



## **Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla**

”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriöt” -hankkeen loppuraportti

*Risto Rikala (toim.)*

Suonenjoen tutkimusasema





# Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla

”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriöt” -hankkeen loppuraportti

*Risto Rikala (toim.)*



## Kirjoittajat

*Pedro Aphalo*, Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, pedro.aphalo@cc.jyu.fi

*Tenho Hynönen*, Metsäkeskus Pohjois-Savo, tenho.hynonen@metsakeskus.fi

*Maarit Kytö*, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, maarit.kyto@metla.fi

*Anu Lavola*, Joensuun yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, biologian laitos, anu.lavola@joensuu.fi

*Tarja Lehto*, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, tarja.lehto@joensuu.fi

*Timo Makkonen*, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, timo.makkonen@tapio.fi

*Marjoriitta Möttönen*, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, marjoriitta.mottonen@joensuu.fi

*Tapani Repo*, Metla, Joensuun tutkimuskeskus, tapani.repo@metla.fi

*Risto Rikala*, Metla, Suonenjoen tutkimusasema, risto.rikala@metla.fi

*Mikko Räisänen*, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, mikko.raisanen@joensuu.fi

*Anna Saarsalmi*, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, anna.saarsalmi@metla.fi

*Sirkka Sutinen*, Metla, Joensuun tutkimuskeskus, sirkka.sutinen@metla.fi

*Pekka Tamminen*, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, pekka.tamminen@metla.fi

*Martti Vuorinen*, Metla, Suonenjoen tutkimusasema, martti.vuorinen@metla.fi

**Rikala, Risto (toim.)** 2004. Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla ”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriöt” -hankkeen loppuraportti  
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 934  
68 sivua. ISBN 951-40-1944-X

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema

Hyväksytty painettavaksi: Kari Mielikäinen 1.11.2004

Tilaukset: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa  
Puh. 010 2111, fax 010 211 2101

Kansikuva: Tyypillinen kasvuhäiriökuusikko, jossa osa puista on pahasti häiriintyneitä ja osa terveennäköisiä (Erkki Oksanen)

Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala 2004

# Sisältö

---

Alkusanat .....	4
PUIDEN KASVUHÄIRIÖT VILJAVILLA KIVENNÄISMAILLA – YHTEENVETO	
– <i>Risto Rikala</i>	
1 Johdanto .....	5
2 Kasvuhäiriöoireisto .....	6
3 Häiriöihin johtavat syyt .....	9
4 Kasvuhäiriöiden esiintyminen ja taloudellinen merkitys .....	12
5 Kasvuhäiriöiden tunnistaminen ja ennakoiminen .....	13
6 Lannoitus häiriön torjuntakeinona .....	15
7 Johtopäätökset .....	16
Kirjallisuus .....	17
TUTKIMUSARTIKKELIT	
I Kasvuhäiriön solutason oireisto ja sen kehittyminen – <i>Sirkka Sutinen, Risto Rikala ja Tarja Lehto</i> .....	21
II Nuorten kuusikoiden kasvuhäiriön maantieteellinen esiintyminen ja booritalanne viljavilla kivennäismailla Etelä-Suomessa – <i>Pekka Tamminen ja Anna Saarsalmi</i> .....	26
III Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savossa ja niiden taloudellinen merkitys – <i>Tenho Hynönen ja Timo Makkonen</i> .....	30
IV Sienituhot kasvuhäiriökuusikoissa – <i>Martti Vuorinen</i> .....	35
V Eläimet kasvuhäiriöiden aiheuttajina – <i>Maarit Kytö</i> .....	38
VI Boorin puutoksen vaikutus kuusen talvenkestävyyteen – <i>Mikko Räisänen, Tapani Repo ja Tarja Lehto</i> .....	41
VII Boorin merkitys puiden hienojuurille ja mykorritsoille – <i>Tarja Lehto, Marjoriitta Möttönen, Mikko Räisänen, Anu Lavola ja Pedro Aphalo</i> .....	47
VIII Boorilannoituksen vaikutus kasvuhäiriökuusikon ravinnetilaan ja kehittymiseen – <i>Anna Saarsalmi ja Pekka Tamminen</i> .....	53
IX Booripitoiset lannoitteet ja nuoren kuusikon toipuminen häiriöstä – <i>Tenho Hynönen</i> .....	58
X Boorilannoitteen syyslevitys kuusikossa – <i>Risto Rikala ja Martti Vuorinen</i> .....	62
XI Koivikoiden booripitoisuuden ja kasvuhäiriöiden yhteys – <i>Risto Rikala ja Martti Vuorinen</i> ..	64

Itä-Suomessa, erityisesti Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella, havaittiin 1980-luvulla viljavien maiden nuorissa istutuskuusikoissa epänormaalia kehitystä, joka ilmeni kasvaimien kuolemisena, pituuskasvun tyrehtymisenä ja latvusten pensastumisena. Aluksi kasvuhäiriöistä keskusteltiin retkeilyillä ja niistä kirjoitettiin lehdistärtikkeleissa. Myöhemmin ongelma koettiin niin vakavaksi, että asiasta oli tarpeen tehdä selvitys. Vuonna 1999 metsätalouspäällikkö Tenho Hynösen johdolla käynnistyi selvitys, jossa kartoitettiin kasvuhäiriön esiintymistä ja taloudellista merkitystä Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella, Pohjois-Savon työvoima- ja elinkeinokeskuksen ja Maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella. Työn vielä kestäessä katsottiin aiheelliseksi aloittaa tutkimus kasvuhäiriön syiden ja torjuntakeinojen selvittämiseksi. Metsätutkimuslaitos käynnistikin vuonna 2000 prof. Eino Mälkösen johdolla laaditun suunnitelman pohjalta hankkeen ”Kaskialueen kuusikoiden kasvuhäiriöt”. Maa- ja metsätalousministeriön myöntämä lisärahoitus mahdollisti Joensuun yliopiston ja Pohjois-Savon metsäkeskuksen mukaantulon hankkeeseen, ja siten tutkimustyötä ja tutkimustiedon jalkauttamista pystyttiin merkittävästi laajentamaan.

Hankkeen aikana (2000–2004) työ jakautui useisiin osatutkimuksiin. Raportin alkuosan yhteenvedon on tarkoitus antaa kokonaiskuva hankkeen päätuloksista täydennettynä kirjallisuustiedoilla. Jälkimmäisen osan tutkimusartikkeleihin on koottu osatutkimusten keskeiset tutkimusmenetelmät, tulokset ja johtopäätökset.

Esitämme parhaat kiitokset kaikille hanketta tukeneille sekä siinä mukana olleille henkilöille ja tahoille. Erityisesti olemme kiitollisia seuraaville metsänomistajille, jotka ovat antaneet meille mahdollisuuden perustaa mailleensa kokeita ja kerätä näytteitä: Viljo Holopainen (Kuopio), Eero Jalkanen (Rautalampi), Rauno Miettinen (Tuusniemi), Matti Myllysen perikunta (Kiuruvesi), Heikki Ruotsalainen (Varpaisjärvi), Martti Siimes (Lapinlahti), Pekka Väänänen (Varpaisjärvi), Ari Tuomainen (Vehmersalmi), Karjalaisen Kulttuurin Edistämisseätiö ja Stora Enso Oyj.

Suonenjoella lokakuussa 2004

*Risto Rikala*

# Puiden kasvuhäiriöt viljavilla kivennäismailla – Yhteenveto

Risto Rikala

## 1 Johdanto

Metsäpuilla esiintyviä kasvuhäiriöitä on tunnettu ja tutkittu Suomessa jo vuosikymmeniä. Häiriintyneistä puista tehtiin havaintoja 1950-luvulla ojitetuilla soilla ja lannoituskoekentillä (Huikari 1951). Systemaattisempi tutkimustyö etupäässä suometsien männiköiden häiriöiden kuvaamiseksi sekä syiden ja torjuntamenetelmien selvittämiseksi aloitettiin 1970-luvulla (Veijalainen ym. 1984, Kolari 1983, 1988). Boorinpuutos todettiin keskeiseksi syyksi suopuustoissa ilmenneisiin kasvuhäiriöihin. Kaikilla kasvupaikoilla boorilannoitus ei kuitenkaan vähentänyt häiriötä. Epäonnistumisen riski todettiin suureksi tietyillä siniheinäisillä soilla, vesijättömailla ja maanviljelyn köyhdyttämällä turvemaapelloilla.

Kivennäismailla kasvuhäiriöihin kiinnitettiin huomiota vasta myöhemmin. Tosin Juutinen (1962) kuvaa jo 1950-luvulla esiintyneitä muotovikoja ja voimakasta pensastumista viljelykuusikoissa, joista löytyi erilaisia ”versosieniä”, mutta joiden perimmäiseksi syyksi hän arveli hallan tai pakkasen vioituksia. Ensimmäiset havainnot kuusien latvakuivumisista Pohjois-Savossa tehtiin ilmeisesti 1960-luvulla (Järveläinen & Lilja 1961). Suometsien kasvuhäiriötutkimuksen yhteydessä selvitettiin myös kivennäismailla esiintyviä kasvuhäiriöitä. Vuonna 1976 tehdyn kyselyn mukaan 65 % kasvuhäiriökuusikoista oli kivennäismailla ja niistä valtaosa sijaitsi Etelä- ja Kaakkois-Suomessa (Veijalainen 1978, 1983). Häiriökuusikoiden tarkastuksissa Etelä-Suomessa boorinpuutos selitti osan metsitettyjen turvemaapeltojen kasvuhäiriöistä, mutta kivennäismaiden häiriökuusikoissa ravinnepitoisuudet viittasivat muuhun kuin hivenravinnepuutokseen (Silverberg 1980). Merkittävä osa näistä häiriöistä luettiin kevähallan, tuomiruosteen, versosyövän, pakkaskuivumisen ja hyönteisten aiheuttamiksi.

Pohjois-Suomessa, erityisesti typpilannoitettujen männiköiden latvakuivumisen syyksi on arveltu lannoitustypen aiheuttamaa booripitoisuuden laskua (Saarsalmi & Mälkönen 2001).

Kasvuhäiriötä, joka ilmeni silmuhäiriöinä ja monilatvaisuutena esiintyi myös taimitarhoilla kasvatettavissa taimissa 1980-luvun alussa. Ilmiötä tutkittiin alussa ravinnetasapainohäiriönä, mutta lopulta aiheuttajaksi osoittautui hyönteinen, peltolude (Holopainen & Rikala 1991, Raitio ym. 1992).

Kivennäismaiden kasvuhäiriöt kuusikoissa nousivat uudelleen esille 1990-luvulla, jolloin Pohjois-Savossa käytännön metsäammattilaiset kiinnittivät lisääntyvää huomiota kuusikoiden epänormaaliin kehitykseen (Hynönen 1998) ja ilmiön vakavuutta alettiin kartoittaa (Hynönen ym. 1999). Lisäselvitykset katsottiin kuitenkin tarpeelliseksi, koska häiriökuusikoita oli käytännön lupaavien kokemusten perusteella alettu jo lannoittaa boorilla, mutta lopullista varmuutta ongelman syystä ei vielä ollut.

Sekä nuorissa (Hynönen ja Makkonen 1999, Saksa ym. 2003) että vanhemmissa 15–20-vuotiaissa pelloille istutetuissa rauduskoivikoissa (Hynönen ja Saksa 1997ab, Hytönen 1999) on myös havaittu erilaisia muotovikoja ja häiriöitä, joiden syitä ei ole täysin selvitetty. Samoin nuorissa yleensä alle metrin mittaisissa männyntaimikoissa voi olla runsaastikin erilaisia runkovikoja. Juutisen (1962) mukaan keskimäärin 7 % männyn istutustaimista ja 5 % kylvötaimista oli monilatvaisia ja kaikkiaan erilaisia muotovikoja esiintyi kolmasosalla taimista.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kangasmetsissä ilmenneiden erityisesti kuusikoita vaivaavien kasvuhäiriöiden syyt sekä mahdollisuudet niiden välttämiseksi tai kasvun normalisoimiseksi. Hanketta suunniteltaessa häiriöiden syyksi oletettiin ravinne-epätasapainoa, halla- ja

pakkasvaurioita, tauteja ja hyönteisiä. Ravinnehäiriöoletus painottui boorinpuutokseen. Suomen kallioperässä on niukasti booria ja sisämaahan sadeveden mukana tulevan boorin määrä vähennee etäisyyden mereen kasvaessa (Wikner 1983). Vaikka aikaisemmat selvitykset kivennäismaakuusikoissa (Silfverberg 1980) eivät juuri tuke-neet boorinpuutosolettamusta, oli kalkituskoikeilla tehty havaintoja boorinpuutoksen ja kuusien latvakuolemien yhteydestä (Lipas 1990, Lehto ja Mälkönen 1994). Myös muualla, kuten Pohjois-maissa, Australiassa ja Yhdysvalloissa on useilla puulajeilla tunnistettu samantapaisia boorinpuutoksen aiheuttamia kasvuhäiriöitä (Stone 1990). Boorinpuutos vaikuttikin varsin todennäköiseltä syytä häiriöihin ja myös käytännön boorilannoituksesta oli saatu jo myönteisiä tuloksia (Hynönen ym. 1999).

Tavoitteen saavuttamiseksi hankkeessa tutkittiin seuraavia aiheita, joihin tekstissä viitataan jälkimmäisen osan tutkimusartikkelien roomalaisin numeroin:

- Kasvuhäiriöoireisto ja sen kehittyminen (I)
- Kangasmaiden nuorten kuusikoiden kasvuhäiriön maantieteellinen esiintyminen ja neulasten booripitoisuus (II)
- Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savossa ja niiden taloudellinen merkitys (aineisto kerätty aiemman metsäkeskus Pohjois-Savossa toteutetun hankkeen aikana) (III)
- Sienitaudit (IV) ja eläintuhot (V) kasvuhäiriöiden aiheuttajina
- Boorinpuutoksen vaikutus kuusen talvenkestävyyteen (VI)
- Boorin merkitys puiden hienojuurille ja mykorrhitsoille (boorin puutosvaikutuksia selvitettiin samanaikaisesti laajemminkin Joensuun yliopistossa muualta rahoitettujen hankkeiden yhteydessä) (VII)
- Boorilannoituksen vaikutus kasvuhäiriökuusikon ravinnetilaan ja kehittymiseen (VIII)
- Boorilannoitteet ja nuoren kuusikon toipuminen häiriöstä (IX)
- Boorilannoitteen syyslevitys kuusikossa (X)
- Koivikoiden booripitoisuuden ja kasvuhäiriöiden yhteyksiä (XI)

Työn kuluessa saimme myös ilmoituksia kasvuhäiriöisistä metsistä metsänhoitoyhdistyksiltä ja yksityisiltä metsänomistajilta. Useita kohteita käytiin tarkastamassa ja otetuista neulas/lehtinäytteistä teetetety analyysit täydensivät varsinaisen koetoiminnan tuloksia.

## 2 Kasvuhäiriöoireisto

### *Puu- ja metsikkötaso*

Kasvuhäiriö ilmenee puiden maanpäällisissä osissa aluksi latvassa kasvupisteen tai johtavan kasvaimen kuivumisena ja kuolemana, minkä seurauksena lähimmästä terveestä kasvaimesta yleensä muodostuu uusi vallitseva latva (kuva 1). Mikäli myös tämä kasvain ja mahdollisesti myös muut latvakerkän kasvaimista vaurioituvat tai kuolevat, kehittyä alemmista vuosikiehkuroista uusia vallitsevaksi latvakasvaimiksi pyrkiviä kilpalatvoja. Näin puun latvuksessa voi olla useita kilpalatvoja ja tilanteen jatkuessa latva pensastuu (kuva 2). Pahimmillaan puu voi pensastua jo 1–2 metrin mittaisena ja se jää muun latvuston varjoon ja vähitellen kuolee (kuva 3). Vaikka tällainen puu ei jäisi varjoonkaan, saattavat sen neulaset vähitellen ruskettua ja kuolla. Eräissä



**Kuva 1.** Puun kehittyminen monilataiseksi kasvuhäiriössä. Pääverson kärkisilmun kuollessa (ruskea silmu) usein viereiseen sivukasvaimen terveestä kärkisilmusta (vihreä) kehittyvä kasvain ottaa johtavan kasvaimen paikan. Jos seuraavana vuonna tämän kasvaimen kärkisilmu kuolee, kehittyä johtava kasvain taas seuraavasta terveestä kärkisilmusta. Kun useamman kasvaimen kärkisilmut pyrkivät ottamaan johtopaikan, muodostuu useita kilpalatvoja ja puun latvus pensastuu.



**Kuva 2.** 34-vuotisen 10 metriä pitkän kuusen pensastunut latvus (Risto Rikala).



**Kuva 3.** Voimakkaasti pensastunut ja kuollut kuusi (Risto Rikala)

tapauksissa ensiharvennusvaiheen kuusen latva kuivuu ja kuolee 1–2 metrin matkalta ilmeisesti varsin nopeasti ilman ”ennakoivaa” vähittäistä latvanvaihtoa tai pensastumista (kuva 4).

Puu voi kärsiä häiriöistä vuosia, mutta sitten se saattaa ”löytää latvan” ja toipua yksilatvai-



**Kuva 4.** Nopeasti kuivunut latva kuusessa, jonka neulasten booripitoisuus oli 3 mg/kg (Risto Rikala).

seksi. Tällainen vuorottelu häiriövaiheen ja normaalikasvun välillä voi tapahtua useita kertoja. Häiriövaiheesta jää runkoon merkinä yleensä ranganvaihto, haarautuma, poikaoksa, runkomutka tai oksatihentymä (kuva 5). Seurantatutkimuksen (I) 34-vuotiaassa, 10–12 metrisessä latvustoltaan voimakkaasti kasvuhäiriöisessä kuusikossa löydettiin rungoissa 2–6 aiemmista häiriövaiheista kertovaa oksatihentymää, haarautumaa tai poikaoksa. Ensimmäiset häiriöt olivat tapahtuneet keskimäärin 12 vuoden iässä puiden ollessa noin vajaa 3 m pitkiä, mihin pituuteen osa puista oli pensastunut. Yleensä kasvuhäiriöoireet alkavatkin ilmetä selvästi vasta 8–15-vuotuisissa puustoissa, jos alkuvaiheen mahdollisia hyönteis- ja hallavaurioiden aiheuttamia häiriöitä ei lasketa mukaan.

Häiriintyneiden puiden osuus ja yksittäisten puiden häiriintymisaste voi vaihdella paljon metsikössä (ks. kansikuva). Pahimmillaan kaikki puut ovat eriasteisesti häiriintyneet, mutta häiriö voi myös esiintyä laikuttaisesti. Kasvuhäiriöiset kuusikot ovat usein tiheitä (1500–2500 runkoa/ha) istutusmetsiä, mutta myös luontaisesti syntyneissä puissa ja metsiköissä esiintyy häiriöitä. Riukuvaiheen metsiköissä häiriöiden havaitsemi-



**Kuva 5.** Häiriöistä jää runkoon merkiksi haaraumia ja poikaoksia. Kuvassa 34 vuotiaan kuusen latvaosa, jossa lukuisia poikaoksia ja ranganvaihtoja (Erkki Oksanen).

nen ei ole aina helppoa, koska puiden latvuksia on vaikea nähdä ja runkoviivat peittyvät oksistoon. Käytännössä häiriöt usein paljastuvatkin vasta ensiharvennuksessa.

Paitsi viljavien metsämaiden ja metsitettyjen peltomaiden viljelykuusikoissa, häiriötä esiintyy myös kivennäis- ja turvemaapelloille istutetuissa koivikoissa ja männiköissä (kuvat 6 ja 7). Vanhempien mäntylviljelmien kasvuhäiriöihin ei tässä yhteydessä varsinaisesti puututa, koska viljavilla mailla niiden laatu on yleensä muutenkin heikko.

Nuoria hies- (Hynönen ja Makkonen 1999) ja rauduskoivikoita (Saksa ym. 2003) vaivaavat niin ikään runkomutkat ja monilatvaisuus, kun taas vanhemmissa, 15–20-vuotiaissa koivikoissa häiriöoireet ovat moninaisemmat ja vaikeammin kuvattavissa. Yleisimpiä oireita ovat haarautu-



**Kuva 6.** Boorinpuutoksen aiheuttamia kasvuhäiriöitä männynissä, kuusissa ja koivuissa entisellä kivennäismaapellolla (Risto Rikala).



**Kuva 7.** Siirtomaiden läjitysalueelle istutetun 20-vuotiaan noin kolmimetrisen männyn latvus, jota vaivaa ankaran boorinpuutos (1,1 mg/kg) (Risto Rikala).

miset eri ikävaiheissa, runkomutkat, poikaoksat, paksuoksaisuus, kuolleet paksut oksat sekä kuolleet latvakasvaimet ja sitä seuraava latvan penastuminen (Hynönen ja Saksa 1997ab, Hytönen 1999). Kivennäismaiden nuorissa mäntytaimikoissakin esiintyy runsaasti ranganvaihtoja ja monilatvaisuutta (Juutinen 1962). Myös ulkomaisten havupuiden viljelmillä (eri kuusi- ja pihталajit) voi esiintyä kasvuhäiriöitä (kuva 8), jotka liittyvät boorinpuutukseen. Niitäkään ei kuitenkaan muutamaa tarkistustapausta lukuun ottamatta tutkittu tässä yhteydessä.



**Kuva 8.** Voimakkaasti häiriintynyt 23-vuotias entselle kivennäismaapellolle perustettu mustakuusiviljelmä Suonenjoella. Neulasten booripitoisuus 1,3–3,0 mg/kg. (Erkki Oksanen).

### *Häiriön kehittyminen ja oireet solukkotasolla*

Kuusen kasvuhäiriön syntyajankohtaa ja -tapaa selvitetiin ottamalla kasvukauden eri vaiheissa näytteitä häiriöisten ja terveennäköisten kuusien silmuista ja neulasista (I). Edellisenä kesänä syntyneeseen kärkisilmuun muodostuneiden alkeisneulasten pidentyminen alkaa toukuun alkupuoliskolla, jolloin seuraavan vuoden keväällä puhkeavan silmunkin varhaisimmat kehitysvaiheet muodostuvat jo pieniksi solurykelmiksi. Tuossa vaiheessa, erityisesti kasvuhäiriökuusten silmuissa, havaittiin tanniinin kertymistä soluihin ja jopa kuolleita soluja. Tanniinit voivat olla myrkyllisiä soluille aiheuttaen lopulta solun kuoleman (Cakmak ja Römheld 1997).

Elokuun puoliväliin mennessä uusiin eläviin silmuihin kehittyi noin 1 mm pituinen alkeisvarsi, jonka soluihin muodostui tanniinia huomattavasti enemmän kasvuhäiriöpuissa kuin terveennäköisissä puissa. Uusi silmu oli valmis syyskuun puolivälissä, eli silmun kehitys kestää koko kesän ja kehityshäiriöt tai kehityksen pysähtyminen näyttää voivan tapahtua milloin tahansa kesän aikana. Havaittu kärki- ja sivusilmujen kehityksen aikainen tuhoutuminen tai osittainen vaurioituminen sekä latvassa että ylimmissä sivuoksissa selittää kuusissa kasvun häiriintymisen ja latvan pensastumisen (kuva 2).

Latvan vaurioituminen saattaa myös olla rajumpi niin, että latvus kuolee useamman metrin matkalta muutamassa vuodessa. Tällaisia metsiköitä löydettiin (kuva 4), mutta kokeissa tätä tyyppiä esiintyi lievempänä vain Vehmersalmen lannoituskokeella (IX). Kaikki edellä kuvatut oireet liittyivät kasvuhäiriökuusiin, joilla oli voimakas boorinpuutos.

Kasvuhäiriön oireet todennäköisesti ilmenevät puun maanalaisissa osissa, juurenkärkien ja mykorritsojen muodostumisessa jo ennen silmuissa ja neulasissa näkyviä oireita. Taimikoissa juurten ja mykorritsojen väheneminen oli ensimmäinen paljain silmin havaittava boorinpuutoksen vaikutus (VII). Mykorritsojen on puolestaan osoitettu ottavan booria maasta ja niiden heikkeneminen voi johtaa maanpäällisten osien heikompaan boorin saantiin (VII).

