

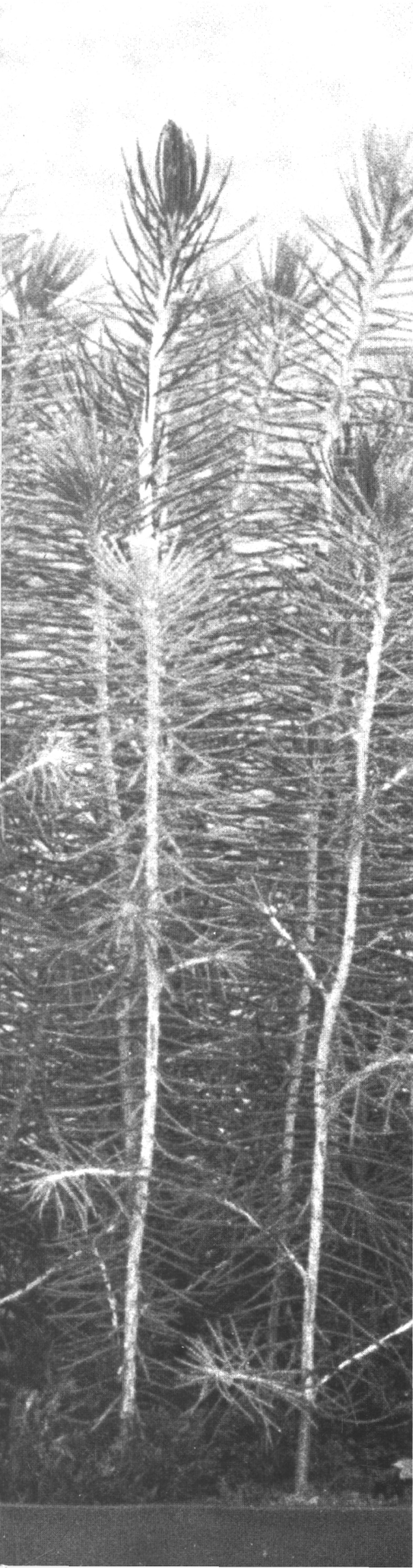
METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 873, 2002

16.12.02

Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002

Marja Poteri (toim.)

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA



Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2002

Marja Poteri (toim.)

Poteri, Marja (toim.). 2002. Taimitarhatutkimuksen vuosikirja
2002. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 873. 98 sivua.
ISBN 951-40-1858-3

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen
tutkimusasema
Hyväksynyt: Kari Mielikäinen 19.11.2002
Tilaukset: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, kirjasto,
PL 18, 01301 Vantaa
puh. (09) 857 051, faksi (09) 8570 5582
Kansikuva: Erkki Oksanen
Painopaikka: Suonenjoen Kirjapaino
Taitto: Anne Turunen

Sisältö

Kirjoittajat	5
Lukijalle	9
Männyn (<i>Pinus sylvestris</i> L.) karaisu <i>Tapani Repo ja Gang Zhang</i>	11
Hallantorjunta taimitarhalla <i>Kyösti Konttinen</i>	18
Levän kasvun vähentäminen ravinneliuoksissa metsätaimtarhoilla <i>Jorma Seppälä</i>	31
Harmaahome kuusen paakkutaimilla <i>Raija-Liisa Petäistö</i>	34
Ennakkotuloksia kesäistutettavien kuusen taimien käsittelystä tukkimiehentäin torjuntaan käytettävillä kasvinsuojeluaineilla <i>Heli Viiri ja Jaana Luoranen</i>	41
Havupunkin ja neulaspunkin tunnistus ja torjunta taimitarhoilla <i>Heli Viiri</i>	45
Tavoitteellinen metsänuudistaminen Hyvän metsänhoidon suosituksissa <i>Markus Lassheikki</i>	52
Taimikuljetusten suunnittelutavan vaikutus kuljetus- kustannuksiin <i>Juho Rantala</i>	54
Istutusajankohdan vaikutus pakkasvarastoitujen taimien hallavauriorisktiin syksyllä Keski-Suomessa <i>Heikki Hänninen, Jaana Luoranen, Heikki Smolander ja Risto Rikala</i>	59
Miksi pakkasvarastoidut taimet pitää sulattaa ennen istutusta <i>Pekka Helenius ja Jaana Luoranen</i>	69
Skenaarioista strategista näkemystä taimituotantoon <i>Pertti Harstela ja Nuutti Kiljunen</i>	79
LP-käsittelyn keston ja keskeytysten vaikutus kuusen kasvuun ja karaistumiseen <i>Kyösti Konttinen</i>	83
Taimitarhajätteen kompostointi <i>Anna-Maria Veijalainen, Marja-Liisa Juntunen, Arja Lilja, Leo Tervo ja Kirsi Heikkinen</i>	89

Kirjoittajat

Pertti Harstela

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Pertti.Harstela@metla.fi

Kirsi Heikkinen

Ekologisen ympäristötieteen laitos
Kuopion yliopisto
PL 1627
70211 Kuopio

Pekka Helenius

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Pekka.Helenius@metla.fi

Heikki Hänninen

Helsingin yliopisto
Ekologian ja systematiikan laitos
PL 7
00014 Helsingin yliopisto
Heikki.Hanninen@helsinki.fi

Marja-Liisa Juntunen

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Marja-Liisa.Juntunen@metla.fi

Nuutti Kiljunen

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Nuutti.Kiljunen@metla.fi

Kyösti Konttinen

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Kyosti.Konttinen@metla.fi

Markus Lassheikki

Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto
PL 510, 00101 Helsinki
Markus.Lassheikki@mtk.fi

Arja Lilja

Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 Vantaa
Arja.Lilja@metla.fi

Jaana Luoranen

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Jaana.Luoranen@metla.fi

Raija-Liisa Petäistö

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Raija-Liisa.Petaisto@metla.fi

Marja Poteri

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Marja.Poteri@metla.fi

Juho Rantala

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Juho.Rantala@metla.fi

Tapani Repo

Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimuskeskus
PL 68, 80101 JOENSUU
Tapani.Repo@metla.fi

Risto Rikala

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Risto.Rikala@metla.fi

Timo Saksa
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Timo.Saksa@metla.fi

Jorma Seppälä
Kekkilä Oy
Amerintie 64
PL 67
04301 Tuusula
Jorma.Seppala@kekkila.fi

Heikki Smolander
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Heikki.Smolander@metla.fi

Leo Tervo
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Leo.Tervo@metla.fi

Anna-Maria Veijalainen
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Anna-Maria.Veijalainen@metla.fi

Heli Viiri
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Heli.Viiri@metla.fi

Zhang Gang
Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
Juntintie 40, 77600 Suonenjoki
Gang.Zhang@metla.fi

Lukijalle

Tutkimuksen pysyvä ongelma on maailman pakeneminen valmistuvien töiden alta. Lukuunottamatta lyhyitä selvityksiä emme pääse julkaisemaan tuloksia koskaan siihen maailmaan, mihin ne on työtä aloitettaessa suunniteltu. Kun 1990-luvun puolivälissä käynnistimme taimituotannon ympäristövaikutusten tutkimusta, ei aihe syttänyt taimituottajia. Kun tutkimuskokonaisuuden yhteenvetoraportti ilmestyi kesällä 2002 Marja-Liisa Juntusen väitöskirjana, taitaa jo kaikilla taimiyhtiöillä olla ympäristöjärjestelmä.

Tämä muuttuvan maailman ongelma sai meidät käynnistämään teemasta tutkimuksen TEKESin tuella. Professori Harstelan artikkelissa kerrotaan enemmän tästä työstä. Tulevaisuuden tutkimuksessa on, toisin kuin esimerkiksi luonnontieteissä, hyvin niukasti asioita, joista tutkijat ovat yhtä mieltä. Seuraavia Ervin Lazlon esittämiä ehtoja järjestelmän säilymiselle ennustamattomissa (turbulenteissa) olosuhteissa ei ole pahemmin kyseenalaistettu:

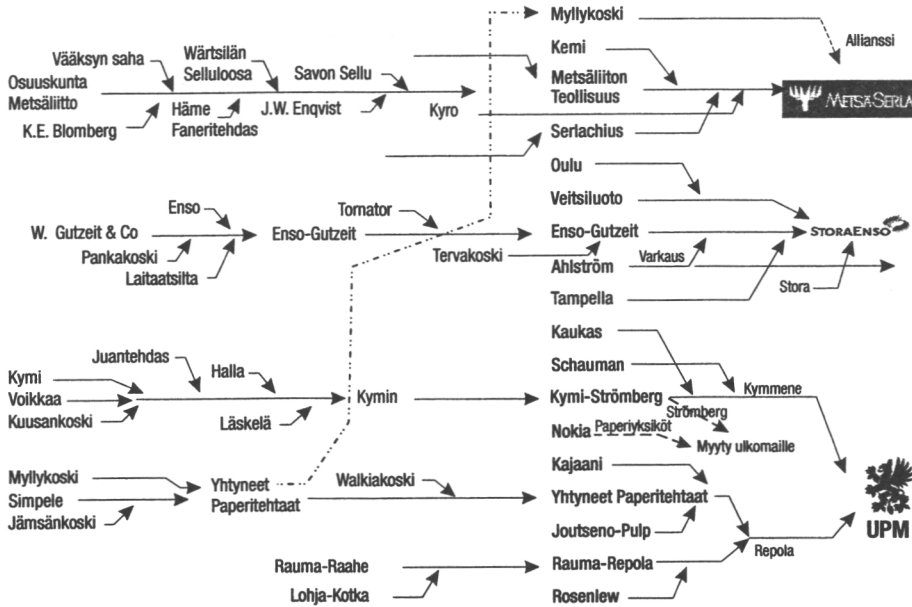
1. Entiset menestysstrategiat eivät ole erityisasemassa toimintaa valittaessa
2. Kaikki elementit tuottavat
3. Ei ole Master Plan'ia

Nämä ehdot tuovat ikävän värinän kehoon, kun niitä ajattelee Suomenjoen tutkimusaseman näkökulmasta. Saattaisi olla hyödyllistä tarkastella näitä sääntöjä myös vasten nykyistä tapaa tuottaa puuta. Ollaanko tulevaisuutta koskevissa ratkaisuissa sidoksissa menneisyyden toimintamalleihin? Tuottavatko viljelyketjussa kaikki mukana olevat välikädet lisäarvoa laskutustaan vastaavasti? Toimiiko Kansallinen metsäohjelma koko elinkeinon kehitystä jarruttavana Master Plan'ina?

Viljelyketjun osalta harmillista on, että metsäorganisaatioissa uudistamisosaaminen näyttää ohentuneen huolestuttavasti. Avainbiotoopit ja sertifiointi ovat vieneet huomion perustehtävästä, kannattavasta puuntuotannosta. Tilannetta ei helpota havainto, että mitä vanhemmasta järjestelmästä tai toimintamallista on kysymys, sitä vaikeampaa sitä on muuttaa evoluution kautta.

Puuntuotannon näkökulmasta olemme tulleet markkinoiden osalta aivan uuteen tilanteeseen. Vielä vuonna 1985 Suomessa oli parikymmentä suomalaista sellu- ja paperiyhtiötä.

Nyt niiden tilalla on kolme globaalia yritystä, joiden kapasiteetista pieni osa on enää Suomessa. Tämä tuotannon painopisteen siirtyminen pois Suomesta pätee myös metsänomistajien Metsäliittoryhmään. Ollaan tulossa tilanteeseen, etteivät nämä yhtiöt tarvitse Suomea, mutta Suomi tarvitsee mitä ilmeisimmin niitä.



Suomalaisen metsäteollisuuden kehystistoriaa (Näsi ym. 2001. Metsäteollisuusyritysten strategiset kehystypolut. Metsäalan tutkimusohjelman Wood Wisdom julkaisuja)

Globalisaatio on seurausta talouden vapautumisesta. Vapautuminen puolestaan merkitsee kilpailua. Kilpailua tarkastellaan yleensä tuoteryhmien sisäisenä kilpailuna. Suomen kannalta on kuitenkin olennaista, miten puu pärjää rakennusmateriaalina teräkselle, muoville ja betonille. Kehittyneeseen kilpailukulttuuriin kuuluu, että saman alan tuottajat harrastavat aktiivisesti 'pro-ala' -toimintaa kilpaillessaan korvaavien tuotteiden kanssa.

Timo Saksan vetämän Metsänuudistamisen laadun hallinta – hankkeen tulokset osoittavat, että istutusaloilla heikosti onnistuneiden alojen osuus on huomattavasti pienempi kuin kylvössä ja luontaisessa uudistamisessa. Toivottavasti nämä tulokset kannustavat taimituottajia kilpailemaan yhdessä 'pro-ala' -hengessä korvaavien tuotteiden kylvön ja luontaisen uudistamisen kanssa. Taimikaupassa menossa oleva normiohjauksen purkaminen on hyvä esimerkki taimituottajien menestyksellisestä 'pro-ala' -työstä.

Olennaista on, että koko tuotanto- ja palveluketju on kilpailukykyinen. Taimien menekkiä ei tällä hetkellä rajoita niinkään taimien laatu ja hinta kuin viljelyketjun muiden osien hinnat ja palvelun laatu. Tutkimuksen ja käytännön on alettava miettiä yhdessä, olisiko tälle tilanteelle jotakin tehtävissä.

Tähän julkaisuun on koottu Jyväskylässä 13. ja 14. helmikuuta 2002 pidettyjen taimitarhapäivien esitelmät ja muutamia artikkeleita, jotka eivät olleet esillä taimitarhapäivillä.

Suonenjoella syyspäivän tasauksena 2002

Heikki Smolander

Männyn (*Pinus sylvestris* L.) karaisu

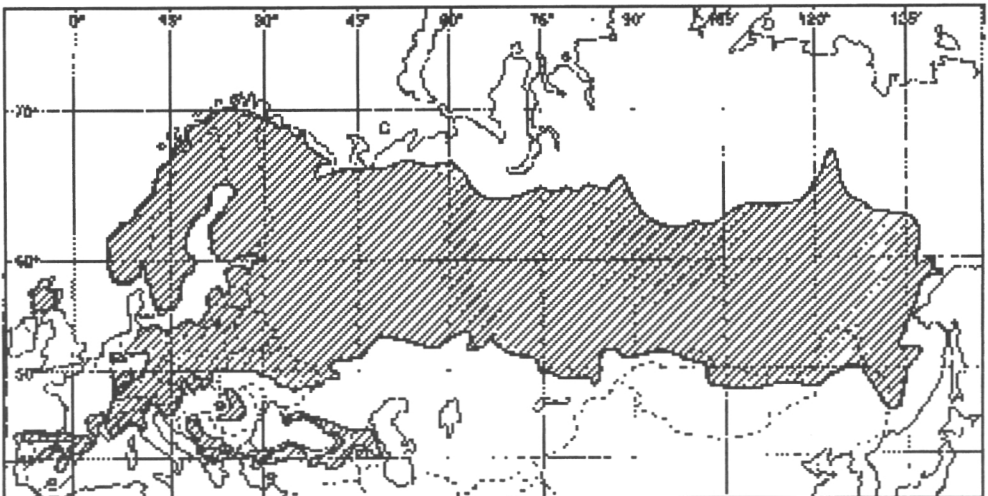
Tapani Repo ja Gang Zhang

Johdanto

Männyn (*Pinus sylvestris* L.) levinneisyysalue on laaja (kuva 1). Se ulottuu Skotlannista (6 °W) lännessä aina Venäjän itäosiin idässä (150 °E). Pohjoinen levinneisyysraja on Inarin tienoilla (70 °N) ja etelässä sitä tavataan Turkin vuoristoseuduilla (40 °N) ja Espanjan pohjoisosissa. Eteläänpäin siirryttäessä männyn luontainen kasvupaikka on tyypillisesti korkeammalla merenpinnasta kuin pohjoisilla leveysasteilla. Laajan levinneisyyden edellytys on, että mänty on sopeutunut hyvin erilaisiin ilmasto-oloihin. Erilaisille kasvupaikoille on sopeutunut perintötekijöiltään erilaiset alkuperät.

Eräs sopeutumisen kannalta keskeinen tekijä on, että männyn vuosirytmii on sopeutunut päivänpituuden ja lämpötilan vuodenaikaiseen vaihteluun, jotka ovat laajalla levinneisyysalueella huomattavia. Vuosirytmien osatekijöinä kasvun päättyminen ja karautumisen alkaminen ovat sopeutumisen kannalta tärkeitä vaiheita. Erityisesti niiden ajoitus suhteessa lämpötilan ja päivänpituuden muutoksiin on ratkaiseva. Kasvun päättyminen aloittaa asteittain etenevät karautumiseen liittyvät muutokset solujen toiminnassa. Yön pituuden lisääntyminen ja lämpötilan vähittäinen aleneminen valmistavat mäntyjä talveen. Itse asiassa on niin, että näiden teki-

Kuva 1
Männyn
levinneisyysalue



jöiden vaikutuksesta mäntyjen karaistumiskompetenssi alkaa kehittyä. Karaistumiskompetenssin kehittymisen alkuvaiheessa ei välttämättä tapahdu mitään merkittäviä muutoksia mäntyjen karaistuneisuudessa eli pakkasensietokyvyssä. Oletetaan kuitenkin, että samalla kun karaistumiskompetenssi kehittyy, mäntyjen reaktiot yön piteuden ja lämpötilan muutoksiin muuttuvat. Karaistumiskompetenssin mittaamiseen ei ole mitään yksiselitteistä mittaamenetelmää. Tällä hetkellä se kuvataan verson ja neulasten pituuskasvun avulla (kuva 2).

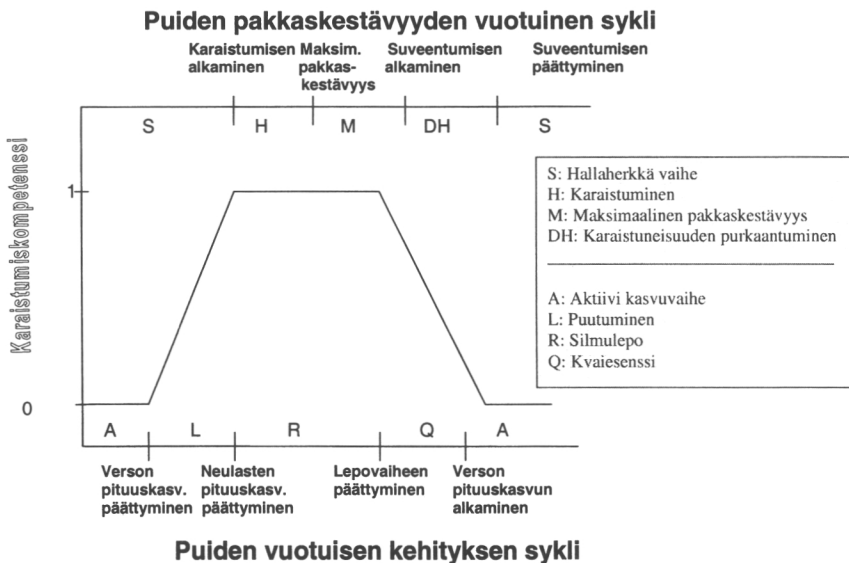
Kun karaistumiskompetenssi on nolla, karaistumista ei tapahdu, vaikka ympäristötekijät sitä edellyttäisivät. Kun karaistumiskompetenssi saavuttaa arvon yksi, puiden karaistumiskyky on parhaimmillaan eli ne kykenevät reagoimaan hyvin ympäristöoloissa tapahtuviin muutoksiin. Tällä hetkellä tiedetään, että lämpötilan aleneminen ja yön piteuden kasvu molemmat vaikuttavat männyn karaistumiseen. Ei kuitenkaan tiedetä kovinkaan hyvin, kuinka paljon kukin tekijä erikseen tai yhdessä vaikuttaa karaistuneisuuteen eli kvantitatiivisessa tiedossa on puutteita. Tutkimuksen tavoitteena olikin selvittää, kuinka paljon lyhyt päivä ja alhainen lämpötila erikseen ja yhdessä lisäävät männyn eri kasvinosien pakkaskestävyyttä.

Kuva 2

Kaavamainen kuva männyn karaistumiskompetenssin muuttumisesta vuosisyklin aikana. Alareunassa on kuvattu verson kasvuvaihe. Yläreunassa on kuvattu neulasten karaistuneisuuden muutosvaiheet. Lyhenteiden selitykset on esitetty kuvassa. (Leinonen 1997, Zhang 2001).

Aineisto ja menetelmät

Tutkimus tehtiin kasvukammiokokeena, jolloin lämpötila ja yön piteus voitiin tarkkaan kontrolloida. Tutkimuksessa käytettiin kes-



Taulukko 1 Kasvukammiokeessa käytetyt käsittelyt. Käsittelyt aloitettiin verson pituuskasvun päätyttyä heinäkuun alkupuolella. SDHT = lyhyt päivä, korkea lämpötila; SDLT = lyhyt päivä, alhainen lämpötila; LDLT = pitkä päivä, alhainen lämpötila.

Lämpötila	Fotoperiodi (päivä/yö)	
	7/17 h	16/8 h
15 °C	SDHT	
2 °C	SDLT	LDLT

kisuomalaista alkuperää olevia männyn taimia. Ensimmäisen kasvukauden ajan taimet kasvatettiin Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla normaalein taimitarhatoimenpitein. Taimet kasvatettiin myös toisen kasvukauden alkuaika taimitarhalla, jossa niiden verson ja neulasten pituuskasvua ja rangan paksuuskasvua seurattiin. Kun verson pituuskasvu oli päättymässä heinäkuun alkupuolella taimet siirrettiin Joensuun yliopiston kasvatuskammioihin (6 kpl PGW36, Conviron, Kanada) tarkkaan kontrolloituihin oloihin. Taimet jaettiin kolmeen käsittelyyn, joista jokaisesta oli kaksi toistoa (taulukko 1). Karaisukäsittelyt aloitettiin viikon kuluttua taimien siirrosta kammioihin.

Käsittelyjen kesto oli noin 70 päivää. Sen aikana jatkettiin taimitarhalla aloitettuja kasvumittauksia. Silmujen, neulasten, rangan ja juurten pakkaskestävyyden mittaukset aloitettiin heti taimien kammioihin siirron jälkeen. Pakkaskestävyydestejä toistettiin 2-3 viikon välein yhteensä viisi kertaa koko koejakson aikana. Kaikkien kasvosien pakkaskestävyyden määrittäminen tehtiin ionivuototestillä käyttäen keinotekoisia pakkasaltistuksia. Samanaikaisesti seurattiin myös eri kasvosien kuiva-ainepitoisuuden muuttumista, rangan sähköisiä ominaisuuksia impedanssispektroskopiaalla sekä neulasten klorofyllin fluoresenssia.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

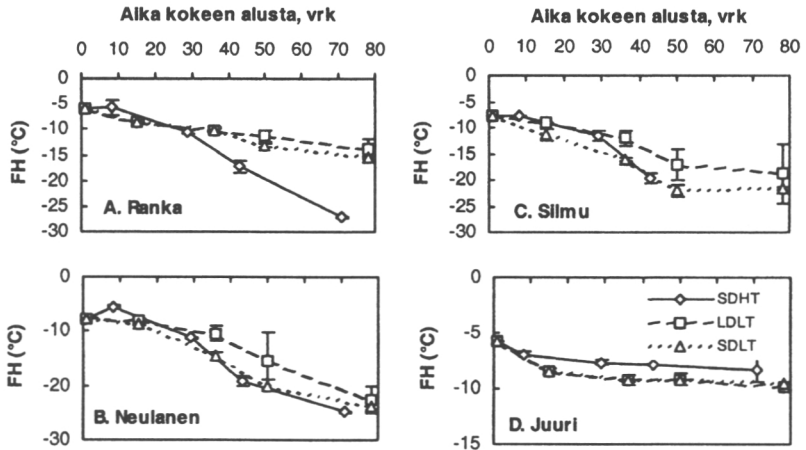
Käsittelyjen alkaessa verson pituuskasvu oli päättynyt eikä uutta pituuskasvua havaittu käsittelyjen aikana. Neulasten pituuskasvu päättyi heti käsittelyjen alettua niissä käsittelyissä, joissa oli alhainen lämpötila mukana (SDLT ja LDLT). Sen sijaan korkean lämpötilan ja lyhyen päivän oloissa (SDHT) pituuskasvu jatkui vielä jonkin aikaa käsittelyn alettua. Verson paksuuskasvua havaittiin jossain määrin vielä kokeen loppuvaiheissakin. Verson ja neulasten kasvutunnusten perusteella voisi päätellä, että kokeen alkaessa

karaistumiskompetenssin kehittyminen oli melko alkuvaiheessa (vrt. kuva 2).

Kaikissa neljässä kasvinosassa havaittiin karaistumista käsittelyjen aikana. Erot eri kasvinosien välillä olivat selvät. Neulasat karaistuivat eniten, sen jälkeen silmut, ranka ja vähiten juuret. Kun neulasten pakkaskestävyys oli kokeen loppuvaiheessa noin $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kuva 3 B), juuret kestivät vähemmän kuin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kuva 3 D). Eri käsittelyjen välillä oli havaittavissa jonkin verran eroja karaistumisnopeudessa, sillä pitkänpäivän oloissa (LDLT) neulasat ja silmut karaistuivat hieman hitaammin kuin lyhyenpäivän oloissa (SDHT ja SDLT). Korkea lämpötila (SDHT) näytti jonkin verran viivästyttävän rangan karaistumisen alkamista. Kokeen lopussa ei havaittu eroja käsittelyjen välillä neulasissa, silmuissa ja

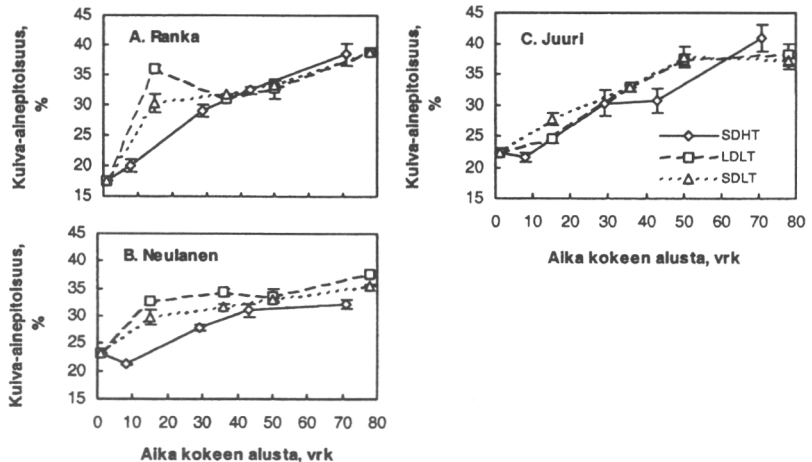
Kuva 3

Rangan, neulasten, silmujen ja juurten pakkaskestävyys (FH) eri käsittelyissä koejakson aikana. Käsittelyt (kts. taulukko 1) alkoivat hetkellä 0 vrk.

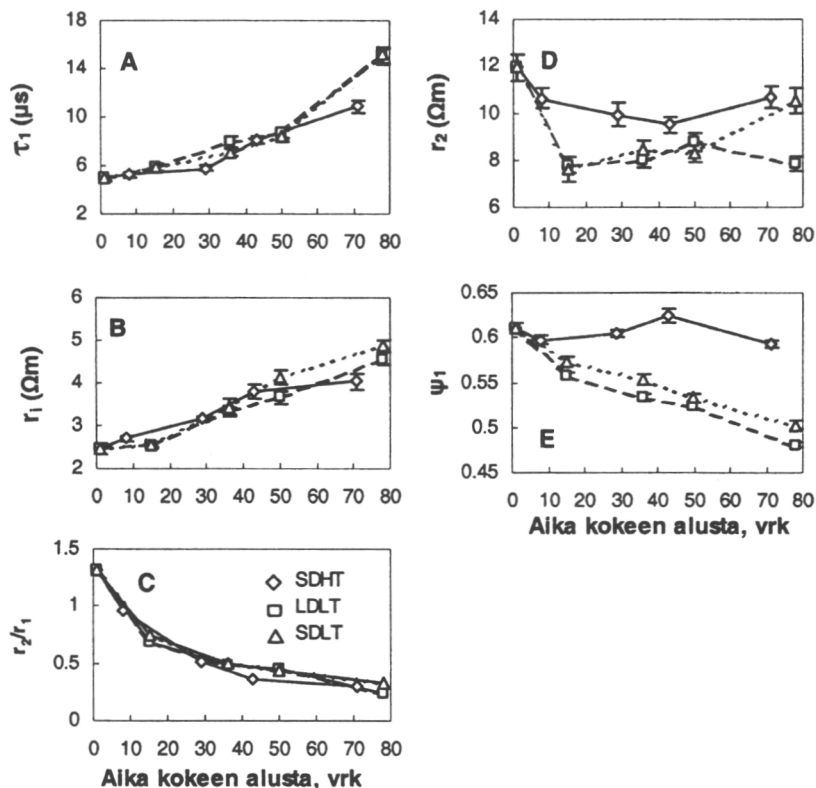


Kuva 4

Rangan, neulasten ja juurten kuiva-ainepitoisuus eri käsittelyissä koejakson aikana. Käsittelyt (kts. taulukko 1) alkoivat hetkellä 0 vrk.



Kuva 5
Impedanssispektroskopian avulla määritetyt rangan sähköisiä ominaisuuksia kuvaavat tunnuksat eri käsittelyissä koejakson aikana. Käsittelyt (kts. taulukko 1) alkoivat hetkellä 0 vrk.

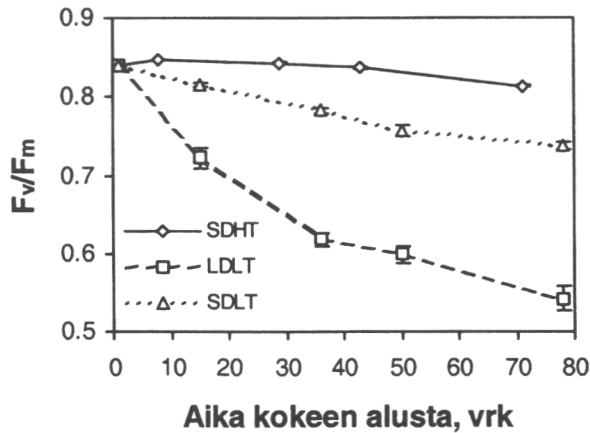


juurissa. Ranka oli poikkeus, sillä lyhyt päivänpituus ja korkea lämpötila (SDHT) näytti lisäävän pakkaskestävyyttä. Rangasta mitatut muut tunnuksat (kuiva-ainepitoisuus ja impedanssintunnuksat) eivät kuitenkaan osoittaneet, että SDHT-oloissa ranka karaistuisi eniten, joten asia vaatii lisätutkimuksia.

Rangan, neulasten ja juurten kuiva-ainepitoisuus lisääntyi kokeen aikana (kuva 4). Rangan kuiva-ainepitoisuus kohosi 17%:sta 38%:iin, neulasten 23%:sta 35%:iin ja juurten 23%:sta 38%:iin. Rangan ja neulasten kuiva-ainepitoisuus lisääntyi alussa hitaimmin korkean lämpötilan ja lyhyenpäivän oloissa (SDHT), mutta erot käsittelyjen välillä hävisivät kokeen aikana (kuva 4 A ja B). Juurten tapauksessa käsittelyjen välillä ei havaittu eroja (kuva 4 C). Kuiva-ainepitoisuuden ja pakkaskestävyyden välillä oli alhainen korrelaatio.

Rangan impedanssiparametreista ne, jotka aikaisemmissa tutkimuksissa (Repo ym. 2000) olivat, osoittautuneet parhaimmiksi karaistuneisuuden indikaattoreiksi, muuttuivat yhtäläisesti rangan pakkaskestävyyden kanssa myös tässä tutkimuksessa (kuva 5). Näitä tunnuksia olivat relaksaatioaika (τ_1) (kuva 5 A) ja solunsisäinen resistanssi (r_1) (kuva 5 B). Näiden lisäksi resistanssisuhte (r_2/r_1) (kuva 5 C) korreloi voimakkaasti rangan pakkaskestävyyden

Kuva 6
Neulasten klorofyllin fluoresenssi (F_v/F_m) koejakson aikana eri käsittelyissä. Käsittelyt (kts. taulukko 1) alkoivat hetkellä 0 vrk.



kanssa. Toisaalta impedanssispektroskopia myös osoitti, että eri käsittelyissä kasvatettujen taimien rangat eivät olleet ominaisuuksiltaan aivan samankaltaisia. Erityisesti korkean lämpötilan ja lyhyen päivänpituuden (SDHT) taimet poikkesivat parametrien r_2 (kuva 5 D) ja Ψ_1 (kuva 5 E) suhteen kahdesta muusta käsittelystä. Parametri r_2 on eräs impedanssispektroskopian avulla saatava resistanssitunnus ja Ψ_1 kuvaa edellä mainitun relaksaatioajan (τ_1) jakaantuneisuutta.

Pimeäadaptoitujen neulasten klorofyllin fluoresenssi (muuttuva fluoresenssin ja maksimi fluoresenssin suhde F_v/F_m) poikkesi käsittelyjen välillä selvästi toisistaan (kuva 6). Lyhyen päivän oloissa, korkeassa lämpötilassa (SDHT) ei tapahtunut juurikaan muutosta koejakson aikana. Sen sijaan molemmat käsittelyt, joissa oli alhainen lämpötila mukana, alensivat F_v/F_m -arvoja. Selvin muutos havaittiin pitkänpäivän ja alhaisen lämpötilan (LDLT) vaikutuksesta. Vaikka neulasten fotosynteesikoneiston ominaisuuksia kuvastavassa fluoresenssissa havaittiin selvät erot, nämä eivät ilmenneet neulasten pakkaskestävyyksissä. Fluoresenssin ja pakkaskestävyyden välinen korrelaatio oli alhainen.

