupaakkuihin" (10–100 cm^3), joissa taimia kasvatetaan 1–5 kuukautta. Tämän jälkeen "alkupaakut" koulitaan isompiin (80–500 cm^3) "loppupaakkuihin", joissa taimia kasvatetaan edelleen puolesta vuodesta kahteen vuoteen. Näin p-p -menetelmällä tuotettu taimi on valmiina tuotteena 1–3-vuotias. Koulinta tehdään joko käsin tai automaattisella koulintakoneella (kuva 9.7).

Metsäpuiden taimien paakku-paakkuun koulinnasta on niukasti julkaistua tietoa. Kanadassa [424] ja Ruotsissa [258] on vertailtu suorakylvettyjen ja p-p-koulittujen



Kuva 9.7. Paakku-paakkuun koulintaa käsin (vasemmalla) ja koulintarobotilla (oikealla) toteutettuna.

taimien rakennetta. Ruotsissa on myös tehty laskelmia menetelmän kustannuksista [22,23]. Käsityönä p-p-menetelmää on Suomessa käytetty jo 1970-luvulta lähtien, mutta puutarhapuolelle kehitettyjä automaattisia koulintakoneita on viime vuosina otettu käyttöön Ruotsissa, Kanadassa sekä Suomessa.

Paakku-paakkuun koulintamenetelmän etuina suorakylvöön nähden pidetään seuraavia tekijöitä:

- Alkukasvatuksessa tarvitaan pienempi muovihuonepinta-ala suorakylvöön verrattuna, minkä vuoksi varhaisissa kevätkylvöissä lämmityskustannuksia säästyy.
- Valmis taimimateriaali voi olla kooltaan tasaisempaa kuin suorakylvetty erä, koska koulintavaiheessa voidaan hylätä pienimmät taimet pois.
- Jouduttaessa käyttämään heikosti itävää siemenmateriaalia tyhjien kennojen kasvatusaika jää lyhyeksi ja suorakylvön vaatimalta täydennystyöltä vältytään.
- Suurikokoisia, paljasjuuritaimia korvaavan taimen tuottamiseen on p-p -menetelmän arveltu soveltuvan nykyistä suorakylvöä paremmin, joskin kustannus nousee korkeammaksi kuin vastaavilla paljasjuuritaimilla [23].

Ongelmia voi aiheuttaa pienen koulintamateriaalin kasvatuksen vaatimat tasaiset kasvatusolosuhteet ja tarkka ajoitus. Mikäli menetelmän kasvatustilaa säästävä etu halutaan hyödyntää, on taimet siirrettävä ulos heti koulinnan jälkeen, jolloin taimet ovat vielä varsin herkässä vaiheessa. Siirto onnistuu riskittömästi vasta kesäkuun alkupuoliskolla, kun hallariski pienenee.

Koulintamateriaalin kasvatus on vaativa prosessi. Taimet voidaan tuottaa tiheässä, pienellä pinta-alalla, mutta jos joku vaihe epäonnistuu, voidaan menettää koko erä. Kasvatuksen ajoitus on tärkeä: taimi ei saa olla koulittaessa liian pieni eikä liian iso ja juuriston pitää sitoa paakku, mutta se ei saa kiertyä liiaksi. Työn organisointi (kylvön ja koulinnan ajoitus sekä kasvun seuranta) onkin erittäin olennaista. Väljyyttä koulinnan ajoittamiseen antaa, jos alkukasvatuspaakkunakäytetään itsestään koossa pysyvää paakkua [228], joka on toteutettu joko mekaanisella verkkorakenteella (esim. Jiffy) tai kemiallisesti liima-aineella (esim. Q Plug ja Grow-Tech).

Koska kasvatusolosuhteet voivat vaihdella vuodesta toiseen, toimenpiteiden aikatauluttaminen etukäteen viikonkin tarkkuudella on vaativaa. Ennen laajemman tuotannon aloittamista on hyvä tehdä koekasvatuksia, jotta saadaan käsitys kasvatuksen vaatimasta ajasta ja kasvatustoimenpiteiden (lämpötila, kastelu, tuuletus) vaikutuksesta kasvualustaan (kuivuminen), itämiseen ja kasvuun oman

tarhan kasvatusolosuhteissa. Olosuhteiden vaihtelun ongelma voidaan välttää kasvattamalla koulintamateriaali kokonaan säädellyissä olosuhteissa, ”taimihautomoissa”. Näin tuotanto voidaan rytmittää tarkasti etukäteen.

Pienien alkupaakkujen vesivarasto on pieni. Taimia on kasteltava usein ja säännöllisesti. Juurten kasvua pitää seurata oikea-aikaisen koulinta-ajankohdan määrittämiseksi. Koulintataimen kasvatus kestää pienessä (10–30 cm^3) alkupaakussa 7–10 viikkoa ennen kun juuristo on sitonut turvepaakun ja taimet ovat 4–6 cm:n pituisia. Kasvatettaessa koulintamateriaalia yli 50 cm^3 alkupaakuissa isompiin (>200 cm^3) loppupaakkuihin, kasvatus voi viedä 12–16 viikkoa.

Koulinnassa on kokeiltu menestyksellä myös pakkasvarastossa säilytetyn sulattamattoman taimimateriaalin käyttöä [258]. Jäätynyt paakku pysyi helposti käsiteltävänä 45 minuuttia varastosta ulossiirron jälkeen, eikä aiheuttanut ongelmia koulinnan jälkeenkään.

Loppupaakun turpeen on täytön jälkeen oltava hieman löysempi kuin suorakylvössä ja sen on oltava kosteata, muuten koulintakolon tekeminen on hankalaa. Turve on sopivan kosteaa, kun sitä on helppo muovailla käsin, mutta se ei liety. Koulintakolon pitää olla samanmuotoinen, mutta hieman suurempi kuin koulittava alkupaakku. Koulintakolo on syytä tehdä juuri ennen koulintaa, sillä kolojen seinien sortuminen kolon pohjalle aiheuttaa koulinnassa ongelmia. Kolon painamisen jälkeen turpeen tiiviyden tulisi olla sama kuin suorakylvöpaakussa. Paakku on koulittava pystysuoraan, muuten juuristo kehittyy toispuoleiseksi ja taimen rangasta tulee taipunut (kuva 9.8).

Parina ensimmäisenä koulinnan jälkeisenä päivänä taimia kastellaan reippaammin, niin että kolot alkupaakun ympärillä tiivistyvät. Sen jälkeen jatketaan normaalina kasvatusvaiheen ”koko turvekerros kosteaksi kerralla” -kasteluna. Koulinnan jälkeen juuristolle optimaalinen lämpötila (20–25 °C) jouduttaa alkupaakun juurtumista loppupaakkuun.



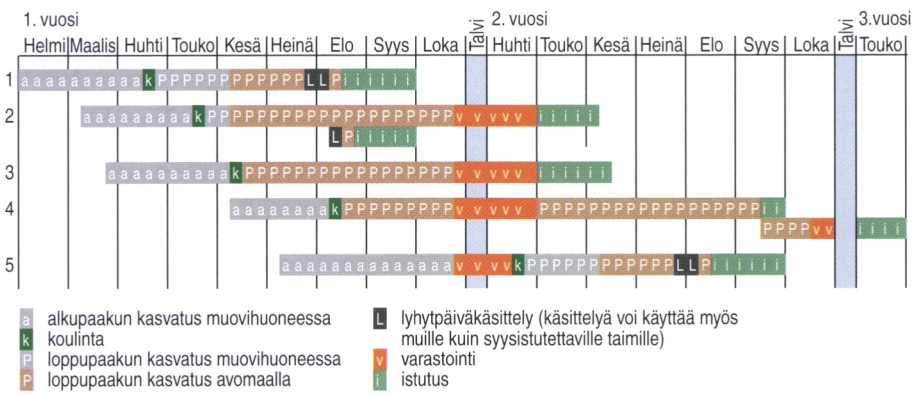
Kuva 9.8. Liian pitkään alkupaakussa kasvatettujen tai vinoon loppupaakkuun koulittujen taimien juuriston rakenne jää heikoksi runsaasta kasvusta huolimatta. Taimet ovat herkkiä kallistumaan istutuksen jälkeen.

Paakku-paakkuun koulinta ja kasvatustiheyden muutos aiheuttaa jossain määrin stressiä taimille, minkä vuoksi niiden pituuskehitys hidastuu koulinnan jälkeen suorakylvettyyn taimeen verrattuna. Tästä syystä on varauduttava 1–2 viikkoa aikaisempaan kylvöön kuin vastaavilla suorakylvötaimilla.

Paakku-paakkuun tuotannossa kasvatusaikatauluvaihtoehtoja rajoittaa kesän lyhyys ja hallojen riski (kuva 9.9). Varhain keväällä, helmi–maaliskuussa kylvetyt alkupaakut ovat valmiita koulittaviksi huhti–toukokuussa. Ne ovat kuitenkin hyvin herkässä vaiheessa, eikä niiden ulossiirto ole mahdollista. Alkupaakkujen juurtuminen on myös hitaampaa ulkona kuin muovihuoneen suotuisissa olosuhteissa. Muovihuoneeseen koulittaessa menetetään tilansäästöetu.

Kun taimet halutaan siirtää koulinnasta suoraan ulkokentälle, alkupaakut voidaan kylvää vasta huhtikuussa ja koulia kesäkuun alkupuolella. Suoraan ulos koulittaessa koulinta-aika rajoittuukin kesä–elokuuhun. Heinä–elokuussa koulitut taimet ovat metsään toimitettavissa vasta seuraavan vuoden syyskesällä.

Toinen mahdollisuus on kylväminen heinä–elokuussa, jolloin valmis koulintamateriaali viileä/pakkasvarastoidaan loka–joulukuussa ja koulitaan lepotilaisina suoraan ulos toukokuussa. Vaikka taimet ovatkin koulittaessa lepotilassa, hallantorjuntaan on silti varauduttava touko-kesäkuun vaihteessa samalla tavalla kuin suorakylvetyillä lumen alla talvehtineilla taimilla. Ongelman voi muodostaa myös taimien hidas juurtuminen loppupaakkuun, jos alkukesä on viileä.



Kuva 9.9. Esimerkkejä paakku-paakkuun koulintamenetelmän kasvatusaikatauluvaihtoehdoista. Ohjelmat 1 ja 5 ovat muuten samanlaiset paitsi koulintamateriaalin kasvatuksen ajoituksessa. LP-käsittelyn käyttö on mahdollista kaikissa esimerkeissä. Ajoitukset voivat vaihdella 1–3 viikkoa riippuen sääolosuhteista ja kasvihuoneolosuhteiden säätömahdollisuuksista sekä myös alku- ja loppupaakun koosta. Esimerkit soveltuvat lähinnä tilavuudeltaan 80–130 cm^3 loppupaakkuihin. Kasvatusaikataulut on syytä kokeilla taimitarhakohtaisesti käytännössä ennen mahdollista laajempaa käyttöä.

9.2.7 Hallat ja hallantorjunta

Hallat jaetaan kahteen päätyyppiin, säteily- ja tuulihalloihin. *Säteilyhallassa* suuri määrä lämpöenergiaa säteilee maanpinnasta ja kasveista avaruuteen. Säteilyhallaa esiintyy yöllä ja sen edellytyksenä on pilvetön taivas, alhainen ilman kosteus ja heikko tuuli. *Tuulihallassa* taas kylmä ilmamassa liikkuu tuulen mukana ja sitä voi esiintyä sekä yöllä että päivällä.

Hallasta käytetään sen voimakkuuden mukaan erilaisia termejä. Kun lämpötila laskee termisen kasvukauden aikana maanpinnalta mitattuna alle 0 °C, puhutaan 'hallasta' ja alle -4 °C 'ankarasta hallasta'. Aiemmin käytössä ollut termi 'kova halla' tarkoitti vastaavasti alle -3 °C lämpötilaa. 'Yöpakkasella' tarkoitetaan alle 0 °C:n lämpötilaa 2 m:n korkeudella olevasta sääkojusta mitattuna.

Suomessa hallantorjunnalla on erittäin tärkeä merkitys metsätaimitarhoilla. Etelä-Suomessa kovia keväthalloja (<-3 °C maan–pinnassa) sattuu 2–5 kertaa ja syyshalloja 2–3 kertaa 10 vuodessa [440]. Alueelliset ja paikalliset erot hallan esiintymisessä ovat suuria. Hallaisuutta lisääviä tekijöitä ovat [100]:

- Maan huono lämmönjohtokyky: Hienojakoinen maa johtaa paremmin kuin karkea, kivennäismaa paremmin kuin turve ja kostea maa johtaa paremmin kuin kuiva maa.
- Alava asema ympäristöön nähden: Kylmä ilma valuu rinnettä alas ja kerääntyy notkelmiin. Rinnemaa on yöllä suhteellisen lämmin, mutta notkelmat ja tasaisilla taimikentillä matalatkin painumat "täyttyvät" kylmällä ilmalla.
- Matala kasvipeite: Niityt ja nurmikot ovat hallaisia, koska kasvipeite toimii eristävänä kerroksena; maa ei lämpiä päivällä eikä luovuta lämpöä yöllä. Niinpä sepeli-, hiekka- ja asfalttialustalla maanpinnan lämpötila on yleensä muutamia asteita korkeampi kuin ruohikolla.

Hallayönä ilman lämpötilaerot maanpinnan lähellä ovat suuria. Sääkojusta 2 m:n korkeudesta mitattu lämpötila on säteilyhallayönä 2–6 °C korkeampi kuin maan pinnalla. Lisäksi kasvin lämpötila voi olla 1–2 °C ympäröivän ilman lämpötilaa alhaisempi. Näin taimen lämpötila saattaa olla säteilyhallaöinä 3–8 °C 2 m:n korkeudelta mitattua lämpötilaa alempi. Tuulihallassa lämpötilaerot ovat pienempiä.

Hallan välttäminen ja torjuminen

Lievä halla sopivassa vaiheessa nopeuttaa taimien karaistumista. Taimi kuitenkin vaurioituu, jos lämpötila alittaa taimen senhetkisen pakkaskestävyyden (kuva 9.10). Taimien hallankestävyyttä voidaan vahvistaa kasvatustoimenpiteillä. Syyskesällä tehokkain keino on lyhytpäiväkäsittely, joka lisää taimien pakkaskestävyyttä jouduttamalla niiden karaistumiskehitystä. Myös taimien tasapainoinen lannoitus ja lievä kuivuuskäsittely vahvistavat hallankestävyyttä.

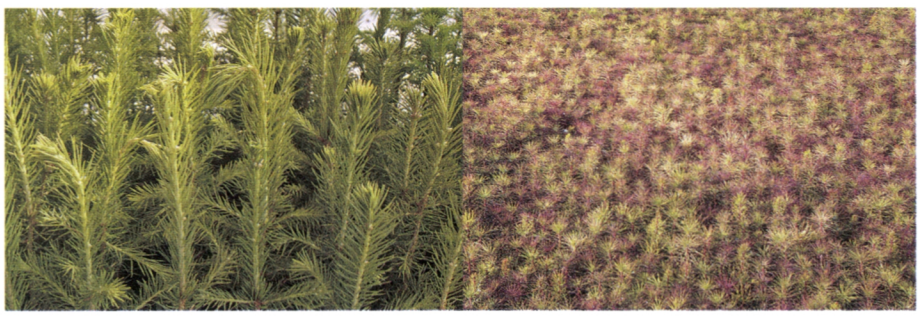
Varsinaiseen hallantorjuntaan on kasvintuotannossa käytetty savuja, ilmakerrosten sekoittamista lämmittimillä, erilaisia katteita (harsot, peitteet) ja kastelua [100]. Suomessa on hallantorjuntaan kokeiltu myös kasvisuojeluvaahtoa, joka levitetään kasvuston päälle [489].

Siirtämällä taimet suojaan muovihuoneeseen tai lyhytpäiväverhojen alle voidaan vauriot välttää -3…-6 °C halloissa. Taimien siirtäminen on kuitenkin työlästä, eikä siihen yleensä ole tilojakaan.

LP-laitteiston käytössä keväthallan torjunnassa on syytä muistaa, että verhojen käyttö useana perättäisenä yönä voi vaikuttaa myös taimien kasvurytmiin. Kokemukset puoltavat pimennysverhojen käyttöä 1–2 perättäisenä yönä toukokuussa ennen silmujen puhkeamista, mutta pituuskasvun käynnistyttyä jo yhden yön pimennys voi hidastaa taimien kasvua [202].

Hallakastelu

Yleisin hallantorjuntakeino on hallakastelu. Kastelun vaikutus perustuu jäätyvän veden vapauttamaan lämpöön (80 kcal/°C/litra). Itse kasteluveden lämpötilan merkitys tapahtumaan on vähäinen (1 kcal/°C/litra) ja lämminkin vesipisara jäähtyy lähelle ilman lämpötilaa ennen kuin se tavoittaa taimen. Sadetuksen ai-

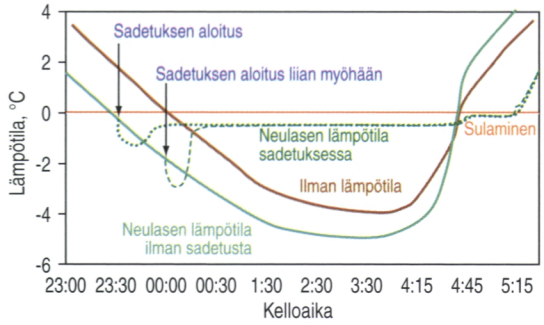


Kuva 9.10. Elokuun alkupuolen yöhallassa edellisenä yönä paleltuneita kuusenlatvoja (vasen kuva) ja syyskuun loppupuolella hallassa paleltuneita männyntaimia. Paleltuneet männyn neulaset muuttuvat aluksi vaaleiksi.

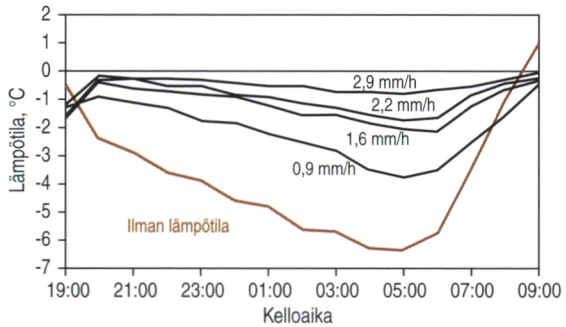
kana taimen versoon muodostuvan jääkerroksen pinnalla on pysyvä vesikalvo, josta osa haihtuu ja osa jäätyy vapauttaen lämpöä. Taimen lämpötila jääkuoren alla pysyy 0–1 °C:ssa niin kauan kun veden jäätymistä tapahtuu.

Sadetuksen alkaessa kasvin pinnalta tapahtuu haihtumista, mikä aluksi laskee kasvin lämpötilaa lähes 1 °C (kuva 9.11). Sadetus pitää aloittaa, kun ilman lämpötila on +1 °C tai viimeistään, kun lämpötila on 1–2 °C taimien vahingoittumisrajan yläpuolella. Sadetusta ei saa keskeyttää, koska taimien lämpötila jääkuoren alla alkaa heti laskea. Sadetus lopetetaan vasta, kun lämpötila on noussut pysyvästi 0 °C yläpuolelle ja jää on sulanut. Alimmillaan lämpötila on usein auringon noustessa, mutta lämpötila voi vaihdella paljon yön aikana.

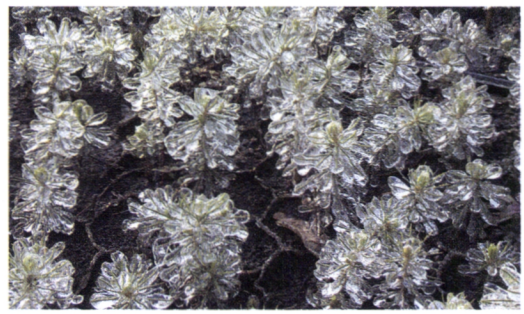
Hallasadetuksessa suositellaan käytettäväksi vettä 3–5 mm/h (kuva 9.12). Veden tarpeeseen vaikuttaa lämpötila, ilman suhteellinen kosteus ja tuulen nopeus. Mitä kylmempää on, mitä kuivempaa ilma on ja mitä voimakkaammin tuulee, sitä enemmän vettä tarvitaan. Riittämätön kastelu lievän hallan aikana voi aiheuttaa suuremmat vauriot kuin kastelematta jättäminen, sillä märkä kasvi vaurioituu herkemmin kuin kuiva kasvi. Riittämättömän kastelun seurauksena liian nopeasti taimien pinnalle muodostuva jää on maitomaista ja riski taimien paleltumiseen kasvaa. Kirkas jää on merkki hallakastelun onnistumisesta (kuva 9.13).



Kuva 9.11. Periaatekuva sadetuksen vaikutuksesta taimien lämpötilaan hallayön aikana, kun taimien oletettu pakkaskestävyys on -2 °C [106].



Kuva 9.12. Hallasadetuksessa käytetyn kasteluveden määrällä on voimakas vaikutus kasvien lämpötilaan [103].

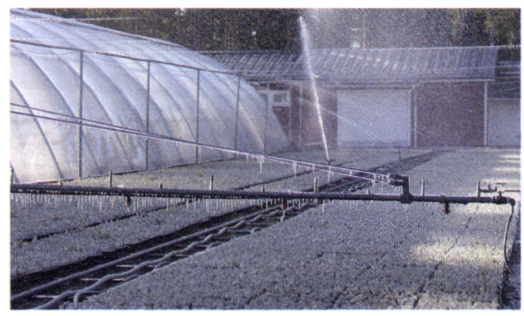


Kuva 9.13. Kuusentaimien päältä sulava jää on edelleen kirkasta ja osoittaa kastelun olleen riittävää.

Hallakastelulla voidaan suojata taimia yleensä -7…-8 °C:seen saakka. Tyynellä ilmalla hallakastelun on todettu suojanneen taimia jopa liki -12 °C:n hallalta [64]. Tuuli voi laskea taimen lämpötilaa enemmän kuin veden jäätymisen vapauttama lämpö nostaa sitä. Niinpä 1 m/s tuulen nopeudella voidaan sadettamalla torjua enää noin viiden asteen halla ja yli 3,5 m/s tuulessa ei hallasadetusta enää suositella.

Hallasadetuksessa suositellaan käytettäväksi suurta pisarakokoa. Suuri pisara lentää kauemmas myös tuulisella säällä. Pieni pisara kastelee paremmin, mutta sen lämpötila laskee ilmalennon aikana nopeammin kuin suuren pisaran ja se voi jopa alijäähtyä ja tukkia suuttimet.

Sprinklerityyppiset ympyrä- ja sektorisadettimet sopivat hallantorjuntaan (kuva 9.14). Vesisuihkun kiertonopeuden pitäisi olla vähintään 1 kerta/min. Mitä nopeammin vesisuihku kiertää, sitä paremmin se suojaa hallalta. Jos kiertonopeus on liian hidas, taimen lämpötila ehtii laskea ennen kuin uuden vesikerroksen jäätyminen taimen pinnalla vapauttaa lämpöä (kuva 9.15). Tämän vuoksi hitaasti etenevä ramppi, joka palaa samaan paikkaan vasta 10–30 min kuluttua, ei sovellu hallakasteluun.



Kuva 9.14. Hallakastelua on jatkettava aamulla niin kauan, että jää sulaa taimien versoista. Hitaasti kulkeva kasteluramppi ei sovellu hallantorjuntaan. Sprinkleri, jonka vesisuihku kiertää kerran minuutissa riittää suojaamaan 7–8 °C hallalta.

Harsojen ja katteiden käyttö

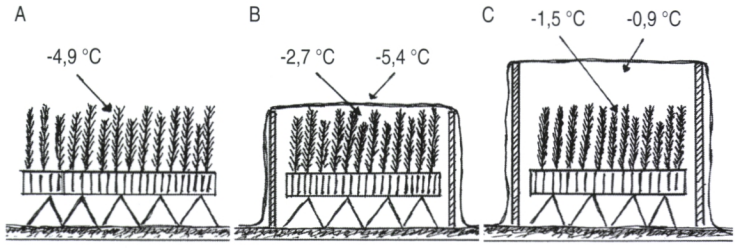
Peittokate suojaa taimia hallalta vähentämällä ulossäteilyä. Kate käyttää hyväkseen maan lämpövarastoja ja toimii parhaiten matalassa kasvustossa lähellä maan pintaa. Kostea maa parantaa lämmön siirtymistä ilmaan katteen alle ja parantaa katteen hallalta suojaavaa vaikutusta.

Suojaamattomat taimet ovat hallayönä ilmaa kylmempiä. Peitteen alla taimen ja ilman lämpötilat ovat suunnilleen yhtä korkeita ja useita asteita korkeampia kuin peitteen yläpuolella. Itse peite on ympäristöään kylmempi, koska se säteilee lämpöä ulos. Onkin syytä varoa, ettei peite painu taimien varaan ja palelluta latvoja.

Harso tai muu peite levitetään illalla hyvissä ajoin, jotta se ehtii "varata" lämpöä alleen (kuva 9.15). Taimien varaan laskettavalla harsolla on mahdollista suojata taimet -2 …-3 °C hallalta ja taimien yläpuolelle tuetulla harsolla -3 …-4 °C hallalta [128, 194] (kuva 9.16). Mitä paksumpi ja eristävämpi peite on, sitä paremmin se suojaa. Kevyttä, läpikuultavaa harsoa ei tarvitse poistaa päivän



Kuva 9.15. Harso levitetään taimien päälle hyvissä ajoin ennekuin lämpötila käy laskemaan ja poistetaan vasta kun harso on sulanut.



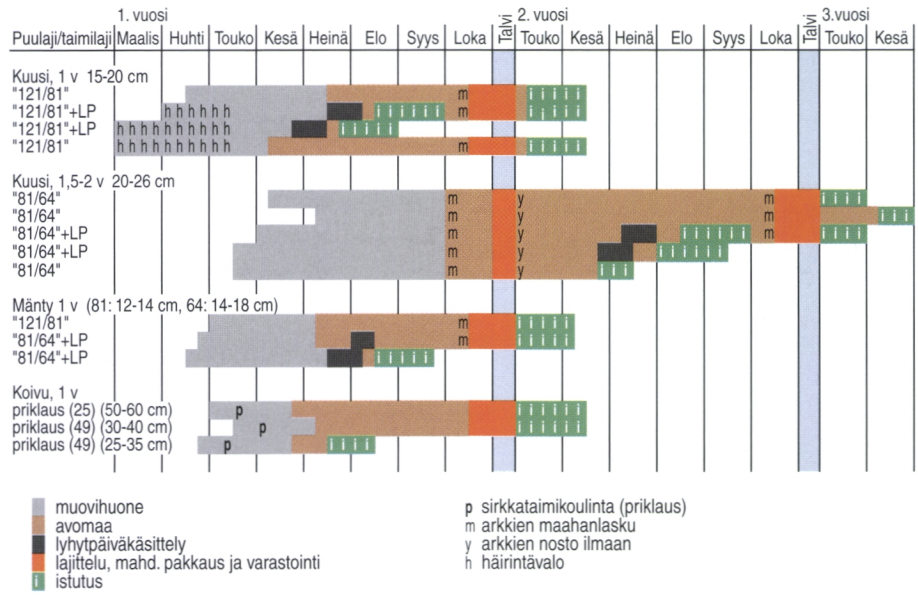
Kuva 9.16. Peiteharson vaikutus kohotetulla kasvatusalustalla olleiden 1-vuotiaiden kuusentaimien latvaosien ja ilman minimilämpötiloihin hallayön aikana (24.–25.9.2001). **A** = suojaamattomat taimet, **B** = harso osin taimien varassa, **C** = harso 15 cm taimien yläpuolella [194].

ajaksi, jos hallaöiden tiedetään jatkuvan. Pimentävää peitettä ei ole syytä pitää syksylläkään kovin kauaa yhtäjaksoisesti taimien päällä, sillä taimet vaativat valoa karaistuakseen. Peitteen paino lisääntyy eristävyyden kasvaessa ja voi vaatia tukirakenteen, etteivät taimet painu maahan. Harson/peitteen ongelmana on levitystyö ja herkkyys tuulille [198].

Kasvinsuojeluvaahdon (torjuntavaahto) toimintaperiaate on sama kuin peitteillä. Kokeilussa on todettu, että vaahto pitää matalan kasvuston lämpötilan hallayönä 2 °C ilman lämpötilaa korkeampana [489].

9.3 Esimerkkejä päätaimilajien kasvatusrutiineista

Seuraavassa osiossa luetteloidaan lyhyesti kuusen, männyn ja koivun yleisimpien taimilajien keskeisimmät kasvatustoimenpiteet. Aikataulut vaihtelevat jossain määrin eri puolilla maata ja kasvatusolosuhteista riippuen. Kaaviokuvassa 9.17 on esitetyt esimerkit pätevät lähinnä keskisuomalaisissa olosuhteissa.



Kuva 9.17. Esimerkkejä kuusen, männyn ja koivun tavallisimpien paakkutaimilajien kasvatusaikatauluista. Kasvatusaikataulu tulee sovittaa tarhaympäristön kasvatusolosuhteisiin ja -toimenpiteisiin. Vuoden sääolosuhteet voivat muuttaa esim. muovihuoneesta siirron, LP-käsittelyn ja varastoinnin aloittamisen aikataulua 1–2 viikolla. Istutusajankohdat riippuvat myös varastointimenetelmästä (avomaa/pakkasvarasto). Priklausmenetelmällä koivu kasvatus aloitetaan noin viikkoa aikaisemmin kuin.suorakylvömenetelmällä.

Kuusi 1-v

- Siemenen itävyyden ollessa >95 % voidaan käyttää 1-siemenkylvöä. Kylvettäessä useampia siemeniä/kenno, harvennus/täydennys tehdään 3–4 viikon kuluttua kylvöstä.
- Kylvöajankohta riippuu itämis- ja kasvuolosuhteista ja siitä koska taimet siirretään ulkokentälle. Huhtikuun puolivälin kylvöksillä saavutetaan perinteisessä lämmitettävässä muovihuoneessa 20–24 cm:n pituus (kuva 9.18). Mikäli taimet LP-käsitellään elokuussa, ne jäävät 2–4 cm lyhyemmiksi.

Kasvatustoimenpiteet:

- Paakkuarkkien täyttö turpeella ja kylvökolon painaminen
- Mahdollinen siemenen esiliotus ja pintakuivaus
- Kylvö 1–3 siemenellä/kenno (itävyydestä riippuen) huhtikuun puolivälissä ja siemenen peittäminen
- Turpeen tasainen läpikastelu
- Kasvatus kohotetulla alustalla muovihuoneessa: lämpötila, kastelu
- Kennojen harvennus/täydennys 1-taimiasentoon 3–4 viikon kuluttua kylvöstä
- Lannoitus alkaa 3–5 viikon kuluttua kylvöstä (jos käytetään peruslannoittamatonta turvetta, aloitetaan lannoitus jo 1–3 viikon kuluttua kylvöstä laimealla liuoksella), seurataan kasvualustan kosteutta ja johtokykyä
- Viikoittainen kasvatuksen seuranta sekä tuholaistarkkailu ja torjuntaan varautuminen (jatkuu koko kasvatuksen ajan)
- Kasvatus muovihuoneessa jatkuu yleensä heinäkuun puoliväliin saakka, jonka jälkeen taimet siirretään ulkokentälle (pituuskehitys ja säät määräävät siirtoajankohdan), jolloin erityisesti kiinnitettävä huomiota reunakuivumisriskiin (kuva 9.18)
- Mahdollinen lyhytpäiväkäsittely (2 vk) elokuussa
- Hallantorjuntaan varautuminen (varsinkin jos taimia ei LP-käsitellä)
- Taimiarkkien lasku maahan syyskuun loppupuoliskolla
- Lajittelu/pakkaus/varastointi (myyräsuojaukset ja keinolumetus tarvittaessa)

Jos taimet toimitetaan istutettaviksi jo samana syksynä (15.8.–30.9.) siemen on kylvettävä maaliskuun lopulla, häirintävaloja käytettävä kylvöstä toukokuun puoliväliin ja 3 viikon LP-käsittely annetaan heinäkuun puolivälissä.





Kuva 9.18. Erityisesti tummaseinäiset reunapaakut kasvuston eteläreunalla kuivuvat herkästi (**A**). Reunapaakkujen kuumenemista ja kuivumista voi vähentää erilaisin suojin (**B**).

Kuusi 1,5–2 v

Keväällä istutettaviksi toimitettavat 2-vuotiaat taimet, kylvetään kesäkuun loppupuoliskolla, jolloin ne saavuttavat 5–8 cm pituuden syksyyn mennessä. Toisena vuonna taimet kasvavat elokuun alkuun mennessä 20–25 cm mittaisiksi ja ne voidaan LP-käsitellä syksyn hallariskien varalta.

Toisen vuoden syyskesällä istutettavat taimet kylvetään toukokuun lopulla, jolloin niiden pituus ensimmäisenä syksynä on 7–10 cm ja ne kasvavat toisena vuonna ennen heinäkuun LP-käsittelyä 14–17 cm lisää (kuva 9.19). Kylvöajankohtaa lukuun ottamatta ensimmäisen vuoden kasvatus on samanlainen kuin 1-v taimilla.



Kuva 9.19. Kuusen 1-vuotias PL81F-paakussa ja 1,5-vuotiaat PL81F- ja PL64F-paakuissa kasvatetut taimet (EO).

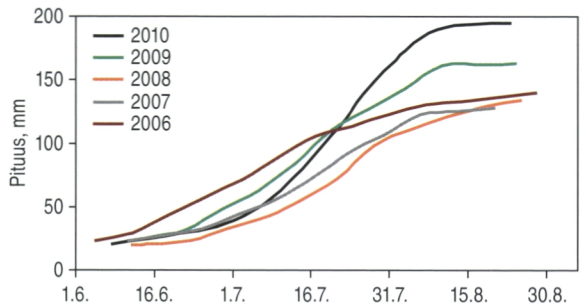
2. vuosi

- Kasvatus jatkuu ulkokentällä keväällä, jolloin arkit nostetaan takaisin kohotetulle alustalle
- Mahdollinen LP-käsittely heinä (3 vk)–elokuussa (2 vk)
- Juurten kasvun tarkkailu ja mahdolliset toimet (juurten sidottava paakku)
- Kastelu, lannoitus, tuholaistorjunta syksyyn saakka
- Hallantorjuntaan varautuminen
- Lajittelu/pakkaus/varastointi (pakkasvarasto/ulkokenttä)
- Jos taimet LP-käsitellään toisen vuoden syysistutusta varten jo heinäkuussa, taimia pidetään 3 viikon LP-käsittelyn jälkeen avomaakentällä ”toipumassa” 1–2 viikkoa ennen istutusta.

Mänty 1-v

Siemenen itävyyden ollessa yli 95 % voidaan käyttää 1-siemenkylvöä ja täydentää mahdolliset tyhjät kennot 3 viikon kuluttua. Siemenen esiliotusta ei suositella männylle. Tavoitteena on 10–15 cm keskipituus kasvatustiheydestä (121-, 81- ja 64-paakut) riippuen. Toukokuun alkupuolen kylvöillä taimet kasvavat kausimuovihuoneessa olosuhteista riippuen 10–20 cm mittaisiksi (kuva 9.20). Pituuskasvua voi jossain määrin säädellä taimien ulossiirtoajankohdalla. Syysistutukseen toimitettavat taimet syytä kylvää jo huhtikuun puolivälissä lämmitettävään huoneeseen ja antaa 3 viikon LP-käsitely heinäkuun puolesta välistä lukien. Jos taimet istutetaan vasta keväällä, mutta ne halutaan saada hallankestäviksi avomaavarastointia varten tai jouduttaa niiden pakkasvarastointikelpoisuutta, kylvetään siemen huhtikuun loppupuolella ja taimille annetaan heinäkuun lopulta lukien 2–3 viikon LP-käsittely.

Kasvatustoimenpiteet kuten kuusen 1-v kasvatuksessa, mutta kasvatus muovihuoneessa jatkuu kesäkuun/heinäkuun (kylvöajankohdasta riippuen) puoliväliin saakka riippuen taimien pituuskehityksestä ja huoneiden käyttötarpeesta 2. sadon kasvattamiseen. Suuremman sienitautiriskin (versoruoste, versosurma, talvihomeet) vuoksi mäntyerille joudutaan yleensä antamaan kasvinsuojeluruiskutuksia enemmän kuin kuusierille. Mänty on kuusta herkempi myös juuristopaleltumisille talvella, minkä vuoksi taimiarkkien maahanlasku ja reunojen suojaaminen avomaavarastoinnissa on tärkeää.





Kuva 9.20. Toukokuun ensimmäisellä viikolla kylvettyjen männyn yksivuotiaiden taimien (PL81F) pituuskehitys samassa muovihuoneessa viitenä perättäisenä vuonna voi vaihdella riippuen sääoloista ja kasvatustoimenpiteistä. Pituuskasvu yleensä päättyy elokuun puoliväliin mennessä. (EO)

Koivu 1-v

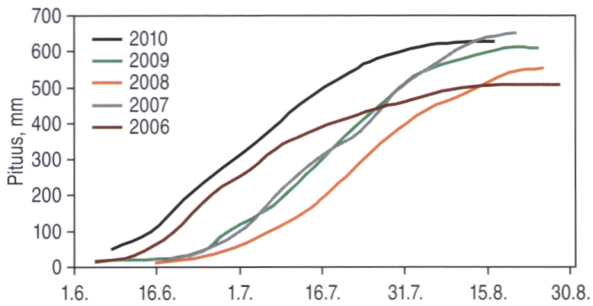
Koivu kasvatetaan yleensä joko suorakylvämällä pilleröity siemen kasvatusarkkeihin tai koulimalla hajakylvöksessä kasvatettu sirkkataimi kasvatuspaakkuun. 1-vuotinen koivu kasvatetaan yleensä Plantek 36- tai 25-kokoluokan paakussa, joissa taimen tavoitepituus on 40 ja 55 cm. Lämpiminä kesinä koivuntaimet helposti kasvavat hieman liian pitkiksi (kuva 9.21).

Avomaalla taimiarkit lasketaan yleensä sepelille tai kasvatuskankaan päälle. Kasvatuslohko voidaan reunustaa muoviverkkoaidalla tuulen kuivattavan vaikutuksen vähentämiseksi ja jänisten tuhojen estämiseksi.

Ulossiirtovaiheessa taimiarkkeja väljennetään niin, että niiden välille jää 15–20 cm:n tuuletuskäytävät (kuva 3.7d). Jos väljennys on mahdollista tehdä kahdessa vaiheessa (10 cm + 10 cm) ulossiirron yhteydessä ja uudelleen kuukauden kuluttua, arkkien reunataimet taipuvat ulospäin vähemmän. On myös käytetty ”yhteen suuntaan väljentämistä” niin että arkit laitetaan yhtenäiseen jonoon ja jonojen välille jää 20 cm vapaa tila.