## **3 Häiriöihin johtavat syyt**

### *Ravinteet*

Tutkimuksessa vahvana lähtöolettamuksena oli, että boorinpuutos aiheuttaa kasvuhäiriöitä viljavien kivennäismaiden kuusikoissa. Oletukset perustuivat aiempiin, lähinnä suomilla tehtyihin tutkimuksiin sekä käytännön lannoitustoiminnassa saatuihin kokemuksiin. Eri kokeista ja yksittäisistä häiriömetsistä tehdyissä ravinnanalyseissä paljastuikin, että ainakin Pohjois-Savossa kuusikoiden booripitoisuudet ovat varsin alhaisia (<5mg/kg) (Hynönen ja Makkonen 2001, I, VIII). Myös koko Etelä-Suomen kattava kartoitus osoitti itäsuomalaisten kuusikoiden neu-

lasten alhaisen booripitoisuuden sekä voimakkaan riippuvuuden booripitoisuuden ja kasvuhäiriön välillä (II). Toisin sanoen, mitä matalampi neulasten booripitoisuus oli, sitä todennäköisemmin puut olivat kasvuhäiriöisiä. Toisaalta joissakin, päältäpäin terveennäköisissä metsiköissä tavattiin myös alhaisia (4 mg/kg) booripitoisuuksia (I).

Kasvukauden aikaisessa seurannassa kävi ilmi, että voimakkaasti häiriintyneissä kuusissa neulasten booripitoisuus pysyi alhaisena (<2 mg/kg) koko kesän ajan (I). Sen sijaan terveennäköisten puiden neulasten booripitoisuus, joka keväällä oli vain 2 mg/kg, nousi kesällä yli 6 mg/kg:aan sekä vanhoissa että uusissa neulasissa. Boorinpuutoksen vaivaamissa kuusissa havaittiin selviä solukkotason häiriöoireita silmuissa ja kehittyvissä kasvaimissa, ja ne johtivat kasvaimien kuolemiseen ja latvuston pensastumiseen (I).

Boorinpuutoksen osoittaminen häiriön syyksi edellyttää, että boorilannoituksella pystytään korjaamaan tilanne niin, että puiden kasvu palaa normaaliksi. Lannoituskokeissa kasvuhäiriökuusikoiden neulasten booripitoisuus nousi nopeasti lannoituksen jälkeen. Pääosa häiriintyneistä puista alkoi toipua boorilannoituksen seurauksena 2-4 vuoden kuluttua lannoituksesta (VIII, IX) (kuva 9).

Koivulla ravinne-epätasapainon, erityisesti boorinpuutoksen (Braecke 1979, Ferm ja Markkola 1985) ja myös liiallisen mangaanin (Raitio 1982) on esitetty aiheuttavan latvan pensastumista. Hankkeessa toteutetussa selvityksessä koivun lehtien ravinnepitoisuudet eivät kuitenkaan selittäneet koivujen kasvuhäiriöitä (XI). Aineistossa oli varsin terveennäköisiä koivikoita, joissa booripitoisuus oli alle 6 mg/kg ja vastavasti monilatvaisia ja pensoittuneita koivikoita, joissa booripitoisuus oli yli 15 mg/kg. Tosin myös Braecken (1979) mukaan booripitoisuuden vaihtelu häiriökoivuissa (1,5–16 mg/kg) oli selvästi suurempi kuin havupuilla.

Vaikka muidenkaan ravinteiden pitoisuus lehdistä ei selittänyt koivujen kasvun häiriintymistä, häiriö oli voimakkainta kasvupaikoilla, joilla pääravinteiden pitoisuus oli maassa korkea. Koska nämä kohteet olivat pääosin entisillä pelloilla, voisi häiriö olla seurausta ennen istutusta tapahtuneesta viljelytoiminnasta, lähinnä lannoituksesta ja kalkituksesta. Hynönen ja Makkonen (1999) havaitsivat, että kuparin, fosforin ja kaliumin



**Kuva 9.** Kolme vuotta lannoituksen jälkeen voimakkaasti kasvuhäiriöinen kuusi, joka on "löytänyt" latvansa (Risto Rikala).

kokonaispitoisuudet maassa selittivät yli puolet turvemaapeltojen kasvuhäiriöisten koivujen osuudesta.

#### Taudit

Kuusen kasvuhäiriöitä voivat aiheuttaa myös sienitaudit tuhoamalla silmuja tai latvakasvaimia. Tärkeimpiin näistä kuuluu kuusen tuomiruoste, joka käyristää tai tappaa latvaversoja. Infektion toistuessu useana peräkkäisenä vuonna kuusista tulee kasvatavaltaan haaroittuneita ja pensasmaisia (IV). Merkittäviä tuhoja tavataan, jos tuomia kasvaa runsaasti lähellä kuusia. Kuusen kasvuhäiriöalueilla, viljavilla kivennäismailla, tuomea

esiintyy yleisenä ilmeisesti laiduntamisen seurauksena (Kurkela 1994).

Koillis-Savossa toteutetun inventoinnin (III) kasvuhäiriökohteilla tavattiin yleisesti myös tuomiruosteen aiheuttamaa latvakasvainten kuolemista (IV). Tuomiruosteen esiintyminen ei näyttäisi riippuvan puuston boorivilanteesta, vaan sitä esiintyy niin boorinpuutosalueilla kuin boorilannoitetuissa metsissä. Kuusen tuomiruostetuhojen määrä vaihtelee vuodesta toiseen ja on yhteydessä sopiviin sääoloihin, ennen kaikkea riittävään ilmankosteuteen taudin kannalta tärkeänä itiöiden leviämisaikana.

Tuomiruostetuhot ovat helpoiten tunnistettavissa ja erotettavissa boorinpuutoksesta aiheutuvasta kasvuhäiriöstä tuomiruosteen versoihin aiheuttamien korojen perusteella. Erot eivät kuitenkaan ole varsinkaan varttuneissa metsiköissä aina helppoja havaita. Koska tuomiruostetta esiintyy puuston ravinnetilanteesta riippumatta, kannattaakin neulasista yleensä teettää ravinneanalyysi lannoitustarpeen selvittämiseksi.

Myös muuta sienilajistoa on löytynyt kasvuhäiriökuusten kuolleilta tai kuolevilta versoilta lukuisa joukko, mutta ensisijaisina taudinaiheuttajina ei niiden todettu esiintyneen (Juutinen 1962). Keski-Euroopassa *Sirococcus*-sieni on aiheuttanut sekä kuusitaimikoissa (Halmschlagel ym. 2000) että varttuneissa metsiköissä (Anglberger ym. 2003) kasvuhäiriöitä, joiden on arveltu liittyvän eräiden ravinteiden, lähinnä magnesiumin ja kalsiumin niukkuuteen. Meillä sieni on yleinen käpytuholainen ja esiintyy tuhonaiheuttajana myös taimitarhoilla. Kasvuhäiriön aiheuttajana kuusikoissa sitä ei ole havaittu.

Männyn kasvuhäiriöitä ei tässä hankkeessa tutkittu, mutta muutamiin häiriötapauksiin käytiin tutustumassa. Yleensä männyn häiriöistä kivennäismailla on kyse alle metrin mittaisista taimikoista. Eräissä tapauksissa männyn taimien pensastumista oli aiheuttanut männynversoruoste. Taudin, jonka toinen isäntäkasvi on haapa, iskeytyy alkukesällä uusimpaan männyn versoon aiheuttaen versoa käyristäviä koroja tai tappaen koko verson (Jukka 1988, Kurkela 1994, Uotila & Kankaanhuhta 1999). Tauti voi aiheuttaa nuorissa taimikoissa varsin pahoja muotovikoja, jopa taimien pensastumista (Juutinen 1962).

### *Hyönteiset ja nisäkkäät*

Eläinten aiheuttamista vaurioista ei hankkeessa tehty systemaattista selvitystä, vaan eri kokeissa ja maastokäynneillä pyrittiin tarkkailemaan nisäkkäiden, lintujen ja hyönteisten mahdollisesti aiheuttamia vaurioita. Muutamissa kuusitaimikoissa, mutta erityisesti mänty- ja koivutaimikoissa esiintyi kasvuhäiriöitä, jotka todettiin hyönteisten tai nisäkkäiden aiheuttamiksi.

Monet eri kasvinsyöjäeläimet voivat aiheuttaa puihin kasvuhäiriöitä tuhoamalla kärkisilmun tai koko latvaverson. Nisäkkäistä hirvet, jänikset sekä myyrät ja linnuista metso ja teeri katkovat versoja ja syövät silmuja (V). Vaurioita on usein vaikea tunnistaa eläimen aiheuttamaksi enää vuoden kahden kuluttua, jolloin monilatvaisuus vasta yleensä havaitaan.

Hyönteislajeissa on lukuisia muotovikojen aiheuttajia (Juutinen 1962). Pikkuperhosten toukat kovertavat silmuja ja vuosikasvaimia ontoksi. Hankkeen Pyhäselän kokeella ilmeisesti kuusen-silmukoi oli tuhonnut noin 10 % pakkaskestävyyden mittaukseen kerätyistä silmuista (VI). Toisessa tapauksessa Pohjois-Savossa voimakkaasti häiriintyneessä 16-vuotiaassa kuusi-istutuksessa, jossa häiriöpuiden neulasten booripitoisuus oli 23 mg/kg ja normaalien puiden 11 mg/kg, tuho todettiin kuusenneulaspistiäisen toukan aiheuttamaksi. Myös Saalas (1949) kertoo kuusenneulaspistiäisen tuhojen voivan johtaa kuusen monilatvaisuuteen. Booripitoisuuden nousu häiriöpuissa saattaakin olla häiriön seurannaisvaikutus (Nuorteva 2002).

Imeväsuisten hyönteisten (kirvat, luteet) pistovauriota voidaan helposti tulkita ravinnehäiriöiksi. Seurauksena molemmissa tapauksissa on johtavan kasvaimen vaurioituminen ja puun haaroittuminen. Esimerkiksi peltoluteet aiheuttavat kasvuhäiriöitä erityisesti nuorille männyntaimille (Kytö 1992). Myös kirvat saattavat imennällään aiheuttaa versojen tai silmujen kuivumisen ja sen seurauksena puun haaroittumista.

Koivutaimikoissa, varsinkin pellonmetsityksissä, on usein tavattu hyönteisten (esim. äkämäkääriäinen) vioitusten seurauksena monilatvaisia taimia (kuva 10). Myös männyn taimikoissa kääriäiset, kaarnakuoriaiset ja tukkikärsäkkäät saattavat aiheuttaa latvakasvaimen kuoleamisen seurauksena monilatvaisuutta (kuva 11) (Juutinen 1962).



**Kuva 10.** Äkämäkääräisen voittama monilatvainen koivun taimi (Risto Rikala).

#### *Pakkas- ja hallavauriot*

Kylmyys voi tappaa tai vaurioittaa silmuja tai versoja eri vuodenaikoina. Puiden kyky kestää kylmiä lämpötiloja vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Helpoimmin havaittavia ja melko yleisiä ovat kasvussa olevien nuorten kuusikoiden hallatuhot keväällä ja alkukesällä (Multamäki 1946, Leikola & Rikala 1983). Puhkeava kuusen silmu tai kasvussa oleva verso kestää vain  $-3$ – $-4$  °C lämpötilan (Multamäki 1946, Vaartaja 1954). Voimakkaassa kevähallassa kuuset saattavat menettää osan uusista kasvaimista aina 6–8 m:n korkeuteen saakka (VI). Männyn kasvussa olevan verson pakkaskestävyys on alussa kuusta parempi heikentyen  $-10$  °C:sta  $-4$  °C:een pituuskasvun aikana (Rikala & Repo 1987). Myös koivun taimien paleltumisista on havaintoja, mutta ainakin sekä touko- että elokuun halleissa koivu on



**Kuva 11.** Hyönteisen vaurioittama monilatvaiseksi kehittynyt männyn taimi (Risto Rikala).

todettu mäntyä ja kuusta kestävämmäksi (Koskela 1970, Lehtiniemi & Sarasto 1973).

Hallanaroilla paikoilla voi kuusen latvakasvainten paleltuminen johtaa voimakkaaseen pensastumiseen ja jopa taimien kuolemaan (Multamäki 1946). Puut voivat kärsiä myös lepokauden aikaisista pakkas- ja pakkaskuivumisvaurioista, joista etenkin jälkimmäiset ns. ahavavauriot ovat kuusikoissa tunnettuja ja voimakkaimmillaan ne saattavat johtaa nuorien kuusien latvojen kuivumiseen. Seurantakokeen (I) terveen ja häiriöisten metsiköiden kuusien hyvin kehittyneiden silmujen pakkaskestävyydessä ei kuitenkaan havaittu merkittäviä pakkaskestävyyseroja marraskuun lopun DTA-mittauksessa (katso VI). Ahavavauriotkaan ilmeisesti harvemmin johtavat puiden monilatvaisuuteen.

## **4 Kasvuhäiriön esiintyminen ja taloudellinen merkitys**

### *Esiintyminen*

Maan eteläpuoliskossa, Oulun läänin eteläpuolella, kasvuhäiriöisiä kuusia havaittiin kaikkien metsäkeskusten alueilla. Yleisintä ja ankarinta se oli kuitenkin Keski-Suomen, Pohjois- ja Etelä-Savon sekä Pohjois-Karjalan metsäkeskusten alueilla (II). Valtakunnan metsien 9. inventoinnin mukaan latvatuhoja esiintyi 19 %:ssa Pohjois-

Savon kivennäismaiden kuusivaltaisista metsistä. Koillis-Savon alueelle kohdistuneessa inventoinnissa saatiin kasvuhäiriömetsiköiden pinta-alaarvioksi noin 30 400 hehtaaria (III). Tämän alueen kivennäismaiden kuusivaltaisista varttuneista taimikoista, nuorista kasvatusmetsistä ja varttuneista kasvatusmetsistä olisi tuloksen mukaan peräti 53 prosenttia kasvuhäiriöisiä. Kasvuhäiriöisten kuusikoiden pinta-ala koko Pohjois-Savon alueella oli näin laskettuna 131 800 hehtaaria.

#### *Taloudellinen merkitys*

Kasvuhäiriön seurauksena puun runkoon syntyvät oksatihentymät, poikaoksat, haarat ja mutkat alentavat rungon käyttöarvoa. Vakavimmillaan heikkolaatuinen kuusen runko ei kelpaa sahapuuksi eikä edes hiomokuiduksi. Koillis-Savossa toteutetussa tutkimuksessa arvioitiin kasvuhäiriön vaikutus puun laatuun ja taloustulokseen (III).

Kasvuhäiriöisten metsiköiden puut olivat terveissä metsiköissä kasvavia vastaavanikäisiä puita lyhyempiä ja tyvekkäämpiä. Kasvuhäiriöisten kuusten pohjapinta-alaosuuden kasvaessa kuusien kokonaistilavuus pieneni verrattuna terveiden metsien kuusten tilavuuteen. Osuuden kasvaessa yli 80 %:n puuston tilavuus pieneni lähes 30 %. Myös yksittäisten puiden laatu heikkeni voimakkaasti kasvuhäiriöisten puiden osuuden kasvaessa metsikössä. Osuuden ollessa yli 80 %:n metsikön pohjapinta-alasta, puuston tukkitilavuus pieneni 65 % ja vastaavasti hukkapuun osuus kasvoi noin 70 % verrattuna rinnankorkeudelta vastaavan tervveen metsän tilavuuteen.

Kun runkokuusen tuotos muutettiin v. 2003 puun hinnoilla rahalliseksi tuotoksi, jo lievä kasvuhäiriö vähensi metsän tuottoa yli 10 %. Kasvuhäiriön pahentuessa taloudelliset menetykset kasvavat nopeasti. Jos kuusikon pohjapinta-alasta yli 80 % kärsii kasvuhäiriöstä, niin tuottotappio on jo lähes 50 %.

## 5 Kasvuhäiriöiden tunnistaminen ja ennakoiminen

### *Tunnistaminen*

Boorinpuutoksesta johtuvan kasvuhäiriön oikea tunnistaminen on edellytys boorilannoitukselle. Boorinpuutos ei yleensä aiheuta mitään silmävaraisesti tunnistettavaa neulas- tai lehtioiretta. Pohdittaessa kasvuhäiriön syitä voidaan apuna käyttää havaintoja, joita on tehty boorinpuutosalueilta. Metsätyyppi vaikuttaa selvästi kasvuhäiriön esiintymiseen; kasvuhäiriö on yleisempää viljavilla metsätyypeillä. Koillis-Savossa tehdyn inventoinnin mukaan lehdoissa ja lehtomaisella kankaalla häiriömetsiköiden osuus oli yli 70 %, mutta tuoreella kankaalla hieman alle 40 % (III). Sekä tehdyissä kartoituksissa että yksittäisten häiriömetsien kuvauksissa yhteisenä piirteenä havaittiin, että kasvuhäiriömetsät sijaitsevat yleensä entisillä kaskimailla, niitä on käytetty metsälaitumina ja niillä on kasvanut runsaasti leppää sekapuuna. Taimikot on usein perustettu leppäverhopyuuston alle tai verhopyuosto on syntynyt uudistamisen jälkeen. Sen sijaan kasvupaikan korkeus merenpinnasta tai sen lämpösomma eivät Koillis-Savosta kerättyssä aineistossa selittäneet kasvuhäiriön esiintymistä.

Suomen eteläosaa koskevassa aineistossa neulasten booripitoisuuden ja kuusien kunnon välillä on negatiivinen riippuvuus (II). Toisin sanoen, mitä matalampi neulasten booripitoisuus, sitä todennäköisemmin puut ovat kasvuhäiriöisiä. Peltojen viljavuustutkimusten mukaan booria on ollut vähiten likimain samalla alueella, jolla nyt todettiin neulasten ja metsämaan booripitoisuudet mataliksi (Kähäri ym. 1987). Kerättyssä aineistossa maan booripitoisuus kuitenkin selitti puuston kasvuhäiriöitä selvästi neulasten booripitoisuuksia heikommin. Neulasten booripitoisuutta puolestaan selittivät maan booripitoisuuden lisäksi puuston järeys ja tiheys, metsän sijainti sekä maan märkyys. Märkä, soistunut maa lisäsi, ja järeä ja tiheä puusto vähensi neulasten booripitoisuutta.

Kun pyritään selvittämään onko kuusikon kasvuhäiriön syy boorinpuutos, on syytä tarkastaa seuraavat seikat

- Sijainti: Etelä-Suomessa häiriöt ovat yleisiä maan itäosassa, joskin boorinpuutoksesta aiheutuneita kasvuhäiriöitä voi esiintyä muuallakin ja erityisesti entisillä pelto- ja laidunmailla
- Kasvupaikan viljavuus: lehtomaisella kankaalla ja sitä viljavammalla kasvupaikalla häiriöt ovat yleisempiä
- Historia: onko kohdetta kaskettu, laidunnettu, onko se entistä peltoa tai onko metsikkö perustettu leppäverhupuuston alle tai onko lepikkoa syntynyt sekapuuksi alueelle myöhemmin; kaikki nämä tekijät näyttäisivät olevan yhteydessä boorinpuutoksen aiheuttamalle kasvuhäiriölle
- Häiriöpuut: esiintyykö puiden rungoissa haarautumia, poikaoksia tai oksatihentymiä; boorinpuutos tapauksissa runkoon jää usein merkkejä aiemmista häiriövaiheista.
- Ympäröivä metsä: jos kyseessä on taimikko, kannattaa tarkastella ympäröivän metsän kuntoa ja erityisesti puiden runkoja, joissa esiintyvät vioitukset (mutkat, poikaokset, ranganvaihdot, oksatihentymät) kertovat metsikön historiasta ja mahdollisista aiemmista häiriövaiheista.

Muut kasvuhäiriön aiheuttajat kuin boorinpuutos kannattaa yrittää ensin sulkea pois. Muita syitä voivat olla lähinnä

- tuomiruosteen aiheuttamat vauriot (IV)
- halla- tai talvituhot (VI)
- eläintuhot (hyönteiset ja nisäkkäät)(V)

On kuitenkin muistettava, että metsikössä voi olla samanaikaisesti useita häiriönaiheuttajia; esimerkiksi boorinpuutteesta olevasta metsiköstä löytyy usein myös hallan ja tuomiruosteen aiheuttamia vaurioita. Mikäli mitään selvää syytä ei kasvupaikan ja puuston silmävaraisella tarkastelulla löydetä, voi neulas/lehtianalyysillä varmistaa ravinnetilanteen turhan lannoituksen välttämiseksi.

### *Ennakoiminen*

Olisi tärkeätä pystyä ennakoimaan boorinpuutoksesta aiheutuvat häiriöt. Yleensähan metsiköitä aletaan lannoittaa vasta häiriöiden ilmaannuttua. Kovin voimakkaasti häiriintyneen puuston lannoittaminen voi olla jopa kyseenalaista, jollei

harvennuksessa pystytä poistamaan valtaosaa häiriöpuista. Lannoitus ei korjaa jo tapahtuneita vaurioita. Boorinpuutoksesta aiheutuvaa häiriötä voi ennakoida arvioimalla edellä mainittuja riskitekijöitä (metsän sijainti, kasvupaikka, historia) ja kiinnittämällä huomiota edellisen puusukupolven puissa mahdollisesti esiintyviin kasvuhäiriön jälkiin. Varmuuden mahdollisesta boorinpuutoksesta saa teettämällä havupuista puuston lepoaikana (marras-helmikuu) ja koivusta loppukesällä lehtien vielä ollessa vihreitä (elokuu) neulas/lehtianalyysin (katso näytteenotto-ohjeet, esim. Jukka 1988, Reinikainen ym. 1998).

Koska kasvuhäiriön puhkeaminen riippuu myös muista tekijöistä kuin neulasten booripitoisuudesta, on tarkan puuterajan antaminen mahdotonta. Neulasten/lehtien booripitoisuudet vaihtelevat vuodesta toiseen samallakin kasvupaikalla, ja kuivuus on yksi tunnettu syy alhaisiin booripitoisuuksiin. Koska ensioireet näkyvät vain mikroskooppisina häiriöinä solutasolla ensin juuristossa ja sitten maanpäällisissä osissa, saattaa näin määriteltynä boorin puuteraja olla selvästikin korkeampi kuin ensimmäiset silmävaraiset latvassa näkyvät oireet osoittavat. Taimilla havaittiin juurten kärkien muodostumisen ja mykorritsoitumisen heikkenemistä jo niinkin korkeilla neulasten booripitoisuuksilla kuin 16–17 mg/kg (VII).

Tässä hankkeessa ei ollut tavoitteena määrittää boorinpuutoksen rajaa, eivätkä kerätyt aineistot myöskään anna mahdollisuutta raja-arvon analyttiseen määrittämiseen. Voitaneen kuitenkin arvioida, että terveennäköisessäkin kuusikossa ollaan lähellä riskirajaa jos neulasten booripitoisuus laskee alle 6 mg/kg. Arvio perustuu sekä tässä hankkeessa tehtyihin havaintoihin että ennen muuta aiempaan kirjallisuuteen. Aiempia tuloksia tukevat havainnot, joiden mukaan silmännähtäviä vaurioita syntyy yleensä vasta kun booripitoisuus laskee alle 3–4 mg/kg. Kirjallisuudessa esitetyt puuterajat kuusen neulasten booripitoisuudessa ovat keskenään melko samanlaisia. Silfverberg (1980) pitää näkyvän boorinpuutoksen rajana 6–8 mg/kg, mutta mainitsee, että suotuisissa olosuhteissa se voi olla huomattavasti alemmikin. Braekke (1979) esittää tutkimuksessaan Etelä-Norjassa puutosarvoiksi 1,5–4 mg/kg, normaaliarvojen ollessa 8–16 mg/kg ja määrittää ravinnesuosituksissa (Braekke 1994) voimakkaan puutoksen alueeksi <4 mg/kg ja optimialueeksi 8–25 mg/kg.

Suomessa kuuselle ja männylle on annettu seuraavat rajat: alhainen <4,9 mg/kg, välttävä 5,0–7,4 mg/kg, sopiva >8,0 mg/kg (Jukka 1988). Koivulle Braecke (1983) esittää booripitoisuuden puutera-jaksi 3 mg/kg, riittävän pitoisuuden alarajaksi 14 mg/kg ja optimiarvoksi 30 mg/kg.

Myöskään koivun lehtien riittävälle booripitoisuudelle ei nyt kerätyn (XI) aineiston pohjalta löydetty raja-arvoa, koska ilmeisesti myös muut vaikeasti tunnistettavat tekijät aiheuttavat koivun latvakuolemia ja pensastumista. Ilmeistä kuitenkin on, että koivun lehtien alle 6 mg/kg booripitoisuuksilla boorinpuutoksesta johtuva kasvuhäiriön todennäköisyys kasvaa.