Yhteenveto

Männyn taimien eri kasvinosien pakkaskestävyydet poikkesivat selvästi toisistaan; neulaset karaistuivat eniten ja juuret vähiten. Sekä lyhytpäiväkäsittely että alhainen lämpötila saivat aikaan likimain samanlaisen pakkaskestävyyden lisääntymisen, kun tarkastellaan kutakin kasvinosaa erikseen. Ranka oli kuitenkin poikkeus, mutta tulos vaatii lisätutkimuksia. Jonkin verran havaittiin eroja siinä, kuinka karaistuminen eteni eri käsittelyissä kokeen aikana.

Koe osoitti, että lyhyen päivänpituuden ja alhaisen lämpötilan karaisuvaikutus ei ole summattavissa ainakaan silloin, kun karaisukäsittely aloitetaan heti pituuskasvun päätyttyä. Tässä tutkimuksessa käsittelyt aloitettiin, kun luontaista päivänpituuden lyhenemistä ei ollut vielä tapahtunut. Tämä lienee vaikuttanut siihen, että taimien karaistumiskompetenssi oli suhteellisen alhainen. Mikäli kokeen alkua viivästyttäisiin, karaistumiskompetenssi todennäköisesti olisi suurempi, ja näinollen taimien reagointi päivänpituuden lyhenemiseen ja lämpötilan alenemiseen olisi erilainen kuin tässä tutkimuksessa. On mahdollista, että lyhyen päivän ja alhaisen lämpötilan summautuva vaikutus tulisi tällöin esille.

Kirjallisuus

- Leinonen, I. 1997. Frost hardiness and annual development of forest trees under changing climate. Research Notes 60. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta: 1-42.
- Repo, T., Zhang, G., Ryyppö, A. & Rikala, R. 2000. The electrical impedance spectroscopy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) shoots in relation to cold acclimation. *Journal of Experimental Botany* 51: 2095-2107.
- Zhang, G. 2001. Cold acclimation in Scots pine. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 817: 1-52.

Hallantorjunta taimitarhalla

Kyösti Konttinen

Hallan esiintyminen

Meteorologisen määritelmän mukaan hallaa esiintyy, kun lämpötila termisen kasvukauden aikana lähellä maanpintaa on nollan alapuolella. Ankaran hallan rajana pidetään $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Yöpakkasta taas esiintyy, kun kojussa 2 m korkeudella mitattu alin lämpötila on nollan alapuolella. Kasvukaudella yölämpötila maan pinnalla on keskimäärin $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ alempi kuin kojussa. (Nordlund 2001).

Halla voi syntyä kahdella tavalla: 1) Meillä yleisimmin esiintyvä säteilyhalla syntyy, kun suuria määriä lämpöenergiaa säteilee maanpinnalta ja kasveista. Tämä voi tapahtua olosuhteissa, jossa taivas on pilvetön, ilman kosteus pieni ja tuuli heikko. 2) Tuulihallaa (virtaushalla) voi esiintyä, kun kylmä ilmassa lähtee liikkeelle tuulen mukana ja “pyyhkii” alueen läpi. Tuulihalla voi esiintyä yöllä tai päivällä, ja joissakin olosuhteissa säteilyhalla ja tuulihalla voivat esiintyä myös samanaikaisesti. (Geiger 1973, Chang 1968).

Hallaisuutta lisääviä tekijöitä

Maan huono lämmönjohtokyky

Hyvin lämpöä johtavilla mailla maan pintakerrokset keräävät auringon säteilyenergiaa päivällä ja yöllä maa luovuttaa lämpöä. Huonosti lämpöä johtavilla mailla maanpinnan ja alempien kerrosten välinen lämmön vaihto on hidasta. Maan huono lämmönjohtokyky siis hidastaa yöllä tapahtuvaa lämmön virtausta maan syvemmistä kerroksista pintaa kohti. Maan lämpövarasto on illalla pieni, koska maa kerää päivällä suhteellisen vähän lämpöä. Paras lämmönjohtokyky on graniitilla, seuraavina ovat hiekka ja savi, huonoin lämmönjohtokyky on turpeella. (Franssila 1949).

Alava asema ympäristöön nähden

Hallayönä lähelle maanpintaa syntyy ohut kylmä ilmakerros. Kaltevalla maalla tämä kylmä ja suhteellisen raskas ilma valuu rinteitä pitkin alas ja ylemmistä kerroksista virtaa lämpimämpää ilmaa

tilalle. Rinnemaat ovat siis yöllä suhteellisen lämpimiä. Rinnettä pitkin valuva kylmä ilma pysähtyy alempana oleviin notkelmiin muodostaen kylmän ilman “taskuja”, joiden syvyys yön aikana jatkuvasti kasvaa. Kylmän ilman valuminen rinnettä pitkin ei edellytä suurta kaltevuutta, Franssilan (1949) mukaan kylmän ilman valumista on havaittu jo 1:200 kaltevuudessa olevalla ruohottuneella hallaisella alueella.

Matala kasvipeite

Tiheän kasvillisuuden peittämällä alustalla suurin osa tulosäteilystä päivällä imeytyy kasveihin. Kasvipeite lämpiää ja lämmittää myös sen sisällä olevaa ilmaa, samalla kasvipeite eristää maan pintakerroksen yläpuolella olevasta ilmasta ja estää maan lämpövarastojen hyväksikäytön. Yöllä ulossäteily tapahtuu pääasiassa kasveista. Kasvipeite jäähtyy ja jäähdyttää myös ympärillä olevaa ilmaa. Kasvillisuuden peittämä maa lämpiää päivällä vähemmän, mutta menettää myös yöllä vähemmän lämpöä kuin paljas alusta. Päivällä kasvit ovat ilmaa lämpimämpiä, koska ne saavat säteilyenergiaa enemmän kuin ne haihduttavat. Yöllä kasvit ovat ilmaa kylmempiä, koska ne menettävät lämpöä ulossäteilyyn ja haihduttamiseen. Lehden lämpötila poikkeaa ilman lämpötilasta eniten tyynellä ja selkeällä säällä (Franssila 1949). Tällaisena yönä lehden lämpötila voi olla 1,5-2 °C alempi kuin ilman lämpötila (Regan 1988). Paljas kesanto on viljelysmaista lämpimin ja niityt ovat hallaisimpia. Kaikkein hallaisin on vanha nurmi, jolle on muodostunut paksu lämpöä eristävä orgaaninen kerros (Franssila 1949).

Sepeli, asfaltti ja hiekka johtavat hyvin lämpöä ja ovat lämpimiä kasvualustoja. Suuralustalla n. 20 cm sepelin tai hiekan yläpuolella oleva yhtenäinen paakkutaimikasvusto ja paakussa oleva turve estää lämmön imeytymistä maahan. Paakuissa oleva huokoinen turvekerros on myös huono lämmönjohtaja ja päivällä tulosäteily imeytyy taimiin eikä edes pääse turpeeseen asti. Hiekka/multamaassa kasvavat paljasjuuriset taimet ovat vähemmän hallalle alttiina kuin paakkutaimet, koska taimet eivät muodosta yhtenäistä peittävää kasvustoa ja maa voi lämmittää taimia yön aikana.

Hallantorjunta

Sadetus

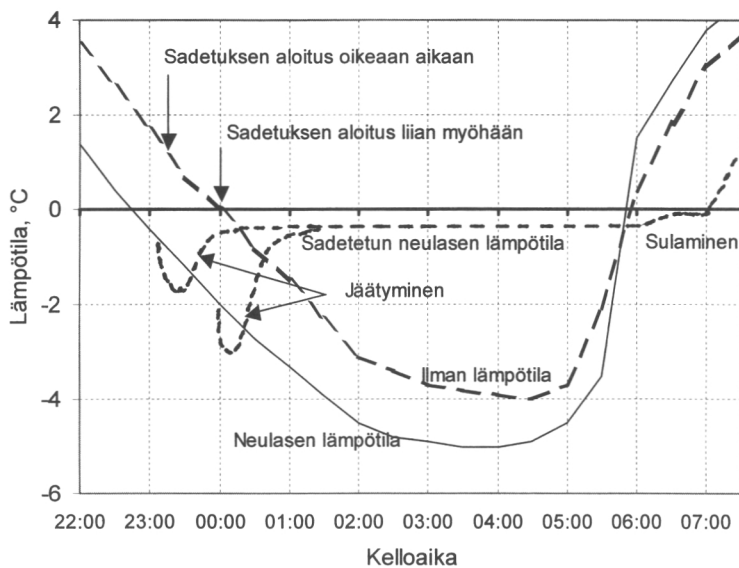
Mihin sadetuksen vaikutus perustuu?

Vedellä on suhteellisen korkea lämpökapasiteetti. Kun taimien päälle putoava vesi jäätyy, siitä vapautuu energiaa (lämpöä) 80 kcal (335 kJ) /litra. Kasvin lämpötila jääkuoren alla pysyy 0–1°C:n välillä niin kauan kun jatkuvaa veden jäätymistä tapahtuu (Regan 1988, Sneed 1973). Jatkuva sadetus on pitänyt taimen lämpötilan jääkuoren alla –1,7 ja 0 °C:n välillä, vaikka ulkolämpötila on laskenut –11,7 °C:een (Allison 1972). Veden jäähtymisessä vapautuu energiaa vain 1 kcal/ 1 °C/ litra, joten sadetuksessa käytetyn veden lämpötilalla on vähäinen merkitys verrattuna jäätymisessä vapautuvaan energiaan (Regan 1988, Rose ja Haase 1996).

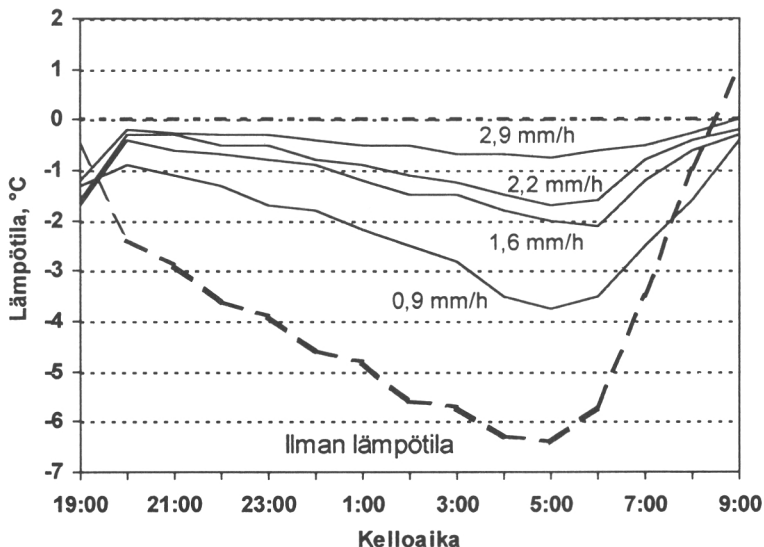
Sadetuksen aloitus

Sadetuksen aloitukseen vaikuttaa ilman suhteellinen kosteus, vuodenaika ja taimien hallankestävyys. Sadetuksen alkaessa kasvin pinnalta tapahtuu haihtumista, joka aluksi jäädyttää kasvin lämpötilaa lähes 1 °C, ennen kuin veden jäätymisestä vapautuva lämpö alkaa lämmittää kasvia (Regan 1988, kuva 1). Kun ilman suhteellinen kosteus on alhainen, pitäisi sadetus aloittaa +1 °C:ssa. Jos suhteellinen kosteus on korkea, voi sadetuksen aloittaa, kun lämpötila on laskenut kylmimmässä kohdassa 0 °C:een (Taimi-

Kuva 1
Esimerkki sadetuksen vaikutuksesta neulasten lämpötilaan hallayön aikana (Mukaeltu Taimi-Tapion tiedote 1984).



Kuva 2
Sadetuksen määrän vaikutus herneenpalkojen lämpötilaan jääkuoren sisällä hallayön aikana. Sadetus aloitettiin illalla klo 19:00 ja jatkettiin kunnes ilman lämpötila nousi aamulla 0 °C:n yläpuolelle. Sadetusmäärät olivat 0,9, 1,6, 2,2 ja 2,9 mm/h (Gubbelsin 1969 mukaan).



Tapio 1984). Jos tiedetään taimien hallankestävyyden olevan selvästi alle 0 °C, voi sadetuksen aloittaa myöhemmin. Sadetus pitäisi kuitenkin aloittaa viimeistään, kun ilman lämpötila on 1-2 °C taimien kriittisen vahingoittumisrajan yläpuolella (Regan 1988). Myöhäisessä sadetuksen aloittamisessa voi kuitenkin olla riskinä suutinten jäätyminen ennen kastelua. Vaikka kasteluveden lämpötilalla ja siitä saatavalla lisälämmöllä ei ole suurta merkitystä, esim. auringon altaissa lämmittämä vesi voi kuitenkin vähentää kastelun alussa haihdunnan aiheuttamaa kasvien lämpötilan alenemista ennen jäätymistä, koska haihtumiseen tarvittava lämpö tulee vedestä eikä ilmasta (Evans 1987).

Lämpömittarin pitäisi olla avoimen taivaan alla, koulintapellolla pellon alimmassa kohdassa ja paakkutaimikasvustossa taimiarkkien päällä latvojen korkeudella. Nurmikolla saadaan n. 1-2 °C alemmat lämpötilat ja hiekka- ja sepelialustalla taas n. 1 °C korkeammat, kuin kohotetulla alustalla olevien paakkutaimien latvojen korkeudella. (Kuva 3, taulukko 1)

Sadetuksen lopetus

Sadetusta ei saa välillä keskeyttää, koska taimen lämpötila alkaa heti laskea (Chang 1968). Sadetus lopetetaan, kun lämpötila on noussut pysyvästi 0 °C:n yläpuolelle ja jää alkaa sulaa (Sneed 1973, Rose ja Haase 1996). McDonaldin (1984) mukaan jään pitäisi kokonaan sulaa ennen kuin sadetus lopetetaan. Lämpötilaa on seurattava myös sadetuksen aikana, jolloin mittari on oltava kastelualueen ulkopuolella.

Sadetuksen määrä

Sadetuksen määrään vaikuttaa ilman lämpötila, -kosteus ja tuulen nopeus. Kun ilman lämpötila ja kosteus laskee ja tuulen nopeus nousee, kasvaa myös kasvien suojelemiseksi tarvittavan veden tarve (Regan 1988, Hamer 1989). Vähimmäisvesimäärä on noin 3,0 mm/h (Taimi-Tapio 1984, Rose ja Haase 1996). Mitä kylmempää, sitä enemmän vettä tarvitaan. Reganin (1988) mukaan 2,5 mm/h voi riittää -3 °C:ssa, mutta -8 °C:ssa tarvitaan jo 5,0 mm/h. Kasteluveden määrä vaikuttaa suoraan kasvin lämpötilaan jääkuoren sisällä. Mitä enemmän vettä, sitä korkeampana pysyy kasvin lämpötila (Gubbels 1969, kuva 2). Sadetuksen alussa jäätyvä vesi nostaa kasvin lämpötilaa, mutta ilman lämpötilan yön aikana laskiessa myös kasvin lämpötila jääkuoren sisällä alkaa laskea, ellei jäätyvää vettä ja siitä vapautuvaa lämpöä ole riittävästi saatavilla (kuva 2).

Tuulen nopeuden lisääntyessä myös veden tarve kasvaa, koska tuuli lisää haihduntaa ja voi laskea taimen lämpötilaa enemmän kuin veden jäätyminen sitä nostaa. Kasvien suojelemiseksi tarvittavan veden määrä -5 - -6 °C:n lämpötilassa kaksinkertaistuu, kun tuulennopeus nousee 0,5 m/s:sta 1-2 m/s:iin. Kastelua yli 3,5 m/s tuulessa ei pidetä enää suositeltavana. Tuuli aiheuttaa ongelmia myös kastelun tasaisuuteen koko suojeltavalle alueelle. (Regan 1988).

Haihdunta voi myös vaikuttaa sadetuksen tehoon. Parsons ja Tucerin (1984) mukaan kasvit voivat vaurioitua haihdunnan aiheuttamasta lämpötilan alenemisesta, jos kastelu on riittämätöntä. Sadetuksen aikana kasveja peittävän jääkerroksen pinnalla on jatkuva vesikalvo ja osa tästä vedestä haihtuu ja osa jäätyy (Geiger 1973). Haihdunnan määrä riippuu kasvuston korkeudesta, ilman kosteudesta ja tuulen nopeudesta. Matalassa kasvustossa haihdunta on vähäisempää kuin korkeassa kasvustossa, koska ilman kosteus lisääntyy ja tuuli heikkenee lähellä maanpintaa (Martsolf ja Ferretti 1977). Haihdunta sitoo lämpöä 0 °C:ssa noin 7,5 kertaa enemmän kuin jäätymisessä vapautuu. Siksi vettä täytyy jäätyä ainakin 7,5 kertaa haihdunnan verran (Rose ja Haase 1996, Martsolf ja Ferretti 1977). Haihdunta voi myös aiheuttaa alijäähtyneitä pisaroita, jotka jäätyvät heti koskettaessaan jotakin pintaa. Valkoisen jään muodostuminen on merkki alijäähtyneistä vesipisaroista (Rose ja Haase 1996). Valkean, maitomaisen jään muodostuminen voi myös olla merkinä riittämättömästä kastelusta (Regan 1988, Sneed 1973). Valkeaa jäätä voi muodostua kastelualan reunoille, minne sprinklerit eivät kunnolla ulotu. Kasvin lämpötila valkean jään sisällä voi olla huomattavasti alempi kuin kirkkaan jään sisällä (Allison 1972).

Käytäntö on osoittanut, että lievän hallan aikana huonosti kastellulla alueella voi tulla suuremmat vahingot kuin kokonaan kastelemattomalla alueella (Businger 1965, Geiger 1973). Tämä johtuu siitä, että märät kasvit vaurioituvat n. 1 °C korkeammassa lämpötilassa kuin kastelemattomat kasvit (Sneed 1973). Vaikka kasvin pinnalla olisikin ohut jääkerros, se antaa vain vähän suojaa (Rose ja Haase 1996). Bussingerin (1965) mukaan tähän voi olla kaksi syytä: 1) Haihdunta alentaa märän kasvin lämpötilaa verrattuna kuivan kasvin lämpötilaan. 2) Jos kasvin pinnalla on vain ohut jääkerros, se voi estää solunesteiden alijäähtymisen, laimentaa solunesteitä ja nostaa jäätyislämpötilaa.

Voimakkaalla kastelulla voi olla myös haittoja. Koko yön kestävässä sadetuksessa voi jäätä muodostua kasvin ympärille niin paljon, että jään paino vahingoittaa taimia (Chang 1968, McDonald 1984). Matalassa kasvustossa tämä ongelma on vähäisempi, koska kasvien ympärille maasta asti jäätyvä jääpilari voi pitää ne pysyissä (Martsolf ja Ferretti 1977).

Sadettimet

Sopivia sadettimia ovat kaikki suojatulla kierrejousella varustetut ympyrä- ja sektorisadettimet. Sprinklerin kiertonopeus vaikuttaa siihen, millaisen suojan sadetus antaa. Yleensä mitä nopeammin sprinkleri kiertää, sitä parempi on hallasuoja (Sneed 1973, Geiger 1973). Kiertonopeuden pitäisi olla vähintään 1 kerta/min (Sneed 1973, Martsolf ja Ferretti 1977). Ihanteellista olisi, jos sprinklerin kiertonopeus olisi sellainen, että vesi on juuri ehtinyt jäätyä ennen uutta suihkua (Chang 1968, McDonald 1984). Jos sprinklerin kiertonopeus on hidas, taimen lämpötila alkaa laskea ennen kuin uusi vesisuihku taas nostaa lämpötilaa (Perry ym. 1980). Tästä syystä kastelurampit eivät sovellu hallasadetukseen. Lämpötilan tai kosteuden laskiessa tai tuulen kasvaessa pitäisi sprinklerin kiertonopeutta lisätä. Kun sama vesimäärä (2,8 mm/h) on annosteltu 120 s, 60 s ja 20 s välein, on 20 s välein annosteltu vesi suojannut parhaiten (Chang 1968, Wheaton ja Kidder 1965 mukaan).

Pisarakoko ja suuttimet

Kasteluveden pisarakoko määräytyy käytettävien suutinten mukaan. Suositeltavaa on käyttää melko suurta pisarakokoa. Pieni pisara kyllä kastelee taimen paremmin joka puolelta kuin suuri pisara, mutta lentää helposti tuulen mukana ja voi alhaisessa lämpötilassa alijäähtyä tai jäätyä jo ilmalennon aikana (Businger 1965). Alle 3 mm:n läpimittaisen pisaran lämpötila voi laskea 6 °C kolmen metrin lentomatalla, mutta 5 mm:n pisaran lämpötila laskee samalla matkalla vain 2 °C (Rose ja Haase 1996, Snyder 1951 mukaan). Alhaisissa lämpötiloissa pitäisi pisarakoko olla suuri ja lentomatka lyhyt. Koko yön kestävässä sadetuksessa suuri pisara-

koko aiheuttaa maan liettymistä enemmän kuin pieni pisara, mutta metsätaimitarhoilla ja varsinkaan paakkutaimilla tämä ei yleensä ole ongelmana. Sopivia suutinkoko on 3,5-5 mm (Taimi-Tapio 1984). Pienet suuttimet jäätyvät herkemmin kuin suuret ja jos käytetään pieniä mikrosuuttimia, on kastelu aloitettava ennen lämpötilan laskemista 0 °C:een, etteivät suuttimet ehdi jäätyä (Rose ja Haase 1996). Allisonin (1972) mukaan myös pyörivät sadettimet voivat jäätyä sadetuksen aikana, jos lämpötila laskee alle -8 °C.

Voidaanko esisadetuksella (ehkäisevä sadetus) torjua halla?

Esisadetuksella tarkoitetaan suojeltavan alueen kastelemista ennen hallaa. Kun maa kastellaan märäksi sen lämpökapasiteetti ja lämmönjohtokyky lisääntyy ja lämpötila lähellä maanpintaa kohoaa (Businger 1965). Märkä, paljas maa voi nostaa ilman lämpötilaa 30 cm:n korkeuteen asti 0,5-1,0 °C (Regan 1988). Sneedin (1973) mukaan maan kastelu ennen hallaa antaa n. 1 °C:n suojan. Karan ja Pälikön (1975) mukaan esisadetuksella voidaan matalassa kasvustossa torjua lievä -2- -3 °C:n halla. Esisadetuksella on myös haitallisia vaikutuksia. Haihdunta maan pinnalta lisääntyy, mikä taas alentaa maanpinnan lämpötilaa. Lisäksi märät kasvit ovat yleensä arempia hallavauriolle kuin kuivat kasvit (Businger 1965). Koulintakentällä esisadetus voisi suojata pieniä taimia, koska maan lämpötilalla on siellä suurempi vaikutus, mutta paakkutaimikasvustossa esisadetuksesta on enemmän haittaa kuin hyötyä.

Peittoharso

Kuinka peittoharso toimii

Kasvit ovat hallayönä ilmaa kylmempiä. Harso tai muu peittokate voi pidättää jonkin verran maanpinnasta ilmaan siirtyvää lämmintä ilmaa ja suojata alla olevia kasveja ulossäteilyltä. Käyttämällä päällä harsoa tai muuta suojapeittoa kasvin lämpötila pysyy suunnilleen samana kuin ilman lämpötila. Näin peitto pystyy kohottamaan kasvien lämpötilaa n. 1-1,5 °C. Maanpinnan lämpötila voi olla suojuksen alla useita asteita korkeampi kuin ulkopuolella. Ylöspäin mentäessä lämpötilaero pienenee ja peittosuoja itse on ympäristöään kylmempi, sillä se säteilee lämpöä ulos. Peitolla ei voida suojata kasveja ankaralta hallalta. Koska peittosuoja käyttää hyväkseen maan lämpövarastoja, se toimii parhaiten matalassa kasvustossa lähellä maan pintaa. (Franssila 1949).

Harson käyttö

Metsätaimitarhoilla on harsoa käytetty aikaisemmin avomaan kylvöpenkkien suojauksessa hyönteisiltä ja linnuilta sekä itämisen

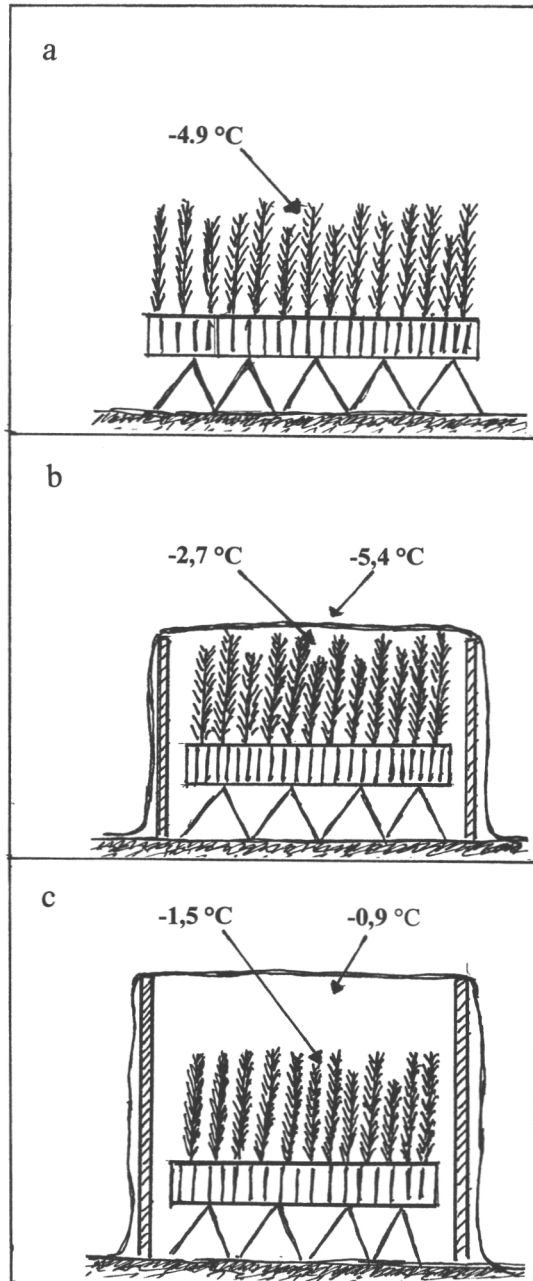
Kuva 3

Peittoharson (30 g/m²) vaikutus kohotetulla kasvatusalustalla olevien 1-vuotiaiden kuusentaimien (PL-81F) kasvuston minimilämpötiloihin hallayön 24.-25.9.2001 aikana Suonenjoen tutkimus-
asemalla.

Käsittelyt:

- a) suojaamattomat taimet
- b) harso taimien varassa
- c) harso 15 cm taimien yläpuolella

Taimimäärä oli 9 arkkia/käsittely. Mittaukset tehtiin Campbell CR10X-loggerilla ja termopariantureilla käsittelyistä a), b) ja c) taimien latvojen korkeudelta sekä lisäksi käsittelyssä b) 1 cm harson yläpuolelta ja käsittelyssä c) 2 cm harson alapuolelta. Anturit olivat keskimmäisen arkin kohdalla.



nopeuttamisessa ja myös hallasuojana (mm. Heiskanen ja Raitio 1992). Myöhemmin paakkutaimikasvatuksen yleistyessä on harsoja käytetty kuusen paakkutaimien hallasuojauksessa. Maataloudessa on harsoja käytetty mm. mansikan talvi- ja hallasuojauksessa sekä varhaisperunan tuotannossa. Markkinoilla olevat yleisimmät harsojen paksuudet ovat 17, 23 ja 30 g/m². Harso on levitetty taimien varaan. Aikaisemman kokemuksen mukaan metsätaimitarhoilla harson alla olevien pisimpien taimien latvat vaurioituvat.

Nyt esitettävät tulokset perustuvat kahteen pieneen kokeeseen Suonenjoen taimitarhalla vuosina 1994 ja 2001. Syyskuussa 2001 tehtiin koe, jossa yksivuotiaita PL-81F kenoissa kasvatettuja kuusentaimia suojattiin harsolla (30 g/m²), joka tuettiin 15 cm taimien latvojen yläpuolelle. Käsittelyinä olivat: a) suojaamattomat taimet, b) harso taimien varassa (37 cm maan pinnasta), c) harso 15 cm taimien yläpuolella (52 cm maan pinnasta) (kuva 3). Taimimäärä oli 9 arkkia / käsittely. Mittaukset tehtiin termoparianturilla taimien latvojen korkeudelta, lisäksi lämpötilaa mitattiin taimien varassa olevan harson päältä, kohotetun harson alta latvojen yläpuolelta, sepelikentältä ja nurmikolta (taulukko 1, kuva 3).

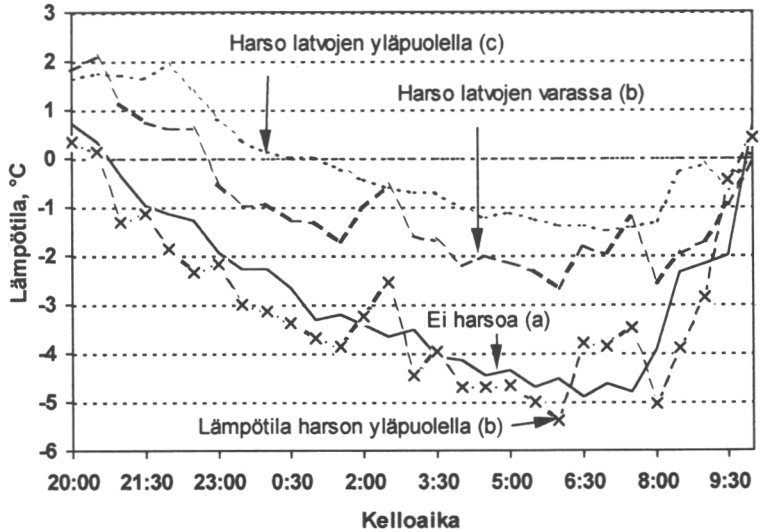
Harsolla oli vähäinen vaikutus lämpötilaan, jos yön alin lämpötila oli 0 °C:n yläpuolella. Jos lämpötila suojaamattomien taimien latvojen kohdalla laski 0- -3 °C:een, oli lämpötila harson alla korkeampi ja kun lämpötila laski -5 °C:een, oli harson alla n. 3 °C lämpimämpää (kuva 3 ja taulukko 1). Kun huomioidaan, että suojaamattomien taimien lämpötila on n. 1-2 °C ilman lämpötilaa

Taulukko 1 Hallaöiden (24.9.-1.10.2001) aikana mitatut alimmat lämpötilat Suonenjoen tutkimusasemalla, käsittelyt kuten kuvassa 3. Lisäksi lämpötilat mitattiin sepelikentältä ja nurmikolta.

Mittausanturi	Yön alimmat lämpötilat, °C					
	24.-25.9.	25.-26.9.	26.-27.9.	28.-29.9.	29.-30.9.	30.9.-1.10.
a) Taimien latvat, suojaamattomat taimet	-4,9	0,0	-1,1	-2,5	-3,0	-5,4
b) Taimien latvat, harso taimien varassa	-2,7	+2,0	-0,3	-0,3	-1,8	-3,2
c) Taimien latvat, harso 15 cm latvojen yläpuolella	-1,5	+2,4	+0,8	-0,1	-1,1	-2,2
b) Harson päällä, 1 cm harson yläpuolella	-5,3	+0,5	-0,4	-3,4	-3,3	-6,2
Sepelikenttä, 5 cm:n korkeudella	-3,6	+1,2	+0,1	-1,6	-1,8	-4,7
Nurmikko, 5 cm:n korkeudella	-7,7	-0,8	-2,2	-3,7	-3,0	-8,5

Kuva 4

Lämpötilojen kehitys taimien latvojen korkeudella ja harson yläpuolelta hallayönä 24.-25.9.2001 Suonenjoen tutkimus-asemalla. Lämpötilat rekisteröitiin 30 minuutin välein (edeltävän 30 minuutin jakson alin lämpötila). Mittausmenetelmä ja käsittelyt kuten kuvassa 3.



alempi, saattoi todellinen suojaamattomien ja harson alla olleiden taimien lämpötilaero olla 4-5 °C. Lämpötila 15 cm latvojen yläpuolella, aivan harson alla oli n. 0,3 °C korkeampi kuin latvojen korkeudella (ei esitetty taulukossa). Nämä tulokset olivat samansuuntaiset verrattuna 31.8-1.9.1994 mitattuihin tuloksiin, joissa alin yölämpötila kaksivuotiaiden kuusen paakkutaimien yläpuolelle (20 cm) tuetun kaksinkertaisen harson (17 g/m²) alla taimien latvoissa oli +1 °C ja taimien varassa olevan harson päällä -2 °C. Alin lämpötila nurmikolla oli -2,8 °C. Geigerin (1973) mukaan hallasuojana käytettävä peittokate ei saisi olla tiiviisti kasveissa kiinni, vaan katteen alla pitäisi olla tilaa, että sinne voi muodostua oma mikroilmasto.