Koivuntaimia on kasvatettu myös koko kesän muovihuoneessa, mutta silloin siemen kylvetään myöhemmin (kesäkuussa). Tästä menetelmästä on niukemmin kokemuksia ja taimet voivat jäädä hennoiksi.

Syksyllä, kun lehdet kellastuvat ja varisevat, taimet pakataan suljettuihin muovisäkkeihin (päältä valkea, sisältä musta) tai paperisäkkeihin pakkasvarastointia varten. Perinteinen mahdollisuus on valeistuttaa taiminiput vinottain auran-





Kuva 9.21. Priklausmenetelmällä kasvatettujen koivun PL25 taimierien pituuskehitys Suonenjoen taimitarhalla vuosina 2006–10. Pituuskasvu päättyy elokuun alkupuoliskolla. Taimet istutetaan normaalisti lehdettömänä seuraavana keväänä (EO).

vakoon vettäläpäisevälle kentälle (kuva 9.22). Valeistutusalue on ympäröitävä peltiaidalla myyrätuhojen välttämiseksi.



Kuva 9.22. Koivun paakkutaimia valeistutuksessa.

Koivun priklausmenetelmällä tuotettavien, 1-vuotisten lehdettömänä istutettavien taimien kasvatustoimenpiteet:

- Sirkkataimien kasvatuslaatikoiden täyttö turpeella ja siemenen hajakylvös sekä peittäminen.
- Turpeen tasainen läpikastelu.
- Kasvatus 2–3 viikkoa hajakylvetyissä laatikoissa kasvihuoneessa, kunnes taimet ovat ”2-lehtivaiheessa”.
- Kennoarkkien täyttö turpeella ja turpeen kastelu läpimäräksi.
- Sirkkataimien priklaus (koulinta) pinsettien avulla.
- Runsas kastelu1–2 päivän ajan, mutta niin, etteivät taimet vaurioidu.
- Kasvatus muovihuoneessa .
- Tuholaistarkkailu (kirvat, ripsiäiset).
- Taimien ulossiirto, kun taimet 6–10 cm pitkiä (mielellään pilvisellä, mutta ei myrskyisellä säällä) ja taimiarkkien väljennys (10–20 cm:n käytävät arkkien välillä).
- Reunataimet kuivuvat herkästi. Verkkoaita suojaamaan taimia kuivumiselta ja jäniksiltä.
- Kasvatus (kastelu, lannoitus) ulkona jatkuu.
- Tuholaistarkkailu (koivunruoste, levälaikku) ja tarvittavat torjuntatoimet.
- Jos taimiarkit maassa, on niitä syytä siirtää 1–2 kertaa kesän aikana, jotta paakusta ulos maahan/kasvatuskankaaseen kasvaneet juuret katkeavat.
- Karaistumisen seuranta ja hallantorjuntaan varautuminen.
- Taimiarkkien lasku maahan syyskuun loppupuoliskolla (jos taimet olleet kohokasvatuksessa).
- Lajittelu/pakkaus/varastointi, kun lehdet varisevat – taimisäkkiin ei lehtiä.

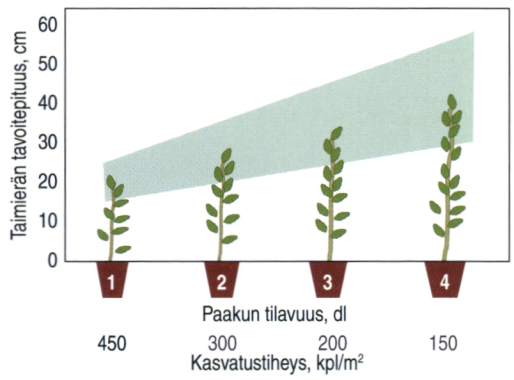
Koivu, 8–10 vko, lehdessä istutettava koivu ("kesäkoivu")

Lehdellisten, kasvussa olevien koivuntaimien istutuksesta kesäaikaan on saatu myönteisiä kokemuksia [278]. Vaikka "kesäkoivut" kasvatetaan pääosin samalla tavalla kuin 1-vuotiset koivut, poikkeavat menetelmät toisistaan joiltakin osin [269].

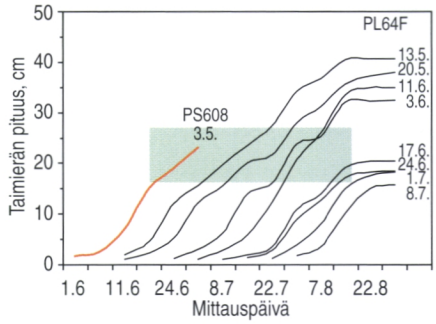
Kylvön ajoittaminen suhteessa taimien toimitukseen ja istutusajankohtaan on suunniteltava huolella ja kasvatusta kannattaa kokeilla etukäteen. Erityisesti juuriston kasvuun ja paakun koossa pysymiseen tulee kiinnittää huomiota. Taimien kylvöstä istutukseen kuluu noin 7–8 viikkoa.

Kasvatus voidaan aloittaa joko pilleröidyllä siemenellä tai priklaamalla kuten 1-vuotiaiden koivujen kasvatusohjelmassa. Priklausmateriaalin kasvatusta varten siemenet hajakylvetään huhti–toukokuun vaihteessa ja taimet priklataan 2–3 viikon kuluttua kylvöstä. Tällöin taimet ovat toimitusvalmiita kesä–heinäkuun vaihteessa säistä riippuen.

Kesäkoivun kasvatukseen käytetään yleensä paakkuja, joiden tilavuus vaihtelee 100–300 cm^3 ja kasvatustiheys 200–450 kpl/m^2. Kasvatettavien taimien tavoitepituus riippuu paakun koosta (kuva 9.23). Isoissa paakuissa kasvatettavien, lehdellisinä istutettavien koivuntaimien tavoitepituus on kuivumisherkkyyden vuoksi 10–15 cm vastaavia lepotilassa istutettavia taimia lyhyempi. Pienissä paakuissa kasvatettujen taimien "käyttöaika" on nopean kasvuvaiheen vuoksi vain pari viikkoa, kun taas isommissa 300–400 cm^3:n paakuissa 3–4 viikkoa (kuva 9.24).



Kuva 9.23. Kesällä lehdellisenä istutettavan koivuerän tavoitekeskipituuden riippuvuus paakun koosta ja kasvatustiheydestä [269].



Kuva 9.24. Eri ajankohtina PS608- (3.5.) ja PL64F-arkkeihin (13.5.–8.7.) kylvettyjen koivuntaimierien mediaanipituuden kehittyminen kasvukauden aikana. Varjostettu alue kuvaa pituuden ja istutusajankohdan perusteella kesäistutukseen soveltuvia taimia [269].

Koivun priklausmenetelmällä tuotettavien, 1-vuotisten lehdettömänä istutettavien taimien kasvatustoimenpiteet:

- Kylvövaiheet ja priklaus kuten 1-v koivun kasvatuksessa
- Kasvatus kasvihuoneessa kesäkuun puoliväliin saakka (taimet 7–10 cm pitkiä), minkä jälkeen taimet siirretään ulos 2–3 viikoksi kasvamaan ja karaistumaan kuivuutta vastaan.
- Taimiarkit on hyvä väljentää tuuletuksen lisäämiseksi ja harmaahomeen välttämiseksi erityisesti, jos säät ovat pilvisiä ja sateisia.
- Kasvatus, tuholaistarkkailu ja torjuntatoimet
- Jos taimia ei toimiteta kasvatusarkeissa, on ne lajittelua ja laatikkoihin/säkkeihin pakkausta varten irrotettava arkeista varovasti, sillä taimien kuori on pehmeä ja vaurioituu herkästi.
- Taimet kastellaan hyvin ennen lähetystä ja työmaavarastolla kastelua on jatkettava.

10 Taimien inventointi, lajittelu, pakkaus ja varastointi

10.1 Taimien inventointi

Taimien inventoinnilla on kaksi tavoitetta. Tuottaja tarvitsee tiedon myyntikelpoisten taimien määrästä ja taimierän taimien keskipituudesta. Metsänviljelyaineiston kaupasta annettu asetus edellyttää, että metsänviljelyyn toimitettavista taimista tulee muiden erää koskevien tietojen ohella ilmoittaa ostajalle taimierän taimien keskipituus.

Taimierän keskipituuden ja myyntikelpoisen taimimäärän selvittämisen lisäksi tuottaja on yleensä kiinnostunut myös syistä, jotka ovat johtaneet mahdolliseen saannon alenemiseen. Inventaariotiedoista voidaan laskea taimierän sisäisen pituusvaihtelun tunnuslukuja, jotka myös kertovat kasvatuksen onnistumisesta.

Näytetaimien valinta

Taimierän keskipituus on määritettävä tilastollisesti luotettavalla tavalla. Luotettavaan keskipituuden määrittämiseen riittää pienempi otanta kuin taimisaannon tai sen alenemiseen johtaneiden syiden selvittämiseen.

Paakkutaimierän keskipituuden määrittämiseen käytettävän menetelmän on oltava kevyesti toteutettava, mutta riittävän luotettava. Menetelmä voidaan katsoa luotettavaksi, jos vähintään 95 prosentissa taimieristä (eli lähes aina) otoksen taimien keskipituus poikkeaa enintään ±5 prosenttia erän todellisesta (kaikkien taimien) keskipituudesta. Metlassa mäntyerille kehitetty inventointimenetelmä [165, 166] soveltuu taimierän keskipituuden määrittämiseen, mutta ei riitä saannon ja sitä alentavien syiden selvittämiseen.

Taimierällä tarkoitetaan yleensä samaa kuin kasvatuserällä, eli samasta siemenerästä kasvatettu, rajattavissa olevalla alueella, saman kasvatusohjelman läpikäyneet taimet muodostavat kasvatuserän. Mikäli taimierässä havaitaan silmävaraisesti pituudeltaan poikkeavia kasvuston osia, ne rajataan eri taimieriksi, jotka mitataan erikseen. On suositeltavaa erotella ainakin eri muovihuoneet tai ulkokasvatuksessa eri alueet erillisiksi eriksi.

Otanta perustuu rypäisiin. Tässä ryväs tarkoittaa kasvatusyksikköä (taimiarkkia) tai pakkausta (laatikko, säkki), johon taimet on lajittelun jälkeen pakattu. Tasalaatuisesta alle 1 miljoonan taimen erästä riittää 100 taimen otos, joka jakautuu 10 taimirypääseen (kasvatusyksikköön), joista jokaisesta otetaan 10 taimen näyte. Jos taimierä on epätasainen tai erän koko on suurempi, kannattaa rypäiden määrää lisätä 20:een.

Näytteet otetaan systemaattisena tai satunnaisena ryväsotantana, ts. erästä valitaan otantaan 10 ryvästä (kasvatusyksikköä, taimipakkausta) (kuva 10.1). Pieniin eriin soveltuvassa *systemaattisessa* otannassa mittaukseen valittavien rypäiden välinen etäisyys on taimierän rypäiden kokonaismäärä jaettuna ryväsmäärällä (10). Tällöin 1000 kasvatusyksikön erässä, 1000 jaetaan 10:llä ja saadaan koealaväliksi 100. Ensimmäinen ryväs voidaan tällöin ottaa "puolen koealavälin" päästä eli ensimmäinen näyte on taimierän aloituskulmasta laskien 50. kasvatusyksikkö ja seuraava 150. yksikkö jne. Systemaattinen otanta sopii myös pakattujen näytetaimien poimimiseen: valitaan mittauksiin esimerkiksi joka sadas pakkaus, jos pakkausten kokonaismäärä on 1000 kappaletta.

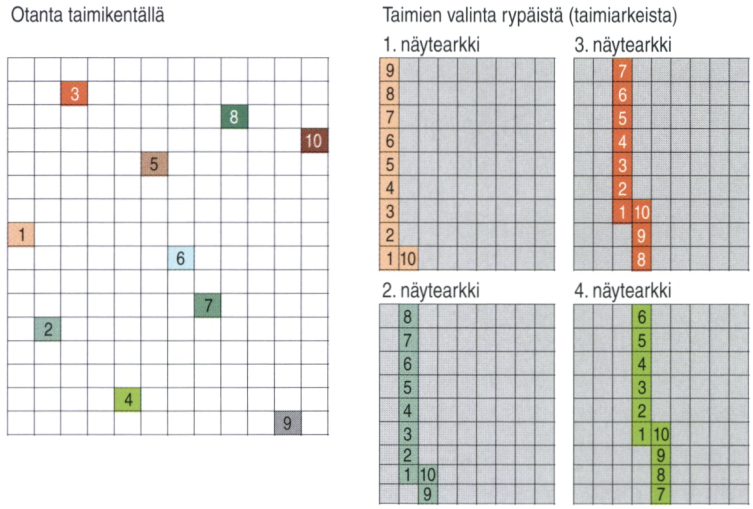
Säännöllisen muotoisella taimikentällä on kätevämpi käyttää satunnaisotantaa, jolloin mittauskohdat eivät sijaitse säännöllisin välein, vaan ne poimitaan satunnaisluvuilla. Tällöin kasvatusyksiköitä ei tarvitse laskea mittauskohtien löytämiseksi, vaan ne paikannetaan etukäteen arvotuilla x- ja y-koordinaateilla.

Aktiivisessa pituuskasvussa olevat, kesäistutettavat taimierät, tulisi mitata aikaisintaan kaksi viikkoa ennen lähetystä, ja antaa ostajalle tiedoksi mittausajankohta. Pakkasvarastoitavat taimet mitataan pakkauksen yhteydessä syksyllä.

Taimien mittaus

Näytteiksi poimituista rypäistä (esim. taimiarkki) poimitaan keskipituuden määrittämistä varten 10 peräkkäistä *elävää* tainta, joiden pituus mitataan kasvualustan pinnasta latvasilmun tai kasvupisteen kärkeen 0,5 cm tarkkuudella (puolen sentin tasaavin luokin) männyllä, kuusella ja vastaavilla puulajeilla, ja 1 cm tarkkuudella koivulla (ja vastaavilla).

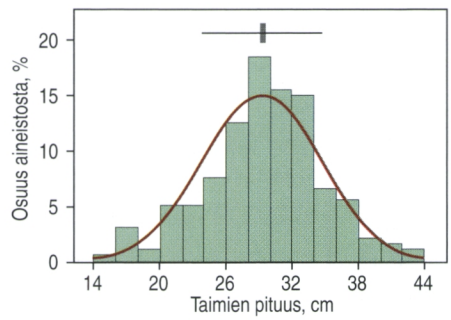
Mitattava 10 peräkkäisen taimen rivi taimiarkeissa valitaan esimerkiksi seuraavasti: Ensimmäiseksi näytteeksi poimitusta rypäästä (taimiarkista) valitaan "vasemmasta etukulmasta" katsoen 1. taimirivi (kuva 10.1). Mikäli rivissä on vähemmän kuin 10 taimea, siirrytään seuraavalle riville ja mitataan, kunnes 10 taimea on mitattu. Toisesta rypäästä mittaus aloitetaan 2. rivin 2. taimesta ja siirrytään tarvittaessa 3. riville, 3. rypään mittaus aloitetaan 3. rivin 3. taimesta jne. Kun kaikki rivit on käyty läpi, palataan seuraavaksi otokseen sattuneen arkin 1. riville. Näin käy esimerkiksi PL64F-arkissa (jossa on 8x8 taimiriviä) 8. näytearkin jälkeen. Jos kyseessä on taimipakkauksiin (pahvilaatikot, "Länen alusta" ym.) lajiteltu erä, jossa ei ole selviä rivejä, voidaan 10 tainta valita esimerkiksi taimipakkauksen lävistäjältä. Tässä tapauksessa mittausten aloituskohtaa ei tarvitse vaihtaa yksiköstä toiseen siirryttäessä, koska taimien järjestys on jo sekoittunut kasvatusaikana vallinneeseen järjestykseen nähden lajittelun ja pakkauksen yhteydessä.



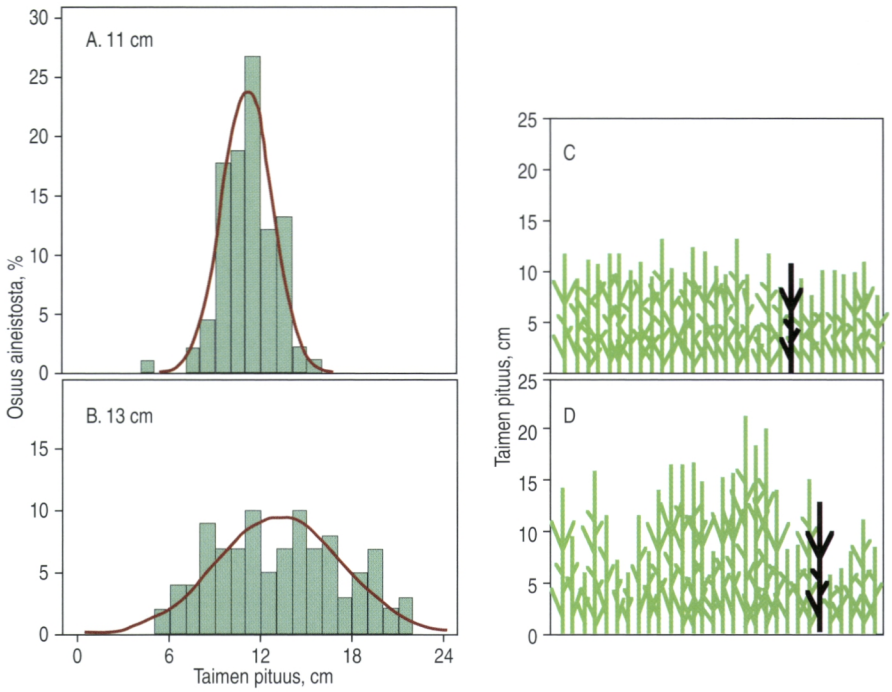
Kuva 10.1. Systemaattinen ryväsotanta taimierästä ja taimien otanta yksittäisistä taimiarkista. Vasemmalla 16 x 12 taimiarkin kasvatusalue, joista on valittu systemaattisesti 10 ryvästä (taimiarkkia). Oikealla neljästä ensimmäisestä näytearkista valitut taimet.

Mikäli mittaus kohdistuu lajittelemattomaan erään, josta kaikki terveet taimet (myös "alamittaiset") mitataan, poistetaan mitatusta aineistosta päätetyn vähimmäispituuden alittavat taimet ennen keskipituuden laskentaa. Jos taas kyse on lajitellusta erästä, keskipituus lasketaan kaikista otantaan sattuneista taimista. Keskipituuden ja hajontatunnusten laskenta tapahtuu helpoimmin taulukkolaskentaohjelmalla.

Metsänviljelyaineiston kaupasta annetun lain (241/2002, 6 §) mukaan pituusmittaustiedot kuuluvat tuotantokirjanpidon mukana 10 vuoden ajan säilytettäviin asiakirjoihin. Mittausaineistosta saa arvokasta tietoa taimierän pituuskeskiarvon lisäksi. Pituusjakauma ja keskihajonta (kuva 10.2) kuvaavat kasvatuksen onnistumista. Kapea pituusjakauma kertoo taimiaineiston olevan pituudeltaan tasaista (kuva 10.3A ja C), kun taas leveä ja laakea jakauma (kuva 10.3B ja D) kielii epätasaisesta kasvustosta ja ongelmista kasvatuksessa.



Kuva 10.2. Kaksivuotisen kuusen paakkutaimierän pituusjakautuma 2 cm luokissa. Vertailuna on normaalijakautuman käyrä. Vaakajana kuvaa yhtä keskihajontaa molemmin puolin keskiarvoa.



Kuva 10.3. Esimerkit tasaisesta (**A, C**) ja epätasaisesta (**B, D**) yksivuotiaasta männyn paakkutaimierästä, joiden keskipituudet ovat 11 ja 13 cm, ja joiden keskihajonnat poikkeavat voimakkaasti toisistaan (A = 1,7 ja B = 4,2 cm). Erän keskiarvotaimi tummennettu [373].

Taimisaanto

Keskipituuden määritykseen tarkoitettu otanta on liian pieni taimisaannon arvioimiseen. Mitä heikompi saanto, sitä suurempi otanta (taimiarkkimäärä) tarvitaan. Saantoinventointi kannattaa tehdä pituusmittauksen yhteydessä pituusmittaukseen valituista taimiarkeista. Erän ollessa suuri tai silmämääräisesti epätasainen kasvatetaan otantaa. Saantoinventoinnissa kirjataan pituusmittausarkkien kaikkien hyväksyttävien taimien lukumäärän lisäksi hylättävien taimien hylkäyksen syyt (pieni, tautinen, tyhjä kenno jne.). Taimisaanto ja hylkäyksen syyt ovat hyödyllistä tietoa pohdittaessa kasvatusmenetelmien toimivuutta ja tuhoriskiä sekä suunniteltaessa seuraavien vuosien kasvatuksia.

10.2 Taimien lajittelu

Taimien lajittelu voi olla eräkohtaista tai taimikohtaista. Eräkohtaisessa lajittelussa hyväksyminen tai hylkääminen kohdistuu koko taimierään. Syitä eräkohtaiseen hylkäämiseen voivat olla koko taimierään kohdistunut tuho (esim.

halla, tauti) tai niin suuri raakkitaimien osuus, ettei lajittelua kannata tehdä. Esimerkiksi eräkohtaiset, näytteisiin pohjautuvat testit, kuten juurten kasvupotentiaalitesti voivat johtaa koko taimierän hylkäämiseen.

Taimikohtaisen lajittelun tarkoitus on valmistaa taimet myyntikuntoon poistamalla kelvottomat taimet. Taimet lajitellaan yleensä syksyllä, mutta niin ulkona varastoidut kuin pakkasvarastoidut taimet on syytä tarkistaa vielä keväällä pistokoeluontoisesti. Syksyllä varastoitavat taimet joudutaan lajittelemaan usein hankalissa olosuhteissa (sade, hämärä), minkä vuoksi se vaatii suurta huolellisuutta. Erityisen vaikeata on havaita koivun laikut, jotka paljastuvat usein vasta keväällä.

Lajittelu perustuu lähinnä taimien kokoon ja ulkonäköön. Lajittelun "lakirajana" on MMM asetus (1055, 8 §), joka edellyttää, että taimien on oltava terveitä, elinvoimaisia sekä metsänviljelyyn soveltuvia. Taimen ei katsota täyttävän näitä vaatimuksia, jos

- Taimessa on elinvoimaa heikentäviä kasvintuhoojia tai niiden vioituksia.
- Taimen juuristo tai verso on voimakkaasti kaareutunut, juuristo on haitallisesti kiertynyt tai puutteellisesti kehittynyt taikka paakkutaimen juuristo ei riittävästi sido paakkua.
- Taimen latvakasvain ei ole normaali tai taimi on voimakkaasti haaroittunut.
- Taimessa on haitallisia kuorivikoja, repeytymiä taikka paleltumis- tai kuivumisvaurioita.

Taimierässä saa olla yksittäisiä taimia, jotka eivät täytä em. laatuvaatimuksia, enintään 5 % taimien kokonaismäärästä,

Ennen lajittelun alkamista kannattaa tarkastella erää kokonaisuutena ja arvioida mihin lajittelussa tulee erityisesti kiinnittää huomiota. Käytännön lajittelutyössä on tarkkailtava ainakin säännöksissä mainittuja ominaisuuksia. Lisäksi asiakkaat voivat edellyttää omia, virallisia säädöksiä tarkempia tai tiukempia vaatimuksia taimille. Niistä on syytä sopia hyvissä ajoin jo ennen kasvatuksen aloittamista.

Koska säädöksissä ei ole täsmällisesti mitattavia vaatimuksia, tarvitaan lajittelussa usein arviointia ja tulkintaa. Vuosien varrella onkin muotoutunut tietynlainen käytäntö taimen tuottajien, asiakkaiden ja Eviran tarkastajien välillä. Seuraavat tulkinnat hyväksyttävistä tai hylättävistä taimista ovat kirjoittajan:

Taimimäärä paakussa

Taimien laadun kannalta on suotavaa, että paakussa on vain yksi taimi, vaikka säädökset eivät sitä suoranaisesti vaadi. Taimierän tulisi olla harvennettu 1 taimi/

paakku asentoon jo itämisvaiheen jälkeen. Vasta lajittelun yhteydessä tehtävä harvennus ei paranna liian tiheässä kasvaneen taimen laatua. Jos esimerkiksi joka kolmannessa PL81F-arkin paakussa on kaksi tainta, nousee todellinen kasvatustiheys 546 taimesta 728 taimeen neliömetriä kohti.

Terveys (viat, vauriot, tuholaiset)

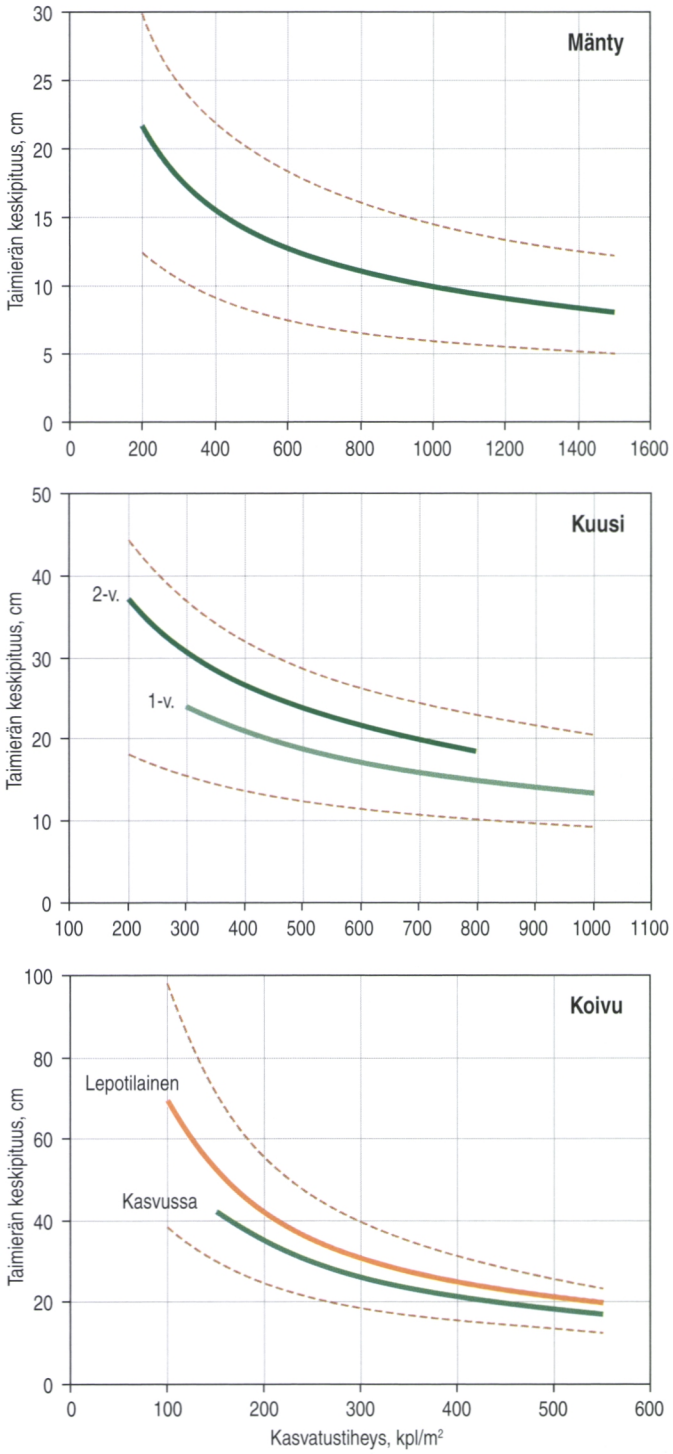
Taimen on oltava terve ja elinvoimainen. Elinvoimaisuutta ilmentävät oksissa lujasti kiinni olevat terveen vihreät neulaset sekä elävä ja tasapainoinen juuriston. Taimissa voi kuitenkin olla jonkin verran ruskeita neulasia. Vähäinen harmaahome (seittiä tai muutamia pilkkuja vain alimmaisissa neulasissa) ei aiheuta hylkäämistä, mutta jos ruskettuneita neulasia on runsaasti ja home on tunkeutunut jo kuoren alle, on syytä suhtautua varauksella koko taimierään. Karisteita, versosurmaa, juurilahoa, rangan tai juurten paleltumisvaurioita ja laikkutautia (levälaikkua) havaittaessa on koko erä otettava tarkkailuun. Hyvä tapa arvioida taimen kuntoa, on vuolla kuorta eri korkeudelta rankaa. Jos pihkaa nousee nopeasti pintaan, on taimi yleensä elinvoimainen.

Taimen ulkonäkö ja koko

Taimen pitää olla sopusuhtainen. Taimen ulkonäkö voi kuitenkin poiketa jonkin verran normaalista ja silti taimi on elinvoimainen ja myyntikelpoinen. Taimien pituussuosituksina käytetään Suomessa aikaisempiin säädöksiin pohjautuvia, kasvatustiheyteen suhteutettuja pituuskäyriä (kuva 10.4). Suosituksilla pyritään välttämään liian pitkien ja hentojen taimierien tuottaminen. Ne perustuvat taimitarhoilta mitattuihin aineistoihin [190, 189, 426] ja koetuloksiin erilaisten taimien maastomenestymisestä. Koko taimierä voidaan hylätä, jos se poikkeaa merkittävästi em. suosituspituuksista. Tällöin taimierässä on yleensä myös muita vikoja, kuten runsasta alaneulasten ruskettumista, tauteja ja heikosta juuristosta johtuvaa paakun rikkoutumista. Suositukseen sisältyy myös yksittäisten selvästi keskipituutta lyhyempien taimien hylkääminen. Aiemmissa säädöksissä yksittäisen taimen vähimmäispituuden tuli olla puulajista riippuen yli 50–60 % taimierän keskipituudesta, mikä edelleenkin on hyvä ohjenuora. Lyhyet yksittäiset taimet ovat yleensä ohuita, heikosti puutuneita ja niiden stressikestävyys on heikko [365]. Lajittelun yhteydessä taimierän jakaminen pituuden perusteella useampaan erään ei ole luvallista sillä, vaikka yksilöpohjaista taimierän jakamista erillisinä erinä myytäviksi ei ole nykyisissä säännöstöissä erikseen kielletty, sisältyy kielto taimierän määritelmään.

Silmut

Lepotilassa olevilla havupuun taimilla on oltava selvä, vallitseva päätesilmu (kärkisilmu). Epämuodostuneet tai vaillinaiset silmut johtavat monilatvaisuuteen ja hidastavat taimien kasvua [349]. Hyönteiset, erityisesti peltolude aiheuttavat silmuhäiriöitä ja monilatvaisuutta männyn ja kuusen taimissa (kuva 10.5).



Kuva 10.4. Suositus männyn, 1- ja 2-vuotisten kuusen sekä kasvussa ja lepotilassa olevien koivun paakkutaimierien vähimmäis-, keski- ja enimmäispituudesta kasvatustiheyden funktiona.

Silmujen elävyyttä on vaikea määrittää päältäpäin silmävaraisesti. Mikäli on aihetta epäillä silmujen kuntoa esim. syyshallan jäljiltä, on hyvä halkaista muutamasta taimesta kärkisilmu ja tutkia suurennuslasilla tai mikroskoopilla silmusuomujen suojassa olevaa, neulasaiheista muodostuvaa silmua. Terve silmu on kirkkaan vihreä (kuva 10.6). Jos silmu on tummunut tai väriltään kellertävän vihreä, on se todennäköisesti kuollut ja erä syytä ottaa tarkkailuun ja seurata koe-erän kasvua.

Neulaset/lehdet

Neulasia on oltava riittävästi, ne eivät saa olla lyhyitä, "kääpiöityneitä" ja niiden värin on oltava terveen vihreä. Silmää on hyvä "kalibroida" aika ajoin lajittelun kuluessa, sillä silmä tottuu usein nopeasti esim. kellertäviin ja lyhyisiin neulasiin, jos vertailukohtaa ei ole nähtävillä. Kitukasvuisuus saattaa olla oire monesta tekijästä, kuten taudeista tai hyönteistuhosta, juurten heikosta kunnosta tai ravinteiden puutteesta. Syy poikkeavaan väriin on selvitettävä. Varsinkin kookkaiden ja tiheässä kasvatettujen taimien alaosassa on usein valon puutteen vuoksi kellastuneita ja ruskettuneita neulasia (kuva 53.8). Valon puutteen tai muun abioottisen (ei tautien tai hyönteisten aiheuttaman) syyn vuoksi ruskettuneita alaneulasia ei saisi olla neljäsosaa enempää. Neulasten ahavavauriot kohdistuvat verson latvaosaan ja yksivuotisella kuusentaimella myös silmu on usein vaurioitunut, mikäli neulasista on yli neljäsosa ruskettunut [461]. Vanhempi-



Kuva 10.5. Todennäköisesti peltoluteen vioituksen aiheuttamaa monilatvaisuutta männyn ja kuusen kylvövuoden taimissa (EO).



Kuva 10.6. Kuusen terveen silmun (vasemmalla) "neulasaiheterttu" on täyteläinen ja terveen vihreä, kun taas paleltunut (oikealla) silmu on kellertynyt tai ruskettuneet ja osin kutistunut kuivuessaan. Kuva: Pekka Voipio.

en taimien silmut kestävät paremmin ahavaa, joskin neulasvauriot heikentävät taimien kasvua istutuksen jälkeen [406].

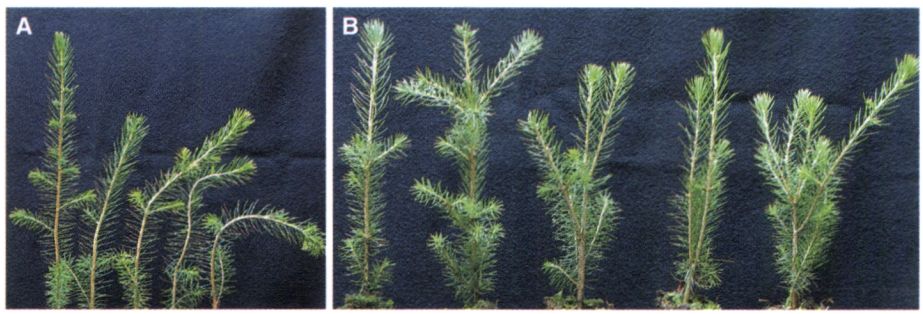
Erityisesti yksivuotisissa männyn, mutta joskus myös kuusen neulasissa on violetin punaista väriä (kuva 10.7). Männyllä tämä syysväri osoittaa karaistumisen alkaneen, joskaan se ei sinänsä ilmennä pakkaskestävyyttä [480]. Myös kuusella väri yleensä johtuu kylmien öiden aiheuttamasta pigmenttimuutoksista, eikä aiheuta ongelmia [371]. Väripoikkeamien tulkinta vaatii kokemusta, sillä monet tekijät voivat aiheuttaa samantapaisia oireita. Ravinnepuutosepäilyt on helpointa tarkistaa teettämällä neulasista ravinneanalyysi ja vertaamalla saatuja arvoja ohjearvoihin.

Ranka

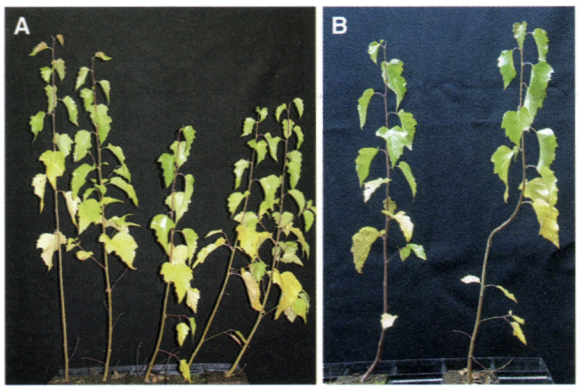
Verson on oltava suora ja yksilatvainen, eikä se saa taipua paakun reunojen ulkopuolelle (kuva 10.8a ja 10.9). Koivun ja männyn taimien kaksihaaraisuus tai monilatvaisuus ei ole hyväksyttäviä. Kuusi kokemusten mukaan toipuu moni-



Kuva 10.7. Männyn ja kuusen taimien neulasten punertuminen ei ilmennä taimien heikkoutta eikä ole hylkäysperuste. Vasemmalla: Osa männyn neulasista on saanut violetinpunaisen syysvärin. Oikealla: Kuusen latvaneulasten kärjet punertuneet syyskesän ensimmäisten viileiden öiden jälkeen.



Kuva 10.8. Myyntikelpoisen taimen on oltava rangaltaan suora (**A**), eikä se saa olla voimakkaasti haaroittunut tai monilatvainen (**B**). Kuvien kaksi vasemmanpuolimaisinta taimea täyttävät vaatimukset.



Kuva 10.9. Koivuntaimien tulee olla suoria ja yksilatvaisia. Vain kuvan **A** kaksi vasemmanpuoleista taimea täyttävät vaatimukset.

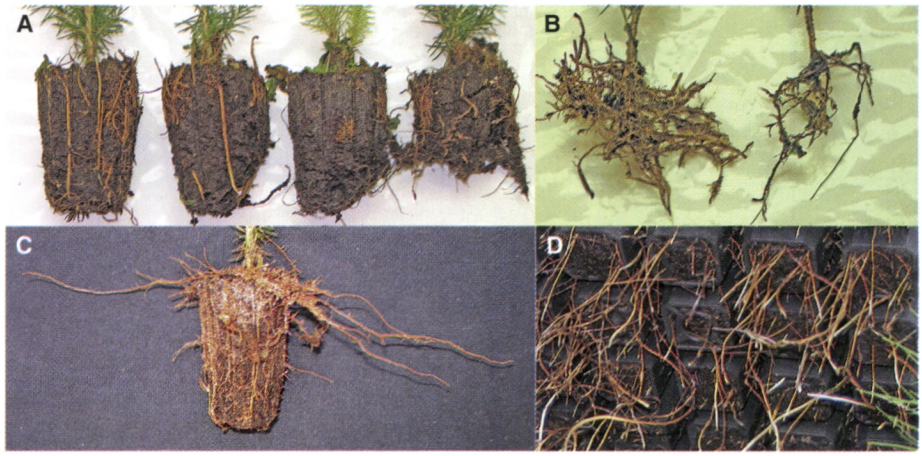


Kuva 10.10. Kuoren alla nilakerroksen on oltava vaalea ja kostea. Vasemmanpuoleinen halkaistu ranka on terve, muissa on paleltumisvaurioita (EO).

latvaisuudesta mäntyä ja koivua nopeammin. Kuusella voidaan käyttää sääntöä: jos taimi on haaroittunut alaosasta (¼ taimen pituudesta), täytyy yhden latvoista yltää ¼ muita korkeammalle. Jos esimerkiksi 20 cm:n mittaisessa kuusentaimessa kilpalatva haarautuu 0–5 cm korkeudelta tyvestä ja yltää yli 15 cm:n korkeudelle, taimi katsotaan monilatvaiseksi. Voimakas haaroittuminen taimen yläosassakaan ei ole hyväksyttävää. Rangan oltava terve: ei kuorivikoja, repeytymiä, paleltumis- tai kuivumisvaurioita. Terveyttä ilmentää kuoren alaisen nilakerroksen vaaleus ja kosteus (kuva 10.10).