## 6 Lannoitus häiriön torjunta-keinona

Hankeessa perustettiin maastoon kaikkiaan 10 lannoituskoetta, joista osa toteutettiin puukohtaisina lannoituksina ja osa ruutukokeina. Puukohtaisissa lannoituksissa tavoitteena oli selvittää boorin ja eräiden muiden ravinteiden vaikutus puuston ravinnepitoisuuksiin (VII, VIII), pakkaskestävyyteen ja juurten kasvuun (VI) ja toipumiseen kasvuhäiriöstä (III, VI, VIII) sekä lannoitusajankohdan vaikutusten selvittämiseen (X). Ruutukokeet perustettiin ensisijassa havaintokohteiksi lannoitusvaikutusten esittelyyn käytännön toimijoille ja metsänomistajille. Kokeiden seuranta-aika hankkeen lyhyden vuoksi jäi 3–4 vuoteen.

Kaikki kokeet osoittivat, että alkukesällä lannoitettaessa boorinpuutoksesta kärsivien kuusikoiden neulasten booripitoisuus kohoaa vielä saman kasvukauden aikana 35–90 mg/kg:aan eli 10–30-kertaisiksi ennen lannoitusta vallinneeseen tilanteeseen verrattuna. Toisaalta booripitoisuudet myös laskivat aluksi varsin nopeasti; kahdessa vuodessa pitoisuudet laskivat noin puoleen korkeimmista arvoista ollen kuitenkin edelleen 20–40 mg/kg välillä eli Braecken (1994) ilmoittaman optimialueen yläpuolelle. Neulasten booripitoisuus aleni nopeimmin uusimmissa neulasissa; lannoitusvuonna syntyneiden neulasten booripitoisuus oli kolmen vuoden kuluttua 25–30 % korkeampi kuin kyseisen vuoden uusien neulasten pitoisuus (VIII). Kuinka kauan sitten boor-

lannoituksen vaikutus kivennäismailla kestää? Tähän kysymykseen ei tämän hankkeen kokeiden lyhytkestoisuuden vuoksi voida vastata, mutta aiempien lannoituskokeiden perusteella jo 1,5 kg booria hehtaarille riittää ylläpitämään optimaalisen booritilan kuusella ainakin 10 vuoden ajan (Möttönen ym. 2003).

Koska boorinpuutoksen oireet ilmenevät ensimmäisenä juuristossa, myös lannoitusvaikutuksen pitäisi ensin ilmetä puun maanalaisissa osissa. Pyhäselän kokeessa boorilannoitus ei suoranaisesti vaikuttanut hienojuurten määrään, mutta tyyppi-boorilannoitus lisäsi juurien määrää verrattuna pelkästään tyypellä lannoitettuihin puihin (VII). Sen sijaan varttuneemmassa kuusikossa 9 vuotta boorilannoituksen jälkeen boori oli lisännyt hienojuurten kokonaispituutta koko humuskerroksessa noin 20 %:lla maan pinta-alayksikköä kohti (Möttönen ym. 2003).

Koska kuusen silmun kehitys kestää lähes koko kesän, voi boorinpuutoksen aiheuttama kehityshäiriö tapahtua milloin hyvänsä kasvukauden aikana (I). Jos metsä lannoitetaan esimerkiksi keskikesällä, ei boori välttämättä ehdi vaikuttaa silmun kehitykseen enää samana kesänä, vaan silmu voi vaillinaisen kehityksen vuoksi jäädä seuraavana keväänä kokonaan puhkeamatta tai kehittyvä kasvain kuolee.

Lannoituskokeissa boorilannoitus lisäsi puiden pituuskasvua, paransi latvusten kuntoa ja vähensi monilatvaisuutta (VIII, IX). Näillä kokeilla ilmeni kuitenkin edelleen 3–4 vuoden kuluttua lannoituksesta jonkin verran puiden häiriintymistä. Toisaalta häiriöpuut saattoivat tervehtyä ilman lannoitusta. Pyhäselän kokeella alhaisilla neulasten booripitoisuuksilla (<3 mg/kg) kasvuhäiriöisten puiden osuus oli suurin ja se pieneni neulasten booripitoisuuden kasvaessa (VI). Booripitoisuuden noustessa yli 17 mg/kg kasvuhäiriöisten puiden osuus kuitenkin taas kasvoi.

Tuomiruoste-, hyönteis- ja hallatuhot selittävät ainakin osittain häiriöt boorilannoitetuissa puissa. Osa saattaa selittyä luokitusvirheistä, sillä puiden ulkoisen toipumisen kuvaaminen on ongelmallista. Kasvuhäiriöisen puun toipuessa pensastavasta latvasta kasvaa useita keskenään kilpailevia latvakasvaimia, minkä vuoksi se luokitellaan edelleen häiriöpuuksi. Todennäköisesti selvemmat muutokset pituuskasvussa ja kilpalatvojen lukumäärän vähenemisessä on havaittavissa

vasta 4–6 vuoden kuluttua lannoituksesta.

On esitetty, että boorinpuutos heikentäisi puiden pakkaskestävyyttä (esim. Beltram 1958, Braecke 1979, Saarsalmi ja Mälkönen 2001) ja pakkasvauriot liittyisivät puutteelliseen karautumiseen syksyllä tai kasvaimien kuivumiseen kevättälvella (Jalkanen 1990). Pyhäselän kokeella boorilannoitus lisäsi hieman metsässä kuusien uusimpien vuosikasvaimien ja taimikokeessa silmujen pakkaskestävyyttä, mutta sekä lannoitetut että lannoittamattomat puut kestivät hyvin koevuosien ankaratkin pakkaset (VI). Myöskään korkeammilla booriarvoilla (27–167 mg/kg) ei ole havaittu olevan vaikutusta Douglaskuusen pakkaskestävyyteen (Larssen 1976).

Lannoitelajikokeissa kaikki käytetyt booripitoiset lannoitteet nostivat neulasten ravinnepitoisuuksia, vähensivät häiriöiden määrää ja paransivat puiden pituuskasvua likimain samalla tavalla (IX). Käytettyjen lannoitteiden välillä ei kolmen vuoden seurannassa havaittu selviä eroja.

Näissä kokeissa ei koejäsenenä käytetty puun tuhkaa, jota on menestyksellisesti käytetty suometsien lannoitukseen. Tuhkan käyttöä lannoitteena vaikeuttaa teknisten ongelmien lisäksi se, että tuhkan booripitoisuus voi vaihdella polttoaineesta, polttoprosessista ja polttolämpötilasta riippuen melko paljon. Korpilahden (2004) mukaan sellutehtaiden ja hiomojen voimalaitosten puutuhkan booripitoisuus vaihteli 0,180–0,370 g/tn ja turvetuhkan 0,006–0,030 g/tn. Silfverbergin (1982) mukaan puun tuhkan boori ei nosta kuusen neulasten booripitoisuutta yhtä voimakkaasti kuin boorilannoite (booraksi), mutta kuitenkin riittävän korkealle.

Lannoitusajankohtakoe osoitti, että sulan maan ajan boorilannoitukset, ajankohdasta riippumatta, nostavat neulasten ravinnepitoisuutta (X). Syksyllä annettuna boori nosti kuitenkin neulasten booripitoisuutta vasta seuraavana kesänä. Kylmänä, sateisena syksynä onkin riski, että osa boorista huuhtoutuu sateiden tai seuraavana keväänä lumen sulamisvesien mukana juurten tavoittamattomiin.

Kuinka suuria booriannoksia tulisi lannoituksessa käyttää? Lannoituksen keston kannalta suuria, mutta toisaalta tiedetään, että boori on yliannostettuna voimakas myrky. Ilmeisesti eri puolajien boorisietokyky on erilainen. Esi-

merkiksi lyhytneulasmännyn taimilla 850 mg/kg booripitoisuuden ei vielä todettu tuottavan haittaa taimille (Mitchell ym. 1990). Toisaalta männyn kylvötäimillä neulasten booripitoisuuden noustessa yli 120 mg/kg alkoi taimien kasvu heiketä, vaikka selviä ulkoisia myrkytysoireita (neulasten ruskettumista) havaittiinkin vasta yli 400 mg/kg booripitoisuudella (Rikala, julkaisematon). Kaksivuotisten kuusentaimien kasvu parani neulasten booripitoisuuden noustessa yli 100 mg/kg:n, minkä jälkeen taimien booripitoisuuden edelleen noustessa kasvu heikkeni ja neulasten ruskettumista alkoi ilmetä, kun neulasten booripitoisuus nousi lähes 400 mg/kg (Rikala 2003). Braekken (1983) mukaan ravinneköyhän turvemaamännikössä ilmeni edellisen vuoden neulasten kärkekuivumista jo kun booripitoisuus nousi 2,3 kg/ha boorilannoituksella yli 53 mg/kg, ja neulasten variseminen alkoi pitoisuuden kohotessa 4,6 kg/ha boorilannoituksella yli 114 mg/kg. Nyt tehdyissä kokeissa neulasten booripitoisuus nousi keskimäärin 30–70 mg/kg:ssa, eikä puustossa havaittu ulkoisia myrkytysoireita. Nykyään käytössä oleva suositus (1,5–2,5 kg booria hehtaarille) vaikuttaakin sopivalta neulasten ravinnepitoisuuden nousun perusteella.

## 7 Johtopäätökset

Tutkimuksen pääolettamus, että alhainen booripitoisuus on keskeinen syy kivennäismaiden ja myös turvemaapeltojen kuusikoiden kasvuhäiriöihin sai vahvistuksen. Häiriöoireet ovat solutasolla nähtävissä jo kehittyvissä silmuissa. Boorinpuutoksesta aiheutuva kuusen silmujen ja kasvaimien vaurioituminen voi tapahtua missä vaiheessa kasvukautta hyvänsä.

Maan eteläosaan kohdistuneen kartoituksen perusteella boorinpuutos ja siitä aiheutuva kasvuhäiriö vaivaa erityisesti Itä-Suomea joskin myös muualla Suomessa, erityisesti entisillä peltomailla voi puutosta esiintyä. Jo lievä kasvuhäiriö alensi metsän tuottoa 10 %, mutta jos kuusikon pohjapinta-alasta yli 80 % kärsii kasvuhäiriöstä, niin tuottotappio nousee jo lähes 50 %:iin.

Boorinpuutosta voidaan torjua lannoituksella, joko antamalla booria pelkkänä tai seoslannoitteena (1,5–2,5 kg booria/ha). Neulasten boori-

pitoisuus kohoaa jo lannoitusvuonna. Puuston toipuminen alkaa 1–3 vuoden kuluttua lannoituksesta, mutta ennen kuin puiden latvus muuttuu normaaliksi, saattaa kulua 4–6 vuotta.

Muiden syiden kuin boorinpuutoksen osuus häiriöön voi jossain metsikössä olla merkittävä. Hallavauriota tavataan joinakin vuosina vartuneissa kuusitaimikoissa, mutta tavallisesti se kohdistuu nuoriin, alle 2 m:n mittaisiin taimikoihin. Ei ole todennäköistä, että halla muilla kuin alavilla paikoilla vikuuttaisi toistuvasti taimikoita niin, että ne pensastuisivat. Pakkas- tai ahavaaurioiden aiheuttamia häiriöitä ei kuusikoissa havaittu. Boorilla todettiin lievä pakkaskestävyttä lisäävä vaikutus.

Kuusen tuomiruoste on paikoin merkittävä häiriöiden aiheuttaja. Joissakin tapauksissa tuomiruosteen ja booripuutteen aiheuttamia häiriöitä voi olla vaikea erottaa toisistaan. Tauti voittaa kuusia metsissä, missä kasvaa tuomea lähettyvillä, eikä boorilannoitus näyttäisi vähentävän puiden alttutta tuomiruosteelle. Kuusitaimikoissa saattavat myös erilaisten pikkuperhosten toukat aiheuttaa häiriöitä, joita myös voi olla jälkeempään vaikea erottaa boorinpuutoksen aiheuttamista häiriöistä.

Alle metrin mittaisten männyn ja parin metrin mittaisten koivutaimikoiden erilaiset muotoviat selittynevät pääosin hyönteisten ja nisäkkäiden aiheuttamilla silmu- ja versovioituksilla. Pelloille perustetuissa isommissa (5–10 m) koivikoissa näyttää kasvualustan korkea ravinnepitoisuus johtavan puiden heikkolaatuisuuteen ja erilaisiin muotovioihin, jotka eivät yleensä selity boori- puutoksella.

Eri tekijöiden aiheuttamia häiriöitä voi olla vaikea erottaa toisistaan erityisesti silloin jos puiden latvuksia ei päästä lähempää tarkastamaan tai vaurion synnystä on kulunut vuosia. Jotta välttyttäisiin turhilta lannoituksilta, olisi häiriöpuiden neulasista/lehdistä syytä teettää ravinneanalyysi, jonka perusteella voidaan päätellä voiko kyseessä olla boorinpuutos (booripitoisuus <5 mg /kg). On myös tärkeää, että jo häiriöriski tiedostetaan, koska syntyneet viat eivät häviä puista lannoittamalla. Häiriön ennakoimiseksi kannattaa kartoittaa riskitekijät (sijainti, kasvupaikka, historia) sekä teettää neulas/lehtinäytteistä ravinneanalyysi. Jo alle 8 mg/kg:ssa booripitoisuus ilmentää lisääntyneitä riskiä, koska vuosien välinen vaihtelu booripitoisuuksissa on suuri.

## Kirjallisuus

- Anglberger, H., Sieghardt, M., Katzensteiner, K. & Halmshlager, E. 2003. Needle nutrient status of Sirococcus shoot blight-diseased and healthy Norway spruces. *Forest pathology* 33(1): 21–30.
- Beltram, V. 1958. Bor als Frostschutz. *Allgemeine Forstzeitschrift* 10: 147–148
- Braekke, F. H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. *Meddr Norsk Inst. Skogforsk.* 35(3): 213–236.
- Braekke, F.H. 1983. Occurrence of growth disturbance problems in Norwegian and Swedish forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 20–25.
- Braekke, F. H. 1994. Diagnostiske grenseverdier for naeringselementer i gran- og furunåler. *Aktuelt fra Skogforsk* 15. 11 s.
- Cakmak, I. & Römheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil* 193: 71–83.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. *Folia Forestalia* 613. 28 s.
- Halmshlager, E., Gabler, A. & Andrae, F. 2000. The impact of Sirococcus shoot blight on radial and height growth of Norway spruce (*Picea abies*) in young plantations. *Forest pathology* 30: 127–133.
- Holopainen, J. & Rikala, R. 1991. Luteet ja männyntaimien kasvuhäiriöt. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 379. 35 s.
- Huikari, O. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimetumista ehkäisevistä tekijöistä. *Suo* 2(1):1–4.
- Hynönen, T. 1998. Viljavien maiden puissa kasvuhäiriöitä. *Leipä leveämmäksi* 1: 36–37.
- Hynönen, T. & Makkonen, T. 1999. Turvemaapeltojen maan ominaisuudet ja niiden vaikutus hieskoivujen alkukehitykseen Pohjois-Savossa. *Suo* 50(1): 17–34.
- Hynönen, T. & Saksa, T. 1997a. Metsitystulos Pohjois-Savon kivennäismaapelloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1997: 165–180.
- Hynönen, T. & Saksa, T. 1997b. 1970- ja 1980-luvuilla tehtyjen pellonmetsitysten onnistuminen Pohjois-Karjalassa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/1997: 455–476.
- Hynönen, T., Korhonen, K. T. & Tammilehto, E. 1999. Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savon kangasmetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999: 577–581.

- Hynönen, T. & Makkonen T. 2001. Hivenravinteiden puutteesta johtuva viljavien kivennäismaiden kuusikoiden kasvuhäiriö Pohjois-Savossa. Käsi-  
kirjoitus. 18 s.
- Hytönen, J. 1999. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/1999: 697–710.
- Jalkanen, R. 1990. Nitrogen fertilization as a cause of dieback of Scots pine at Paltamo, northern Finland. *Aquilo Ser. Bot.* 29: 25–31.
- Jukka, L. 1988. *Metsänterveysopas*. Samerka OY, Helsinki. 168 s.
- Juutinen, P. 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 54.5. 80 s.
- Järveläinen, V-P. & Lilja, S. 1961. Havaintoja istutuskuusikoiden kehittymisestä erilaisten verhopuustojen suojassa. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Metsänhoitotieteen laudaturtyö metsätutkimtoa varten. 65 s.
- Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsälannoituskoe kentällä. *Folia Forestalia* 78. 25 s.
- Kolari, K. (toim.) 1983. Growth disturbances of forest trees. Proceedings of International Workshop and Excursion on Growth Disturbance of Forest Trees. 10–13 lokakuuta 1982 pidetyn kansainvälisen kokouksen esitelmäraportit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116. 208 s.
- Kolari, K. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Kasvuhäiriöprojektin loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 310. 35 s.
- Korpilahti, A. 2004. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Metsäteho Oy. Metsätehon raportti 172. 26 s.
- Kurkela, T. 1994. Metsän taudit. Metsäpatologian perusteet. Otatieto Oy. 320 s.
- Kähäri, J. Mäntylähti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuudesta 1981–1985. Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki. 105 s.
- Kytö, M. 1992. Lygus bugs as agents of growth disorders in permethrin-treated pine seedlings in regeneration areas. Tiivistelmä: Niittyluteiden merkitys permetriinillä käsiteltyjen männyntaimien kasvuhäiriöiden aiheuttajana uudistusaloilla. *Silva Fennica* 26(4): 191–200.
- Larssen, J.B. 1976. Untersuchungen über die Frostempfindlichkeit von Douglasienherkunftens uns über den Einfluss der Nährstoffversorgung auf die Frostresistenz der Douglasie. *Forst Holzwirt.* 31. 299.
- Lehtiniemi, T. & Sarasto, J. 1973. Kokemuksia rauduksen istutuksesta ojitetuille soille. *Silva Fennica* 7(1): 24–44.
- Lehto, T. & Mälkönen, E. 1994. Effects of liming and boron fertilization on boron uptake of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163: 55–64.
- Leikola, M. & Rikala, R. 1983. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen. Summary: The influence of the nurse crops on stand temperature conditions and the development of Norway spruce seedlings. *Folia Forestalia* 559:1–33.
- Lilja, S. 1967. Tuomen merkityksestä kuusen tuomi-ruosteen, *Pucciniastrum padi* (Kunze & Sch.) Diet., esiintymiselle kuusessa. *Silva Fennica* 1: 45–62.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorin puute kangasmaan kuusikoissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 370: 49–60.
- Mitchell, R.J, Garrett, H.E., Cox, G.S. & Atalay, A. 1990. Boron and ectomycorrhizal influences on mineral nutrition of container-grown *Pinus echinata* Mill. *Journal of Plant Nutrition* 13: 1555–1574.
- Moilanen, M. & Issakainen J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. Metsätehon raportti 93. 38 s + liitteet.
- Multamäki, S. 1946. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. *Acta Forestalia Fennica* 51.1. 320 s.
- Möttönen, M., Lehto, T., Aphalo, P.J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 2003. Response of mature stands of Norway spruce (*Picea abies*) to boron fertilization. *Forest Ecology and Management* 180: 401–412.
- Nuorteva, H. 2002. Increased boron concentrations of Scots pine foliage induced by green pruning. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1434–1440.
- Raitio, H. 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. *Folia Forestalia* 536.15 s.
- Raitio, H., Rikala, R, Heiskanen, J., Kytö, M. & Poteri, M. 1992. Männyntaimien kasvuhäiriö taimitarhalla. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 445. 37 s.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. 44 s.
- Rikala, R. 2003. Kannattaisiko kasvuhäiriöalueille istutettavia taimia booritankata jo taimitarhalla. *Taimiutiset* 2: 6–7.
- Rikala, R. & Repo, T. 1987. Frost resistance and frost

- damage in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings during shoot elongation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 433–440.
- Saalas, U. Suomen metsähyönteiset sekä muut metsälle vahingolliset ja hyödylliset eläimet. WSOY, Porvoo Helsinki. 719 s.
- Saarsalmi, A. & Mälkönen, E. 2001. Forest Fertilization Research in Finland: A Literature Review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16(6): 514–535.
- Saksa, T., Hynönen, T. & Makkonen, T. 2003. Nuorten paakkutaimilla viljeltyjen rauduskoivikoiden tila kivennäismaapelloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2003: 3–13.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. *Folia Forestalia* 432. 13 s.
- Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys i två spårämnes-gödslade granplanteringar. *Folia Forestalia* 526. 12 s.
- Stone, E.I. 1990. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. *Forest Ecology and Management* 37: 49–75.
- Uotila, A. & Kankaanhuhta, V. 1999. Metsätuhojen tunnistus ja torjunta. *Metsälehti kustannus*. Helsinki. 215 s.
- Vaartaja, O. 1954. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. *Acta Forestalia Fennica* 62.3. 31 s.
- Veijalainen, H. 1978. Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 1/1978. 12 s.
- Veijalainen, H. 1983. Geographical distribution of growth disturbances in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116. s. 13–16.
- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 131–141.



## I Kasvuhäiriön solutason oireisto ja sen kehittyminen

*Sirkka Sutinen, Risto Rikala ja Tarja Lehto*

### Johdanto

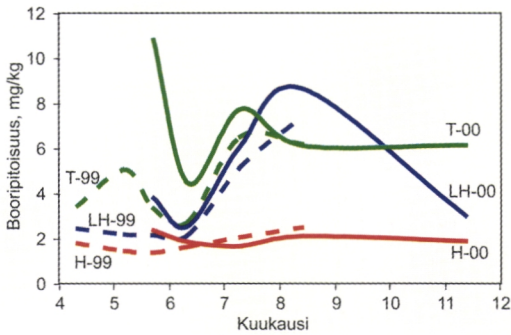
Kuusen monilatvaisuus ja latvuksen pensastuminen ovat seurausta silmun tai koko latvakasvaimen kuolemista useana perättäisenä vuonna. Kuoleminen voi aiheutua monesta eri syystä. Osa aiheuttajista voidaan sulkea pois lähemmässä, vaurion syntymisen aikaan tehdyssä tarkastuksessa. Myöhemmin on vaikea varmuudella todeta mikä em. tekijöistä on ollut aiheuttajana. Kasvuhäiriön syntymekanismien ja aikataulun selvittämiseksi kasvuhäiriöisiä puuta onkin seurattava tarkemmin ja pyrittävä löytämään ensimmäiset jo solutasolla näkyvät merkit häiriöstä. Jotta epäilty aiheuttaja voidaan osoittaa todella syyksi häiriöön, on vastaava vaurio saatava aikaan kokeellisesti.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maastossa, miten kasvuhäiriökuusien vauriot syntyvät kasvukauden aikana neulasissa ja silmuissa ja onko havaituilla muutoksilla yhteyttä neulasen booripitoisuuksiin. Lisäksi kasvatuskaappikokeessa tutkittiin kasvukauden eri ajankohtina aloitetun boorilannoituksen vaikutuksia kuusen taimien toipumiseen aiemmin aiheutetusta boorinpuutoksesta.

### Aineisto ja menetelmät

Maastotutkimuksessa seurantakohteiksi valittiin pahasti kasvuhäiriöinen (yli 90 % kuusista kasvuhäiriöisiä: H-metsikkö) ja toisaalta lievästi kasvuhäiriöinen (kasvuhäiriöitä alle 10%:ssa kuusista: LH-metsikkö) kuusikko Rautalammilta ja vertailumetsiköksi terveennäköinen kuusikko (T-metsikkö) Suomenjoelta. Tutkittujen metsiköiden ikä oli 25–35 vuotta ja kasvupaikka käenkaalimustikkatyypin (OMT). Näytteenottoajankohdasta (26.4., 22.5., 7.6., 26.6., 25.7., 28.8. ja 27.11.2000) riippuen kaadettiin 3–10 puuta/metsikkö/kerta ja tutkittavaksi otettiin neulasia edellisen vuoden (1999) ja näytteenottovuoden (2000) kasvaimista sekä kärkisilmut latvasta ja ylimmästä oksasta.

Taimikokeessa kaksi kasvukautta ilman booria kasvatettujen kuusen taimien boorilannoitus aloitettiin neljännen kasvukauden aikana seuraavasti: B1 = kasvukauden alussa (koepäivä 0), B2 = uusimmat neulaset olivat jo alkaneet pidentyä (koepäivä 28) ja B3 = uuden kasvaimen kärkeen muodostuviin silmuihin olivat kehittyneet ensimmäiset mikroskooppisesti havaittavat alkeisneulaset (koepäivä 70). B0 = vertailutaimet eivät saaneet boorilannoitusta. Koepäivänä 103 otettiin jokaisesta käsittelystä neulas- ja silmunäytteet viidestätoista koetaimesta. Toistojen määrä oli viisi.