Harso taimien varassa

Taimien varassa oleva harso nosti yön alinta lämpötilaa harson alla 1-2 °C (kuva 3, taulukko 1). Lämpötila taimien varassa olevan harson alla vaihteli kuitenkin yön aikana enemmän kuin kohotetun harson alla ja suojaamattomien taimien latvoissa (kuva 4). Tähän saattoi olla syynä, että taimien varassa oleva harso "elää" enemmän tuulen mukana kuin kohotettu harso ja se voi liikuttaa myös taimien latvoja, koska lämpötila vaihteli samalla tavalla myös harson yläpuolella (kuva 4). Kohotettu harso oli pingotettu tiukemmalle (rimojen ja narujen varaan). Myöhäisestä ajankohdasta johtuen eivät harson alla olevat eivätkä suojaamattomien taimien vaurioituneet. Lämpötila harson päällä oli kylminä öinä alempi kuin suojaamattomien taimien latvoissa, mikä selittää sen, että pisimmät harsossa kiinni olevat latvat voivat vahingoittua herkästi. Aikaisemman kokemuksen mukaan kaksinkertainenkaan taimien

varassa oleva harso ei ole suojannut ulkomaisten havupuiden pisimpiä latvoja hallavaurioilta -4 – -5 °C:n lämpötiloissa syyskuun puolivälissä vuosina 1996 ja 2000. Harso toimii parhaiten lähellä maan pintaa. Mansikkakasvustossa (5 cm:n korkeudella) peittoharso (30 g/m^2) on nostanut yön alimpia lämpötiloja vielä lokakuun lopulla 5 – 6 °C verrattuna suojaamattomaan kasvustoon (Prokkola ym. 2001). Hochmuth ym. (1993) mukaan amerikkalaisissa kokeissa mansikkakasvuston alimmat yölämpötilat ovat nousseet jopa 8 °C. Harson paksuus voi myös vaikuttaa lämpötiloihin harson alla. Hochmuth ym. (1993) mukaan kevyen harson (17 g/m^2) alla mansikkakasvustossa on lämpötila hallayönä ollut n. 2 °C alhaisempi, kuin painavamman (30 g/m^2) harson alla. Prokkola ym. (2001) on todennut suunnilleen samanlaisia eroja 17 ja 23 g/m^2 harsojen välillä keväällä lumien sulettua.

Päätelmät: Harso vai sadetus?

Tehdyissä mittauksissa harso nosti lämpötilaa taimien latvoissa 1 – 3 °C. Taimiarkit olivat 10 cm koholla maasta, joten harso oli 37 – 52 cm maanpinnasta. Paakkutaimilla ja kohotetulla kasvualustalla harso ei toimi kovin hyvin, sillä tiheä paakkutaimikasvusto eristää ja maasta nouseva lämpö jää paakkukerroksen alle. Esim. koulintapellolla harso voisi toimia paremmin. Taimien latvojen yläpuolelle tuettu harso suojaa paremmin kuin taimien varassa oleva harso, mutta harson tukeminen taimien yläpuolelle on hankalaa. Jos taimien lämpötila ei saa laskea alle -1 °C, taimien varassa olevalla harsolla (30 g/m^2) olisi mahdollista suojata taimet -2 – -3 °C:n ja taimien yläpuolelle tuetulla harsolla -3 – -4 °C:n hallalta.

Millainen halla sadetuksella sitten voidaan torjua? Kirjallisuuden mukaan arkojakin kasveja voidaan sadetuksella suojata vielä -12 °C:n lämpötilassa. Näin alhaisissa lämpötiloissa tulee kuitenkin paljon ongelmia. Voidaanko vesimäärää jatkuvasti lisätä lämpötilan laskiessa? Jo -9 – -10 C:n lämpötilassa tarvitaan vettä noin 6 – 7 mm/h. Ongelmana on myös saada vesi tasaisesti koko suojeltavalle alueelle. Jäätyvätkö sprinklerit ja suuttimet ja lopuksi, vahingoittaako jäämassan paino taimia ja mihin ylimääräinen vesi johdetaan? Käytännössä sadetuksella voidaan menestyksellisesti torjua -7 – -8 °C halla tyyneellä säällä.

Kiitokset

Kiitokset Jukka Laitiselle lämpötilan mittauslaitteiston asennuksesta ja ohjelmoinnista ja Risto Rikalalle käsikirjoituksen lukemisesta ja hyödyllisistä kommentteista.

Kirjallisuus

- Allison, C.J. 1972. Freeze-damage control in forest nurseries. *Comb. Proc. Int. Plant Prop. Soc.* 22: 77-82.
- Businger, J.A. 1965. Frost protection with irrigation. *Meteorological Monographs* 6 (28): 74-80.
- Chang, J. 1968. *Climate and agriculture: An ecological survey.* Aldine Publishing. Chicago. IL. s. 104-107.
- Evans, R. 1987. Irrigate for frost control. *American Fruit Grower* 107(2): 42-45.
- Franssila, M. 1949. *Mikroilmasto-oppi.* Otava Helsinki. 257 s.
- Geiger, R. 1973. *The Climate near the ground.* Harvard University Press. 611 s.
- Gubbels, G.H. 1969. Frost protection of crops by sprinkler irrigation. *Canadian Journal of Plant Science* 49: 715-718.
- Hamer, P.J.C. 1989. Simulation of the effects of environmental variables on the water requirements for frost protection by overhead sprinkler irrigation. *Journal of Agricultural Engineering Res.* 42. s. 63-75.
- Heiskanen, J. & Raitio, H. 1992. Influence of polypropylene gauze on soil temperature in nurseries. *Forest Ecology and Management* 53: 319-328.
- Hochmuth, G.J., Locascio, S.J., Kostewicz, S.T. & Martin, F.G. 1993. Irrigation method and rowcover use for strawberry freeze protection. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118: 575-579.
- Kara, O. & Pälikkö, E.A. 1975. *Sadetusopas.* Timokarin kustannus, Forssa. 129 s.
- Martsof, J.D. & Ferretti, P.A. 1977. Sprinkling for frost protection. *American Vegetable Grower* 25(3), s. 23, 76.
- McDonald, S.G. 1984. Irrigation in forest tree nurseries: Monitoring and effects on seedling growth. *Julkaisussa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim). Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Cooperative project of Oregon State University and USA Forest service Oregon USA.* s. 107-121.

- Nordlund, A. 2001. Hallaa lähellä maan pintaa, pakkasta vähän ylempänä. Helsingin Sanomat. 24.5.2001.
- Parsons, L.R. & Tucer, D.P.H. 1984. Sprinkler irrigation for cold protection in citrus groves and nurseries during an advective freeze. Proc. Fla. State Hort. Soc. 97: 28-30.
- Perry, K.B., Martsolf, J.D. & Morrow, C.T. 1980. Conserving water in sprinkling for frost protection by intermittent application. Journal of the American Society for Horticultural Science 105: 657-660.
- Prokkola, S., Aflatuni, A., Pietilä, M., Kauppi, A., Matala, V., Tuovinen, V., Luoma, S. & Karvonen, J. 2001. Mansikan talvisuojaus harsokatteella. Julkaisussa: Prokkola, S. & Luoma, S. (toim.) Pohjoisen laatumarjat – mansikka, tyrni, me-simarja ja jalomaarain. MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema. s. 1-18.
- Regan, R. 1988. Sprinkler salvation. American Nurseryman 168(5): 70-77.
- Rose, R. & Haase, D.L. 1996. Irrigation for frost protection in forest nurseries: Room for improvement. Western Journal of Applied Forestry 11(1): 16-19.
- Sneed, R.E. 1973. Frost and freeze protection. Irrigation Journal 23(6): 6-8.
- Snyder, R.W. 1951. The cooling of freely falling water drop. Julkaisussa: Proc. General discussion of heat transfer. Inst. Mech. Eng., Great Britain and Am. Soc. Mech. Eng.
- Taimi-Tapion tiedote 1/1984. Hallan torjuntaohjeet. Moniste. 4 s.

Levän kasvun vähentäminen ravinneliuoksissa metsätaimitarhoilla

Jorma Seppälä

Erilaiset levät lisääntyvät yleisimmin kosteissa, ravinnepitoisissa ja valoisissa olosuhteissa. Ravinneliuokset ovat täten mitä otollisin kasvualusta levien kasvulle. Lannoitteiden emoliuos- eli perusliuossäiliöt jäävät kiireessä helposti peittämättä, jolloin pöly, roskat ja siitepöly pääsevät lentämään vapaasti ravinneliuokseen. Levät alkavat salakavalasti kasvaa ja lisääntyä viimeistään lannoitteiden sekoitussäiliössä. Jos lannoiteensekoittimen jälkeen ei ole asennettu tehokasta hiekkasuodatinta, joudutaan pienitehoisia lamelli- ym. suodattimia puhdistamaan aivan liian usein.

Mitkä levät viihtyvät lannoite- ja kasteluautomatiikassa?

Rihmamainen viherlevä muodostaa nöyhtämäistä kasvustoa, joka tukkii lamellisuodattimet nopeasti. Viherlevät vaativat yleensä valoa kasvaakseen, joten perusliuossäiliöissä pitää olla tiivis kansi ja säiliön pitää olla valoa läpäisemätöntä muovia tai lasikuitua. Viherlevät ovat erittäin yleisiä luonnossa kaikkialla sekä vesistöissä että maalla. Leviä tulee jatkuvasti lisää kasteluvesien mukana. Eniten leviä on lämpimissä lampi-, järvi- ja ojavesissä, mutta myös pohjavesissä.

Yhtymälevät muistuttavat viherleviä. Yhtymälevät lisääntyvät suvuttomasti jakaantumalla kahtia ja suvullisesti kahden solun sisällön yhdistymisen kautta. Tässä muodossa levä voi selvitä epäsuotuisan kauden yli, koska yhtymäitiön ympärille kehitty paksu piikkinen tai nystyräinen seinämä. Keltaleville ovat tyypillisiä lepoasteet, jotka ovat rakenteeltaan pyöreitä ja paksuseinäisiä. Keltalevät lisääntyvät yleensä kahtia jakaantumalla.

Piileviä kasvaa kaikentyypisissä vesistöissä ja maalla kosteissa paikoissa. Niiden kuori muodostuu piidioksidista ja se muistuttaa rakenteeltaan rasiaa. Panssarilevillä on pensasmainen kasvutapa. Sinileviä ympäröi yleensä limakerros. Ne ovat väriltään sinertäviä, punaisia, harmaita tai ruskeita.

Kuinka perusliuokset tehdään oikein?

Perusliuosten valmistuksessa on käytettävä mahdollisimman lämmintä vettä, vähintään +20 °C, koska osa lannoiterraaka-aineista ei liukene kylmään veteen. Perusliuoksista ei saa tehdä niin väkeviä, että kastelulannoitteet alkavat kiteytyä perusliuossäiliön pohjalle lämpötilan laskiessa. Jos lämmintä vettä on niukasti saatavilla, lannoitteet on esiliuotettava 50-100 litran muovisaavissa esim. +40 °C:seen veteen. Näin lämpimään veteen kastelulannoitteista voidaan valmistaa jopa 40 % perusliuos. Metsätaimitarhoilla suositellaan lopullisen perusliuoksen väkevyydeksi ainoastaan 10 %, koska liuoksen lämpötila voi laskea +10 °C:seen, jolloin saavutetaan ns. kyllästymispiste. Yliväkevän lannoiteliuoksen kiteytymisen estämiseksi perusliuosta tulisi sekoittaa mahdollisimman usein.

Ennen kuin lämmin vesi ja lannoitteet sekoitetaan, on tarkistettava, onko säiliöiden reunoihin kasvanut levää. Perusliuossäiliöt puhdistetaan huolella kuumalla vedellä ja harjalla.

Mitä lannoitteiden sekoitussäiliössä pitää tarkistaa?

Sekoitussäiliön seinämien on pysyttävä puhtaana. Kovassa kiireessä sekoitussäiliön kansi voi jäädä auki, jolloin levien, bakteerien ja sienten itiöt sekä pölyt ja roskat pääsevät vapaasti lentämään ravinneliukseen. Sekoitussäiliö on pestävä aika ajoin korkeapainepesurilla kiehuvan kuumalla vedellä aivan puhtaaksi, muuten erilaiset levät, sienet ja bakteerit alkavat lisääntyä koko kastelujärjestelmässä. Ongelma havaitaan yleensä siitä, että huonekohtaiset lamellisuodattimet joudutaan puhdistamaan normaalia useimmin.

Hiekkasuodattimien käyttö

Hiekkasuodattimen asentaminen lannoiteautomaatiikan jälkeen on ensiarvoisen tärkeää, vaikka käytössä olisi puhdas kasteluvesi, koska lannoitteiden sekoitussäiliössä alkaa kasvaa helposti erilaisia leviä, jotka tukkivat nopeasti pienitehoiset lamellisuodattimet. Jos vedessä on levän lisäksi runsaasti humusta ja rautaa, pitää hiekkasuodattimia olla vähintään kaksi, jotka kytketään rinnakkain eikä peräkkäin. Monissa nykyaikaisissa hiekkasuodattimissa on automaattinen huuhtelu paineen laskiessa liian alhaiseksi. Kun-

nallisilla vesilaitoksilla käytetään yleisesti monikerrosmassa-suodattimia, joissa on kaksi tai kolme suodattavaa kerrosta. Karkeimmat epäpuhtaudet jäävät ylimmäiseen kvartsihiekkakerrokseen ja hienoimmat alimpaan hydroantrasiittikerrokseen.

Kastelujärjestelmän puhdistus ja desinfiointi vähintään kerran vuodessa

Orgaanisen aineksen (levät, bakteerit, sienet ym.) poisto natriumhypokloriitilla:

1. Huuhtelee koko kastelujärjestelmä lämpimällä vedellä.
2. Sulje johtokyky- ja pH-mittari. Täytä kastelujärjestelmä liuoksella, jossa on 3 litraa 15-prosenttista natriumhypokloriittia 100 litrassa vettä. Lopeta annostelu, kun suuttimesta tulevan liuoksen pH on 10.
3. Anna liuoksen seisoa kastelujärjestelmässä 24 tuntia. Anna 12 tunnin kuluttua joka tunti 30-60 sekunnin kastelu. Aja liuosta 24 tunnin kuluttua kunnolla lannoitteiden sekoitussäiliön, runko- ja liitosputkien, suodattimien ja koko kastelujärjestelmän läpi. Huuhtelee lopuksi koko kastelujärjestelmä lämpimällä vedellä puhtaaksi natriumhypokloriitista.

Natriumhypokloriittia käytettäessä on käytettävä hengityssuojainta, koska se kaasuuntuu helposti ilmaan ja kehittää myrkyllistä kaasua happojen kanssa. Se on erityisen vaarallista silmille. Natriumhypokloriittiliuoksen (15 %) pH on 14 ja se on hapettava ja syövyttävä aine. Ruostumaton ja haponkestävä teräs syöpyvät nopeasti sitä käytettäessä.

Harmaahome kuusen paakkutaimilla

Raija-Liisa Petäistö

Johdanto

Harmaahome, *Botrytis cinerea* (Pers.) Fr., on yleinen kuolleessa kasvimateriaalissa esiintyvä saprofyyttisieni, mutta se on myös eläviä kasvisoluja tuhoava sienipatogeeni.

Harmaahomeen tuhot taimitarhalla on pitkään tunnettu, lähinnä varastoinnin aikana (kts. Venn 1980). Kun avomaakasvatuksesta on siirrytty suurelta osin muovihuone/paakkutaimituotantoon, harmaahomeongelma on esiintynyt taimikasvatuksessa myös kasvukauden aikana.

Harmaahometta on tutkittu douglaskuusella (Peterson ym. 1988), mustakuusella (Zhang ja Sutton 1994), lehtikuusella (Dugan ja Blake 1989) ja mammuttipetäjällä (Smith ym. 1973).

Harmaahometta kuusen taimien tautina ei ole juuri aikaisemmin tutkittu. Tässä artikkelissa on aluksi harmaahomeesta tutkittua asiaa muilla kasveilla ja lopussa käynnissä olevasta harmaahometutkimuksesta alustavia tuloksia.

Harmaahome ja olosuhteet

Lämpötila

Harmaahomeen kasvulle ja itiöitten itämiselle optimilämpötila kasvin infektioidissa on +9 °C - +21 °C. Harmaahome pystyy kuitenkin kasvamaan lämpötila-alueella +2 °C - +25 °C (mm. Jarvis 1962).

Suhteellinen kosteus ja vapaa vesi

Itiöiden itämiseen ja infektiin tarvitaan korkea suhteellinen kosteus, 98-100 %, tai pintakosteus. Itiöt itävät kosteissa olosuhteissa nopeasti, yleensä tunnissa tai parissa. Kosteusolosuhteet taimikasvatuksessa muuttuvat sienelle suosiollisiksi mm. tiheiden kasvustojen ja päältäkastelun vuoksi. Kastelun ajoittaminen ajankohdtaan, jolloin kosteus taimien pinnalla kestää mahdollisimman ly-

hyyen, voisi auttaa taudin hallintaa. Mm. myöhäisillan kasteluissa pintakosteus voi kestää pitkään.

Valo

Harmaahome kykenee kasvamaan ja tuottamaan itiöitä pimeässäkin (Hite 1973, Tan ja Epton 1973). Sulkeutuneessa kasvustossa kuolleet kasvinosat ovat homeelle sopivia 'alustoja' tuottaa itiöitä.

Kasvin pinnalla itävä homeen itiö tuottaa aluksi iturihman, jonka kasvu suuntautuu valon mukaan. Aallonpituusalueella 300-520 nm sieni pyrkii pois valosta ja tunkeutuu kasvin sisään, minkä seurauksena homeoireet lisääntyvät kasvissa (Islam ym. 1998). Ilmiö tunnetaan ns. negatiivisena fototropismina. Periaatteessa olisi mahdollista ehkäistä homeongelmaa käyttämällä esim. 300-520 nm valon leikkaavaa muovia. Käyttöä ajatellen olisi kuitenkin hyvä tietää valon leikkaamisen mahdollisista muista vaikutuksista ennen tällaisen leikkaavan muovin käyttöä.

Itiölevintä, itäminen

Itiöt ovat ilmalevintäisiä (Jarvis 1962). On kuitenkin havaittu, että myös sade ja kastelu irrottavat itiöitä (Peterson ym. 1988). Ilmeisesti itiölevintä ympäristöstä ja taimikasvuston sisälläkin kasvaa kasvukauden edetessä mm. lisääntyvän kuolleen kasvimateriaalin myötä. Kuolleen kasvimateriaalin poistaminen sekä muovihuoneesta että sen ympäristöstä vähentää itiömäärää ja siten taimien sairastumista.

Harmaahomeen itiöt itävät kosteissa olosuhteissa nopeasti (Dugan ja Blake 1989, Peterson 1995). Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla on suunnitteilla tutkia, miten kemiallinen torjunta vaikuttaa sienien eri kasvuasteisiin, kuten itämätömiin ja itäviin itiöihin, kasvavaan rihmastoon sekä taimeen tunkeutuneeseen rihmastoon. Tällaisella tiedolla voisi olla käyttöä torjunnassa.

Kuivana itiöt voivat säilyä huoneenlämpötilassa pitkään. Salinas ym. (1989) havaitsivat, että osa itiöistä oli itämis- ja infektiokykyisiä jopa 14 kuukauden säilytyksen jälkeen. Tämäkin korostaa kasvatuspaikkojen ja ympäristön puhtaanapitämisen tärkeyttä.

Taimia harmaahomeelle altistavista tekijöistä

Kesällä lämpötila saattaa nousta muovihuoneissa +30 °C lämpötilaan ja ylikin haitaten taimia. Korkea lämpötila altistaa taimia harmaahomeelle ja ne voivat sairastua voimakkaasti, jos ne joutuvat homeelle sopiviin olosuhteisiin (Peterson ym. 1988, Zhang ja

Sutton 1994). Hyvin alhainen valointensiteetti altistaa myös taimia. Mm. tiheissä kasvustoissa ja pitkinä pilvisinä jaksoina taimet voivat saada helposti hometartunnan. Kuivuusstressi edesauttaa myös taudin esiintymistä, ilmeisesti samalla tavalla kuin lämpötilastressi (Zhang ja Sutton 1994).

Altistavien tekijöiden välttäminen on lähinnä taimien terveyden hoitoa. Muovihuoneiden lämpötilan seuranta ja tuuletuksesta huolehtiminen sekä kastelun tasaisuus voisivat vähentää taimien altistumista ja toisaalta olosuhteet muuttuvat homeelle epäedullisiksi. Taimitarhateknologialla on haasteita.

Ennakkotuloksia

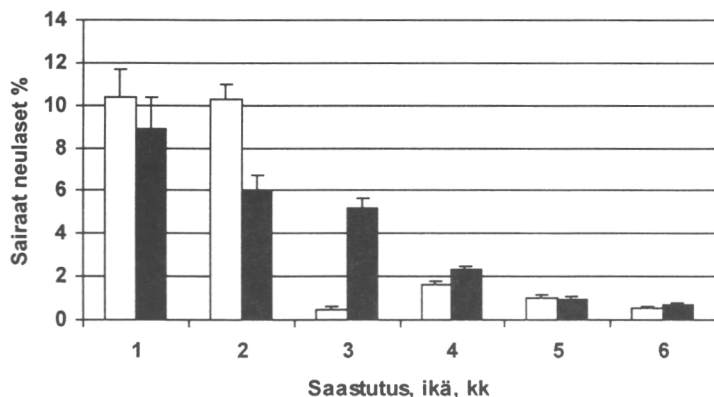
Taimen kasvuvaiheet

Suonenjoen tutkimusasemalla tutkitaan harmaahometta kuusen ensimmäisen kasvukauden taimilla. Kokeita on tehty muovihuoneessa, pienessä koemuovihuoneessa, kasvatuskaapeissa sekä kylmävarastossa.

Taimien kasvuvaiheen merkitystä seurattiin 6 kk kasvatusjakson aikana. Joka kuukausi infektoitiin osa taimista keinollisesti harmaahomeen itiöillä. Infektion onnistumista ja taudin esiintymistä seurattiin lähes päivittäin laskemalla laikkuisten ja kuolleitten neulasten lukumäärät sekä poistamalla saastuneet neulaset.

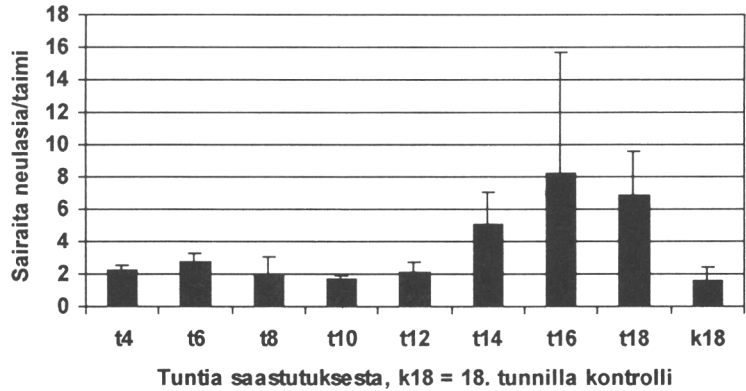
Sairaitten neulasten osuus koko neulamäärästä oli pieni näissä koejärjestelyissä, mutta kasvuvaiheiden välisiä eroja tuli esiin. Kaikkein tautisimmiksi luokiteltiin 1-3 kuukauden ikäiset taimet (kuva 1). Käytäntöä ajatellen ympäristöstä tuleva homeitiöiden määrä on yleensä pieni tässä alttiissa kasvuvaiheessa. Mikäli

Kuva 1
Hamaahomeen voittamien neulasten %-osuus neulasten kokonaismäärästä kuusen 1-6 kk ikäisissä taimissa harmaahomeen itiöillä tehdyn saastutuksen jälkeen. Pieni (valkoinen pylväs) ja iso (musta pylväs) muovihuone. Jana on keskiarvon keskivirhe.



Kuva 2

Harmaahomeen voittamien neulasten lukumäärä/taimi kuusen taimilla 4-18 tuntia itiöllä tehdyn saastutuksen jälkeen. Taimet pidetty saastutuksen jälkeen 100 % suhteellisessa kosteudessa. Jana on keskihajonta.



itiömäärä tässä kasvatusvaiheessa esim. kuolleen kasviaineksen suuren määrän vuoksi kasvaa, taudin esiintyminen voi olla raju.

Osa infektoimattomia taimia (ei keinollista saastunutta harmaa-homeen itiöllä) sairastui 3 kk iän jälkeen, ilmeisesti lähinnä ympäristöstä tulevilla itiöllä. Lisäksi taimien iän myötä kasvuston sulkeutuessa muodostuu helpommin yhä paremmat kasvuolosuhteet sienelle (mm. korkea suhteellinen kosteus, pintakosteus kasvustoissa). Kuusen taimikasvatuksessa nykyisellä teknologialla voisi odottaa taimissa 3 kk iän jälkeen lievää sairastumista.

Taudin oireiden synty nopeus

Sekä muovihuoneessa, pienessä koemuovihuoneessa että kasvatuskaapissa tehdyssä kokeessa havaittiin, että ensimmäiset oireet syntyivät hyvin nopeasti, jo vuorokauden kuluttua infektiosta. Tämän jälkeen testattiin 3 kk ikäisillä taimilla oireiden synty nopeutta tarkastamalla taimia kahden tunnin välein itiöiden panon jälkeen. Oireita havaittiin muutaman tunnin kuluttua ja selvimmin 14 tunnin kuluttua suhteellisen kosteuden ollessa 100 % (kuva 2). Oireiden mahdollisuus puhjeta nopeasti voi tehdä torjunnasta vaikean. Jos olosuhteet ovat sienelle otolliset ja taimet ovat altistuneita taudille, on nopea torjunta tarpeen. Oletettavaa on, että sienen jo tunkeuduttua isäntäkasviin, torjunnan teho on heikko. Harmaa-homeen kemiallista torjuntaa on tarkoitus tutkia jatkossa.

Kylmävarastointi ja harmaa-home

Ensimmäisessä harmaa-home-kylmävarastointikokeessa sekä kuusen taimia että lehdettömiä koivun taimia saastutettiin harmaa-homeen itiöllä syksyllä. Taimet varastoitiin samana päivänä kylmävarastoon. Taimipakkauksista seurattiin suhteellista kosteutta ja lämpötilaa jatkuvasti varastoinnin ajan. Kylmävaraston lämpötila

oli pääasiassa $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, mutta sekä pakkauksia sisään tuotaessa, että varastoinnin lopussa lämpötila oli korkeampi.

Saastutetuissa kuusen taimissa havaittiin laikkuja, joskin niukasti. Laikkujen määrässä oli kuitenkin ero saastutettujen ja saastuttamattomien välillä (kuva 3). Tämä osoittaa, että homeella voi olla mahdollisuuksia tuottaa oireita kuusella varastoinnin aikana, vaikka sieni ei välttämättä olisi vielä tunkeutunut taimeen ennen varastointia. Koivun taimissa ei ollut eroa infektoitujen ja infektoimattomien välillä.

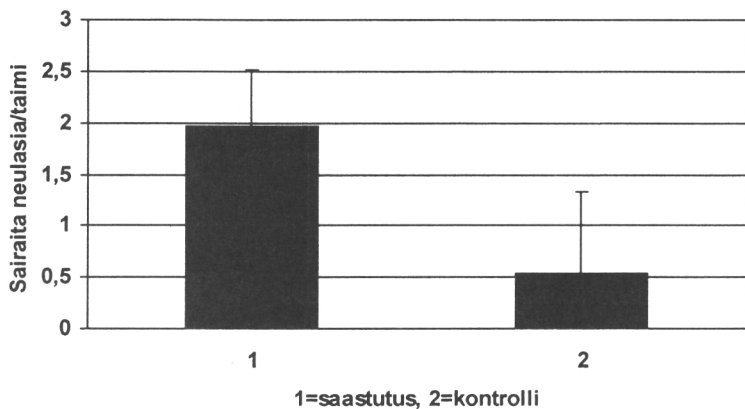
Meneillään olevassa jatkokokeessa homeen etenemiselle kuusen taimissa annettiin aikaa ennen taimien kylmävarastoon siirtämistä. Taimet tarkastetaan varastoinnin loputtua. Tulokset eivät ole tässä vaiheessa vielä saatavilla.

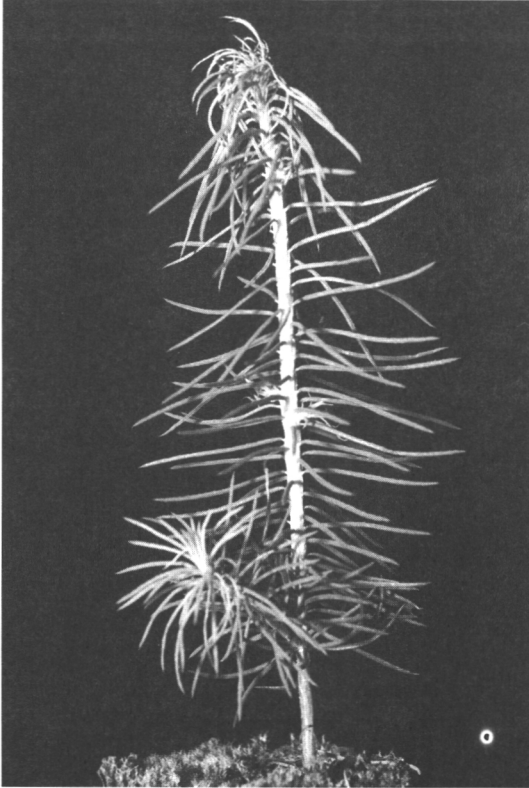
Harmaahomeen oireet

Harmaahome aiheuttaa laikkuja kuusen neulasiin. Kuusissa oireet ovat kasvukauden alkupuolella yleensä latvaosassa. Oireet alkavat vähäisenä värimuutoksena neulasissa. Latvassa tuoreista neulasista saattaa useita neulasia kuolla täysin (kuva 4). Alempiin neulasiin tulee usein neulasen puoliväliin laikku, josta neulanen taittuu alaspäin ja neulasen latvaosa voi pudota pois (kuva 5). Vanhemmissa neulasissa laikku muuttuu usein tumman ruskeaksi, mutta harvemmin neulaset katkeavat. Kuolleisiin neulasiin ja laikkuihin muodostuu homeelle suotuisissa kosteissa olosuhteissa itiöitä, joiden avulla tauti leviää ympäristöön.

Koivuissa lehdissä on aluksi laikkujen syntyessä vähäisen värimuutoksen alueita, eli lehden vihreä väri muuttuu tumman vihreäksi laikuittain. Värimuutos vaalenee keltaiseksi ja myöhemmin

Kuva 3
Sairaitten neulasten lukumäärä/taimi kylmävarastoinnin jälkeen. Saastutus tehty itiöllä juuri ennen kylmävarastointia. Jana on keskihajonta.





Kuva 4 (vasemmalla)
Kuusen taimen latvaneulaset kuolleet harmaahomeinfektion vuoksi.

Kuva 5 (alla)
Neulasen noin puolivälissä nuolien osoittama laikku, mistä kohdasta neulainen on taittunut alaspäin.



P. Voipio

P. Voipio

solukkojen ollessa täysin kuolleita ruskeaksi muuttuneet laikut ovat hyvin selvästi havaittavissa. Kuolleisiin laikkuihin muodostuu suotuisissa olosuhteissa itiöitä.

Lehtikuusen taimissa on neulasissa aluksi värimuutoslaikkuja, jotka muuttuvat selvästi havaittaviksi vaaleiksi laikuiksi. Kuolleisiin neulasiin kehittyä homeelle suotuisissa oloissa itiöitä.

Kirjallisuus

- Dugan, F. & Blake, G.M. 1989. Penetration and infection of western larch seedlings by *Botrytis cinerea*. *Canadian Journal of Botany* 67: 2596-2599.
- Hite, R.E. 1973. The effect of irradiation on the growth and asexual reproduction of *Botrytis cinerea*. *Plant Disease Reporter* 57: 131-135.
- Islam, S.Z., Honda, Y. & Sonhaji, M. 1998. Phototropism of conidial tubes of *Botrytis cinerea* and its implication in plant infection processes. *Plant Disease* 82: 650-856.

- Jarvis, W.R. 1962. The dispersal of spores of *Botrytis cinerea* Fr. in a raspberry plantation. *Transactions of British Mycological Society* 45: 549-559.
- Peterson, M.J., Sutherland, J.R. & Tuller, S.E. 1988. Greenhouse environment and epidemiology of grey mould of container-grown Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 974-980.
- Peterson, M. J. 1995. Botscan: A sampling system to forecast disease incidence of grey mould in container-grown conifer seedlings. *Nursery and Seed* 8: 9-10.
- Salinas, J., Glandorf, D.C.M., Picavet, F.D. & Verhoeff, K. 1989. Effects of temperature, relative humidity and age of conidia on the incidence of spotting on gerbera flowers caused by *Botrytis cinerea*. *Netherland Journal of Pathology* 95: 51-64.
- Smith, P.C., McCain, A.H. & Srago, M.D. 1973. Control of *Botrytis* storage rot of giant Sequoia seedlings. *Plant Disease Reporter* 57: 67-69.
- Tan, K.K. & Epton, H.A.S. 1973. Effect of light on the growth and sporulation of *Botrytis cinerea*. *Transactions of British Mycological Society* 61: 147-157.
- Zhang, P.G. & Sutton, J.C. 1994. High temperature, darkness, and drought predispose black spruce seedlings to gray mold. *Canadian Journal of Botany* 72: 135-142.
- Venn, K. 1980. Winter vigour in *Picea abies* (L.) Karst. VII. Development of injury to seedlings during overwinter cold storage. A literature review. *Reports of the Norwegian Forest Research Institute* 35(9): 483-530.

Ennakkotuloksia kesäistutettavien kuusen taimien käsittelystä tukkimiehentäin torjuntaan käytettävillä kasvinsuojeluaineilla

Heli Viiri ja Jaana Luoranen

Tukkimiehentäi, *Hyllobius abietis* L., aiheuttaa merkittävimmät tuhot männyn ja kuusen istutustaimikoissa. Noin puolet Suomessa istutettavista männyn ja kuusen taimista käsitellään ennakkoon taimitarhoilla kasvinsuojeluaineilla tuhojen torjumiseksi. Ilman kasvinsuojeluainekäsittelyä taimista selviää kohteesta riippuen ensimmäisenä vuonna 19-94 % (Hagner ja Jonsson 1995). Uusimpien tulosten valossa kasvussa olevia kuusen paakkutaimia voidaan istuttaa myös kesä-heinäkuussa (Luoranen ym. 2001). Kuitenkin kaikki Suomessa tällä hetkellä tukkimiehentäin torjuntaan rekisteröidyt kasvinsuojeluaineet on hyväksytty käytettäväksi ainoastaan lepotilaisilla taimilla. Käytössä olevien valmisteiden mahdollisista haittavaikutuksista läpi kasvukauden istutettaville taimille ei ole olemassa tutkittua tietoa.