Juuristo ja paakun eheys

Juuripaakun irrottava kokonaisena kennosta ja sen on pysyttävä hyvin koossa taimien käsittelyssä pakkauksen, kuljetuksen ja istutuksen aikana (kuva 10.11). Käytännössä paakun tulee pysyä koossa kevyesti ravisteltaessa. Jos juuripaakusta irtoaa enemmän kuin neljännes, taimien elossaolon on osoitettu laskevan 20 % [476]. Juuristo ei saa myöskään olla ahtautunut tai kiertynyt, eikä kasvanut liiaksi ulos paakuista pohjan, seinämän rakojen kautta tai yläkautta paakusta toiseen. Juurien kasvaminen ulos paakuista tai jopa toisiin paakkuihin hankaloittaa taimien irrotusta. Paakkuista roikkuvat juuret vaikeuttavat erityisesti koneellista istutusta. Uloskasvaneiden juurien leikkaamiseen on kehitetty erilaisia tekniikoita. Leikkaaminen on tehtävä jo kasvukauden aikana, jotta leikkauspinnat ehtivät arpeutua ja juuret haaroittua paakkujen sisällä.



Kuva 10.11. (**A**) Juuripaakun on oltava ehyt (vasemmanpuoleisin taimi). (**B**) Vaillinainen juuripaakku johtuu yleensä heikosta ja pinnallisesta juuristosta. (**C**) Paakusta toiseen kasvaneet juuret kuolevat ennen istutusta ja ne haittaavat istutustyötä. (**D**) Paakusta uloskasvaneet juuret ovat merkki heikosta tuuletuksesta taimiarkkien alla kasvatuksen aikana. Uloskasvaneet juuret on leikattava jo kasvukauden aikana, jotta uusia juurenkärkiä ehtii syntyä ennen pakkaamista.

Epäiltäessä juurten elävyyttä, raaputetaan juuren pintaa. Jos pinta kuoren alla tumma ja juuri katkeaa helposti, on juuri kuollut. Osa paakun pintajuurista kuolee talven aikana, eikä siitä ole haittaa. Jos kuolleita juuria on paljon, taimierä on syytä ottaa erityistarkkailuun ja testata sen kunto kasvupotentiaalitestissä.

10.3 Taimien irrotus ja pakkaus

Taimet pakataan käsin tai automatisoiduilla laitteilla. Taimien irrotuksessa kasvatusarkeista käytetään apuna tappilevyä, joka työntää taimia pohjasta ylöspäin ja helpottaa irrottamista. Irrotustyössä versoja tulee käsitellä mahdollisimman hellävaraisesti, etteivät kuori ja silmut vahingoitu.

Taimipakkaukselle asetetaan erilaisia vaatimuksia riippuen puu- ja taimilajista, pakkausajankohdasta, varastointitavasta ja varastoinnin kestosta sekä kuljetuksesta ja kenttävarastoinnista. Tavoitteena on suojata taimet mekaanisilta vaurioilta, kuivumiselta ja homehtumiselta.

Pakkasvarastoitavat taimet pakataan syksyllä yleensä muovitettuihin pahvilaatikoihin tai paperi/muovisäkkeihin. Muovisäkkien tulee olla valoa läpi päästämättömiä, mieluiten sisältä mustia ja päältä valkoisia tai hopeanvärisiä, mikä kokovalkoiseen valoa läpäisevään säkkiin verrattuna hidastaa huomattavasti säkin lämpenemistä ja taimien kuivumista auringon paisteessa [182].

Ulkona talven yli varastoitavat taimet pakataan syksyllä yleensä ritiläpohjaisiin, vettä läpäiseviin muovialustoihin (paperikennoalustat) tai muihin avonaisiin reititettyihin muovilaatikoihin. Osa avomaalla varastoiduista taimista lajitellaan ja pakataan vasta keväällä joko muovialustoihin, mutta enenevässä määrin myös muovitettuihin avonaisiin tai suljettaviin pahvilaatikoihin. Pieni osa tarhan lähialueille toimitettavista taimista viedään metsään kasvatusarkeissa, mutta nekin lajitellaan ja täydennetään tarvittaessa ennen lähetystä. Isoja kuusentaimia pakataan keväällä myös muovikasseihin.

Pahvilaatikoiden käyttö on pakkasvarastoinnin yleistyessä Suomessa lisääntynyt voimakkaasti. Laatikko suojaa taimia mekaanisilta vioituksilta, kuivuudelta ja lieviltä halloilta (0…-3 °C). Pahvilaatikoiden ongelma on pakkausten hävittäminen käytön jälkeen. Jos taimet on ruiskutettu torjunta-aineella tukkimiehentäitä vastaan laatikossa, ei laatikoita saa polttaa, vaan ne on toimitettava kaatopaikalle hävitettäviksi. Pahvipakkaus on verraten kalliskin. Kanadassa ja Yhdysvalloissa on osittain siirrytty käyttämään kovamuovisia, kannellisia laatikoita, jotka palautetaan taimitarhalle [140].

10.4 Varastointi

Taimien talvivarastointi on tullut yhä tärkeämmäksi ja vaativammaksi osaksi taimituotantoa. Aikaisemmin kun paljasjuuritaimia tuotettiin pienillä tarhoilla, ne nostettiin keväällä ja kuljetettiin lähiseudulle istutettaviksi eikä ollut tarvetta pitkäaikaiseen varastointiin. Tarhojen tuotantomäärien suurennuttua ja kuljetusmatkojen pidennyttyä, kevättöiden ruuhkautumista pyrittiin välttämään nostamalla, lajittelemalla ja varastoimalla osa taimista jo syksyllä. Paakkutaimetkin varastoitiin aluksi ulkokentillä. 1960-luvulla alettiin paljasjuurisia taimia varastoida jäähdytetyissä tiloissa Englannissa [38] ja paakkutaimien pakkasvarastointi alkoi lisääntyä Ruotsissa 1970-luvulla ja meillä 1990-luvulla. On arvioitu, että nykyään noin puolet tuotannosta Suomessa varastoidaan pakkasvarastossa.

Taimien varastointi ei paranna taimien laatua. Varastointitarpeet johtuvat pääosin muista syistä, kuten ruuhkien tasoittamistarpeesta. Pakkasvarastossa taimia tosin pystytään pitämään lepotilassa ja stressinkestävinä pitempään keväällä [141, 395]. Jäähdytettyjen varastojen käytöllä pyritään myös välttämään ulkovarastoinnin riskit: lumen puutteesta johtuva juurten paleltumisriski ja ahavakuivuminen, nopeiden lämpötilavaihteluiden aiheuttamat pakkasvauriot sekä tauti- ja myyrätuhot. Suuret etäisyydet tai korkeuserot tarhan ja istutuspaikan välillä voivat myös edellyttää taimien pitämistä lepotilassa pidempään keväällä tai vaihtoehtoisesti toimittamaan taimet istutukseen jo kun tarhalla on vielä lumipeite.

Pakkasvarastointia voi hyödyntää kevätistutuskauden jatkamisessa. Lepotilaiset taimet kestävät kuivuutta ja kylmyyttä paremmin kuin ulkona varastoidut taimet. Erityisesti kuivissa olosuhteissa lepotilainen taimi menestyy kasvussa istutettua paremmin [141]. Pakkasvarastoidut männyntaimet on kuitenkin otettava varastosta kesäkuun ensimmäisellä viikolla ja kuusentaimet ennen kesäkuun puoliväliä. Myöhemmin varastosta otettuina riski kasvaa, että taimet eivät ehdi kasvaa ja karaistua ennen syyshalloja tai talven tuloa [157].

10.4.1 Avomaavarastointi

Hyvältä avomaavarastointipaikalta edellytetään seuraavia ominaisuuksia:

- Vettä läpäisevä maa ja hyvä salaojitus, etteivät sadevesi ja lumen sulamisvedet jää seisomaan kentälle
- Pieni hallariski (loiva rinne, ei notkelma)
- Tuulen suojainen (tuuliaidat/lumiaidat)
- Lumetusmahdollisuus
- Mahdollisuus myyräaitojen rakentamiseen (kuva 10.12)

Varastoinnin onnistumisen kannalta on tärkeää, että taimiarkit lasketaan tiiviisti maata vasten ennen maan jäätymistä. Maan jäädyttyä juuripaakut jäähtyvät nopeammin kuin sulaan maahan lasketuissa arkeissa ja sepelialustalla nopeammin kuin hiekka-alustalla [60]. Kuivahtaneet juuripaakut jäähtyvät nopeammin kuin märät paakut. Maahanlaskun jälkeen reuna-arkit suojataan sivulta hiekalla, purulla tms., sillä ilman suojausta reuna-arkkien lämpötila voi laskea 2–3 °C muita alhaisemmaksi [256].

Jos taimet jätetään alas maahan lasketuille suuralustoille, jää taimiarkkien ja maan välin alustasta riippuen 2–5 cm rako, joka pysäyttää tai heikentää lämmön siirtymistä maasta paakkuihin. Tiiviisti maata vasten asetetuissa taimiarkeissa on -20 °C pakkasella mitattu juuripaakusta 5 °C korkeampia lämpötiloja kuin 2 cm maasta irti olevalla suuralustalla [386]. Mikäli taimet kuitenkin varastoidaan maahan lasketuille suuralustoille, on niiden reunat syytä suojata ilman kierron



Kuva 10.12. Myyriä vastaan pelleillä suojattu kuusen paakkutaimien avomaavarasto (EO).

estämiseksi. Myös versoja suojaavilla tuulisuojilla voidaan vähentää vahinkojen syntyä. Tuuli lisää myös pakkasvaurioita. Tuulenpuoleisissa arkeissa taimet jäähtyvät nopeammin ja ovat alttiimpia pakkaskuivumiselle kuin keskellä kasvustoa [60].

Suojarakenteet

Ulkovarastointi jaetaan kolmeen ryhmään varastointiolosuhteita parantavien suojarakenteiden mukaan [233]:

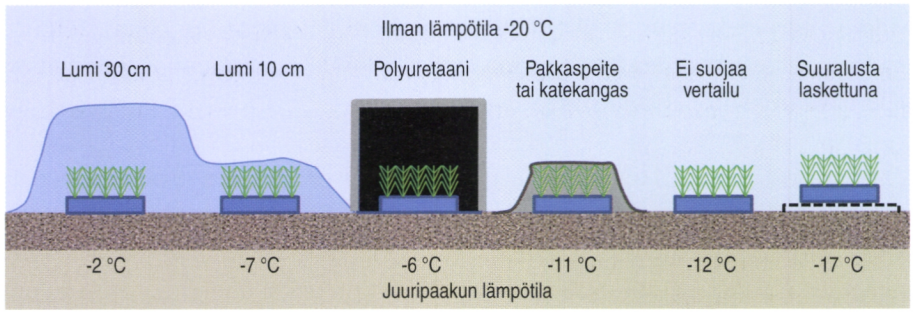
- Avomaavarastointi, ilman rakennettua suojaa
- Varastointi taimien varaan laskettavien suojakatteiden/peitteiden alla
- Tukirakenteiden varaan rakennetut suojat

Suomessa ulkovarastointi on toteutettu perinteisesti vain lumen suojaavaan vaikutukseen turvautuen, eikä katteita tai rakennelmia ole juuri käytetty. Suonenjoella toteutettu testi osoitti, että kevyet suojakankaat nostavat juuripaakun lämpötilaa 1–3 °C ulkolämpötilasta ja maaperän lämpötilasta riippuen. Parhaan suojan lumettomassa tilanteessa antoi 5 cm vahvuisesta polyuretaanilevystä rakennettu suoja, joka nosti juuripaakun lämpöä 4–8 °C maahan suojaamattomaan arkkiin verrattuna. Lumi on kuitenkin paras suoja, sillä 30 cm vahvuisen lumikerroksen alla juuripaakun lämpötila oli -2 °C ja 10 cm lumikerroksen alla -7 °C ilman lämpötilan ollessa -20 °C (kuvat 10.13 ja 10.14) [386].

Jos muovia käytetään katteena, se ei saa olla valoa läpäisevä, vaan mieluiten heijastava, jotta taimet eivät kevätauringossa lämpene ja kuivu. Katteita käytettäessä myyrätuhoriski kasvaa, jollei aluetta ole hyvin aidattu. Keväällä katteet on poistettava hyvissä ajoin paakkujen kuivumisvaaran vuoksi.

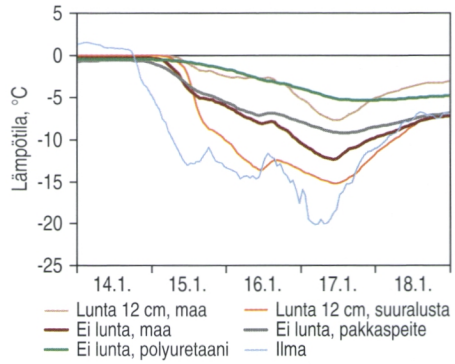
Keinolumetus

Vähälumisina talvina taimia voidaan suojata keinolumetuksella. Ruotsissa on keinolumetuksesta taimitarhoilla kokemuksia jo 1980-luvulta [257] ja Suomessa 1990-luvulta [309]. Ongelmana voi kuitenkin olla leudon syksyn jälkeiset ja nopeat pakkasjaksot loka-marraskuussa, jolloin juuristojen pakkaskestävyys on vielä heikko, eikä lumetusta ehditä toteuttaa. Lämpötilan pitää laskea alle alle 0 °C ja suhteellisen kosteuden alle 50 % ennen kuin lumitykki toimii kunnolla. Mitä korkeampi suhteellinen kosteus, sitä kylmempää ilmaa lumetus edellyttää. Yleensä lumetusta ei aloiteta ennen kuin lämpötila laskee -2…-4 °C:seen. Mitä kylmempää on, sitä parempilaatuista lunta saadaan. Keväällä tykkilumi säilyy kauemmin kuin luonnonlumi. Tästä voi olla etua taimien lähtiessä hitaammin kasvuun, mutta myös haittaa taimien tautialttiuden lisääntyessä ja taimitoimitusten viivästyessä.



Kuva 10.13. Eri vahvuisen lumikerroksen (30 cm ja 10 cm) ja erilaisten suojakatteiden vaikutus juuripaakun lämpötilaan kun ilman lämpötila on -20 °C [386].

Kuva 10.14. Juuripaakun lämpötila erilaisten katteiden alla ilman lämpötilan laskiessa +2 °C:sta -20 °C:seen. "Ei lunta" tarkoittaa ei lumipeitettä, muissa käsittelyissä 12 cm:n lumipeite. Selitykset: maa=taimiarkit maata vasten, ilman suojaa, polyu.= taimiarkit polyuretaaninkatoksen suojassa, pakkasp.= taimiarkkien päälle laskettu huopamainen pakkaspeite, suural.= taimilaatikot 20 cm korkealla suuralustalla [386].



10.4.2 Jäähdytetyt varastot

Taimivarastoinnissa käytettävät koneellisesti jäähdytetyt varastot voidaan jakaa kahteen ryhmään säilytyslämpötilan perusteella. Yli 0 °C:n (0,5…2 °C) lämpötilan varastoa kutsutaan viileävarastoksi (joskus kylmävarastoksi) ja alle 0 °C:n (-1…-4 °C) lämpötilan varastoa pakkasvarastoksi. Myyntiin toimitettavia taimia varastoidaan pääasiassa pakkasvarastoissa ja jatkokasvatettavia taimia viileävarastossa.

Viileävarastot ja pääosa pakkasvarastoista ovat suorajäähdytteisiä, jossa kylmä ilma puhalletaan varastotilaan. Osa pakkasvarastoista on vaippajäähdytteisiä, joissa jäähdytetty ilma kiertää varaston seinämissä. Vaippajäähdytteisissä varastoissa ilman kosteus on helpompi pitää korkeana.

Pakkasvarasto

Pakkasvarastoa käytetään monta kuukautta (2–8 kk) kestävään taimivarastointiin. Taimet pakataan loka–marraskuussa muovitettuihin pahvilaatikoihin tai säkkeihin. Pahvilaatikot pinotaan päällekkäin trukkilavoille, pinojen nurkat tarvittaessa vahvistetaan ja laatikkopino kääritään muoviin kuivumisriskin pienentämiseksi.

Mikäli varaston kosteus on yli 95 %, kuivumisriski on pienempi, Suorajäähdytteisten pakkasvarastojen kosteus on yleensä 80–90 %, minkä vuoksi taimet on pakattava tiivisiin pakkauksiin.

Viileässä (+1…+5 °C) toteutetun esijäähdytyksen on havaittu nopeuttavan paljasjuuristen taimien juurten pakkaskestävyyden kehitystä ja parantavan taimien pakkasvarastointikestävyyttä aikaisissa syys–lokakuun varastoinneissa [347, 448]. Jos taimet on siirretty viileävarastoon sen jälkeen kun maan lämpötila on laskenut viileävaraston lämpötilaa kylmemmäksi, ei esijäähdytyksestä ole ollut hyötyä. Paakkutaimilla juurten lämpötila seuraa ilman lämpötilaa, minkä vuoksi lämpiminä syksyinä paakkutaimet saattaisivat hyötyä 2–4 viikon esijäähdytyksestä. Menetelmää on kuitenkin syytä testata ennen käyttöön ottoa. Erityisesti homehtumisriskiin on kiinnitettävä huomiota esijäähdytyksessä.

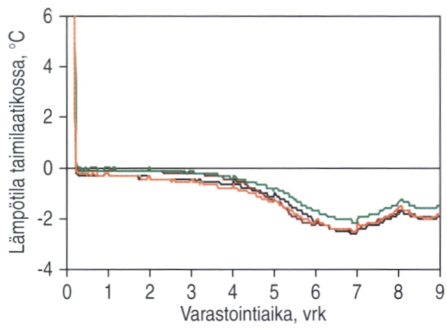


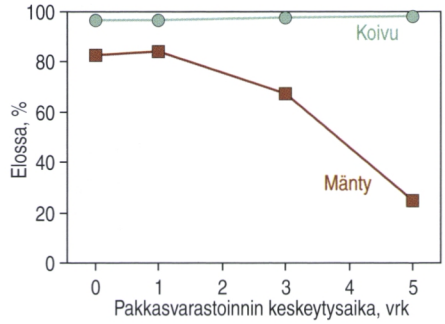
Kuva 10.15. Pakkasvarastossa taimet on suojattava kuivumista vastaan ja laatikkopinojen väliin on jätettävä tilaa pakkausten nopean jäähtymisen turvaamiseksi ja pakkauksista taimien hengityksessä vapautuvan lämmön poisjohtamiseen.

Laatikkopinojen välille jätetään ilmakäytävät samoin kuin korkeassa varastossa päällekkäin ladottavien trukkilavojen väliin, jotta ilma pääsee vapaasti kiertämään (kuva 10.15). Näin varmistetaan, että laatikot jäähtyvät nopeasti ja taimista hengityksen seurauksena vapautuva lämpö pääsee purkautumaan laatikoista ulos (kuva 10.16).

Varaston toimintahäiriöiden ts. lämpö- ja kosteusolojen muutoksien vaikutuksesta taimiin on niukasti tutkimustietoa. Muovisäkkeihin pakattujen paljasjuuristen taimien lämpeneminen huonelämpötilaan 3–5 vrk:ksi heikensi männyn eloonjäämistä selvästi, mutta ei vaikuttanut koivuntaimiin (kuva 10.17) [352].

Kuva 10.16. Pahvilaatikkoon pakattujen taimien lämpötila laskee pakkasvarastossa nopeasti nollaan, jos laatikoiden väliin jätetään ilmakäytävät. Juuripaakun jäätyminen vie lähes viikon ja vasta tällöin versojenkin lämpötila asettuu 1–2 °C varaston lämpötilaa korkeammaksi. Jos varastoidaan suuria taimimääriä lyhyessä ajassa, lämpötilan lasku voi viedä viikkoja ja homehtumisriski kasvaa. Taimien pakkauslämpötila oli 22 °C ja varaston lämpötila -3…-4 °C.





Kuva 10.17. Pakkasvarastoinnin keskeytyksen vaikutus männyn ja koivun paljasjuuristen taimien elossaoloon istutuksen jälkeen [352].

Pahvilaatikoihin pakattujen kaksivuotisten kuusen paakkutaimien varastoinnin keskeytys helmikuussa (laatikoiden siirto 2–4 vrk:ksi +17 °C:seen) lisäsi taimien kuolleisuutta 4–8 %. Kuolleisuus kohdistui pienimpiin taimiin. Tulos on ristiriidassa amerikkalaisen näkemyksen kanssa, jonka mukaan sulaneet taimet voidaan keväällä laittaa uudelleen pakkasvarastoon muutamaksi viikoksi jos istutus viivästyy [396].

Pakkasvarastoinnin riskit

Varastossa voi olla miljoonia taimia samassa tilassa. Tämän vuoksi varaston olosuhteita, lämpötilaa ja kosteutta, on syytä seurata useammasta pisteestä. Myös taimipakkauksien lämpötilaa olisi hyvä mitata ainakin varaston "sisäänajovaiheessa". Pakkausten jäähtymisnopeuden seurantaan soveltuvat pienet automaattiset lämpötilaloggerit. Yleensä taimilaatikoiden lämpötila on taimien hengityksessä vapautuvan lämmön vuoksi 1–2 °C korkeampi kuin varaston lämpötila.

Taimien olosuhteet muuttuvat voimakkaasti pakkasvarastoon siirrettäessä, Pakkauksissa vallitsee pimeys, korkea suhteellinen kosteus (95–100 %) ja tasainen lämpötila (-2...-4 °C) sekä korkea hiilidioksidipitoisuus (yli 1000 ppm). Myös muiden taimista vapautuvien kaasujen, kuten etyleenin pitoisuus pakkauksissa kasvaa. Kohonneen hiilidioksidipitoisuuden vaikutusta varastoituihin taimiin ei ole tutkittu, mutta se tuskin on ongelma. Etyleenin osalta tulokset ovat paljasjuuristen taimien osalta ristiriitaisia [227]. Nostossa vioittuneista juurista voi vapautua haitallisen paljon etyleeniä. Paakkutaimivarastoinnissa etyleenipitoisuus todennäköisesti on kuitenkin niin alhainen, että siitä ei ole haittaa.

Pitkää (>6 kk) varastointiaikaa on pidetty riskinä taimien laadulle [394]. Suomessa ei kahdeksan kuukaudenkaan varastoinnin havaittu heikentäneen kuusen paakkutaimien laatua [141]. Kuusen paakkutaimet selvisivät elossa, vaikkakin heikentyneenä jopa kahden talven yhtäjaksoisesta (19 kk) varastoinnista [376]. Voimakkaasti lannoitettujen taimien kestävyys oli muita heikompi, mikä voi

johtua siitä, että kasvualustan korkea typpipitoisuus aiheuttaa juurten kärkien kuolemista pakkasvarastoinnin aikana [418]. Yli 8 kk:n pakkasvarastointia on kuitenkin syytä välttää.

Pitkäaikaisessa varastoinnissa taimien kuivuminen on homehtumisen ohella suuri riski. Pakattaessa taimia pakkasvarastoon, paakkujen tulee olla riittävän kosteita. Paakkujen sopivasta vesipitoisuudesta ei ole tutkimustietoa, mutta kokemusten mukaan 50–60 til.- % vesipitoisuudessa (paakusta kevyesti puristettaessa tippuu vesi) pakkasvarastoidut taimet ovat parhaassa kunnossa keväällä. Liian märän paakun on epäilty voivan jäätyessään johtaa varastoinnin aikana juurten hapenpuutteeseen.

Taimipakkaukset on suojattava hyvin kuivumiselta. Ilmaa läpäisevät taimipakkaukset, puutteellinen suojaus tai pakkausten rikkoutuminen voivat johtaa taimien latvojen ja silmujen kuivumiseen, joka huomataan yleensä vasta muutama viikon kuluttua pakkausten avaamisesta. Taimipaakkujen alkukosteuteen ja pakkausten tiiviyteen kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti varastoissa, joissa ilma kosteutta ei voida nostaa yli 90 %. Punnitsemalla taimilaatikoita ennen ja jälkeen varastoinnin, voidaan taimien kuivumisesta seurata. Muovitetuissa pahvilaatikoissa pakkasvarastossa (kosteus 90–95 %) 6 kk säilytettyjen paakkutaimien paino keveni paakkujen alkukosteudesta riippuen 4–7 %, mistä ei ollut haittaa taimien jatkokehitykselle.

Pakkasvarastoinnissa taimien hengitys kuluttaa hiilihydraatteja. Myös taimien pakkaskestävyys sekä juurtenkasvupotentiaali muuttuvat varastoinnin aikana. Juurten kasvupotentiaalin on todettu lisääntyvän varastossa neljän ensimmäisen kuukauden aikana ja sitten heikkenevän. Vaikka pakkasvarastoitujen taimien fotosynteesin elpyminen ja taimien kasvuun lähtö ovat hitaampia kuin ulkona tai viileässä varastoiduilla taimilla, ei taimien istutuksen jälkeisessä menestymisessä ole havaittu eroja [168, 288].

Pakkauksissa vallitseva korkea suhteellinen kosteus ja pimeys suosivat homeita ja sienitauteja. Pakkasvarastossa riski on viileävarastoa pienempi, sillä harmaahome ei kasva ja sen itiöt eivät idä alle 0 °C:n lämpötilassa [326]. Riski kuitenkin kasvaa jos pakkauksen lämpötila laskee varastoinnin alkaessa hitaasti tai jos varastoinnin päättyessä taimet joutuvat pitkään olemaan lämpenevissä laatikoissa. Riskiä lisää myös taimien kuivuminen tai paleltuminen ennen varastointia. Onkin erittäin tärkeää, että sairastuneet taimet lajitellaan pois ennen pakkausta [327]. Myös pakattavien taimien pintakosteutta pidetään tautiriskiä lisäävänä [333], joskaan ei ratkaisevana tekijänä [328], sillä umpipakkauksissa ilman kosteus nousee joka tapauksessa lähelle 100 % ja taimien pinnalle tiivistyy kosteutta. Erityisesti, ennen riittävää karaistumista pakatut taimet ovat herkkiä homehtumaan [261, 386].

Viileä varasto

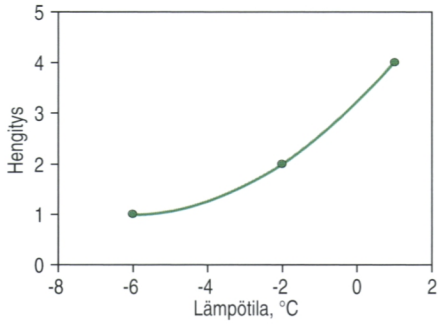
Viileävarastoja käytetään maissa, jossa varastointiaika rajoittuu 1–2 kuukauteen. Ruotsissa viileävarastoissa varastoidaan myös ns. jatkokasvatettavia taimia, joiden juurten pakkaskestävyys myöhäisestä kylvöajankohdasta johtuen jää yleensä heikoksi. Viileävarastossa, jossa ilman kosteus on helpompi nostaa 95–100 %:iin kuin pakkasvarastossa, ei taimia välttämättä tarvitse pakata kuivumista vastaan. Taimet kuitenkin kuivuvat herkästi, jos kostutuksessa sattuu häiriöitä. Jo 85 %:n varastokosteudessa suljetuissa säkeissä varastoitujen paljasjuurimäntyjen kuolleisuus lisääntyi 40 %:iin, kun 95 %:n kosteudessa varastoitujen taimien kuolleisuus oli vain 3 % [280].

Viileävaraston korkeampi lämpötila lisää kuivumisriskiä pakkasvarastoon verrattuna. Paitsi haihdunta myös taimien hengitys (respiraatio) on viileävarastossa voimakkaampi kuin pakkasvarastossa. Kuusen taimien hengitys lähes kolminkertaistuu lämpötilan lisääntyessä -4 °C:sta +1 °C:een (kuva 10.18) [490].

Valittaessa talvivarastointitapaa, kannattaa huomioida varastoinnin biologisten riskien (taulukko 10.1) ja varastointikustannusten lisäksi varastointitavan sopivuus tarhan taimituotannon kasvatusrytmeihin ja taimien toimitusaikoihin. Esimerkiksi mahdollinen kesä- ja syysistutusten lisääntyminen vähentää tarvetta pakkasvarastointiin.

Taulukko 10.1. Eri varastointimenetelmien riskiarvio (0 - ei riskiä, x - riski vähäinen, xx - riski kohtalainen, xxx - riski suuri). Ulkovarastoinnissa riskien vaihtelu on suurinta ja riskit pääosin riippuvat talven sääolosuhteista.

Riski	Ulkovarastointi (-30...+15 °C; lumen alla -5...+2 °C)	Viileävarastointi (+1...+4 °C)	Pakkasvarastointi (-5...-1 °C)
Kuivuminen	xx Lumi ei peitä taimia	xx Alhainen ilman kosteus varastossa	xx Kosteutta läpäisevät pakkaukset tai pakkausten rikkoutuminen
Juurten paleltuminen	xxx Lumeton alkutalvi	0	x Liian aikainen aloitus
Ahava	xxx Lumeton, mutta kylmä ja aurinkoinen kevät	0	0
Hiilihydraattien ehtyminen	x	xx Varastoinnin kesto	0
Taudit ja homeet	xx	xx	x Lian aikainen aloitus
Eläintuhot	xx Myyrä, jänis, kanalinnut (aitaukset!)	0	0



Kuva 10.18. Kuusentaimien hengityksen suhteellinen lisääntyminen varastolämpötilan noustessa [490].

10.4.3 Karaistuneisuuden mittaus ja varastointivalmiuden määrittäminen

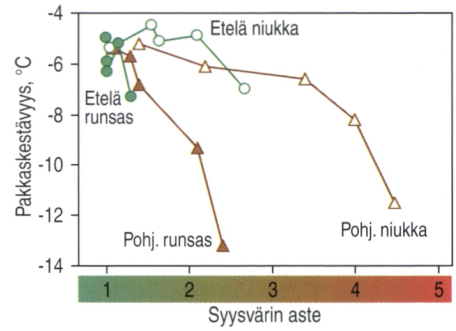
Tietoa taimien pakkaskestävyydestä tarvitaan monessa vaiheessa. Keväisin ja syksyisin arvioidaan hallantorjuntatarvetta, syksyllä mietitään milloin taimet voidaan siirtää muovihuoneesta avomaalle ja milloin taimien pakkasvarastointi voidaan aloittaa. Erityisesti taimien pakkasvarastointivalmiuden tunteminen on tärkeää. Liian varhainen varastointi johtaa taimien paleltumiseen sekä home- ja sienituhovaurioihin.

Silmävarainen määritys

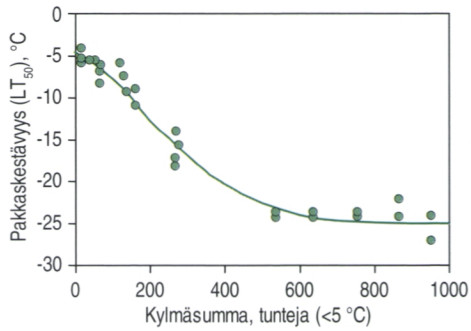
Taimien karaistumista ilmentävät monet silmvaraisesti havaittavat asiat, kuten pituuskasvun päättyminen ja silmun muodostuminen, syysväri (mänty, koivu, lehtikuusi), neulasten vahakerroksen värimuutos (havupuut) sekä lehtien irtoamisherkkyys ja variseminen (koivu ja lehtikuusi). Useat näistä merkeistä, kuten männyn syysvärin kehittyminen eivät kuitenkaan yksiselitteisesti ennusta taimien pakkaskestävyyttä, sillä eri alkuperät ja kasvatustoimenpiteet vaikuttavat niihin eri tavalla [480] (kuva 10.19). Silmävarainen, taimien fenologisiin muutoksiin perustuva karaistuneisuuden arviointi vaatii kokemusta, eikä sen perusteella pystytä riittävän tarkasti määrittämään taimien pakkaskestävyyttä [417].

Kylmäsumma

Päivänpituus ja lämpötila ovat voimakkaimmin karaistumiseen vaikuttavia tekijöitä. Koska päivänpituus toistuu vuodesta toiseen samanlaisena, on lämpötilaan perustuvia ennustemalleja pyritty kehittämään käytännön tarpeisiin. Esimerkiksi douglaskuusella on alle +5 °C lämpötilojen tuntikertymän todettu ennustavan taimien pakkaskestävyyttä [474] (kuva 10.20). Paljasjuuritaimien varastointikelpoisuutta ja juurten pakkaskestävyyttä on ennustettu myös maaperän lämpötilan kylmäsummalla (kynnyslämpötila <+10 °C) [305]. Suomessa ei ole onnistuttu löytämään toimivaa lämpötilan kehittymiseen perustuvaa paakkutaimien pakkaskestävyyden ennustamismenetelmää [156].



Kuva 10.19. Ensimmäisen kesän männyntaimien syysväri voimistuu pakkaskestävyyden lisääntyessä eri tavoin taimien alkuperästä ja lannoituksesta riippuen Pohjoisten ja niukasti lannoitettujen erien taimet saavat voimakkaamman syysvärin kuin runsaasti lannoitetut ja eteläisemmät alkuperät. Sama syysvärin aste ei kuitenkaan ilmennä samaa pakkaskestävyyttä eri käsittelyissä [480].



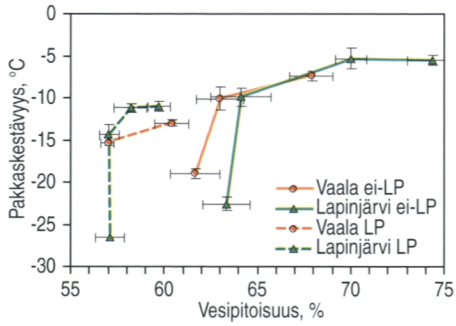
Kuva 10.20. Douglaskuusen taimien pakkaskestävyyden riippuvuus kylmäsummasta [474].

Kuiva-ainepitoisuus

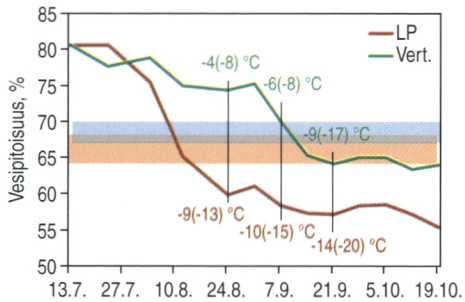
Taimien karaistumiskehitystä on mitattu epäsuorasti seuraamalla verson latvaosan *kuiva-ainepitoisuuden* (*vesipitoisuuden*) muutoksia [150, 265]. Taimien kuiva-ainepitoisuus kasvaa (vesipitoisuus pienenee) pakkaskestävyyden lisääntyessä. Ruotsalaistutkimusten mukaan kuusentaimet ovat saavuttaneet hallankestävyyden, kun niiden latvojen kuiva-ainepitoisuus on 30–33 % (vesipitoisuus 67–70 %) ja varastointikestävyyden, kun latvojen kuiva-ainepitoisuus on 32–36 % (vesipitoisuus 64–68 %) [74]. Männyntaimilla ohjearvot ovat samaa luokkaa.

Suonenjoella toteutetuissa mänty- [480] ja kuusikokeissa [206] ei kuitenkaan ole päästy näin yksiselitteiseen tulokseen. Riippuvuus ei ole suoraviivainen eikä samanlainen eri alkuperillä ja eri tavalla kasvatetuilla taimilla (kuva 10.21). Vaikka verson kuiva-ainepitoisuus ei yksiselitteisesti ennusta taimien pakkaskestävyyttä, se on kuitenkin verraten yksinkertainen ja nopeasti tuloksen antava mittaustapa, jota monet taimitarhat käyttävät.

Luotettavampi tapa arvioida taimien karaistuneisuutta on seurata kuiva-ainepitoisuusarvojen kehittymistä ja pitää arvojen tasaantumista hallankestävyyden ja pakkasvarastointivalmiuden merkkinä (kuva 10.22). Menetelmän käyttö vaatii kokemusta: eri alkuperät, eri-ikäiset ja erilailla käsitellyt taimet käyttäytyvät eri tavoin.



Kuva 10.21. Taimen vesipitoisuus ei ilmennä niiden pakkaskestävyyttä samalla tavalla taimien käsittelystä ja alkuperästä riippumatta. Kuvassa Vaalan ja Lapinjärven alkuperää edustavien yksivuotiaiden kuusentaimien pakkaskestävyyden (LT_{10}) riippuvuus verson latvan vesipitoisuudesta LP-käsitellyssä ja vertailuerässä (ei-LP) [206].



Kuva 10.22. Lapinjärven alkuperää olevan 1-vuotisen lyhytpäiväkäsitellyn (LP) ja käsittelemättömän (vertailu) kuusierän vesipitoisuuden kehitys ja pakkaskestävyys kolmena mittausajankohtana. Ensimmäinen lukema kuvaa lämpötilaa, jonka kaikki taimet kestivät ja sulkeissa oleva lukema lämpötilaa, jossa puolet taimista kuoli [206]. Sininen vaakapalkki kuvaa taimien hallankestävyyttä ja punertava palkki pakkasvarastointikestävyyttä ilmentävää vesipitoisuutta ruotsalaistutkimuksen mukaan [74].

Kuiva-ainepitoisuus (vesipitoisuus) määritetään taimen latvasta, havupuilla ylimmästä 2 cm:stä neulasineen ja lehtipuilla ylimmästä 10 cm:stä lehdettömänä. Taimierästä otetaan esim. kolme viiden taimen näytettä. Näytteet otetaan samaan aikaan vuorokaudesta, mieluiten heti aamulla. Verson tulee olla pinnaltaan kuiva. Haihdunnan estämiseksi näytteiden leikkaus suoritetaan juuri ennen punnitusta tai kentällä leikatut latvanpätkät laitetaan tiiviiseen muovipussiin. Näytepusseja pidetään varjossa ja viileässä (kylmälaukku) näytteenoton ja punnituksen välisen ajan. Näytteet punnitaan tuoreena 0,01 g tarkkuudella. Tuorepunnituksen jälkeen näytteet laitetaan paperipussiin ja kuivataan uunissa (105 °C) 24 tunnin ajan. Uunin voi korvata mikroaaltouunilla [265].Kuivauksen jälkeen näytepussit jäähdytetään eksikaattorissa (kuivattavaa silikageeliä sisältävä astia) 1–2 tunnin ajan, jonka jälkeen punnitaan näytteiden kuivapaino.

Näytteen vesipitoisuus lasketaan:

$$\text{Kuiva-ainepitoisuus} = 100 \times \frac{\text{kuivapaino}}{\text{tuorepaino}}$$

Vesipitoisuus vastaavasti saadaan jakamalla tuorepainon ja kuivapainon erotus tuorepainolla ja kertomalla sadalla.