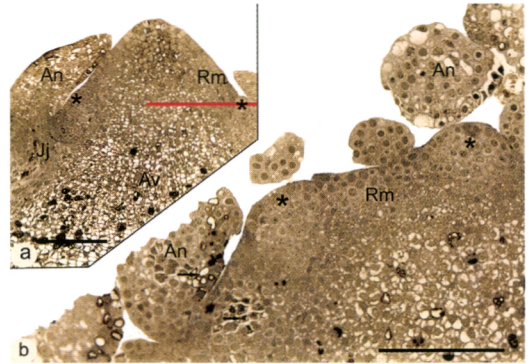
**Kuva 1.** Neulasten booripitoisuus vuosien 1999 ja 2000 neulasissa kolmessa seurantametsikössä: H- häiriökuusikko, LH- lievästi häiriöinen kuusikko ja T- terveennäköinen metsikkö.

Neulaset ja silmut valmistettiin valomikroskooppisiin tutkimuksiin Kivimäenpää ym. (2001) esittämän menetelmän mukaan. Neulasnäytteiden tutkimus keskitettiin keskuslieriöön ja silmunäytteiden tutkimus kärkikasvusolukkaan (apikaalimeristeemiin). Lisäksi maastokokeen marraskuun näytteistä selvitettiin koko silmun kunto.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Maastoseurannassa neulasten booripitoisuudet koko kesän keskiarvoina olivat vuosien 1999 ja 2000 neulasissa seuraavat: T-metsikkö 4,5 ja 3,4 mg/kg, LH-metsikkö 2,4 ja 4,6 mg/kg ja H-metsikkö 1,6 ja 1,8 mg/kg. Erot olivat melko pienet ja terveessäkin metsikössä booripitoisuus oli aika ajoin puuterajan (Jukka 1988) alapuolella. Kuitenkin vain häiriömetsikössä arvot pysyivät alhaisina (< 2,5 mg/kg) koko seurannan ajan, kun taas T- ja LH-metsikön B-pitoisuudet nousivat loppukesällä yli 5 mg/kg:n (kuva 1).

Vuonna 1999 muodostuneiden silmujen alkeisvarren ja alkeisneulasten pidentyminen oli alkanut jo ennen vuoden 2000 toukokuun 22. päivää. Tuolloin vielä puhkeamattomien silmujen kehityneimmissä neulasissa oli erotettavissa nilaa lukuun ottamatta, kaikki muut solukkotyytit ja jopa uuden silmun varhaisimmat kehitysvaiheet näkyivät pieninä solurykelminä kupolimaisen kärkikasvualueen (kuva 2a) alaosassa. Erityisesti kasvuhäiriökuusten (H-metsikkö) kehittyvien sil-

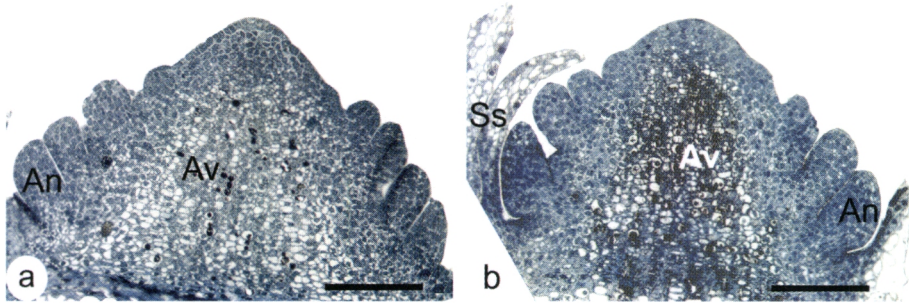


**Kuva 2a.** Pitkittäisleikkaus kasvuhäiriöpuun edellisen vuoden terveennäköisen silmun kärjestä 22. toukokuuta. Kupolimaisessa kärkikasvu alueessa erotuu mm. reunameristeemi (Rm). Silmusuomujen varhaisimmat vaiheet näkyvät kohoumina (tähdet) kärkikasvualueen tyvellä, jonka alapuolella näkyy alkeisvarsi (Av). Ylimpään alkeisneulaseen (An) on kehittymässä johtojänne (Jj). Punainen jana kärkikasvualueen tyvässä ilmoittaa kuva 2b poikkileikkauskohdan. Musta mittajana = 200 µm.

**Kuva 2b.** Poikkileikkaus kasvuhäiriöpuun terveennäköisestä silmusta 22. toukokuuta. Poikkileikkaus on kärkikasvualueen tyveltä (katso kuva 2a). Reunameristeemissä (Rm) näkyy kohoumina silmusuomujen alkua (tähdet). Kuolleita ja/tai tummina kasaamina erottuvaa tanniinia sisältäviä soluja (nuolet) näkyy sekä reunameristeemissä että kehittyvissä alkeisneulasissa (An). Mittajana = 200 µm. (Sirkka Sutinen)

mujen kärkikasvusolukoissa havaittiin tanniinin kertymistä soluihin ja/tai kuolleita soluja (kuva 2b) toukokuusta heinäkuun lopulle eli aikana, jolloin silmusuomut muodostuvat.

Tanniinit kuuluvat fenolihdisteisiin, jotka toimivat osana kasvien suojausmekanismia esimerkiksi tauteja aiheuttavien mikrobeja vastaan (Seigler 1998). Toisaalta fenolihdisteiden kasautuminen, jota on todettu mm. boorinpuutteen yhteydessä, häiritsee solujen normaalia toimintaa ja jatkuessaan johtaa solujen kuolemaan (Cakmak ja Römheld 1997). Tämä selittänee sen, että jo kesäkuun alusta lähtien joka näytteenottokerralla osa kehittyvistä silmuista todettiin kuolleiksi. Elokuussa silmuihin oli kehittynyt noin 1 mm pituinen alkeisvarsi, jonka soluissa



**Kuva 3.** Kuusen taimien silmämääräisesti terveennäköisiä silmuja kasvukaappikokeen lopussa (koepäivä 103) käsittelystä B1 (boorilannoitus aloitettiin kasvukauden alussa; a kuva) ja käsittelystä B0 (ei boorilannoitusta koko kesänä; b kuva). Käsittelystä B1 (kuva a) tanniinia sisältäviä (näkyvät tummina soluina) soluja on vain muutamia, kun taas käsittelystä B0 (kuva b) suurimpaan osaan alkeisvarren (Av) soluista on kertynyt tanniinia. Kuvissa näkyy myös alkeisneulasia (An) ja b kuvassa sisimpiä silmusuomuja (Ss). Mittajana = 200 µm. (Sirkka Sutinen)

tanniinien määrä oli huomattavasti suurempi kasvuhäiriöpuissa kuin terveennäköisissä puissa.

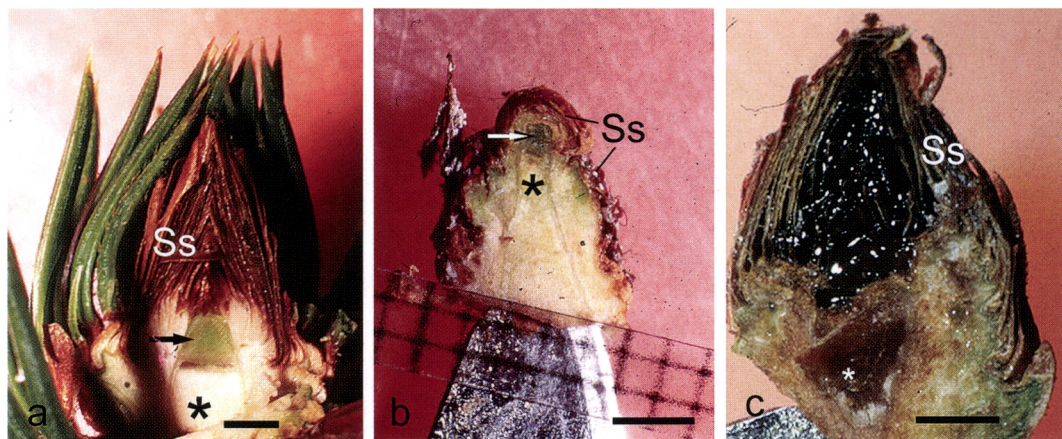
Myös taimikokeessa silmämääräisesti terveissä silmuissa tanniinia sisältävien solujen määrä alkeisvarressa oli merkitsevästi suurempi niukasti (käsittely B0, B2 ja B3) kuin runsaasti (käsittely B1) booria sisältävissä neulasissa (kuva 3a ja b). Neulasten booripitoisuudet kokeen lopussa (koepäivä 103) olivat seuraavat: B0 5,3 mg/kg, B1 18,5 mg/kg, B2 9,7 mg/kg ja B3 6,0 mg/kg. Lisäksi kasvusolukoissa havaittiin kuolleita soluja, mikä ennakoii silmun ja neulasten kasvun häiriintymistä seuraavana kesänä. Alkeisvarren solujen tanniineja on kuvattu myös muissa tutkimuksissa kuusen silmuissa ja ne on todettu histokemiallisin värjäyksin kondensoituneiksi tanniineiksi, joiden kertymistä soluihin pidetään stressitilanteen merkinä (Bilková ym. 1999).

Maastokokeessa marraskuussa kerätyistä kasvuhäiriöpuiden (H-metsikkö) kilpalatvojen ja sivuoksien kärki- ja sivusilmuista vain puolet oli terveennäköisiä (kuva 4a). Vioittuneissa silmuissa silmusuomut olivat alikehittyneitä tai epämuodostuneita ja varsinaisen alkeisvarsi oli epämuodostunut tai se puuttui kokonaan (kuvat 4b ja c). Kasvuhäiriöpuissa terveiden kärkisilmujen ( $r=0,90^{**}$ ) kuten myös terveiden sivusilmujen ( $r = 0,76^{*}$ ) osuus oli sitä suurempi, mitä korkeampi oli uusien neulasten booripitoisuus. Sekä T- että LH-metsikön puissa vain muutama silmu oli lievästi alikehittynyt, mutta muuten silmut olivat terveitä.

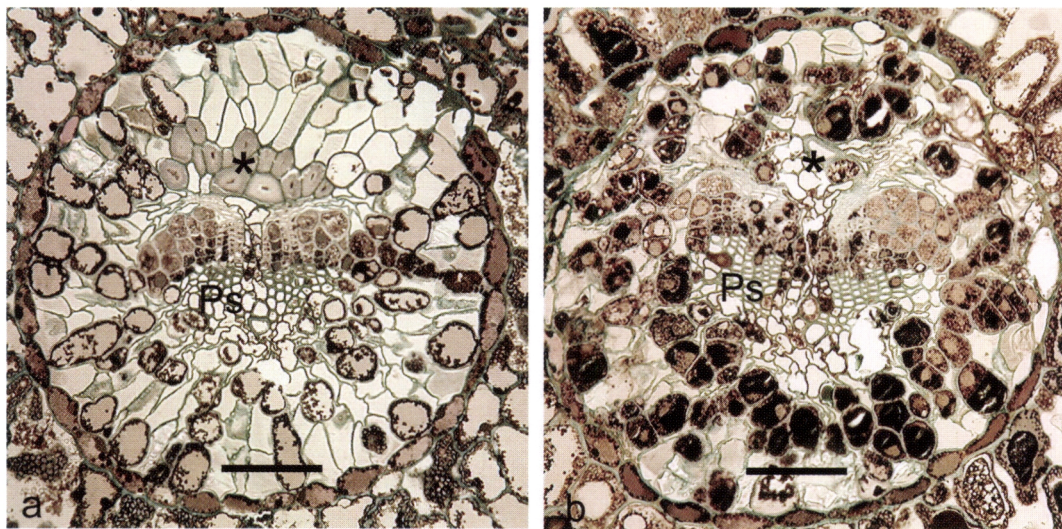
Maastokokeen kuusten neulasten keskuslieriö oli merkitsevästi suurempi sekä H- ja LH-metsiköissä kuin T-metsikössä. Keskuslieriö oli sitä suurempi, mitä vähemmän neulasissa oli booria ( $r = -0,55^{*}$ , edellisen vuoden neulaset ja  $r = -0,44^{*}$ , saman vuoden neulaset). Keskuslieriön tukisolujen (kuvat 5a ja b) määrä oli suurin terveennäköisissä metsiköissä (LH- ja T-metsiköt) ja se oli sitä suurempi, mitä enemmän neulasissa oli booria ( $r = +0,35^{\circ}$ ). Boorilannoitusajankohta ei vaikuttanut kasvukaappikokeessa kuusentaimien neulasten rakenteeseen.

Puusolukoiden putkiloiden määrä laskettiin vain maastokokeen kuusien neulasista (kuvat 5a ja b). Niiden määrä oli vuoden 1999 neulasissa pienempi terveissä puissa (T-metsikkö) kuin terveennäköisissä (LH-metsikkö) tai kasvuhäiriöisissä (H-metsikkö) puissa. Vastaavasti puuputkiloiden määrän suhde tukisolujen määrään oli pienin terveissä puissa ja suurin kasvuhäiriöpuissa. Puusolukon putkiloiden määrä ( $r = -0,64^{*}$ ) ja näiden suhde tukisoluihin ( $r = -0,58^{*}$ ) korreloivat neulasten booripitoisuuksien kanssa. Samat joskin hieman alhaisemmat korrelaatiot todettiin myös vuoden 2000 neulasissa. Pääravinteiden suhteet booriin eivät vaikuttaneet merkitsevästi mihinkään neulasista tai silmuista mitattuihin muuttujiin.

Kuivuus (Correia ym. 2001), puun ikä ja neulasten/lehtien asema puussa (Apple ym. 2002, Richardson ym. 2000) sekä ravinnetilanne (Harvey ja Driessche 1999) voivat perimän sallimissa



**Kuva 4.** Maastoseurannan terveen kuusen (T-metsikkö; kuva a) ja häiriökuusen (H-metsikkö; kuvat b ja c) kärkisilmuja marraskuussa. Kuva 4a. Ydin, alkeisvarsi ja silmsuomut ovat kehittyneet normaalisti. Kuva 4b. Kehityshäiriöinen silmu, jonka ydin on pullonkaulanmuotoinen, silmsuomut lähes kehittymättömiä kuten myös alkeisvarsi. Kuva 4c. Silmsuomujen voimakas pihkoittuminen ja ytimen kuolio silmussa, jonka kehitys on päättynyt ennen alkeisvarren muodostumista. Kuviin on merkitty alkeisvarsi nuolilla, ydin tähdillä ja silmsuomut (Ss). Mittajana kaikissa kuvissa = 2 mm. (Sirikka Sutinen)



**Kuva 5.** Terveen (T-metsikkö; kuva a) ja kasvuhäiriöisen (H-metsikkö; kuva b) kuusen neulasten keskuslieriön poikkileikkauksia. Terveelle puulle on ominaista tukisolujen (tähdet) suuri määrä, kun taas häiriöpuissa niitä on huomattavasti vähemmän. Puuselukossa (Ps) taas puusolujen määrä on suurempi häiriöpuissa verrattuna terveisiin puihin. Mittajana = 0.1 mm. (Sirikka Sutinen)

rajoissa lisätä keskuslieriön kokoa ja/tai puusolujen kokoa ja määrää ja tätä vaikuttaa puiden vesitalouteen. Onkin mahdollista, että maastoseurannassa havaittu neulasten keskuslieriön koon suureneminen ja puusolujen määrän lisäys, mitä

ilmeisimmin tukisolujen kustannuksella, on rakenteessa ilmenevä sopeutuma vallitseviin olosuhteisiin; vedenottokykyä lisäämällä myös boorin saatavuus booriköyhästä maasta paranee.

## Johtopäätöksiä

Tässä tutkimuksessa havaittu kärki- ja sivusilmujen kehityksen aikainen vaurioituminen ja jopa tuhoutuminen sekä latvassa että ylimmissä sivuoksissa selittää hyvin kuusissa havaitun kärkikasvun häiriintymisen ja latvan pensastumisen. Toisaalta silmämääräisesti terveennäköiset, mutta solukkotasolla oireilevat silmut selittävät sen, miksi osa kasvuun lähteivistä silmuista tuottaa vain kituliaan oksan.

Uuden silmun kehitys kestää koko kesän, joten boorinpuutteen aiheuttamat kehityshäiriöt tai kehityksen pysähtyminen voivat tapahtua milloin tahansa kesän aikana. Etenkin booriköyhillä kasvupaikoilla esimerkiksi tilapäinen kuivuus voi entisestään vähentää puiden boorin saantia ja häiritä silmujen normaalia kehitystä.

Jotta boorilannoitus turvaisi terveen silmun kehityksen jo lannoitusta seuraavana kesänä, se olisi annettava mieluiten edellisenä syksynä tai viimeistään hyvin aikaisin keväällä.

Neulasissa havaitut, booriin liittyvät muutokset ilmentänevät rakenteellista sopeutumaa neulasen kehityksen aikaiseen eli varhaiskevään ja alkukesän ravinne- ja vesitalouteen.

## Kiitokset

Näytteenotto- ja laboratoriotöissä avustivat Marja-Leena Jalkanen, Osmo Korhonen, Ritva Pitkänen ja Seija Repo sekä myös seurantatutkimuksen suunnitteluun osallistunut Martti Vuorinen. Parhaat kiitokset!

## Kirjallisuus

- Apple, M., Tiekotter, K., Snow, M., Young, J., Soeldner, A., Phillips, D., Tingey, D. & Bond, B. 2002. Needle anatomy changes with increasing tree age in Douglas-fir. *Tree Physiology* 22: 129–136.
- Bilková, J., Albrechtová, J. & Opatrná, J. 1999. Histochemical detection and image analysis of non-specific esterase activity and the amount of polyphenols during annual bud development in Norway spruce. *Journal of Experimental Botany* 35: 1129–1138.
- Cakmak, I. & Römheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil* 193: 71–83.
- Correia, M.J., Coelho, D. & David, M.M. 2001. Response to seasonal drought in three cultivars of *Ceratonia siliqua*: leaf growth and water relations. *Tree Physiology* 21: 645–653.
- Harvey, H.P. & van den Driessche, R. 1999. Nitrogen and potassium effects on xylem cavitation and water-use efficiency in poplars. *Tree Physiology* 19: 943–950.
- Jukka, L. 1988. Metsänterveysopas. Samerka OY, Helsinki. 168 s.
- Kivimäenpää, M., Sutinen, S., Medin, E-L., Karlsson, P.E. & Selldén, G. 2001. Diurnal changes in microscopic structure of mesophyll cells of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst., and the effects of ozone and drought. *Annals of Botany* 88: 119–130.
- Richardson, A.D., Berlyn, G.P., Ashton, P.M.S., Thadani, R. & Cameron, I.R. 2000. Foliar plasticity of hybrid spruce in relation to crown position and stand age. *Canadian Journal of Botany* 78: 305–317.
- Seigler, D.S. 1998. Tannins. Teoksessa: Plant secondary metabolism. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. s. 193–214.

# II Nuorten kuusikoiden kasvuhäiriön maantieteellinen esiintyminen ja booritilanne viljavilla kivennäismailla Etelä-Suomessa

*Pekka Tamminen ja Anna Saarsalmi*

## Johdanto

Pohjois-Savossa on kiinnitetty kasvavaa huomiota viljavien kangasmaiden kuusikoissa ilmeneviin kasvuhäiriöihin (Hynönen ym. 1999, Hynönen ja Makkonen 2002). Pohjois-Savon kasvuhäiriökuusikoista tehdyt neulasanalyysit osoittavat lähes poikkeuksetta boorin puutosta (suullinen tieto, Metsäkeskus Pohjois-Savo), jolloin booripitoisuus on alle 5 mg/kg (Aronsson 1983, Jukka 1988, Lipas 1990).

Boorin puutteen on todettu olevan yhteydessä kasvuhäiriöihin siten, että kasvuhäiriön todennäköisyys kasvaa, kun neulasten booripitoisuus laskee (Aronsson 1983, Lipas 1990, Hytönen ja Ekola 1993). Mikäli boorinpuutoksen osoitetaan johtavan kasvuhäiriöihin, olisi ongelman laajuuden selvittämiseksi ja lannoituksen suunnitsemiseksi kartoitettava ne alueet, missä kuusten neulasten booripitoisuus on alhainen. Samoin olisi myös tunnistettava tekijät, jotka vaikuttavat kuusten neulasten booripitoisuuteen.

Suomen kallioperässä on booria hyvin vähän ja suuri osa siitä on rapautumista hyvin kestävä mineraalina (Wikner 1983). Koska boorin tärkein varasto on merivesi, meren läheisyys on ratkaiseva boorin riittävyydelle ja rannikkoalueille tuleekin sadeveden mukana enemmän booria kuin sisämaahan (Wikner 1983). Tätä tukee havainto, että Ruotsissa neulasten booripitoisuus näyttää olevan korkein rannikoilla ja maan eteläosissa ja matalin sisämaassa ja maan pohjoisosissa (Möller

1983, Wikner 1983). Systemaattista tutkimusta kangasmetsiemme hivenravinnepuutoksista ei ole tehty, mutta yleisen käsityksen mukaan niitä on pidetty harvinaisina.

Työssä on kartoitettu Etelä-Suomen viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuuksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä.

## Aineisto ja menetelmät

Kasvuhäiriöiden esiintymislaajuutta ja kasvuhäiriöön vaikuttavia tekijöitä tutkittiin Etelä-Suomessa (Oulun läänin etelärajaan asti) valtakunnan metsien inventoinnin (VMI 9) näytealoilla syyskuussa 2001. Selvityksessä oli mukana 102 nuorta kuusikkoa, joista kerättiin neulas- ja maanäytteitä sekä määritettiin erilaisia puu- ja metsikkötunnuksia. Valtaosa (76 %) koealoista oli lehtomaisilla kankailla. Lehtojen osuus oli 5 %. Kasvupaikan kosteusluokituksen mukaan 82 % koealoista oli tuoreita. Selvästi tai lievästi kaskettuja oli yli puolet koealoista. Humuslaji oli valtaosalla koealoista kangashumus tai mullas ja yleisimmin esiintyvä maannos oli rautahumuspodsolii. Humuksen paksuus oli keskimäärin 29 mm. Iältään metsiköt olivat 13–44 v.

Koealat, joilta näytteet otettiin, sijoitettiin VMI-koealan kasvupaikka- ja puustokuvioille, enintään 20–30 m koealan keskipisteestä. Koealoittain valittiin kolme, vallitsevan jakson valtapuustoa



**Kuva 1.** Eri asteisesti kasvuhäiriöisiä puita (Erkki Oksanen).

edustavaa kuusta koepuiksi 7–10 m:n säteisen ympyrän sisältä ja vähintään 4 m:n päästä toisistaan. Koepuiden tuli olla vähintään 5 m ja enintään 16 m pituisia, ja niiden tuli edustaa myös terveydentilansa puolesta kuvion puustoa.

Koepuut luokiteltiin latvan ulkonäön perusteella kolmeen kuntoluokkaan: terveisiin (1), lievästi kasvuhäiriöisiin (2) ja selvästi kasvuhäiriöisiin (3) (kuva 1). Terveellä kuusella oli yksi normaalisti kasvanut latvakasvain. Lievästi kasvuhäiriöisellä kuusella oli 3–4 likimain normaalisti kasvanutta, mutta yhtä korkealle yltävää latvakasvainta. Selvästi kasvuhäiriöisellä kuusella latva oli monihaarainen ja tasainen tai pyöreä ja yksittäiset kasvaimet olivat lyhyitä ja mahdollisesti kuolleita. Koepuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja pituus ja mitattiin tai arvioitiin viimeisen latvakasvaimen pituus. Puuston ikä määritettiin läpimitan suhteen keskimmaisestä puusta joko oksakiehkuroiden lukumäärän perusteella tai kairaamalla ikä kannosta.

Koealalta arvioitiin mm. kasvupaikkatyypin, suosammalien peittävyys, kasvupaikan keskimääräinen kosteus ja kulttuurivaikutus, jolla pyrittiin mittaamaan kaskeamisen ja varsinaisen peltoviljelyn intensiteettiä.

## Tulokset

Koealan sijaintia kuvaavat muuttujat korreloivat hyvin neulasten booripitoisuuden kanssa. Selvästi kasvuhäiriöisiä puita tavattiin eniten Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskuksissa (kuva 2). Kun koealan puuston kuntoluokka perustui huonokuntoisimpaan puuhun, selviä kasvuhäiriöitä tavattiin jopa puolella Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskusten koealoista, mutta ei lainkaan Rannikon, Lounais-Suomen, Häme-Uusimaan, Pirkanmaan tai Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusten koealoilla. Lievästi kasvuhäiriöisiä puita havaittiin kaikkien metsäkeskusten alueilla.