Aiemmin on havaittu, että elokuussa tehty käsittely permetriini-valmisteella (GORI 920 ja GORI 920 L) heikentää kuusen taimien hallansietokykyä lokakuussa ja lisää taimikuolleisuutta (Kohmann 1999). Lisäksi lokakuussa tai marraskuussa ennen kylmävarastointia tehty permetriinikäsittely aiheuttaa apikaalidominanssin häiriintymistä ja monilatvaisuutta (Kohmann 1993, 1999). Tässä esitellään ennakkotuloksia kokeesta, jossa tutkittiin kesäistutettavien taimien alttiutta kasvinsuojeluainevioituksille ja valmisteiden torjuntatehoa toisena kesänä käsittelyn jälkeen.

Aineisto ja menetelmät

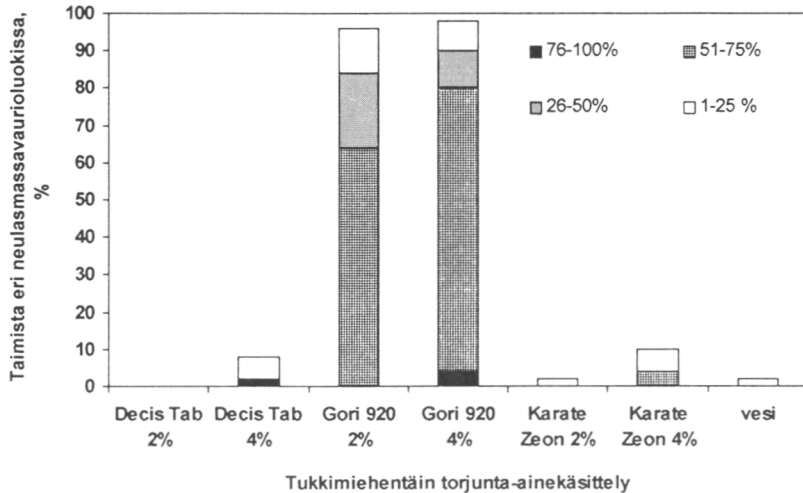
Taimimateriaalina käytettiin 1-vuotiaita PS608-alustoissa (152 cm³, 433 kpl/m²) kasvatettuja kuusen paakkutaimia. Kasvussa olevat taimet käsiteltiin upottamalla ne nipuissa joko 2 % tai 4 % kasvinsuojeluaineliuokseen 13. kesäkuuta 2000. Upotusajankohtaan mennessä taimet olivat kasvaneet kasvukaudella 2000 keskimäärin 7 cm. Kontrollikäsittelynä kokeessa oli vesi. Kokeessa olivat mukana seuraavat valmisteet: lambda-syhalotriini (Karate Zeon®),

deltametriini (Decis Tab®) ja permetriini (GORI 920®). GORI 920 -valmisteen hyväksytty käyttöväkevyys on 2 % (1 l GORI 920/50 l vettä) ja Decis Tab -valmisteen 1 tabletti (0,625g deltametriiniä)/1 litra vettä. Upotuskäsittelyjen jälkeen taimet istutettiin Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimustaimitarhan koekentälle, jossa taimien kasvua ja kehitystä seurattiin kaksi kasvukautta.

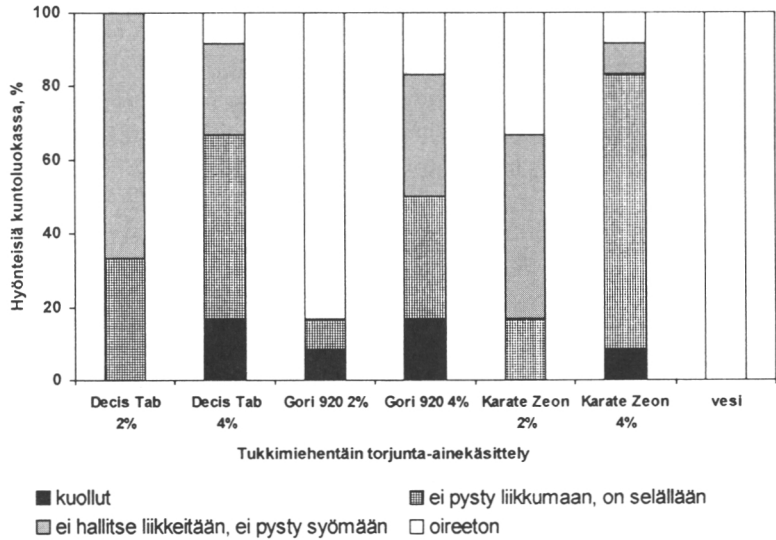
Neulasvioletukset taimissa

Kokeessa seurattiin taimien kuntoa, mahdollisia neulasten väri-
vikoja ja kuivumista sekä taimien pituuskasvua. Permetriini-
käsittelyt vioittivat taimia huomattavasti (kuva 1). Käytännössä
molemmat pitoisuudet aiheuttivat yhtä paljon väri-
vikoja neulasiin, yli 95 % neulasista oli havaittavissa väri-
vikoja. Käsittely 2 % deltametriinillä aiheutti vain lieviä väri-
vikoja muutamille taimille ja suurin osa vioituksista oli hävinnyt kahden viikon kuluttua kä-
sittelystä. Viikon kuluttua 4 % deltametriinillä käsitellyissä taimissa
oli vioituksia 22 % taimista. Kuukauden kuluttua deltametriini-
käsittelyistä ei taimissa ollut havaittavissa lainkaan neulasvioletuksia.
Käsittely 2 % lambda-syhalotriinillä aiheutti väri-
vikoja 16 % taimista. Myös lambda-syhalotriinikäsittelyissä neulasten väri-
vikoja ei ollut näkyvissä enää kuukauden kuluttua upotuksesta.

Kuva 1
Neulasvikojen
esiintyminen
koetaimissa
ensimmäisen
kasvukauden
lopussa.



Kuva 2
Tukkimiehentäiden kunto-
luokitus kokeen
lopussa 7 vuoro-
kauden kuluttua.



Kasvinsuojeluaineet tehosivat vielä toisena kesänä

Kesäkuussa 2001 taimilla tehtiin syöttökoe tukkimiehentäille petrialjoissa. Kokeessa tukkimiehentäit söivät viikon ajan taimen tyveltä leikattua 10 cm:n pituista rungon pätäkää. Hyönteisten kuntoa seurattiin viikon ajan. Pelkällä vedellä käsiteltyjä taimia syöneet hyönteiset olivat kaikki elossa kokeen lopussa (kuva 2). Tukkimiehentäit, jotka olivat syöneet kasvinsuojeluaineilla käsiteltyjä taimia, saivat eriasteisia hermosto-oireita ja osa niistä kuoli kokeen aikana. Kuolleisuus oli suurin kaikilla kasvinsuojeluaineilla valmistepitoisuuden ollessa 4 %. Valmistepitoisuuden ollessa 2 % kuolleisuutta havaittiin vain permetriinikäsittelyssä. Toisaalta myös eniten oireettomia yksilöitä oli 2 % permetriinikäsittelyssä. Käsitely 2 % deltametriinillä aiheutti oireita kaikissa hyönteisissä. Deltametriinin ja lambda-syhalotriinin osalta tulokset vastaavat aiemmin tukkimiehentäille esitettyjä kuolleisuusarvoja (LD_{50} -arvoja) (Dobrowolski 2000), joiden perusteella em. tehoaineet käytännössä tappavat tukkimiehentäit yhtä nopeasti.

Yhteenveto

Vioitusvaikutuksensa vuoksi kokeessa käytetty permetriinivalmiste (GORI 920) ei sovellu kesäistutettavien kuusen taimien käsitte-
lyyn. Permetriini tulee poistumaan käytöstä, kun sen rekisteröinti EU:n alueella päättyy 31.12.2003. Muut testatut tehoaineet, delta-

metriini ja lambda-syhalotriini, eivät aiheuttaneet merkittäviä vioituksia taimille ja olivat tehokkaita tukkimiehentäitä vastaan. Tämän kokeen perusteella edellä mainittuja valmisteita voitaisiin käyttää kesäistutettavien kuusen taimien käsittelyyn. Eri kuusialkuperillä ja erilaisissa sääoloissa (esim. korkea lämpötila, säteily) torjunta-aineet voivat mahdollisesti aiheuttaa vioituksia, joten jatkotutkimukset ovat tarpeen. Kasvinsuojeluaineiden haittavaikutuksista kasveille tyypilliset erilaiset värivioitukset on helppo tunnistaa, mutta pitkäaikaisten kasvua häiritsevien tekijöiden tunnistaminen on vaikeampaa. Valmisteista lambda-syhalotriini ei ole hyväksytty metsätalouksikäyttöön, vaan se on parhaillaan testattavana Metsäntutkimuslaitoksella.

Kiitokset

Kiitokset Osmo Korhoselle ja Ossi Muuroselle taimien käsittelystä ja istuttamisesta sekä Ritva Pitkäselle kokeen mittaamisesta ja Eeva Vehviläiselle syöttökokeen alkujärjestelyistä.

Kirjallisuus

- Dobrowolski, M. 2000. The susceptibility of the large pine weevil (*Hylobius abietis* L.) to insecticides and the role of the oxidative metabolism in the developing of the pest resistance to DDT and pyrethroids. *Folia Forestalia Polonica* 42: 83-94.
- Hagner, M. & Jonsson, C. 1995. Survival after planting without soil preparation for pine and spruce seedlings protected from *Hylobius abietis* by physical and chemical shelters. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 225-234.
- Kohmann, K. 1993. Midler og metoder mot rothalsgnagende insekter på gran- och furuplanter. Rapport fra Skogforsk, Norsk institutt for skogforskning, 26/92: 1-23.
- 1999. Side-effects of formulations of permethrin and fenvalerate insecticides on frost resistance and field performance of *Picea abies* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 355-360.
- Luoranen, J., Konttinen, K., Rikala, R. & Smolander, H. 2001. Ennakkotuloksia kuusen paakkutaimien kesäistutuksesta. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 813: 24-31.

Havupunkin ja neulaspunkin tunnistus ja torjunta taimitarhoilla

Heli Viiri

Johdanto

Havupunkki, *Oligonychus ununguis* (Jacobi) on yleismaailmallisesti esiintyvä kehrääjäpunkki. Kuusenneulaspunkki, *Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis* Löyttyniemi, puolestaan kuuluu äkämäpunkkeihin. Runsaana esiintyessään molemmat punkkilajit aiheuttavat tuhoja metsätaimitarhoilla ja joulukuusiviljelmillä. Punkit imevät taimista nesteitä ja aiheuttavat havupuiden taimiin laikuttaista neulasten kellastumista ja ravinteiden hävikkiä. Pahimmissa tapauksissa neulaset voivat kuivua ja varista kokonaan. Havupunkki vioittaa pääasiassa kuusta, mutta myös mänty, kontortamänty, sitkankuusi, kataja ja lehtikuusi kelpaavat punkkien ravinnoksi. Luontaisesti molemmat punkkilajit esiintyvät harvoin runsaana. Tuhoja esiintyy tavallisesti taimitarhoilla, joissa käytetään toistuvasti kasvinsuojeluaineita ja lannoitteita. Punkit ovat vaikeita tunnistettavia pienen kokonsa vuoksi. Lisäksi torjuntaa vaikeuttaa se, että tavallisimmat orgaanisiin hiilivetyihin pohjautuvat kasvinsuojeluaineet eivät punkkeihin tehoa. Tietyillä kehitystasteilla on suuri vastustuskyky kasvinsuojeluaineille ja punkit voivat kehittyä täysin vastustuskykyiseksi, jos samaa kasvinsuojeluainetta käytetään toistuvasti. Havupunkkituhot ovat yleisiä lämpiminä ja kuivina kesinä.

Merkittäviä tuhoja vain taimitarhoilla

Havupunkki tunnistettiin taimituholaiseksi vasta 1950-luvulla. Tuhojen yleistyminen johtui taimitarhaviljelyn yleistymisestä. Taimitarha on punkeille sopiva elinympäristö, koska taimitarhojen kasvustot ovat tiheitä ja lannoitetut taimet ovat nopeakasvuisina alttiita punkkituhoille. Suomessa havupunkin ja kuusen neulaspunkin aiheuttamia tuhoja alettiin tutkia 1960-luvulla (Löyttyniemi 1966, 1969a,b). Tällöin todettiin, että havupunkki esiintyi 77 % tutkituista taimitarhoista (22 tarhaa) ja tuhot olivat useimmilla tarhoilla taloudellisesti merkittäviä (Löyttyniemi 1966). Tarhat,

joilla tuhoja ei esiintynyt, sijaitsivat Pohjois- ja Koillis-Suomessa ja niillä viljeltiin kuusta vain vähän. Tuhoja oli erityisesti etelä- ja lounaisrannikolla sekä Ahvenanmaalla (Löyttyniemi 1970b). Havupunkin esiintymisestä taimitarhoilla ei ole tehty selvityksiä viime aikoina, mutta ilmeisesti havupunkkia esiintyy vähemmän muovihuone- kuin avomaakasvatuksessa. Paakkutaimituotannon yleistyessä 4-vuotiaan koulitun kuusen kasvatus on vähentynyt. Löyttyniemen (1966, 1969b) mukaan sekä havupunkki- että neulaspunkkituhot keskittyivät koulittuihin 4-vuotiaisiin kuusen taimiin (taulukko 1).

Typpi-fosforilannoitus lisää havupunkkituhojen riskiä (Löyttyniemi ja Heliövaara 1991). Tämä voi johtua lannoitetuissa taimissa olevasta suuremmasta neulasten aminohappopitoisuudesta (Löyttyniemi ja Tulisalo 1972). Taimitarhoilla tavallisesti käytettävät lannoitemäärät eivät kuitenkaan merkittävästi lisää tuhoriskiä.

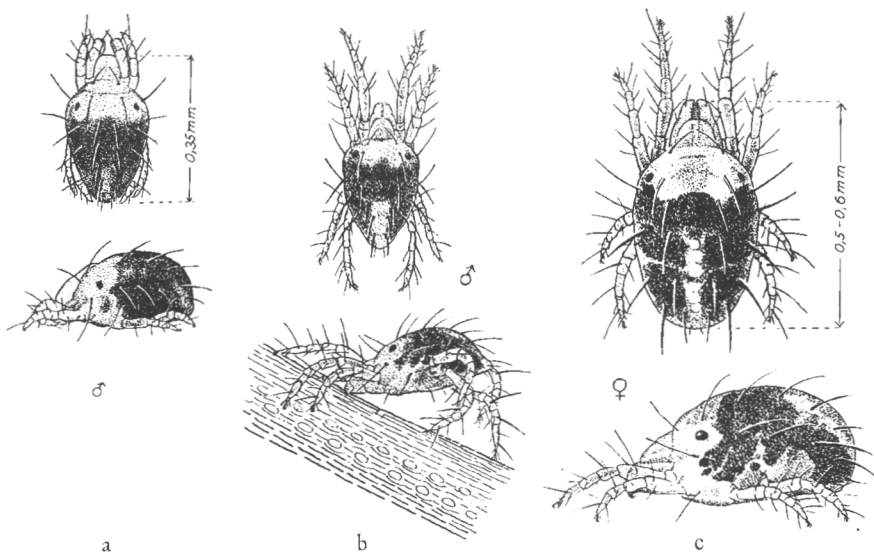
Vuosina 1965-1968 tehdyssä selvityksessä neulaspunkkeja tavattiin kaikilla kuusta viljelevillä taimitarhoilla (147 kpl) ja tuhoja todettiin 16 tarhalla (Löyttyniemi 1969b). Tällöin tuhotapaukset olivat keskittyneet Itä-Suomeen. Vuonna 1967 tuhoutui koko maassa taimitarhanhoitajilta saatujen tietojen ja muiden arvioiden mukaan yhteensä noin 600 000 nelivuotiaasta koulittua kuusen taimia punkkivioitusten seurauksena (Löyttyniemi 1969b).

Tuhojen tunnistus

Aikuiset punkit ovat vaikeasti havaittavia pienen kokonsa ja vaatimattoman värityksensä vuoksi. Punkkien vioittamiksi epäiltyjä taimia kannattaa ravistella puhtaan valkoisen paperin päällä. Nuoret vastakuoriutuneet havupunkit ovat himmeän vihreänkeltaisia ja punertavan aikuisen läpimitta on 0,35-0,60 mm (kuva 1). Aikuiset havupunkit kutovat hienoa seittiä neulasiin. Kesällä munitut munat (lpm 0,16 mm) ovat vihreänkeltaisia tai jopa kirkkaita ja niitä löytyy erityisen runsaasti rungolta silmujen tyveltä ja

Taulukko 1 Neulaspunkin esiintyminen eri-ikäisillä kuusen taimilla Löyttyniemen (1969b) mukaan.

Taimien ikä vuosina	Neulaspunkkia esiintyi % taimista
1	3
2	6
3	64
4	100



Reprinted by permission of Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin GmbH

Kuva 1

- a Havupunkki-koiraan lepoaste
- 1b Havupunkki-koiras
- 1c Havupunkki-naaras

latvakasvaimen kärjestä, mutta myös neulasten yläpinnalta latvas-
ta (Löyttyniemi 1970b). Elokuussa havupunkki munii suoraan
rungolle oranssinväriset talvimunat, jotka talvehtivat. Havupunkin
imennän aiheuttamia laikkuja löytyy neulasen molemmilta puolil-
ta. Laikut ovat epätasaisen muotoisia ja niiden väri vaihtelee alku-
vaiheen harmaan keltaisesta loppuvaiheen pronssinväriseen. Laikut
ilmaantuvat ensin neulasten tyvelle. Joskus neulaset voivat har-
maantua ja kuivua kokonaan. Havupunkki kellastuttaa taimen tyvi-
osaa, kun taas kuusenneulaspunkin imentä keskittyy pääasiassa
taimen latvaan.

Aikuiset kuusenneulaspunkit ovat 0,23-0,29 mm pitkiä. Myös
neulaspunkki munii punertavia, pyöreitä ja kiiltäviä talvimunia,
mutta pelkästään neulasiin. Neulaspunkin munat ovat huomatta-
vasti pienempiä kuin havupunkin munat, sillä niiden läpimitta on
0,07 mm. Kuusenneulaspunkin imentäjäljet ovat pieniä sekä lä-
hekkäin toisiaan, joten neulanen näyttää silmävaraisesti katsoen
kellastuvan lähes tasaisesti (Löyttyniemi 1970a). Kuusenneulas-
punkin aiheuttamat tuhot kohdistuvat latvaan, joka pahimmassa
tapauksessa kuivuu.

Molemmat punkkilajit voivat esiintyä samoissa taimissa ja
molempien lajien imennästä johtuva kellastuminen ajoittuu yleensä
loppukesään, mikä vaikeuttaa tuhojen tunnistamista. Lievät punkki-
violetukset voivat näyttää pinnallisesti katsoen typenpuutteen aiheut-
tamilta oireilta. Suurennuslasilla taimia tarkasteltaessa punkkeja
tai niiden munia löytyy, jos niitä esiintyy torjuttavaksi asti. Jos
havupunkkeja on runsaasti, niin seitin muodostumista taimiin ei
yleensä voi olla havaitsematta. Alkuvaiheessa ohuen seitin havait-

seminen paljaalla silmällä voi kuitenkin olla vaikeaa. Jos havupunkit vaivaavat taimea pitkään, sen ulkonäkö muuttuu pensasmaiseksi vuosikasvainten ja neulasten jäädessä lyhyiksi (Löyttyniemi 1971).

Torjunnan oikea kohdentaminen

Kasvinsuojeluaineiden käyttö tulisi ajoittaa ajankohtaan, jolloin tavataan aikuisia punkkeja, mutta munia on mahdollisimman vähän. Tämä siitä syystä että, munat ovat erittäin kestäviä kasvinsuojeluaineille. Havupunkin toukat kuoriutuvat munista toukokuun lopussa ja neulaspunkin toukat huhtikuun lopussa (Löyttyniemi 1970a). Havupunkilla kehittyy Etelä-Suomessa kesän kuluessa 3-4 sukupolvea sukupolvijaksolla ollessa noin yksi kuukausi (Löyttyniemi 1970a). Näin eri kehitysasteita voi olla taimissa koko kesän ajan, runsaimmillaan punkkeja esiintyy kuitenkin heinä-elokuussa. Suotuisissa oloissa kehitys munasta aikuiseksi voi edetä kahdessa viikossa. Punkit leviävät tuulen ja ihmisten mukana sekä saastuneita taimia siirrellessä. Havupunkin aktiivinen leviämiskyky on melko heikko (Löyttyniemi 1970b) ja tästä syystä tuhoja aiheutuu usein vain taimitarhojen tiheissä kasvustoissa. Leviämisaaran vuoksi saastuneiden taimien tarpeetonta käsittelyä ja siirtelyä tulisi välttää.

Usein suositellaan, että torjunta toistetaan kahden viikon kuluttua, jolloin saadaan tuhottua ne kehitysasteet, jotka selviytyivät ensimmäisestä käsittelystä. Rutiininomaisia, pitkin kesää tehtäviä ruiskutuksia ei suositella punkkien torjunnassa. Punkit voivat muuttua kasvinsuojeluaineita kestäviksi jo muutaman sukupolven kuluessa. Jos oireet ovat vähäisiä ja ilmankosteus on suuri, niin kasvinsuojeluaineiden käyttöä voi lykätä etenkin alkukesällä. Jos huomattavia tuhoja ilmenee kuivimpaan aikaan heinäkuussa, niin torjuntaan tulee ryhtyä.

Kuumat ja kuivat kesät suosivat havupunkkeja. Niiden lisääntymiskyky paranee lämpötilan noustessa +23 °C asteeseen asti ja munat alkavat tuhoutua vasta +29 °C:ssa (Boyne ja Hain 1983a). Kesämunien kuolleisuus on merkittävää vasta +35 °C asteessa (Löyttyniemi 1970b). Laboratoriokokeiden mukaan havupunkin lisääntymisteho on parhaimmillaan lämpötilan ollessa +26 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa 50-60 % (Boyne ja Hain 1983a). Joissakin yhteyksissä on suositettu sadetuksen käyttöä havupunkki-tuhojen torjunnassa. Tämä perustuu siihen, että joillakin punkeilla suuri suhteellinen kosteus häiritsee ravinnonottoa imemällä, koska ne eivät voi haihduttaa ylimääräistä kosteutta ruumiistaan. Osal-

taan sadetus voi mekaanisesti huuhtoa punkkeja pois taimilta. Kosteus sinänsä ei näytä vaikuttavan kehitysajan pituuteen (Kramer ja Hain 1989). Sen sijaan havupunkin luontaiset viholliset näyttävät kärsivän lämpimistä ja kuivista säistä (Boyne ja Hain 1983b, Kramer ja Hain 1989).

Hyönteisten ja punkkien torjuntaan taimistoissa on meillä hyväksytty oksidemetonimetyyli (kauppanimi Metasystox R) ja eräs uusi valmiste on testattavana Metsäntutkimuslaitoksessa. Metasystox R on luokiteltu vaaralliseksi kasvinsuojeluaineeksi ja on metsätaimitarhoilla käytettävistä valmisteista tällä hetkellä ainoa, jonka käyttäminen vaatii kasvinsuojeluaineiden käyttöä ohjaavan erityistutkimuksen suorittamisen Kasvintuotannon tarkastuskeskuskulle (KTTK). Oksidemetonimetyylin yleinen varoaika on 60 vuorokautta. Työhygieeninen varoaika on 24 h käsittelystä, jolloin käsiteltäessä ruiskutettuja kasvustoja on käytettävä käyttöohjeessa mainittuja suojaimia. Valmiste on myrkyllistä hengitettynä, joutuessaan iholle ja nieltynä ja lisäksi ihokosketus voi aiheuttaa herkistymistä. Myrkyllisyydestä ja toisaalta punkkien kestävyyydestä johtuen on suositeltavaa, että ruiskutus tehdään vain kohteisiin, joissa punkkeja esiintyy ja ko. aluetta ympäröivälle suojaivyöhykkeelle. Kaikkien kasvustojen samanaikainen ruiskuttaminen johtaa luontaisten vihollisten häviämiseen.

Biologinen torjunta

Luontaisilla vihollisilla on suuri merkitys punkkien kannan säätelyssä. Luonnollisten tuhohyönteisten säilyttäminen elinvoimaisina ja runsaslukuisina on paras keino ehkäistä tuhoja ennakolta. Yleensä havupunkin joukkoesiintymiä on tavattu metsissä ja taimitarhoilla, joissa on käytetty torjunta-aineita jonkin muun tuhohyönteisen torjuntaan. Esimerkiksi toistuvat ruiskutukset pistiäistuhojen vuoksi douglaskuusen viljelyssä ovat johtaneet Yhdysvalloissa poikkeuksellisen laajoihin havupunkkituhoihin (Sandquist ym. 1993). Kun luontaiset viholliset puuttuvat, havupunkki voi tuottaa jopa 7 sukupolvea vuodessa.

Havu- ja neulaspunkin torjuntaan ei ole varsinaisia vakiintuneita biologisia torjuntamenetelmiä. Leppäpirkot, äkämäsääsket ja verkkosiipiset ovat punkkien luontaisia vihollisia. Verkkosiipisiin kuuluva *Conwentzia pineticola* Enderlein ja petopunkki *Anystis baccarum* (L.) ovat Saksassa havupunkin tärkeitä luontaisia vihollisia (von Scheller 1962). Suomessa kaupallisesti saatavilla olevista torjuntaeliöistä esimerkiksi ansaripetopunkki (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot), harsokorento (*Chrysoperla carnea*

(Stephens)) ja *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant petokuoriainen saattaisivat mahdollisesti soveltua havu- ja neulaspunkin biologiseen torjuntaan, mutta näiden tehoa ei ole tiettävästi testattu.

Taimitarhalla huomioitavaa

Taimitarhoilla on kiinnitettävä huomiota siihen, että myyntiin menevissä taimissa ei ole havupunkkeja tai niiden munia. Erityisen ikäviä tilanteita voi syntyä silloin, jos syysistutuksiin meneviin taimiin ovat punkit munineet taimitarhalla runsaasti talvimunia ja tätä ei havaita lajittelun tai istutuksen yhteydessä. Tällöin taimet voivat kellastua voimakkaasti seuraavana keväänä.

Nelivuotiailla kuusen taimilla on osoitettu, että runsaana esiintyessään havupunkki alentaa merkittävästi taimen pituuskasvua ja aiheuttaa neulasten lyhenemistä (Löyttyniemi 1971). Kuusen neulaspunkin aiheuttamat vioitukset ovat yleensä lievempiä, ja taimet toipuvat nopeasti metsään istuttamisen jälkeen (Löyttyniemi 1969b). On kuitenkin huomioitava, että runsaana esiintyessään kuusenneulaspunkki vioittaa latvakasvainta, mikä voi johtaa latvakasvaimen kuolemiseen ja rangan vaihtoon. Neulaspunkin aiheuttamille oireille on tyypillistä, että latvakasvaimen kuoltua uusi kasvain voi jäädä puhkeamatta (Löyttyniemi 1969b). Jotta taimien normaali jatkokehitys ja kasvu voidaan turvata, viljelyssä tulee käyttää vain terveitä taimia.

Kirjallisuus

- Boyne, J.V. & Hain, F.P. 1983a. Effects of constant temperature, relative humidity, and simulated rainfall on development and survival of the spruce spider mite (*Oligonychus ununguis*). *The Canadian Entomologist* 115: 93-105.
- 1983b. Responses of *Neoseiulus fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) to different prey densities of *Oligonychus ununguis* (Acarina: Tetranychidae) and to different relative humidity regimes. *The Canadian Entomologist* 115: 1607-1614.
- Kramer, D.A. & Hain, F.P. 1989. Effect of constant- and variable-humidity and temperature regimes on the survival and developmental periods of *Oligonychus ununguis* (Acarina: Tetranychidae) and *Neoseiulus fallacis* (Acarina: Phytoseiidae). *Environmental Entomology* 18: 741-746.

- Löyttyniemi, K. 1966. Havaintoja havupunkin, *Paratetranychus ununguis* Jacobi (Acarida, Tetranychidae), esiintymisestä Suomessa. *Annales Entomologici Fennici* 32: 52-55.
- 1969a. A *Nalepella* species (Acarina, Eriophyidae) damaging needles of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Annales Entomologici Fennici* 35: 123-124.
 - 1969b. Äkämäpunkkilaji (*Nalepella haarlovi* var. *picea-abietis* Löyttyniemi, Acarina, Eriophyidae) kuusen taimien tuholaisena taimitarhoissa. *Silva Fennica* 3: 191-200.
 - 1970a. Havupunkin ja kuusen neulaspunkin torjunta. *Folia Forestalia* 93: 1-10.
 - 1970b. Zur Biologie der Nadelholzspinnmilbe (*Oligonychus ununguis* (Jacobi), Acarina, Tetranychidae) in Finnland. *Acta Entomologica Fennica* 27: 1-64.
 - 1971. Havupunkin, *Oligonychus ununguis* (Jacobi), aiheuttaman neulasvioletuksen vaikutuksesta kuusen taimien kasvuun. *Silva Fennica* 5: 32-35.
 - & Tulisalo, U. 1972. Amino acid composition of the needles of four Norway spruce provenances, and their effect on the occurrence of *Oligonychus ununguis* (Jacobi) (Acarina, Tetranychidae). *Annales Entomologici Fennici* 38: 122-126.
 - & Heliövaara, K. 1991. Effect of forest fertilization on the spruce spider mite *Oligonychus ununguis* (Jacobi) (Acarina, Tetranychidae). *Acarologia* 32: 139-143.
- Sandquist, R.E., Overhulser, D.L. & Stein, J.D. 1993. Aerial applications of esfenvalerate to suppress *Contarinia oregonensis* (Diptera: Cecidomyiidae) and *Megastigmus spermotrophus* (Hymenoptera: Torymidae) in Douglas-fir seed orchards. *Journal of Economic Entomology* 86: 470-474.
- von Scheller, H.D. 1962. Zur Biologie and Schadwirkung der Nadelholzspinnmilbe *Oligonychus ununguis* Jacobi (Acar. Tetr.) und der Fichtenröhrenlaus *Liosomaphis abietina* Walker (Hom. Aphid.). *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 51: 69-85.

Tavoitteellinen metsänuudistaminen Hyvän metsänhoidon suosituksissa

Markus Lassheikki

Uusissa metsänhoitosuosituksissa tähdätään sekä kannattavaan puuntuotantoon että metsäluonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen tasapainoisena kokonaisuutena. Molempia on varaa tehostaa. Erityisesti tavoitteelliseen metsänuudistamiseen osoitetaan uusissa suosituksissa aiempaa enemmän painoa.

Koko maahan ja kaikille metsänomistajaryhmille tarkoitetut suositukset ovat täsmällisemmät ja yksityiskohtaisemmat kuin Tapion edelliset, vuonna 1994 julkaisemat metsänhoitosuosituksiset. Varsinaiset metsänhoidon peruseriaatteet eivät ole olennaisesti muuttuneet. Metsikön kasvatus on edelleen katkeamaton ketju toimenpiteitä taimista tukkipuuksi, jossa jokainen toimenpide on puuston jatkokehitykselle tärkeä.

Tarve saattaa metsien hoitoa ja käyttöä koskevat suositukset ajan tasalle johtuu lähinnä metsätalouden toimintaympäristössä tapahtuneista muutoksista erityisesti 1990-luvun jälkipuoliskolla. Tärkeimpiä lähtökohtia metsänhoitosuositusten uudistamiselle olivat uusien metsä- ja luonnonsuojelulakien lisäksi metsätalouden ympäristöohjelman seurannan tulokset, Suomen oloihin soveltuvan metsäsertifiointijärjestelmän käyttöönotto, Kansallinen metsäohjelma 2010 sekä kokemukset 1990-luvun metsänhoidosta. Myös metsäntutkimus on tuottanut edellisten suositusten julkaisemisen jälkeen runsaasti tutkimustuloksia.

Enemmän tavoitteellisuutta metsänuudistamiseen

Viime vuosina metsänhoidon tilasta on puhuttu paljon. Metsänhoidon käytännön töissä on jääty jälkeen tavoitteista niin laadussa kuin määrässäkin. Samanaikaisesti on kuitenkin ollut havaittavissa, että metsänhoidon kampanjointi tuottaa tulosta. Esimerkiksi nuoren metsän hoidon työmäärät ovat nousseet viime vuosina Nuoren metsän hoito -kampanjan seurauksena. Metsänuudistamisen määrällisen ja laadullisen tason kohottaminen on uusien suositusten keskeisiä tavoitteita.

Uusiin suosituksiin sisältyvät, yhteisesti laaditut metsänuudistamisen laatutavoitteet on hyvä lähtökohta parantaa metsänuudistamisen tuloksia. Tässä on myös uusien suositusten yksi keskeinen uusi piirre.

Tavoiteltavassa taimikossa on kasvupaikalla menestyviä, taloudellisesti kasvatuskelpoisten puulajien taimia tasaisesti jakautuneena vähintään suositeltu istutustiheys. Tavoiteltava tiheys vaihtelee metsikön kasvatustavoitteen, puulajin ja kasvupaikan mukaan.

Uudistamisessa suositellaan menetelmiä, joilla tavoitteen mukainen tulos saavutetaan parhaiten. Menetelmävalinnassa kokemukset eri menetelmien antamista tuloksista ovat tietenkin tärkeitä. Menetelmävalinnan avainsanoja ovat kasvupaikkakohtaisuus, nopeus ja varmuus. Kuusen luontaiseen uudistamiseen suojuspuumenetelmällä suhtaudutaan nyt entistä kriittisemmin. Kuusen uudistamista käsittelevän luvun ensimmäisen virke kuuluukin ”Kuusi suositellaan uudistettavaksi istuttamalla.”