Määrityksen voi tehdä myös kosteusanalysaattorilla (halogeeni-infrapunavaaka), jolloin erillistä vaakaa, uunia ja eksikaattoria ei tarvita. Yksityiskohtaisempia ohjeita latvan kuiva-ainepitoisuuden (vesipitoisuus) määrittämisestä löytyy kirjallisuudesta [150, 265].

Pakkasaltistustesti

Luotettavin tieto taimien pakkaskestävyydestä saadaan altistamalla taimia testikaapissa (kuva 10.23) alhaisiin lämpötiloihin ja mittaamalla altistuksessa taimiin syntyneet vauriot. Jos halutaan tarkka tieto pakkaskestävyydestä, tarvitaan vähintään 4–5, mieluiten 8 altistuslämpötilaa. Ongelmana onkin menetelmän työläys ja hitaus esim. hallantorjuntatarvetta ja varastointikestävyyttä arvioitaessa.

Menetelmästä on kehitetty yksinkertaisempi, käytäntöön paremmin soveltuva versio. Taimet altistetaan sekä taimia varmasti vaurioittamattomaan vertailulämpötilaan (esim. +5 °C) että testilämpötilaan (esim. -18...-25 °C), jonka varastointivalmiiden taimien tulisi kestää vaurioitumatta [432]. Taimet voi altistaa testilämpötilaan tavallisessa pakastearkussa, johon on lisätty lämpötilan säädön ohjelmointimahdollisuus. Testausta varten kerätään 15–20 taimen näyte. Taimien latvaversoista leikataan kahden sentin palat, jotka jaetaan esim. 4 lasipurkkiin tai koeputkeen ja päälle suihkautetaan kevyesti vettä näytteiden alijäähtymisen estämiseksi. Purkit laitetaan ohjelmoitavaan pakastimeen, jonka lämpötila lasketaan hitaasti (esim. 3–5 °C/h) 2–4 tunniksi testilämpötilaan, minkä jälkeen lämpötila nostetaan (5–10 °C /h) takaisin lähtölämpötilaan.

Pakkasaltistuksen jälkeen vauriot mitataan yleensä ionivuototestillä, kasvatustestillä, impedanssimenetelmällä tai klorofyllifluoresenssimittauksella. Ionivuototesti perustuu altistuksessa rikkoutuneista kasvin soluista vapautuneiden ionien mittaukseen. Kun altistettu neulasnäyte upotetaan tislattuun veteen, solukoista ulos vuotavat ionit nostavat veden sähkönjohtavuutta, joka mitataan johtokykymittarilla. Solujen ionimäärän ja niiden liikkuvuuden vuodenaikaisvaihtelu otetaan huomioon mittaamalla vertailuarvoksi kuumentamalla rikottavista solukoista vapautuvien ionien kokonaisjohtokyky.



Kuva 10.23. Altistettaessa taimet versojen pakkaskestävyyden mittaamista varten pakkaskaappiin, juuripaakut on suojattava, sillä juuret eivät kestä testissä käytettäviä alhaisia lämpötiloja (EO).

Käytännössä pakkasaltistuksen jälkeen kaikkiin purkkeihin lisätään sama määrä ionivaihdettua (tai tis-

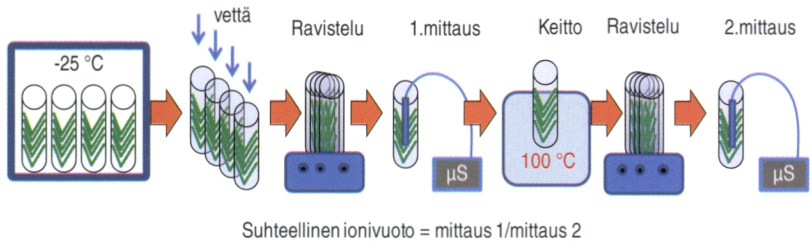
lattua) vettä niin, että versopalat peittyvät ja purkkeja ravistellaan 22 tuntia ravistelijassa (pakkasaltistuksen rikkomista soluista ionit valuvat veteen), minkä jälkeen veden johtokyky mitataan (kuva 10.24). Tämän jälkeen kaikki solut tapetaan kuumentamalla purkkeja 45 min 100 °C:ssa ja mitataan johtokyky uudelleen 22 tunnin ravistelun jälkeen. Taimien pakkaskestävyyttä kuvaava suhteellinen johtokyky lasketaan jakamalla 1. mittauksen johtokykyarvo 2. mittauksen johtokykyarvolla. Vastaavat toimenpiteet tehdään vertailupurkeille, joista saadaan vaurioitumattomien neulasten suhteelliset johtokykyarvot. Ionivuototestiin kuluu altistuksen jälkeen 2–3 vuorokautta.

Kasvatustesti

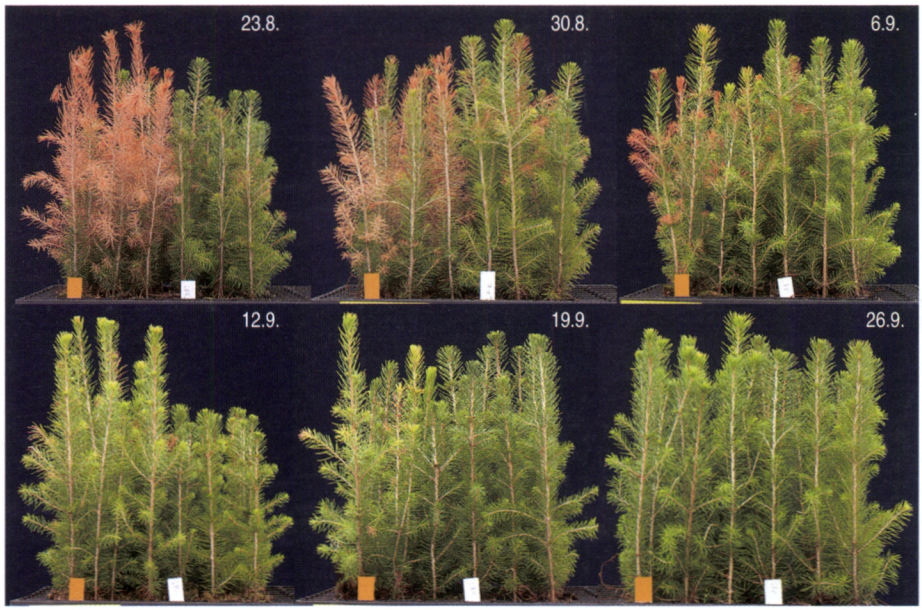
Vaihtoehtona ionivuotomääritykselle on menetelmä, jossa koko taimi altistetaan testikaapissa samalla tavalla kuin edellä ja altistuksen jälkeen taimet tuodaan valoisaan ja lämpimään tilaan kasvamaan. Neulasten ruskettumisen määrästä päätellään taimien kestävyys. Ongelmana on menetelmän hitaus. Elokuu altistuksessa oireet tulevat näkyviin muutamassa päivässä, mutta myöhemmin syksyllä taimien karaistuessa oireiden ilmenemiseen saattaa kulua 2–3 viikkoa (kuva 10.25).

Klorofyllifluoresenssi

Klorofyllifluoresenssi on menetelmä, jossa fluoresenssimittarilla voidaan mitata altistuksen jälkeen taimen yhteyttämiskoneiston kunto. Menetelmä perustuu kasvin lehdessä yhteyttämisessä syntyvän fluoresoivan valon mittaukseen. Pieni osa fotosynteesin valoreaktioissa sidotusta energiasta säteilee takaisin ilmiössä jota kutsutaan klorofyllin fluoresenssiksi. Korkeat arvot viittaavat taimen tehokkaaseen yhteyttämiseen ja siten hyvään elinvoimaisuuteen. Menetelmän etuna on nopeus taimen solukon elävyyden määrittämisessä [208]. Menetelmällä on osoittautunut hyväksi ja nopeaksi taimien pakkasvaurioiden mittaamisessa [248].



Kuva 10.24. Periaatekuva ionivuototestin työvaiheista -25 °C altistetuille taimille. µS=johtokykymittari.

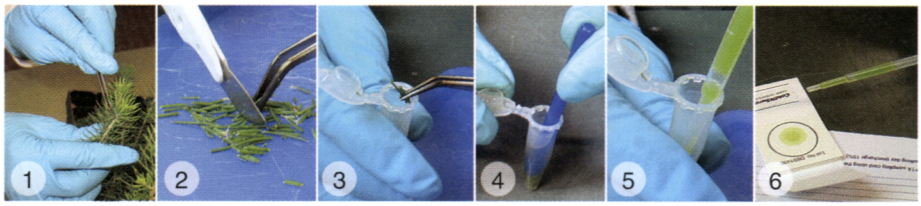


Kuva 10.25. Pakkasaltistuksen jälkeen tehtävä neulas- ja silmuvaurioihin perustuva taimien silmävarainen pakkaskestävyyden määritys on hidas ja jossain määrin epävarma menetelmä, koska vaurioiden ilmaantumista joudutaan odottamaan pisimmillään 3-4 viikkoa altistuksen jälkeen ja vauriot ovat erilaisia karaistumisen edetessä. Kuvissa 23.8.–26.9. -6 °C:seen altistettuja lyhytpäiväkäsiteltyjä (□) ja käsittelemättömiä (■) kuusen taimia (EO).

Geenitesti

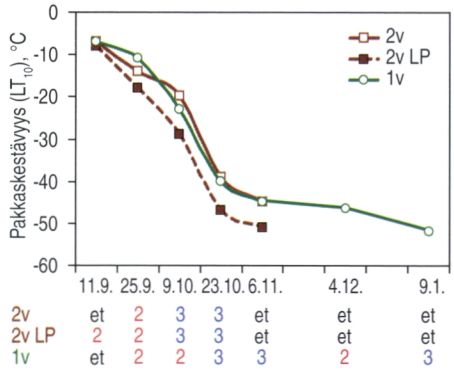
Taimien pakkasvarastointivalmiuden mittaamiseen on kehitetty ns. geenitesti (ColdNSure). Testi perustuu ns. DNA ekspressioon (ilmenemiseen). Testiin on valittu indikaattoreiksi geenejä, joiden ekspression on havaittu muuttuvan taimien karaistumisen myötä [15, 172]. Testejä on kehitetty pyökille, männylle, kuuselle, douglaskuuselle ja lehtikuuselle (http://www.nsure.nl/). Taimien varastointikestävyys voidaan testillä luokitella kolmeen luokkaan: (1) ei kylmänkestävyyttä, (2) kylmänkestävyys kehittymässä ja (3) kestävä, varastointivalmis.

Testipakkaus sisältää pienen stabilointiliuoksella täytetyn koeputken, muovisen minisurvimen, kertakäyttöpipetin ja FTA-testipahvin, pienen silikageelipussin, käyttöohjeet, tarrat, lähetelomakkeen sekä palautuskuoren. Testaaminen ColdNSure-testillä tapahtuu ottamalla testattavasta taimierästä satunnaisesti 10–20 myyntikriteerit täyttävää tainta (kuva 10.26). Taimien latvaosista irrotetaan muutamia neulasia, jotka pätkitään ja siirretään koeputkeen. Koeputkessa näyte murskataan minisurvimella (enintään 1 min) niin, että neste muuttuu vihreäksi. Nestettä pipetoidaan pisara pahviselle FTA-kortille, jonka annetaan kuivua noin tunnin ajan huoneen lämmössä. Näytetarralla varustettu kortti laitetaan minigrippussiin silikageelipussin kanssa ja lähetetään taimi- ja osoitetietoineen NSure



Kuva 10.26. Neulasnäytteen otto ja valmistaminen ColdNSure-testiin: 15 taimen latvaosasta otetaan kustakin muutama neulanen (1), neulaset silputaan (2), silppu laitetaan nesteeseen koeputkeen (3), ja hierotaan sauvalla niin, että neste muuttuu vihreäksi (4), liuosta pipetoidaan koeputkesta tippa(5) FTA-pahvikortille(6), joka lähetään ColdNSure-laboratorioon analysoitavaksi. [385]

-laboratorioon. Vastaus luvataan sähköpostilla kahden arkipäivä kuluessa näytteen saapumisesta. Kokemusten mukaan ColdNSure-testi mittaa syksyllä luotettavasti taimien varastointikelpoisuuden antaen ehkä jopa hieman liian varovaisen arvion pakkaskestävyyden kehittymisestä [385] (kuva 10.27).



Kuva 10.27. Taimien pakkaskestävyyden (LT_{10}) kehitys syksyn aikana. Ala-asetelmassa on ColdNSure -testin osoittama kestävyysluokka ao. ajankohtana (1 - ei kestävyyttä, 2 - kestävyys kehittymässä, 3 - kestävä, et = ei testattu). Kaikki 9.10. tai sen jälkeen varastoidut taimet säilyivät hyvin varastossa, mutta syyskuussa varastoiduissa taimissa esiintyi keväällä vaurioita ja hometta ja niiden kasvutestitulokset olivat heikot [385].

10.4.4 Taimien testaus varastoinnin jälkeen

Sekä pakkasvarastoitujen että ulkona varastoitujen taimien kunto on syytä testata keväällä hyvissä ajoin ennen metsään toimitusta. Näin vältytään harmeilta, joita syntyy kun taimet on ehditty viedä metsään tai mahdollisesti jo istuttaakin ennen ongelmien havaitsemista. Näitä ongelmia voivat olla ns. piilevät taudit, esim. männyllä versosurma sekä männynkariste ja kuusella juurilaho tai juurten paleltuminen talven aikana.

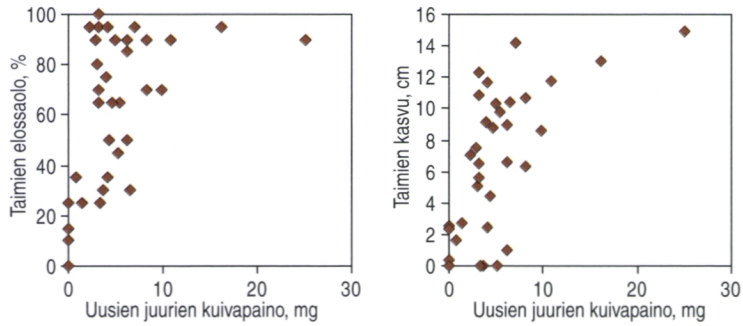
Juurten kasvupotentiaali

Taimen nopea istutusalalle mukautuminen edellyttää, että uudet juuret kasvavat nopeasti paakusta ulos istutusmaahan. Juurten kasvupotentiaalin ((Root Growth Capacity (RGC), Potential, (RGP)) käyttö taimien laatumittarina pohjaa tähän ajatukseen. Juurten kasvupotentiaali määritellään taimen kykynä kasvattaa uusia juuria suotuisissa lämpö-, valo- ja kosteusolosuhteissa [40, 41].

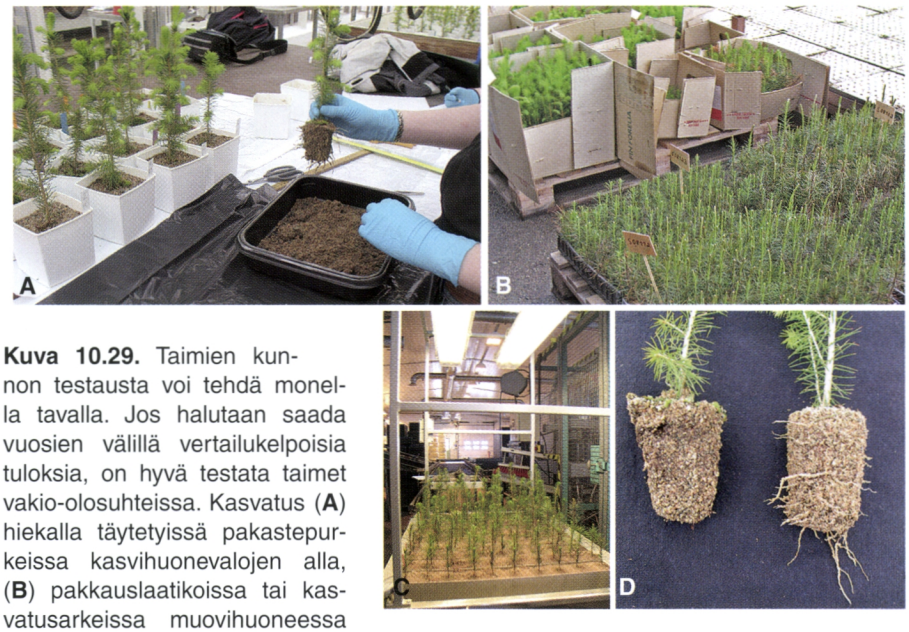
Testi toteutetaan yleensä istuttamalla koe-erä satunnaisesti valittuja taimia hiekkaan tai hiekansekaiseen turpeeseen ja kasvattamalla niitä muutaman viikon suotuisissa olosuhteissa. Tulos mitataan laskemalla kasvatuksen jälkeen uusien juurien lukumäärä, mittaamalla niiden yhteispituus tai punnitsemalla niiden paino.

Testiä on tutkittu paljon ja todettu, että testitulokset eivät aina ennusta taimien todellista maastomenestymistä ja vaihtelu on voimakasta (kuva 10.28). Testiä on myös arvosteltu siitä, että se tehdään suotuisissa kasvuolosuhteissa, vaikka taimet joutuvat istutuksen jälkeen usein ankariin olosuhteisiin [433]. Epävarmuudestaan huolimatta kasvupotentiaalitesti on yleistynyt ja lienee käytetyimpiä taimien kuntotestejä maailmalla tällä hetkellä. Testiin ei kuitenkaan ole saatavissa yksiselitteisiä viite- tai raja-arvoja. Brittiläisessä Kolumbiassa edellytetään myyntikelpoiselta erältä, että juuripaakusta kasvaa testin aikana vähintään10 uutta yli 10 mm:n mittaista juurta [434]. Juurten kasvupotentiaalitesti ei ole puulajista, alkuperästä tai olosuhteista riippumaton, mutta testin tulos kertoo ovatko juuret ja versot elossa.

Käytännössä juurten kasvupotentiaalitestiä toteutetaan monin eri tavoin (kuva 10.29). Taimia voidaan istuttaa tarkasti säädettäviin vakio-olosuhteisiin ja taimien kasvua mitata tarkasti, jolloin tulokset ovat vertailukelpoisia paitsi eri taimierien välillä myös eri vuosien välillä. Toisaalta yksinkertaisimmillaan testi toteutetaan tuomalla taimiarkkeja lämpimään, valoisaan tilaan 3–5 viikoksi, jonka jälkeen tarkastellaan silmävaraisesti versojen ja juurten kasvuun lähtöä.



Kuva 10.28. Juurtenkasvupotentiaalitestissä hajonta on usein suuri ja ennustearvo taimien istutusmenestymisestä verraten heikko. Testin perusteella kuitenkin pystytään erottelemaan täysin kelvottomat taimierät. Kuvassa kokeeseen istutettujen, keinotekoisesti pakkasaltistuksessa istutusta edeltävänä talvena vioitettujen 2-v kuusen paakkutaimien kahden istutuksen jälkeisen vuoden elossaolon ja pituuskasvun riippuvuus taimien juurtenkasvupotentiaalitestissä (RGC) paakusta ulos kasvaneiden uusien juurien kuivapainosta. Jos kuvan erien hylkäämisen raja-arvoksi asetetaan 10 mg/taimi, taimien elossaolo on >80 % ja pituuskasvu >10 cm [201].



Kuva 10.29. Taimien kunnon testausta voi tehdä monella tavalla. Jos halutaan saada vuosien välillä vertailukelpoisia tuloksia, on hyvä testata taimet vakio-olosuhteissa. Kasvatus (**A**) hiekalla täytetyissä pakastepurkeissa kasvihuonevalojen alla, (**B**) pakkauslaatikoissa tai kasvatusarkeissa muovihuoneessa luonnonvalossa, (**C**) hiekkaan istutettuina RGC-pöydässä, jossa voidaan vakioida kasvualustan lämpötila ja valaistus. (**D**) Tulos saadaan arvioimalla/laskemalla uusien paakusta uloskasvaneiden juurien määrä tai mittaamalla niiden pituus tai punnitsemalla kuivapaino.

Tällaisen menettelyn heikkous on olosuhteista (valo, lämpö, kasvualustan kosteus) aiheutuva vaihtelu, mikä vaikuttaa voimakkaasti etenkin uusien juurten kasvuun eri testikertojen välillä.

Ongelmallisin ja tuloksiin ehkä voimakkaimmin vaikuttava asia on kuitenkin näytteiden valinta. Jos otanta kohdistuu vain muutamiin kymmeniin taimiin, jotka on poimittu muutamasta tai peräti vain yhdestä taimiarkista, jää epävarmaksi edustaako näyte riittävän hyvin koko taimierää. Satunnaisotantakaan ei aina takaa oikeaa tulosta, sillä ongelmat eivät välttämättä esiinny tasaisesti läpi taimierän. Esimerkiksi tautien aiheuttamat vauriot ovat yleensä taimikentän painanteissa ja pakkas- sekä kuivuusvioitukset reunimmaisissa taimiarkeissa.

Koska kevättalvella lumen alta tai pakkasvarastostakaan ei ole aina helppo poimia näytetaimia, syntyy houkutus koota näytetaimet jo syksyllä eri puolilta taimikenttää muutamaan arkkiin ja sijoittaa ne paikkaan mistä arkit on helpompi hakea kevättalvella testiin. Menettely on hyvä tarkasteltaessa kasvatuksen vaikutusta taimien laatuun. Se ei kuitenkaan aina paljasta mahdollisia talvivaurioita, jotka voivat esiintyä laikuittaisesti kasvatuskentässä. Sama koskee tietyssä määrin myös pakkasvarastoituja taimia.

Parempi, mutta työläämpi tapa on merkitä pitkillä kepeillä keväällä lumen alta nostettavat taimiarkit syksyllä etukäteen. Jos testattavat taimet istutetaan esim. hiekkaan ja arvioidaan tai lasketaan paakusta uloskasvaneiden, uusien juurien määrä kasvatuksen jälkeen, tarvitaan taimierän koosta riippuen 30–60 näytetainta vähintään 4–6 taimiarkista valittuna.

Kun taimet on otettu ulkoa tai pakkasvarastosta, on ne sulatettava 5–15 °C lämpötilassa hämärässä tai pimeässä, jotta neulaset eivät kärsi kuivuudesta juuripaakun ollessa vielä jäässä. Kasvatusolosuhteet säädetään juurten kasvulle suotuisiksi, jotta testitulos saadaan nopeasti:

- Lämpötila 19–22 °C.
- Kasvualusta ilmava, mutta kostea (esim. hiekkaa tai hiekan ja turpeen seosta)
- Kasvualustasta ja olosuhteista riippuen kastelu 2–4 kertaa viikossa.
- Riittävä valaistus (250–400 µmol m^{-2} s^{-1} eli noin 20000–30000 lx), päivän pituus 18–20 tuntia.

Testikasvatukseen on Ruotsissa kehitetty kasvatusalustan lämpötilan säädöllä ja aikaohjatuilla valoilla varustettu kasvatuspöytä, jossa voidaan saavuttaa tasaiset ja toistettavat olosuhteet [286] (kuva 10.29c). Myös vesiallaskasvatukseen ja sumukammiokasvatukseen on kehitetty ohjeita [397].

Kasvatuksen jälkeen juuripaakku irrotetaan varovasti kasvatusastiasta ja kasvupotentiaali määritetään punnitsemalla paakusta uloskasvaneet uudet juuret tai laskemalla yli 1 cm mittaisten uusien juurien lukumäärämäärä. Työn jouduttamiseksi juurten määrä voidaan luokitella [458]:

0	ei uusia juuria	**4**	11–30 kpl uusia (> 1 cm) juuria
1	joitakin uusia (< 1 cm) juuria	**5**	31–100 kpl uusia (> 1 cm) juuria
2	1–3 kpl uusia (> 1 cm) juuria	**6**	101–300 kpl uusia (> 1 cm) juuria
3	4–10 kpl uusia (> 1 cm) juuria	**7**	yli 300 kpl uusia (> 1 cm) juuria

Juurten lisäksi kannattaa tarkastaa silmujen kunto ja mitata testin aikana kasvaneen uuden vuosikasvun pituus sekä vanhojen neulasten kunto (ruskettuneiden neulasten osuus).

Testit tehdään yleensä kevättalvella. Juurten kasvupotentiaalilla on oma vuodenaikaisrytmi (kuva 2.21), joten eri ajankohtien testitulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Syksyllä uusien juurien kasvunopeus on hitaampi ja määrä on alhaisempi, mutta vakavien juuristovaurioiden erottamiseen menetelmä toimii syksylläkin.

10.5 Pakkausmerkinnät

Laki (241/2002) ja asetus (1055/2002) metsänviljelyaineiston kaupasta määräävät markkinoitavaan taimierään liitettäväksi etiketin tai muun asiakirjan, johon on merkitty taimien ostajalle taimimateriaalista annettava tiedot. Tiedot mahdollistavat taimierän alkuperä- ja kasvatustietojen myöhemmän jäljittämisen. Lisäksi metsäpuiden taimet pitää varustaa säädösten mukaisella kasvipassilla, kun niitä markkinoidaan toisille toimijoille tai metsänomistajille. Tuotantopaikan valvonnasta kertova kasvipassi on yleensä yhdistetty taimietikettiin (kuva 10.30).

Kasvipassi on pakollinen useimmille meillä metsätaloudessa käytettävien puulajien taimille koivuntaimia lukuun ottamatta. Sen sijaan taimietiketissä ostajalle annettavat tiedot koskevat myös koivuntaimia. Etiketin tiedoista tärkein on kantatodistuksen koodi ja numero (esim. EY/FIN/ M29-93-0001), jonka perusteella voidaan jäljittää mm. taimierän alkuperä. EY/FIN-maakoodin jälkeisen numerosarjan alkuosa (M29) on karistamotunnus, keskiosa (93) on siemenen tuleentumisvuosi, jonka perusteella voidaan laskea siemenerän ikä ja jälkiosa (0001) karistuserän juokseva numero.

Taimierän siemenen alkuperätietojen lisäksi etiketissä määritellään lämpösumman avulla luokkiin ”alustavasti testattu” ja ”testattu” kuuluvien taimien käyttöalue. ”Siemenlähde tunnettu” -luokkaan kuuluville taimille ilmoitetaan siemenen lähtöisyysalueen numero, pituus- ja leveysvyöhykkeet sekä keruupaikkakunta. ”Valikoitu”-luokan taimille ilmoitetaan pituus- ja leveysasteilla määritetty siemenkeräysmetsikön paikkakunta sekä sen maantieteellinen sijainti.

Lisäksi etiketissä ilmoitetaan taimierän keskipituus ja yksittäisen taimen vähimmäispituus sekä taimien kasvatustiheys. Etikettiin, pakkaukseen tai lähetyslistaan on merkittävä myös päivämäärät, milloin taimet on pakattu, pakkasvarastointi lopetettu ja taimet lähetetty taimitarhalta.

10.6 Taimien luovutustarkistus ja jälkihoito

Taimien laatu on parhaimmillaan taimitarhalla. Vaikka vastuu taimierästä siirtyy vastaanottajalle, vastaa taimen tuottaja mahdollisista tarhaperäisistä piilevistä ongelmista taimien lähetyksen jälkeenkin. Tuottajan on myös tuotteensa ominaisuudet parhaiten tuntevana velvollisuus huolehtia siitä, että ostaja saa pakollisten, taimietiketissä ilmoitettavien tietojen lisäksi riittävät tiedot taimien jatkokäsittelyyn. Tuottajankin etu on, että taimet ovat hyvässä kunnossa istutettaessa.

EY-KASVIPASSI / TAIMIETIKETTI	
FI / Evira / 87902	
Oy Taimiplant Ab	
Närekuja 1, 0X000 Taimela. Puh. 020 001 0001	
Kasvatuspaikka	Luhanka
Kantatodistuksen koodi	EY/FIN/M29-98-0010
Taimierän numero	TP02/006
Puulaji	**Kuusi** *Picea abies*
Taimien ikä ja tyyppi	2 v, paakku (BCC64s)
Määrä	64 kpl
Mv-aineiston luokka	**Alustavasti testattu**
Perusaineisto	
tyyppi	Siemenviljelys
rekisteriviite	Sv235
lähtöisyysalue	–
sijainti	60°55'N, 26°13'E
alkuperäisyys	–
levinneisyys	–
Käyttötarkoitus	Metsätalous
Käyttöalue (lämpösumma)	1020-1220 d.d.
Keski- / vähimmäispituus	26 / 16 cm
Kasvatustiheys	432 kpl/m^2
Pakkaus pvm	22.10.2002
Pakkasvarastointi päättyi	2.6.2003
Lähetys pvm	4.6.2003

EY-KASVIPASSI / TAIMIETIKETTI	
FI / Evira / 12345	
Tunturitaimi Oy	
Siementie 1, 0X000 Kelovaara. Puh. 020 002 0011	
Kasvatuspaikka	Sodankylä
Kantatodistuksen koodi	EY/FIN/G4-72-555
Taimierän numero	TP02/007
Puulaji	**Mänty** *Pinus sylvestris*
Taimien ikä ja tyyppi	1 v, paakku (PL256)
Määrä	256 kpl
Mv-aineiston luokka	**Siemenlähde tunnettu**
Perusaineisto	
tyyppi	Siemenlähde
rekisteriviite	psy 9
lähtöisyysalue	Mänty 9
sijainti	67°20'–67°40'N 25°10'–25°30'E, Kittilä
alkuperäisyys	Tuntematon
levinneisyys	–
Käyttötarkoitus	Metsätalous
Käyttöalue (lämpösumma)	–
Keski-/vähimmäispituus	8 / 5 cm
Kasvatustiheys	1600 kpl/m^2
Pakkaus pvm	20.6.2003
Pakkasvarastointi päättyi	–
Lähetys pvm	23.6.2003

Kuva 10.30. Esimerkkejä luokkiin 'alustavasti testattu' ja 'siemenlähde tunnettu' kuuluvista siemeneristä kasvatettujen taimien pakkauksiin liimattavista etiketeistä. Taimietikettiin voi lisätä tai taimien mukana muulla tavoin antaa muitakin kuin lakisääteisiä tietoja. Ei-pakollisia tietoja voisivat olla tiedot esimerkiksi taimien tyviläpimitasta, lyhytpäiväkäsittelystä, mykorritsaymppäyksestä ja ravinnepitoisuuksista.

Hyvän yhteistyön perusta on luottamus taimituottajan ja asiakkaan välillä. Perustan luottamukselle voi luoda tarkastamalla toimitettavat taimierät yhdessä jo kasvatusvaiheessa tai edellisenä syksynä, kun ne ovat valmistuneet.

Tuottajan ja asiakkaan on hyvä luoda yhteiset rutiinit taimien vastaanottotarkastuksille. Tarkastusta varten voidaan taimierän mukana toimittaa palautettava lomake, johon asiakas kirjaa tarkastuksessaan havaitsemat asiat. Lomake toimii dokumenttina myös jälkikäteen, mikäli taimierässä ilmenisi ongelmia.

Lomakkeeseen on hyvä kirjata ainakin seuraavia asioita:

- Taimierän tiedot (taimietiketistä), vastaako tilattua.
- Lähetyspäivämäärä (tarrasta) ja vastaanottopäivämäärä.
- Ovatko pakkaukset ehjiä ja ovatko taimet pakkauksessa järjestyksessä ja hyvässä kunnossa.

- Ovatko neulaset terveitä ja lujasti kiinni rangassa.
- Ovatko juuripaakut ehjiä ja kosteita/kuivia/jäässä.
- Jos ongelmia esiintyy, ongelman lyhyt kuvaus ja kuinka suurta osaa taimia se koskee (%) – vähänkään vakavammassa tapauksessa vastaanottajaa pyydetään ottamaan välittömästi yhteyttä taimitarhaan.

Vastaanottotarkastuksen lisäksi on hyvä kehottaa taimen ostajaa tarkastamaan istutetut taimet 3–4 viikon kuluttua istutuksesta. Tässä ajassa mahdollisten taimitarhaperäisten piilevien kasvitautien tai juurten paleltumisen oireet yleensä ilmaantuvat. Myös reklamaatioajoista koskien mahdollisia ongelmia olisi hyvä etukäteen sopia. Jos taimet tarkastetaan ensimmäisen kerran vasta syksyllä tai pahimmillaan vasta vuoden kahden kuluttua istutuksesta, on ongelmien syitä melko mahdoton selvittää.

Taimituottajankin on hyvä käydä tutustumassa taimivarastoihin ja istutusaloihin. Erityisesti kun uusia kasvatusmenetelmiä otetaan käyttöön taimien jälkiseuranta antaa arvokasta tietoa tuotannon edelleen kehittämiseen.

Toimivassa kuljetusketjussa taimien laatu säilyy hyvänä tarhalta istutuskuoppaan. Yleisimmät taimien kuntoa heikentävät tekijät ovat kuivuus, lämpötilan nousu pakkauksessa useiksi vuorokausiksi yli 20 °C, taimien homehtuminen kosteassa ja lämpimässä pakkauksessa sekä mahdolliset hallavauriot aukealla ilman pakkauksia tai muuta suojaa säilytettävissä taimissa. Myös kuljetuksen aikainen ajoviima vaurioittaa ja kuivattaa taimia. Erityisesti suojaamattomien taimien kuljettamista avolava-autolla tulee välttää.

Sopiva varastointilämpötila lepotilassa oleville taimille on +3…+8 °C. Jos silmut ovat jo puhjenneet, ei taimia kuitenkaan pidä varastoida alle +5 °C:n lämpötilassa, koska varsinkin kuusen- ja koivuntaimien uudet kasvut ovat herkkiä alhaisille lämpötiloille. Välivarastona voi käyttää viileitä, hyvin ilmastoituja kellaritiloja tai jäähdytettyjä varastoja. Suljettujen pakkauksien tuuletusaukkojen/kädensijojen avaaminen ja ilmakäytävien jättö pakkausten välille on erittäin tärkeätä. Ilmanvaihto takaa pakkauksessa viileämmät ja tasaisemmat lämpöolot ja vähentää homehtumisriskiä.

Taimien käsittely kuljetuksen ja varastoinnin aikana riippuu taimien talvisäilytystavasta (ulkovarastointi/pakkasvarastointi), pakkauksesta (avopakkaus/suljettu laatikko tai säkki) sekä taimien kehitysvaiheesta (taimet lepotilassa/kasvussa) ja toimitusajankohdasta.

Lepotilassa olevat taimet kestävät parhaiten kuljetuksen, varastoinnin ja istutuksen aikana niihin kohdistuvat rasitukset. Pakkasvarastossa talven yli säilytetyt

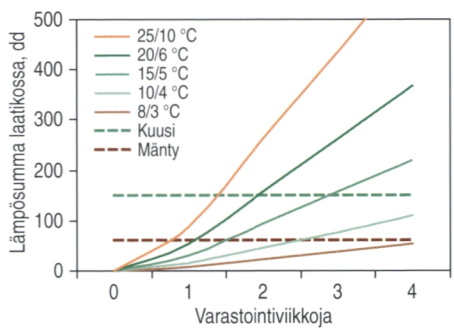
taimet toimitetaan tarhalta suljetussa pakkauksessa, pahvilaatikoissa tai säkissä. Ennen istutusta on varmistuttava, että taimien juuripaakut ovat kokonaan sulaneet. Jäisissä paakuissa juuret eivät pysty ottamaan riittävästi vettä haihduttavalle versolle, mikä johtaa taimien kuivumiseen. Jäätyneitä taimia ei myöskään pidä väkisin irrottaa toisistaan niihin syntyvien vaurioiden vuoksi.

Jäiset taimet sulatetaan pimeässä tai hämärässä (esim. pakkauslaatikoissa), mieluiten 5–15 °C lämpötilassa 2–5 vrk aikana [45, 135, 136, 137]. Sulatusajan pidentyessä riski taimien homehtumisesta ja ravintovarastojen ehtymisestä kasvaa.

Pakkasvarastotaimia on varastoitu joissain tapauksissa menestyksellisesti jopa 3–4 viikkoa pahvipakkauksissa, joiden tuuletusaukot on avattu. Varastointiaika riippuu kuitenkin vallitsevista lämpöoloista. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että toukokuussa voidaan kuusentaimia säilyttää suljetuissa pahvipakkauksissa enintään 2–3 viikkoa, touko–kesäkuun vaihteessa kaksi ja kesäkuussa yhden viikon (kuva 10.31). Männyn ohjearvot ovat noin puolet kuusen arvoista, koska mänty aloittaa pituuskasvun kuusta nopeammin ja sen varastointikestävyys on kuusta heikompi.

Koska ulkovarastoinnista pakattujen taimien juuripaakut ovat sulia, ne eivät jäähdytä pakkausta, vaan pakkaus lämpenee huomattavasti nopeammin kuin pakkasvarastoitu taimilaatikko. Vaikka taimien silmut eivät olisikaan vielä puhjenneet, avomaalta pakatut taimet ovat yleensä kehityksessään pakkasvarastoituja pitemmällä, minkä vuoksi taimia ei tulisi pitää suljetussa pakkauksissa viikkoa pitempään.

Kesän ja vielä syyskesän istutuksiin toimitettavat taimet ovat aktiivitilassa ja usein kasvussa. Niiden stressikestävyys heikko ja uusi kasvain on hauras ja herkkä vaurioitumaan. Taimien käsittelyssä vaaditaan erityistä huolellisuutta. Taimien "parasta ennen" -aika on lyhyt; taimet on istutettava viimeistään, kun juuret alkavat kasvaa ulos paakuista. Jo muutaman vuorokauden säilytys pime-



Kuva 10.31. Lämpösumman kertyminen pakkasvarastosta otetuissa pahvilaatikossa päivä- ja yölämpötiloiltaan erilaisina aikajaksoina. Lämpösumma kertyy ensimmäisen viikon aikana hitaammin jäisten paakkujen jäähdyttäessä laatikkoa. Männyntaimien silmut puhkeavat 60–80 d.d. (ruskea katkoviiva) ja kuusen taimet 150 d.d:n (vihreä katkoviiva) lämpösummassa.

ässä, suljetussa tilassa, altistaa taimet harmaahomeelle ja hidastaa syyskesällä niiden karaistumista. Kesällä tai syksyllä kasvussa pakattuja taimia ei tule säilyttää suljetussa pakkauksissa 1–2 vrk pitempään [384] (taulukko 10.2). Avopakkauksessa taimia voi pitää vajaan viikon, jos taimilaatikot on laskettu tiiviisti maata vasten reunat suojaten ja päivittäisestä kastelusta huolehditaan.

Olipa pakkaustapa mikä hyvänsä, on huolehdittava, etteivät taimet pääse kuivumaan toimitusketjun missään vaiheessa. Nopeimmin taimet kuivuvat kasvatuslaatikoissa ja avopakkauksissa. Työmaavarastossa taimipaakkujen kosteutta on tarkkailtava päivittäin ja kasteltava tarvittaessa taimet. Mikäli hallaa on odotettavissa, eivätkä taimet ole umpipakkauksissa tai metsän suojassa, taimet suojataan peittämällä ne harsolla tai muulla peitteellä.