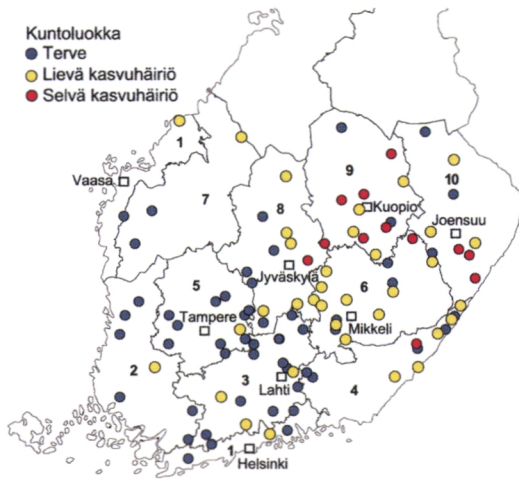
Neulasanalyysit osoittivat, että boorin puutosta havaittiin kolmea poikkeusta lukuun ottamatta vain Keski-Suomen, Etelä-Savon, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskuksissa (kuva 3). Boorinpuutosalojen osuus oli yli 50 % Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla ja Etelä-Savossakin kolmannes. Muiden ravinteiden osalta ei havaittu selvää alueellista vaihtelua metsäkeskusten välillä.

Neulasten booripitoisuuden ja puiden kunnan välillä oli negatiivinen korrelaatio. Mitä matalampi neulasten booripitoisuus oli, sitä todennäköisemmin puut olivat kasvuhäiriöisiä. Neulasten booripitoisuudet olivat keskimäärin sitä korkeampia, mitä terveempiä koealan puut olivat. Kuntoluokkien välillä ei ollut eroja muiden ravinteiden suhteen.

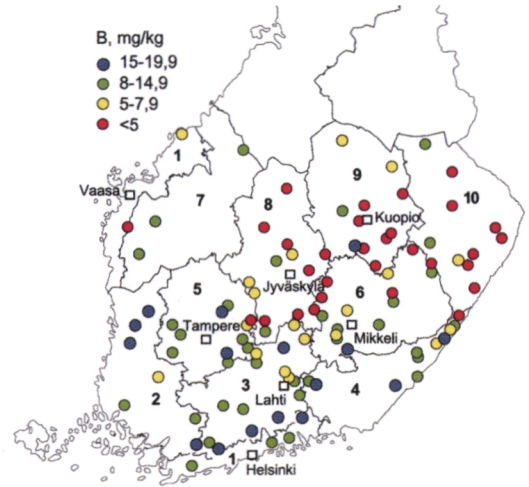
Humuskerroksen booripitoisuus ei selittänyt yhtä hyvin neulasten booripitoisuutta kuin kivennäismaan booripitoisuus. Korkeimmat kivennäismaan booripitoisuudet esiintyivät tutkimusalueen etelä- ja länsiosissa ja matalimmat koillisosissa kuten neulasissakin (kuvat 4 ja 5).

Neulasten booripitoisuuden kanssa korreloivat myös eräät puustotunnukset, mm. kuusten pohjapinta-ala ja keskiläpimitta. Mitä järeämpiä ja tiheämpiä kuusikot olivat, sitä matalampia olivat booripitoisuudet, kun muiden tekijöiden vaikutus oli poistettu.

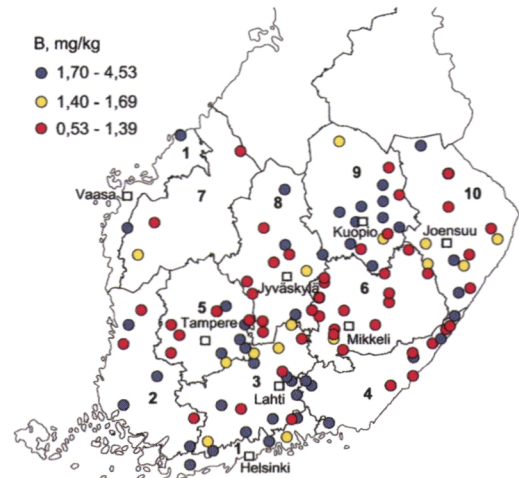
Neulasten booripitoisuus näytti korreloivan sijainti-, puusto- ja maan boorimuuttujien lisäksi myös soistuneisuuden eli märkyyden kanssa. Kuivuuden on uskottu alentavan puiden boorisaantia, koska puut eivät pysty ottamaan booria



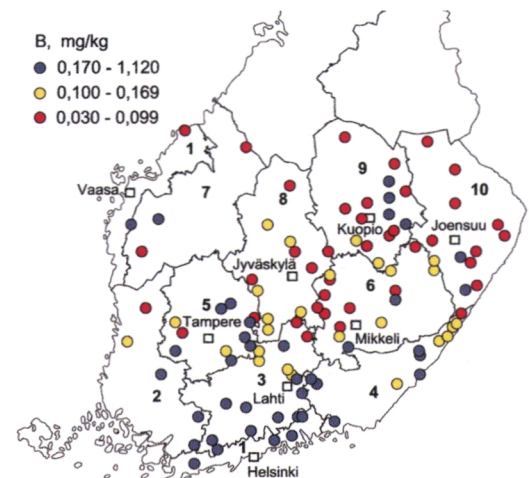
**Kuva 2.** Kasvuhäiriöiden esiintyminen Etelä-Suomen viljavissa kuusikoissa valtakunnan metsien inventoinnin näytealoilla. Puiden kuntoluokitus tehtiin koelan huonokuntoisimman puun perusteella. Metsäkeskukset: 1 = Rannikko, 2 = Lounais-Suomi, 3 = Häme-Uusimaa, 4 = Kaakkois-Suomi, 5 = Pirkanmaa, 6 = Etelä-Savo, 7 = Etelä-Pohjanmaa, 8 = Keski-Suomi, 9 = Pohjois-Savo, 10 = Pohjois-Karjala.



**Kuva 3.** Viljavien kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa valtakunnan metsien inventoinnin näytealoilla. Koelat on luokiteltu booripitoisuuden perusteella neljään ryhmään. (Metsäkeskusjako, ks. kuva 2).



**Kuva 4.** Humuskerroksen vesiliukoinen boori. Luokien rajat vastaavat likimain neulasten pitoisuuksia seuraavasti: 1,4 mg B/kg (humus)  $\Leftrightarrow$  5 mg B/kg (neulaset), 1,7 mg B/kg (humus)  $\Leftrightarrow$  10 mg B/kg (neulaset) ja 4,53 mg B/kg (humus)  $\Leftrightarrow$  20 mg B/kg (neulaset). (Metsäkeskusjako, ks. kuva 2).



**Kuva 5.** Kivennäismaan vesiliukoinen boori. Luokien rajat vastaavat likimain neulasten pitoisuuksia seuraavasti: 0,1 mg B/kg (kivennäismaa)  $\Leftrightarrow$  5 mg B/kg (neulaset), 0,17 mg B/kg (kivennäismaa)  $\Leftrightarrow$  10 mg B/kg (neulaset) ja 1,12 mg B/kg (kivennäismaa)  $\Leftrightarrow$  20 mg B/kg (neulaset). (Metsäkeskusjako, ks. kuva 2).

kuivasta pintamaasta, jossa on suhteellisesti eniten hienojuuria ja koska boori kulkeutuu puuhun passiivisesti veden mukana ja veden virtaus vähenee kuivuuden aikana (ks. Carter ja Brockley 1990, Stone 1990). Tässä aineistossa suosammat peittävyys ja kasvupaikan ja maanäytteiden kosteutta kuvaavat muuttujat korreloivat positiivisesti neulasten booripitoisuuden kanssa. Toisin sanoen kosteilla kasvupaikoilla ei esiintynyt boorinpuutetta.

## Johtopäätökset

Aineiston perusteella neulasten booripitoisuuden avulla voidaan arvioida kuusten kasvuhäiriön esiintymistä. Siellä, missä booripitoisuus oli matala, kasvuhäiriö oli yleisin. Muiden ravinteiden pitoisuuksien ja kasvuhäiriön yleisyyden välillä ei havaittu riippuvuutta.

Aineiston perusteella potentiaalinen kasvuhäiriöalue keskittyy Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Etelä-Savon metsäkeskusten alueille. Synnä tähän saattaa olla mm. alueen todennäköisesti pieni booriläskeuma (Wikner 1983) ja toisaalta kasvupaikkojen hyvä puuntuotoskyky, mikä johtuu paitsi luontaisesta viljavuudesta (Salminen 1981, Reinikainen ym. 2000) myös näiden alueiden puuntuotoksen kannalta edullisesta historiasta, kaskeamisesta, metsälaiduntamisesta (Heikinheimo 1915) ja lehtipuuvaltaisuudesta (Ilvessalo 1930) ennen kuusten istutusta.

## Kiitokset

Kenttätöihin osallistuivat kirjoittajien lisäksi Teuvo ja Sinikka Levula, Raino Lievonen, Reijo Hautajärvi ja Pekka Välikangas. Kuvat piirsi Anne Siika. Piia Kinnunen Kerttu Nyberg, Arja Reijonen, Pirkko Ronkainen, ja Maija Ruokolainen analysoivat näytteet laboratoriossa. Kiitos heille!

## Kirjallisuus

- Aronsson, A. 1983. Growth disturbances caused by boron deficiency in some fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 116: 116–122.
- Carter, R.E. & Brockley, R.P. 1990. Boron deficiencies in British Columbia: Diagnosis and treatment evaluation. *Forest Ecology and Management* 37(1–3): 83–94.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. *Acta Forestalia Fennica* 4(2): 264 s.
- Hynönen, T., Korhonen, K.T. & Tammilehto, E. 1999. Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savon kangasmetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 1999(3): 577–581.
- Hynönen, T. & Makkonen, T. 2002. Kuusikoiden kasvuhäiriöistä suuret tappiot. *Leipä Leveämmäksi* 2002(1): 12–14.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetilä Keski-Pohjanmaan metsityillä pelloilla. *Folia Forestalia* 822: 32 s.
- Ilvessalo, Y. 1930. Suomen metsät viljavuusalueittain kuvattuina. Tuloksia vuosina 1921–1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 15. 90 s.
- Jukka, L. 1988. *Metsänterveysopas*. Samerka OY, Helsinki. 168 s.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352. 22 s.
- Möller, G. 1983. Variation of boron concentration in pine needles from trees growing on mineral soil in Sweden and response to nitrogen fertilization. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 116: 111–115.
- Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.) 2000. *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. 384 s.
- Salminen, S. 1981. Vuosien 1971–75 valtakunnallisia metsävaratietoja karttamuodossa. *Folia Forestalia* 483. 42 s.
- Stone, E.L. 1990. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. *Forest Ecology and Management* 37(1–3): 49–75.
- Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 116: 131–141.

# III Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savossa ja niiden taloudellinen merkitys



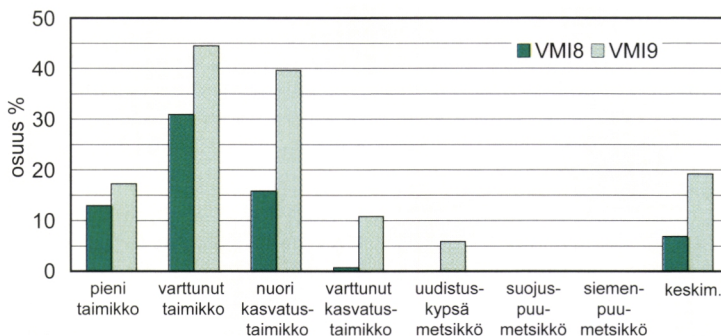
Tenho Hynönen ja Timo Makkonen

## Johdanto

Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella kiinnitettiin huomiota puiden, erityisesti kuusien, epänormaaliin kehitykseen jo 1980-luvun alkupuolella. Pellonmetsitystutkimuksen yhteydessä ongelma tuli esille 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa (Hynönen 2000) ja sen yleistymisen oli selvästi nähtävissä 1990-luvulla myös viljavimmilla kivennäismailla (Hynönen ym. 1999). Käytännön toiminnassa todettiin, että viljaville kivennäismaille (parhaat tuoreet kankaat sekä sitä viljavimmat kasvupaikat) istutetuissa tai luonnosta syntyneissä sekä myös pelloille perustetuissa metsiköissä esiintyy yleisesti puiden epänormaalia kehitystä. Epänormaali kehitys on selvimmän havaittavissa kuusella, mutta se näkyy myös männyllä ja koivulla. Puut pensastuvat eikä selvää latvakasvainta ole, vaan vuosittain syntyvä uusi latvakasvain kuolee ja puun pituuskehitys pysähtyy.

Voimakkailla häiriöillä on luonnollisesti myös taloudellisia vaikutuksia. Koska häiriöt näyttävät esiintyvän viljavilla mailla, tappiot lienevät merkittävimmät kuusikoissa. Viljavien maiden männiköiden laatu jo muutenkin on huono, joten niissä kasvuhäiriön taloudellinen merkitys ei ole kovin suuri.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kesällä 1999 mitatun maastoaineiston perusteella kasvuhäiriöisten kivennäismaiden kuusivaltaisten metsien laajuutta Koillis-Savossa sekä kasvuhäiriön taloudellista merkitystä. Koillis-Savon tulosten ja valtakunnan metsien inventointiaineistojen perusteella on tehty päätelmiä kasvuhäiriöiden yleisyydestä koko Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella.



**Kuva 1.** Latva- ja runkotuhojen osuudet VMI8:ssa ja VMI9:ssa Pohjois-Savossa kehitysluokittain.

**Taulukko 1.** Metsiköiden ja koepuiden jakautuminen kasvupaikoittain ja kehitysluokittain. Kehitysluokat: T2 = varttunut taimikko, keskipituus yli 1,3 m ja  $d_{1,3} < 8$  cm, O2=nuori kasvatusmetsä,  $8 \text{ cm} < d_{1,3} < 16$  cm, O3=varttunut kasvatusmetsä,  $d_{1,3} > 16$  cm.

Kasvupaikka	Lehto (OMaT)		Lehtomainen kangas (OMT)				Tuore kangas (MT)				Yhteensä	
	Esiintyy häiriötä n	%	Esiintyy häiriötä n	%	Häiriötä ei esiinny n	%	Esiintyy häiriötä n	%	Häiriötä ei esiinny n	%	n	%
Metsiköitä	5	8	34	57	4	7	9	15	8	13	60	100
Koepuita (kouset)	197	7	1740	62	160	6	359	13	334	12	2790	100
Kehitysluokat												
T2	2	15	6	46	2	15			3	23	13	100
O2	3	8	22	59	1	3	8	22	3	8	37	100
O3			6	60	1	10	1	10	2	20	10	100
Biologinen ikä, a	26 ± 6		32 ± 19		38 ± 33		35 ± 17		52 ± 33		35 ± 22	

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineisto kerättiin vuonna 1999, jolloin puustotiedot mitattiin Koillis-Savossa, viiden kunnan (Tuusniemi, Kaavi, Juankoski, Nilsia, Rautavaara) alueella 60:stä kasvupaikaltaan vähintään tuoretta kangasta vastaavista metsiköistä, joiden pääpuulaji oli kuusi (taulukko 1) (Tammilehto 2001). Metsiköt valittiin kaksivaiheisella otannalla. Ensimmäisessä vaiheessa valittiin perusaineistoksi koealat (59 kpl), joilla valtakunnan metsien 9. inventoinnissa (VMI9) oli havaittu latva- tai runkotuhoja. Mikäli latva- tai runkotuho voitiin todeta maastokäynnin yhteydessä ja tuho vaikutti ilmiänsuultaan tyypilliseltä kasvuhäiriöltä, merkittiin kuvio kasvuhäiriökohteeksi. Kaikkiaan edelliset ehdot täyttäviä metsiköitä löydettiin 39 kpl. Vertailuaineistoksi valittiin 142 koealan perusaineistosta systemaattisella otannalla VMI9-tietojen pohjalta 21 sellaista kuusikkoa, joihin ei ollut merkitty latva- eikä runkotuhoja. Metsiköihin sijoitettiin neljä (vertailukohde) tai viisi (kasvuhäiriökohde) kiinteäsaiteista koealaa ja relaskoopikoealaa (maksimisäde 12,52 m).

Kaikista kuusista mitattiin pituus (dm) ja rinnankorkeuslähimitta (mm). Jokainen yli 44 mm rinnankorkeuslähimitaltaan oleva kuusi apteerattiin, jotta kasvuhäiriöinen rungonosa voitiin erottaa laskennassa. Apteerauksessa käytettiin seuraavia laatuluokkia: 1 = tukki, 2 = kuusikuitu, 3 = mäntykuitu, 4 = hukkapuu, 5 = pakkokatkaisu, 6 = kasvuhäiriöinen tukki, 7 = kasvuhäiriöinen

kuusikuitu, 8 = kasvuhäiriöinen mäntykuitu ja 9 = kasvuhäiriöinen hukkapuu. Mäntykuitu tarkoittaa laadultaan hiokepuuksi kelpaamatonta rungonosaa. Mäntykuiduksi merkityssä osassa oli yleensä suuria oksia tai oksatihentymiä. Luokissa 6–9 ”kasvuhäiriöinen” merkitsee, että vika on aiheuttanut rungon laadun alenemisen. Puiden biologinen ikä arvioitiin kairaamalla kuvioittain muutamia koepuita. Kaikkiaan mittauksiin tuli 2790 kuusta ja 813 kappaletta muita puulajeja. Valta-osa metsiköistä sijaitsi lehtomaisilla kangilla. Metsiköt ovat myös varsin nuoria, biologinen ikä on keskimäärin 35 vuotta (taulukko 1). Perus- ja vertailuaineistossa olevat puut jaettiin kolmeen puuluokkaan: 1 = kasvuhäiriöisellä kuviolla kasvaviin ulkoisesti viattomiin puihin (häiriökuvion normaalipuu), 2 = kasvuhäiriöstä aiheutuneita latva- ja runkovikoja sisältäviin puihin (häiriökuvion häiriöpuu) ja 3 = häiriöttömillä kuvioilla kasvaviin normaalisti kehittyneisiin puihin (häiriöttömien kuvioiden normaalipuu).

Yksittäisten puiden tiedot yhdistettiin puu- ja metsikkökohtaisiksi tunnuksiksi. Kasvuhäiriön voimakkuutta yksittäisessä puussa arvioitiin laskemalla häiriöisen rungonosan suhteellinen osuus tilavuuden perusteella vähintään 45 mm rinnankorkeuslähimitaltaan ( $d_{1,3}$ ) oleville puille ja pituuden perusteella  $d_{1,3}$ :n ollessa alle 45 mm. Metsikkötasolla kasvuhäiriön voimakkuus laskettiin häiriöisten kuusien osuutena kaikkien kuusien pohjapinta-alasta.

## Tulokset

### Kasvuhäiriön esiintyminen

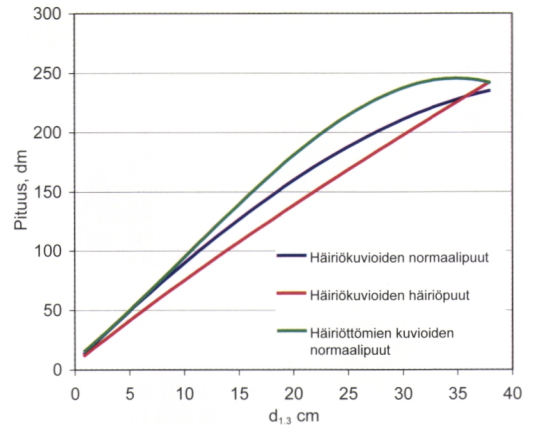
VMI9:ssä runko- tai latvavikaisiksi luokitelluista (Tomppo ym. 1999) metsiköistä 71 %:lla ja vertailukohteista (VMI: ei latva- tai runkotuhoja) 43 %:lla havaittiin maastomittauksissa kasvuhäiriöitä. Havaittujen kasvuhäiriöisten metsiköiden osuuden perusteella saatiin kasvuhäiriömetsiköiden pinta-ala-arvioksi noin 30 400 hehtaaria Koillis-Savossa, missä tämän mukaan metsämaan kivennäsmaiden kuusivaltaisista varttuneista taimikoista, nuorista kasvatusmetsistä ja varttuneista kasvatusmetsistä oli peräti 53 prosenttia kasvuhäiriöisiä.

Kasvuhäiriöisten metsiköiden osuuden voi arvioida kasvupaikkajakauman perusteella olevan koko Pohjois-Savon metsämaan kivennäsmaiden kuusivaltaisissa varttuneissa taimikoissa sekä nuorissa ja varttuneissa kasvatusmetsissä samanlainen kuin Koillis-Savossa. Koillis-Savon maastoarviointien perusteella kasvuhäiriöisiä edellä kuvatun kaltaisia metsiköitä on Pohjois-Savossa 131 800 hehtaaria. Kasvuhäiriöpinta-alaosuudeksi saadaan tällöin 51 %.

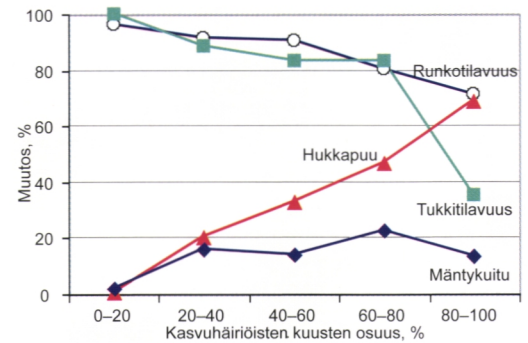
Metsätyyppi vaikuttaa tulosten mukaan melko selvästi kasvuhäiriön esiintymiseen. Kasvuhäiriö on yleisempää viljavilla kasvupaikoilla. Lehoissa ja lehtomaisella kankaalla kasvuhäiriömetsiköiden osuus oli yli 70 %, mutta tuoreella kankaalla hieman alle 40 %. Sen sijaan sellaiset kasvupaikkatekijät kuten metsikön korkeus merenpinnasta (vaihtelu 90–300 m) ja lämpösumma (vaihtelu 950–1250 d.d.) eivät selittäneet kasvuhäiriön esiintymistä.

### Puiden kasvu

Kasvuhäiriö vaikutti selvästi puiden pituuskasvuun. Kasvuhäiriöisten metsiköiden puut olivat selvästi häiriöttömissä metsiköissä kasvavia saman läpimittaluokan puita lyhyempiä (kuva 2). Rinnankorkeusläpimitan kasvaessa kasvuhäiriöisten metsiköiden puut saavuttavat pituudessa häiriöttömien metsiköiden puut, koska harvennuksissa kasvamaan jätetään parhaimpia puita. Toisaalta normaalisti kehittyvissä metsissä kuu-



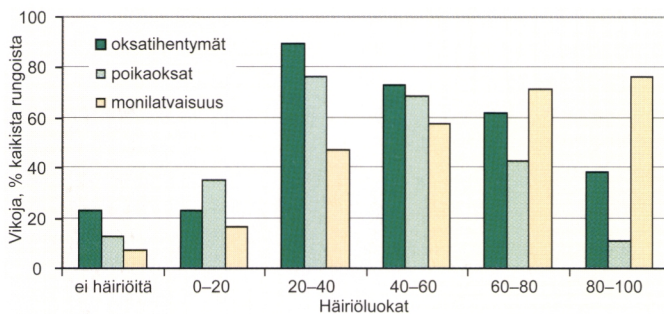
Kuva 2. Kuusien pituus rinnankorkeusläpimittaluokittain eri häiriöluokissa.



Kuva 3. Kuusien pohjapinta-alasta lasketun kasvuhäiriöisten kuusien osuuden vaikutus metsikön runkotilavuuteen, tukkitilavuuteen ja hukkapuutilavuuteen osuuksiin sekä kuusikuitupuun siirtymiseen mäntykuiduksi. Vertailukohtana rinnankorkeudelta vastaava normaalisti kehittynyt metsikkö.

sien pituuskasvu näyttää hidastuvan läpimitan jatkaessa kasvuun.

Kasvuhäiriöisten kuusien osuuden kasvaessa kuusien pohjapinta-alasta pienenee kuusien runkotilavuus selvästi verrattuna terveiden metsien tilavuuteen (kuva 3). Kasvuhäiriöisten kuusien osuuden kasvaessa yli 80 %:n kuusien pohjapinta-alasta puuston tilavuus on vain noin 70 % rinnankorkeudelta vastaavan terveen metsän tilavuudesta.



**Kuva 4.** Kuusien latva- ja runkovikojen esiintyminen luokiteltuna kasvuhäiriöisten kuusien pohjapinta-alalla painotetun osuuden mukaan (häiriöluokat). Samassa puussa voi olla useampia vikoja. Ei häiriötä tarkoittaa kuvioita, joilla ei esiinny ainuttakaan kasvuhäiriöistä puuta.