Metsänuudistaminen on useasta näkökulmasta metsänkasvatuksen keskeisin toimenpide. Sen lisäksi, että huolellisella metsänuudistamisella luodaan puuntuotannollisen kestävyuden perusta, uudistamisen onnistuminen on pitkällä aikavälillä myös ekologisen ja sosiaalisen kestävyuden edellytys.

Taimikuljetusten suunnittelutavan vaikutus kuljetuskustannuksiin

Juho Rantala

Johdanto

Taimituotannossa viimeiset kymmenen vuotta ovat olleet muutosten aikaa. Taimiyhtiöiden tuotantomäärät ovat pudonneet kolmannoksen 1980-luvun lopun huippuvuosista ja taimitarhojen lukumääräkin on jatkuvasti vähentynyt. Vaikka laskeva kehitys kokonaistuotantomäärissä onkin jo pysähtynyt ja kääntynyt jopa hienoiseen nousuun (Metsätilastollinen... 2001), on taimitarhojen vähenemisen ennustettu jatkuvan lähitulevaisuudessakin. Tällaiseen kehitykseen voidaan löytää useitakin syitä. Toimialan rakenteelliset muutokset ovat vapauttaneet taimikauppaa ja lisänneet mm. asiakaslähtöisyyden, palvelutason ja kustannusten hallinnan merkitystä taimiyhtiön menestystekijöinä. Toisaalta taimituotanto on tyypillistä massatuotantoa, jossa suurilla tuotantovolyymeilla saavutetaan selkeitä skaalaetuja mm. kapasiteetin käyttöasteen nousun ja yleiskulujen jakaantumisen kautta (esim. Aalto-Setälä 1998). Näin ollen myös noussut koneellistamisaste suosii suurempia tuotantoyksiköitä.

Kokonaiskysynnän pysyessä vakiona, voidaan taimituotannossa päästä suurempiin taimilajikohtaisiin tuotantovolyymeihin joko vähentämällä taimitarhojen lukumäärää tai nostamalla nykyisten taimitarhojen erikoistumisastetta. Taimiyhtiön markkinaosuuden ja -alueen pysyessä ennallaan, em. muutokset johtavat väistämättä kuljetussuoritteiden nousuun. Tällöin tuotantostrategiaa suunniteltaessa yhdeksi keskeiseksi kysymykseksi nousee kuljetuskustannusten hallinta. Tässä tutkimuksessa tutkittiin jakelun suunnittelun keskittämisen vaikutuksia taimiyhtiön kaukokuljetuskustannuksiin. Tutkimusmenetelmänä käytettiin perinteistä lineaarista optimointia (LP), joka on käyttökelpoinen optimoitaessa suurien taimimäärien kuljetuksia taimiyhtiötasolla (strateginen/taktinen suunnittelu). Parempaan tarkkuuteen pyrkivässä operatiivisen tason suunnittelussa kuormakohtainen kokonaislukuoptimointi (IP) vaikuttaisi sopivimmalta lähestymistavalta.

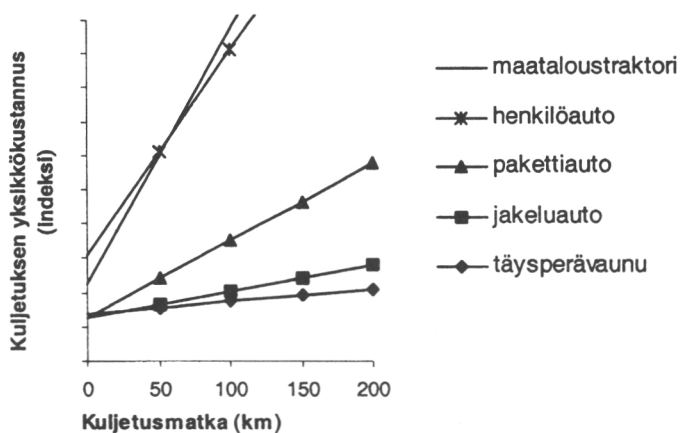
Taimikuljetusten suunnittelu

Taimikuljetusten suunnittelustrategialla voidaan vaikuttaa suoraan operatiivisiin kuljetuskustannuksiin. Taimiyhtiö, jolla on tuotantoa useammalla kuin yhdellä taimitarhalla voi suunnitella taimikuljetuksensa joko i) keskitetysti tai ii) hajautetusti. Molemmissa strategioissa on oletuksena, että suuri osa taimista jaetaan asiakkaiden hallinnoimiin jakeluterminaaleihin ja välivarastoihin, joista taimet myöhemmin jaetaan uudistusaloille. Keskitetyssä kuljetusten suunnittelussa (i) taimiyhtiö kerää taimitilaukset keskitetysti koko markkina-alueeltaan ja allokoii niiden jakelun optimaalisesti taimitarhoille tuotantorajoitusten puitteissa. Tällöin taimitarhojen välisiä sisäisiä siirtoja ei tarvita, vaan taimet kuljetetaan suoraan taimitarhoilta asiakkaiden varastoihin. Keskitetyssä suunnittelussa tarvittavat työkalut (paikkatietojärjestelmä, karttatietokanta ja optimointiohjelmisto) ovat investointeina pitkäikäisiä ja hankintahinnat kohtuullisen edullisia. Hajautetussa systeemissä (ii) taimikuljetukset suunnitellaan taimitarhakohtaisesti. Tällöin jokainen taimitarha kerää taimitilaukset itsenäisesti ja vastaa niiden kuljetuksesta asiakkaalle. Taimiyhtiön tehtäväksi jää taimitarhojen välisten sisäisten siirtojen koordinointi.

Tuotanto- ja kuljetusstrategian vaikutukset

Suurilla taimierillä ja pitkillä kuljetusmatkoilla alhaisimmat kuljetuksen yksikkökustannukset saavutetaan täys- tai puoliperävaunu-yhdistelmillä. Lähijakelussa (< 50 km) kevyempi jakeluauto näyttäisi edullisimmalta suurilla taimierillä jaettaessa. Laskelmissa on

Kuva 1
Taimikuljetuksen suhteelliset yksikkökustannukset eri kuljetusajoneuvoille.

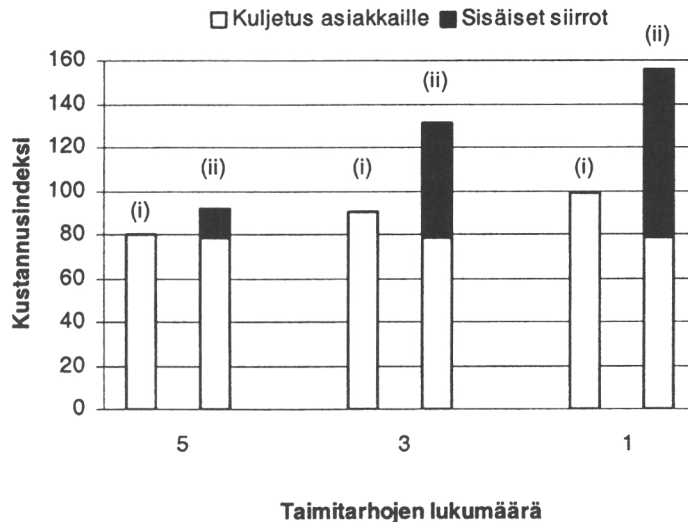


oletettu, että kuljetukset hoitaa yhtiön ulkopuolinen kuljetusyritys, jolloin kaluston kiinteät kustannukset kohdistuvat taimikuljetuksiin vain niihin kuluvaan ajan osalta (kuva 1). Kuljetusten ohjauksessa ja suunnittelussa keskitetty toimintamalli alensi taimien operatiivisia kaukokuljetuskustannuksia 13-36 % taimiyhtiön tuotantostrategiasta riippuen. Keskitetyn suunnittelun edullisuuteen vaikutti etenkin taimitarhojen lukumäärä (kuva 2), mutta myös erikoistumisasteella oli oma vaikutuksensa (kuva 3). Kokonaisuudessaan taimiyhtiön operatiiviset kaukokuljetuskustannukset olivat 2-4 % liikevaihdosta tuotantostrategiasta riippuen. Käytännössä kuljetuskustannuksiin on vielä lisättävä kuljetusyrityksen hallinnollisia kuluja ja pääoman tuottovaatimusta vastaava kustannus.

Teoreettinen esimerkki

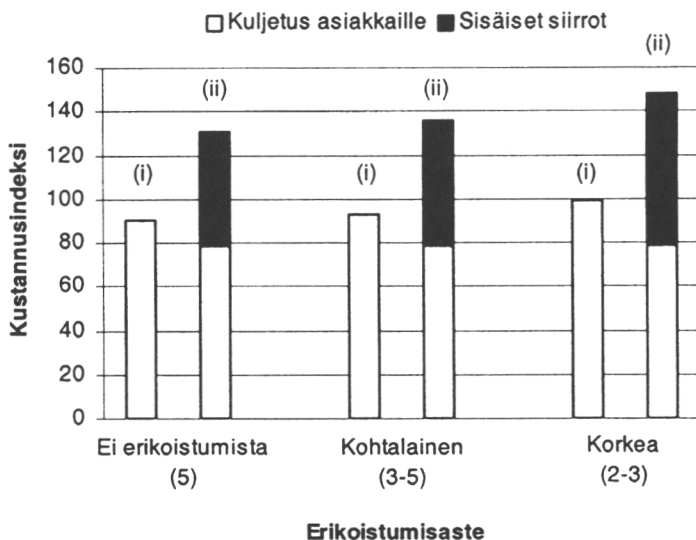
Aineistona on käytetty suomalaisen taimiyhtiön taimitarhojen sijaintia ja Suomen päätietokantaa. Oletetaan, että taimiyhtiö keskittää kaiken tuotannon viiden taimitarhan sijasta kolmelle taimitarhalle. Keskittämisellä tarkoitetaan tässä ainoastaan tuotannon lopettamista, jolloin lakkautetut yksiköt toimivat edelleen myynti- ja jakelupisteinä. Kokonaistuotantomäärä säilyy ennallaan. Jos taimiyhtiö suunnittelee kuljetukset taimitarhakohtaisesti, kuljetuskustannukset lisääntyvät n. 40 %. Yhtiön suunnitelmassa kuljetukset keskitetyksi, on vastaava kustannusten lisäys vain n. 15 %. Vastaavasti, mikäli yhtiö siirtyy tuotannon keskittämisen yhteydessä keskitettyyn jakelun suunnitteluun, kuljetuskustannukset säi-

Kuva 2
Taimitarhojen lukumäärän vaikutus kuljetuskustannuksiin keskitetyssä (i) ja hajautetussa (ii) kuljetussysteemeissä, kun tuotanto on jakautunut tasaisesti kaikille taimitarhoille.



Kuva 3

Erikoistumisen vaikutus kuljetuskustannuksiin keskitetyssä (i) ja hajautetussa (ii) kuljetussysteemissä (3 taimitarhaa). Suluissa tuotettavien taimilajien lukumäärä.



lyvät ennallaan tai jopa hieman laskevat. Jos jäljelle jäävien kolmen taimitarhan erikoistumisaste samanaikaisesti nousee siten, että ne siirtyvät tuottamaan 5 taimilajin sijasta vain 2-3 taimilajia, nousevat kuljetuskustannukset edelleen n. 13 % taimitarhakohtaisessa jakelussa ja n. 10 % keskitetyssä jakelussa. Täten erikoistumisasteen nousu vielä hieman korostaa keskitetyn jakelun edullisuutta.

Tulosten tarkastelua

Taimijakelun suunnittelustrategialla ja käytössä olevalla kuljetuskalustolla näyttäisi olevan suuri merkitys taimikuljetusten yksikkökustannuksiin. Mitä suuremmissa erissä taimet pystytään rationaalisesti kuljettamaan, sitä alhaisemmaksi kuljetuksen yksikkökustannus yleensä muodostuu. Kustannustehokkaalle taimijakelulle on ominaista keskitetty kuljetusten suunnittelu. Hyvin toteutettu keskitetty suunnittelu mahdollistaa taimien kuljettamisen suurissa erissä suoraan asiakkaille, jolloin taimiyhtiön sisäisiä siirtoja ei juurikaan tarvita. Yksi vaihtoehto olisi taimijakelun ulkoistaminen kokonaisuudessaan, jolloin sekä suunnittelu että varsinainen kuljetustoiminto siirrettäisiin ulkopuolisen yrityksen tehtäväksi (esim. McKinnon 1989). Käytännössä kuljetusten suunnittelu säilynee kuitenkin taimiyhtiöillä. Tässä tutkimuksessa esitettyjen laskelmien perusteella kuljetuskustannusten nousu ei näyttäisi olevan este suurempiin tuotantoyksiköihin siirtymiselle.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että taimia on käsitelty suhteellisen suurina erinä, eikä jakelumahdollisuuksia suoraan

työmaille ole huomioitu kuin taimitarhojen lähialueilla. Työmaa-kohtaista jakelua suunniteltaessa kuljetettavan taimierän koko pienenee, ja ongelmaa tulisi lähestyä kuormakohtaisesti esimerkiksi kokonaislukuoptimoinnin ja kuljetusten reititysoptimien avulla. Kesäistutuksen (Luoranen 2000, Luoranen ym. 2001) ja koneellisen istutuksen (Harstela 2000) yleistymisen myötä tietyn ajanjakson kuluessa kuljetettava taimimäärä vähenee, mikä on tulevaisuudessa huomioitava taimikuljetuksia suunniteltaessa. Lisäksi on muistettava, että teoreettiset mallit ovat aina todellisuuden yksinkertaistuksia.

Kirjallisuus

- Aalto-Setälä, V. 1998. Economics of scale, concentration and market power in grocery sales. National Consumer Research Center, Publications 9. 29 s.
- Harstela, P. 2000. Eteneekö istutuksen koneellistaminen? Koneyrittäjä 8/2000.
- Luoranen, J. 2000. Control of growth and frost hardening of silver birch container seedlings: growth retardants, short day treatment and summer planting. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 777. 167 s.
- , Konttinen, K., Rikala, J. & Smolander, H. 2001. Ennakkotuloksia kuusen paakkutaimien kesäistutuksesta. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 813: 24-31.
- McKinnon, A. 1989. Physical distribution systems. Routledge. London & New York. 316 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2001. Metsäntutkimuslaitos. 374 s.

Istutusajankohdan vaikutus pakkasvarastoitujen taimien hallavaurioriskiin syksyllä Keski-Suomessa

Heikki Hänninen, Jaana Luoranen, Heikki Smolander ja Risto Rikala

Johdanto

Metsänistutuksissa on käytetty perinteisesti lepotilassa olevia taimia, koska niiden on katsottu kestävän aktiivissa kasvuvaiheessa olevia taimia paremmin istutuksesta aiheutuvia rasiituksia. Tämän vuoksi istutustyöt ovat ruuhkautuneet kevääseen, koska aika lumen ja roudan sulamisesta taimien kasvuun lähtöön on suhteellisen lyhyt. Helpotusta ongelmaan on haettu vanhastaan istuttamalla osa taimista syksyllä niiden saavutettua lepotilan (Antola ja Lehto 1969). Tämän lisäksi aivan viime aikoina on saatu lupaavia tuloksia myös istuttamalla aktiivissa kasvuvaiheessa olevia taimia ke-sällä (Luoranen ym. 2001).

Taimien pakkasvarastoinnin avulla voidaan pidentää lepotilais-ten taimien istutuskautta ja hakea näin tälläkin tavalla helpotusta kevään istutusruuhkaan. Menetelmää on tutkittu ja sovellettu me-nestyksellisesti Pohjois-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa jo 50 vuoden ajan (Yli-Vakkuri ym. 1968, Camm ym. 1994). Taimet säilyvät pakkasvarastossa hyväkuntoisina suhteellisen pitkään, jo-ten niiden kasvuun lähdeksä ei ole yleensä ongelmia myöhäisissä-kään istutuksissa. Ongelmia saattaa sen sijaan ilmaantua loppu-kesällä ja alkusyksystä taimien liian myöhäisen karaistumisen vuoksi. Myöhäisen kasvuun lähtönsä vuoksi perinteistä istutusajankohtaa myöhemmin istutetut pakkasvarastoidut taimet ovat kehitykses-sään jäljessä ulkona talvehtineisiin tai toukokuussa istutettuihin pakkasvarastoituihin taimiin verrattuna. Näin ollen myös myöhään istutettujen pakkasvarastoitujen taimien karaistuminen alkaa nor-maalial myöhemmin. Ne altistuvat siten syyshalloille erityisesti sellaisina vuosina, jolloin kasvukausi päättyy ja ensimmäiset syyshallat esiintyvät tavanomaista aikaisemmin.

Myöhäisiin istutuksiin liittyvää hallavaurioriskiä voidaan tutkia istutuskokeiden avulla vaihtelemalla istutusaikaa eri koeryh-mien välillä (Raulo ym. 1994, Luoranen ym. 2001). Tällaisista kokeista saadaan käytännön kannalta sinänsä luotettavaa tietoa, koska koetilanne vastaa hyvin pitkälle todellista metsänviljely-tilannetta. Kasvukauden lämpöolojen suuri vuosien välinen vaihtelu (Koski ja Sievänen 1985) kuitenkin vaikeuttaa koetulosten

tulkintaa. Yhtenä vuonna tehdyn kokeen perusteella voidaan tehdä päätelmiä ainoastaan siitä, kuinka myöhään taimet voidaan istuttaa sellaisina kesinä, jotka vastaavat lämpöoloiltaan koekesää. Mikäli kasvukausi on koekesänä poikkeuksellisen lämmin ja pitkä, saadaan kokeesta ylioptimistinen suositus viimeiseksi turvallisiksi istutuspäivämääräksi. Vastaavasti poikkeuksellisen lyhyen kasvukauden kesänä tehdystä kokeesta saadaan ylivarovainen suositus. Vuosien välisen vaihtelun huomioonottamiseksi koe joudutaan perustamaan seuraavina vuosina yhä uudelleen ja uudelleen, koska istutusajankohdan vaikutusta ei voida tutkia enää istutusta seuraavina kasvukausina. Riittävän luotettavan tiedon saamiseksi koetoimintaa pitäisi harjoittaa vuosikymmenien ajan, mikä ei tietenkään ole käytännössä mahdollista.

Metsäpuiden vuosittaista kehityssykliä on tutkittu 1960-luvulta lähtien erilaisten matemaattisten mallien avulla (Sarvas 1972, 1974). Ilmaston vuosien välisen vaihtelun vaikutusta puiden menestymiseen voidaan tutkia tietokonesimulointien avulla käyttämällä pitkäaikaisia ilmastohavaintoja tällaisten mallien lähtöaineistona (Cannell 1985, Hänninen ym. 1985, Häkkinen ja Hari 1988, Linkosalo ym. 2000). Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia yksinkertaisen lämpösummamallin ja pitkän lämpötila-aineiston avulla pakkasvarastoitujen taimien syksyisen hallavaurioriskin riippuvuutta istutusajankohdasta Keski-Suomen olosuhteissa.

Materiaali ja menetelmä

Tutkimuksen lämpötila-aineistona oli Ilmatieteen laitoksen Jyväskylässä (62°24'N, 25°40'E, 139 m mpy) vuosina 1952-2001 mittaama ilman lämpötilan aikasarja. Simuloinneissa käytettiin päivittäistä kahden metrin korkeudesta mitattujen havaintojen keskilämpötilaa. Hallavaurioriskin arvioimiseen käytettiin maan pinnassa mitattua vuorokauden minimilämpötilaa.

Taimien kehitystä kuvattiin tavanomaisen lämpösummamallin avulla, käyttäen kynnyslämpötilana +5 °C (degree days, d.d.). Laskenta perustui oletukseen, jonka mukaan keski-suomalaisten kuusentaimien kasvukauden läpikäyminen ja taimien karaistuminen kestämään -5 °C pakkasta vaatii 700 d.d.-yksikön lämpösumman (Koski 1999, *kriittinen lämpösumma*). Kutakin istutuspäivää ja vuotta varten määritettiin kaksi tunnusta: 1) päivämäärä, jolloin istutuspäivästä lähtien laskettu lämpösumma saavutti 700 d.d.-yksikön kriittisen arvon (*karaistumispäivä*) ja 2) elokuun 1. päivän ja karaistumispäivän välisen ajan minimilämpötila (*stressilämpötila* eli kyseisen ajanjakson päivittäisten minimilämpötilojen minimi). Kyseisen vuoden ja istutuspäivämäärän tapauksessa

määritettiin syntyvän hallavaurio, mikäli stressilämpötila oli alempi kuin $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tarkasteltavaa istutuspäivää vastaava hallavaurioriski laskettiin niiden vuosien, jolloin vaurio syntyi, prosenttiosuutena kaikista tarkastelluista 50 vuodesta.

Laskenta toistettiin käyttäen 60 peräkkäistä istutuspäivämäärää, ensimmäinen 1.6. ja viimeinen 30.7. Yhdistämällä eri istutuspäivämääriä vastaavat tulokset saatiin tulokseksi hallavaurioriskin riippuvuus istutuspäivämäärästä.

Tulokset

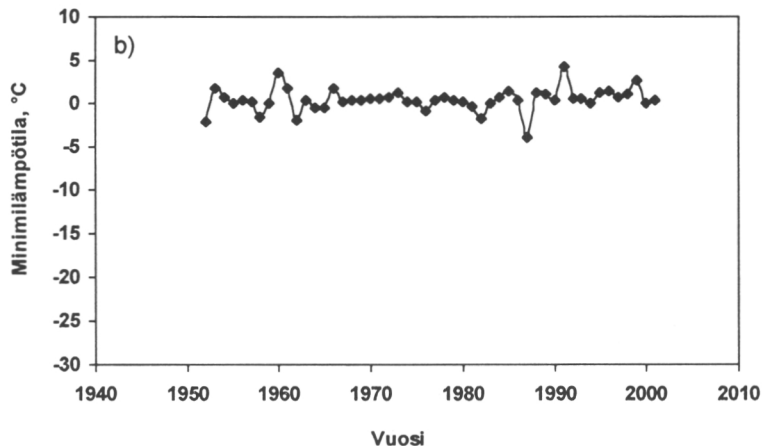
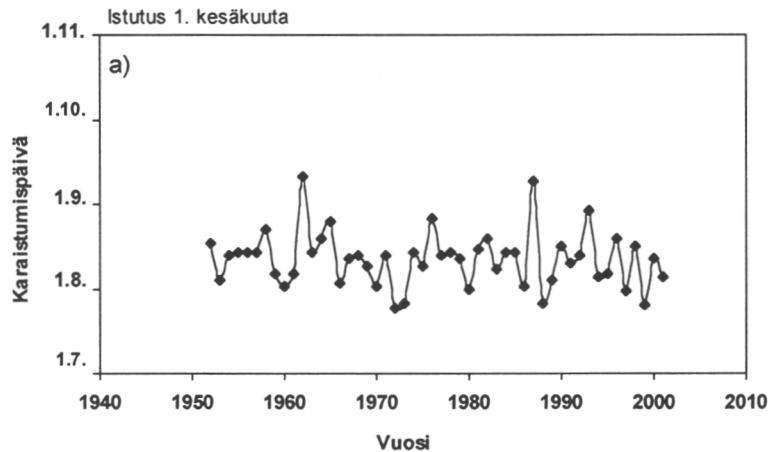
Istutettaessa taimet kesäkuun 1. päivänä $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkaskestävyyden saavuttamista vastaava karaistumispäivä vaihteli heinäkuun 24. päivästä vuonna 1972 syyskuun 10. päivään vuonna 1962, sattuen useimpina vuosina elokuun ensimmäiselle puoliskolle (kuva 1a).

Kuva 1

Tietokonesimulointien avulla saatu ennuste pakkasvarastoitujen kuusentaimien karaistumisesta ja altistumisesta syyshalleille Jyväskylässä Keski-Suomessa ($62^{\circ}24'\text{N}$, $25^{\circ}40'\text{E}$, 139 m mpy) vuosina 1952-2001 istutettaessa taimet kunakin vuonna kesäkuun 1. päivänä.

a) Karaistumispäivä eli päivä, jolloin kuusentaimet saavuttavat $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkaskestävyyden (= päivä, jolloin istuttamispäivästä lähtien on kertynyt lämpösummaa 700 d.d.-yksikköä)

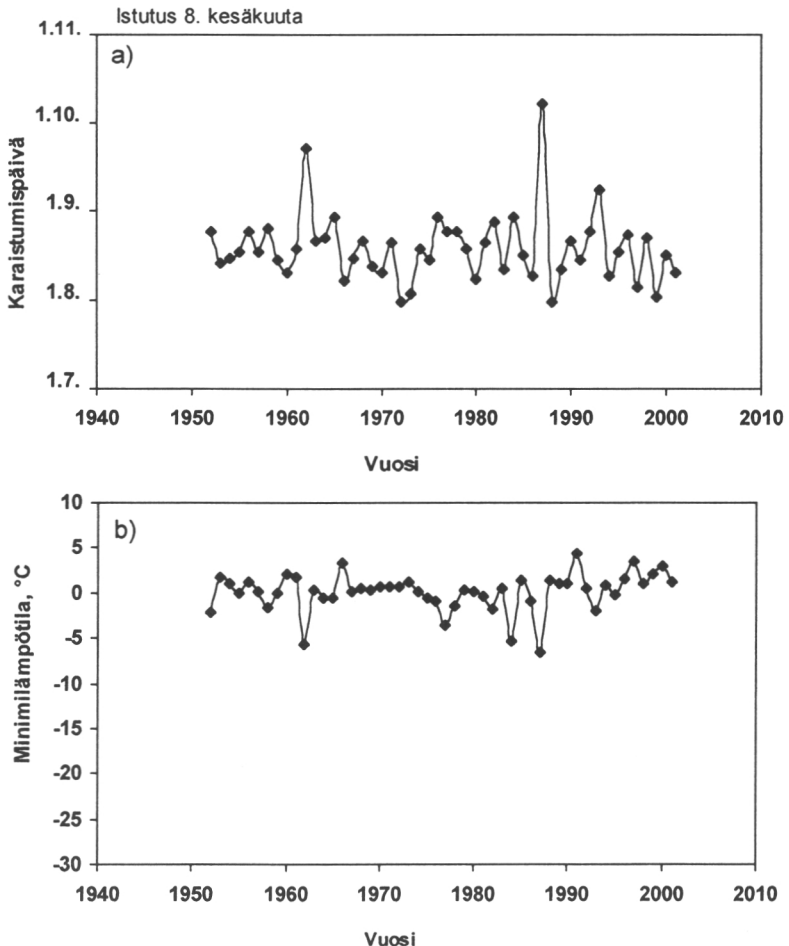
b) Stressilämpötila eli elokuun 1. päivän ja karaistumispäivän välisen jakson aikana esiintynyt matalin ilman lämpötila.



Elokuun 1. päivän ja karaistumispäivän välillä havaittu alin lämpötila eli stressilämpötila oli useimpina vuosina nollan tienoilla (kuva 1b). Matalimmillaan stressilämpötila oli $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ vuonna 1987 (kuva 1b), jolloin kylmän kesän vuoksi karaistumispäivä sattui tavanomaista myöhemmäksi syyskuulle (kuva 1a). Stressilämpötila ei siis ollut minään vuonna alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten kesäkuun 1. päivän istutuksissa hallavauriota ei syntynyt yhtenäkkään vuonna.

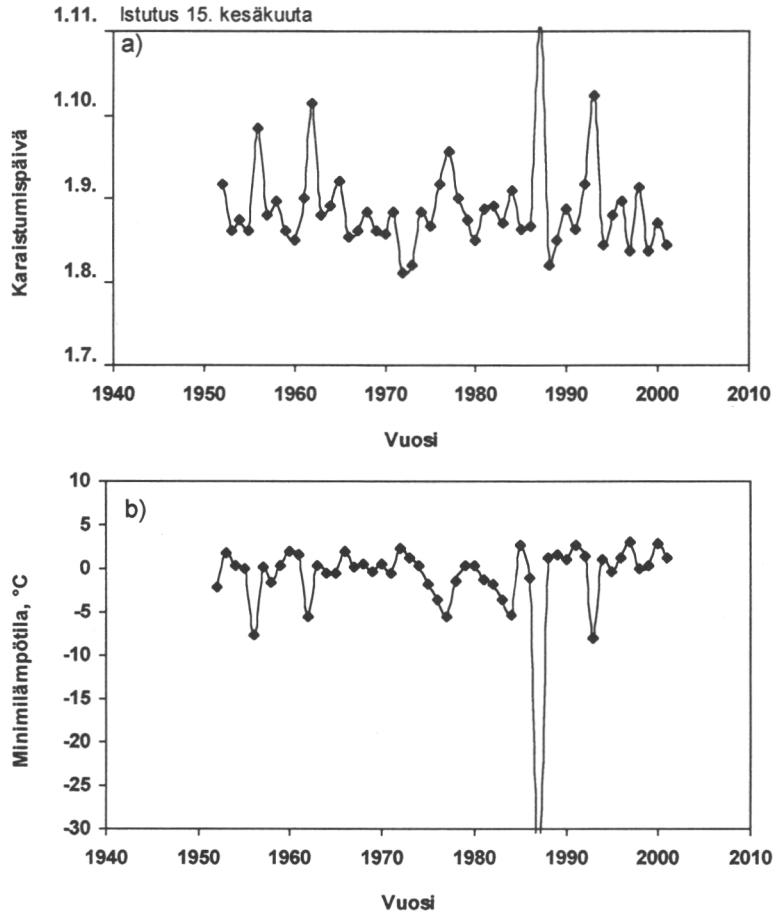
Istutettaessa taimet viikkoa myöhemmin kesäkuun 8. päivänä keskimääräinen karaistumispäivä siirtyi elokuun puolen välin tienoille (kuva 2a). Tämän lisäksi karaistumispäivän vaihteluväli kasvoi siten, että kahtena vuonna karaistumispäivä saavutettiin huomattavasti muita vuosia myöhemmin: syyskuun 21. päivänä vuonna 1962 ja lokakuun 6. päivänä vuonna 1987 (kuva 2a). Stressilämpötila oli useimpina vuosina edelleen nollan tienoilla, alittaen kuitenkin $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vuosina 1962 ($-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), 1984 ($-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja 1987 ($-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) (kuva 2b). Näinä kolmena vuonna siis syntyi hallavaurio.

Kuva 2
Kuten kuva 1,
mutta istutus
kunakin vuonna
kesäkuun
8. päivänä.



Kuva 3

Kuten kuva 1, mutta istutus kunakin vuonna kesäkuun 15. päivänä. Kuvan ulkopuolelle merkityt pisteet merkitsevät sitä, että kyseisenä vuonna taimien karaistuminen jäi kesken, ts. -5°C pakkaskestävyyden kehittymiseksi vaadittava kriittinen lämpösomma (700 d.d.) ei tullut täyteen.



Istutettaessa taimet kesäkuun 15. päivänä keskimääräinen karaistumispäivä osui elokuun lopulle ja muusta aineistosta erottuvia, poikkeuksellisen myöhäisen karaistumispäivän vuosia oli neljä (kuva 3a). Näistä vuonna 1987 ei saavutettu lainkaan -5°C pakkaskestävyyden vaatimaa kriittistä lämpösommaa (kuva 3a). Stressilämpötila oli edelleen useimpina vuosina lähellä nollaa, mutta -5°C alittavien vauriovuosien lukumäärä kasvoi kuuteen (kuva 3b).

Istutettaessa taimet kesäkuun 22. päivänä keskimääräinen karaistumispäivä siirtyi syyskuun alkuun (kuva 4a). Yhtenä vuonna karaistumispäivä osui lokakuun alkuun, minkä lisäksi seitsemänä vuotena -5°C pakkaskestävyyden vaatimaa kriittistä lämpösommaa ei saavutettu lainkaan (kuva 4a). Vauriovuosien lukumäärä kasvoi kymmeneen siitä huolimatta, että stressilämpötila oli edelleen useina vuosina lähellä nollaa (kuva 4b).