Taulukko 10.2. Avomaalla ja pakkasvarastossa avonaisessa tai suljetussa pakkauksessa talvivarastoitujen kuusentaimien enimmäissäilytysajat tarhalta lähetyksen jälkeen touko–syyskuussa. Männyllä ohjeajat ovat noin puolta lyhyemmät.

Talvivarastointi / pakkaus	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys
	Enimmäissäilytysaika, vrk				
Avomaa / avopakkaus	7–14	4–6	2–3	3–4	4–6
Avomaa / suljettu pakkaus	4–7	2–4	1	1–2	2–3
Pakkasvarasto / suljettu pakkaus [1]	14–21	7–14 [2]	–	–	–

[1] Aika varastosta oton jälkeen. [2] Pakkasvarastoidut männyn sekä koivun taimet on otettava sulamaan viimeistään kesäkuun ensimmäisellä viikolla ja kuusen taimet kesäkuun puolivälissä.

11 Seuranta ja dokumentointi

Taimitarhoilla pidetään kirjaa monista erilaisista yritystoimintaan liittyvistä asioista. Laki (241/2002) ja ministeriön asetus (1055/ 2002) metsänviljelyaineiston kaupasta velvoittavat kasvattajaa pitämään tuotantokirjanpitoa, joka sisältää tiedot metsänviljelyaineiston toimittajasta (nimi tai toiminimi) sekä aineiston määrästä ja tiedon siitä, kenelle metsänviljelyaineistoerä on markkinoitu. Taimierien tuotannon osalta tuotantoasiakirjat sisältävät metsänviljelyaineiston yksilöintitiedot, siemen- ja taimierien oston, markkinoinnin sekä maahantuonnin osalta ostajalle annettavat tiedot. Tuotantokirjanpito on säilytettävä 10 vuotta. Kirjanpitovelvollisuus koskee myös toiminnassa käytettäviä kasvinsuojeluaineita, joista toiminnanharjoittajan tulee pitää ajan tasalla olevaa käyttökirjanpitoa (Laki 1259/2006 ja ministeriön asetus 16/2007 kasvinsuojeluaineista). Kirjanpitoa on säilytettävä viiden kalenterivuoden ajan.

Lakisääteisten asioiden lisäksi tarhoilla pidetään taimien kasvatukseen liittyvää kirjanpitoa. Kasvatuskirjanpito voidaan jakaa kolmen ryhmään: kasvatusaikataulut, ympäristöolosuhteet ja taimien kehitys. Kasvatusaikataulu on ennalta laadittu suunnitelma taimierän kasvatuksen vaatimista toimenpiteistä ja ajoituksesta. Kasvatusaikataulu perustuu mm. aikaisempaan kokemukseen, saatavilla olevaan kirjallisuuteen ja muilta kasvattajilta saatuihin vinkkeihin. Aikataulu voi olla karkea, pääkohdat sisältävä luettelo, mutta parhaimmillaan se on yksityiskohtainen suunnitelma kasvatuksen vaatimista kasvatustiloista, materiaali- ja työpanoksista sekä kasvatustoimenpiteistä ja niiden ajoituksesta. Lähtökohta aikataululle on kasvatettavan erän taimien tavoitekoko ja toimitusaika (katso kohta 9.1). Kokemus on paras opettaja. Se pätee taimikasvatukseenkin, mutta ennen kuin omaa kokemusta kertyy, kannattaa kysellä ja lukea. Harvaa asiaa ollaan ensi kertaa tekemässä. Kirjanpidosta ja suunnitelmista syntyy vähitellen toimenpideohjeisto, eräänlainen laatujärjestelmä, joka voi käyttää esimerkiksi uusia työntekijöiden koulutukseen.

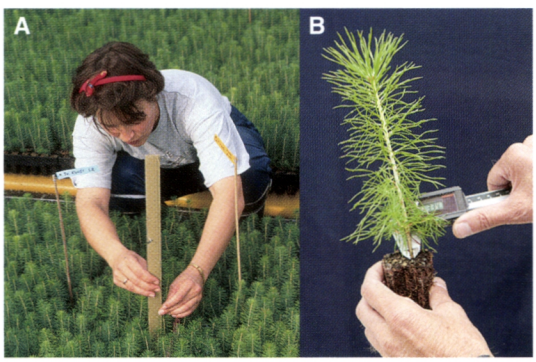
Ympäristöolosuhteiden seurannan tärkeyden havaitsee yleensä vasta silloin, kun jotakin poikkeavaa on jo tapahtunut ja muistellaan milloin oireiden ensi merkit näkyivät ja millaiset olosuhteet vallitsivat. On tärkeätä, että keskeisiä taimien kasvuun vaikuttavia tekijöitä seurataan ja kirjataan ylös. Näin voidaan reagoida heti, jos jotakin poikkeavaa ilmenee. Seurattavia ja kirjattavia asioita ovat mm:

- Ulkolämpötila ja sademäärät (lämpötilamittaus myös taimien korkeudelta).
- Muovihuoneiden lämpötila ja suhteellinen kosteus.
- Kastelulaitteiden toiminta ja tarkastusmittaus kerran vuodessa.
- Kasvinsuojeluaineruiskujen toiminta.

- Kasvatustoimenpiteiden ja niiden ajoittumisen kirjaus
  – kylvöt, taimien siirrot
  – lannoitus- ja kasteluajankohdat ja -määrät
  – lyhytpäiväkäsittely
  – kasvinsuojelu (käytön syyt, ajankohdat, aineet, pitoisuudet)
  – taimiarkkien maahanlasku ja nosto
- Taimi- ja siemenvarastojen lämpötilat varastointiaikana.

Taimierien kehityksen seuranta on tärkeämpää kuin monesti ajatellaan. Silmävarainen havainnointi ei kokeneellekaan kasvattajalle aina riitä. Pieniä muutoksia, jotka voivat olla oire suuremmasta, ei aina paljaalla silmällä havaitse. Seuraavien tietojen mittaaminen ja kirjaaminen on osoittautunut hyödylliseksi:

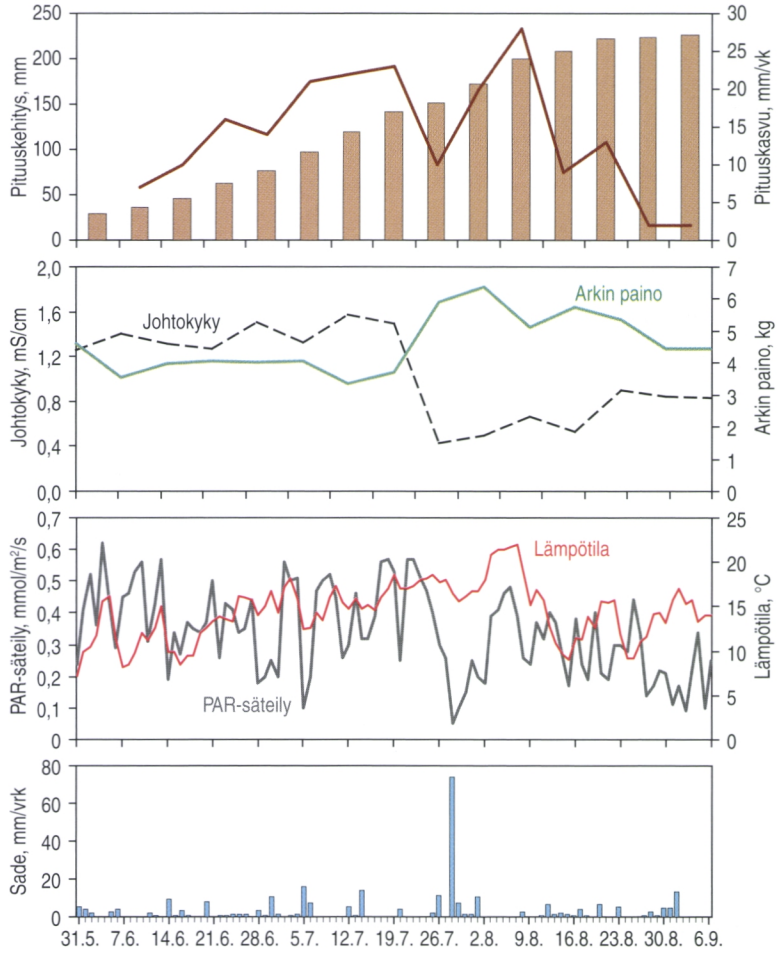
- Turpeen puristenesteen johtokyky (tai ravinnepitoisuus).
- Turpeen vesipitoisuus/taimiarkin paino (4–5 taimiarkkia/erä, viikoittain).
- Siementen itäminen (otanta 3–4 taimiarkista/taimierä).
- Taimien pituus (4–6 arkista kustakin 10 tainta /taimierä; seurataan samoja merkittyjä taimia viikoittain) (kuva 11.1).
- Taimien tyviläpimitta (kasvukauden päätyttyä esim. samoista taimista, jotka mitataan taimietiketissä ilmoitettavan taimierän pituuskeskiarvon määrittämistä varten; kohta10.1).
- Juuriston kehitys ja juuriston paakun sitomiskyky (voidaan luokitella parin viikon välein 5–10 taimesta eri puolilta kasvatuserää kuinka suuren osa turpeesta juuristo sitoo).
- Taimien terveys ja tuholaistarkastus itämisaikana 1–2 kertaa viikossa (tutkitaan kaikki kasvatuserät).
- Taimien karaistuminen/pakkasvarastointivalmius: kuiva-ainepitoisuusseuranta tai varmempana menetelmänä pakkastesti tai NSure-geenitesti (tarpeen mukaan elo–lokakuussa).



Kuva 11.1. Taimien pituusseuranta auttaa ennakoimaan mahdollisia ongelmia ja tukee kasvatustoimenpiteiden, kuten LP-käsittelyn ajoituksen määrittämisessä (**A**). Taimien tyviläpimitta on parhaita taimien rakennetunnuksia ennustamaan taimien istutuksen jälkeistä menestymistä ja kuvaa hyvin taimierän laatua (**B**) (EO).

Toistuvista mittauksista kannattaa piirtää kuvaajat, joista voi helpommin havaita mahdolliset poikkeavuudet ja niiden syyt (kuva 11.2). Monet ulkomaiset tarhat ilmoittavat asiakkaille taimierien pituuden lisäksi läpimitan, juuriverso-suhteen ja neulasten ravinnepitoisuuden. Näiden tunnusten mittaus helpottaa myös tuotannon laadun seurantaa.

Mittaajan vaikutus mittaustulokseen voi olla yllättävän suuri. Sen vuoksi seurantamittaukset kannattaa antaa yhden henkilön tai työparin vastuulle. Tuholaistarkastukset vaativat asiantuntemusta, johon tarvitaan koulutusta. Seurattavia asioita varten on hyvä laatia viikoittainen rutiini ja tarkastuslistat. Kaikki mitatut



Kuva 11.2. Esimerkki kuusentaimien (PL81F) seuranta-aineistosta Suonenjoen taimitarhalla kesällä 2004. Kuusen taimien viikoittainen pituuskasvu (punainen viiva yläkuvassa) on romahtanut heinäkuun lopulla. Syynä on taimien ulossiirto (21.7.) ja samanaikainen säteilymäärän väheneminen sekä runsaan sateen aiheuttama ravinteiden huuhtoutuminen, mikä ilmenee johtokyvyn laskuna.

ja havaitut tiedot kannattaa kirjata muistiin, vaikka tieto ei olisikaan numeerista. Kirjaus varmistaa myös sen, että mittaus tehdään säännöllisesti.

Seuranta ja dokumentointi ovat olennainen tuotantoprosessin osa. Toisaalta mittaukseen kuluu aikaa. Turhia mittauksia ei kannata tehdä. Seurannan pitää tukea tuotannossa tehtäviä päivittäisiä ratkaisuja tai pitemmän aikavälin suunnittelua, muuten se on turhaa. Mitä suurempi tuotanto, sitä enemmän kannattaa investoida laadun seurantaan. Korkea laatu näkyy myös saannon kohoamisena.

Jos kasvatusmenetelmää muutetaan tai käyttöön otetaan kokonaan uusi menetelmä (paakkutyyppi, uusi aiemmista poikkeava alkuperä, kasvatuksen ajoitus, kasvualusta, lannoite, varastointitapa jne.) kannattaa sitä ensin kokeilla pienellä taimimäärällä ja useammalla vaihtoehdolla. Vaikka menetelmää olisi käytetty aikaisemmin muualla, ei se välttämättä toimi samalla tavalla eri olosuhteissa. Erityisesti muutostilanteissa on seurantatiedoista hyötyä.

12 Taimitarhahygienia, riskeihin varautuminen, ongelmien ratkominen

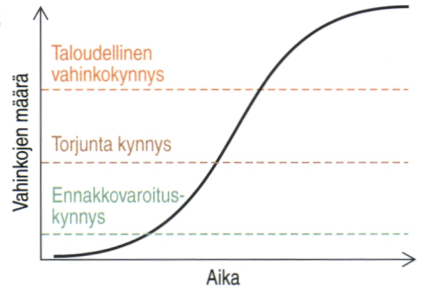
Taimitarhalla pyritään luomaan taimien kasvulle mahdollisimman suotuisat olosuhteet. Samat olosuhteet suosivat valitettavasti myös monia tuholaisia. Paakkutaimikasvatuksessa käytettävät korkeat kasvatustiheydet lisäävät tautien leviämisriskiä. Optimaalisiin olosuhteisiin pyrkimisestä huolimatta myös monet abioottiset tekijät, kuten halla, ahava, kuumuus tai liika kosteus, pääsevät joskus yllättämään ja vaurioittavat taimia paitsi suoraan myös lisäämällä taimien alttiutta kasvitaudeille.

Kasvinsuojeluainevalikoimat ovat kaventuneet ja niiden käyttörajoitteet tiukentuneet. Viljelymenetelmissä pyritään yhä enemmän ympäristöystävällisiin, harkitusti erilaisia torjuntamenetelmiä yhdisteleviin keinoihin. Tällaista kutsutaan integroiduksi torjunnaksi (IPM) tai tasapainoiseksi kasvinsuojeluksi, joka on eräänlainen suomalainen "parhaiden käytäntöjen"-menetelmä. Näihin menetelmiin kuuluvat olennaisina osina suunnittelu, tarkkailu ja torjuntamenetelmien harkittu käyttö. Niiden avulla tuhonaiheuttajan esiintymismäärä saadaan pidettyä taloudellista vahinkoa aiheuttavan kynnysarvon alapuolella.

Suunnitelmallisuus ja varautuminen ovat integroidun torjunnan tukiranka. Tarkkailemalla kasvintuhoojia, torjuntapäätökset osataan tehdä oikealla hetkellä. Tarkkailussa käytetään apuna liima-ansoja ja kasvustotarkkailua (kuva 12.1a). Tuholaisten tunnistuksessa oppaiden lisäksi tarvitaan usein suurennuslasia tai stereomikroskooppia. On tärkeä tuntea perustiedot tuholaisista ja niiden vioituksista. Ainakin suurilla taimitarhoilla jonkun henkilökunnasta kannattaa muiden tehtävien ohella erikoistua tuholaisten tunnistamiseen ja torjuntakeinoihin. Jos kasvustossa havaitaan tuho-oireita, on paikat hyvä merkata lapuilla tai kepeillä jatkoseurantaa varten. Kaikista havainnoista kannattaa pitää kirjaa.

Jatkuva tuholaistarkkailu mahdollistaa kynnysarvojen käytön (kuva 12.1b). Kynnysarvojen perusteella voidaan arvioida missä vaiheessa on syytä ryhtyä torjuntaan. Kynnysarvojen ideana on estää vahinkojen määrän nouseminen yli taloudellisen vahinkokynnyksen. Metsätaimitarhoilla ei ole kynnysarvoja juuri käytetty, mutta seuraamalla tuhotilanteita ja keräämällä tietoa omalta tarhalta kasvattaja pystyy vähitellen luomaan ohjeet ja käytännön torjunnan aloittamiselle. Kynnysarvomenetelmä soveltuu parhaiten hyönteisten ja rikkojen tarkkailuun ja torjuntaan. Sienitautien osalta menettely on ongelmallisempi, sillä ensimmäiset merkit taimiin ilmaantuvat vasta, kun tauti on jo levinnyt ja ehtinyt vioittaa ainakin osaa taimista.





Kuva 12.1. Sini- tai kelta-ansoilla voi seurata hyönteislajistoa ja sen runsautta kasvustoissa (**A**). Tuholaisen aiheuttaman vahinkomäärän kasvaessa varaudutaan torjuntatoimiin (**B**). [331]

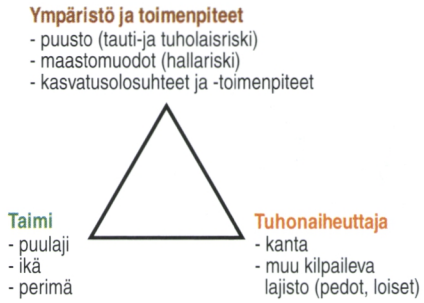
Oikealla viljelytekniikalla ja yleisestä viljelyhygieniasta huolehtimalla vähennetään kasvitautien, tuholaisten ja rikkojen leviämistä. Viljelyhygienia on olennainen osa ennaltaehkäisyä, jolla pyritään pitämään taimitarha-alue ja sen välitön ympäristö mahdollisimman puhtaana taimille haitallisista tuhonaiheuttajista. Aikaisemmin hygienian merkitystä vähäteltiin metsätaimitarhoilla, koska työpanokset saattavat olla suuria ja hyödyt eivät ole välittömästi nähtävissä. Kokemukset kuitenkin osoittavat, että vaikka hygienian laiminlyömisen seuraukset voivat realisoitua vasta useamman vuoden kuluttua, ne voivat muodostua yllättävän ongelmallisiksi.

Tavalliset kasvatustoimenpiteet oikein tehtyinä ja ajoitettuna ovat osa taimitarhahygieniaa eivätkä aiheuta lisäkustannuksia. Sellainen on esimerkiksi oikein toteutettu kasteluohjelma, joka vähentää sammalten ja levien iskeytymisen kasvualustan pinnalle. Taimitarhahygienia koostuu erillisistä toimenpiteistä, kuten tarhaympäristön puhdistamisesta siemeniä levittävistä rikkaruohoista tai tautien isäntäkasveista.



Kuva 12.2. Hoitamattomasta, rikkaruohoja ja sammalia kasvavasta tarhaympäristöstä leviävät niin rikat, tauditkin kuin hyönteiset taimikasvustoihin. Pesiytymään päässeistä rikoista on hankala päästä eroon.

Tässä oppaassa ei paneuduta taimien tauteihin ja tuholaisiin eikä niiden torjuntaan, koska aiheista on saatavilla hyviä kirjoja ja oppaita ja yhteenvetoartikkeleita [209, 216, 251, 254, 255, 307, 333].



Kuva 12.3. Kasvinsuojelu on tasapainoilua ympäristöolosuhteiden, taudinaiheuttajien ja kasvatettavien taimien välillä.

Taimien terveyteen vaikuttavat kasvatusympäristö kasvatustoimenpiteineen, taudinaiheuttajat ja taimi itse (kuva 12.3). Seuraavassa on koottu kasvatusympäristössä taimitarhahygieniaa parantavia tekijöitä ja toimia, joilla voidaan vähentää tauti- ja tuhoriskejä:

Ympäristö:

- Sairaiden männyntaimien ja isompien puiden taudinaiheuttajia ylläpitävien alaoksien poisto tarhan lähiympäristössä (versosurma, talvihomeet, neulaskaristeet)
- Haapojen (männynversoruosteen väli-isäntä), tuomien (kuusentuomiruosteen väli-isäntä) ja sembramäntyjen (versosurman isäntä) poisto tarhalta ja lähiympäristöstä
- Pajujen, koivujen ja haapojen poisto sekä pienempien rikkojen, kuten horsmien niitto ennen siemennystä tarha-alueelta (voivat aiheuttaa kylvöksillä vaikeasti torjuttavan ja kalliin rikkaongelman)



Kuva 12.4. Sembramännyt toimivat versosurman itiölähteinä ja lisäävät etenkin männyntaimien, mutta mahdollisesti myös kuusentaimien sairastumisriskiä.

Tarha:

- Taimi- ja siemenvarastojen puhtaudesta huolehtiminen
- Kasvihuoneiden tuuletusaukkojen varustaminen hyönteisiltä, linnuilta ja rikkojen siemeniltä suojaavilla verkoilla)
- Turve-erien testaus etukäteen talvella rikka- yms. ongelmien varalta ja turve-eristä pienen näytteen säilyttäminen myöhempää testaustarvetta varten
- Hellävarainen taimien käsittely
- Sairastuneen tai vioittuneen taimimateriaalin poisto kasvustoista ja huolellinen hävitys
- Kasteluvesialtaiden ja lannoitesäiliöiden puhtaana pito, veden laadun seuranta ja tarvittaessa veden suodatus
- Kastelulaitteiden kunnossa pito: vuotokohtiin usein muodostuu rikkakasvikasvustoja
- Sopiva kastelu: liiallinen kuivuus ja märkyys altistavat taimia taudeille ja turpeen jatkuva pintakosteus lisää sammaloitumista
- Kasvatusarkkien huolellinen puhdistus ja pesu vähintään yli 80 °C vedessä [159, 186]: tauti-itiöt ja rikkojen siemenet säilyvät pitkiä aikoja itämiskykyisinä

Jätehuolto

Taimitarhoilla syntyy erilaisia jätteitä, joiden käsittely on olennainen osa taimitarhahygieniaa ja riskien hallintaa [497]. Vaikka maatalous- ja puutarhatuotantoon verrattuna metsätaimien tuotanto on pieni ympäristökuormittaja, voivat taimitarhat olla merkittäviä paikallisia pistekuormittajia. Erityisesti kasvinsuojeluaineiden ja ravinteiden huuhtoutuminen aiheuttaa huolta, koska monet taimitarhat sijaitsevat pohjavesialueilla tai niiden lähettyvillä.

Taimitarhalla syntyy myös biojätteitä, rikkakasveja, raakkitaimia ja turvetta, joita voi ja suositellaan kompostoitavaksi. Lisäksi taimitarhalla syntyy puu-, muovi-, öljy yms. jätettä, jotka tulee käsitellä asianmukaisesti. Taimitarhajätteiden käsittelystä on koottu seikkaperäinen Metsätaimitarhojen jätehuolto-opas [497] ja taimitarhajätteiden kompostoinnista on tutkimustulosten [498, 499] pohjalta laadittu ohjeita [500, 501].

Riskit, ongelmat ja niiden selvittäminen

Samalla kun ns. isojen taimitarhojen määrä on vähentynyt, niiden koko on kasvanut. Isojen taimitarhojen vuosituotanto on Suomessa 5–25 miljoonaa tainta. Jatkokasvatettavat taimet mukaan lukien kasvatuksessa yhtä aikaa oleva taimimäärä on yli puolitoistakertainen. Tarhan koon kasvaessa myös riski kasvaa ja toteutuessaan voi vahingoittaa suuria siemen- tai taimimääriä:

- Siemenvarasto (satoja kiloja).
- Muovihuone (satojatuhansia – miljoona taimia).
- Yhtenäiset avomaakentät (miljoonia taimia).
- Pakkasvarasto (miljoonia taimia).

Muovihuoneessa tuuletus-, kastelu- tai lyhytpäiväkäsittelytekniikan pettäessä voidaan menettää kerralla satojatuhansia taimia. Avomaalla ongelmalliset sääolot (rankkasade, raesade, halla) voivat tuhota miljoonia taimia. Pakkasvarastossa taas ollaan jäähdytyskoneiden toimivuuden ja sähkönsaannin varassa.

Kaikkia asioita ei voi hallita, mutta lähes kaikkeen voi jollain lailla varautua. Isojen riskien ohella taimikasvatuksessa kannattaa kiinnittää huomiota usein pieniltä tuntuviin, helposti huomaamatta jääviin asioihin, jotka voivat aiheuttaa mittaviakin ongelmia, laskea saantoa ja heikentää taimien laatua. Tällaisia voivat olla viikonvahteessa tietokatkoksen vuoksi taimien kastelematta jääminen tai tuuletuksen unohtaminen ja lämpötilan vaarallinen nousu muovihuoneessa. Kokematon työntekijä ilman riittävää opastusta voi pelätä taimien kuivumista ja kastella liikaa. Virheen saattaa paljastaa vasta viikkojen kuluttua tasainen, taimia tukahduttava sammalkasvusto ja sen seurauksena taimierän menetys (kuva 52.5).

Pohjan hyvälle laadulle ja korkealle saannolle luo tuotannon suunnittelu, joka perustuu aiempien vuosien mittauksiin ja kokemuksiin. Hyvin järjestetty tietopohja aikaisempien vuosien kasvatuksista helpottaa toimenpiteiden ohjausta. Heti kun poikkeama havaitaan, siihen voidaan puuttua.

On tärkeää, että koko henkilökunta osallistuu laadun tekoon. Kaikille on hyvä jakaa vastuuta jostakin tuotannon osasta. Joitain asioita voi seurata mittareilla (automatiikka), mutta kokenutta ja asiantuntevaa henkilökuntaa eivät mittarit korvaa ja mittausten tulkintaankin tarvitaan kokemusta. Ammattitaidon kartuttaminen on tärkeä osa henkilökunnan työtä.

Jos tuhon sattuessa syy on epäselvä, sekä tuhosta kerättyjä havaintoja että aikaisempaa mittaustietoa ja kokemusta käyttäen pyritään etsimään syy tapahtuneelle (liite 2) ja korjaamaan käytännöt. Ongelman tunnistamista varten tehdään tilanteen kuvaus (ongelma ja olosuhteet sekä tehdyt toimet). Ongelma esiintyy harvoin ensimmäistä kertaa: ratkaisu voi löytyä lukemalla ja kyselemällä. Kun ongelmatilanne on "päällä", joudutaan ratkaisu tilanteen korjaamiseksi tekemään nopeasti joskus kevyemmilläkin perusteilla.

Korjaavien toimenpiteiden jälkeen tilannetta on seurattava. Jos ei epäillä sienitautia tai hyönteistuhoa kannattaa jättää vertailuruutuja (arkkeja) kasvustoon. Näin nähdään auttoiko korjaava toimenpide vai korjautuiko tilanne itsestään.

13 Taimikasvatuksen lyhyt oppimäärä

1 Perusteellinen **tuotannon suunnittelu** helpottaa työmäärien, tarvikkeiden ja kasvatustilojen tarpeiden arviointia sekä kylvöjen ja kasvatuksen rytmittämistä. Kylvöjen ja kasvatustoimenpiteiden ajoitus määräytyy taimierän tavoitepituuden, toimitusajan ja kasvatustiheyden/paakun koon perusteella. "Ylikasvaneet" taimet ovat huonoa istutusmateriaalia.

2 **Laadukas turve, tasainen täyttö ja huolellinen kylvö** ovat tasaisen laadun ja hyvän saannon pohjapilarit, joiden puutteita ei voi myöhemmillä toimenpiteillä korjata.

3 **Kastelu on taitolaji**, joka vaatii kokemusta ja seurantaa. Kastelu on ennen muuta juuriston hoitoa ja taimitarhahygieniaa. Vain muutaman päivän virheellinen kastelu voi pahimmillaan pilata koko taimierän.

4 **Lannoituksella** korvataan kasvualustan ja taimien sitomat sekä huuhtoutuneet ravinteet ja se toteutetaan johtokyky- tai ravinnepitoisuusmittausten perusteella mieluiten usein ja pienin annoksin.

5 **Muovihuoneolosuhteiden säätö** sopivaksi kullekin kasvatusjaksolle (lämpötila, riittävä tuuletus) varmistaa tasaisen kasvun ja tanakat taimet.

6 **Seuranta, dokumentointi ja taimitarhahygienia**: Tarkka kasvustojen ja olosuhteiden seuranta ja dokumentointi auttavat kasvatustoimien ajoituksessa sekä tuhotapausten selvittelyssä ja varoittavat torjuntatarpeista. Kerran voi erehtyä, mutta toista kertaa ei kannata astua samaan läjään.

7 **Varmista hallantorjunta**. Kevät- ja syyshallat aiheuttavat silmujen paleltumisen seurauksena monilatvaisuutta, mikä johtaa epätasaiseen kasvustoon ja saannon huomattavaan alenemiseen sekä kalliiseen lajitteluun.

8 **Huolellinen talvivarastointi**. Ulkokentillä taimiarkit lasketaan maahan kohotetuilta alustoilta ja laitimmaisten arkkien reunat suojataan maapeitteellä niin, ettei kylmä ilma pääse tunkeutumaan arkkien alle. Pakkasvarastoitavien taimien varastointikestävyys ja paakkujen riittävän kosteus on varmistettava ennen varastointia. Taimet on pakattava tiiviisiin pakkauksiin kuivumisen välttämiseksi ja pakkausten välille on varastossa jätettävä riittävät ilmakäytävät nopean jäähtymisen takaamiseksi.

9 **Tarkka lajittelu ja taimien kunnon testaaminen** kevään kasvatustesteillä varmistavat taimien laadun ja kasvattajan mielenrauhan.

10 **Tarhurin työ ei pääty rekan perävalojen häipymiseen**. Selkeä varastointiohjeistus ja "parasta ennen päiväykset" auttavat istuttajaa taimien käsittelyssä. Yhteisesti sovittu taimien vastaanottotarkastus ja istutuskohteen jälkitarkastus muutaman viikon kuluttua istutuksesta voivat säästää monilta myöhemmiltä kiistoilta. Menestyvät taimet ovat tarhan paras mainos.

Viitteet

1. Abouguendia, Z.M. & Redmann, R.E. 1979. Germination and early seedling growth of four conifers on acidic and alkaline substrates. Forest Science 25: 358–360.
2. Adams, J.C. & Lockaby, B.G. 1987. Commercially produced superabsorbent material increases water-holding capacity of soil medium. Tree Planters' Notes, Winter: 24–25.
3. Ahola, V.K. 1930. Taimitarha sen valmistus, kunnossapito ja hoito. Keskusmetsäseura Tapion käsikirjasia N:o 20. 48 s.
4. Alden, T. 1971. Influence of CO_2, moisture and nutrients on the formation of lammas growth and prolepsis in seedlings of *Pinus silvestris* L. Studia Forestalia Suecica 93. 21 s.
5. Aldrete, A., Mexal, J.G., Phillips, R. & Vallotton, A.D. 2002. Copper coated polybags improve seedling morphology for two nursery-grown Mexican pine species. For. Ecol. Man. 161(1–3): 133–145.
6. Alm, M. & Tuovinen, J. 2003. Kasvihuonerakennukset ja niissä käytettävä tekniikka. Teoksessa: Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Opetushallitus. Gummeruksen kirjapaino. Jyväskylä. s. 61–83.
7. Aphalo, P.J. & Rikala, R. 2006. Spacing of silver birch seedlings grown in containers of equal size affects their morphology and its variability. Tree Physiology 26(9): 1227-1237.
8. Aphalo, P.J., Rikala, R. & Sánchez, R.A. 1997. Effect of CCC on the morphology and growth potential of containerised silver birch seedlings. New Forests 14(3): 167–177.
9. Argo, B. & Fisher, P. 2008, Understanding plant nutrition: Controlled- and slow-release fertilizers. Greenhouse grower. 26(4)(12):46, 48,50.
10. Arnott, J.T. & Simmons, C.S. 1985. The effect of failure in extended and intermittent lighting on the growth of white spruce container seedlings. Can. J. For. Res. 15(4): 734–737.
11. Aronen, T. 2011. Kasvullisen lisäyksen mahdollisuudet havupuiden taimituotannossa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2011:53–59.
12. Arovaara, H. & Ilvesniemi, H. 1991. The effects of soluble inorganic aluminium and nutrient imbalances on *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.) Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 715–733.
13. 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.
14. Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. Studia Forestalia Suecica 155. 27 s.
15. Balk, B., P. ym. 2007. Innovative cold tolarance test for conifer seedlings. Teoksessa: Riley, L.F., Dumroese, R.K., Landis, T.D. (tekn.koord.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 2006. RMRS-P-50. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain research Station. s. 9–14.
16. Barnett, J. P. 1977. Effects of soil wetting agent concentration on southern pine seed germination. Southern Journal of Applied Forestry 1(2): 14-15.
17. Barnett, J.P. 1984. Relating seedling physiology to survival and growth in container-grown southern pines. Teoksessa: Duryea, M.L. & Brown, G.N. (toim.) Seedling physiology and reforestation success. s. 157–176.
18. Barnett, J.P. & Dunlap, J.R. 1982. Sorting loblolly pine orchard seeds by size for containerized seedling production. Southern Journal of Applied Forestry 6(2): 112–115.
19. Barnett, J.P. & Brissette, J.C. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. SO-59. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, ForestService, Southern Forest Experiment Station. 71 s.
20. Belcher, E.W., Leach, G.N. & Gresham, H.H. 1984. Sizing slash pine seeds as a nursery practice. Tree Planters' Notes 35(2): 5–10.
21. Berg, S. 1987a. Odlingssystem Rockwool. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 1. 4 s.

22. Berg, S. 1987b. Omskolning av täckrotsplantor. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 5. 33 s.
23. Berg, S. 1989. Is there scope for transplanted container seedlings? Julkaisussa: Mason, W.L., Deans, J.L. & Thompson, S. (toim.) Producing Uniform Conifer Planting Stock. Forestry Supplement 62 VN: 241–249.
24. Bergquist, J. & Örlander, G. 1998. Browsing damage by roe deer on Norway spruce seedlings planted on clearcuts of different ages: 2. Effect of seedling vigour. For. Ecol. Man. 105: 295–302.
25. Bergsten, U. 1989. Temperature tolerance of invigorated seeds of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. using TTGP-test. Forestry Supplement 62: 107–115.
26. Biddington, N.L, 1986. The effects of mechanically-induced stress in plants – a review. Plant Growth Regulation 4:103–123.
27. Bigg, W.L. & Schalau, J.W. 1990. Mineral nutrition and the target seedling. Julkaisussa: Rose, R., Campbell, S.J. & Landis, T.D. (toim.) Target seedling symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations August 13–17, 1990 Roseburg, Oregon USDA Forest Service. General Technical Report RM-200. s. 139–160.
28. Bigras, F.J. 2000. Selection of white spruce families in the context of climate change: heat tolerance. Tree Physiology 20, 1227–1234.
29. 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. Can. J. For. Res. 22: 388–396.
30. Bigras, F.J. & D'Aoust, A.L. 1993. Influence of photoperiod on shoot and root frost tolerance and bud phenology of white sprice seedlings (*Picea glauca*). Can. J. For. Res. 23: 219–228.
31. Bigras, F.J., Gonzalez, A., D'Aoust, A.L. & Hébert, C. 1996. Frost hardiness, bud phenology and growth of containerized *Picea mariana* seedlings grown at three nitrogen levels and three temperature regimes. New Forests 12:243–259.
32. Bigras, F.J., Rioux, J.A., Paquin, R. & Therrien, H.P. 1989. Action des fertilisations tardives sur le genévrier (*Juniperus chinensis* 'Pfitzerna aurea' cultivé en contenants. Abstract: Effect of late fertilization on container-grown junipers (*Juniperus chinensis* 'Pfitzerana' 'Aurea'). Can. J. Plant Sci. 69: 967–977.
33. Bigras, F., Ryyppö, L., Lindström, A. & Stattin, E. 2001. Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings. Teoksessa. Bigras, F. & Colombo, S.J. (toim.) Conifer cold hardiness. Kluwer Academic Publisher. s.57–88.
34. Blake, J., Zaerr, J. & Hee, S. 1979. Controlled moisture stress to improve cold hardiness and morphology of Douglas-fir seedlings. Forest Sci. 25(4): 576–582.
35. Bowen, G.D. 1973. Mineral nutrition of ectomycorrhizae. Teoksessa: Marks, G.C.; Kozlowski, T.T. (toim.). Ectomycorrhizae, their ecology and physiology. New York: Academic Press: 151–205.
36. Brinnen, U. 1981. Långnattsbehandling av tallplantor på försommaren. Analys och uppföljning av planteringsförsök. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion. Examensarbete i ämnet skogsskötsel 10. 33 s.
37. Brix, H. & van den Driessche, R. 1974. Mineral nutrition of container-grown tree seedlings. Teoksessa: Tinus, W.R., Stein, W.I. & Balmer, W.E. (toim.) Proceedings of the North American containerized forest tree seedling symposium. Denver Colorado 26–29. 1974. Great Plains Agricultural Publication 68: 77–84.
38. Brown, R. M. 1973. Cold storage of forest plants. Forestry Commission. Forest Record 88. 19 s.
39. Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Boston: Unwin Hyman. 309 s.
40. Burdett, A.N. 1979. New methods for measuring root growth capacity: their value in assessing lodgepole pine stock quality. Can. J. For. Res. 9(1): 63–67.
41. Burdett, A.N. 1987. Understanding root growth capacity: theoretical considerations in assessing planting stock quality by means of root growth tests. Can. J. For. Res. 17(8): 768–775.