### Puiden laatu

Puiden laatu heikkenee selvästi kasvuhäiriön voimistuessa. Mitä suuremmissa osassa puustoa esiintyy kasvuhäiriötä, sitä pienempi osa rungosta täyttää kuusitukille asetetut vaatimukset ja sitä suurempi on hukkapuun osuus puuston tilavuudesta (kuva 3). Kasvuhäiriöisten kuusien osuuden kasvaessa yli 80 %:n metsikön pohjapinta-alasta puuston tukkitilavuus pienenee 65 % verrattuna rinnankorkeudelta vastaavan terveen metsän tukkitilavuuteen. Hukkapuun osuus runkotilavuudesta kasvaa suoraviivaisesti 70 %:iin kasvuhäiriöisten puiden osuuden kasvaessa 80–100 %:iin metsikön pohjapinta-alasta. Kasvuhäiriön voimistuessa myös mäntykuiduksi arvioitu osuus kokonaiskuitumäärästä metsikössä kasvaa. Suurin metsikkötasolla mitattu mäntykuidun osuus kokonaiskuitusaannosta oli 62 %.

Tukkitilavuuden pienemisen ja hukkapuun tilavuuden kasvun tärkeimmät syyt ovat erilaiset rungon muotoviat, kuten poikaoksat ja oksatihentymät (kuva 4). Kuusien monilatvaisuutta esiintyy sitä enemmän, mitä suurempi osa rungosta on apteerattu kasvuhäiriöiseksi. Normaaliksi rungoltaan apteeratuista puista oli noin 7 % monilatvaisia, mutta voimakkaimmin kasvuhäiriöisistä puista monilatvaisiksi luokiteltiin yli 76 %.

### Taloudellinen merkitys

Edellisten kappaleiden kasvuhäiriön vaikutusta kuusikon kasvuun ja laatuun apuna käyttäen

**Taulukko 2.** Kuusikon runkopuun tuotos 80 vuoden kiertoajalla, kolmella harvennuskerralla lehtomaisella kankaalla.

Puutavara-laji	Vuokila & Väliaho 1980	Kasvuhäiriöisiä kuusia 20–40% pohjapinta-alasta Tuotos, m <sup>3</sup> /ha	Kasvuhäiriöisiä kuusia yli 80% pohjapinta-alasta
Kuusitukkia	410	362	143
Kuusikuitua	132	111	205
Mäntykuitua	0	21	31
Hukkapuuta	6	7	10
<b>Yhteensä</b>	<b>548</b>	<b>501</b>	<b>390</b>

voidaan esittää karkea arvio kasvuhäiriön taloudellisesta vaikutuksesta. Laskelman lähtökohtana voidaan pitää Vuokilan ja Väliahon (1980) esittämiä lehtomaisen kankaan kuusikon tuotoslukuja, joiden mukaan viljelty kuusikko tuottaa 80 vuoden kiertoajalla ja kolmesti harvennettuna 548 m<sup>3</sup> ainespuuta. Kasvuhäiriön voimakkuus vaikuttaa merkittävästi odotettavissa olevaan tuottoon. Mikäli kuusikon pohjapinta-alasta laskeutu kasvuhäiriöisten kuusien osuus on 20–40 %, niin kuusitukin osuus kokonaistuotoksesta tippuu 410:stä m<sup>3</sup>/ha 362:een m<sup>3</sup>/ha kiertoajalla. Vastavasti kasvuhäiriöisten kuusien osuuden ollessa yli 80 % kuusitukin kokonaistuotos on enää 143 m<sup>3</sup>/ha kiertoajalla.

Kun runkopuun tuotos muutetaan vuoden 2003 puun hinnoilla tuotoksi euroa hehtaarilla, niin tällöin voidaan todeta, että jo lievä kasvuhäiriö vähentää maanomistajan saamaa tuottoa selvästi (taulukko 3). Mikäli kasvuhäiriön annetaan pahentua, kasvavat taloudelliset menetykset

**Taulukko 3.** Kuusikon tuotto 80 vuoden kiertoajalla, kolmella harvennuskerralla lehtomaisella kanakaalla. Tuoton laskennassa käytetty vuoden 2003 puutavaralajien keskimääräistä kantomaintaa Pohjois-Savossa. Normaali kuusikon tuotos laskettu Vuokilan & Väliahon (1980) mukaan.

	Normaali kuusikko	Kasvuhäiriöisiä kuusia 20–40% pohjapinta-alasta euroa, ha	Kasvuhäiriöisiä kuusia yli 80% pohjapinta-alasta
Kuusitukkaa	18850	16638	6591
Kuusikuitua	2878	2415	4473
Mäntykuitua	0	274	410
Yhteensä	21728	19328	11475
Yhteensä, vuodessa	272	242	143

rajusti. Jos kuusikon pohjapinta-alasta yli 80 % kärsii kasvuhäiriöstä, niin tuottotappio on jo 129 euroa hehtaarilla joka vuosi.

## Johtopäätökset

Tutkimus osoitti, että viljavien kivennäismaiden kuusikoiden epänormaali kehitys Pohjois-Savossa on hyvin laaja-alaista. Valtakunnan metsien perättäisten inventointien (VMI 8 ja 9) tiedot kertovat myös häiriön yleistyneen. Ilmeisesti inventoinneissa merkittävä osa häiriöistä on kuitenkin jäänyt ”havaitsematta”, koska myös VMI9:n vertailuaineistossa liki puolessa metsiköistä havaittiin tarkastusinventoinnissa kasvuhäiriöitä.

Tutkimuksessa ei selvitetty yksittäisten puiden ikää, joten ei voida arvioida kuinka nopeasti puut saavuttavat tietyn läpimittaluokan. Kasvuhäiriö vaikuttaa kuitenkin selvästi puiden pituuskasvuun, joten on todennäköistä, että myös rinnankorkeusläpimitan kasvu heikkenee varsinkin voimakkaimmin kasvuhäiriöstä kärsivissä metsissä verrattuna häiriöttömissä metsissä kasvaviin puihin.

Aineisto ei anna mahdollisuutta sen arvioimiseksi, kuinka suuri osa taimista kuolee tai lopettaa kasvunsa kasvuhäiriön seurauksena ennen kuin saavuttaa pienimmät puutavaralajimitat. Kuolemista ja kasvun pysähtymistä kuitenkin tapahtuu. Sen sijaan tulokset osoittavat, että kasvuhäiriöisten puiden lisääntyessä metsikön tuotto alenee merkittävästi. Voimakkaimmin kasvuhäiriöistä kärsivien kuusikoiden tuotto voi aleta selvästi alle

puoleen normaalisti kehittyviin metsiköihin verrattuna, mikä johtuu tukkiosuuden merkittävästä alenemisesta. Vajaapuustoisiksi kehittyneitä, mutta ääliään parhaassa kehitysvaiheessa olevia metsiköitä on huonon taloustuloksen vuoksi jouduttu jopa uudistamaan ennen normaalia päätehakkuuikää. Puiden epänormaali kehitys aiheuttaa vuositasonlailla hyvin mittavat taloudelliset tappiot maakuntatasolla alentuneena puun laatuina. Yksittäisellä tilalla taloudelliset tappiot voivat nousta vieläkin merkittävämmiksi.

## Kiitokset

Metsäylioppilas Erika Tammilehto oli mukana maastotoissa sekä teki aineistosta oppinnyteytön Helsingin yliopistoon. Tutkimushankkeen eri vaiheissa saatiin asiantuntija-apua erityisesti professori Eino Mälköselältä sekä tutkija Kari T. Korhoselta Metsäntutkimuslaitokselta. Tutkimushanketta rahoittivat Pohjois-Savon työvoima- ja elinkeinokeskus, maa- ja metsätalousministeriö sekä Pohjois-Savon metsäkeskus. Kaikille em. henkilöille sekä rahoittajille parhaimmat kiitoksemme saamastamme tuesta.

## Kirjallisuus

- Hynönen, T. 2000. Pellonmetsityksen onnistuminen Itä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 765. 90 s + liitteet.
- Hynönen, T., Korhonen, K. T., Tammilehto, E. 1999. Kuusen kasvuhäiriö Pohjois-Savon kangasmetissä. Metsätieteen aikakauskirja 3/1999.
- Tammilehto, E. 2001. Kuusikoiden kasvuhäiriöt Pohjois- ja Koillis-Savossa. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma maatalous-metsätieteiden maisterin tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos. 75 s.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J. & Tuomainen, T. 1999. Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1999.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsien kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(3): 1–271.

# IV Sienituhot kasvuhäiriökuusikoissa

Martti Vuorinen

## Latvakasvainten tuhot

Kuusen kasvuhäiriöitä voivat aiheuttaa useat sienitaudit tuhoamalla silmuja tai latvakasvaimia. Kuusen primaarisiin eli ensisijaisiin verso- ja silmutuhoja aiheuttaviin sieniin kuuluu kuusen tuomiruoste, *Pucciniastrum areolatum* (syn. *Thekopsora areolata*), jonka isäntäkasveja ovat kuusi ja tuomi. Elinkiertonsa aikana se siirtyy kuusesta tuomeen ja hyödyntää molempia leviämisesään. Ns. kuusen kasvuhäiriöalueilla, viljavilla kivennäismailla esiintyy tuomea yleisesti, ei välttämättä kuitenkaan joka metsikössä.

Tuomen lehdille kuusen tuomiruoste muodostaa kesällä ensin kesäitiöpesäkkeensä ja syksyllä näihin samoihin lakastuviin lehtiin talvi-itiöpesäkkeensä. Keväällä ne itävät hajoavissa lehdissä, muodostavat alkukuromansa ja leviävät kuusen kehittyviin emikukintoihin, tuleviin käpyihin tai uusiin versoihin, joissa ne muodostavat pikkukurmapesäkkeet. Käpyihin tuomiruoste voi levitä satojen metrien päästä tai jopa kauempanakin sijaitsevien tuomien lehdiltä. Kävyissä alkukurmat kehittyvät edelleen helmi-itiöpesäkkeiksi, mutta versoissa kehitys pysähtyy usein pikkukuruma-asteelle. Helmi-itiöiden välityksellä sieni leviää taas uudelleen tuomen lehdille ja sairastuneita tuomia voi tavata jopa kilometrien päästä (Jörstad 1925).

Tuomiruoste tuhoaa sekä käpyjä että versoja (mm. Lilja 1967). Tuomiruosteen iskiessä versoon, vuotaa aluksi iskeytymiskohdasta pihkaa ja myöhemmin solukkojen tuhouduttua siihen muodostuu koro. Mikäli infektio ulottuu rangan ympäri, se tappaa koko verson, mutta toispuoleisena johtaa verson taipumiseen mutkalle. Infektion toistuessa useana peräkkäisenä vuonna



**Kuva 1.** Tuomiruosteen itiöpesäkkeiden aiheuttamia punaisia läikkiä tuomenlehdillä (Erkki Oksanen).



**Kuva 2.** Tuomiruosteen helmi-itiöpesäkkeitä kuusen kävyn suomujen yläpinnalla (Erkki Oksanen).

kuusista tulee kasvutavaltaan haaroittuneita ja pensasmaisia. Merkittäviä tuhoja tavataan, jos tuomea, erityisesti tuomen vesoja, kasvaa esimerkiksi kuusen taimikossa, metsiköissä tai lähellä mm. metsitettyjen peltojen laitamilla.



**Kuva 3.** Tuomiruoste aiheuttaa pihkavuotoa ja käyristää kuusen versoja (Erkki Oksanen).

Tuomiruosteen esiintyminen vaihtelee suuresti vuodesta toiseen. Syynä tähän ovat paikalliset sääolot. Ratkaisevaa leviämisen kannalta on kosteat ja tuuliset olosuhteet silloin, kun itiöt leviävät. Vuoden 2000 kesällä oli runsaasti käpytuhoja, mutta versotuhoja ei ollut läheskään yhtä yleisesti. Kesällä 2001 oli taas runsaammin versotuhoja ja käpytuhojakin paikoitellen, mutta käpysato oli yleensäkin melko heikko.

Kasvuhäiriökuusten latvuksissa tuhoja voivat aiheuttaa myös muut kuusen kasvaimia tai silmuja tuhoavat sienet. Versosurma tuhoaa männyn alikasvustona olevia kuusia, jolloin niiden latvaosat kuolevat ja kuivuvat. *Sirococcus conigenus* tuhoaa myös kuusen versoja ja ainakin taimituotannossa se voi olla haitallinen tuhonaiheuttaja. Keski-Euroopassa havaittuja *Sirococcus*-sienien aiheuttamia taimikko- ja metsikkötuhoja, jotka ilmeisesti liittyvät eräiden ravinteiden, mm. kalsiumin ja magnesiumin niukkuuteen (Anglberger ym. 2003) ei meillä toistaiseksi ole tavattu.

## Sienituhojen esiintyminen kasvuhäiriökuusikoissa

Tässä hankkeessa kartoitettiin tautitilannetta lähinnä Koillis-Savon kuusikoissa, joissa on

inventointien perusteella (katso TH) ollut kasvuhäiriöitä ja kerättiin niistä näytteitä tuhomäärityksiä varten.

Yleisimmät löydetty tunnistetut sienet tuomiruosteen lisäksi olivat: *Sclerophoma pithyophila*, *Sirococcus conigenus*, *Aureobasidium pullulans*, *Epicoccum nigrum*, *Fusarium* sp, *Tricoderma* sp, *Phacidium* (tai *Phomopsis*) sp, *Cladosporium* sp, *Cylindrocarbon* sp, sekä satunnaisesti joukko muita tunnistamattomia sieniä.

Kun kasvuhäiriökuusista tutkittiin tuhoutumassa olevia tai osittain kuolleita versoja ja silmuja, useimmiten pystyttiin eristämään *Sclerophoma pithyophila*-sieni, joka näyttää valtaavan ensimmäisten joukossa tuhoutuvan solukon. Kuitenkaan suuresta osasta (n. 2/3) näitä tuhoutuvia versoja ei vielä ensimmäisen kesän aikana pystytty eristämään mitään sientä, joten solukojen tuhoutuminen alkoi ilman mitään sieninfektiota.

*Sirococcus conigenus*, joka tunnetaan ainakin kuusen taimien primaarisena versotuholaisena, oli yleisin jo vähän kauemmin kuolleina olleissa versoissa tai silmuissa esiintynyt sieni. Muita sieniä (esim. *Phacidium*, *Epicoccum*, *Tricoderma*, *Cladosporium* ja *Fusarium*) taas esiintyi satunnaisesti.



**Kuva 4.** Tuomiruosteen aiheuttamaa latvakasvainten käyrystymistä (Risto Rikala).

## Yhteenvedo

Kuusen kasvuhäiriöalueilla tavataan yleisesti tuomiruosteen aiheuttamaa latvakasvainten kuolemista, joka lisää boorinpuutoksen aiheuttamia latvustuhoja, mutta joka esiintyy myös boorilannoitetuissa metsiköissä. Tuomiruoste aiheuttaa aluksi pihkavuotoja, joista myöhemmin kehittyvät koroja uusiin latvakasvaimiin. Nämä aiheuttavat

latvakasvainten käyrystymistä ja myös tappavat uusia versoja, kuten boorinpuutoksen aiheuttama kasvuhäiriökin. Korojen perusteella tuomiruostetuhot ovat myös parhaiten tunnistettavissa ja erotettavissa boorin puutteesta aiheutuvasta kasvuhäiriöstä. Erot näiden kasvuhäiriöiden ja tuomiruosteen välillä eivät kuitenkaan aina ole varsinkaan varttuneessa metsikössä helppoja havaita, ja epäilyttävissä tapauksissa kannattaakin tehdä neulasista ravinneanalyysi lannoitustarpeen selville saamiseksi. Kuusen tuomiruostetuhojen määrä vaihtelee vuodesta toiseen ja on yhteydessä sopiviin sääoloihin, ennen kaikkea riittävään ilmankosteuteen taudin kannalta tärkeänä itiöiden leviämisaikana. Muuta sienilajistoa on löytynyt kasvuhäiriökuusten kuolleilta tai kuolevilta versoilta lukuisa joukko, mutta varsinaisina primaarisina taudinaiheuttajina niiden ei ole todettu esiintyneen.

## Kirjallisuus

- Anglberger, H., Sieghardt, M., Katzensteiner, K. & Halmschlager, E. 2003. Needle nutrient status of *Sirococcus* shoot blight-diseased and healthy Norway spruces. *Forest Pathology* 33(1): 21–30.
- Jörstad, I. 1925. Norske skogssykdommer. Nåle-tressykdommer bevirket av rustsopper, ascomyceter og fungi imperfekti. MNS 6.
- Lilja, S. 1967. Tuomen merkityksestä kuusen tuomiruostesienen *Pucciniastrum padi* (KUNZE & SCM.) DIET., esiintymiselle kuudessa. *Silva Fennica* 1 (121): 45–62.

# V Eläimet kasvuhäiriöiden aiheuttajina

*Maarit Kytö*

## Eläinten aiheuttamat kasvuhäiriötyypit

Monet eri kasvinsyöjäeläimet voivat aiheuttaa puihin kasvuhäiriöitä (Saalas 1949, Jukka 1988, Uotila & Kankaanhuhta 1999, Poteri 2002). Vakavimmat kasvuhäiriöt aiheutuvat puun latvan kärkikasvupisteen toiminnan häiriöstä tai kasvupisteen täydellisestä tuhoutumisesta, jolloin apikaalidominanssi ei ohjaa puun rakenteen kehitystä puulajille tyypillisellä tavalla. Vastaavat häiriöt sivuoksissa eivät ole koko puuyksilön kannalta yhtä merkityksellisiä.

Kärkikasvupiste voi tuhoutua esimerkiksi luteiden imennän seurauksena jo silmunmuodostuksen aikana, jolloin silmu jää vaillinaisesti kehittyneeksi tai epämuodostuneeksi. Myös normaalisti kehittyneet kärkisilmut voivat monien eri eläinlajien toimesta tuhoutua ennen kasvuunlähtöä. Jos latvakasvaimesta tuhoutuu kasvupiste tai koko kärkisilmu, ei puulle kehity normaalia dominoivaa latvaversoa, vaan sivuversot alkavat kilpailla keskenään latva-asemasta. Versojen keskinäinen kilpailu johtaa helposti latvan pensastumiseen. Mikäli myös latvakasvaimen sivusilmut tuhoutuvat, alkavat ylimmän oksakiehkuran oksat kasvaa ylöspäin pyrkiessään korvaamaan puuttuvan latvan. Latvan pensastumista lisää myös jälkisilmujen kehittyminen alkuperäisen latvakasvaimen yläosiin.

Selkärankaiset voivat vaurioittaa puita silmutuhojen lisäksi myös katkaisemalla vuosikasvaimia, ja hirvet jopa murtavat poikki ohuita runkoja. Siinä missä silmuvauriota seurannut kasvuhäiriö saattaa korjaantua nopeastikin ja laatuvihe jäädä pieneksi, jää runkovauriosta puuhun usein huo-

mattavia laatuviikoja runkomutkien ja poikaoksien muodossa. Lisäksi verso- ja runkovauriot altistavat sienitaudeille, joista voi aiheutua esimerkiksi lahoa tai värivikaa puuaineeseen.

## Selkärankaiset

Hirvet ruokailevat taimikoissa varsinkin talvi-aikaan. Syödessään ne riipivät ja katkovat oksia sekä latvakasvaimia, ja voivat murtaa poikki myös hennompija runkoja. Vaurioista aiheutuu kasvutappioiden ja laatuviikojen ohella myös kasvuhäiriöitä. Hirvituhot ovat pahimpia männyn- ja koivuntaimikoissa, ja tuhoja pahentaa se, että hirvet tyypillisesti ruokailevat samoissa taimikoissa vuodesta toiseen.

Hirven lisäksi myös metsämyyrä aiheuttaa ajoittain varsin merkittäviä kasvuhäiriöitä taimikoissa. Se kiipeilee muutaman metrinkin korkuisiin havupuuntaimiin nakertamaan silmuja ja versojen kuorta, mistä seuraa yleensä latvan pensastuminen. Muut nisäkkäät eivät yleensä aiheuta vakavampia kasvuhäiriöitä. Tosin varsinkin huonoina siemenvuosina oravat syövät puiden, erityisesti kuusen kukkasilmuja. Silmuja nakerrellessaan ne myös katkovat ja pudottelevat runsain määrin versonkärkiä, mutta varttuneissa kuusissa tämä aiheuttanee pikemminkin kasvutappioita kuin merkittäviä kasvuhäiriöitä. Metsäjänis ja rusakko saattavat myös katkoa havu- ja lehtipuiden taimien latvakasvaimia, mikä helposti johtaa latvan pensastumiseen, mutta näitä tuhoja esiintyy vain satunnaisesti. Linnuista lähinnä metso ja teeri voivat aiheuttaa kasvuhäiriöitä syömällä pienten männyntaimien silmuja ja latvakasvainten kärkiä

istutusaloilla tai taimitarhoilla. Varttuneemmissa puissa silmujen syönnillä ei liene suurta merkitystä kasvuhäiriöiden syntymisen kannalta.

## Hyönteiset

Potentiaalisia metsäpuiden kasvuhäiriönaiheuttajia on hyönteislajeissa useita kymmeniä. Useimmat näistä ovat pikkuperhosia, joiden toukat kovertavat silmuja ontoksi. Tuoreeltaan nämä tuhot on yleensä helppo todeta hyönteisten aiheuttamiksi. Sensijaan imeväsuisten hyönteisten (kirvat, luteet) aiheuttamat vauriot voidaan helposti tulkita esimerkiksi ravinnehäiriöiksi, koska varsinainen pistojälki on vaikea havaita, ja mekaanista vauriota voimistavat hyönteisten syljen sisältämät aineet.

Peltoluteet aiheuttavat merkittäviä kasvuhäiriöitä erityisesti nuorille männyntaimille. Luteet työntävät imukärsänsä erityisen mielellään latvan kärkikasvusolukkuun, johon ne erittävät entsyymipitoista sylkeä. Sylki pilkkoo kasvin soluja nesteeksi, jonka lude pystyy imemään ravinnokseen. Kärkikasvupisteen tuhoutumisesta seuraa silmuhäiriöitä, monilatuaisuutta ja neulasten epämuodostumia. Luteet ovat aiheuttaneet kasvuhäiriöongelmia erityisesti taimitarhoilla.

Kirvat ovat erittäin tehokkaasti ja nopeasti lisääntyviä hyönteisiä, jotka imevät ravintonsa isäntäkasvin johtojänteistä. Runsaina esiintyessään kirvat saattavat näivettää varsinkin nuoria taimia, ja aiheuttaa kasvuhäiriöitä niiden päätesilmuissa ja lehdissä/neulasissa. Omantyyppisiään kasvuhäiriöitä aiheuttavat havukirvat, joiden imennän seurauksena kuusen nuoret versot kehittyvät käpymäisiksi äkämiksi.

Lukuisten pikkuperhoslajien toukat käyttävät ravinnokseen puiden silmuja. Silmutuholaisia esiintyy yleisinä koko maassa varsinkin havupuilla. Nämä koisa-, koi- ja kääriäistoukat tyypillisesti elävät silmun sisällä syöden sen ontoksi, jotkut lajit kovertavat myös vuosikasvaimia ontoksi. Seurauksena on kasvainten epämuodostumia, ranganvaihdoksia ja pensastumista. Kuusta vaurioittavia lajeja ovat mm. kuusenkäpykoisa, versokoisa, kuusenversokoi ja kuusensilmukoi. Mäntyä vaurioittavat männynsilmuksi, männynversokääriäinen, männynkukkakääriäinen,

kerkkäkääriäinen, männynsilmuksi, männynsilmuksi ja sivusilmukääriäiset. Pihkakääriäisen toukan nakertaminen synnyttää männyn versoon pihkaisen äkämän, jonka yläpuolinen osa versosta saattaa kuivua ja katketa. Myös katkokääriäinen saattaa aiheuttaa versojen katkeamista ja siitä johtuvaa latvan pensastumista varsinkin männyntaimilla. Koivun silmuja ja versoja voivat vaurioittaa mm. koivun äkämäkääriäinen ja norkkokoi. Pikkuperhostoukkien aiheuttamat tuhot ovat yleensä vakavimpia nuorehkoissa taimikoissa, varttuneemmissa puissa vauriot ovat puun kannalta lievempiä. Monet varsinkin männyn pikkuperhoslajeista aiheuttavat tuhoja erityisesti kuivien kankaiden taimikoissa, mutta on myös lajeja jotka hakeutuvat erityisesti hyväkasvuisiin ja elinvoimaisiin taimiin.

Kovakuoriaisista ytimennävertäjät aiheuttavat runsaasti kasvaintuhoja eri ikäisissä männnyissä. Yleensä hennommat sivuversot katkeavat ja putoavat maahan, kun taas vahva latvakasvain ei välttämättä tuhoudu. Useita vuosia jatkuvat ytimennävertäjätuhot aiheuttavat piikkimäisen latvusmuodon. Lehtipuilla kärsäkkäät voivat aiheuttaa kasvuhäiriöitä nakertelemalla lehtien lisäksi myös silmuja. Vakavia vaurioita tästä aiheutuu yleensä vain nuorille taimille.