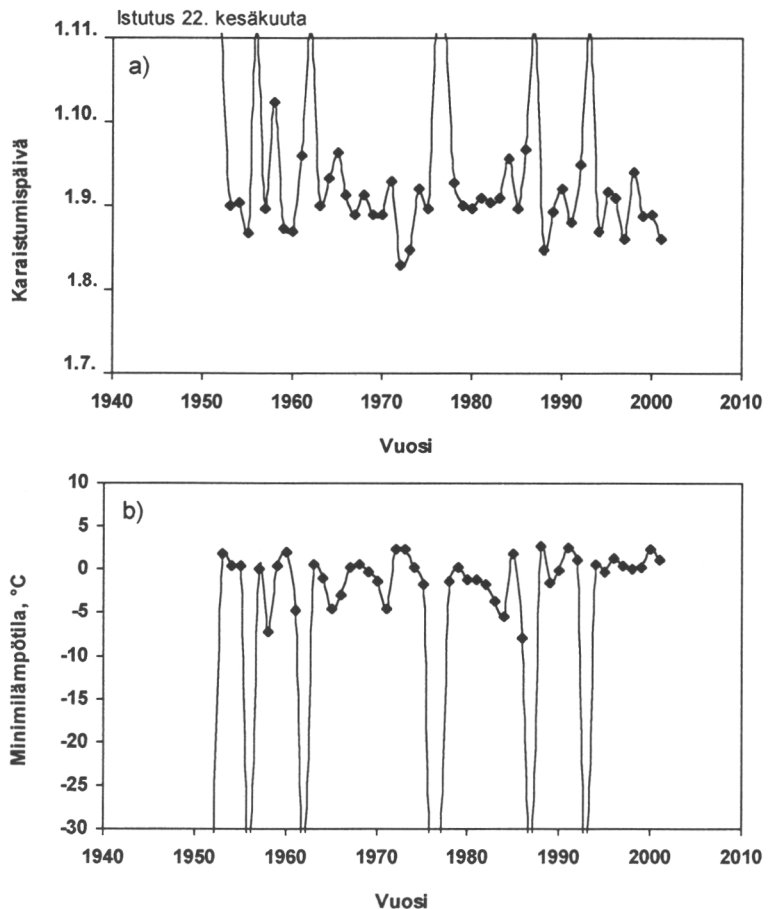
Hallavaurioriski pysyi nollassa, kun istutus tehtiin viimeistään kesäkuun 5. päivänä, tätä myöhemmin tehdyissä istutuksissa hallavaurioriski alkoi kasvaa tasaisesti istutuspäivän siirtyessä myöhem-

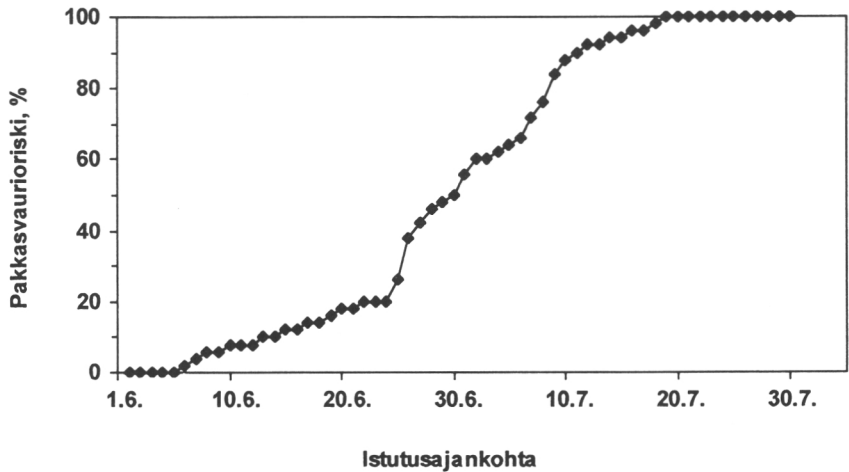
mäksi (kuva 5). Kesäkuun 10. päivänä riski oli noin 10 prosenttia ja kesäkuun 20. vastaavasti noin 20 prosenttia. Tätä myöhemmissä istutuksissa hallavaurioriski alkoi kasvaa nopeammin istutuspäivän siirtyessä myöhemmäksi (kuva 5).

Tulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen simulointituloksia tulee tarkastella ainoastaan suuntaa antavina, koska sekä sovellettuun simulointimalliin että sen lähtöaineistona käytettyyn lämpötila-aineistoon liittyy eräitä heikkouksia. Taimien karaistumista kuvattiin yksinkertaistetun mallin avulla, jossa ei huomioitu esimerkiksi yönpituuden vaikutusta (Greer ym. 2001). Puun karaistumista tarkasteltiin mallissa lisäksi hyppäyksellisenä ilmiönä: elokuun alusta kriittisen lämpö-

Kuva 4
Kuten kuva 1, mutta istutus kunkin vuonna kesäkuun 22. päivänä. Kuvan ulkopuolelle merkityt pisteet merkitsevät sitä, että kyseisenä vuonna taimien karaistuminen jäi kesken, ts. -5°C pakkaskestävyyden kehittymiseksi vaadittava kriittinen lämpösumma (700 d.d.) ei tullut täyteen.





Kuva 5

Pakkasvarastoitujen kuusen taimien hallavaurioriskin riippuvuus istutusajankohdasta Jyväskylässä Keski-Suomessa (62°24'N, 25°40'E, 139 m mpy). Hallavaurioriski on määritetty tietokonesimulointien avulla siten, että taimien katsottiin vaurioituvan niinä vuosina, jolloin elokuun 1. päivän ja karaistumispäivän välillä esiintyi vähintään kerran $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ matalampi ilman lämpötila. Karaistumispäivä tarkoittaa päivää, jolloin taimien katsottiin saavuttaneen $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkaskestävyyden (= päivä, jolloin istuttamispäivästä lähtien on kertynyt lämpösummaa 700 d.d.-yksikköä).

summan saavuttamispäivään asti taimien pakkaskestävyyden oletettiin olevan vakio $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tämän jälkeen riittävä kestämyään minkä tahansa taimien kasvupaikalla esiintyvän pakkasen. Todellisuudessa taimien karaistuminen on vähittäinen ilmiö, joten pakkaskestävyys ei ole vakio loppukesällä, eivätkä taimet ole kokonaan turvassa pakkasilta senkään jälkeen, kun ne ovat saavuttaneet $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkaskestävyyden. Tutkimuksessa käytetty lämpötila-aineisto puolestaan perustuu yhteen havaintopisteeseen Keski-Suomessa. Yksi mittauspiste ei edusta kaikkia keski-suomalaisia uudistusaloja, vaan hallariskin todellinen suuruus riippuu uudistusalan sijainnista sekä topografiasta.

Näistä puutteellisuuksista huolimatta nyt saadut tulokset antavat lisävalaistusta asetettuun tutkimusongelmaan. Termisen kasvukauden lyhentymisen luontaiseen verrattuna on merkittävin pakkasvarastoitujen taimien myöhäisiin istutuksiin liittyvä riskitekijä, ja sen tutkimiseen yksinkertaisen lämpösummamallin voidaan katsoa olevan riittävä.

Tämä tutkimus osoitti konkreettisesti ilman lämpötilan vuosien välisen vaihtelun merkityksen pakkasvarastoitujen taimien hallavaurioriskin kannalta. Hallavaurioriski alkoi kasvaa nolasta jo siirrettäessä istutuspäivää kesäkuun alusta muutamalla päivällä myöhemmäksi (kuva 5). Tästä huolimatta tehdyt laskelmat osoittivat useita monen vuoden ajanjaksoja, jolloin vaurioita ei syntynyt, vaikka taimet istutettiin niinkin myöhään kuin kesäkuun 22.

päivänä (1990-luvun loppu ja 2000-luvun alku, kuva 4b). Tällaisena ajanjaksona tehtyjen monivuotisten maastokokeiden perusteella istuttaminen kesäkuun 22. päivänä näyttäisi olevan riskitöntä, vaikka todellisuudessa tuolloin otetaan noin 20 prosentin riski. Riskin tarkkaa lukuarvoa ei voida määrittää edellä mainittujen rajoitusten vuoksi, mutta metsänviljelyn kannalta on riittävää tietää, että istutettaessa kesäkuun 22. päivän tienoilla Keski-Suomessa merkittäviä hallavaurioita ilmaantuu todennäköisesti noin joka viides vuosi.

Nyt saadut laskennalliset tulokset sopivat hyvin yhteen kenttäkokeista saatujen tulosten kanssa, joiden mukaan hallavaurioita ilmaantuu Keski-Suomessa kesäkuun puolivälin jälkeisissä pakkasvarastoitujen taimien istutuksissa sellaisina vuosina, jolloin hallaa esiintyy syyskuun alussa (Luoranen ym. 1991). Toisaalta lämpiminä, hallattomina kesinä voidaan kohtuullisia tuloksia saavuttaa jopa vielä heinäkuun puolivälin istutuksissa (Raulo ym. 1994).

Tässä tutkimuksessa käytettyä laskennallista menetelmää voidaan käyttää myös kenttäkokeiden tulosten analysointiin, mikäli käytettävissä on kasvupaikkaa riittävän hyvin kuvaava pitkä lämpötilan mittausarja, joka kattaa myös koevuoden. Oletetaan esimerkiksi, että kenttäkokeessa havaittiin kesäkuun 15. päivänä istutetuilla taimilla merkittäviä hallavaurioita syksyllä. Tämän jälkeen voidaan tutkia tässä tutkimuksessa käytetyn menetelmän avulla, kuinka yleisiä ilmastoltaan koevuoden kaltaiset vuodet ovat kyseisellä kasvupaikalla. Pahakaan kokeessa havaittu tuho ei välttämättä merkitse suositusta olla istuttamatta kokeessa sovellettu istutuspäivänä, mikäli laskennallinen tutkimus osoittaa koevuoden olleen lämpöoloiltaan poikkeuksellisen epäedullinen. Vastaavasti montakin koevuotta ilman tuhoja ei välttämättä merkitse suositusta istuttaa kokeessa käytettyinä istutuspäivinä, mikäli laskennallinen analyysi osoittaa koevuosien olleen lämpöoloiltaan poikkeuksellisen edullisia.

Tässä tutkimuksessa saatiin tulokseksi karkea, helposti muistettava nyrkkisääntö: istutettaessa Keski-Suomessa kesäkuun 10. ja 20. päivän välillä päivän järjestynumero ilmaisee otetun riskin prosentteina. Kesäkuun 10. päivän istutuksissa on odotettavissa merkittäviä hallavaurioita joka kymmenes vuosi (10 prosentin todennäköisyys) ja kesäkuun 20. päivän istutuksissa vastaavasti joka viides vuosi (20 prosentin todennäköisyys). Nyrkkisääntöä sovellettaessa on kuitenkin syytä muistaa edellä esitetyt varaukset. Hallariskin toteutuminen laskennassa ei tarkoita todellisuudessa välttämättä sitä, että uudistusalan taimikko tuhoutuisi. Hallanarvoja kohteita välttämällä ja suuria taimia käyttämällä voidaan laskennallisen riskin toteutuessa ilmaantuvia vaurioita lieventää.

Esitetty nyrkkisääntö perustuu oletukseen, jonka mukaan ilmasto säilyy muuttumattomana. Ilmaston lämmitessä syyshalloihin liittyvät hallavaurioriskit luonnollisesti pienenevät. Ilmaston lämpeneminen voidaan niin haluttaessa ottaa huomioon tässä tutkimuksessa sovelletussa laskennallisessa menetelmässä. Kokonaan toinen asia on, kannattaako metsänviljelytoimenpiteitä perustaa ilmaston lämpenemistä koskeviin ennusteisiin.

Kirjallisuus

- Antola, A. & Lehto, J. 1969. Metsänistutus. Julkaisussa: Lehto, J. (toim.) Metsänviljely. Kirjayhtymä. Helsinki. s. 191-230.
- Camm, E.L., Goetze, D.C., Silim, S.N. & Lavender, D.P. 1994. Cold storage of conifer seedlings: An update from the British Columbia perspective. *The Forestry Chronicle* 70(3): 311-316.
- Cannell, M.G.R. 1985. Analysis of risks of frost damage to forest trees in Britain. Julkaisussa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.). *Crop physiology of forest trees*. Helsingin yliopisto, Yliopistopaino. Helsinki. s. 153-166.
- Greer, D.H., Leinonen, I. & Repo, T. 2001. Modelling cold hardiness development and loss in conifers. Julkaisussa: Bigras, F.J. & Colombo, S.J. (toim.) *Conifer cold hardiness*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London. s. 437-460.
- Häkkinen, R. & Hari, P. 1988. The efficiency of time and temperature driven regulation principles in plants at the beginning of the active period. *Silva Fennica* 22(2): 163-170.
- Hänninen, H., Kanninen, M. & Smolander, H. 1985. The annual cycle of forest trees: the Sarvas approach revisited. Julkaisussa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.). *Crop physiology of forest trees*. Helsinki University Press, Helsinki. s. 195-201.
- Koski, V. 1999. Lämpösumman käytöstä kuusen taimikasvatuksessa. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) *Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1999*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 755: 21-26.
- & Sievänen, R. 1985. Timing of growth cessation in relation to the variation of the growing season. Julkaisussa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.). *Crop physiology of forest trees*. Helsingin yliopisto, Yliopistopaino. Helsinki. s. 167-193.

- Linkosalo, T., Carter, T.R., Häkkinen, R. & Hari, P. 2000. Predicting spring phenology and frost damage risk of *Betula* spp. under climatic warming: a comparison of two models. *Tree Physiology* 20: 1175–1182.
- Luoranen, J., Konttinen, K., Rikala, R. & Smolander, H. 2001. Ennakkotuloksia kuusen paakkutaimien kesäistutuksesta. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2001. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 813: 24–31.
- Raulo, J., Lähde, E., Rokkonen, J., Kuismin, R. & Piitulainen, M. 1994. Taimien kasvatus- ja istutuskokeita ja niiden tuloksia. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 530. 31 s.
- Sarvas, R. 1972. Investigation on the annual cycle of development of forest trees. Active period. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 76. 110 s.
- 1974. Investigation on the annual cycle of development of forest trees. II. Autumn and winter dormancy. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84. 104 s.
- Yli-Vakkuri, P., Räsänen, P. & Hilli, A. 1968. Taimien talvi-varastoinnista ja sen vaikutuksesta männyntaimien istutuskelpoisuuteen. Summary: Overwinter cold-storage and its effect on the field survival and growth of planted Scots pine. *Acta Forestalia Fennica* 88. 40 s.

Miksi pakkasvarastoidut taimet pitää sulattaa ennen istutusta

Pekka Helenius ja Jaana Luoranen

Johdanto

Pakkasvarastoitujen taimien suosio näyttää tällä hetkellä olevan nousussa sekä taimituottajien että metsänomistajien keskuudessa. Suurin osa taimituotantoyhtiöistä varastoi tällä hetkellä ainakin osan tuottamistaan taimista talven yli pakkasvarastossa, jolloin vältytään ulkovarastointiin liittyviltä riskeiltä kuten haitallisen alhaisilta lämpötiloilta, talvihuohienilta, pakkaskuivumiselta, epätasaiselta kasvuunlähdöltä ja hallavaurioilta (Venn 1980, Kurkela ym. 1999, Konttinen ja Rikala 2000, Ryyppö ym. 2000). Taimien pakkasvarastointi tuo myös lisää joustavuutta kevään ja kesän taimitoimituksiin tarhoilta käyttäjille (Omi ym. 1994, Camm ym. 1995).

Metsänomistajien keskuudessa pakkasvarastoitujen taimien suosiota on osaltaan lisännyt niiden perusteettomasti saama maine huoltovapaina taimina. Maine perustunee siihen, että pakkasvarastosta otettujen taimien rasituskestävyys on hetken aikaa keväällä ennen kasvun käynnistymistä korkeampi kuin ulkona varastoiduilla, jo kasvussa olevilla taimilla (Grossnickle 2000). Suljetussa pahvilaatikossa taimet ovat myös paremmin suojassa kuivumiselta kuin arkissa olevat taimet. Ajatus taimien huoltovapaudesta voi rohkaista istutuksen lykkäämiseen ja pitkään väli-varastointiin esimerkiksi maatilametsälöillä, joissa kevään pelto-työt ajavat usein kiireellisyyjärjestyksessä metsänistutuksen edelle. Pitkän väli-varastoinnin hintana on kuitenkin taimien hengityksestä ja estyneestä fotosynteesistä aiheutuva ravintovarojen ehtyminen ja homeongelmat, jotka puolestaan heikentävät taimien kasvua istutuksen jälkeen (Ritchie 1982, Omi ym. 1994, Odlum ym. 2001). Pakkasvarastoitujen taimien metsänviljelyketjun joustavuutta lisäävä vaikutus olisikin nähtävä enemmän taimituotannon kuin metsäpään etuna.

Pakkasvarastoiduilla taimilla ongelmaksi voi muodostua myös liian lyhyt väli-varastointi. Taimet luovutetaan taimitarhoilta käyttäjille usein jäisinä, jolloin taimen käyttäjän ensimmäinen tehtävä on nykyisten taimihuolto-ohjeiden mukaan taimien ja paakkujen sulattaminen (Niiranen 2001). Viileässä taimipakkauksen sisempien paakkujen sulaminen voi kuitenkin kestää jopa reilun viikon. Mi-

käli sulatukseen ei ole varattu riittävästi aikaa, voi taimen käyttäjälle tulla kiusaus istuttaa taimet paakut vielä osittain jäässä. Jäisten paakkujen istutuskielto vaikuttaa perustellulta etenkin keväällä, jolloin ilman lämpötila voi olla jo varsin korkea, mutta maa on vielä talven jäljiltä kylmää. Tällöin verso altistuu voimakkaalle haihdunnalle maan alhaisen lämpötilan hidastaessa paakkujen sulamista ja estäessä juurten vedenoton. Sitä vastoin jäisten paakkujen istutuksella lämpimään maahan (+17...29 °C) ei ole kanadalaisen tutkimusten mukaan todettu olevan pitkäaikaista haitallista vaikutusta taimien elossaoloon ja kasvuun (Camm ym. 1995, Kooistra ja Bakker 1999). Myös Suomessa maan lämpötila voi muokatuilla aloilla nousta alkukesällä yli +15 °C:een (Ritari ja Lähde 1978, Kubin ja Kempainen 1994), jolloin myös jäisten paakkujen istuttaminen saattaisi olla riskitöntä edellyttäen, ettei maa ole liian kuivaa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten pakkasvarastoitujen kuusen paakkutaimien istuttaminen kylmään (kevälistutus) tai lämpimään (alkukesän istutus) maahan paakut edelleen jäässä vaikuttaa taimien elossaoloon, juurtumiseen, silmujen puhkeamiseen ja pituuskasvuun.

Menetelmät

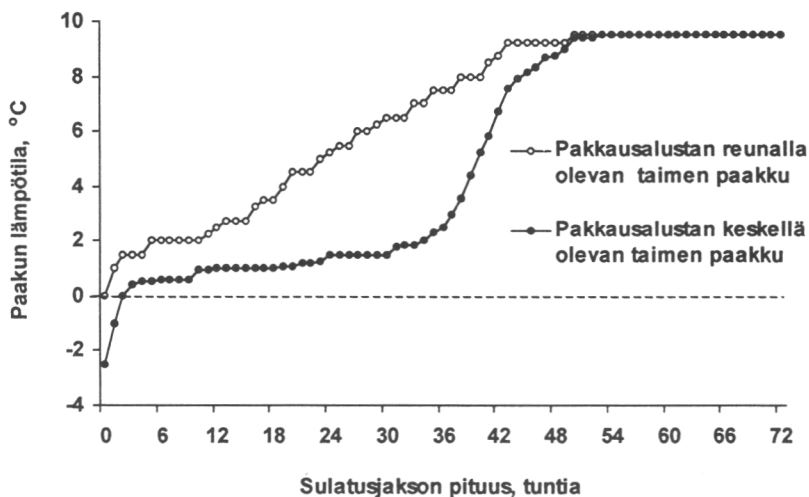
Kesä- ja heinäkuussa 2001 Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalle perustettiin pakkasvarastoitujen taimien juurtumis- ja sulamiskoe. Juurtumiskokeen taimimateriaalina käytettiin Panth-Produkt Ab:n Blockplant 12 x 12 arkeissa (paakun tilavuus 66 cm³, kasvatustiheys 966 kpl/m²) kasvatettuja yksivuotiaita kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) paakkutaimia (siemen-erä T3-98-73, SV 112). Taimet oli pakattu syksyllä 2000 kahdessa pakkausalustassa pahvilaatikoihin (110 tainta/alusta) ja varastoitu talven yli pakkasvarastossa (-3 °C). Puolet koetaimista otettiin 3.6.2001 sulamaan pimennettyyn lämpökaappiin (+9 °C) neljäksi vuorokaudeksi. Sulatuksen aikana seurattiin paakkujen sulamista paakkuihin porattuihin reikiin asennettujen lämpötila-antureiden avulla. Puolet taimista otettiin juurtumiskokeeseen suoraan pakkasvarastosta. Sulat ja jäiset taimet istutettiin 7.6.2001 hiekalla täytettyihin, tilavuudeltaan 2,2 litran muoviruukkuihin. Muoviruukut upotettiin kasvihuoneeseen kahteen vedellä täytettyyn kasvatusalustaseen. Toisessa kasvatusalustassa ruukkuhiekkan lämpötila säädettiin vastaamaan kevät- ja toisessa kesäistutusolosuhteita (+9 °C ja +18 °C). Taimia kasvatettiin ruukuissa viisi viikkoa säännöllisesti kastellen. Kokeen alussa, neljän ensimmäisen vuorokauden aikana ruukkuhiekkan kosteus oli molemmissa kasvatusalustoissa alempi (4,1 %) kuin kokeen loppuosan aikana (12 %). Ilman

vuorokautinen keskilämpötila kasvihuoneessa oli kasvatusjakson aikana +22 °C (vaihteluväli +18...29 °C) ja keskimääräinen suhteellinen kosteus 53 % (vaihteluväli 41...72 %). Kasvatusjakson aikana seurattiin päivittäin silmujen puhkeamista. Silmu katsottiin puhjenneeksi, kun silmusuomut olivat kokonaan auenneet ja neulasaiheet näkyvissä. Kokeen jälkeen taimet nostettiin ylös ja arvioitiin niiden kunto sekä mitattiin pituuskasvu. Paakusta ulos kasvaneet juuret leikattiin, pestiin, kuivattiin (48 h/105 °C) ja punnittiin.

Sulamiskokeessa selvitettiin jäisinä istutettujen, eri kokoisten taimipaakkujen sulamisnopeutta istutuksen jälkeen sekä kylmässä (+6 °C) että lämpimässä (+15 °C) maassa. Paakkutyyppinä kokeessa oli Panth-Produkt Ab:n Blockplant 12 x 12 (paakun tilavuus 66 cm³) sekä Lännen tehtaat Oyj:n Plantek 81F (85 cm³) ja Plantek 64F (115 cm³). Myös sulamiskokeessa taimet istutettiin hiekalla täytettyihin ruukkuihin, jotka upotettiin kasvatusaltauksiin. Jäisten paakkujen sulamista istutuksen jälkeen seurattiin paakkuihin porattuihin reikiin asennettujen lämpötila-antureiden avulla. Sulamiskokeessa ruukkuhiekkä oli kokeen alussa kosteampaa kuin juurtumiskokeessa.

Tuloksia

Taimipaakkujen sulaminen lämpökaapissa (+9 °C) kesti 0,5-1,5 vuorokautta riippuen paakun sijainnista pahlilaatikon sisällä olevilla pakkausaluustoilla (kuva 1). Nopeimmin sulivat pakkausalustan



Kuva 1

Pakkasvarastoitujen kuusen paakkutaimien turvepaakkujen (Blockplant 12 x 12, 66 cm³) sulamisnopeus lämpökaapissa +9 °C:ssa. Pakkausalustan reunataimen paakun sulamisnopeus on esitetty kuvassa kahden paakun ja keskellä olevan taimen paakun sulamisnopeus neljän paakun keskiarvona. Taimet olivat sulatuksen aikana pahlilaatikoissa, joiden ilmanvaihtoreiät oli avattu.

reunimmaisten taimien paakut ja hitaimmin keskellä olevien taimien paakut. Jään sulaminen kokonaan paakun sisältä näkyy kuvassa 1 etenkin pakkauslaturan keskellä olevien paakkujen lämpötilan jyrkkänä nousuna. Paakkujen lämpötila tasoittui ilman lämpötilan kanssa noin kahdessa vuorokaudessa. Vaikka jää sulii reunimmaisten taimien paakuista selvästi nopeammin kuin pakkauslaturan keskellä olevista paakuista, paakkujen lämpötila tasoittui ilman lämpötilan kanssa lähes samanaikaisesti.

Taimien istutus paakut jäässä lisäsi kuolleisuutta, viivästytti silmujen puhkeamista, hidasti pituuskasvua ja uusien juurten kasvua sekä kylmässä että lämpimässä maassa (kuva 2). Maan lämpötila ei vaikuttanut taimien elossaoloon eikä silmujen puhkeamiseen. Alhainen maan lämpötila hidasti jäisinä istutettujen taimien pituuskasvua, mutta ei vaikuttanut sulina istutettujen taimien pituuskasvuun. Juurten kasvu sitä vastoin heikkeni kylmässä maassa sekä sulina että jäisinä istutetuilla taimilla lämpimään maahan verrattuna. Toisin sanoen jäisenä istutuksen haitallinen vaikutus pituuskasvuun ja juurten kasvuun korostui kylmässä maassa. Paakut jäisinä istutettujen taimien juurtuminen oli kylmässä maassa erittäin heikkoa (kuva 2).

Jäisinä istutettujen taimien paakut sulivat lämpimässä maassa nopeasti (< 2 tunnissa). Paakut sulivat sitä nopeammin, mitä pienempiä ne olivat (kuva 3). Kylmässä maassa paakkujen sulaminen kesti hieman kauemmin, mutta suurimmatkin paakut (115 cm³) olivat sulia 5–6 tunnin kuluttua istutuksesta. Pienimmän paakun (66 cm³) lämpötila nousi istutuksen jälkeen lähes suoraviivaisesti sekä kylmässä että lämpimässä maassa. Sitä vastoin suuremmilla paakuilla (85 ja 115 cm³) lämpötilan nousussa näkyi etenkin kylmässä maassa selvä jään sulamisesta aiheutuva viive (kuva 3).

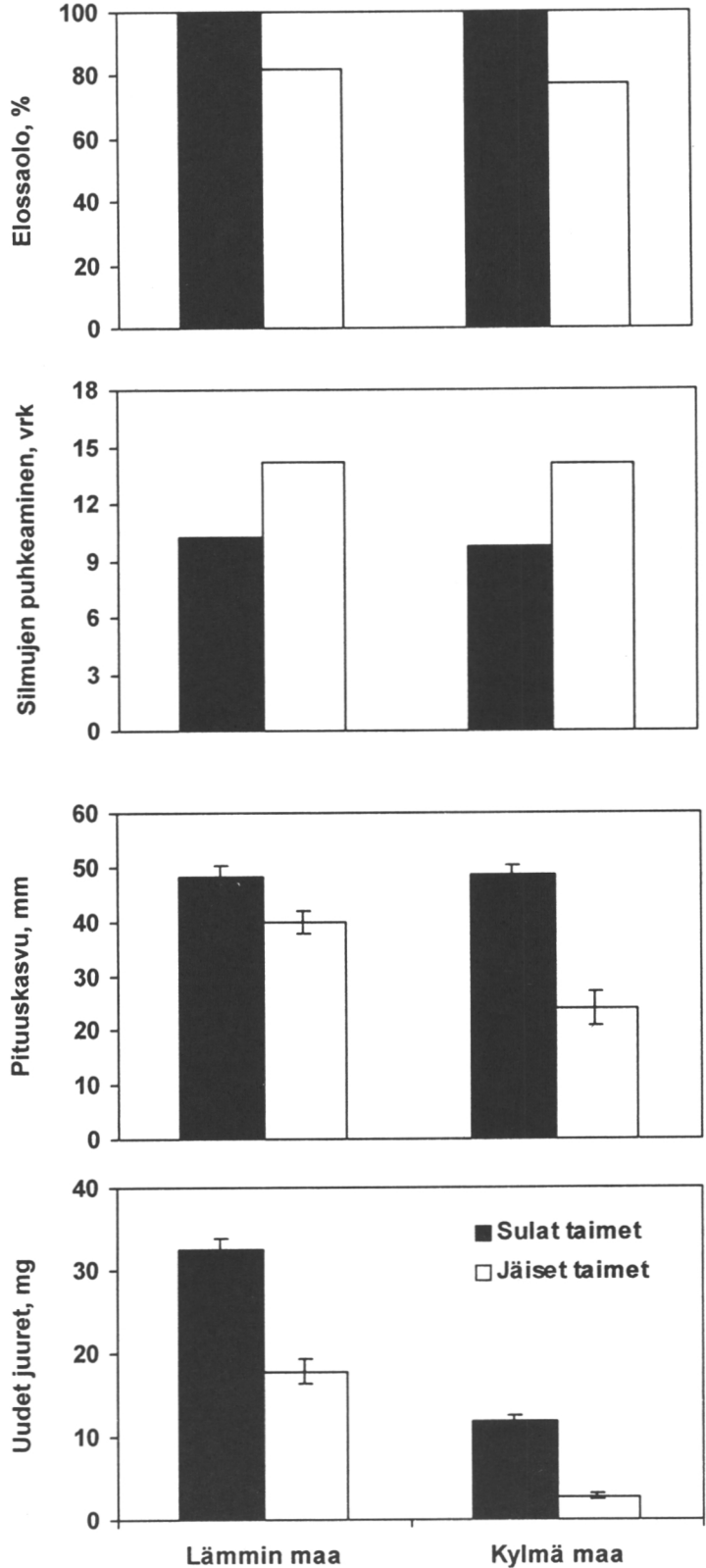
Tulosten tarkastelua

Pakkasvarastoitujen kuusen paakkutaimien istutus paakut jäässä oli juurtumiskokeen perusteella selvästi haitallista kaikkien tutkittujen muuttujien (taimien elossaolo, silmujen puhkeaminen, pituuskasvu ja juurten kasvu) suhteen. Pituuskasvuun ja juurten kasvun kohdalla jäisenä istutuksen haitallisuus lisäksi korostui, kun taimet istutettiin kylmään, kevätistutusolosuhteita vastaavaan maahan (kuva 2). Jäisinä istutettujen taimien korkea kuolleisuus sekä kylmässä että lämpimässä maassa viittaa siihen, että jäisenä istutuksen haitat johtuvat ennen kaikkea kuivuusstressistä.

Kuivuusstressiä ei voi kuitenkaan kokonaan selittää sillä, että jäinen paakku olisi estänyt verson vedensaannin, koska sulamiskokeen perusteella pienten paakkujen sulaminen oli kylmässäkin

Kuva 2

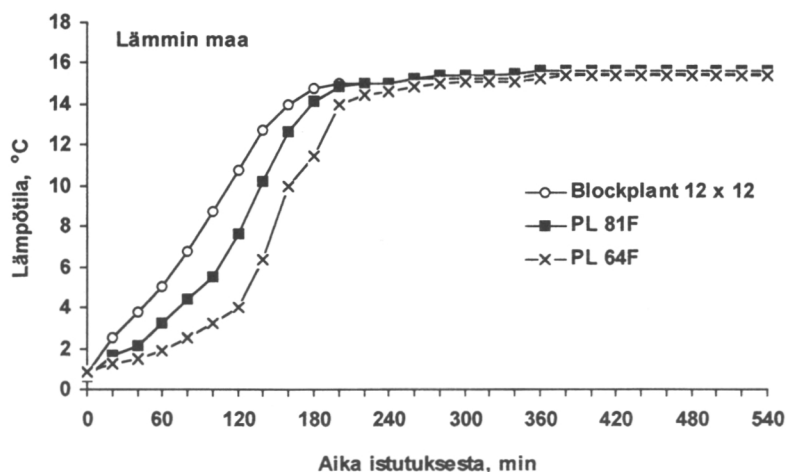
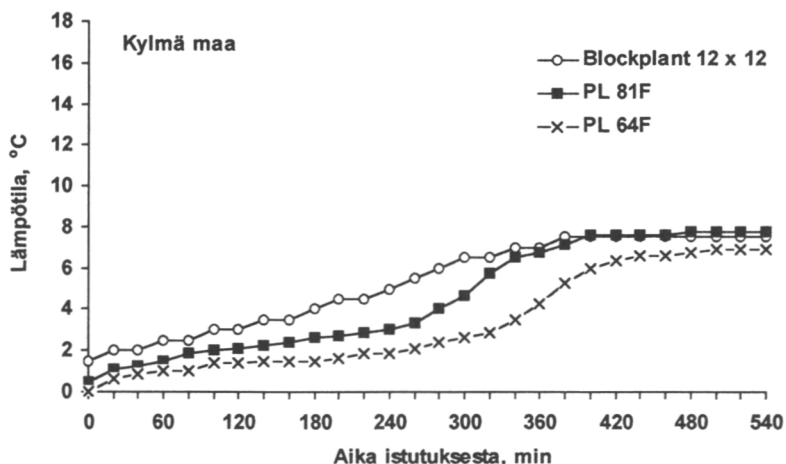
Paakut sulana (neljän vuorokauden sulatus +9 °C:ssa) ja jäisinä istutettujen pakkasvarastoitujen yksi-vuotiaiden kuusen paakkutaimien elossaolo, silmujen puhkeaminen, pituuskasvu ja uusien juurten kasvu lämpimässä (+18 °C) ja kylmässä (+9 °C) maassa. Pylväiden päässä olevat janat kuvaavat keskiarvon keskivirhettä. Kasvatusjakson pituus oli viisi viikkoa.



maassa nopeaa (kuva 3). Vaikka jää sulikin paakusta nopeasti, juuret eivät välttämättä pystyneet heti käyttämään jään sulamisesta muodostunutta vettä paakun lämpötilan hitaasta noususta johtuen. Ensinnäkin veden korkea viskositeetti (sisäinen kitka) hidastaa juurten vedenottoa ja kuljetusta alhaisessa lämpötilassa (0...+8 °C) (Vapaa-vuori ym. 1992, Grossnickle 2000). Juurten vedenottokyky on todettu alhaisessa lämpötilassa heikkenevän kuitenkin enemmän kuin pelkkä veden viskositeetin kasvu edellyttäisi (Larcher 1980, Grossnickle 1988). Ryypön ym. (1994) männyllä tekemän tutkimuksen mukaan juurisoluiissa tapahtuu keväällä rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia, jotka ovat edellytyksenä juurten kasvu- le ja veden ja ravinteiden otolle. Grossnickle ja Blake (1985) esit- tivät, että juurten vedenottokyky lisääntyy keväällä näiden muu- tosten myötä myös ilman merkittävää uusien juurten kasvua. Suo- raan pakkasvarastosta otetuilla taimilla juurisoluiissa ei ehtinyt ta-

Kuva 3

Paakun koon ja maan lämpötilan vaikutus jäisinä istutettujen taimipaakkujen sulamisnopeuteen. Paakkujen tilavuudet: Blockplant 12 x 12 = 66 cm³, Plantek 81F = 85 cm³ ja Plantek 64F = 115 cm³. Kylmän maan lämpötila oli +6 °C ja lämpimän maan +15 °C. Blockplant-paakun lämpötilan muutos on esitetty kuvissa kahden ja Plantek 81F ja 64F -paakkujen lämpötilan muutos neljän paakun keskiarvona.



pahtua muutoksia ennen istutusta. Lämpimässä kasvihuoneessa versot altistuivat voimakkaalle haihdunnalle heti istutuksen jälkeen, joka yhdessä juurten heikon vedenottokyvyn kanssa johti kuivuusstressiin. Kuivuusstressi puolestaan näkyi sekä lisääntyneenä kuolleisuutena että heikentyneenä kasvuna. Sen sijaan sulina istutetuilla taimilla juurisolut ehtivät ilmeisesti neljän vuorokauden sulatuksen aikana jo ”aktivoitua” siinä määrin, että vedenotto oli istutushetkellä mahdollista. Tämän lisäksi paakun lämpötila oli ennen istutusta jopa hieman korkeampi kuin istutusmaan lämpötila, joten paakun vesivarasto oli juurten käytettävissä heti istutuksen jälkeen.