42. Burgess, D. 1990. White and black spruce seedling development using the concept of relative addition rate. Scand. J. For. Res. 5: 471–480.
43. Burgess, D., Hay, D. & Etheridge, P. 1991. Containerized black spruce seedling development under exponential fertilizer additions. Teoksessa: Donnelly, F.P. & Lussenburg, H.W. (toim.) Proceedings of the 1991 British Columbia meeting. Forest Nursery Association of B.C. s. 54–58.
44. Calme, S., Margolis, H., Bigras, F.J. & Mailly, D 1995. The relationship between water content and frost tolerance in shoots of hardwood seedlings. Can. J. For. Res. 25(11): 1738–1745.
45. Camm, E., Guy, R., Kubien, D.S., Goetze, D.C., Silim, S.N. & Burton, P.J. 1995. Physiological recovery of freezer-stored white and Engelmann spruce seedlings planted following different thawing regimes. New Forests 10: 55–77.
46. Cannell, M.G.R., Thompson, S. & Lines, R. 1976. An analysis of inherent differences in shoot growth within some north temperate conifers. Teoksessa: Cannel, M. & Last, F. (toim.) Tree physiology and yield improvement. Academic Press. London: 173–220.
47. Carles, S., Lamhamedi, M.S. Stowe, D.C., Margolis, H. A., Bernier, P. Y., Veilleux, L. & Fecteau, B. 2008. Frost tolerance of two-year-old *Picea glauca* seedlings grown under different irrigation regimes in a forest nursery. Scand. J. For. Res. 23: 137–147.
48. Carlson, L.W. & Endean, F. 1976. The effect of rooting volume and container configuration on the early growth of white spruce seedlings. Can. J. For. Res. 6: 221–224.
49. Castellano, M.A. & Molina, R. 1989. Mycorrhizae. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. & Barnett, J.P. (toim.). The container tree nursery manual. Washington DC: US Department of Agriculture, Forest Service, Washington DC. Agriculture handbook 674. Vol. 5: 101– 167.
50. Chakravarty, P. & Unestam, T. 1987. Mycorrhizal fungi prevent disease in stressed pine seedlings. Journal of Phytopathology 118(4): 335–340.
51. Chalker-Scott, L. 2007. Super-absorbent water crystals – miracle, myth or marketing. Master Gardener. Autumn 2007: 35–38 (www.mastergardeneronline.com).
52. Cid-Ballarin, C., Muñoz-Carpena, R., Socorro-Monzón, A. & González-Tamargo, G. 1998. Wetting agent effects on peat properties related to nutrient solution losses and plant growth. Acta Hort. (ISHS) 458:161–170.
53. Christersson, L. 1973. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers. I. The effect of varying potassium and calcium and magnesium levels on water content, transpiration rate, and the initial phase of development of frost hardiness of *Pinus silvestris* L. seedlings. Studia Forestalia Suecica 103. 26 s.
54. Christersson, L. 1975. Frost-hardiness development in *Pinus silvestris* L. seedlings at different levels of potassium and calcium fertilization. Can. J. For. Res. 5: 738–740.
55. Christersson, L. 1976. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers II. The effect of varying potassium and calcium contents on water status and drought hardiness of pot-grown *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. Studia Forestalia Suecica 136. 23 s.
56. Christersson, L. 1978. The influence of photoperiod and temperature on the development of frost hardiness in seedlings of *Pinus silvestris* and *Picea abies*. Physiologia Plantarum 44: 288–294.
57. Climent, J., Costa e Silva, F., Chambel, R., Pardos, M., Almeida, H. 2009. Freezing injury in primary and secondary needles of Mediterranean pine species of contrasting ecological niches. Ann. For. Sci. 66(4): 407–415
58. Cline, J.F., Wolf, M.A. & Hungate, F.P. 1969. Evaporation cooling of heated irrigation water by sprinkler application. Water Resources Research 5: 401–406.
59. Colombo, S.J. 1994. Timing of cold temperature exposure affects root and shoot frost hardiness of *Picea mariana* container seedlings. Scand. J. For. Res. 9: 52–59.
60. Colombo, S.J. 1997. Frost hardening spruce container stock for overwintering in Ontario. New Forests 13: 449–467.

61. Colombo, S.J. & Odlum, K.D. 1987. Efficacy of six antitranspirants on black spruce container seedlings. New Forests 3:239–244.
62. Colombo, S.J. & Timmer, V.R. 1992. Limits of tolerance to high temperatures causing direct and indirect damage to black spruce. Tree Physiology 11: 95–104.
63. Colombo, S.J., Glerum, C. & Webb, D.P. 2003. Daylength, temperature and fertilization effects on desiccation resistance, cold hardiness and root growth potential of *Picea mariana* seedlings. Ann. For. Sci. 60: 307–317.
64. Colombo, S.J., Menzies, M.I. & O'Reilly, C. 2001. Seedling production and reforestation. Influence of nursery cultural practices on cold hardiness of coniferous forest tree seedlings. Teoksessa: Bigras, F.J. & Colombo, S. (toim.). Cold hardiness of conifers. Tree Physiology, Vol 1, Kluwer Academic Press, Dordrecht. s. 223–252.
65. Colombo, S., Zhao, S. & Blumwald, E. 1995. Frost hardiness gradients in shoots and roots of *Picea mariana* seedlings. Scand. J. For. Res. 10(1): 32–36.
66. Colombo, S.J., Webb, D.P. & Glerum, C. 1982. Cold hardiness and bud development under short days in black spruce and white spruce seedlings. Teoksessa: Scarratt, J.B., Glerum, G. & Plexman, C.A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16, 1981 Toronto, Ontario. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. s. 171–176.
67. Coursolle, C., Bigras, F.J., Margolis, H.A. & Herbert, C. 1998. Growth and hardening of four provenances of containerized white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) seedlings in response to the duration of 16 h long-night treatments. New Forests 16: 155–166.
68. Crawford, M.A. 2003. Copper-coated containers and their impact on the environment. In: Riley, L.E., Dumroese, R.K., Landis, T.D., technical coordinators. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations – 2002. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-28: 76–78.
69. Dalen, L. S. & Johnsen, Ø. 2004. CO_2 enrichment, nitrogen fertilization and development of freezing tolerance in Norway spruce. Trees – Structure and Function 18(1): 10 – 18.
70. D`Aoust, A.L. 1981. The induction of dormancy by short-day treatment of container-grown black spruce seedlings. Laurentian Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Department of the Environment, Quebec, LAU-X-47. 16 s.
71. D`Aoust, A.L. & Cameron, S. 1982. The effect of dormancy induction, low temperatures and moisture stress on cold hardening of containerized black spruce seedlings. Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium. September 14–16, 1981, Toronto, Ontario. s. 153–161.
72. DeHayes, D.H., Ingle, M.A. & Waite, C.E. 1989. Nitrogen fertilization enhances cold tolerance of red spruce seedlings. Can. J. For. Res. 19:1037–1043
73. Dormling, I. 1993. Bud dormancy, frost hardiness, and frost drought in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Teoksessa: Li, P.H. & Christersson, L. (toim.) Advances in cold hardiness. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo: 285–298.
74. Dormling, I. 2001. Här läggs grunden till dagens effektiva plantproduktion. Plantaktuellt: 2–5.
75. Dormling, I. & Lundkvist, K. 1983. Vad bestämmer skogsplantors tillväxt och härdighet i plantskolan? Skogsfakta, Biologi och skogsskötsel 8: 1–6.
76. Dormling, I., Gustavsson, A. & von Wettstein, D. 1968. The experimental control of life cycle in *Picea abies* (L.) Karst. I: Some basic experiments on the vegetative cycle. Silvae Genetica, 17: 44–64.
77. Driessche, R. van den. 1969. Influence of moisture supply, temperature, and light on frost-hardiness changes in Douglas-fir seedlings. Can. J. Bot 47(11): 1765–1772.
78. Driessche, R. van den. 1978. Response of Douglas fir seedlings to nitrate and ammonium nitrogen sources at different levels of pH and iron supply. Plant and Soil 49: 607–623.
79. Driessche, R. van den. 1983. Growth, survival, and physiology of Douglas-fir seedlings following root wrenching and fertilization. Can. J. For. Res. 13: 270–278.
80. Driessche, R. van den. 1990. Paclobutrazol and triadimefon effects on conifer seedling growth and water relations. Can. J. For. Res. 20(6): 722–729.

81. Driessche, R., van den. 1996. Drought resistance and water use efficiency of conifer seedlings treated with paclobutrazol. New Forests. 11(1): 65–83.
82. Dumroese, R.K., James, R.L. & Wenny, D.L. 1995a. Interactions between copper-coated containers and *Fusarium* root disease: a preliminary report. USDA Forest Service, Northern Region, Report 95-9. 8 s.
83. Dumroese, R. K., Wenny, D.L. & Page-Dumroese, D.S. 1995b. Nursery waste water: The problem and possible remedies. Julkaisussa: Landis, T.D. & Cregg B. (tekn.koord.) Proceedings Portland, OR, National Forest and Conservation Nursery Association. U.S. Department of Agriculture, Forest Service Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR- 365: 89–97.
84. Duponnois, R. & Garbaye, J. 1991. Effect of dual inoculation of Douglas fir with the ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata* and mycorrhization helper bacteria (MHB) in two bare-root forest nurseries. Plant and Soil 138:169–176.
85. Duryea, M.L. 1984. Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague–Boston–Lancaster. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 143–164.
86. Ekberg, I., Eriksson, G. & Dormling, I. 1979. Photoperiodic reactions in conifer species. Holarctic Ecology 2: 255–263.
87. Endean, F. & Carlson, L.W. 1975. The effect of rooting volume on the early growth of lodgepole pine seedlings. Can. J. For. Res. 5: 55–60.
88. Eriksson, A. 1978. Intermittent ljus för reglering av skogsplantors tillväxt vid odling i växthus. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsföryngring. Examensarbete. Interna raporter 13. 33 s.
89. Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Projekt energiskogsodling (ESO), teknisk rapport No.11. 13 s.
90. Erlund, L. 1970. Effekten av bevattningsvattnets temperatur på plantutvecklingen hos gran och tall vid odling i plastväxthus. Laudaturarbete i skogskötsel för forstexamen. 60 s.
91. Fagerstedt, K., Lindén, L., Santanen, A. & Väinölä, A. 2008. Kasvioppi. Siemenestä satoon. Edita Prima Oy. Helsinki. 231 s.
92. Fernández, V. & Eichert, T. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current State of knowledge and perspectives of foliar fertilization. Critical Reviews in Plant Sciences 28: 36–68.
93. Fiedler, J.H., Nebe, W. & Hoffman F. 1973. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Veb Gustav Fischer Verlag. Jena. 481 s.
94. Fisher, J.T. & Mexal, J.G. 1984. Nutrition management: a physiological basis for yield improvement. Teoksessa: Duryea, M.L. & Brown, G.N. (toim.) Seedling physiology and reforestation success. s. 271–299.
95. Fløistad, I.S. 2002. Effects of excessive nutrient supply and short day treatment on autumn frost hardiness and time of bud break in *Picea abies* seedlings. Scand. J. For. Res. 17:295–303.
96. Fløistad, I.S. 2007. Re-flushing of Norway spruce seedlings after short-day treatment. Julkaisussa: Nygaard, P.H. & Fløistad, I.S. (toim.). Foryngelse for et bærekraftig skogbruk. Forskning fra Skog og Landskap 3/07: 43–46.
97. Fløistad, I.S. & Kohmann, K. 2004. Influence of nutrient supply on spring frost hardiness and time of bud break in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings. New Forests 27(1): 1–11.
98. Fløistad, I.S. & Granhus, A. 2010. Bud break and spring frost hardiness in *Picea abies* seedlings in response to photoperiod and temperature treatments. Can. J. For. Res. 40: 968–976.
99. Flykt, E., Timonen, S. & Pennanen, T. 2008. Variation of ectomycorrhizal colonization of spruce seedlings in Finnish forest nurseries. Silva Fennica 42(4): 571–585.
100. Franssila, M. 1949. Mikroilmasto-oppi. Otava. 257 s.
101. Friberg, R. 1980. "Tvåriga" tall på en sommar – Ett annorlunda sätt att utnyttja daglängdsreglering. Plantnytt 4: 1–4.

102. Grossnickle, S. 2000. Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings. National Research Council (Canada) Research Press. 407 s.
103. Gubbels, G.H. 1969. Frost protection of crops by sprinkler irrigation. Can. J. Plant Sci. 49:715-718.
104. Haase, D. & Rose, R. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. Forest Science 41: 54–66.
105. Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 568 s.
106. Hallantorjuntaohjeet. 1984. Taimien kasvatusohjeisto. Moniste. Taimi-Tapio tiedote 1/1984. 3 s + liite.
107. Handreck, K.A. & Black, N.D. 1994 Growing media for ornamental plants and turf. University of New South Wales Press. 448 s.
108. Harstela, P. & Tervo, L. 1983. Paljasjuuristen taimien tuotannon teknologia. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 110. 51 s
109. Hawkins, C.D.B. & Draper, D.A. 1988. Height control of interior spruce by means of photoperiodic induction. USA Forest Service. General Technical Report RM-167: 45–49.
110. Hawkins, C.D.B. & Draper, D.A. 1991. Effects of blackout on British Columbia spruce seedlots at Red Rock research station. FRDA report 170. 51 s.
111. Heide, O.M. 1974. Growth and dormancy in Norway spruce ecotypes (*Picea abies*). I. Interaction of photoperiod and temperature. Physiologia Plantarum 30: 1–12.
112. Heikinheimo, O. 1940. Metsäpuiden taimien kasvatus taimitarhassa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 29.1. 97 s.
113. Heinonen, H. 2011. Kasvualustojen typpitalous ja typen pikatestimäärityksen luotettavuus. Opinnäytetyö, laboratorioalan koulutusohjelma, Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 67 s. (https://publications.theseus.fi).
114. Heiskanen, J. 1993. Variation in water retention characteristics of peat growth media used in tree nurseries. Tiivistelmä: Taimitarhoilla käytettyjen kasvuturpeiden vedenpidätystunnusten vaihtelu. Silva Fennica 27(2): 77–97.
115. Heiskanen, J. 1994. Effect of peat-based two-component growth media on the growth of containerized Scots pine seedlings. Tiivistelmä: Kaksiosaisten turvepohjaisten kasvualustojen vaikutus männyn paakkutaimien kasvuun. Suo – Mires and Peat 45(1): 17–29.
116. Heiskanen, J. 1995a. Compaction of growth media based on Sphagnum peat during one-year culturing of container seedlings. Tiivistelmä: Turvepohjaisten kasvualustojen tiivistyminen yksivuotisessa paakkutaimikasvatuksessa. Suo – Mires and Peat 46(3): 63–68.
117. Heiskanen, J. 1995b. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings. New Forests 9: 181–195.
118. Heiskanen, J. 1995c. Physical properties of two-component growth media based on Sphagnum peat and their implications for plant-available water and aeration. Plant and Soil 172: 45–54.
119. Heiskanen, J. 1997. Air-filled porosity of eight growing media based on sphagnum peat during drying from container capacity. Acta Horticulturae 450: 277–286.
120. Heiskanen, J. 1999a. Miten mitata ja muuttaa paakkutaimien kasvualustojen vesitaloutta? Metla. Taimiuutiset 1: 14–17.
121. Heiskanen, J. 1999b. Hydrological properties of container media based on sphagnum peat and their potential implications for availability of water to seedlings after outplanting. Scand. J. For. Res. 14(1): 78–85.
122. Heiskanen, J. 2001. Uusi helppokäyttöinen mittari sähkönjohtavuuden mittaamiseksi suoraan kasvualustasta. Metla. Taimiuutiset 1: 21–22.
123. Heiskanen, J. 2007. Altakastelulla voi olla tulevaisuutta metsäpuiden taimitarhakasvatuksessa. Metla. Taimiuutiset 4: 21–22.
124. Heiskanen, J. 2008. Kastelutarve voidaan määrittää suoraan paakusta uudella käsimittarilla. Metla. Taimiuutiset 1: 16–17.
125. Heiskanen, J. 2010. Turpeen ja kompostin seos kasvualustana: koetuloksia kuusen paakkutaimikasvatuksests. Metla. Taimiuutiset 2: 15–16.

126. Heiskanen, J. 2012. Effects of compost additive in sphagnum peat growing medium on Norway spruce container seedlings. New Forests (painossa).
127. Heiskanen, J. & Kaila, A. 2006. Turvekasvualustassa oltava taimille veden lisäksi myös riittävästi happea. Metla. Taimiuutiset 3: 12–14.
128. Heiskanen, J. & Raitio, H. 1992. Influence of polypropylene gauze covering on soil temperature in nurseries. For. Ecol. Man. 53: 319-328.
129. Heiskanen, J. & Rikala, R. 1998. Influence of different nursery container media on rooting of Scots pine and silver birch seedlings after transplanting. New Forests 16: 27–42.
130. Heiskanen, J. & Rikala, R. 2000. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. Scand. J. For. Res. 15(1): 49–57.
131. Heiskanen, J. & Rikala, R. 2003. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings. Tree Planters' Notes 50(1): 28–33.
132. Heiskanen, J. & Rikala, R. 2008. Kasvualustan sähkönjohtavuus mitattavissa suoraan kasvualustasta. Metla. Taimiuutiset 1: 14–15.
133. Heiskanen, J., Tervo, L. & Heinonen, J. 1996. Effects of mechanical container-filling methods on texture and water retention of peat growth media. Scand. J. For. Res. 11(4): 351–355.
134. Heiskanen, J., Lahti, M., Luoranen, J. & Rikala, R. 2009. Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of outplanted Norway spruce seedlings. Silva Fennica 42(2): 249–260.
135. Helenius, P. 2004. Taimipäivät Ruotsissa: Vaipat minitaimille ja "raskaustesti" männylle. Metla. Taimiuutiset 4:19–20.
136. Helenius, P. 2005a. Effect of thawing regime on growth and mortality of frozen-stored Norway spruce container seedlings planted in cold and warm soil. New Forests 29(1): 33–41.
137. Helenius, P. 2005b. Varaa aikaa pakkasvarastoitujen kuusen paakkutaimien sulatukseen. Metla. Taimiuutiset 1: 19.
138. Helenius, P. 2010. Metsäpuiden siemenhuollon laatuketju. Metlan työraportteja 160. 84 s.
139. Helenius, P., Luoranen, J. & Rikala, R. 2004. Effect of thawing duration and temperature on field performance of frozen-stored Norway spruce container seedlings. Silva Fennica 38(3): 347–352.
140. Helenius, P., Kankaanhuhta, V. & Saksa, T. 2005a, Taimikasvatusta ja metsänuudistamista Kanadan malliin. Metla. Taimiuutiset 3:15–18.
141. Helenius, P., Luoranen, J. & Rikala, R. 2005b. Physiological and morphological responses of dormant and growing Norway spruce container seedlings to drought after planting. Annals of Forest Science 62: 201–207.
142. Helenius, P., Luoranen, J., Rikala, R. & Leinonen, K. 2002. Effect of drought on growth and mortality of actively growing Norway spruce container seedlings planted in summer. Scand. J. For. Res. 17: 218-224.
143. Hellergren, J. 1981. Frost hardiness development in *Pinus silvestris* seedlings in response to fertilization. Physiologia Plantarum 52: 297–301.
144. Hellmers, H. & Rook, D.A. 1973. Air temperature and growth of radiata pine seedlings. New Zealand Journal of Forestry Science 3(3):271–285.
145. Herranen, T. 1990. Täydennystaimien kunto. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Seloste 5/90. 9 s + 2 liitettä.
146. Higginbotham, K.O., Mayo, J.M., L'Hirondelle, S. & Krystofiak, D.K. 1985. Physiological ecology of lodgepole pine *(Pinus contorta)* in an enriched CO_2 environment. Can. J. For. Res. 15:417–421.
147. Himanen, K., Helenius, P. & Nygren, M. 2010. Liotuskäsittelyiden vaikutus kuusen siementen itämiseen. Metsätieteen aikakauskirja 2/2010: 103–114.
148. Hoitink, H.A.J. 1980. Fungicidal properties of composted bark. Compost Science/Land Utilization. November/December s. 24–27.
149. Kasvihuoneanalyysien tulkintaopas. Hortilab Oy Ab. 8 s.

150. Hultén, H. 1980. TS-halt ett matt på invintring. Sveriges Lantbruksuniversitet. Plantnytt 2. 4 s.
151. Huuri, O. 1969. Paakkutaimien käyttö kautta aikojen. Metsälehti n: o 38.
152. Huuri, O. 1980. Skogsträdens rotfrågor inom den finländska skogsforskningen och det praktiska skogsodlingsarbetet. Årsskrift for Nordiske Skogplanteskoler 1979: 111–129.
153. Huurinainen, S. 1999. Bikarbonaatti ja kasvualustan ravinteisuus turve- ja puristenesteanalyyseissä männyn paakkutaimilla. Metsätieteen aikakauskirja 2/1999: 203–214.
154. Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.59 s.
155. Håbjørg, A. 1972. Effects of photoperiod and temperature on growth and development of three latitudinal and three altitudinal populations of *Betula pubescens* Ehrh. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 51(2): 1–27.
156. Hänninen, H., Zhang, G., Rikala, R., Luoranen, J., Konttinen, K. & Repo, T. 2004. Männyn taimien karaistuminen ja sen ennustaminen. Metla. Taimiuutiset 2: 10–11.
157. Hänninen, H., Luoranen, J., Rikala, R. & Smolander, H. 2009. Late termination of freezer storage increases the risk of autumn frost damage to Norway spruce seedlings. Silva Fennica 43(5): 817–830.
158. Hänninen, P. 1982. Alustavia päätelmiä kivivillan käytöstä männyntaimien kasvualusta muovihuoneessa. Rovaniemen tutkimusasema. Metlan tiedonantoja 71. 21 s.
159. Iivonen, S., Lilja, A. & Tervo, L. 1996. Juurilahoa aiheuttavan yksitumaisen *Rhizoctonia*-sienen torjunta kuumavesikäsittelyllä. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1996(1): 51–55.
160. Ingestad, T. 1962. Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 51: 7 150 s.
161. Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. Physiologia Plantarum 45(4): 373–380.
162. Ingestad, T. & Lund, A.-B. 1986. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. Scand. J. For. Res. 1: 439–453.
163. Jaakkonen, A-K. & Vuollet, T. 2003. Kasvutekijät ja kasvu. Teoksessa: Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Opetushallitus. Gummeruksen kirjapaino. Jyväskylä. s. 29–60.
164. Jacobs, D.F., Davis, A.S., Wilson, B.C., Dumroese, R.K., Goodman, R.C. & Salifu, K.F. 2008. Shortday treatment alters Douglas-fir seedling dehardening and transplant root proliferation at varying rhizosphere temperature. Can. J. For. Res. 38(6): 1526–1535.
165. Jalkanen, A. 1993. Taimien ominaisuuksien vaihtelu ja taimisatojen inventointi. Metlan tiedonantoja 496, s. 27–40.
166. Jalkanen, A, 2004. Otanta taimierän keskipituuden määrittämistä varte. Metla. Taimiuutiset 2:22–23
167. Jarvis, P. 1980. Stomatal response to water sress in conifers. Teoksessa: Turner, N., Kramer, P. (toim.) Adaption of plants to water and high temperature stress. Oxford: Blackwell: 105–122.
168. Jiang, Y., Zwiazek, J. & Macdonald, S.E. 1994. Effects of prolonged cold storage on carbohydrate and protein content and field performance of white spruce bareroot seedlings. Can. J. For. Res. 24(7): 1369–1375.
169. Johnsen, Ø., Skrøppa, T., Haug, G., Apeland, I. & Østreng, G. 1995. Sexual reproduction in a greenhouse and reduced autumn frost hardiness of *Picea abies* progenies. Tree Physiology 15: 551–555.
170. Jones, S.K. & Gosling, P.G. 1993. "Target moisture content" prechill overcomes the dormancy of temperate conifer seeds. New Forests 8(4): 309–321.
171. Jones, M., Kiiskila, S & Flanagan, A. 2002. Field performance of pine stock types: Two-year results of a trial on interior lodgepole pine seedlings grown in Styroblocks™, Copperblocks™, or AirBlocks™. B.C. Journal of Ecosystems and Management 2(1).
172. Joosen, R.V.L., Lammers, M., Balk, P.A., Brønnum, P., Konings, M.C.J.M., Perks, M., Stattin, E., van Wordragen, M.F. & van der Geest, A.H. 2006. Correlating gene expression to physiological parameters and environmental conditions during cold acclimation of *Pinus*

sylvestris, identification of molecular markers using cDNA microarrays. Tree Physiology 26: 1297–1313.
173. Josefsson, M. 1991. Plantstorlekens betydelse för tallplantors etablering på biologiskt skilda ståndorter i Norrland. Resultat efter två tillväxtsäsonger i fält av "Plantsorleksprojektets". Serie C. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion. Stencil nr 71. 53 s.
174. Jozefek, H. 1989. The effect of varying levels of potassium on the frost resistance of birch seedlings. Silva Fennica 23(1): 21–31.
175. Juntunen, M.-L. & Rikala, R. 1998. Paakkutaimien kasvatus- ja lannoitusmenetelmät taimitarhoilla – taimitarhatiedustelun tuloksia. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedosnantoja 696: 42–56.
176. Juntunen, M.-L., Hammar, T. & Rikala, R. 2002. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. Journal of Environmental Quality 31(6): 1868–1874.
177. Juntunen, M.-L., Hammar, T. & Rikala, R. 2003. Nitrogen and phosphorus leaching and uptake by container birch seedlings (*Betula pendula* Roth) grown in three different fertilizations. New Forests 25(2): 133–147.
178. Kaakinen, S., Jolkkonen, A., Iivonen, S. & Vapaavuori, E. 2004. Growth, allocation and tissue chemistry of *Picea abies* seedlings affected by nutrient supply during second growing season. Tree Physiology 24: 707–719.
179. Kalland, F. 2004. Metsänuudistamisen laadunohjaus – niuhotusta vai tie laatuun ja kustannustehokkuuteen. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004: 546–550.
180. Kanniainen, T. 2003. Kasvualustat ja kasteluvesi. Teoksessa: Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Opetushallitus. Gummeruksen kirjapaino. Jyväskylä. s. 121–139.
181. Kauppi, P. 1984. Stress, strain, and injury: Scots pine transplants from lifting to acclimation of the planting site. Tiivistelmä: Metsänviljelytaimien vaurioituminen noston ja istutuksen välillä. Acta Forestalia Fennica 185. 49 s.
182. Kauppi, P. & Hari, P. 1980. Förpackningsmaterialets betydelse för plantvården under transport och lagring av planteringsmaterial. Årsskrift for Nordiske Skogplanteskoler 1979: 51–55.
183. Kiiskinen, R. 1977. Kasteluvesi ja sen laatuun vaikuttavat tekijät. Puutarhauutiset 42/77: 913–916.
184. Klein, R.M., Perkins, T.D. & Myers, H.L. 1989. Nutrient status and winter hardiness of red spruce foliage. Can. J. For. Res. 19: 754–758.
185. Kohmann, K. 2002. Cultivation of spruce seedlings in mixtures of perlite and sphagnum peat in Norway. Research Report. Spruce cultivation in perlite mixes. (www.schundler.com/spruce.htm) (2.12.2010)
186. Kohmann, K. & Børja, I. 2002. Hot-water treatment for sanitizing forest nursery containers: Effects on container microflora and seedling growth. Scand. J. For. Res. 17(2): 111–117
187. Kohmann, K. & Johnsen Ø. 2007. Effects of early long-night treatment on diameter and height growth, second flush and frost tolerance in two-year-old *Picea abies* container seedlings. Scand. J. For. Res. 22(5): 375–383.
188. Kohmann, K. & Sonsteby, F. 2007. Sommerplanting med tidlig langnattbehandelete planter. Summary: Summer planting with early long night treated seedlings. Forskning fra Skog og landskap 2/2007. 14 s.
189. Koivuniemi, J. 1986. Kuusen ja koivun paakkutaimien kokoluokitus. Helsingin yliopisto Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 56. 51 s.
190. Kokkonen, M. & Räsänen, P.K. 1980. Paakkutaimien ominaisuudet ja ehdotus laatuluokitukseksi. Metsänjalostussäätiö. Tiedote 4. 8 s.
191. Konttinen, K. 1995. Jalojen lehtipuiden siementen käsittely. Metlan tiedonantoja 573. 49 s.
192. Konttinen, K. 1997. Ulkomaisten havupuiden ja kuusen karaiseminen lyhytäiväkäsittelyllä. Teoksessa: Smolander, H. (toim.) Metsätaimitarhapäivät Jyväskylässä 1997. Metlan tiedonantoja 650: 57–75
193. Konttinen, K. 1999. Lyhytpäiväkäsittely lehtikuusten taimien kasvatuksessa. Metsätieteen aikakasuskirja 1: 65–77.

194. Konttinen, K. 2002a. Hallantorjunta. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002. Metlan tiedonantoja 873: 20–30.
195. Konttinen, K. 2002b. LP-käsittelyn keston ja keskeytysten vaikutus kuusen kasvuun ja karaistumiseen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002. Metsäntutkimuslaitoksen tiedoantoja 873: 83–88.
196. Konttinen, K. 2003. Härintävalo yöllä estää aikaisin kylvetyn kuusen silmuuntumisen ja kasvun pysähtymisen. Janne Mikkolan päättötyön esittely. Metla. Taimiuutiset 1: 23.
197. Konttinen, K. 2005. Kuusen taimien juurten karaistuminen syksyllä muovihuoneessa ja ulkona. Metla. Taimiuutiset 3: 8–11.
198. Konttinen, K. & Nuutinen, J. 2003. Kokemuksia hallantorjunnasta. Metla. Taimiuutiset 1/2003: 15–18.
199. Konttinen, K. & Rikala, R. 1996. Lyhytpäiväkäsittely ulkomaisten havupuiden taimien karaisussa. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 3: 199–211.
200. Konttinen, K. & Rikala, R. 2000a. Lyhytpäiväkäsittelyn ajoitus ja kesto yksivuotisilla kuusen taimilla. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2000. Metlan tiedonantoja 788: 61–68.
201. Konttinen, K. & Rikala, R. 2000b. Talviaikaiset pakkasvauriot heikentävät kuusen paakkutaimien istutuksen jälkeistä menestymistä. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2000. Metlan tiedonantoja 788: 69–78.
202. Konttinen, K. & Rikala, R. 2008a. Aiheuttaako pimennysverhon käyttö keväthallantorjunnassa kasvuongelmia kuusentaimille? Metla. Taimiuutiset 2: 6–8.
203. Konttinen, K. & Rikala, R. 2008b. Päivitystä lyhytpäiväkäsittelyyn: varhainen käsittely kuusella ja männyn LP-käsittely. Metla. Taimiuutiset 4: 10–12.
204. Konttinen, K., Luoranen, J. & Rikala, R. 2000. Metsäpuiden taimien kasvun ja karaistumisen hallinta lyhytpäivä- ja valokäsittelyillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedenantoja 774. 65 s.
205. Konttinen, K., Rikala, R. & Luoranen, J. 2003. Timing and duration of short-day treatment of *Picea abies* seedlings. Baltic Forestry 9(2): 2–9.
206. Konttinen, K., Luoranen, J. & Rikala, R. 2007. Growth and frost hardening of *Picea abies* seedlings after various night length treatments. Baltic Forestry 13(2): 140–148.
207. Konttinen, K., Luoranen, J. & Rikala, R. 2009. Kuusen taimien karaistuminen ja pakkaskestävyys syksyllä. Metla. Taimiuutiset 2: 14–18.
208. Kooistra, C. & Brazier, D. 1999. Seedling standards and the need for them. Julkaisussa: Proceedings: Landis, T.D. & Barnett, J.P. (tekn. koord.) Proceedings of National Forest and Concervation Nursery Associations – U.S. Department of Agriculture. 1998. Asheville, NC Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. Gen.Tech. Rep. SRS-25: 111–115.
209. Koponen, M. 2010. Kasvinsuojeluaineet ja työturvallisuus. Työturvallisuuskeskus TTK, Maatalousalojen ja metsäalan työalatoimikunnat. 34 s.
210. Korpilahti, A. 2004. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Metsäteho Oy. Metsätehon raportti 172. 26 s.
211. Koski, V. 2001. Alkuperän merkitys metsänviljelyssä. Teoksessa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.) Onnistunut metsänuudistaminen. Metla, Metsälehti Kustannus. 217 s.
212. Koski, V. & Selkäinaho, J. 1982. Experiments on the joint effect of heat sum and photoperiod on seedlings of *Betula pendula*. Seloste: Lämpösumman ja päivänpituuden yhteisvaikutuksesta yksi- ja kaksivuotiaisiin rauduskoivuntaimiin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 105: 1–34.
213. Koski, V. & Sievänen, R. 1985. Timing of growth cessation in relation to the variations in the growing season. Teoksessa: Tigerstedt, P. M. A., Puttonen, P. and Koski, V. (toim.). Crop physiology of forest trees. Helsinki University Press. Helsinki. s. 167–194.
214. Kozlowski, T.T., Kramer, P.J. & Pallardy, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, Inc., New York, 657 s.
215. Krasowski, M.J., Letchford, T. & Eastham, A.M. 1993. Growth of short-day treated spruce seedlings planted throughout British Columbia. Forestry FRDA Report 209 September.

216. Kurkela, T. 1994. Metsän taudit. Metsäpatologian perusteet. Otatieto Oy. 320 s.
217. Kurkela, T. & Lilja, A. 2008. Taimitarhahygienia. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimituhopas. Metla. Suonenjoen toimintayksikkö. s 129–132.
218. Lahti, T. 1990 Säteilykenttä. Teoksessa: Lahti, T. & Smolander, H. (toim.) Johdatus metsien perustuotantobiologiaan. Joensuun yliopisto. Silva Carelica 16: 31–43.
219. Lamhamedi, M.S., Bernier, P.Y. & Fortin, J.A. 1992. Hydraulic conductance and soil water potential at the soil-root interface of *Pinus pinaster* seedlings inoculated with different dicaryons of *Pisolithus* spp. Tree Physiology 10: 231–144.
220. Lamhamedi, M., Lambany, G. Margolis, H., Renaud, M., Veilleux, L. & Benier, Y 2001. Growth, physiology, and leachate losses in *Picea glauca* seedlings (1+0) grown in air-slit containers under different irragation regimes. Can. J. For. Res. 31: 1968–1980.
221. Lamhamedi, M. S., Labbé, L., Margolis, H A., Stowe, D.C., Blais, L. & Renau, M. 2006. Spatial variability of substrate water content and growth of white spruce seedlings. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 108–120.
222. Landis, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.) Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest research laboratory. Proceedings of the workshop held October 16–18,1984. Oregon State University, Corvallis. s. 29–48.
223. Landis, T.D. 1989a. Mineral nutrients and fertilization. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Washington DC: U.S. Department of Acriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. Vol. 4: 1–67.
224. Landis, T.D. 1989b. Irrigation and water management. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. Vol. 4: 69–118.
225. Landis, T.D. 1990a. Containers: Types and functions. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. Vol. 2: 1–39.
226. Landis, T.D. 1990b. Growing media. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. Vol. 2: 41–85.
227. Landis, T.D. 2007a. Ethylen in cold storage – Is it a problem? U.S.D.A, Forest Service. Forest Nursery Notes. Winter, R6-CP-TP-01-2007: 13–15.
228. Landis, T.D. 2007b. Miniplug transplants: Producing large plants quickly. U.S.D.A, Forest Service. Forest Nursery Notes (Winter): 5–12.
229. Landis, T.D. 2011a. Understanding & applying the carbon-to-nitrogen ratio in nurseries. U.S.D.A, Forest Service. Forest Nursery Notes 21(1): 10–15.
230. Landis, T.D. 2011b. Uses of hydrogels in the nursery and during outplanting. U.S.D.A, Forest Service. Forest Nursery Notes 21(1): 17–22.
231. Landis T.D. & Dumroese R.K. 2005. Monitoring electrical conductivity in soils and growing media. U.S.D.A, Forest Service. Forest Nursery Notes, Summer 2006: 6–10.
232. Landis, T.D. & Morgan, N. 2009. Growing media alternatives for forest and native plant nurseries. Julkaisussa: Dumroese, R.K.; Riley, L.E.,(tekn.koord.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2008. Proc. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. RMRS-P-58: 26–31.
233. Landis, T.D., Dumroease, R.K. & Haase, D.L. 2010. The container tree nursery manual. Seedling processing, storage, and outplanting. Washington DC: U.S. Department of Acriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. Vol. 7. 199 s.
234. Landis, T.D., Tinus, R.W., Barnett, J.P. 1998. The container tree nursery manual. Seedling propagation. Washington, DC: USDA Forest Service. Agric. Handbk. 674. Vol. 6. 166 s.
235. Landis, T.D., Tinus, R. W., McDonald, S. E. & Barnett, J.P. 1992. Atmospheric environment. The container tree nursery manual. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674. Vol. 3. 145 s.
236. Langerud, B.R. 1986. A simple in situ method for the characterization of porosity in growth media. Plant and Soil 93(3):413–425.

237. Langerud, B. R. & Sandvik, M. 1991. Transpiration of containerized Picea abies seedlings with different irrigation regimes. Scand. J. For. Res. 6: 79-90.
238. Larcher, W. 1980. Physiological plant ecology. 2. uudistettu painos. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York. 303 s.
239. Larsen, J.B. 1978. Untersuchungen über die Bedeutung der Kalium- und Stickstoffversorgung für die Austrocknungsresistenz der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) im Winter. Flora 167: 197–207.
240. Lehto, T. 1989. Männyntaimien mykorritsat keskustaimitarhoilla. Folia Forestalia 726. 15 s.
241. Lehto, T. 1992. Effect of drought on *Picea sitchensis* seedlings inoculated with mycorrhizal fungi. Scand. J. For. Res. 7(2): 177–182.
242. Lehto, J. & Simolinna, J. 1966. Metsäpuiden taimien kasvattaminen. Kirjayhtymä, Helsinki. Keskusmetsäseura Tapion julkaisuja. 235 s.
243. Leinonen, K. 2008. Metsätaimitarhojen valvonnan tulokset vuonna 2007. Metla. Taimiuutiset 1: 14–16.
244. Leinonen, K. 2009. Alkuperäsiirtoihin liittyvä lainsäädäntö. Metla. Taimiuutiset 2: 11.
245. Leinonen, K., Nygren, M. & Rita, H. 1993. Temperature control of germination in the seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Scand. J. For. Res. 8:107–117.
246. Lennox, T.L. & Lumis, G.P. 1987. Evaluation of physical properties of several growing media for use in aerial seeding containers. Can. J. For. Res. 17: 165–173.
247. Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. I. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press. New York. 497 s.
248. L'Hirondelle, S.J., Simpson, D. & Binder, W.D. 2006. Overwinter storability of conifer planting stock: Operational testing of fall frost hardiness. New Forests 32(3): 307–321
249. Li, C., Welling, A., Puhakainen, T., Viherä-Aarnio, A., Ernstsen, A., Junttila, O., Heino, P. & Palva, E.T. 2005. Differential responses of silver birch (*Betula pendula*) ecotypes to short-day photoperiod and low temperature. Tree Physiology 25(12): 1563–1569.
250. Lilja, A, Hietala, A. & Sen, R. 1993. Havupuiden lahojuuri- ja koivun versolaikkutauti. Metlan tiedonantoja 460: 5–12.
251. Lilja, A., Lilja, S. & Kurkela, T. 1998. Sienitaudit metsäpuiden taimitarhoilla Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja 2/1998: 195–205.
252. Lilja, A., Rikala, R. & Luoranen, J. 2001. Kalsiumlannoituksen vaikutus koivun paakkutaimien kasvuun, versolaikkutaudin esiintymiseen ja taimien pakkaskestävyyden kehittymiseen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2001. Metlan tiedonantoja 813: 62–69.
253. Lilja, A., Luoranen, J., Rikala, R. & Heinonen, R. 2007. The effects of calcium on stem lessions of silver birch seedlings. Forest Pathology 37: 96–104.
254. Lilja, A., Poteri, M., Petäistö, R.-L., Rikala, R., Kurkela, T., & Kasanen, R. 2010. Fungal diseases in forest nurseries in Finland. Silva Fennica 44(3): 525–545.
255. Lindqvist, I. 2003. Kasvisuojelu. Teoksessa: Koivunen, T. (toim.) Tehokkaasti kasvihuoneesta. Opetushallitus. Gummeruksen kirjapaino. Jyväskylä. s. 211–244.
256. Lindström, A. 1986 Freezing temperature in the roots zone – effects on growth of containerized *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. Scand. J. For. Res. 1: 371–277.
257. Lindström, A. 1989. Isolering med konstsnö ger bättre lagringsklimat. Skogshögskolan, Garpenberg. Information från skogsbrukets plantgrupp. Ett faktablad producerat av Avd. för Skogsförnyelse. Skogshögsskolan, Garpenberg. Plantnytt 5. 4 s.
258. Lindström, A. & Ericson, C. 1989. Omskolning av täckrotsplantor med frysta substratklumpar. Information från skogsbrukets plantgrupp. Ett faktablad producerat av avd. för skogsförnyelse. Skogshögskolan, Garpenberg. Plantnytt. 4/1989. 4 s.
259. Lindström, A. & Rune, G. 1999. Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. Plant and Soil 217: 29–37.
260. Lindström, A. & Stattin, E. 1994. Root freezing tolerance and vitality of Norway spruce and Scots pine seedlings; influence of storage duration, storage temperature, and prestorage root freezing. Can. J. For. Res. 24(12): 2477–2484.