## Johtopäätökset

Hirvien aiheuttamia kasvuhäiriöitä esiintyy paikoitellen hyvinkin runsaasti. Muita eläintuhoista aiheutuvia kasvuhäiriöitä ei esiinny yhtä laajasti tai yhtä merkittävinä kuin hirvituhoja. Muut selkärangaiset ja hyönteiset aiheuttavat vakavia kasvuhäiriöitä lähinnä nuorille taimille, ja tuhoja esiintyy harvemmin kovin laaja-alaisina tai pitkäkestoisina. Metsänuudistusaloilla nämäkin tuhot voivat kuitenkin aiheuttaa merkittävää haittaa.

Puiden kasvuhäiriöitä on usein vaikea varmuudella todeta eläinten aiheuttamiksi, koska näkyvät oireet (esimerkiksi latvan pensastuminen) kehittyvät vasta ajan myötä silloinkin, kun häiriö aiheutuu konkreettisesta hetkellisestä tapahtumasta. Hirven katkaisema männynrunko on helppo havaita vielä vuosienkin kuluttua, mutta myyrän syömästä kärkisilmusta tai luteen murskaamasta kasvupisteestä ei jää yhtä pitkäkestoisia ulkoisia jälkiä.

Vaikka latvan pensastumisesta voidaan päätellä kärkisilmun tuhoutuneen, on usein mahdotonta vuosien kuluttua arvioida oliko silmua koskaan muodostunut, ja jos oli, tappoiko sen eläin, tauti, halla, vai jokin sisäinen häiriötila. Lisäksi luonnossa tapahtumat ovat sidoksissa ympäristöönsä, ja eri tekijöiden osavaikutuksia häiriötilaan voi olla vaikea eritellä. Eläimenkin vaurioittaman puun toipumiseen vaikuttavat olennaisesti puun kasvuolosuhteet ja sääolot. Esimerkiksi ravinnepätasapainon kourissa kamppailevalle puulle voi kärkisilmun menettäminen myyrän hampaisiin olla kasvuhäiriön laukaiseva tekijä, ja ravinneongelma todennäköisesti pitkittää häiriön kestoa tai jopa lopullisesti estää kasvutavan normalisoitumisen. Lisäksi tiedetään monien kasvinsyöjien käyttävän mieluiten ravinnokseen kasvivyksilöitä joiden typpipitoisuus on korkea. Kasvuhäiriöpuiden typpipitoisuus on usein korkeahko, mikä voi altistaa samat yksilöt toistuville tuhoille. Esimerkiksi mittavat kirvakoloniat kasvuhäiriöpuussa voivat olla paitsi kasvuhäiriön syy, myös sen seuraus.

## Kirjallisuus

- Jukka, L. (toim.). 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.
- Poteri, M. (toim.). 2002. Täimäituhö-opas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 843. Suomenjoen tutkimusasema. 136 s.
- Saalas, U. 1949. Suomen metsähyönteiset sekä muut metsälle vahingolliset ja hyödylliset eläimet. WSOY. Porvoo. 719 s.
- Uotila, A. & Kankaanhuhta, V. 1999. Metsätuhöjen tunnistus ja torjunta. Metsälehti Kustannus. Helsinki. 215 s.

# VI Boorin puutoksen vaikutus kuusen talvenkestävyyteen

*Mikko Räisänen, Tapani Repo ja Tarja Lehto*

## Puiden vuosisykli

Puiden vuotuisessa kehityksessä eli vuosisyklissä vuorottelevat kasvu- ja lepovaihe. Ympäristökijät vaikuttavat puiden fysiologiseen tilaan perintökijöiden ohjaamina siten, että puun tila siirtyy vuosisyklissä eteenpäin. Tärkeimmät vuotuisen sykliin vaikuttavat ympäristökijät ovat päivänpituus, valoisuus sekä lämpötila, ja erityisesti kasvukauden aikana myös puiden vesi- ja ravinnetila.

Solukoiden kyky kestää pakkasta vaihtelee vuodenaikojen mukaan perintökijöiden asettamissa rajoissa. Riittävän aikainen kasvun päättyminen ja karaistumisen alkaminen ovat hyvän talvenkestävyyden edellytyksiä. Toisaalta kasvu ei myöskään saa käynnistyä keväällä liian aikaisin, ettei riski kevähalthojen aiheuttamille vaurioille kasvaisi. Latvuksen muodon kannalta on olennaista, että puun kärkisilmu ja kärkikasvain säilyvät elossa. Mikäli kärkikasvain tai -silmu vaurioituu toistuvasti, voi seurauksena olla Itä-Suomen kuusikoissa havaituille kasvuhäiriöille tyypillinen monihaarainen latvus. Kärkikasvaimen tai -silmun vaurion aiheuttajana voi olla matala lämpötila jossain vuosisyklin vaiheessa.

## Boorin puutoksen vaikutus pakkaskestävyyteen

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa on todettu syksyllä syntyvien pakkasvaurioiden lisääntyvän typpilannoituksen tai kalkituksen seurauksena (Lipas ym. 1983, Nilsen 2001, Aronsson 1980). Lannoituksien on usein todettu laimentavan neulasten

booripitoisuutta. On esitetty arveluita, että boorinpuutos heikentäisi puiden pakkaskestävyyttä (esim. Raitio 1986, Saarsalmi ja Mälkönen 2001). Boorin vaikutusta puiden pakkaskestävyyteen ei kuitenkaan ole tutkittu perusteellisesti, ja siten pakkaskestävyyden ja boorinpuutoksen yhteyttä ei ole voitu pitävästi osoittaa. Hallavauriot ovat nuorissa kuusikoissa yleisiä keväällä (Multa-mäki 1946), mutta boorinpuutoksen aiheuttamat pakkasvauriot on yleensä liitetty puutteelliseen karaistumiseen syksyllä tai kasvaimien kuivumisesta johtuviin tuhoihin kevättalvella (Lipas ym. 1983, Jalkanen 1990). Matalassa ja korkeassa booritulassa kasvavissa männyissä erot silmun sokeriaineenvaihdunnassa tulevat esille nimenomaan karaistumisen aikana (Pietiläinen 1984).

Karaistuminen voi heikentyä boorinpuutoksessa joko suoraan soluseinän häiriintyneen huokosrakenteen vuoksi tai solukalvojen muutosten ja häiriintyneen aineenvaihdunnan seurauksena. Solukalvon on usein todettu olevan ensisijainen pakkasvaurioiden syntykohta kun taas soluseinän eheän mikrohuokosrakenteen merkitys on tärkeä jäätymisen ja veden liikkeen hidastamisessa. Soluseinän kehittyminen häiriintyy boorinpuutoksessa; mm. pientuokosten on todettu kasvavan (Ishii ym. 2001). Boorinpuutoksen yhteydessä solukalvon ja soluseinän välille muodostuu vesirakkuloita ja sokerit, aminohapot ja kalium vuotavat solukalvojen läpi ulos solusta soluväliseen tilaan (Muhling ym. 1998, Cakmak ja Römheld 1997).

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään boorinpuutoksen vaikutus kuusen pakkaskestävyyteen sekä maastossa varttuneilla puilla että kasvatuskammiossa taimilla toteutetuissa lannoituskokeissa.

## Kokeet

### *Boori- ja typpilannoitus koealue Pyhäselässä*

Koealueena oli n. 1,5 ha vasta sulkeutunutta kasvatusikäistä kuusikkoa, jolta valittiin 148 3–6 metrin pituista ja vähintään 7 metrin etäisyydellä toisistaan olevaa kuusta. Koealueen kasvupaikatyyppi oli lehto. Valitut puut jaettiin 18 kahdeksan puun lohkokon ja satunnaistettiin edelleen lohkon sisällä neljään lannoituskäsittelyyn: lannoittamaton kontrolli, boorilannoitus (2 kg B/ha booraksina), typpilannoitus (180 kg N/ha ureana) sekä typpi- ja boorilannoituksen yhdistelmä. Edellisten lisäksi yhteen lohkokon jäi vain yksi koepuu kuhunkin käsittelyyn. Puut lannoitettiin kesäkuussa 2000 levittämällä lannoite yksittäisen koepuun ympärille 2,5 m säteellä.

Puiden kasvuhäiriöt inventoitiin ennen lannoitusta vuonna 2000 sekä vuosina 2001, 2002 ja 2003. Koepuut luokiteltiin kasvuhäiriöluokkiin (1-terveennäköinen, 2-lievästi häiriintynyt; puussa kaksi tai useampia haaroja). Voimakkaasti häiriintyneitä puita ei koealueelta tavattu. Keväällä 2003 yöhallojen aikaan osassa puista silmu oli puhjennut ja pituuskasvu aluillaan. Pituuskasvunsa aloittaneet kasvaimet tuhoutuivat hallan seurauksena. Hallavauriot kartoitettiin latvuksen ylimmästä kolmanneksesta.

Koepuiden ylimpien oksakiehkuroiden rangan ja oksien kärkisilmujen karaistumista seurattiin vuonna 2002 elokuun ja joulukuun välisenä aikana mittaamalla niiden pakkaskestävyys viitenä eri ajankohtana. Silmujen pakkaskestävyys mitattiin DTA-menetelmällä (*Differential Thermal Analysis*), joka perustuu jäätymisessä syntyvän lämpöpulssin, eksotermin, havaitsemiseen. DTA-menetelmällä voidaan määrittää silmun alkeiskasvaimen solujen jäätyispiste. Silmun alkeiskasvaimen (ks. artikkeli I) vaurioituu jäätyessään. Rankanäytteet altistettiin laboratoriossa seitsemään eri pakkaslämpötilaan ja näytteiden vaurioitumislämpötila määritettiin ionivuotomenetelmällä.

Keskitalvella silmuihin mahdollisesti syntyneet pakkasvauriot kartoitettiin keräämällä uusimpien vuosikasvaimien kärkiä helmi-maaliskuun vaihteessa 2002. Kasvaimet sulatettiin hitaasti, ranka leikattiin n. 2,5 cm silmun alapuolelta ja laitettiin veteen koeputkeen. Silmujen alkeiskasvaimeen

talven aikana syntyneet vauriot tarkastettiin visuaalisesti 2 viikon kuluttua sulatuksesta.

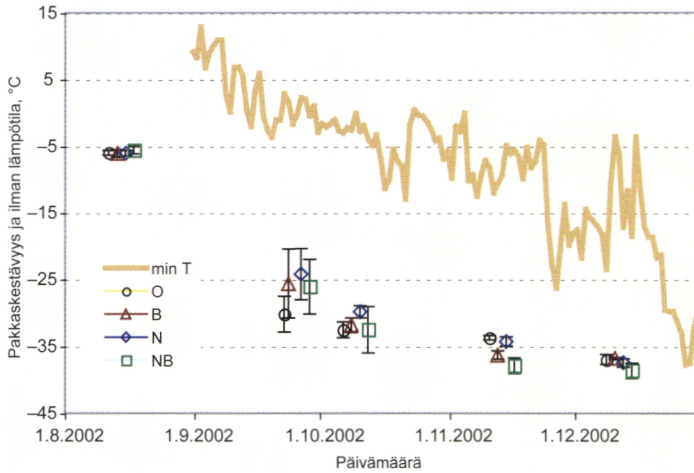
Neulasten ravinneanalyysinäytteet kerättiin helmikuussa 2003 latvuksen ylimmästä kolmanneksesta. Uusimpien kasvaimien neulasten booripitoisuudet olivat boorilannoitetuissa (20,2 mg/kg) ja typpi-boori-lannoitetuissa puissa (18,1 mg/kg) selkeästi korkeammat kuin typpilannoitetuissa (3,4 mg/kg), ja kontrollipuissa (3,8 mg/kg).

### *Taimikoe*

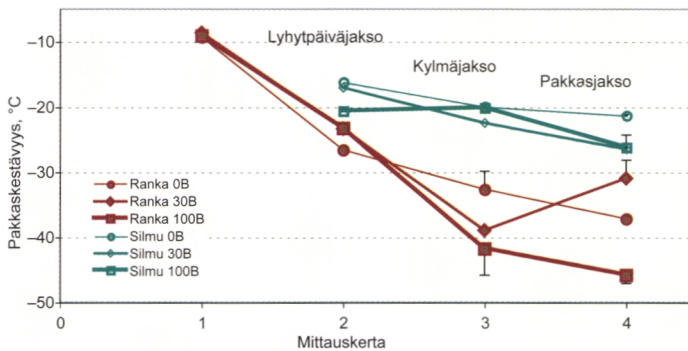
Kuusen taimia kasvatettiin kasvatuskammiossa siementen itämisen jälkeen kaksi kasvukautta kolmessa eri booritasossa: ei booria (0B), 30 % optimaalisesta (30B), optimaalisesti booria suhteessa muihin ravinteisiin (100B). Muita ravinteita annettiin sama määrä eri käsittelyissä. Kasvukausien välissä oli 2 kk:n lepokausi. Taimet karaistiin toisen kasvukauden jälkeen lyhentämällä päivänpituus 8 tuntiin viideksi viikoksi (lyhytpäiväjakso). Kahden viimeisen viikon ajaksi lämpötila laskettiin 15/10 °C:een (päivä/yölämpötila). Karaistumista jatkettiin laskemalla lämpötila 5°C:een 6 viikoksi (kylmäjakso) ja edelleen viikon aikana –2,5°C:een neljäksi viikoksi (pakkasjakso). Taimista laskettiin jälkikasvuisten taimien osuus 2 viikkoa lyhytpäiväkäsittelyn jälkeen.

Taimien pakkaskestävyyden määritykset tehtiin toisen kasvukauden lopussa sekä kunkin karaisujakson päättyessä. Uusimman kasvaimen rangan pakkaskestävyys testattiin altistamalla näytteet laboratoriossa kuudessa eri pakkaslämpötilassa ja määrittämällä vaurioitumislämpötila ionivuotomenetelmällä. Taimen kärkisilmun pakkaskestävyys mitattiin DTA-menetelmällä. Pakkaskestävyyssmittausten lisäksi rangan karaistumista seurattiin mittaamalla pakkasaltistamattomien taimien soluvälitilan sähköresistanssi yhteensä yhdeksän kertaa kokeen aikana.

Ravinnepitoisuudet uusimmassa neulasikäluokassa mitattiin kylmäjakson päättyessä. Neulasten booripitoisuudet poikkesivat selkeästi toisistaan eri booritasoilla: 2,1 mg/kg 0B-, 5,7 mg/kg 30B- ja 16 mg/kg 100B-boorikäsittelyssä.



**Kuva 1.** Kuusen rangan pakkaskestävyyden keskiarvo ja keskivirhe eri typpi- ja boorilannoituskäsittelyissä maastokokeessa syksyllä 2002. Pakkaskestävyys on arvioitu pakkasaltistusten ja ionivuotomittausten perusteella. Yhtenäinen viiva osoittaa ilman päivittäisen minimilämpötilan koealueella.



**Kuva 2.** Kuusen taimien silmun ja rangan pakkaskestävyys eri boorikäsittelyissä. Rangan pakkaskestävyysarvot on laskettu pakkasaltistetuille näytteille tehtyjen ionivuototestien perusteella, kun taas DTA-mittaus kuvaa silmun pakkaskestävyyttä. Kuvassa on esitetty keskiarvot kaikille sekä keskiarvon keskivirheet osalle aineistoa.

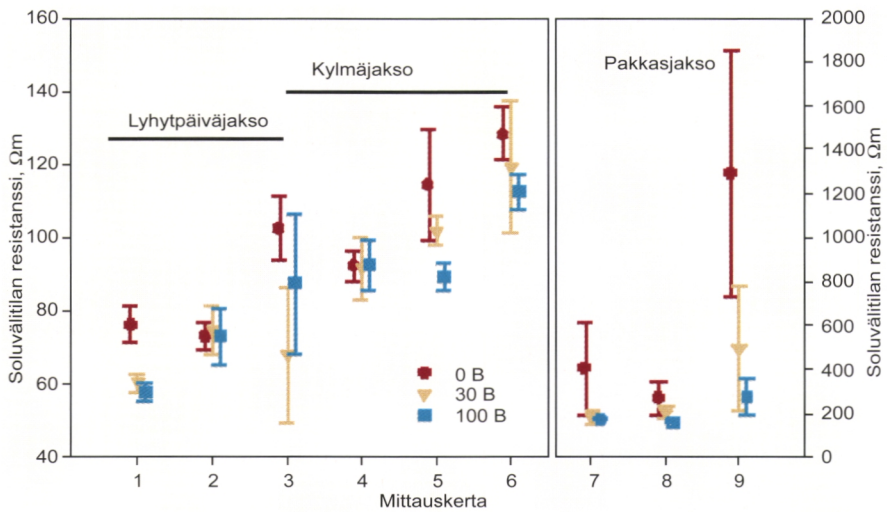
## Tuloksia

### *Pakkaskestävyys ja karaistuminen*

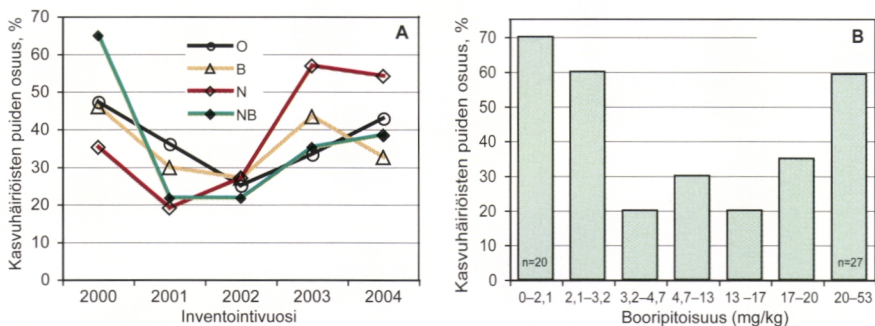
Maastokokeessa rangan pakkaskestävyys oli marraskuussa hieman parempi boorilannoituissa kuin -lannoittamattomissa puissa (kuva 1). Joulukuussa eroja lannoitusten välillä ei enää esiintynyt. Lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet silmun pakkaskestävyyteen eivätkä silmujen kuntoon talvella. Keväällä 2003 hallavaurioita esiintyi

yhteensä 11 prosentilla kaikista koepuista, eikä lannoitusten välillä ollut eroa.

Taimikokeessa matalan booritason taimissa (0B) oli hieman enemmän jälkikasvuisuutta verrattuna korkeampiin booritasoihin (30B ja 100B). Boorikäsittelyt eivät kuitenkaan vaikuttaneet selvästi taimien karaistumiseen lyhytpäiväkäsittelyn aikana, mutta kylmäjakson jälkeen 100B-käsittelyn taimien rangat kestivät paremmin pakkasta kuin 0B ja 30B-käsittelyjen taimet (kuva 2). Tämän lisäksi viimeisellä mittauskerralla silmut



**Kuva 3.** Soluvalitiilan sähköinen resistanssi kuusen taimien rangassa eri boorikäsittelyissä (keskiarvot ja keskivirheet).



**Kuva 4.** A. Kasvuhäiriöisten puiden osuus eri lannoituskäsittelyissä vuosittain. Ensimmäinen inventointi vuonna 2000 on tehty ennen lannoitusta. B. Kasvuhäiriöisten puiden osuus eri booripitoisuusluokissa maastokokeessa keväällä 2003. Puiden lukumäärä on 20 kaikissa luokissa lukuun ottamatta korkeinta booripitoisuusluokkaa. Neulasten booripitoisuus on mitattu helmikuussa 2003 kerätyistä näytteistä.

olivat hieman herkempiä jäätymään 0B-käsittelyssä, kuin 30B- ja 100B-käsittelyissä (kuva 2).

Talvenkestävyyteen kuuluu olennaisesti myös ympäristöoloista aiheutuvan kuivumisen kestäminen. Taimikokeessa rangan ja juurien soluvälitiilan resistanssi nousi huomattavasti pakkasjakson aikana oletettavasti rangan kuivumisen seurauksena. Muutos oli suurin 0B-käsittelyn taimissa (kuva 3). Erittäin korkeat soluvälitiilan resistanssit ovat yleensä seurausta kuivumisesta. Näin ollen boorin puutos näyttäisi heikentävän solukon vedenpidätyskykyä.

#### *Kasvuhäiriöt ja tuhot kasvaimissa*

Kasvuhäiriöisten koepuiden määrä vaihteli vuosittain (kuva 4a). Tutkimuksen aikana yksittäisissä puissa tapahtui sekä kasvun häiriintymistä että toipumista kaikissa lannoituskäsittelyissä. Käsittelyiden välillä ei ollut eroa kasvuhäiriöisten puiden osuudessa vielä kolmen kasvukauden kuluttua lannoituksesta. Kasvuhäiriöisten puiden osuus lisääntyi vuosien 2001 ja 2004 välillä jonkin verran kaikissa käsittelyissä, mutta lisäys oli suurin typpilannoitetuissa puissa (kuva 4a).

Neulasten booripitoisuudella oli vaikutusta kasvuhäiriöiden määrään (kuva 4b). Kasvuhäiriöisten puiden osuus koepuista oli suurempi matalissa, alle 3,2 mg/kg – booripitoisuuksissa sekä yllättävää kyllä, korkeissa, yli 20 mg/kg – booripitoisuuksissa (vrt. Reinikainen ja Veijalainen 1983).

Myös koepuissa, joiden booripitoisuus oli optimaalinen, esiintyi runsaasti kasvuhäiriöitä (Kuva 4b). Koealueella esiintyi hallan lisäksi muita tuhoja, jotka näyttivät olevan riippumattomia lannoituskäsittelyistä. Perhosentoukkien, luultavasti kuusensilmukoin, oli todettu tuhonneen syksyllä 2002 noin 10 % DTA-mittaukseen kerätyistä silmuista. Lisäksi kuusentuomiruoste oli tuhonnut osassa koepuista uusimpia kasvaimia.

## Johtopäätökset

Boorinpuutos alentaa hieman kuusien uusimman vuosikasvaimen rangan pakkaskestävyyttä, mutta tulos ei maastokokeella selitä puiden kasvuhäiriöitä. Vertailupuut aloittivat pituuskasvunsa keväällä 2003 normaalisti huolimatta lievästi alentuneesta pakkaskestävyydestä marraskuussa 2002. Myöskään poikkeuksellisen ankara pakkasjakso joulukuussa 2002 ja tammikuussa 2003 (kuva 1) ei näyttänyt vaikuttavan selkeästi puiden kuntoon tai kasvun käynnistymiseen keväällä. Taimikokeen tulokset antavat viitteitä, että boorinpuutos vaikuttaisi myös silmun pakkaskestävyyteen, mutta maastokokeessa ilmeisesti muut kontrolloimattomat tekijät peittävät boorinpuutoksen vaikutuksen.

Boorilannoitus vähentää kuusen riskiä kasvuhäiriöille. Maastokokeella kasvuhäiriöriski oli selkeästi korkeampi booripitoisuuden ollessa matala, mutta myös korkeimmissa pitoisuuksissa kasvuhäiriöiden määrä oli korkea. Ei ole kuitenkaan selvää, ovatko lisääntyneet kasvuhäiriöt korkeimmissa booripitoisuuksissa seurausta liian korkeasta booripitoisuudesta. Elävän latvuksen karsimisen on todettu nostavan mäntyjen booripitoisuutta (Nuorteva 2002) ja siten korkeammat booripitoisuudet osassa boorilannoitettuja puita voivat olla myös seurausta elävien neulasten vähenemisestä ja puun huonosta kunnosta ennen lannoitusta.

Kuusella on useita erilaisia kasvuhäiriöitä aiheuttavia tekijöitä, joita kaikkia ei ilmeisesti voida poistaa pelkästään boorilannoituksella. Silfverberg (1980) erotti kevähallujen aiheuttamat vauriot ja ravinneperäisen kasvuhäiriön toisistaan häiriön korkeuden perusteella. Hänen mukaansa hallavauriot voi erottaa boorinpuutoksen aiheuttamasta kasvuhäiriöstä myöhemmin sen perusteella, että boorinpuutoksen aiheuttama kasvuhäiriö kohdistuu kuusen latvukseen. Kuitenkin maastokokeella oli havaittavissa kevähallavaurioita myös latvuksessa. Osa kasvuhäiriöistä, jotka muistuttivat boorinpuutoksen aiheuttamaa kasvuhäiriötä, oli mahdollisesti seurausta boorilannoituksesta riippumattomista halla-, hyönteis- tai sienituhoista. Myöhemmin on vaikea erottaa kasvuhäiriön aiheuttajia toisistaan. Näiden seikkojen vuoksi on suositeltavaa käyttää terveyslannoituksen perusteena pikemminkin neulasten booripitoisuutta kuin puiden ilmiänsä.