Juurten kasvun on todettu useimmilla havupuilla olevan hidasta kasvualustan lämpötilan laskiessa alle +10 °C:een (Tabbush 1986, Lopushinsky ja Max 1990, Vapaavuori ym. 1992). Myös tässä tutkimuksessa juurten kasvu oli kylmässä maassa (+9 °C) heikkoa etenkin jäisenä, mutta myös sulina istutetuilla taimilla. Sulina istutetuilla taimilla juurten kuivamassa oli viiden viikon kasvatusjakson jälkeen kylmässä maassa noin 1/3 ja jäisinä istutetuilla taimilla vain 1/6 lämpimän maan arvoista (kuva 2). Maan lämpötilalla sinänsä oli voimakkaampi vaikutus juurtumiseen kuin jäisenä istutuksella, sillä lämpimään maahan jäisinä istutetut taimet kasvattivat enemmän juuria kuin kylmään maahan sulina istutetut taimet. Lämpötilan vaikutus juurten kasvuun perustuu aineenvaihdunnan nopeutta säätelevien entsyymien lämpötilariippuvuuteen. Alhaisessa lämpötilassa aineenvaihduntareaktiot hidastuvat ja tämän myötä myös solunjakautuminen ja solujen laajuuskasvu hidastuvat. Juuriston kasvun optimilämpötila on Vapaavuoren ym. (1992) mukaan nesteviljelyssä sekä kuusella että männynllä yli +20 °C eli jonkin verran korkeampi kuin lämpimän maan lämpötila tässä tutkimuksessa.

Maan alhainen lämpötila ei heikentänyt sulina istutettujen taimien pituuskasvua, mikä viittaa siihen, että +9 °C:een lämpötila ei sinänsä riitä hidastamaan juurten vedenottoa. Mikäli juurten vedenottokyky olisi alhaisen lämpötilan takia heikentynyt, sen olisi pitänyt näkyä myös pituuskasvussa, jonka on todettu olevan herkkä taimen vesitaseen muutoksille (Buxton ym. 1985). Tosin haihduntanopeus kasvihuoneessa ei ehkä ollut riittävän suuri, jotta maan alhaisen lämpötilan vaikutus juurten vedenottoon olisi tullut näkyviin taimen vesitaseessa ja edelleen pituuskasvussa (Rikala ja Puttonen 1988).

Ilman lämpötila oli kasvihuoneessa lähellä kuusen pituuskasvun optimilämpötila-alueella +18...24 °C (Heide 1974). Koska ilman lämpötila oli sama sekä kylmässä että lämpimässä maassa kasvilla taimilla, kylmässä maassa kasvavien taimien verson ja ennen kaikkea kärkikasvusolukon lämpötila oli ilmeisesti lähempänä il-

man kuin maan lämpötilaa. Näin ollen pituuskasvun edellyttämä solunjakautuminen ja solujen laajuuskasvu olivat mahdollisia sekä solukon lämpötilan että vesitaseen osalta. Havaintoa maan lämpötilan vähäisestä vaikutuksesta verson pituuskasvuun tukevat Vapaavuoren ym. (1992) kuusella tekemän nesteviljelytutkimuksen tulokset, joiden mukaan verson pituuskasvu heikkeni selvästi vasta, kun juuriston lämpötila laski alle +8 °C:een ilman lämpötilan ollessa +18...20 °C. Mikäli juurtumiskoetta olisi jatkettu kauemmin kuin viisi viikkoa, olisi juurten kasvussa havaittu ero todennäköisesti kuitenkin vaikuttanut myös pituuskasvuun.

Juurtumiskokeen olosuhteet olivat etenkin jäisten taimien kevästitutusta ajatellen varsin ankarat (istutusmaa kylmää ja kuivaa, ilman lämpötila korkea) eivätkä täysin vastanneet todellista viljelytilannetta etenkin kevään osalta. Aurinkoisina kevätpäivinä ilman lämpötila saattaa tosin olla jo melko korkea ja taimien haihdunta voimakasta, mutta istutusmaan kuivuus keväisin on poikkeuksellista. Jäisenä istutus oli kuitenkin haitallista myös kesäistutusta matkivissa olosuhteissa, jolloin myös riski istutusmaan liiallisesta kuivumisesta on todellinen. Etenkin juurtuminen oli jäisenä istutetuilla taimilla heikkoa maan lämpötilasta riippumatta, mikä puolestaan saattaa näkyä heikentyneenä pituuskasvuna ja lisääntyneenä kuolleisuutena vasta tulevina kasvukausina.

Kiitokset

Kiitämme Ritva Pitkästä avusta juurtumiskokeen perustamisessa ja mittaamisessa sekä tekstin oikoluvusta. Risto Rikala ja Heikki Smolander lukivat käsikirjoituksen ja tekivät siihen varteenotettavia korjausehdotuksia. Kiitokset myös Metsämiesten Säätiölle tutkimuksen rahoittamisesta.

Kirjallisuus

- Buxton, G.F., Cyr, D.R., Dumbroff, E.B. & Webb, D.P. 1985. Physiological responses of three northern conifers to rapid and slow induction of moisture stress. *Canadian Journal of Botany* 63: 1171-1176.
- Camm, E.L., Guy, R.D., 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.

- Grossnickle, S.C. 1988. Planting stress in newly planted jack pine and white spruce. 1. Factors influencing water uptake. *Tree Physiology* 4: 71-83.
- 2000. *Ecophysiology of Northern Spruce Species: The Performance of Planted Seedlings*. NRC. Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. 409 s. ISBN 0-660-17959-8.
- & Blake, T. J. 1985. Acclimation of cold-stored jack pine and white spruce seedlings: effect of soil temperature on water relation patterns. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 544-550.
- Heide, O.M. 1974. Growth and dormancy in Norway spruce ecotypes. II. After-effects of photoperiod and temperature on growth and development in subsequent years. *Physiological Plantarum* 31: 131-139.
- Konttinen, K. & Rikala, R. 2000. Talviaikaiset pakkasvauriot heikentävät kuusen paakkutaimien istutuksen jälkeistä menestymistä. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). *Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2000*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 788: 69-78.
- Kooistra, C.M. & Bakker, J.D. 1999. Planting frozen conifer seedlings. Julkaisussa: *Proceedings: Forest nursery association of British Columbia. Annual meeting 1999 Vancouver, BC. September 27 - 30, 1999*. s. 87-89.
- Kubin, E. & Kemppainen, L. 1994. Effect of soil preparation of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica* 244. 56 s.
- Kurkela, T., Lilja, A., Lilja, S. & Rikala, R. 1999. Useilla puulajeilla esiintyvät tuhonaiheuttajat, maanpäälliset kasvinosot & abioottiset tuhot eli elottomista tekijöistä johtuvat vauriot. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). *Taimituho-opas*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 737. 128 s.
- Larcher, W. 1980. *Physiological plant ecology*. Second edition. Springer-Verlag, Berlin. 303 s.
- Lopushinsky, W. & Max, T.A. 1990. Effect of soil temperature on root and shoot growth and bud burst timing in conifer seedling transplants. *New Forests* 4: 107-124.
- Niiranen, J. 2001. Metsänviljelyaineisto. Teoksessa: Wiiskanta, M. (toim.). *Metsälehdän metsäkoulu*. Metsälehti kustannus. s. 69-72.
- Odlum, K., Scarratt, J., Timmer, V., Duckett, S. & Ross-Slomke, P. 2001. Container stock production. Teoksessa: Wagner, R.G. & Colombo, S.J. (toim.). *Regenerating the Canadian Forest. Principles and Practice for Ontario*. Fitzhenry & Whiteside Limited, Markham, Ontario, Canada. & Ontario Ministry of National Resources. s. 281-323. ISBN 1-55041-378-3.

- Omi, S.K., Rose, R. & Sabin, T.E. 1994. Fall lifting and long-term freezer storage of ponderosa pine seedlings: effects on starch, root growth and field performance. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 624-637.
- Rikala, R. & Puttonen, P. 1988. Maan lämpötilan vaikutus kuivuusrasitukseen perustuvassa taimien laatutestissä. *Silva Fennica* 22 (4): 273-281.
- Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(7): 1-37.
- Ritchie, G.A. 1982. Carbohydrate reserves and root growth potential in Douglas-fir seedlings before and after cold storage. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 905-912.
- Ryypö, A., Vapaavuori, E.M., Rikala, R. & Sutinen, M.-L. 1994. Fatty acid composition of microsomal phospholipids and H⁺-ATPase activity in the roots of Scots pine seedlings grown at different root temperature during flushing. *Journal of Experimental Botany* 45: 1533-1539.
- , Vapaavuori, E. & Repo, T. 2000. Kuusen paakkutaimien pakkakestävyys Metlan Suonenjoen tutkimustaitarhalla talvella 1998. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2000. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 788: 35-42.
- Tabbush, P. 1986. Rough handling, soil temperature, and root development in outplanted Sitka spruce and Douglas fir. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 1385-1388.
- Vapaavuori, E.M., Rikala, R. & Ryypö, A. 1992. Effect of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation. *Tree Physiology* 10: 217-230.
- Venn, K. 1980. Winter vigour in *Picea abies* (L.) Karst. VII. Development of injury to seedlings during overwinter cold storage. A literature review. *Reports of the Norwegian Forest Research Institute* 35(9): 487-530.

Skenaarioista strategista näkemystä taimituotantoon

Pertti Harstela ja Nuutti Kiljunen

Puuntuotannon skenaariot

Metlan Suonenjoen tutkimusaseman johdolla toiminut Puuntuotannon tulevaisuusskenaariotyöryhmä muodosti vaihtoehtoisia kehityspolkuja puuntuottamiselle Suomessa (Harstela ym. 2001). Työryhmä koostui puuntuottamisen eri sidosryhmien edustajista. Skenaarioita muodostettiin kaikenkaikkiaan kuusi, joista osa oli puuntuottamisen kannalta edullisia ja osa epäedullisia.

Taimien menekki skenaarioiden maailmoissa

Taimituottajalle strategisesti tärkeä tieto on luonnollisesti taimien kysyntä tulevaisuudessa. Skenaariot eivät tietysti anna yksiselitteistä vastausta, koska eri skenaarioiden toteutuessa kysyntä tulee olemaan hyvin erilainen. Seuraavat yleistyksset voi kuitenkin tehdä:

Jos metsätalouden kannalta huonot skenaariot ”Iloiset rosvot maanpakoon” ja ”Pohjolan vihreät kunnaat” toteutuvat, puun käyttö ja hakkuumäärät Suomessa laskevat. Metsänomistajien motivoituminen puuntuottamiseen ja yleinen kiinnostus metsätaloutta kohtaan sekä metsätalouden merkitys kansantaloudessa heikkenevät. Näiden skenaarioiden mukainen kehitys laskisi taimien kysyntää merkittävästi. Mitään merkkejä kehityksen kääntymisestä tälle uralle ei kuitenkaan onneksi vielä ole.

Muissa skenaarioissa metsäteollisuuden kotipesä säilyy Suomessa, mutta pientä pessimismia niissäkin on siitä, että ainakin metsäteollisuuden kasvu suuntautuu ulkomaille. Vaarana on teollisuuden vähittäinen hiipuminen Suomessa, ellei olosuhteita kyetä pitämään metsäteollisuuden kannalta houkuttelevina. On jo nähtävissä metsäteollisuuden kotimaisten investointien trendinomainen lasku tasolle, jossa tuotanto vielä pysyy nykytasolla, mutta ei juu-

rikaan kehity. Suomi yksin ei enää ole kotimaisenkaan teollisuuden raaka-aineen hankinta-alue, mitä kuvaa tuontipuumäärien voimakas nousu viime vuosina.

Jos 'kauhuskenaariot' toteutuisivat, olisi edessä taimituotannon voimakas alasajo, ellei korvaavaa tuotantoa esim. viherrakentamiseen saataisi syntymään. Muissakin skenaarioissa voimakkaampi kasvu lienee haettava joko yritysostojen kautta tai Itämeren altaan markkinoista. Toisaalta on selvää potentiaalia lisätä istutuksen osuutta metsänuudistamisessa. Yhdeksänkymmentäluvulla on luontaisesta uudistamisesta, kylvöstä ja pienistä paakkutaimista saatu huonoja kokemuksia, kun niitä on harjoitettu sopimattomilla kohteilla. Taimikoiden inventoinnit ovat sen selvästi paljastaneet. Katsovatko taimentuottajat sivusta tiedon jalkauttamista tästä asiasta vai haluavatko ne osallistua metsänomistajien ja metsäammattilaisten motivointiin markkinointikeinona?

Esitetyt skenaariot eivät luonnollisestikaan ole kaiken kattavia. Tulevaan kehitykseen sisältyy aina tapahtumia, joita ei ole osattu ennakoida. Skenaarioista puuttuu mm. sellainen vaihtoehto, että puuntuonti Suomeen tyrehtyisi. Silloin kotimaahan kohdistuisi kova hankintapaine ja hakkuumäärät saattaisivat ainakin tilapäisesti nousta suuriksi. Vastaavasti taimien kysyntä nousisi ainakin hetkellisesti

Itämeren allas markkina-alueena?

Metsäteollisuus katsoo kotimaisten tehtaidensa hankinta-alueeksi Itämeren altaan. Se merkitsee sitä, että puuta tuodaan maahan, jos siitä esiintyy niukkuutta tai se saadaan näin halvemmalla. Sen vuoksi Suomen metsistä tuskin tullaan ainakaan kantohintoja nostamalla ottamaan ”viimeistä kalikkaa”. Hankintaorganisaatiot ovat jo kansainvälistyneet.

Kun EU on luonut sisämarkkinat, jotka ovat laajenemassa itään, voivat taimikaupankin markkinat muotoutua Itämeren altaan markkinoiksi. Itä-Euroopan alhaisemmat tuotantokustannukset voivat siirtää tuotantoa sinne. Toisaalta asian voi nähdä myös markkina-alueen laajenemisena – ainakin teknologian ja osaamisen toimittajien osalta. Itä-Euroopassa saattaa edessä olla suuret peltojen metsitystalkoot.

Kaiken kaikkiaan kilpailu koventunee ja kustannustehokkuus on aina vain tärkeämpää. Löytyykö myös muita, pehmeämpiä, kilpailukeinoja – kuten laadukas toiminta – jää yritysten innovatiivisuuden varaan.

Yhteiskunta on myös mosaiikkimaistumassa. Metsänomistajien tavoitteet eriytyvät. Voi olla, että osa heistä keskittyy maiseman hoitoon, ehkä tavoittelee erikoisuuttakin. Erikoistaimituotannolle voi tulla pientä lisätilaa, tuskin kuitenkaan suuria volyymejä.

Kanta-asiakkuus ja kumppanuus-asiakkuus

Metsänhoitoyhdistykset (Mhy) ovat olleet taimiyhtiöiden kanta- tai peräti strategisia asiakkaita ja eräänlainen tukkuporras taimijakelussa. Kellään ei liene varaa vaarantaa suhdettaan tällaisiin asiakkaisiin. Skenaarioista voi kuitenkin vetää kehityssuuntia myös asiakkuuteen.

Mikäli yrittäjyyskkenaario toteutuu, voi kehittyä kolme tasavahvaa asiakasryhmää: Mhy, itsenäiset yrittäjät, metsäteollisuus sopimusasiakkaineen ja ehkä liikelaitos-Metsähallituskin tulee palvelumarkkinoille. Lisäksi suurmetsänomistus eri muodoissaan vahvistunee. Liike-elämässä on tavanomaista antaa toimitusmääriin tai pitkäaikaisiin sopimuksiin liittyviä etuja ja muillakin keinoin sitouttaa asiakkaitaan.

Jos edellä hahmoteltu maailma toteutuu, niin olisiko mahdollista sitouttaa asiakkaita myös ns. kumppanuus-asiakkuuden kautta. Siinä luottamuksellisessa suhteessa kehitetään ja jaetaan yhteisiä resursseja. Teorian mukaan kumppanuutta pitää harkita tarkasti. Tuoko se todella molemmille lisäarvoa vai sitooko se liikaa toisen osapuolen intresseihin? Se voi jopa sammuttaa markkinamekanismien toimintaa. Eräs alue, jolla yhteisten intressien jako voi olla hedelmällistä, on taimijakelu. Juho Rantalan täällä esittämät logistiset mallilaskelmat viittaavat siihen, että taimien kuljetusten suunnittelun keskittäminen yksiin käsiin toisi merkittäviä kustannussäästöjä. Lienee syytä pohtia, kelle tämä keskitetty suunnittelu parhaiten sopisi. Lähinnä tulevat mieleen taimiyhtiön esikunta tai ulkoistettu toimija.

Koneellistuva laatukasvatus Pohjolan valtti

Skenaarioissa laatukasvatus nähtiin Pohjoismaiden vahvaksi kilpailueduksi puunkasvatuksessa. Näin ollen niistä ei löydy perusteita ainakaan istutustiheyden alentamiseen. Tuskin toisaalta nostamiseenkaan, koska kustannustehokkuus on myös metsäpäässä

tärkeää. Laatuksvatuksen taimikkovaiheen alussa tarvitsema suuri tiheys haetaan siis osittain luontaisella materiaalilla.

Laatua voi tuottaa myös geneettisesti hyvällä siemenellä, mutta jalostushyödytkin tulee etsiä hyöty-kustannustarkastelujen puitteissa. Skenaarioissa ennakoitiin jalostusosaamisen ja bioteknologisen osaamisen olevan tärkeää myös sen vuoksi, että Suomi osaamisen viejänä hallitsisi tämänkin puolen, joka eteläisillä viljelyksillä on tuiki tärkeää. Pidemmällä tähtäyksellä bioteknologia voi luoda muitakin kuin metsänjalostuksen sovelluksia esim. laadunvalvontaan tai kasvatusprosessien ohjaukseen.

Kustannustehokkuus ja työvoimatilanne ajavat metsäpäässä koneellistamista kiihtyvällä vauhdilla eteen päin. Se oli skenaarioiden yhteinen sanoma. Sen vuoksi pitkä istutuskausi ja koneistutukseen sopiva taimimateriaali ja menettelytavat tulevat ajankohtaisiksi vääjäämättä ja nopeammin kuin ehkä arvataankaan. Nyt on oikea aika panostaa tämän osaamisen kehittämiseen. Kehittämisestä kilpailuetua hakevan tulisi mieltää se, milloin on haettava yhteisvoimin kansallista etua, milloin riittävät voimavarat saadaan suppean allianssin kautta ja milloin on toimittava kilpailusyistä yksin. Kaikissa näissä tapauksissa voi kumppanina olla tutkimus.

Skenaarioissa todettiin kaupungistumisen jatkuvan ja yhteiskunnan mosaiikkimaistuvan. Onko taimen imago tulevaisuudessa arvokkaan luonnonvaran kestävyuden turvaaja ja uuden kasvun alku vai jotain tehometsätalouden kielteisiä mielikuvia. Siinäkin on miettimistä.

Tällaisia ajatuksia toivat skenaariot mieleen tutkijoille, joilla ei ole tulosvastuuta taimituotannossa. Toivottavasti ne antavat jotain ajattelemisen aihetta niillekin, joilla se tulosvastuu on.

Kirjallisuus

Harstela, P., Kettunen, J., Kiljunen, N. & Meristö, T. 2001. Normitaloudesta yrittäjyyteen - puuntuotannon tulevaisuus Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 819: 1-69.

LP-käsittelyn keston ja keskeytysten vaikutus kuusen kasvuun ja karaistumiseen

Kyösti Konttinen

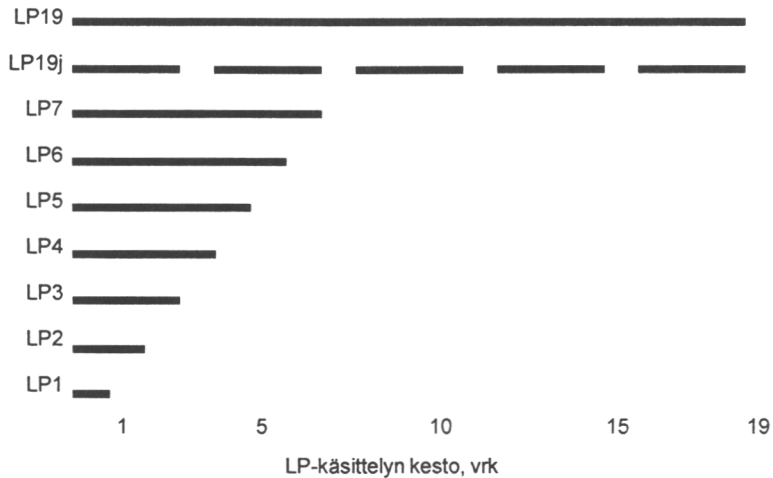
Kuusentaimien pituuskasvun pysäyttämiseksi ja karaistumisen käynnistämiseksi suositellaan kolmen viikon lyhytpäiväkäsittelyä heinä-elokuussa (Konttinen ym. 2000). Lyhytpäiväkäsittelyn yleistyessä taimitarhoilla on usein herännyt kysymys, miten pimennysautomaatiikan rikkoontumisen tai sähkökatkon aiheuttama LP-käsittelyn lyhytaikainen keskeytyminen vaikuttaa taimien kasvuun ja karaistumiseen. Entä jos pimennys joudutaan hoitamaan ihmistyönä, ilman automaatiikkaa, voisiko pimennyskäsittelyn toteuttaa jaksottaisesti niin, että päivänpituus lyhennettäisiin arkipäivinä, mutta viikonvaihteessa taimet olisivat luontaisessa päivänpituudessa.

Kun lyhytpäiväkäsittelyn eri vaiheissa sattuvien keskeytyksien vaikutusta arvioidaan, on tiedettävä, kuinka pitkä yhtenäinen käsittelyjakso vähintään tarvitaan kuusentaimien kasvun pysähdyttämiseen ja karaistumisen alkamiseen. Aikaisemmista tutkimuksista tiedetään, että yhden viikon pimennyskäsittely pysäyttää kuusentaimien pituuskasvun ja lisää myös pakkaskestävyyttä (Konttinen ja Rikala 2000). Heiden (1974) mukaan jo neljän vuorokauden käsittely riittäisi pituuskasvun pysäyttämiseen.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin: 1) miten lyhytpäiväkäsittelyn säännöllisesti toistuvat keskeytykset vaikuttavat ensimmäisen kesän kuusentaimien pituuskasvuun ja karaistumiseen sekä 2) kuinka lyhyt yhtenäinen LP-käsittely riittää pysäyttämään kuusentaimien pituuskasvun ilman loppukesällä ilmenevää jälkikasvua.

Taimimateriaali, käsittelyt ja mittaukset

Taimimateriaalina käytettiin ensimmäisen vuoden 23.4.2001 muovihuoneeseen PL-81F -kennoihin kylvettyjä suoralustalla kasvatettuja kuusen taimia (T03-00-0404, Sv.113). Taimia lannoitettiin Taimi Superex lannoitteella (Kekkilä Oy) 0,1-0,2 % liuoksena. Lannoitemäärä peruslannoituksen lisäksi kasvukauden aikana oli 138 g/m², 0,26 g/taimi.



Kuva 1

LP-käsittelyjen ajoitus ja kesto: 19 vrk käsittely (LP19), jaksottainen 19 vrk käsittely (LP19j) (3+3+3+3+3, joka neljäs vuorokausi vuorokauden katko), 7-1 vrk käsittelyt (LP7, LP6, LP5, LP4, LP3, LP2, LP1). Vaakapalkki kuvaa käsittelyjakson pituutta. LP-käsittelyn alkaessa vertailutaimet siirrettiin ulos suuralustalle ja LP-taimet siirrettiin käsittelyjen jälkeen samalle alustalle.

Kokeessa oli yhdeksän erilaista LP-käsittelyä: 19 vrk käsittely, jaksottainen 19 vrk käsittely, sekä 7, 6, 5, 4, 3, 2 ja 1 vrk käsittelyt (kuva 1). Jokaisessa käsittelyssä oli kaksi arkkiä (162 tainta). Kaikki LP-käsittelyt aloitettiin samanaikaisesti 6.7., jolloin taimet siirrettiin muovihuoneesta käsittelyyn, lisäksi kaksi taimiarkkiä siirrettiin samanaikaisesti ulos vertailutaimiksi. Yönpituus jatkettiin 14 tuntiin klo 17:30:stä klo 7:30:een. Käsittelyjen jälkeen taimia kasvatettiin ulkona suuralustalla.

Taimien versojen pakkaskestävyys testattiin 30.8. altistamalla taimet -4 , -9 ja -13 °C lämpötiloihin. Testiin valittiin viisi LP-käsittelyä (LP19, LP19j, LP7, LP5, LP3) ja vertailutaimet. Pakkastesteihin arvottiin jokaisesta käsittelyistä 30 tainta (10 tainta/lämpötila), kaikkiaan 180 tainta. Kahden viikon kuluttua altistuksesta pakkasvauriot arvioitiin silmävaraisesti kahden viikon kuluttua ruskettuneiden neulasten määränä 10 % luokissa.

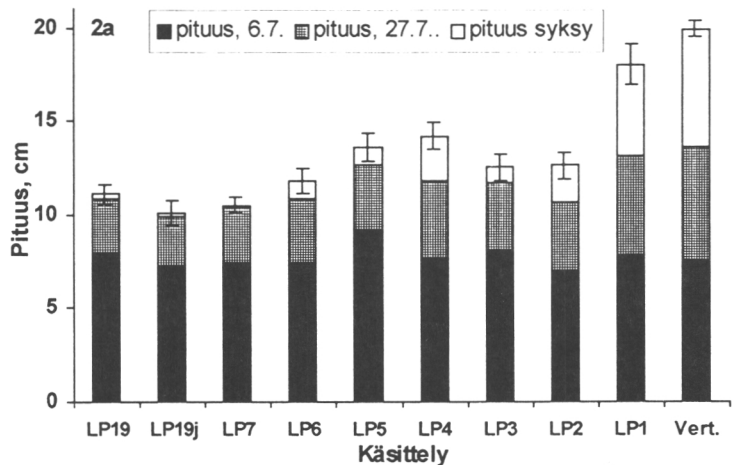
LP-käsittelyn alkaessa 6.7. mitattiin jokaisen käsittelyn 10 arvotun taimen pituus. Näistä samoista taimista mitattiin pituus myös kolme viikkoa myöhemmin 27.7. ja kasvun päätyttyä syksyllä. Päätesilmujen muodostuminen ja mahdollinen jälkikasvu tarkastettiin jokaisen käsittelyn kaikista taimista 28.8. Lisäksi kasvukauden päätyttyä lokakuun alussa mitattiin jokaisesta käsittelystä 20 satunnaisesti valitusta taimesta pituus, läpimitta sekä neulasten, rangan ja juurten kuivamassa.

Tulokset ja tarkastelu

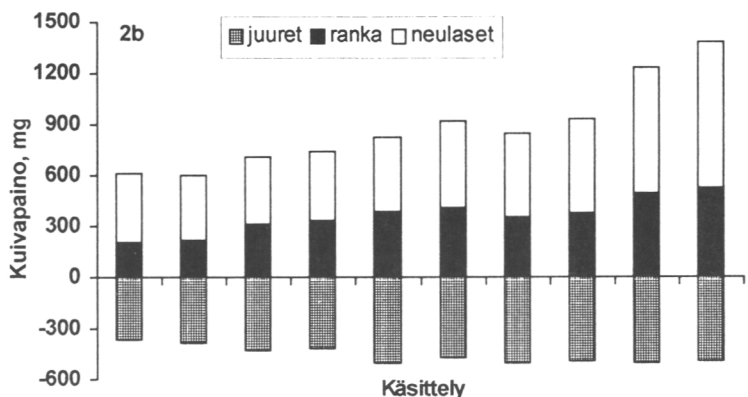
Pituuskasvu, läpimitta ja juuristo

Yhden vuorokauden käsittelyn (LP1, yksi pitkä yö) vaikutus pituuskasvuun oli vähäinen, mutta kahden vuorokauden käsittelyn seurauksena taimien pituuskasvu hidastui selvästi (kuva 2a). Heiden (1974) mukaan yhden ja kahden vuorokauden LP-käsittely (14 h yö) hidastaa kuusen kasvua ja neljän vuorokauden käsittely pysäyttää taimien kasvun. Aikaisemman kokemuksen mukaan ensimmäisen vuoden kuusentaimien pituuskasvu päättyy kolmessa viikossa LP-käsittelyn alkamisesta, riippumatta käsittelyjakson pituudesta. Tässä kokeessa LP19-, LP19j- ja LP7-käsittelyjen taimien kasvu päättyi 27.7. mennessä. Lyhyempien LP6-LP2-käsittelyjen taimet kasvoivat hieman vielä 27.7. jälkeen, mutta osa tästä kasvusta oli jo muodostuneesta silmusta alkanutta jälkikasvua.

Kuva 2 a)
Kuusen taimien pituus LP-käsittelyn alkaessa (6.7.), kolme viikkoa käsittelyn alkamisen jälkeen (27.7.) ja syksyllä. Käsittelyt kuten kuvassa 1 sekä vertailutaimet. Pylväät edustavat 10 taimen keskiarvoa ja pystyjanat keskiarvon keski-
virhettä.



Kuva 2 b)
Neulasten, rangan ja juurten kuivapainot käsittelyittäin. Pylväät edustavat 20 taimen keskiarvoa. Käsittelyt kuten kuvassa 2a.



Taimien kuivamassassa ei ollut eroja LP19 ja LP19j käsittelyjen välillä, mutta käsittelyjen lyhetessä taimen kuivamassa lisääntyi (kuva 2b). Taimien läpimitassa ei ollut eroja vertailutaimien ja LP1-LP7 käsittelyjen välillä, mutta LP19 ja LP19j taimet olivat hie-man ohuempia kuin lyhemmissä käsittelyissä.

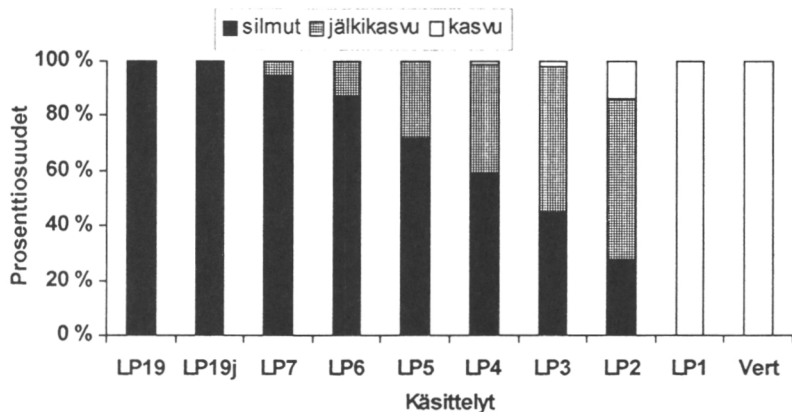
Jälkikasvu

Sekä yhtenäisen että jaksottaisen 19 vuorokauden käsittelyn (LP19 ja LP19j) kaikissa taimissa päätesilmut olivat muodostuneet 28.8. mennessä. LP-käsittelyajan lyhetessä seitsemästä vuorokaudesta kahteen vuorokauteen pysyvän päätesilmun muodostaneiden taimien määrä väheni 95 %:sta 28 %:iin. Osa muodostuneista päätesilmuista oli puhjennut uudelleen kasvuun ja jälkikasvuisten taimien määrä lisääntyi (kuva 3). LP2 käsittelyn taimissa silmut olivat pienempiä kuin pitempien käsittelyjen taimissa. LP2 taimista viidesosassa ei ollut muodostunut päätesilmuja ja LP1 ja vertailutaimissa ei ollut muodostunut päätesilmuja lainkaan 28.8. mennessä. Syyskuun lopulla kaikissa taimissa oli päätesilmut.

Jälkikasvua voi siis esiintyä heinäkuun alussa tehdyn lyhyen 2-7 vrk:n LP-käsittelyn jälkeen, mutta jälkikasvun esiintymiseen vaikuttavat myös muut tekijät ja se voi vaihdella vuodesta toiseen. Ensimmäisen vuoden kuusentaimien 1.7. aloitettu yhden ja kahden viikon LP-käsittely ei aiheuttanut jälkikasvua syyskesällä 1998 (Konttinen ja Rikala 2000), mutta 10.7. aloitetun kahden viikon käsittelyn jälkeen on osa taimista aloittanut kasvun uudelleen 1995 (Rantanen 1997).

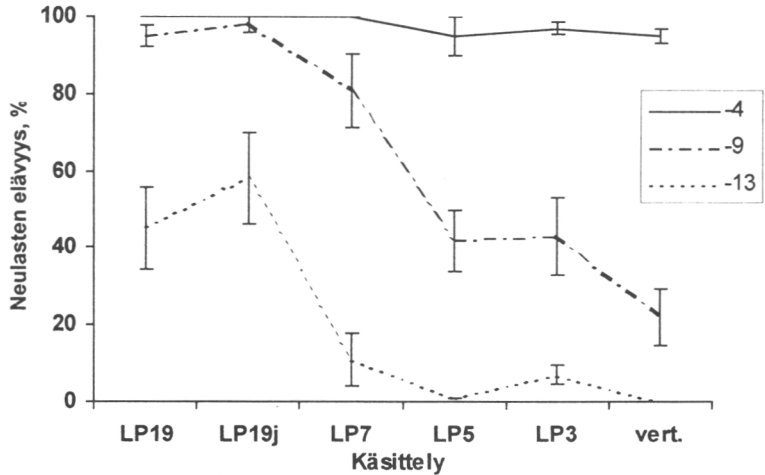
Kuva 3

Kuusen kasvussa olevien taimien, päätesilmut muodostaneiden ja jälkikasvuun puhjenneiden taimien osuudet 28.8. käsittelyittäin. Prosenttiosuudet on laskettu jokaisen käsittelyn kaikista 162 taimesta. Käsittelymerkinnät kuten kuvassa 1.