261. Lindström, A. & Stattin, E. 2007. Lagring av plantor i plantskolan. Skogsforsk, Skogshögskolan Dalarna (Plantgruppen) och SLU. Plantaktuelt 4: 6–8.
262. Lopushinsky, W. & Max, T.A. 1990. Effect of soil temperature on root and shoot growth and on bud burst timing in conifer seedling transplants. New Forests 4: 107–124.
263. Low, A.J. & Brown, R.M. 1972. Production and use of ball-rooted planting stock in Sweden and Finland. Research and Development Paper, Forestry Commission. 87: 25.
264. Lucas, R.E. & Davies, J.F. 1961. Relationship between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Science 92: 177–182.
265. Luoranen, J. 1997. Taimien karaistumisen seuranta. Metlan tiedonantoja 650: 45–56.
266. Luoranen, J. 1999. Onko kasvunsääteillä mahdollista vaikuttaa taimien kasvuun ja kehitykseen? Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1999. Metlan tiedonantoja 755: 58–69.
267. Luoranen, J. 2000. Control of growth and frost hardening of silver birch container seedlings: growth retardants, short day treatment and summer planting. Metlan tiedonantoja – The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 777. 167 s.
268. Luoranen, J. & Rikala, R. 1997. Growth regulation and cold hardening of silver birch seellings with short-day treatment. Tree Planters` Notes 48(3/4): 65–71.
269. Luoranen, J. & Rikala, R. 2000. Koivun paakkutaimien kasvatus kesäistutukseen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2000. Metlan tiedonantoja 788: 29–34.
270. Luoranen, J. & Rikala, R. 2011. Nutrient loading of Norway spruce seedlings hastens bud burst and enhances root growth after outplanting. Silva Fennica 45(3): 319–329.
271. Luoranen, J., Konttinen, K. & Rikala, R. 2009. Frost hardiness and risk of a second flush in Norway spruce seedlings after an early-season short-day treatment. Silva Fennica 43(2): 235–247.
272. Luoranen, J., Lahti, M. & Rikala, R. 2008. Frost hardiness of nutrient-loaded two-year-old *Picea abies* seedlings in autumn and at the end of freezer storage. New Forests 35(3): 207–220.
273. Luoranen, J., Puttonen, P. & Rikala, R. 1994. Lyhytpäiväkäsittely kuusen paakkutaimien kasvatuksessa. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1: 51–67.
274. Luoranen, J., Rikala, R. & Aphalo, P.J. 2002. Effect of CCC and daminozide on growth of silver birch container seedlings during three years after spraying. New Forests 23(1): 71–80.
275. Luoranen, J., Sutinen, S. & Rikala, R. 2010. Predicting spring frost sensitivity by bud development and temperature sum in Norway spruce seedlings. Trees – Structure and Function 24(5): 809–817.
276. Luoranen, J., Helenius, P., Huttunen, L. & Rikala, R. 2007. Short-day treatment enhances root egress of summer-planted *Picea abies* seedlings under dry conditions. Scand. J. For. Res. 22(5): 384–389.
277. Luoranen, J., Rikala, R., Konttinen, K. & Smolander, H. 2006. Summer planting of *Picea abies* container-grown seedlings: Effects of planting date on survival, height growth and root egress. For. Ecol. Man. 237(1–3): 534–544.
278. Luoranen, J., Rikala, R., Saksa, T., Smolander, H., Lilja, S. & Hynönen, T. 1999. Koivun paakkutaimien istutus kesällä. Metlan tiedonantoja 749. 22 s.
279. Lähde, E. & Savonen, E.-M. 1983. Kastelun vaikutus männyn paakkutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa. Folia Forestalia 571. 40 s.
280. Långström, B. 1971. Viktförlust, vattenhalt och plantavgång hos kyllagrade tallplantor Silva Fennica 5(1): 20–31.
281. Löyttyniemi, K. 1969. Männyn ja kuusen siemenien esikäsittelyn vaikutuksesta itämiseen ja taimien alkukehitykseen kasvihuoneolosuhteissa. Silva Fennica 3(3): 201–212.
282. MacDonald, J.E. & Owens, J.N. 2010. Physiology and growth of containerized coastal douglas fir seedlings given different durations of short days to induce dormancy. HortScience 45: 342–346.

283. Margolis, H.A. & Vezina, L. 1990. Atmospheric CO_2 enrichment and the development of frost hardiness in containerized black spruce seedlings. Can. J. For. Res. 20(9):1392–1398.
284. Marshall, J.G., Rutledge, R.G., Blumwald, E. & Dumbroff, E.B. 2000. Reduction in turgid water volume in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol. Tree Physiology 20: 701–707.
285. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. 889 s.
286. Mattsson, A. 1986. RGC-metoden - ett hjälpmedel för att upptäcka rotskador. Skogshögskolan, Garpenberg. Information från skogsbrukets plantgrupp. Ett faktablad producerat av avd. För skogsförnyelse. Skogshögsskolan, Garpenberg. Plantnytt 5. 4 s.
287. Mattsson, A. 1996. Spån från sågverksindustrin – ett framtida odlingssubstrat vid produktion av skogsplantor? Ett faktablad från avd. för skogsförnyelse. Sveriges Lantbruksuniversitetet, Garpenberg. Plantnytt 2. 4 s.
288. Mattsson, A. & Troeng, E. 1986. Effects of different overwinter storage regimes on shoot growth and net photosynthetic capacity in *Pinus sylvestris* seedlings.Scand. J. For. Res. 1(1): 75-84.
289. Matthews, R. G. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production. British Columbia. Julkaisussa: Scarratt, J.B., Glerum, G. & Plexman, C.A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16,1981. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. Toronto, Ontario. COJFRC Symposium. O-P-10: 115–122
290. McClaren E.L., Krasowski, M.J., Hawkins, C.D.B. 1994 Summer plant culling criteria of interior spruce: keeping the bad and throwing the good? In: Landis, T.D. & Dumrose, R.K. (tekn.koord) National Proceedings, Forest and Cnservation Nursery Associations. Gen Tech Rep RM-257:118–129
291. McCormick, L.H. & Steiner, K.C. 1978. Variation in aluminium tolerance among six genera of trees. Forest Science 24: 565–568.
292. Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd edition. International Potash Inst., 'Der Bund' AG, Bern. 655 s.
293. Mikkola, J. 2002. Yöllinen häirintävalokäsittely aikaisin idätetyllä kuusella (*Picea abies* (L.) Karsten) kahdessa eri aikaan kylvetyssä muovihuoneessa. Opinnäytetyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Evo. 68 s. +20 s. liitt.
294. 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. Silva Fennica 14(1): 84–94.
295. Mikola, J. 1982. Bud-set phenology as an indicator of climatic adaptation of Scots pine in Finland.Silva Fennica 16: 178–184.
296. Mikola, J. 2010. Metsäjalostus. Teoksessa: Tasanen, T. (toim.) Siemenestä taimeksi – metsäpuiden taimituotannon historia Suomessa. Metsäpuiden taimituotannon historiatoimikunta. s. 271–327.
297. Mikola, P. 1970. Mycorrhizal inoculation in afforestation. Teoksessa: Romberger, J.A. (toim.). International review of forestry research. 3. Academic Press, London. s. 123–196.
298. Milks, R.R., Fonteno, W.C. & Larson, R.A. 1989. Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. Journal of the American Society for Horticultural Science 1 14(1):57–61.
299. Miller, B.D. & Timmer, V.R. 1994. Steady-state nutrition of *Pinus resinosa* seedlings: response to nutrient loading, irrigation and hardening regimes. Tree Physiology 14: 1327–1338.
300. Miller, B.D. & Timmer, V.R. 1997. Nutrient dynamics and carbon partitioning in nutrient loaded *Picea mariana* [Mill.] B.S.B. seedlings during hardening. Scand. J. For. Res. 12: 122–129.
301. Mitchell, D., Hocking, D. & Kay, W.C. 1972. Extruded peat cylinders: their physical characteristics as affecting tree seedling growth and greenhouse drought tolerance. Can. J. For. Res. 2(4): 479–486.

302. Moilanen, M. & Pietiläinen, P. 2008. Männyn ravinnetilan muutokset syys- ja talvikauden välillä ojitetuilla turvemailla – neulasanalyyttinen tarkastelu. Suo 59(4): 101–116.
303. Mork, E. 1951. Factors influencing germination of seed from *Pinus silvestris, Picea abies, Betula verrucosa* and *B. pubescens*. Medd. Norske Skogförsöksvesen 38: 161–173.
304. Mortensen, L.M. & Sandvik, M.1987. Effects of CO_2 enrichment at varying photon flux density on the growth of *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. Scand. J. For. Res. 2(3): 335–342.
305. Mullin, R.E. & Parker, J.D. 1976. Provisional guidelines for fall lifting for frozen overwinter storage on nursery stock. The Forestry Chronicle 52(1): 22–25.
306. Mustard, J., Hawkins, C. & Kooistra, C. 1997. Secondary needle on lodgepole pine: What do we get with it. Julkaisussa: Kooistra, C.M. (tekn. koord.) Proceedings of the 1995, 1996, and 1997 Annual meetings of the Forest Nursery Association of British Columbia Ministry of Forests Published by the Forest Nursery Association of British Columbia: 163–167.
307. Nef, L. & Perrin, R. (tiet. toim.). 1999. Damaging agents in European forest nurseries. Practical handbook. European Commission. Luxenbourg: Office for Official Publications of the European Communities. 352 s.
308. Niemi, K., Lilja, A., Kasurinen, A. & Heinonen-Tanski, H. 2000. Ectomycorrhizal fungi as biological control agents against *Rhizoctonia* root infection of container-grown Scots pine seedlings. In: Lilja, A. & Sutherland, J.R. (toim.). Proceedings of the 4th Meeting of IUFRO Working Party 7.03.04 - Diseases and Insects in Forest Nurseries. Metlan tiedonantoja 781: 151–162.
309. Nieminen, M. 1998. Joroisten tykkilumikokeilun tulokset. Metla. Taimiuutiset 2: 18–19.
310. Nieminen, K. & Tavaila, J.1987. Metsäpuiden taimien kasvatus. Kirjayhtymä. 88 s.
311. Nygren, M. 2003. Metsäpuiden siemenopas. Metlan tiedonantoja 882. 144 s.
312. Nygren, M. 2006. Siementen itävyys ja tyhjät paakut. Metla. Taimiuutiset 1:10.
313. Nyström, C. 1991. Rottillväxtkapacitet hos tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*). Naturlig variation över året inverkan av olika produktionsuppläggningar och samspel med resultat i fält Sveriges Lantbruks universitet, Institution för Skogsproduktion, avdelning för skogsföryelse. Stencil 76. 73 s.
314. Nyström, C. 1993 Odlingsteknik för täckrotspkantor av björk. Skogshögsskolan, Garpenberg. Information från skogsbrukets plantgrupp. Ett faktablad producerat av avd. för skogsförnyelse. Skogshögskolan, Garpenberg. Plantnytt 6. 4 s.
315. Odlum, K.D. 1991 Hardening and overwintering container stock in Ontario: practices and research. In: Proceedings, 11th annual conference of the Forest Nursery Association of British Columbia. 1991 September 23–26. Prince George, BC. s. 29–35.
316. Odlum, K.D. 1992. Hardening and overwintering container stock in Ontario: practices and research. Julkaisussa: Donnelly F.P. & Lussenburg H.W. (koostaneet) Proceedings of the Forest Nursery Association of British Columbia meeting 1991, Sept. 23–27. Prince George, BC. Forest Nursery Association of B.C. s. 29–35.
317. Odlum, K.D. & Colombo, S.J. 1988. Short day exposure to induce budset prolongs shoot growth in the following year. Julkaisussa: Landis, T.D. (tekn.koord.) Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. 1988, August 8–11 Vernon, British Columbia. U.S.Department of Agriculture Forest Service. Gen.Tech.Rep. RM-167: 57–59.
318. Palomäki, V. & Holopainen, T. 1995. Effects of nitrogen deficiendcy and recovery fertilization on ultrastructure, growth and mineral concentrations of Scots pine needles. Can. J. For. Res. 25: 198–207.
319. Partanen, J., Leinonen, I. & Repo, T. 2001. Effect of accumulated duration of the light period on bud burst in Norway spruce (*Picea abies*) of varying ages. Silva Fennica 35(1): 111–117.
320. Parviainen, J. & Antola, J. 1986. Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa mäntyistutuksissa. Folia Forestalia 671. 29 s.
321. Parviainen, J., Harstela, P. & Tervo, L. 1985. Kuutiopaakkumenetelmä. Metlan tiedonantoja 171. 44 s.
322. Peck, K. 1984. Peat moss and peats. Hummert's Quarterly 8(3):1, 4–5.

323. Pellett, H.M. & Carter, J.V. 1981. Effect of nutritional factors on cold hardiness of plants. Horticultural Reviews 3: 144–171.
324. Pennanen, T., Müller, M. & Timonen, S. 2008. Juuri/verso-suhde ja mykorritsoituminen vaikuttavat kuusentaimien kasvuun istutuksen jälkeen. Metla. Taimiuutiset 2: 9–10.
325. Petäistö, R.-L. 1999. Harmaahome pitää kuivuuden ja korkean lämpötilan stressaamista taimista. Metla. Taimiuutiset 1: 5–7.
326. Petäistö, R.-L. 2002. Harmaahome kuusen paakkutaimilla. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002. Metlan tiedonantoja 873: 34–40.
327. Petäistö, R.-L. 2006a. Pakkasvarastotaimien harmaahome – ennakkotuloksia. Metla. Taimiuutiset 2: 20–21.
328. Petäistö, R.-L. 2006b. *Botrytis cinerea* and Norway spruce seedlings in cold storage. Baltic Forestry, 12 (1): 24–33.
329. Phillion, B.J. & Libby, M. 1984. Growth of potted black spruce seedlings at a range of fertilizer levels. The Plant Propagator 30(2): 10–11.
330. Pollard, D.F.W. & Logan, K.T. 1976. Inherent variation in "free" growth in relation to numbers of needles produced by provenances of *Picea mariana*. Teoksessa: Cannel M.G.R. & Last, F.T. (toim.): Tree physiology and yield improvement. Academic Press. London. s. 246–251.
331. Poteri, M. 1999a. IPM – integroitu kasvinsuojelu. Metla. Taimiuutiset 1: 10–12.
332. Poteri,M. 1999b. Siementen stratifioinnista apua kuusen epätasaiseen taimettumiseen? Metla. Taimiuutiset 2: 6–7.
333. Poteri, M. (toim.) 2008. Taimituho-opas. 3. painos. Metla, Suonenjoki. 155 s.
334. Poteri, M. 2010. Typpeä taimille ympäristöä säästäen aminohappolannoitteella. Metla. Taimiuutiset, 4: 21.
335. Proe, M.F. 1994. Plant nutrition. Teoksessa: Aldhous, J. & Mason, W. (toim.) Forest nursery practice. London HMSO. Forestry Commission Bulletin 111: 37–65.
336. Pulkkinen, P. 1993. Frost hardiness development and lignification of young Norway spruce seedlings of southern and northern origin. Silva Fennica 27(1): 47–54.
337. Puttonen, P. 1997. Looking for the "silver bullet" – can one test do it all? New Forests 13(1–3): 9–27.
338. Puustjärvi, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Summary: The analysis of needles as an exponent for the need of fertilization of Scotch pine. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 82: 26–28.
339. Puustjärvi, V. 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Turveteollisuusliitto r.y. Julkaisu 1. 172 s.
340. Puustjärvi, V. 1979. Johtoluvun koostumus. Puutarha 7/1979: 344–345.
341. Puustjärvi, V. 1983. Ravinteiden teho turveviljelyssä. Puutarha 2: 64–65.
342. Puustjärvi, V. 1984. Turve- ja puristenesteanalyysit käyttökelpoisten ravinnepitoisuuksien ilmentäjinä. Puutarha 3: 154–155.
343. Puustjärvi, V. 1987. Puutarhakasvien ravinnetalous. Puutarhaliiton opaskirjoja n:o 33. Julkaisu 244. 89 s.
344. Puustjärvi, V. 1991. Kasvu ja kasvun hallinta kasvihuoneviljelyssä. Kauppapuutarhaliitto ry. Tuotanto-osaston julkaisu n:o 10 285 s.
345. Puustjärvi, V. 1992 Turpeen kostuvuus. Puutarha10/92: 554–555.
346. Puustjärvi, V. 1993. Raakaveden laatu turve- ja kivivillaviljelyssä. Puutarha 9: 476–477.
347. Racey, G.D. 1987. Cold temperature conditioning of conifer seedlings prior to frozen overwinter storage. Ministry of Natural Resources, Ontario, canada, Forest research Report No. 118. 7 s.
348. Raitio, H. & Rikala R. 1982. Näkökohtia taimien ravinnetaloudesta ja lannoituksesta taimitarhalla. Metlan tiedonantoja 15. 28.
349. Raitio, H., Rikala, R., Heiskanen, J. Kytö, M. & Poteri, M. 1992 Männyntaimien kasvuhäiriö taimitarhalla. Metlan tiedonantoja 445. 36 s.
350. Rannikko, M. 1991. Kasvihuoneen kasteluvesi. Puutarha 1:8–9.

351. Rantanen, A. & Luoranen, J. 1998. Lyhytpäiväkäsiteltyjen kuusen paakkutaimien syysistutus. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1998. Metlan tiedonantoja 696: 71–80.
352. Raulo, J., Lähde, E., Rokkonen, J., Kuismin, R. & Piitulainen, M. 1994. Taimien kasvatus- ja istutuskokeita ja niiden tuloksia. Metlan tiedonantoja 530. 31 s.
353. Rautiainen, E. & Kubin, E. 1997. Männyn paakkutaimien juuriston rakenne eri tavoin muokatussa metsämaassa Pohjois-Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1/1997: 5–24.
354. Reinikainen, O. & Herranen, M. 1997. The influence of wetting agent on physical properties of peat. Acta Horticulturae 450: 375–379.
355. Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. Metlan tiedonantoja 688. 44 s.
356. Regan, D.J. & Davis, A. S.2008. Effect of container size and copper treatment on western white pine seedling growth and survival. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations 2007. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-57: 104–108.
357. Repo, T. 1992. Seasonal changes of frost hardiness in *Picea abies* and P*inus sylvestris* in Finland. Can. J. For. Res. 22: 1949–1957.
358. Rietvelt, W. 1988. Effect of paclobutrazol on conifer seedling morphology and field performance. Julkaisussa: Landis, T.D.(tekn.koord.). Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations; 1988, August 8–11 Vernon, British Columbia. U.S.Department of Agriculture Forest Service. Gen.Tech.Rep. RM- 167: 19–23.
359. Riikonen, J. & Rikala, R. 2011. Arginiinityppilannoituksella ei merkittävää vaikutusta kuusentaimien rakenteeseen ja fysiologiaan. Metla. Taimiuutiset 4: 9–11.
360. Rikala, R. 1978. Maanparannus, lannoitus ja kastelu keskustaimitarhoilla. Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja 24:1–31.
361. Rikala, R. 1982. Gödslingens och bevattningens inverkan på tallplantornas kvalitet. Skogplantornas vitalitet och kvalitet. Nordiskt symposium i Hyytiälä 12–13 januari 1982. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 26:111–122.
362. Rikala, R. 1983. Tuloksia moniravinnekokeen loppumittauksesta v. 1983 Moniravinne tutkimus. Metla, Suonenjoen tutkimusasema. Koeselostus 7. 24.4.1984. 8 s.
363. Rikala, R. 1985. Paakkutaimien kastelutarpeen määrittäminen haihdunnan perusteella. Folia Forestalia 627:1–18.
364. Rikala, R. 1986. Lannoituksen vaikutus männyn paakkutaimien kehittymiseen. Metlan tiedonantoja 221. 22 s.
365. Rikala, R. 1989. Planting performance of size-graded, Scots pine seedlings. Julkaisussa: Mason, W.L., Deans, J.D. and Thompson, S. (toim.) Producing uniform conifer planting stock. Forestry Supplement 62: 29–37.
366. Rikala, R. 1992. Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuisuuteen ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen. Folia Forestalia 794. 19 s.
367. Rikala, R. 1994. Miksi taimet kuolevat – tarvitaanko taimitutkimusta? Taimitarhapäivät Suonenjoen tutkimusasemalla 17.–18.1993. Metlan tiedonantoja 496: 11–26.
368. Rikala, R. 1997 Taimitarhalannoitus ja metsäpuiden taimien laatu. Metlan tiedonantoja 646. 68 s. +liitt.
369. Rikala, R. 1999a. Lannoituksen vaikutus koivun paakkutaimien kehitykseen taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1999. Metlan tiedonantoja 755: 70–83.
370. Rikala, R. 1999b. Pakkastuhoja kuusen silmuissa keväällä. Metla. Metla. Taimiuutiset 2:12–13.
371. Rikala, R. 2000. "Väriviat" kuusen taimissa. Metla. Metla. Taimiuutiset 2: 13–14.
372. Rikala, R. 2003. Ravinnetankkaus ja altakastelu. Metla. Metla. Taimiuutiset 2: 4–5.
373. Rikala, R. 2006. Metsätaimiopas – taimien valinta ja käsittely tarhalta uudistusalalle. Metlan tiedonantoja 881. 107 s.

374. Rikala, R. 2008. Voidaanko taimia tanakoittaa mekaanisella taivuttelulla? Metla. Taimiuutiset 1: 21–22.
375. Rikala, R. 2010a. Vapaa- ja ennaltamääräytynyt kasvu, jälkikasvu ja kuusen taimien kasvurytmi. Metla. Taimiuutiset 2:5–7.
376. Rikala, R. 2010b. Kauanko taimet säilyvät pakkasvarastossa, entä vaikuttaako lannoitus? Metla. Taimiuutiset 2:12–15.
377. Rikala, R. & Aphalo, P. 1998. Kasvatustiheyden ja paakkukoon vaikutus taimien ominaisuuksiin taimitarhalla ja menestymiseen istutuksen jälkeen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja. Taimitarhapäivät Jyväskylässä 11.–12.2.1998. Metlan tiedonantoja 696: 21–35.
378. Rikala, R. & Heiskanen, J. 1995. Variation in the electrical conductivity and acidity of peat growth media used in Finnish tree nurseries. Scand. J. For. Res. 10: 161–166.
379. Rikala, R. & Heiskanen, J. 1997. Relationship between electrical conductivity and water content of peat growth medium. Tiivistelmä: Turpeen puristenesteen sähkönjohtavuuden riippuvuus vesipitoisuudesta. Suo 48(2): 43–49.
380. Rikala, R. & Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus männyn kaksivuotisten paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Folia Forestalia 745. 16 s.
381. Rikala, R. & Jozefek, H.J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. Tiivistelmä: Dolomiittikalkin ja puun tuhkan vaikutus kasvuturpeeseen ja taimien kehittymiseen. Silva Fennica 24(4): 323–334.
382. Rikala, R. & Konttinen, K. 2005. Onko lyhytpäiväkäsittelystä apua männyntaimien karaisussa. Metla. Taimiuutiset 2: 4–7.
383. Rikala, R. & Konttinen, K. 2007. Uhkaako booripula taimia istutuksen jälkeen – auttaisiko booritankkaus tarhalla? Metla. Taimiuutiset 2: 21–24.
384. Rikala, R. & Konttinen, K. 2008a. Umpipakkaus hidastaa kuusentaimien karaistumista syyskesällä. Metla. Taimiuutiset 2: 4–5.
385. Rikala, R. & Konttinen, K. 2008b. ColdNSure-testi kuusen taimien pakkasvarastointivalmiuden mittauksessa. Metla. Taimiuutiset 3: 6–9.
386. Rikala, R. & Konttinen, K. 2010. Avomaalla varastoitavien taimien suojaus. Metla. Taimiuutiset 2: 7–12.
387. Rikala, R. & Lappi, J. 2010. Prediction of height development in first-year Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) container seedlings in a nursery. Baltic Forestry, 16 (1): 43–49.
388. Rikala, R. & Repo, T. 1997. The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. New Forests 14(1): 33–44.
389. Rikala, R. & Vähänummi, K. 1983. Kasvatusalustan vaikutus yksivuotiaiden kennotaimien kehittymiseen. Metlan tiedonantoja 104. 20 s.
390. Rikala, R., Heiskanen, J. & Lahti, M. 2004. Autumn fertilization in the nursery affects growth of *Picea abies* container seedlings after transplanting. Scand. J. For. Res. 19(5): 409 – 414.
391. Rikala, R., Konttinen, K. & Kolehmainen, S. 2003. Turpeen täyttötiiviyden ja kalkituksen sekä kastelun ja varjostuksen vaikutus kuusen paakkutaimiin. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2003. Metlan tiedonantoja 907: 23–32.
392. Rikala, R., Luoranen, J. & Lahti, M.2006. Kuusentaimien ravinnetankkausta – ennakkotuloksia. Metla. Taimiuutiset 2/2006: 16–19.
393. Rikala, R., Luoranen, J., Kallinen, S., Mäkelä, J. & Nuutinen, J. 2001. Fosfori-kaliumlannoituksen vaikutus koivun paakkutaimien kasvun päättymiseen ja karaistumiseen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2001. Metlan tiedonantoja 813: 70–75.
394. Ritchie, G. 1987. Some effects of cold storage on seedling physiology. Tree Planters' Notes 38(2): 11–15.
395. Ritchie, G.A. 1989. Integrated growing schedules for achieving physiological uniformity in coniferous planting stock. Forestry (Suppl.) 62: 213–226.
396. Ritchie, G. 2004. Container seedling storage and handling in the Pacific Northwest: Answers to some frequently asked questions. Julkaisussa: Riley, L. E., Dumroese, R. K., Landis, T. D.

(tekn.koord). National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2003; 2003 June 9–12; Coeur d'Alene, ID; and 2003 July 14– 17; Springfield, IL. Proc. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. RMRS-P-33:1–7.

397. Ritchie, G., Landis, T.D., Dumroese, R.K. & Haase, D. 2010. Assessing plant quality. Teoksessa: Landis, T.D., Dumroese, R.K. & Haase, D. The container tree nursery manual. Vol. 7. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture handbook 674: 17–82.
398. Rook, D.A. 1991. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. Teoksessa: van den Driessche, R. (toim.) Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Boca Raton – Ann Arbor – Boston. s. 85–112.
399. Rosvall-Åhnebrink, G. 1977. Artificiell invintring av skogsplantor i plastväxthus. Summary: Artificial hardining of spruce and pine seedlings in plastic greenhouses. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsföryngring. Interna rapporter 14: 153–161.
400. Rosvall-Åhnebrink, G. 1980. Kan vi varaktigt förändra en plantas invintringsförlopp? Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift Skogsgenetik och Skogsträdsförädling Häfte 2: 170–178.
401. Rosvall-Åhnebrink, G. 1982. Practical application of dormancy induction techniques to greenhouse-grown conifers in Sweden. Teoksessa: Scarratt, J. B., Glerum, G. & Plexman, C. A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16,1981 Toronto, Ontario. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. s. 163–170.
402. Rosvall-Åhnebrink, G. 1990. Bättre plantkvalitet genom styrning av fotoperiod och temperatur. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsfakta konferens No. 14: 27–34.
403. Rudawska, M., Leski, T., Trocha, L.K. & Gornowicz, R. 2006. Ectomycorrhizal status of Norway spruce seedlings from bare-root forest nurseries. For. Ecol. Man. 236: 375–384
404. Rudolph, T. D. 1964. Lammas growth and prolepsis in Jack Pine in the Lake States. Forest Science Monograph. 6. 70 s.
405. Ruehle, J.L. 1985. The effect of cupric carbonate on root morphology of containerized mycorrhizal pine seedlings. Can. J. For. Res. 15:586–592.
406. Rummukainen, U. & Voipio, P. 1981. Ahavan tuhot kuusentaimissa Suonenjoen taimitarhalla keväällä 1978. Folia Forestalia 469. 15 s.
407. Ruotsalainen, S. 1994. Perimä vai ympäristö: mikä ratkaisee siemenviljelysjälkeläistön kestävyyden? Metlan tiedonantoja 525: 35–46.
408. Ruotsalainen, S. & Haapanen, M. 2011. Kuusen ruotsalaisen siemenviljelysaineiston käyttökelpoisuus Suomessa. Metla. Taimiuutiset 1:16–28.
409. Rytter, L., Ericsson, T. & Rytter, R. 2003. Effects of demand-driven fertilization on nutrient use, root:plant ratio and field performance of *Betula pendula* and *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 18(5): 401–415.
410. Ryyppö, A., Repo, T. & Vapaavuori, E. 1998a. Development of freezing tolerance in roots and shoots of Scots pine seedlings at nonfreezing temperatures. Can. J. For. Res. 28(4): 557–565.
411. Ryyppö, A., Repo, T. & Vapaavuori, E. 1998b. Männyn paakkutaimien juuriston pakkaskestävyys Metlan Suonenjoen tutkimustaimitarhalla talvella 1996–1997. Metlan tiedonantoja 696: 36–41.
412. Räisänen, M., Repo, T. & Lehto, T. 2006. Effect of thawing time, cooling rate, and boron nutrition on freezing point of the primordial shoot in Norway spruce buds. Annals of Botany 97: 593–599.
413. Räisänen, M., Repo, T. & Lehto, T. 2007. Cold acclimation was partially impaired in boron deficient Norway spruce seedlings. Plant and Soil 292: 271–282.
414. Saksa, S., Kankaanhuhta, V., Kalland, F. & Heikki Smolander, H. 2005. Uudistamistuloksen laatu Etelä-Suomen yksityismetsissä ja keskeisimmät kehittämiskohteet. Metsätieteen aikakauskirja 1/2005: 67–73.

415. Sandvik, M. 1968. Mineralnaering og gødsling. Teoksessa: Rusten, A. & Landmark, L. (toim.) Produksjon av skogplanter. Det Norske Skogselskap. Oslo. s. 45–72.
416. Sandvik, M. 1975. Kontroll av innvintringstempoet hos granplanter I praktiske produksjonsanlegg. Årskrift 1974 for Norske skogplanteskoler. 49–56.
417. Sandvik, M. 1976. Vinterstyrke hos gran I. Effect av opptakstid, nedkjoling og opptining ved fryselagring av granplanter. Winter vigour in *Picea abies* (L.) Karst. I. Effects of lifting date, cooling and thawing by cold storage of seedlings. Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning Institute. Reports of The Norwegian Forest Research 32(8): 341–355.
418. Sandvik, M. 1980. Use of controlled environment facilities. Environment control of winter stress tolerance and growth potential in seedlings of *Picea abies* (L.) Karst. New Zealand Journal of Forest Science 10(1): 97–104.
419. Sarjala, T., Taulavuori, K., Savonen, E. & Edfast, A. 1997. Does availability of potassium affect cold hardening of Scots pine through polyamine metabolism? Physiologia Plantarum 99: 56–62.
420. Savonen, E.-M. 1998. Siementen stratifiointi muovipussissa. Ehdotus uudeksi stratifiointimenetelmäksi. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1998. Metlan tiedonantoja 696: 88–91.
421. Scagel, C.F. & Linderman, R.G. 2001. Modification of root IAA concentrations, tree growth, and survival by application of plant growth regulating substances to container-grown conifers. New Forests 21(2): 159–186.
422. Scarratt, J.B. 1972. Air space controls root extension from open-ended containers during seedling production. The Forestry Chronicle 48(5): 242–245.
423. Scarratt, J.B. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of jack pine container stock. Inf. Rep. O-X-377. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre. 21 s.
424. Scarratt, J.B. 1989. Intermediate transplanting of black spruce mini-plug seedlings into paperpots. Tree Planters' Notes Spring: 18–21.
425. Schnurr, J.P., Cheng, Z.M. & Boe, A.A. 1996. Effects of plant growth regulators on sturdiness of jack pine seedlings. J.Environ.Hort. 14(4): 228–230.
426. Selander, M. 1993. Männyn paakkutaimien morfologinen vaihtelu. Metsänhoitotieteen pro-rradututkielma. Helsingin yliopisto. Maa- ja metsätaloustieteellinen tiedekunta. 45 s. + liitt.
427. Selander, J. & Immonen, A. 1992. Effect of fertilization and watering of Scots pine seedlings on the feeding preference on the pine weevil (*Hylobius abietis* L.). Silva Fennica 26(2): 75–84.
428. Seppälä, J. 2002. Levän kasvun vähentäminen ravinneliuoksessa metsätaimitarhoilla. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 873: 31–33.
429. Simak, M. 1970. Photo- and thermoperiodic responses of different larch provenances (*Larix decidua* Mill.). Sammanfattning: Foto- och termoperiodiska rektioner hos olika lärkproveninser (*Larix decidua* Mill.). Studia Forestalia Suecica 86: 1–31.
430. Simak, M. 1975. Kort nattbelysning av skogsplantor i plastväxthus ger bättre odlingsmaterial. Summary: Intermittent light treatment of forest plants in a plastic green house produces better plant material. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 373–381.
431. Simpson, D.G. 1984. Filmforming antitranspirants: their effects on root growth capacity, storability, moisture stress avoidance, and field performance of containerized conifer seedlings. Forestry Chronicle 60(6): 335–339.
432. Simpson, D.G. 1990. Frost hardiness, root growth capacity, and field performance relationships in interior spruce, lodgepole pine, Douglas-fir, and western hemlock seedlings. Can. J. For. Res. 20(5): 566–573.
433. Simpson, D.G. & Ritchie, G.A. 1997. Does RGP predict field performance? A debate. New Forests 13: 253–277.
434. Simpson, D.G., Vyse, A, & Thompson, C.F. 1988. Root growth capacity effects on field performance. Julkaisussa: Landis, T.D.(tekn.koord.). Proceedings, combined meeting of

the Western Forest Nursery Associations; 1988, August 8–11 Vernon, British Columbia. U.S.Department of Agriculture Forest Service. Gen.Tech.Rep. RM-167: 119–121.
435. Siren, G. & Alden, T.1972. CO_2 supply and its effects on the growth of conifer seedlings grown in plastic greenhouse. Institutionen för Skogsföryngring Skogshögskolan. Rapporter och Uppsatser 37. 15 s.
436. Smith, D.B., Lloyd, E. & O'Neill, G. 1995. Improving Conifer Seedling Quality with CONFER.Julkaisussa: Landis, T.D. & Dumroese, R.K. (tekn. koord.) National Proceedings Associations USDA Forest Service Forest and Conservation Nursery. General Technical Report RM-GTR-257: 281–284.
437. Smit-Spinks, B., Swanson, B. T. & Markhart, A. H. III. 1985. The effect of photoperiod and thermoperiod on frost acclimation and growth *Pinus sylvestris*. Can. J. For. Res. 15: 453–460.
438. Smolander, H. & Sievänen, R. 1990. Vesi kasvutekijänä: kasvien haihdunnan ja forosynteesin kytkennän tarkastelua. Teoksessa: Lahti, T. & Smolander, H. (toim.) Johdatus metsien perustuotantobiologiaan. Joensuun yliopisto. Silva Carelica 16: 129–156.
439. Smolander, H., Oker-Blom, P. & Kellomäki. S. 1995. Typpipitoisuuden vaikutus männyn neulasten fotosynteesiin ja verson itsevarjostukseen. Silva Fennica 24(1): 123-128.
440. Solantie, R. 1987. Hallojen loppuminen keväällä ja alkaminen syksyllä. Ilmatieteen laitos. Meteorologiaisa julkaisuja 6. 60 s.
441. Steenis, E. van. 1992. Short day treatment of conifer sedlings in British Columbia forest nurseries. Julkaisussa: Landis, T. D. (tekn. koord.) Proceedings, Intermountain Forest Nurseriy Association, 1991. August 12–16; Park City. UT. Gen. Tech. Rep. RM. 211: 103–105.
442. Steenis, E. van. 1993. Lodgepole pine culture: current trends in BC. Julkaisussa: Kooistra, C. (tekn. koord.) Proceedings of Forest Nursery Association Meeting, September 18 – October 1, 1992. BC Forest Service, Victoria, BC. Penticton, BC, s. 93–96.
443. Steenis, E. van. 1998. DIF and height growth control of conifer seedlings. Humidity influences? Julkaisussa: Kooistra, C.M. (tekn. koord.) Proceedings of the 1995, 1996, 1997 Annual Meetings of the Forest Nursery Association of British Columbia. s. 61–68.
444. Stewart, N. 1986. Production of bark for composts. International Plant Propagators' Society, Combined Proceedings 35: 454–458.
445. South, D., Harris, S., Barnett, J.P., Hainds, M.J & Gjerstad, D.H. 2005. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. For. Ecol. Man. 204(2–3): 385–398.
446. Stahel, J. B. 1972. The effect of daylength on root growth of Sitka spruce. Forest Science 18: 27–31.
447. Stattin, E. & Lindström, A.1999. Influence of soil temperature on root freezing tolerance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. Plant and Soil 217: 173–181.
448. Stattin, E., Hellqvist, C. & Lindström, A. 2000. Storability and root freezing tolerance of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. Can. J. For. Res. 30: 964–970.
449. Stenström, E., Ek, M. & Unestam, T. 1990. Variation in field response of *Pinus sylvestris* to nursery inoculation with four different ectomycorrhizal fungi. Can. J. For. Res. 20: 1796–1803.
450. Story, T.L., Thompson, C.F. & Hawkins, C.D.B. 1995. Five year field performance of short day treated engelmann spruce seedlings in the Nelson Forest Region of British Columbia. Julkaisussa: National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. Landis, T.D. & Dumroese, R.K. (tekn.koord.). USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-257: 139–149.
451. Stowe, D.C., Lamhamedi, M.S. & Margolis, H.A. 2001. Water relations, cuticular transpiration, and bud characteristics of air-slit containerized *Picea glauca* seedlings in response to controlled irrigation regimes. Can. J. For. Res. 31(12): 2200–2212.
452. Sutinen, M.-L., Mäkitalo, K. & Sutinen, R. 1996. Freezing dehydration damages roots of containerized Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings overwintering under subartic conditions. Can. J. For. Res. 26(9): 1602–1609.

453. Sutinen, S., Partanen, J., Viherä-Aarnio, A. & Häkkinen, R. 2009. Mikroskooppimenetelmä vuosirytmin tutkimisessa. Julkaisussa: Ruotsalainen, S. & Häggman, J. (toim.). Kutsumuksena metsätiede. Risto Sarvaksen 100-vuotisjuhlakirja. Metla, Punkaharju. s. 94–98.
454. Sutton, J.B., Hea, B, & Hopkin, A.A. 1995. Low light intensity predisposes black spruce seedlings to infection by *Botrytis cinerea*. Can. J. Plant Path. 17(1): 13–18.
455. Sylvia, D.M. 1983. Role of Laccaria laccata in protecting primary roots of Douglas-fir from root rot. Plant and Soil 71: 299–302.
456. Syvertsen, J.P. & Dunlop, J.M. 2004. Hydrophilic gel amendments to and soil can increase growth and nitrogen uptake efficiency of citrus seedlings. HortScience 39(2):267–271.
457. Tahvonen, R. 1993. The disease suppresiveness of light-coloured *Sphagnum* peat and biocontrol of plant diseases with *Streptomyces* sp. Acta Horticulturae 342: 37–42.
458. Tanaka, Y., Brotherton, P. Hostetter, S., Chapman, D., Dyce, S., Belanger, J., Johnson, B. & Duke, S. 1997. The operational planting stock quality testing program at Weyerhaeuser. New Forests 13: 423–437.
459. Tapion taimitarhakurssien luennot. 1950. Offset-moniste. Helsinki. 100 s.
460. Tasanen, T. (toim.). 2010. Siemenestä taimeksi. Metsäpuiden taimituotannon historia Suomessa. Metsäpuiden taimituotannon historiatoimikunta. Tammerprint, Tampere. 349 s.
461. Tervo, L. & Kautto, K. 1999. Ennakkotuloksia kuusen 1- ja 2-vuotisten paakkutaimien istutuskokeista ja ahavavioitusten merkityksestä 1-vuotiailla kuusen paakkutaimilla. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1999. Metlan tiedonantoja 755: 15–20.
462. Thomas, DS. 2008. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. For. Ecol. Man. 255(3–4): 1305–1314.
463. Thompson, S. 1976. Some observations on the shoot growth of pine seedlings. Can. J. For. Res. 6: 341–347.
464. Thompson, S. 1981. Shoot morphology and shoot growth potential in 1-year-old Scots pine seedlings. Can. J. For. Res. 11: 789–795.
465. Thompson, S. 1982. Environmental control over the shoot growth of pine seedlings. Julkaisussa: Scarratt, J.B., Glerum, G. & Plexman, C.A. (toim.) Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium September 14–16,1981. Canadian Forestry Service, Ministry of Natural Resources. Toronto, Ontario. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10: 177–181.
466. Tigerstedt, P.M.A. 1971. Puuvartisten kasvien siemenmonistus. Dendrologian Seuran Tiedotuksia 2(2): 12–17.
467. Timmer, V.R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. Teoksessa: van den Driessche, R. (toim.) Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press, Boca Raton – Ann Arbor – Boston. s. 113–134.
468. Timmer, V.R. & Armstrong, G. 1987a. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. Soil Science Society of American Journal 51: 1082–1086.
469. Timmer, V.R. & Armstrong, G. 1987b. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions. Can. J. For. Res. 17: 644–647.
470. Timmer, V.R. & Miller, B.D. 1991. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients, and water relations of container grown red pine seedlings. New Forests 5(4): 235–348.
471. Timmer, V.R. & Munson, A.D. 1991. Site-specific growth and nutrition of planted *Picea mariana* in the Ontario Clay Belt. IV. Nitrogen loading response. Can. J. For. Res. 21(7):1058–1065.
472. Timmer, V.R., Armstrong, G. & Miller, B.D. 1991. Steady-state nutrient preconditioning and early outplanting performance of containerized black spruce seedlings. Can. J. For. Res. 21: 585–594.
473. Timmis, R. & Tanaka, Y. 1976. Effect of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. Forest Science 22(2)167–172.

474. Timmis, R., Flewelling, J. & Talbert, C. 1994. Frost injury prediction model for Douglas-fir seedlings in the Pacific Northwest. Tree physiology 14 (7/9): 855–869.
475. Timonen, S. 1998. Mykorritsasienet ja muut hyödylliset mikrobit puiden juuristoissa. Metsätieteen aikakauskirja 4: 602–606.
476. Tinus, R.W. 1974. Characteristics of seedlings with high survival potential. Julkaisussa: Tinus, R.W., Stein, W.I. & Balmer, W.E. Containerized Forest Tree Seedling Symposium. Denver, Colorado, August 26–29, 1974. Great Plains Agricultural Council Publication No. 68: 276–282.
477. Tinus, R.W. 1982. Environmental control of seedling physiology. Julkaisussa: Scarratt, J.B.; Glerum, C.; Plexman, C.A., (toim.) Proceedings, Canadian Containerized Tree Seedling Symposium; 1981 September 14–16; Toronto. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre:75–82.
478. Tinus, R.W. & McDonald, S.E. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouse. Gen. Tech. Rep. RM-60. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 256 s.
479. Toivonen, P.M.A. 1997. Waxes and cuticle: Form, function and development. Julkaisussa: Kooistra, C.M. (tekn. koord.) Proceedings of the 1995, 1996, 1997 Annual Meetings of the Forest Nursery Association of British Columbia. s. 69–71.
480. Toivonen, A., Rikala, R., Repo, T. and Smolander, H. 1991. Autumn colouration of first year *Pinus sylvestris* seedlings during frost hardening. Scand. J. For. Res. 6(1): 31–39.
481. Tolley, L.C. & Strain, B.R. 1984. Effects of CO_2 enrichment on growth of *Liquidumhur stryaciflua* and *Pinus taeda* seedlings under different irradiance levels. Can. J. For. Res. 14: 343–350.
482. Tripepi, R.R., George, M.W., Dumroese, R.K. &Wenny, D.L. 1991. Birch seedling response to irrigation frequency and a hydrophilic polymer amendment in a container medium. J. Environ. Hort. 9: 119–123
483. Troeng, E. 1987. Inverkan av koldioxid, näring och temperatur på knoppbildning hos gran. Skogshögskolan, Garpenberg. Information från skogsbrukets plantgrupp. Ett faktablad producerat av avd. för skogsförnyelse. Skogshögsskolan, Garpenberg. Plantnytt 5. 4 s.
484. Troeng, E. 1988a. Växtnäringsstyrda plantor I. Tillväxt i plantskolan. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Avdelningen för skogsförnyelse. Stencil nr 42. 17 s.
485. Troeng, E. 1988b. Växtnäringsstyrda plantor II. Tillväxt i fält. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Avdelningen för skogsförnyelse. Stencil nr 45. 15 s.
486. Troeng, E. & Ackzell, L. 1988. Growth regulation of Scots pine seedlings with different fertilizer compositions and regimes. New Forests 2: 119–130.
487. Troeng, E. & Ackzell. L.1990. Effects of carbon dioxide enrichment on bud formation and growth of coniferous seedlings. Acta Horticulturae 268: 179–189.
488. Tuller, S.E. & Peterson, M.J. 1988. The solar radiation environment of greenhouse-grown Douglasfir seedlings. Agricultural and Forest Meteorology 44: 49–65.
489. Tyystjärvi, P., Pitkäniitty, M. & Seppänen, M. 1980. Hallan torjunta taimitarhalla käyttämällä vaahtoa. Metsänjalostussäätiö. Tiedote 6/80.
490. Uhlig, S.K. 1977. Die Kaltlagerung von Koniferen. Beiträge f.d. Forstwirtschaft Heft 1: 18–19.
491. Ununger, J., Ekberg, I. & Kang, H. 1988. Genetic control and age-related changes of juvenile growth characters in *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 3(1): 55–66.
492. Vaario, L.M., Tervonen, A., Haukioja, K., Haukioja, M., Pennanen, T. & Timonen, S. 2009. The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of *Picea abies*. Can. J. For. Res. 39(1): 64–75.
493. Vaartaja, O. 1951. Päivän pituuden vaikutuksesta puiden kasvuun. Summary: On photoperiodism in Finnish trees. Metsätaloudellinen aikakauslehti 4: 105–107.
494. Vakkilainen, P. 1986. Maavedet. Teoksessa: Mustonen, S.(toim.) Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys ry. Mäntän kirjapaino. s.82–100.

495. Valinger, E., Lundqvist, L. & Sundberg, B. 1995. Mechanical bending stress applied during dormancy and (or) growth stimulates stem diameter growth of Scots pine seedlings. Can. J. For. Res. 25: 886–890.
496. Vapaavuori, E.M.,Rikala, R. & Ryyppö, A. 1992. Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation. Tree Physiology 10: 217–230.
497. Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Vänttinen, K. & Heinonen-Tanski, H. 1999. Metsätaimitarhojen jätehuolto – Ohjeita jätehuoltojärjestelyjen kehittämiseksi. Metlan tiedonantoja 738. 59 s.
498. Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Lilja, A., Heinonen-Tanski, H. & Tervo, L. 2007a. Forest nursery waste composting in windrows with or without horse manure or urea – the composting process and nutrient leaching. Silva Fennica 41(1): 13–27.
499. Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Lilja, A., Heinonen-Tanski, H. & Tervo, L. 2007b. Metsätaimijätteen aumakompostointi ja ravinteiden huuhtoutuminen kompostista. Metsätieteen aikakauskirja 1/2007: 71–72.
500. Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Lilja, A., Tervo, L. & Heikkinen, K. 2002. Taimitarhajätteen kompostointi. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002. Metlan tiedonantoja 873: 89–98.
501. Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Lilja, A., Tervo, L. & Heiskanen, J. 2005. Metsätaimijätteen kompostointi ja kompostituotteen käyttömahdollisuudet. Metla. Taimiuutiset 2: 10–14.
502. Venn, K., Sandvik, M. & Langerud, B.1986. Nursery routines, growth media and pathogens affect growth and root dieback in Norway spruce seedlings. Planteskolerutiner, vekstmedia og patogener påvirker vekst og rotavdoing hos granplanter. Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning 39(18): 314–328.
503. Viiri, H., Kilpeläinen, J. & Rikala, R. 2011 Nutrient loading of Norway spruce seedlings does not increase feeding by the pine weevil (*Hylobius abietis* L.). Käsikirjoitus. Metla.
504. Wallerz, K. 2009. Pine weevil feeding in Scots pine and Norway spruce regenerations. Doctoral diss. Southern Swedish Forest Research Centre, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae, vol. 2009: 60. 46 s.
505. Wang, K.-Y. & Kellomäki, S. 1997. Stomatal conductance and transpiration in shoots of Scots pine after 4-years exposure to elevated CO_2 and temperature. Can. J. Bot 75: 552–561.
506. Wenny, D.L., Liu, Y., Dumroese, R.K. & Osborne. H.L. 1988. First year field growth of chemically root pruned containerized seedlings. New Forests 2(2): 111–118.
507. Weissenberg, K. von. 1981. Taimitarhakasvatuksen ja -lajittelun vaikutukset metsien geneettisiin ominaisuuksiin. Metlan tiedonantoja 34: 15–40.
508. Whitcomb, C.E. 1988. Plant production in containers. Lacebark Publications, Stillwater, OK. 631 s.
509. Whitcomb, C.E. 1991. Effects of water quality and water management on the growth of container nursery stock. Combined Proceedings International Plant Propagators' Society. Vol. 41: 492–496.
510. Whitney, R.D., Greifenhagen, S., McLaughlin,J., Meyer, T. & Gross, H.L. 2001. Diseases and mycorrhiza. Teoksessa: Wagner, R.G. & Colombo, S.J. (toim.) Regenerating the Canadian forest. Principles and Practice for Ottawa. Fitzhenry & Whiteside Limited, Ontario Ministry of Natural Resources. Ontario. s. 459–482.
511. Viljavuustutkimuksen tulkinta metsäpuiden taimituotannossa. 1996. Viljavuuspalvelu Oy. 10 s.
512. Williams, R. D. & Hanks, S. H. 1994. Hardwood Nursery Guide. United States Department of Agriculture Forest Service Agriculture Handbook No. 473.
513. Williams, P.A., Gordon, A.M. & Moeller, A.W. 1990. Effects of five antitranspirants on white spruce and white pine seedlings subjected to greenhouse drought. Tree Planters' Notes. Winter: 34–38.
514. Worrall, R.J. 1978. The effect of irrigation water temperature on the germination and growth of plants. Acta Hort. (ISHS) 79:145–152.

515. Wühlisch, G. von & Muhs, H.-J. 1986. Influence of age on sylleptic and proleptic free growth of Norway spruce seedlings. Silvae Genetica 35(1): 42–48.
516. Zas, R., Sampedro, L., Prada, E, Lombardero, M.J. & Fernández-López, J. 2006. Fertilization increases *Hylobius abietis* L. damage in *Pinus pinaster* Ait. seedlings. For. Ecol. Man. 222(1–3): 137–144.
517. Zhang, P.G., Sutton, J.C. & Fletcher, R.A. 1994. Paclobutrazol protects black spruce seedlings against predisposition to gray mold induced by high temperature and drought. Can. J. For. Res. 24: 1033–1038.
518. Örlander, G. & Due, K. 1986. Location of hydraulic resistance in the soil-plant pathway in seedlings of *Pinus sylvestris* L. grown in peat. Can. J. For. Res. 16(1): 115–123.

Liite 1. Pohjoismaissa käytettäviä paakkutyyppejä. Tiedot koottu valmistajien esitteistä.

Paakku tyyppi	Paakkun tilavuus, cm^3	Tiheys, kpl/m^2	Paakkuja/ yksikkö, kpl	Kasvatusyksikön koko, lev. x kork. x pit., mm	Yksittäisen kennon koko
BCC: Valmistaja: BCC AB, materiaali: kovamuovi. Esim. bcc81s, (s=sideslit) kennojen seinämissä ilma-aukkoja juurten kiertymisen ehkäisemiseksi. Luvut kuvaavat kennojen määrää kasvatusyksikössä.					
bcc80	65	812	80	255x 385x75	
bcc70	80	711	70	255x 385x75	
bcc60	92	609	60	255x 385x75	
bcc54	100	548	54	255x 385x75	
bcc121s	65	816	121	385x385x85	
bcc81s	100	546	81	385x385x85	
bcc64s	120	432	64	385x385x85	
bcc36					
Blockplant: Valmistaja: Panth produkter Ab, materiaali: kovamuovi. Esim. BL121: BL=Block, luku ilmaisee kennojen määrän kasvatusyksikössä.					
BL144	66	966	144	386x386x73	
BL121	80	812	121	386x386x73	
BL100	95	671	100	386x386x73	
BL81	117	540	81	386x386x73	
BL64	154	426	64	386x386x73	
BL36	265	240	36	386x386x73	
Ecopot: Valmistaja: Potma Oy, materiaali: muovitettu laminaatti + kovamuovilaatikko. Kennostoa saa PS- tai PSJ-laatuna. Esim: PS-4, PSJ-6: Kirjaimet kuvaavat paperin laatua ja kennon kokoa: J=paperi käsitelty juuriston kasvua kennon sisäpinnalla estävällä kemikaalilla.					
PS3	45	1525	366	400x600x75	Ø 30
PS/PSJ408	75	865	215	400x600x75	Ø 39
PS/PSJ508	103	620	149	400x600x75	Ø 46
PS/PSJ608	152	433	104	400x600x75	Ø 56
PS/PSJ708	228	279	67	400x600x75	Ø 69
PS/PSJ10	453	137	33	400x600x75	Ø 96
Ensokenno: Tuottaja: Enso-Gutzeit Oy, materiaali: iskunkestävä, ohut syvävetomuovi. Esim. EK77; EK=ensokenno, luku ilmaisee kennojen määrän yksikössä.					
Ek77	90	513	77	300x490x95	
Ek45	190	306	45	300x490x95	
Flexipot: Materiaali : solumuovi (styroks). Esim. Flexi800, luku ilmaisee taimien kasvatustiheyden.					
Flexi 1000	50	1000	3x96	383x762x80	
Flexi 800	60	800	3x77	383x762x80	
Flexi 600	80	600	3x60	383x762x80	
Flexi 400	120	400	3x40	383x762x80	
Flexi 250	220	250	72	383x762x80	

Paakku tyyppi	Paakkun tilavuus, cm^3	Tiheys, kpl/m^2	Paakkuja/ yksikkö, kpl	Kasvatusyksikön koko, lev. x kork. x pit., mm	Yksittäisen kennon koko
Hiko: Valmistaja: BCC AB, materiaali: kovamuovikennosto (PEHD, polyetyleeni). Esim. Hiko V-50; Hiko V-150V= volume (tilavuus) ja luku kuvaa kennon tilavuutta (cm3). Kirjainlyhenteet (AB=Airblock, SS=Side slit) viittaavat ilmankiertoon paakun seinämissä olevien aukkojen kautta.					
HikoV-13	13	1836	135	381x211x49	
HikoV-50ss	50	881	67	352x216x87	
HikoV-93	93	526	40	352x216x87	
HikoV-93AB	90	526	40	352x216x87	
HikoV-120SS	120	526	40	352x216x110	
HikoV-150	150	316	24	352x216x100	
HikoV-350	530	199	15	352x216x200	
JackPot ja PowerPot: SCA:n käyttämiä kovamuovikennostoja, joissa kennon yläosan sisäseinät on maalattu kasvua estävällä maalilla tarkoituksella edistää juurten haaromista ja estää niiden kasvua pitkin kennon seinämää.					
JackPot	50	881	67	352x216x87	
PowerPot	25	1683	128	352x216x87	
Jiffy: Valmistaja: Jiffy Products. Materiaali: maatuvan verkon sisällä oleva puristettu turvepriketti, joka kastelun vaikutuksesta paisuu korkeussuunnassa. Kasvatusalusta kovamuovikennosto. Esim J64: J=jiffy, luku ilmaisee paakkujen lukumäärän kasvatusyksikössä. Kasvatusyksikön koko - sarakkeessa esitetty korkeustieto kuvaa yksittäisen paisuneen paakun korkeutta.					
Jiffy121	50	815	121	380x380x70-75	
Jiffy96	115	400	96	400x600x70-75	
Jiffy64	90	432	64	380x380x70-75	
Jiffy36	200	240	36	380x380x90-95	
Planta 80/90: Materiaali: kovamuovinen, kahdeksankulmainen paakku, jossa pystysuorat yhtenäistä seinää korvaavat sormimaiset liuskat pitävät kasvualustan koossa kunnes juuristo sitoo sen. Sormiliuskojen välinen ilmatila estää juurten uloskasvun paakusta.					
Planta 80	45	865	208	442x544x70	
Planta 90	87	500	120	442x544x70	
Plantek: Valmistaja: BCC, materiaali: kovamuovikennosto. Esim. PL25, PL81F, DL300: PL=Plantek, DL=DynoLännen. Luvut kuvaavat kennojen lukumäärää kasvatusyksikössä ja F (forest) kertoo paakkutyypin olevan metsätaimikäyttöön kehitetty ja kennon seinämissä on ilma-aukkoja ja kohoumia juurten kiertymisen estämiseksi.					
PL25	380	156	5x5	400 x 400x90	80 x 80 x 90
PL35F	275	291	7x5	400x300x130	56 x 59 x 130
PL36F	230	240	6x6	385 x 385x90	64 x 64 x 90
PL49F	155	330	7x7	385 x 385 x 100	49 x 49 x 100
PL63F	90	539	9x7	397 x 294 x 90	43 x 41 x 90
PL64F	115	434	8x8	385 x 385x73	46 x46 x73
PL64FD	128	434	8x8	385 x 385 x 110	43 x43x 110
PL81F	85	549	9x9	385 x 385x73	41 x 41 x 73
PL100F	81	676	10x10	385x385x90	
PL121F	50	820	11x11	385 x 385x73	41 x 41 x 73
PL224	24	1400			23 x 27 x 60
PL256	15	1600	256	400x400x50	23 x 23 x 50
PL324	12	2025	324	400x400x45	21 x 21 x 45
DL300	25	1250	300	400x600x55	26 x 29 x 55

Paakku tyyppi	Paakkun tilavuus, cm^3	Tiheys, kpl/m^2	Paakkuja/ yksikkö, kpl	Kasvatusyksikön koko, lev. x kork. x pit., mm	Yksittäisen kennon koko
Quick-pot. Valmistaja: HerkuPlast-Kubern GmbH, materiaali polystyreeni, seinämissä juurten kiertymistä estäviä pystysuoria ohjausliuskoja ja pohjassa avoin pohjaristikko					
QP12 T10	430	120	3x4	215x360x100	67x67x100
QP35 T	200	350	7x5	280x360x115	50x50x115
QP54T/11.5	160	360	6x9	300x500x115	45x50x115
QP60 T/9	150	365	6x10	310x530x90	48x48x90
QP84 T/8	95	510	7x12	310x530x80	39x39x80
QP96 T	75	560	8x12	335x515x78	38x38x78
QP256/6	14	1600	16x16	400x400x60	21x21x60
Starpot: Valmistaja: Panth-produkter Ab, materiaali: kovamuovi (polyetyleeni). Esim. S50-60, S=Starpot (kenno päältäpäin tähdenmuotoinen, seinämissä juurten kiertymistä estäviä ilma-aukkoja), ensimmäinen luku kuvaa kennon tilavuuden (cm3) ja toinen kennojen lukumäärän kasvatusyksikössä.					
S50-60	50	730	60	235x 350x90	
S50-105	50	715	105	384x384x90	
S75-80	75	540	80	384x384x90	
S90-33	90	440	33	215x 350x90	
S105-56	105	378	56	384x384x90	
S120-28	120	308	28	260x 350x90	
Svepot: Materiaali: kovamuovi. Luku 110 ilmaisee kennon tilavuuden (cm3).					
Svepot 110	110	550	45	214x 384x80	
Svepot 110 Air	90	547			
Takopot: Käytöstä pääosin poistuneita paakkutyyppejä, joista käytettiin myös EPS-nimitystä. Materiaali: solumuovi (styroks). Esim. TA310, TAL510:TA=tako (valmistaja); päältäpäin pyöreä kenno, L= neliönmuotoinen kenno, luku kertoo paakun kasvutilan korkeuden ja halkaisijan (TA310: halkaisija 3 cm ja korkeus 10 cm). TK=kertakäyttöisiä paakkutaimialustoja.					
TA310	55	625	150	400 x 600x110	
TA410	85	400	96	400 x 600x110	
TA510	140	290	70	400 x 600x110	
TA710	300	167	40	400 x 600x110	
TA913	580	92	22	400 x 600x130	
TAL310	76	625	150	400 x 600x110	
TAL410	116	400	96	400 x 600x110	
TAL510	176	290	70	400 x 600x110	
TAL710	410	167	40	400 x 600x11	

Liite 2. Taimien kasvuun liittyvien ongelmien selvittäminen

Jos taimikasvustoissa esiintyy vaurio-oireita – esimerkiksi taimet kellastuvat voimakkaasti, selvitä ensin taustat:

- tehdyt toimenpiteet: lannoitus, kastelu, kasvinsuojelu, lyhytpäiväkäsittely
- tarkasta lämpötilahistoria huoneesta/avomaalta
- kuvaa vaurion esiintyminen: yksittäisiä hajallaan, mosaiikkimaisia laikkuja, alueittain, kasvatuslaatikoittain (valokuvaus hyvä dokumentointimenetelmä)
- tarkasta kasvualusta, vertaa terveitä ja oirekohtia: turpeen kosteus, johtokyky, pH, turpeen rakenne (onko muutoksia)
- tarkasta taimet (terveet ja oirehtivat): juuriston rakenne ja juurten jakautuminen paakkuun, tutki suurennuslasilla/mikroskoopilla taimien versot ja juuret – etsi hyönteisiä (liima-ansojen käyttö), vaurioita, seittejä

Tuhon syytä etsittäessä kannattaa käydä mielessään läpi kaikki mahdollisuudet:

Abioottiset syyt:

- kuivuus ↔ märkyys
- kylmyys (halla, joskus kasvun herkimmässä vaiheessa jopa alle +5 °C) ↔ kuumuus (yli +30 °C)
- voimakas auringonpaiste (esim. ulossiirtovaiheessa)
- vähäinen säteily + korkea lämpötila (heikko kasvu)
- kemialliset vauriot (torjunta-aineet ja lannoitteet)
- mekaaniset vauriot (raesade, rankka vesisade, eri kasvatustoimenpiteet: harvennus-täydennys, rikkaruohojen poisto, liikkuvat laitteet yms.)

Bioottiset syyt

- taudit
- hyönteiset, punkit
- myyrät, linnut
- rikat, sammalkasvusto

Eri kasvatusvaiheissa huomiota on kiinnitettävä erilaisiin asioihin:

Itämisvaihe:

Itäminen viivästyy tai on epätasaista

- löytyykö itämättömiä siemeniä
- millä syvyydellä siemenet (peitto, kastelu, hapettomuus)

- tutki (halkaise) itämättömät siemenet
- tarkasta lämpötila, kosteus, kastelu, johtokyky, turve

Sirkkataimi kellastuu, suikertelee, juuri ei työnny maahan

- ongelmia siemenerässä (keruu, karistus, varastointi, vanha siemen)
- ongelmia kasvualustassa (liian märkä ja hapeton, korkea johtokyky tai pH)
- taudit

Sirkkavarsi kasvaa pitkäksi ja honteloksi

- niukka valo
- ilman korkea suhteellinen kosteus

Sirkkataimi ruskettuu tyvestä ja kaatuu

- taimipolte
- kasvualustan pinnan korkea lämpötila (yli 40 °C)

Kasvu pysähtyy – taimi "silmuuntuu" keväällä

- päivänpituus liian lyhyt
- voimakas stressi (kuivuus, kylmyys, kuumuus)

Nopean kasvun vaihe

Kasvu pysähtyy

- vertaa kasvua aiempien vuosien pituuskasvukäyriin
- olosuhdemuutokset (lämpötila, säteily, muovien poisto, ulossiirto)
- liika vesi (hapenpuute, tiivis turve), kuivuus
- tarkasta juuristo (elävyys, jakautuminen paakkuun)
- ravinteiden puute (tavallisesti typpi – kellertävä sävy neulasissa, samanlaisia oireita myös juurilahosta

Monilatvaisuus

- hyönteistuho (metsälude)
- halla

Kloroosi/nekroosi (värioire/kuolema)

- korkea johtokyky (liika lannoitus, turpeen korkea rikkipitoisuus, veden puute)
- ravinnepuutos/myrkytys – yksittäisen ravinteen osalta nykyään harvinainen seoslannoitteita käytettäessä
- kuivuminen/liika vesi
- torjunta-ainevioitus
- olosuhteiden nopea muutos (esim. taimien ulossiirto muovihuoneesta)
- halla/lämpövaurio

- taudit (juurilaho kellastuttaa neulasia, harmaahome: vaaleita pilkkuja neulasissa)
- hyönteis/punkkivaurio (punkit: kirjavaa kellertymistä)

Karaisuvaihe ja talvituhot

Kasvun pysähtyminen ja karaistuminen viivästyvät

- eteläinen alkuperä
- liiallinen lannoitus
- lämpötila nousee karaisujakson aikana liian korkeaksi
- hallavauriot versossa ennen kestävyyden kehittymistä
- päivää pidentävä valolähde (katuvalo, kasvihuonevalaistus) taimien lähellä

Latvakuivuminen, neulasten ruskettuminen keväällä

- silmujen pakkasvaurio talvella lämpimän jakson jälkeisen nopean lämpötilan laskun seurauksena
- juurten pakkasvaurio ennen lumen tuloa sattuneissa kovissa pakkasissa (<-15 °C), minkä seurauksena keväällä hidas kasvuun lähtö tai latvan kuivuminen
- ahavavauriot (pakkaskuivuminen) keväällä lumien sulaessa
- juurilaho, talvihomeet

Hakemisto

A

absoluuttinen kosteus *ks. kosteus*
alkuperä *9–13, 16, 78,198*
alustavasti testattu
ks. metsänviljelyaineistoluokat
avomaavarasto *164, 181, 182*

B

BCC *30, 238, 239*
biojäte *47, 48, 244*
boori *100–102, 110, 114, 117, 118, 138, 141*

C

CO_2 *ks. hiilidioksidi*

D

diffuusio *111*
dokumentointi *203, 206, 212*

E

emoliuos *125*
enimmäispituus *175*
ennaltamääräytynyt kasvu *15–19, 76 230*
esiliotus *149, 162, 164*

F

fosfori *43, 100, 101, 110, 111, 116–123, 125, 134, 138–141*
fotosynteesi *8, 51, 59, 63, 65, 88–90*

G

Geenitesti *193*

H

haihdunta *52–60, 92, 96, 97, 105, 107, 108, 111*
hallakastelu *103–104, 157–159*
hallantorjunta *156–159, 212*
hallitusti liukenevat lannoitteet *115, 131–132*
happamuus *38, 101, 117–119, 138*
harmaahome *59, 70, 79, 168, 174, 186*
harso *160, 202*
harvennus *146, 151, 162, 241*
hengitys *ks. respiraatio*
hidasliukoiset lannoitteet *131*
hiilidioksidi *51, 52, 59, 63, 88–91*
hiilidioksidilannoitus *89, 90, 91*
hivenlannoitus *110, 122*
huokosjakauma *38*
hygienia *42, 103, 207, 208–210, 212*
häirintävalo *66–68, 70, 78*

I

IDS *148*
ilmatila *34, 37–39, 41, 45, 47, 95*
Ingestad-menetelmä *123, 129*
integroitu kasvinsuojelu *228*
inventointi *169, 172*
ionivuototesti *191*
itäminen *14, 15, 29, 44, 54, 55, 61, 86, 87, 148, 149*

J

jälkikasvu *16–19, 73*
Jiffy *30, 31, 35, 153, 239*
johtokyky *43, 44, 92, 98, 100–102, 115, 121, 126–128, 130, 134–137, 142, 192, 205, 212*
johtoluku *134*
juuriston pakkaskestävyys *27, 28, 56, 75, 113*
juuriston epämuodostuminen *30, 33, 35*
juuriverso-suhde *8, 32, 107, 108, 112, 113, 129, 205*
juurtenkasvupotentiaali *8, 28, 81, 186, 194–196*
juurten kiertyminen *30, 32, 33*
juurten leikkaus *7, 35, 178*
jälkivaikutus *26*
jätehuolto *210*

K

kalium *43, 100, 108, 110, 113, 114, 116–118, 122, 123, 125, 134, 138, 141*
kalkki *41, 43,115, 119*
kalsium *59, 100, 101, 110, 111, 115–118, 122, 125, 132, 135, 141*
kantatodistus *198*

karaistuminen *19, 23, 25, 66, 74, 107, 111, 113, 127, 188, 193*
kastelu *33, 92–97, 107–109, 212*
kastelukiteet (geelit) *49–50*
kastelulannoitus *125, 128, 131*
kasteluramppi *104, 159*
kastelutarve *57, 96–98*
kasteluvesi *99–104*
kastepiste *58, 60, 61*
kasvatusaikataulu *146, 155, 161, 203*
kasvatusalusta *36–37*
kasvatussuunnitelma *146*
kasvatustiheys *31–133, 175, 199*
kasvatusvaiheet *28*
kasvinsuojelu *146, 203, 207, 209*
kasvipassi *198, 199*
kasvualusta *38–50, 93–95, 134–137*
kasvullinen lisääminen *11*
kasvunsääteet *143*
kasvurytmi *20, 22, 26*
kasvuun suhteutettu lannoitus *129*
kationinvaihtokapasiteetti *38, 41, 45*
kenttäkapasiteetti *93*
kesäkoivu *167*
kivivilla *39, 46–47*
kloonaus *11*
klorofyllifluoresenssi *191, 192*
kohokasvatus *33, 37*
kokonaishuokostila *39, 42*
kokonaissäteily *62–63, 96–97*
kokosuositus *ks. pituussuositus*
kookoskuitu *39, 47, 48*
kosteus
absoluuttinen 57
suhteellinen 57–61, 70, 79, 86
kostutusaine *44, 94*
kriittinen pitoisuus
ks. optimiravinnepitoisuus
kuiva-ainepitoisuus *189–191*
kyllästysvajaus *57, 92, 96*
kylmävarasto *183*
kylvö *150, 152, 212*
kylvöksen täydennys *ks. täydennys*
käyttöalue *12–14, 199*
käyttöliuos *126*

L

laatu *7–9, 11, 198, 200*
lajittelu *169, 172, 173*
lakastumisraja *93*
lannoitus *111*
lannoiteliuoksen väkevyys *125, 126*
lehtilannoitus *132*
letkukastelu *103–105*
liuoslannoitus *124*
LP-käsittely *ks. lyhytpäiväkäsittely*
lyhytpäiväkäsittely *10, 70–85*
koivu 83
kuusi 72
lehtikuusi 82
mänty 79
ulkomaiset havupuut 83
lähtöisyysalue *12, 198, 199*
lämpötila
ilma 51–57, 58, 156
kasvualusta 20, 34, 52, 53,102
lämpötilan mittaus *56*
läpimitta *8, 9, 22–24, 32, 53, 87, 143, 144, 244*

M

maatumisaste *40, 42, 43*
magnesium *59, 100–102, 110, 111, 118, 122, 125, 135, 138, 141*
massavirtaus *111*
matriisipotentiaali *93–96*
merivesi *102, 136*
metsänviljelyaineistoluokat *11–12*
alustavasti testattu 12, 114, 198, 199
siemenlähde tunnettu 12, 13, 198, 199
testattu 12, 14, 198, 199
valikoitu 12,198
mikrolisäys *11*
molybdeeni *110, 117, 138*
monilatvaisuus *174, 176, 177, 242*
mykorritsa *119–121, 130*

N

nettofotosynteesi *51, 65*
nitraattityppi *100, 115, 118, 124, 135, 137*
näytetaimien valinta *169, 170, 196*

O

oksapistokas *11*
ongelmien ratkominen *207*
optimikosteus *60, 99*
optimiravinnepitoisuus *112, 141*

orastuminen *14, 15, 29, 61*
osmoosi *92*
otanta *169–172, 196, 204*

P

paakkukapasiteetti *39, 93–95, 107*
paakku-paakkuun koulinta *33, 152, 153, 155*
paakkutyypit *30–37, 99, 109, 238*
paakun muoto *33, 34, 94, 96*
pahvilaatikko *179, 180, 183–186, 210*
pakkaskestävyys *8, 20, 23*
juuret 24, 27, 28, 56, 183, 187
mittaus 188–193
verso 10, 24–27, 177
pakkasvarasto *28, 74, 75, 79, 183–190*
pakkasvarastointivalmius *188, 189, 193*
pakkaus *169, 179, 180, 201, 202*
pakkausmerkinnät *198*
peitto (siemenen) *46, 87, 150*
peittoharso *157, 160, 202*
perliitti *38–40, 42, 45, 46, 150*
peruslannoitus *44, 50, 115, 122*
pH *ks. happamuus*
pituus *8–9, 33, 172, 174, 175*
pituuskasvurytmi. *ks. kasvurytmi*
pituussuositus *33, 174*
Plantek *30, 31, 98, 99, 239*
Prevac *148*
priklaus *152, 166, 168*
puristeneste *126–128, 134–139*
puru *41, 42, 46, 47, 159*
puutosoireet *110, 112, 115, 117*

R

rauta *100, 101, 110, 116, 118, 122, 138, 141*
ravinneanalyysi
kasvi 117, 138–140, 177
puristeneste 137
vesi 101
ravinnepitoisuus
kasvi 10, 111–114, 123, 129, 130, 138–141
kasvualusta 41, 42, 124, 128, 141, 208
lannoitteet 123
ravinnepuutos *112, 115–117, 126, 242*
ravinnesuhteet *102, 124, 125, 140, 141*
ravinnetankkaus *127, 129–131*
ravinteiden otto *52, 111, 112, 114, 123, 129*
respiraatio *51, 63, 70, 88, 117, 184–188*
RGC-testi *ks. juurtenkasvupotentiaali*

S

saanto *169, 172*
sahajauho *ks. puru*
sammal *42, 46, 59, 103, 107, 150, 208*
seuranta *203–206*
siementen liotus *149*
siemenlähde tunnettu
ks. metsänviljelyaineistoluokat
siemenviljelys *14, 26*
siemenviljelyssiemen *12, 149*
sinkki *100, 101, 110, 116, 118, 122, 138, 141*
stratifiointi *149*
suhteellinen kosteus *ks. kosteus*
sulatus (taimien) *201*
sumukastelu *61, 103*
sumutus *103*
suunnittelu *28, 146, 207*
suuralusta *37, 181*
suveentuminen *26, 27*
syyslannoitus *129*
syysväri *80, 177, 188, 189*
säteily *46, 62–64, 90, 96, 97, 205, 241*

T

taimien inventointi *ks. inventointi*
taimien laatu *ks. laatu*
taimien lajittelu *ks. lajittelu*
taimien pakkaus *ks. pakkaus*
taimien sulatus *ks. sulatus*
taimien testaus *ks. testaus*
taimierä *169, 172, 174*
taimietiketti *198, 199*
taimitarhahygienia *ks. hygienia*
talvivarastointi *180, 187, 212*
talviväri *ks. syysväri*
tavoitepituus *9, 167, 175*
tavoitetaimi *7–9*
terveys *8, 174, 204*
testattu *ks. metsänviljelyaineistoluokat*
testaus *191, 194, 196*
transpiraatio *60, 96, 107*
tuhka *119*

tuholaistarkkailu/torjunta *162, 163, 166, 168, 205, 207*
tukkimiehentäi *131*
tuotantokirjanpito *171, 203*
turve *39, 40, 42–44*
typpilannoitus/lannoitteet *112, 113, 124, 127*
tyviläpimitta *32, 204*
täydennys *151*

U

ulkovarastointi *182, 187*
ureatyppi *110, 124, 134*

V

valikoitu *ks. metsänviljelyaineistoluokat*
valo *62–66*
vapaa kasvu *16, 17, 26*
Vapopaakku *30, 36*
varastointi *79, 180*
varastointiaika *185, 187, 201*
varastointilämpötila *183, 184, 187, 200*
varastointivalmius *79, 188–194*
varjostus *67, 85–88*
veden otto *14, 92, 93, 112, 119, 126*
vedenpidätyskyky *44, 47, 49, 93, 95*
vedenpidätyskäyrä *93*
vermikuliitti *39, 40, 45, 46, 150*
vesipitoisuus (verso) *ks. kuiva-ainepitoisuus*
vesitila *39*
viherhiukkanen *51, 67*
viileävarasto *183, 187*
vuosirytmi *19*
vähimmäispituus *171, 174, 175, 198, 199*

Y

yhteyttäminen *ks. fotosynteesi*

ISBN 978-951-40-2359-0

Metla on maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa toimiva valtion sektoritutkimuslaitos, jonka tehtävänä on voimassa olevan lain ja asetuksen mukaan "edistää tutkimuksen keinoin metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä". Kansalaisten ja viranomaisten lisäksi asiakkaitamme ovat metsä- ja ympäristöalan kansallisia ja kansainvälisiä toimijoita, joilla on tarvetta Metlan tuottamalle tutkimustiedolle.



METLA