Kuva 4

Kuusen LP-taimien ja vertailutaimien neulasten elävyys -4 , -9 ja -13 °C:n pakkasaltistuksen (30.8.) jälkeen. Käsitelymerkinnät kuten kuvassa 1. Käyrät edustavat 10 taimen keskiarvoa ja pystyjanat keskiarvon keski-
virhettä.



Pakkaskestävyys

Versojen pakkaskestävyydessä ei ollut selviä eroja 19 vrk yhtenäisen ja jaksottaisen käsittelyn välillä (kuva 4). Samanlaiseseen tulokseen päädyttiin aiemmissa tutkimuksissa siperianlehtikuusen karaistumisessa; kolmen viikon yhtenäisen ja jaksottaisen (15 pimennettyä yötä) käsittelyn välillä ei myöskään ole ollut eroja (Konttinen 1999). Kolmen viikon jaksottaisessa käsittelyssä siperianlehtikuusen taimet karaistuivat nopeammin kuin kahden viikon yhtenäisessä käsittelyssä. Pitempi jaksottainen käsittely voi jopa olla kasvun päättymisen ja karaistumisen kannalta parempi kuin kokonaiskestoltaan lyhempi yhtenäinen käsittely, vaikka molemmissa olisi yhtä monta pimennettyä yötä. Kuusen pakkaskestävyys heikkeni käsittelyajan lyhetyssä 19 vuorokaudesta kolmeen vuorokauteen. LP3 ja LP5 käsittelyjen taimien pakkaskestävyys ei poikennut merkittävästi vertailutaimista (kuva 4). Pakkastestissä jälkikasvuisien taimien vauriot olivat suuremmat kuin samassa LP-käsittelyssä olleiden jo kasvunsa lopettaneiden ja päätesilmun muodostaneiden taimien vauriot. Jälkikasvuiset taimet vaurioituvatkin herkemmin varhaisissa syyhalloissa kuin kasvunsa lopettaneet taimet.

Päätelmät

Kuusen LP-käsittelyn keskeytyminen yhdeksi tai kahdeksi yöksi ei ole haitallista, jos käsittelyn alussa on vähintään kolmen tai neljän vuorokauden yhtenäinen jakso, jolloin kasvun pysähtyminen ehtii käynnistyä. Jos käsittely keskeytyy jo vuorokauden kuluttua käsittelyn alkamisesta, alku tavallaan viivästyy, eikä tästä ensimmäisestä yöstä ole mitään hyötyä.

Kuinka pitkiä katkot sitten voivat olla? Kahden vuorokauden katko aina viiden käsittelyvuorokauden jälkeen ei ole vielä hidastanut siperianlehtikuusen karaistumista verrattuna yhtenäiseen kolmen viikon käsittelyyn (Konttinen 1999). Jos käsittelykatkot pitelevät kolmeen vuorokauteen, karaistumiskehitys voi hidastua. Karaistuminen on viivästynyt esim. kanadanlehtikuusella (Colombo ja Raitanen 1993) ja kanadantuijalla (Colombo ja Raitanen 1991), kun LP-käsittelyssä on aina viikonvaihteessa ollut kolmen vuorokauden katko.

Kiitokset

Kiitokset Ritva Pitkäselle, Rauha Taljalle ja Riitta Toivoselle kokeen hoidosta ja mittauksista, sekä Risto Rikalalle ja Jaana Luoraselle käsikirjoituksen lukemisesta ja hyödyllisistä korjausehdotuksista.

Kirjallisuus

- Colombo, S.J. & Raitanen, E.M. 1991. Frost hardening in white cedar container seedlings exposed to intermittent short days and cold temperatures. *The Forestry Chronicle* 67(5): 542-544.
- 1993. Frost hardening in first-year eastern larch (*Larix laricina*) container seedlings. *New Forests* 7: 55-61.
- Heide, O.M. 1974. Growth and dormancy in Norway spruce ecotypes (*Picea abies*). I. Interaction of photoperiod and temperature. *Physiologia Plantarum* 30: 1-12.
- Konttinen, K. 1999. Lyhytpäiväkäsittely lehtikuusten taimien kasvatuksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 65-77.
- & Rikala, R. 2000. Lyhytpäiväkäsittelyn ajoitus ja kesto yksivuotiailla kuusen taimilla. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.) *Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 2000*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 788: 61-68.
- , Luoranen, J. & Rikala, R. 2000. Metsäpuiden taimien kasvun ja karaistumisen hallinta lyhytpäivä- ja valokäsittelyillä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 774. 65s.
- Rantanen, A. 1997. Lyhytpäiväkäsitteltyjen kuusen (*Picea abies* (L.) Karst) paakkutaimien syysistutus. *Pro gradu -tutkielma*. Helsingin Yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, metsäekologian laitos. 49 s.

Taimitarhajätteen kompostointi

*Anna-Maria Veijalainen, Marja-Liisa Juntunen, Arja Lilja,
Leo Tervo ja Kirsi Heikkinen*

Tausta ja tavoitteet

Kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti jätteiden määrän vähentäminen on nykyisin yleisesti hyväksytty päämäärä. Syntyvää jätemateriaalia tulisi myös hyödyntää, mikäli se on taloudellisesti mahdollista. Aikaisemman selvityksen mukaan metsätaimien tarhalla syntyy biojätettä keskimäärin 50 m³ vuodessa (Veijalainen ym. 1999). Tätä jätettä ovat mm. myyntiin kelpaamattomat taimet sekä niiden kasvualustat, kitketyt rikkakasvit ja viheralueiden leikkuujäte. Tulevaisuudessa kaatopaikkojen määrää vähenee ja jätteiden kuljetusmatkat pitenevät. Kallistuvien jätteiden käsittelykustannusten välttämiseksi biojätettä kannattaisi kompostoida lähellä syntypaikkaansa.

Kompostoinnissa olosuhteiden mukaan vaihtuva mikrobiyhteisö hajottaa eloperäistä jätettä, jolloin lopputuotteena syntyy hiilidioksidia, vettä, humusainetta ja epäorgaanisia suoloja sisältävää materiaalia. Hajotus tapahtuu hallitusti happipitoisissa olosuhteissa ja siihen liittyy lämpötilan nousu (Gray ym. 1971, Haug 1993). Kompostoitumisprosessi jaetaan yleensä neljään vaiheeseen. Mesoofiilisessä vaiheessa lämpötila alkaa nousta ja se vaihtuu termofiiliseksi, kun lämpötila nousee yli 40 °C. Termofiilisen vaiheen aikana lämpötila saattaa nousta hyvinkin korkeaksi, mutta yleisesti mikrobitoiminta lakkaa, kun lämpötila nousee yli 75 °C. Jäähdytysvaiheen jälkeen komposti siirtyy kypsymisvaiheeseen, jossa lämpötila on sama kuin ympäristössä. Kompostoitumisprosessia voidaan seurata mittaamalla mm. lämpötilaa, hiilidioksidin tuottoa ja hiili/typpisuhdetta kompostoituvassa materiaalissa.

Olosuhteiden muuttuessa mikrobit vaihtuvat ja mitä aktiivisempaa hajotustoiminta on, sitä kauemmin lämpötila pysyy kompostissa korkeana. Kompostin hygienisoitumisen kannalta termofiilinen vaihe on tärkeä, sillä silloin kompostissa olevat haitalliset taudinaiheuttajat, hyönteiset tai rikkakasvien siemenet tuhoutuvat (Hoitink ym. 1976, Yuen ja Raabe 1984, Grundy ym. 1998).

Metsäpuiden taimet ja niiden kasvualusta eivät ole helposti hajoavia, sillä niiden hiilipitoisuus on suuri verrattuna typen määrään. Typen niukkuus rajoittaa valkuaisaineiden muodostumista

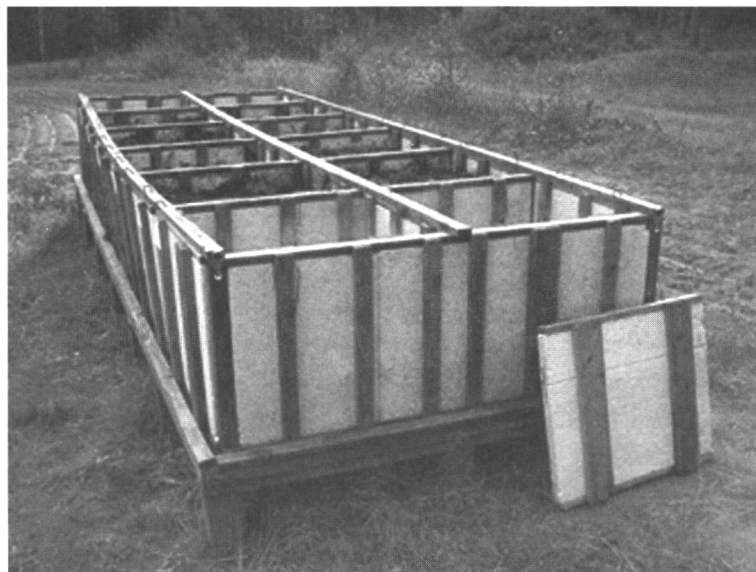
ja siten mikrobimassan kasvua, vaikka hiiliyhdisteiden sisältämää energiaa on runsaasti tarjolla. Taimissa hiili on sitoutunut pääosin selluloosaan, hemiselluloosaan ja ligniiniin. Kompostoitumisen alkuvaiheessa bakteerit ja sienet käyttävät ravintonaan helppliukoista hiiltä, kuten sokereita, tärkkelystä ja rasvoja. Seuraavina hajotusvuorossa ovat proteiinit ja vasta sen jälkeen hajotus kohdistuu selluloosaan, hemiselluloosaan ja viimeisenä ligniiniin (Crawford 1983).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää metsätaimitarhoilla syntyvän biojätteen soveltuvuutta kompostointiin. Tutkimus tehtiin kahdessa osassa kesällä 1999 ja 2000. Ensimmäisenä kesänä selvitettiin, miten typpipitoisen materiaalin (hevosenlannan) lisäys vaikuttaa metsätaimijätteen kompostoitumiseen. Seuraavana kesänä tutkittiin, voiko hevosenlannan korvata helpommin käsiteltävällä kaupallisella typpipitoisella valmisteella, kuten urealla tai metyleeniurealla.

Typpipitoisen materiaalin lisääminen taimijätteen sekaan voi lisätä ravinteiden huuhtoutumisriskiä kompostoitumisprosessista. Osa metsätaimitarhoista sijaitsee veden hankinnan kannalta tärkeillä I- tai II-luokan pohjavesialueella tai vesistön läheisyydessä. Tämän vuoksi on tärkeää myös selvittää kompostoinnista maaperään tapahtuvaa ravinnekuormitusta, joka saattaa pistemäisenä kuormituksen aiheuttaa mm. pohjaveden pilaantumisriskin. Tässä tutkimuksessa selvitettiin myös erilaisten typpilisäysten (hevosenlanta, urea ja metyleeniurea) vaikutusta kompostista suodattuvan veden määrään ja ravinnekoostumukseen.

Kuva 1

Tutkimuksessa käytetty pienkompostiyksiköistä koostuva koeasetelma.



A.-M. Veijalainen

Taulukko 1 Pienkompostien materiaali eri käsittelyissä kesällä 1999 ja 2000.

Vuosi	Käsittely	Kompostoitava taimitarhajäte	Typillisäys
1999	Taimijäte (TJ99) Matala typpipitoisuus	- hakettamattomat 1-v. koivun, kuusen ja lehtikuusen paakkutaimet - 2-v. männyn avojuuritaimet - kitkentä- ja ruohonleikkuujäte	Ei
1999	Hevoselanta (H99) Korkea typpipitoisuus	- haketetut 1-v. koivun paakkutaimet ja 4-v. kuusen avojuuritaimet - ruohonleikkuujäte	1/3 tilavuudesta kutterikuivittua hevosen- lantaa
2000	Taimijäte (TJ00) Matala typpipitoisuus	- haketetut 1-v. koivun paakkutaimet - hakettamattomat 1-v. kuusen ja männyn paakkutaimet	Ei
2000	Urea (U00) Korkea typpipitoisuus	- sama kuin käsittelyssä TJ00	Urealannoite
2000	Metyleeniurea (MU00) Korkea typpipitoisuus	- sama kuin käsittelyssä TJ00	Metyleeniurealannoite

Menetelmät

Kompostien perustaminen

Biojätettä kompostoitii styroxlevyillä vuoratuissa pienkomposteissa (12 kpl), joiden tilavuus oli 300 litraa. Pienkompostien avoin, katiskaverkkopohja oli noin 30 cm:ä maan pinnan yläpuolella, jotta ilmankierto biojätteen läpi olisi mahdollisimman tehokasta, ja kompostien läpi suodattava vesi saataisiin kerättyä talteen ravinneanalyyseihin. Pienkompostit rakennettiin 2 x 6 yksikön sarjaksi kentälle, jossa oli tilaa sekoittaa kompostoitavaa materiaalia traktorin etukuormaimella (kuva 1).

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa kesällä 1999 verrattiin metsätaimijätteen kompostoitumista matalan ja korkean typpipitoisuuden kompostointiprosessissa (taulukko 1). Taimijäte hakettiin korkean typpipitoisuuden prosessiin (H99) Noman rumpuhakurilla. Tutkimuksen toisessa osassa kesällä 2000 typen lähteeksi valittiin urealannoite ja hidasliukoinen metyleeniurealannoite. Kesän 2000 kokeessa perusmateriaali oli sama kaikissa pienkomposteissa (taulukko 1). Taimijätteestä hakettiin kuivettuneet 1-vuotiaat koivun taimet Loma-vasarahakurilla. Hake ja muu taimijäte sekoitettiin yhdeksi kasaksi, josta pienkompostit täytettiin. Urea- ja metyleeniureakäsittelyissä lannoite lisättiin komposteihin kerroksittain taimijätteen kanssa. Lannoitelisäyksessä oli 185 g typpeä, jonka arvioitiin laskennallisesti lisäävän kompos-

toitavan materiaalin typpipitoisuutta siten, että materiaalin hiili/typpi-suhde olisi hajotustoiminnan kannalta optimaalinen (21:1). Kaikki käsitteletyt toistettiin neljänä rinnakkaiskäsitteilynä ja eri käsitteilyjen paikat valittiin arpomalla. Kompostit perustettiin molempina vuosina kesäkuun puolivälin jälkeen ja purettiin 12 viikkoa myöhemmin.

Hoitotoimenpiteet ja kompostoitumisen seuranta

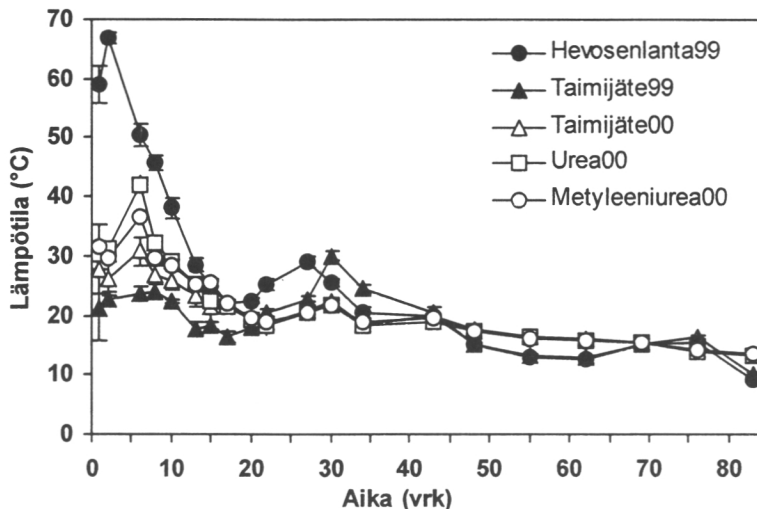
Perustamisen jälkeen kompostit kasteltiin. Ensimmäisenä vuotena kompostit kasteltiin vettävaluvaksi. Seuraavana vuonna jokaiseen pienkompostiin lisättiin 20 litraa vettä. Matalatyyppiseen prosessiin (TJ99), lisättiin neljän viikon kompostoinnin jälkeen typpirikasta kitkentäjätettä ja materiaali käännettiin, jotta lämpötila saataisiin nousemaan. Kesällä 1999 kompostien pinnassa itäneet rikkakasvit kitkettiin pois. Kesällä 2000 rikkakasveja ei kitketty.

Kompostin lämpötila mitattiin pienkompostien keskiosasta kolme kertaa viikossa neljän viikon ajan ja tämän jälkeen mittaukset tehtiin kerran viikossa. Tämän lisäksi komposteista otettiin kerran viikossa näyte, josta määritettiin materiaalin kosteus ja pH. Jätteen painuminen määritettiin mittaamalla materiaalin korkeus kerran viikossa. Materiaalien hiili- ja typpipitoisuus määritettiin kokeen alussa ja lopussa.

Suotovesien keräys ja analysointi

Kompostimateriaalien läpi suodattunut vesi kerättiin pienkompostien alle laitettujen polystyreenistä valmistettujen alustojen (40 cm x 40 cm) avulla kannellisiin keräysastioihin. Keräysalustat olivat

Kuva 2
Lämpötila pienkomposteissa kesällä 1999 ja 2000.



Taulukko 2 pH, C/N-suhde, kosteus ja painuminen eri käsittelyissä kesällä 1999 ja 2000.

Käsittely	pH		C/N-suhde		Kosteus (%)	Painuminen (%)
	aloitus	lopetus	aloitus	lopetus		
Hevoselanta (H99)	6,8	6,9	34	28	64	30
Taimijäte (TJ99)	4,6	5,0	42	36	69	18
Haketettu taimijäte (TJ00)	5,8	6,1	35	30	53	26
Urea (U00)	6,3	5,0	21*	22	53	20
Metyleeniurea (MU00)	5,9	4,8	21*	20	50	22
Optimiarvo	6–10		25–35		50–60	-

* C/N-suhde urea- ja metyleeniurealisäyksen jälkeen.

pienempiä kuin pienkompostien pohjan pinta-ala (70 cm x 70 cm), koska astioihin ei haluttu kerätä kompostien seinämiä pitkin valuvaa vettä. Suotovettä kerättiin 12 viikon ajan (20.6.–15.9.). Suotoveden määrä mitattiin ensimmäisenä kesänä viikon välein ja toisena kesänä kahden tai kolmen viikon välein riippuen keräysastioihin suodattuneen veden määrästä. Suotovesistä mitattiin pH ja johtokyky. Kerätyistä vesinäytteistä analysoitiin kokonais-, ammonium- ja nitraattityppi sekä kokonaisfosforipitoisuudet.

Tulokset

Lämpötila

Lämpötila nousi yli 60 °C:n vain kesän 1999 korkean typpipitoisuuden prosessissa (käsittely H99), jossa hevoselantaa lisättiin haketetun taimijätteen sekaan ennen kompostointia. Lämpötila nousi nopeasti 67±2 °C:een ja pysyi 1,5 viikon ajan yli 40 °C. Alussa sekä urea- (U00) että metyleeniureakäsittelyissä (MU00) tapahtui lämmön nousua noin + 40 °C:een, mutta nousu jäi lyhytaikaiseksi (kuva 2).

pH, C/N-suhde, kosteus ja painuminen

pH oli korkein materiaalissa, johon oli lisätty hevoselantaa (H99). Kaikissa muissa käsittelyissä kompostien materiaali oli hapanta koko seurantajakson ajan (taulukko 2).

Hajoamisen seurauksena hiili/typpi-suhde pieneni eniten materiaalissa, johon oli lisätty hevoselantaa (H99). Vuonna 2000 hiili/typpi-suhde oli 35±1 peruskasassa ennen urea- ja metyleeniurealisäystä. Urea- ja metyleeniurealisäysten seurauksena C/N-suhde

laski ennen kompostointia laskelmien mukaan 21:een. C/N-suhde oli samaa suuruusluokkaa seurantajakson lopussa (taulukko 2).

Erilainen lähtökosteus kesällä 1999 ja 2000 saattoi vaikuttaa siihen, että vuosien välinen ero kosteuden suhteen oli merkitsevä. Ensimmäisenä kesänä kompostien kosteus oli korkeampi kuin kesällä 2000, jolloin kosteus pysyi kaikissa käsittelyissä lähellä optima (taulukko 2).

Painuminen oli voimakkainta käsittelyssä, jossa typpilähteenä käytettiin hevosenlantaa (H99). Materiaali painui 12 viikon aikana 30 ± 1 % (taulukko 2).

Suotoveden määrä ja ravinnepitoisuudet

Kompostoidun materiaalin läpi suodattuneen veden määrä erosi eri käsittelyissä. Vettä suotui eniten (38 % sateesta) komposteista, joissa taimijätteen sekaan oli lisätty hevosenlantaa (H99) (taulukko 3). Suotovesien ravinnepitoisuudet samansuuruiset kesän 1999 ja 2000 taimijätekomposteissa (TJ99 ja TJ00). Typpilisäyksen saaneissa käsittelyissä typpipitoisuudet olivat moninkertaiset verrattuna matalatyyppiin taimijätekomposteihin. Fosforin keskimääräinen pitoisuus suotovesissä oli selvästi korkein (211 mg/l) komposteissa, joihin oli lisätty hevosenlantaa (H99) (taulukko 3).

Maaperään huuhtoutuneiden ravinteiden kokonaismäärä (kg/ha) oli merkittävää pienkomposteista, joihin oli lisätty typpeä. Huuhtoutuneen kokonaistypen jakautuminen nitraatti-, ammonium- ja orgaaniseen tyyppeen vaihteli käsittelyittäin (kuva 3a). Fosforin huuhtoutuminen oli selkeästi runsainta hevosenlanta lisäyksen (H99) saaneista pienkomposteista (kuva 3b).

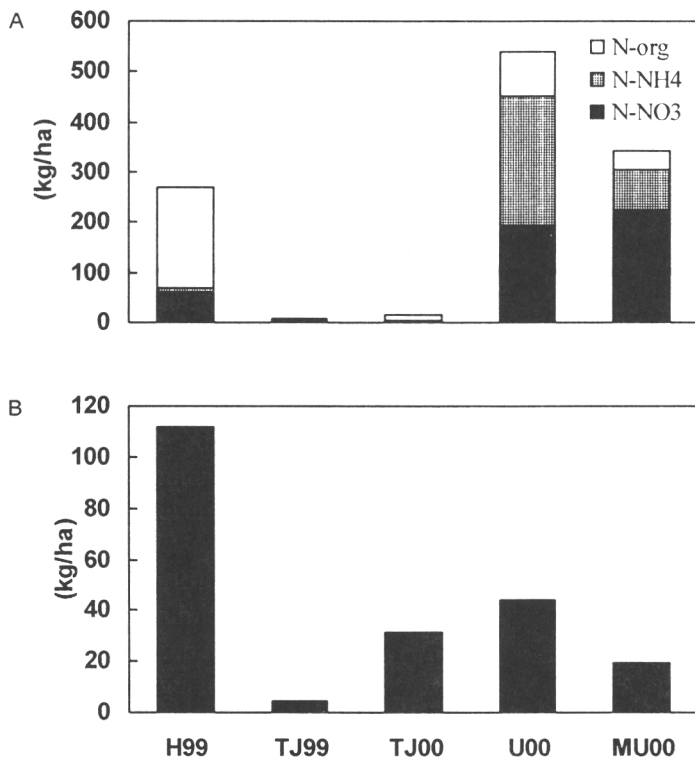
Taulukko 3 Pienkomposteista suodattuneen veden määrä ja keskimääräiset ravinnepitoisuudet kesällä 1999 ja 2000.

Käsittely	Suotovettä (%:a sateesta)	Kokonaistyyppi- pitoisuus(mg/l)	Kokonaisfosfori- pitoisuus (mg/l)
Hevosenlanta (H99)	38	524	211
Taimijäte (TJ99)	11	28	11
Haketettu taimijäte (TJ00)	26	22	47
Urea (U00)	29	731	58
Metyleeniurea (MU00)	20	859	38

Kuva 3

Typen (a) ja fosforin (b) huuhtoutuminen maaperään pienkomposteista kesällä 1999 ja 2000.

H99 = hevosenlanta
TJ99 = taimijäte
TJ00 = taimijäte
U00 = urea
MU00 = metyleeniurea



Johtopäätökset

Tässä työssä saadut alustavat tulokset osoittavat, että metsäpuiden taimijätteen kompostointi on mahdollista. Karkein materiaali on kuitenkin haketettava ennen kompostointia ja hiili/typpi-suhdetta on parannettava, jotta kompostointi onnistuisi. Urean ja metyleeniurean käyttö typpilähteenä ei tuottanut odotettuja tuloksia. Lämpötila nousi näissä käsittelyissä vain hetkeksi yli 40 °C eli termofiilille alueelle. Painuminen oli myös hidasta ja materiaalin happamuus lisääntyi, kun typen lähteenä oli urea tai metyleeniurea. Tämä viittaa siihen, että olosuhteet kompostoitumiselle eivät olleet suotuisat näissä käsittelyissä (Gray ym. 1971).

Kompostoituminen oli tehokasta, kun taimijätteeseen lisättiin hevosenlantaa. Hevosenlanta toi ilmeisesti typen lisäksi mukanaan mikrobeja, joiden ansiosta kompostoitumisprosessi pääsi nopeasti alkuun ja lämpötila nousi jätemateriaalissa nopeasti termofiilille alueelle (Alexander 1961). Myös korkeamman pH:n ansiosta olosuhteet olivat suotuisat tehokkaalle mikrobiologiselle hajotustoiminnalle. Termofiilinen vaihe jäi kuitenkin haluttua lyhyemmäksi, sillä ilmeisesti hevosenlannan helppoliukoiset typpiyhdisteet

kuluivat nopeasti. Kompostin sisäosien hygienisoitumisen kannalta tämä jakso lienee kuitenkin ollut tarpeeksi pitkä (Hoitink ym. 1976, Yuen ja Raabe 1984, Grundy ym. 1998).

Tässä kokeessa komposteja ei käännetty, paitsi kun matalan tyypipitoisuuden prosessiin (TJ99) lisättiin kitkentäjätettä, jotta lämpötila saataisiin nousemaan. Kompostin kääntö kuuluu yleensä kompostin hoitoon, sillä materiaalin sekoittamisella varmistetaan, että lämpötila nousee riittävän korkeaksi kaikessa materiaalissa, kun käännön yhteydessä ulkoreunoilla ollut aines pyritään saamaan kompostin keskiosiin hygienisoitumaan (Gray ym. 1971, Haug 1993).

Pääosa mikrobeille käyttökelpoisesta energiasta on sitoutunut kompostissa selluloosaan. Selluloosan tiedetään hajoavan tehokkaimmin 45-55 °C lämpötiloissa (Gray ym. 1971, Tuomela ym. 2000). Tässä tutkimuksessa vain hevosenlantaa sisältävässä jättemateriaalissa saavutettiin näin korkea lämpötila. Korkeammissa lämpötiloissa, joissa selluloosaa hajottavat sienet eivät enää kasva, lisääntyy sädesienien määrä (Alexander 1961). Hemiselluloosaa hajottavien sädesienien määrä pysyy vielä korkeana jäähtymisvaiheessakin (Crawford 1983). Ligniinin monimutkaisen rakenteen on katsottu estävän sen hajoamisen kompostissa (Haug 1993). Viimeaikaisten selvityksen mukaan ligniini voi kuitenkin hajota kompostissa, mikäli termofiilinen vaihe on riittävän pitkä (Tuomela ym. 2000). Kypsymisvaiheessa kompostin lämpötila ei enää kohoa ja sen aikana kompostissa pitäisi olla paljon lieroja, hyppyhäntäisiä, tuhatjalkaisia, kovakuoriaisia ym. maaperäeläimiä. Tässä vaiheessa myös kantasienten rihmasto voi jatkaa ligniinin hajotusta (Tuomela ym. 2000). Tässä kokeessa kompostit purettiin ennen kypsymisvaihetta, koska tutkimukseen liittyi myös kysymys patogeenien tuhoutumisesta kompostoinnin aikana. Tästä aiheesta valmistuu raportti myöhemmin.

Suotoveden määrä oli suurin komposteista, joihin oli lisätty hevosenlantaa. Vettä suodattui materiaalin läpi vain vähän kompostoinnin alussa, termofiilisen vaiheen aikana, jolloin vettä kului kompostin sisäisessä prosessissa. Suotovettä alkoi muodostua, kun kompostoituminen eteni jäähtymisvaiheeseen ja materiaalin lämpötila laski vähitellen ympäristön lämpötilaan. Kesän 2000 pienkomposteista suodattui vettä vähemmän kuin kesän 1999 hevosenlanta käsittelystä, vaikka sademäärä oli kesän 2000 kokeen aikana suurempi kuin kesän 1999 kokeen aikana. Suotoveden vähäisempi määrä kesällä 2000 selittyy osittain sillä, että kompostimateriaalin pinnassa kasvavia rikkakasveja ei kitketty pois kesällä 2000. Rikkakasvikasvusto kulutti vettä ja lisäsi haihduntaa. Suotoveden määrään voidaan käytännössä vaikuttaa peittämällä kompostit tai aumakompostoinnissa kattamalla koko kompostointialue. Katta-

minen on perusteltua Suomen ilmasto-olosuhteissa. Kompostien jäähtyminen ajoittuu syksyyn, jolloin myös sademäärät saattavat olla suuria. Kattaminen estää myös lumen kasaantumisen kompostien päälle talven aikana, jolloin vältytään lumen sulamisvesiltä.

Typpeä huuhtoutui 20 – 40 kertaa enemmän pienkomposteista, joihin oli lisätty typpeä (hevosenlanta, urea ja metyleeniurea) kuin pelkkää metsätaimijätettä sisältävistä pienkomposteista (kuva 3a). Typpi huuhtoutui eri muodoissa eri käsittelyistä. Hevosenlanta- ja kesän 2000 taimijätekomposteista huuhtoutui eniten orgaanista typpeä (70–80 %), kun taas urea- ja kesän 1999 taimijätekomposteista huuhtoutui noin puolet typen kokonaismäärästä ammoniumtyppenä. Metyleeniureakomposteista huuhtoutuneesta tyypestä oli 65 % nitraattityppeä. Ammoniumtypen huuhtoutuminen viittaa siihen, kompostoitumisprosessi ei ole edennyt toivotulla tavalla. Esimerkiksi materiaalin liika happamuus tai hapenpuute on saattanut estää nitrifikaatiobakteerien toiminnan, jolloin ammoniumtyppeä ei ole saatu muutettua nitraattitypeksi. Nitrifikaatiobakteerit toimivat parhaiten neutraaleissa (pH 6-8) ja hapellisissa olosuhteissa.

Suotovesien fosforipitoisuus nousi selvästi, kun taimijätteeseen lisättiin hevosenlantaa. Toisaalta hevosenlannan mukana tulevalta fosforilla saattaa olla merkittävä vaikutus kompostointiprosessin toimintaan. Typen puute on ensisijainen kompostoitumista rajoittava tekijä. Myös muiden ravinteiden, kuten fosforin puute voi olla ratkaiseva kompostointiprosessin toiminnan kannalta. Tämän tutkimuksen perusteella hevosenlanta on tehokkaampi lisäaine metsätaimijätekompostiin kuin urea- tai metyleeniurealannoite. Ravinnerikasta seosainetta lisättäessä on muistettava huolehtia suotovesien keräyksestä, jotta ravinnehuuhtoumat maaperään voidaan estää. Jatkossa tulee selvittää, miten kompostin kattaminen vaikuttaa suotovesien määrään ja voidaanko kattamisella estää ravinteiden huuhtoutumista maaperään.

Tässä tutkimuksessa saadut alustavat tulokset osoittavat selvästi, että kompostitutkimusta kannattaa jatkaa tulevaisuudessa. Taimimateriaalin kompostoituminen ei ehkä tapahdu nopeasti ja kompostit kannattaneet peittää, jotta vältytään rikkakasvikasvustoilta kompostin pinnassa, ja saataisiin lämpötila nousemaan korkeammalle myös materiaalin pintaosissa. Ajan kanssa saadaan varmasti kompostia, jonka humuspitoisuus on korkea ja jota voitaneen hyödyntää osana puun taimien kasvualustaa.

Kirjallisuus

- Alexander, M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, Inc. 472 s.
- Crawford, J.H. 1983. Composting of agricultural wastes: a review. *Process Biochemistry*, January/February: 14-18.
- Gray, K.R., Sherman, K. & Biddlestone, A.J. 1971. A review of composting - Part 1. *Process Biochemistry* June 1971: 32-36.
- Grundy, A.C., Green, J.M. & Lennartson, M. 1998. The effect of temperature on viability of weed seeds in compost. *Compost Science & Utilization* 3: 26-33.
- Haug, R. 1993. The practical handbook of compost engineering. Lewis publishers, Boca Raton. 717 s.
- Hoitink, H.A.J., Herr, L.J. & Schmitthenner, A.F. 1976. Survival of some plant pathogens during composting of hardwood tree bark. *Phytopathology* 66: 1369-1372.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A. & Itävaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology* 72: 169-183.
- Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Vääntinen, K. & Heinonen-Tanski, H. 1999. Metsätaimien jätteenhoito - Ohjeita jätteenhoitojärjestelyjen kehittämiseksi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 738. 59 s.
- Yuen, G.Y. & Raabe, R.D. 1984. Effects of small-scale aerobic composting on survival of some fungal pathogens. *Plant Disease* 68: 134-136.



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



ISBN 951-40-1858-3