## Kiitokset

Kiitokset Marja Kuskelinille ja Lauri Nykäselle Pyhäselän avusta maastokokeen perustamisessa ja mittauksissa sekä Rauni Oksmannille, Leena Kuusistolle, Maini Monoselle ja Merja Esselille avusta laboratoriotöissä ja taimikokeen järjestämisessä. Rahoituslähteinä tutkimuksessa ovat olleet Suomen Akatemia, Maj ja Tor Nesslingin säätiö sekä MMM.

## Kirjallisuus

- Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. *Studia Forestalia Suecica* 155: 1–27.
- Cakmak, I & Römheld, V. 1997. Boron deficiency – induced impairments of cellular functions in plants: *Plant and Soil* 193: 71–83.
- Ishii, T., Matsunaga, T., & Hayashi, H. 2001. Formation of rhamnogalactouronan II-borate dimer in pectin determines cell wall thickness of pumpkin tissue. *Plant Physiology* 126: 1698–1705.
- Jalkanen, R. 1990. Nitrogen fertilization as a cause of

- dieback of scots pine at Paltamo, northern Finland. *Aquilo Ser. Bot.* 29: 25–31.
- Lipas, E., Levula, T., & Välikangas, P. 1983. Eräitä metsänlannoitustuloksia Lapista. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 114: 1–14.
- Muhling, K. H., Wimmer, M., & Goldbach, H.E. 1998. Apoplastic and membrane-associated  $\text{Ca}^{2+}$  in leaves and roots as affected by boron deficiency. *Physiologia Plantarum* 102: 179–184.
- Multamäki, S. 1946. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. *Acta Forestalia Fennica* 51(1). 320 s.
- Nilsen, P. 2001. Fertilization experiments on forest mineral soils: a review of the Norwegian results. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 541–554.
- Nuorteva, H. 2002. Increased boron concentrations of Scots pine foliage induced by green pruning. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1434–1440.
- Pietiläinen, P. 1984. Foliar nutrient content and 6-phosphogluconate dehydrogenase activity in vegetative buds of Scots pine on a growth disturbance area. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 123: 1–18.
- Raitio, H. 1986. Ravinteiden vaikutus karaistumiseen. Julkaisussa: *Metsäpuiden kylmänkestävyys*. Metsätutkimuslaitos, Suonenjoki. s. 31–35.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H., 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. Teoksessa, Kolari, K. (toim.) *Growth disturbance of forest trees*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 44–48.
- Saarsalmi, A. & Mälkönen, E. 2001. Forest fertilisation research in Finland: a literature review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 514–535.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. *Folia Forestalia* 432: 1–13.

# VII Boorin merkitys puiden hienojuurille ja mykorrhitsoille

*Tarja Lehto, Marjoriitta Möttönen, Mikko Räisänen, Anu Lavola ja Pedro Aphalo*

## Johdanto

Juurten tehtävä on tukea puu pystyyn, ottaa maasta vettä ja ravinteita sekä toimia mykorrhitsojen eli sienijuurten toisena osapuolena. Mykorrhitsa on sienen ja juuren muodostama symbioosi, ja mykorrhitsojen sieniosakkaat ottavat maasta valtaosan puiden tarvitsemista ravinteista. Suurin osa havupuiden mykorrhitsoista muodostuu lyhytjuuriin, jotka haarahtavat alle 1 mm läpimittaisista hienojuurista.

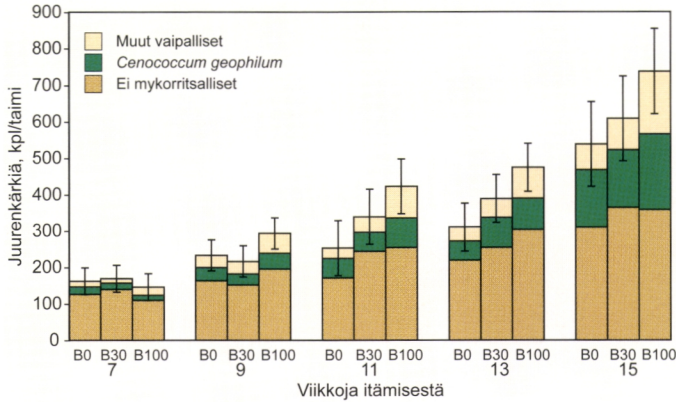
Ravinteiden saanti voi vaikuttaa juuriin ja mykorrhitsoihin kahdella tavalla, joko suoraan tai maanpäällisten osien kautta. Boorin suora merkitys juurissa on samanlainen kuin kasvin kaikissa solukoissa, eli sitä tarvitaan ainakin solunseinien rakenteen muodostumisessa. Juuret ovat yksivuotisilla kasveilla usein osoittautuneet olevan ensimmäinen kasvinosa, jonka kasvua boorinpuutos vähentää (Dell ja Huang 1997). Ravinteiden saanti vaikuttaa maanalaisten osien kasvuun ja toimintaan epäsuorasti maanpäällisten osien kautta siten, että maanalaiset osat tarvitsevat kasvuunsa ja toimintaansa energiaa ja rakennusaineita, ja nämä saadaan fotosynteesituotteista. Fotosynteesiä taas osaltaan säätelee puun ravinteiden ja veden saanti.

Tutkimuksissamme selvitettiin boorinpuutoksen vaikutuksia kuusen juurten ja mykorrhitsojen määriin sekä näiden suhdetta puun vesi- ja ravinnetalouteen taimi- ja maastokokeissa. Useimmissa kokeissa taimien tai puiden neulasten booripitoisuus oli jonkin verran ankarien puutosrajojen (4–5 mg/kg) yläpuolella, ja näitä verrattiin taimiin tai puihin, joiden booripitoisuus oli riittävä. Siten tuloksia voidaan soveltaa metsiköihin, joissa on riski ankarasta boorinpuutoksesta, mutta vaikeita kasvuhäiriöitä ei ole havaittavissa ainakaan vielä.

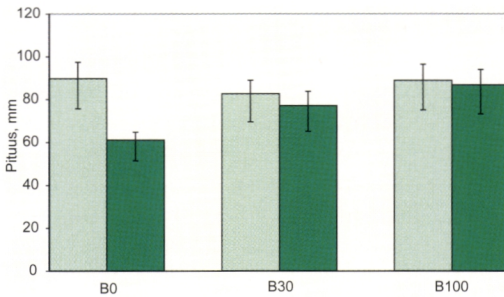
## Taimikokeet

Kuusen juurten ja mykorrhitsojen kehitystä sekä vesi- ja ravinnetaloutta selvitettiin kahdessa taimikokeessa. Kokeessa 1 kasvatettiin kuusentaimia itämisestä saakka kolmessa eri booritasossa: B0, B30, B100, joissa B100 vastaa ravinneliuoksen täyttää booripitoisuutta (B:N-suhde 1:1000), ja muut tasot saivat 0 tai 30% tästä. Muita ravinteita annettiin kaikissa käsittelyissä saman verran. Liuosta annettiin kahdesti viikossa, ja sen ravinnepitoisuutta kasvatettiin kerrasta toiseen taimien kasvunopeuden mukaisesti (Möttönen ym. 2001b). Kuivuuskäsittely alkoi kun taimet olivat kasvaneet 16 viikkoa itämisen jälkeen kasvatuskammiossa, ja se kesti 9 päivää. Kuivuuskäsittelyn aikana mitattiin taimien fotosynteesinopeutta ja ilmarakojohtavuutta LI-6400 -laitteella sekä vesipotentiaalia painekammoliitteella. Koe 2 tehtiin muuten samalla tavoin, mutta taimet saivat ravinneliuosta kolme kertaa viikossa, ja kuivuuskäsittelyt alkoivat 17 viikkoa itämisen jälkeen. Booritasoja oli kaksi (B0 ja B100) ja kuivuuskäsittelyjä kolme. Kuivuuskäsittelyn D2 taimet altistettiin ensin 6 päivän kuivuusjaksolle, jota seurasi kahden päivän kastelu ja uusi 8 päivän kuivuusjakso. Kuivuuskäsittelyn D1 taimet altistettiin ainoastaan jälkimmäiselle, 8 päivän kuivuudelle. Vertailutaimet saivat koko kokeen ajan vettä (kontrollit, D0).

Taimikokeissa boorilannoitus lisäsi juurenkärkien lukumääriä ja mykorrhitsojen muodostumista sekä jonkin verran myös juuriston kuivapainoa. Jo 9 viikon kuluttua itämisestä B100-käsittelyyn oli kehittynyt enemmän juurenkärkiä, ja näihin oli muodostunut runsaammin mykorrhitsoja kuin B0-käsittelyyn (koe 1, kuva 1). Tässä vaiheessa B0-taimien neulasten booripitoisuus oli 16 mg/kg, mitä on aikaisemmin pidetty selvästi riittä-



**Kuva 1.** Juurenkärkien lukumäärä taimikokeessa 1 eri ajankohtina käsittelyissä B0 (ei booria), B30 (30% optimaalisesta) ja B100 (optimaalinen boorin saanti). Vaipalliset mykorrhitsat, *Cenococcum geophilum*-sienen muodostamat mykorrhitsat ja sienivaipattomat (mykorrhitsattomat) juurenkärjet esitetty erikseen. 12 taimen keskiarvoja (6 lohkoa, kustakin 2 taimia) sekä 95% luottamusväli juurenkärkien kokonaismäärälle.



**Kuva 2.** Taimien pituus taimikokeessa 1, 9 päivän kuivuuskäsittelyn jälkeen. 12 taimen keskiarvoja (6 lohkoa, kustakin 2 taimia) sekä 95% luottamusväli. Boorikäsittelyt, ks. kuva 1. Kuivuuskäsittely – vihreä; kasteltu – vaaleanvihreä.

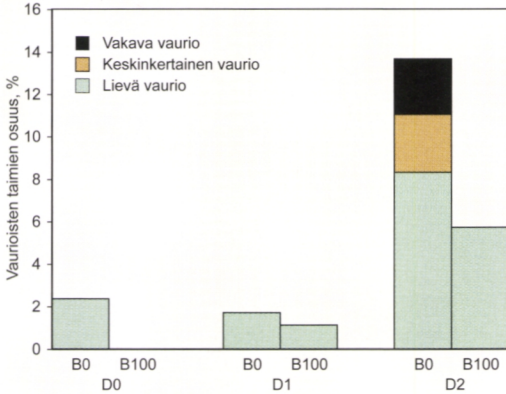
vänä (Braecke 1979). Käsittelyjen väliset erot juurenkärjissä ja mykorrhitsoissa pysyivät kokeen loppuun asti, jolloin B0-käsittelyssä oli neulasissa booria 7 mg/kg ja B100-käsittelyssä 27 mg/kg (Möttönen ym. 2001b). Kokeen 2 tulos juurten ja mykorrhitsojen osalta oli samansuuntainen. Tämän kokeen lopussa neulasten booripitoisuudet olivat vastaavasti 6 mg/kg (B0) ja 34 mg/kg (B100).

Aikaisemmin on lyhytneulasmännyllä (*Pinus echinata*) havaittu, että boorilannoitus lisäsi eri-

tyisesti mykorrhitsojen muodostusta (Mitchell ym. 1986). Mainitussa tutkimuksessa männyntaimien booripitoisuudet olivat kuitenkin varsin korkeat, kontrolleissakin yli 100 mg/kg.

Kummassakaan kokeistamme boorinpuutos ei vaikuttanut yhden kasvukauden ikäisten taimien vesitaloustunnuksiin (ilmarakojohtavuus, vesipotentiaali) eikä fotosynteesiin kuivuuden aikana (Möttönen ym. 2001a). Riittävästi booria saaneet taimet tosin ottivat jonkin verran enemmän vettä kuin boorinpuutoksesta kärsivät, sillä maa kuivui B100-käsittelyssä nopeammin kuin B0-käsittelyssä (Möttönen ym. 2001a). Taimet olivat samankokoisia eri käsittelyissä lukuunottamatta juuristoa, joten lisääntynyt haihdunta ei johtunut eroista neulaspinna-alla. Kuivuus vähensi merkittävästi boorinpuutoksesta kärsivien taimien pituuskasvua verrattuna riittävästi booria saaneihin (koe 1, kuva 2), ja toistuva kuivuus aiheutti latvan kiihtymistä boorinpuutostaimilla (koe 2, kuva 3, valokuva 6).

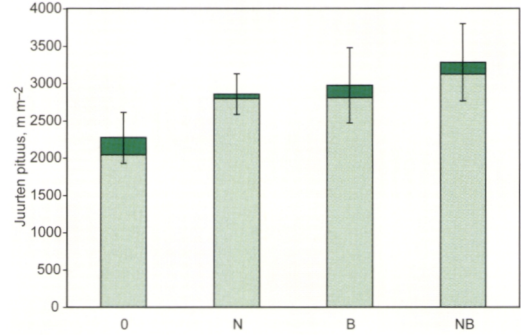
Kuivuus lisäsi selvästi juurten booripitoisuutta, sillä kastelluissa taimissa se oli kuivuuskäsittelyn jälkeen 8 mg/kg kaikilla booritasoilla, kun taas kastelemattomissa 14 mg/kg käsittelyssä B0 ja 25 mg/kg käsittelyssä B100 (koe 1). Kuivuuskäsittelyn alkaessa lopetettiin lannoitteiden anto sekä kastelluille että kastelemattomille taimille.



**Kuva 3.** Vaurioisten kuusentaimien osuus prosentteina kokeen 2 taimien lukumäärästä (192/ käsittely) 19 viikon kuluttua itämisestä. Boorikäsitteilyt, vrt. kuva 1, kuivuuskäsittelyt: D0, kasteltu koko ajan; D1, yksi 8 päivän kuivuusjakso; D2, 6 päivän kuivuusjakson jälkeen kasteltu 2 päivää ja uusi kuivuusjakso 8 päivää. Vauriot jaoteltiin seuraavasti. Lievä vaurio: muutamia kellastuneita neulasia latvaosassa (kellertävä); Keskinkertainen vaurio: runsaasti kellastuneita neulasia latvaosassa, mutta ranka vahingoittumaton (ruskea); Vakava vaurio, kärki kuivunut (musta; vrt. valokuva 6).

Kastelemattomissa taimissa ilmaerot sulkeutuivat ja haihdunta väheni, joten booria ei kulkeutunut haihduntavirran mukana maanpäällisiin osiin. Sen sijaan kasteltujen taimien juurista ilmeisesti siirtyi sen verran booria kasvupisteisiin, että tämä on riittänyt pitämään yllä kasteltujen taimien pituuskasvua alhaisimmallakin booritasolla.

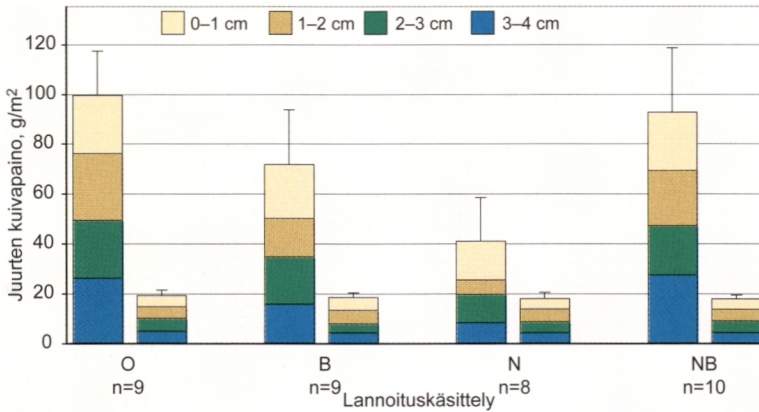
Boorinpuutos vähensi jonkin verran typen, fosforin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksia taimikokeessa 2, mikä on todennäköisesti seurausta juuriston heikommasta mykorritsarakenteesta. Fosforin, kalsiumin ja magnesiumin osalta myös kokonaismäärät neulasissa vähenivät jonkin verran puutostaimissa, sillä neulasmassassa ei ollut suuria eroja käsittelyjen välillä. Tässä kokeessa ravinnepitoisuudet olivat suuria, eikä kovin voimakasta boorin vaikutusta ravitsemukseen havaittu.



**Kuva 4.** Hienojuurten kokonaispituus humuskerroksessa varttuneiden kuusikoiden lannoituskoelaloilla Heinävedellä ja Kannonkoskella 9 v. boorilannoituksen jälkeen. Hienojuurten läpimittaluokat 0–1 mm (vaaleanvihreä) ja 1–2 mm (tummanvihreä). Heinäveden ja Kannonkosken koelajojen keskiarvot sekä osanäytteiden (n=16) keskivirhe.

## Boorilannoituskokeet maastossa

Maastokokeissa tutkittiin boori- ja typpilannoituksen vaikutusta kuusen hienojuuriin. Heinäveden ja Kannonkosken kokeet kuuluvat Metsäntutkimuslaitoksen koesarjaan, jossa 30 m × 30 m kokoisille koelaloille kohdistettiin käsitteilyt: typpilannoitus, boorilannoitus, sekä näiden yhdistelmät (Möttönen ym. 2003). Typeä oli lisätty 40 vuoden aikana useana ajankohtana, eri yhdisteinä kaikkiaan 534 kg/ha Heinävedelle, ja 1136 kg/ha Kannonkoskelle. Boorilannoitus (1,5 kg/ha) annettiin vuonna 1989. Tässä kokeessa mykorritsojen lukumäärä humuskerroksen pinnassa kaksi vuotta boorilannoituksen jälkeen oli ollut kaksinkertainen lannoittamattomiin koeloihin verrattuna (Lehto 1994a). Seuraavan kerran juuret eroteltiin koko humuskerrosta edustavista näytteistä 9 vuotta boorilannoituksen jälkeen, jolloin boori oli lisännyt hienojuurten kokonaispituutta koko humuskerroksessa noin 20%:lla maan pinta-alayksikköä kohti (kuva 4). Humuskerroksen paksuus oli kuitenkin myös suurempi boorilannoitetuilla aloilla, ja juurten määrä maan tilavuusyksikköä kohti ei poikennut eri käsitteilyissä. Elävien ja kuolleiden hienojuurten kuivapainosuhte oli myös suurempi boorilannoitetuilla aloilla (Möttönen ym. 2003).



**Kuva 5.** Hienojuurten kokonaiskuivapaino juurten kasvukolonneissa nuorten kuusikoiden lannoituskoealoilla Pyhäselässä eri syvyyksillä humuksen pinnasta lukien (cm). Vasemmanpuolinen pylväs, elävät, oikeanpuolinen pylväs, kuolleet. Kolonnit olivat 2 v maassa. Kokonaismäärän keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.

Puiden booripitoisuudet Kannonkosken ja Heinäveden maastokokeissa olivat erittäin vaihtelevia, mutta boorilannoituksen vaikutus oli edelleen selvä 9 vuotta lannoituksen jälkeen. Neulasten booripitoisuudet vaihtelivat 4–18 mg/kg boorilannoittamattomilla, ja 20–39 mg/kg boorilannoitetuilla koealoilla (Möttönen ym. 2003). Typpilannoitus vähensi booripitoisuuksia kummassakin boorikäsittelyssä, mutta typen ja boorin yhdistelmän saaneilla koealoilla booripitoisuudet olivat silti riittäviä. Boorilannoituksen selvin vaikutus muiden ravinteiden pitoisuuksiin neulasissa on ollut mangaanipitoisuuden väheneminen (Lehto ja Mälkönen 1994, Möttönen ym. 2003). Tämä voi johtua siitä, että suurempi osa mangaanista jää mykorritsoihin boorilannoitetuissa puissa. Koska mangaanipitoisuudet ovat erittäin korkeita, tämä on puille todennäköisemmin edullista kuin haitallista.

Uusi maastokoe perustettiin Pyhäselkään kesäkuussa 2000. Koejärjestely oli yksinpuin lannoituskoe, ja käsittelyinä typen (urea 180 kg N/ha) ja boorin (2 kg/ha) yhdistelmät (katso VI). Kesäkuun lopussa 2001 arvottiin 10 koeputa kustakin käsittelystä juuritutkimukseen. Kunkin puun alle asennettiin viisi juurten kasvukolonia. Kasvukolonnit olivat läpimitaltaan 5 cm ja syvyydeltään 5 cm. Ne koostuivat juurettomasta maasta, joka pakattiin alkutilanteessa nailonverkon sisään

maahan. Tätä selvitystä varten nostettiin yksi kolonni puuta kohti kesäkuun alussa 2003, ja näistä eroteltiin juuret. Kevättalvella 2003 boorilannoitettujen puiden neulasten booripitoisuus oli keskimäärin 19 mg/kg, ja lannoittamattomien 3,6 mg/kg. Typpilannoitus vähensi hieman neulasten booripitoisuuksia tässäkin kokeessa.

Typpikäsittely vähensi hienojuurten kuivapainoa, boorikäsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta, mutta NB-käsittelyssä oli yhtä paljon juuria kuin kontrollissa (kuva 5). Typpikäsittelyn voimakas vaikutus Pyhäselän kokeessa saattoi johtua enemmän urean maan pH:ta kohottavasta vaikutuksesta kuin itse tyyppistä, sillä näin voimakaita negatiivisia typpivaikutuksia ei aikaisemmin ole havaittu. Päinvastoin typpilannoitus on lisännyt hienojuurten määrää varsinkin kuusikoissa, joiden kasvupaikkatyyppi on lehtomaista kangasta karumpi (Helmisaari ja Hallbäcken 1999, Möttönen ym. 2003). Boorilannoitus sinänsä ei Pyhäselän kokeessa vaikuttanut hienojuuriin, mutta se korjasi urealannoituksesta aiheutuneen juurten vähenemisen. Aikaisemmin on todettu vastaavasti, että boorilannoitus korjaa kalkituksen aiheuttamaa mykorritsojen kuolleisuutta (Lehto 1994a). Kalkitus heikentää kuusen hienojuurten kasvua (Helmisaari ja Hallbäcken 1999), ja maan pH:n nousun sinänsä on todettu lisäävän kuusen mykorritsojen kuolleisuutta (Lehto 1994b).



**Kuva 6.** Vakava vaurio kuusentaimen latvassa. Näitä esiintyi taimilla, joilla oli alhainen booritaso ja kaksi kuivuuskäsittelyä (vrt. kuva 3). (Pedro Aphalo)

## Mykorritsojen boorinotto

Boorin saanti maasta riippuu maan booripitoisuudesta, maan kyvystä pidättää booria (joka humuskerroksessa voi olla hyvin voimakasta, Lehto 1995), sekä puiden kyvystä ottaa booria maasta. Kuivassa maassa boorinotto hidastuu vedenoton hidastumisen myötä, ja maan kylmyydellä on osin samanlainen vaikutus. Mykorritsojen tiedetään ottavan pääravinteista suurimman osan, mutta mykorritsojen boorinotto kykyä ei ole aikaisemmin pidetty selvänä. Tämä johtuu siitä, että mykorritsasienit eivät itse tarvitse booria, joten olisi mahdollista etteivät ne myöskään kuljettaisi sitä puun juuriin. Sienille ominaiset hiilihydraatit saattavat sitoa booria kemiallisesti siten että se jäisi mykorritsan sieniosakkaaseen.

Mykorritsojen boorinoton selvittämiseksi tehtiin koe, jossa kasvatettiin rauduskoivun taimia siten, että niillä oli yksinomaan pulkkosienen muodostamia mykorritsoja (Lehto ym. 2004a). Pulkkosieni kasvattaa pitkiä rihmastoja juurten



**Kuva 7.** Koejärjestely, jossa koivuntaimien juuret rajoittuivat kasvatuskasetin yläosaan. Koivun mykorritsoista kasvava pulkkosienen ulkoinen rihmasto kasvoi myös alaosassa. (Pedro Aphalo)

ulkopuolelle, kuten useat muutkin mykorritsasienilajit, ja näiden tiedetään toimivan mm. typen ja fosforin otossa. Rihmastojen annettiin kasvaa seinällä eristettyyn osastoon, jossa ei ollut juuria (valokuva 7). Näihin eristettyihin, mutta taimeen liittyviin rihmastoihin, annettiin suoraan pysyvällä isotoopilla  $^{10}\text{B}$  rikastettua boorihappoliuosta. Jälkeenpäin määritettiin  $^{10}\text{B}$ -isotoopin osuudet koivuntaimien eri osissa.  $^{10}\text{B}$ -isotoopin luonnollinen osuus kokonaisboorista on 19,9%, ja  $^{10}\text{B}$ :llä käsittelemättömien kontrollitaimien  $^{10}\text{B}$ -osuus kokonaisboorista eri osissa oli hyvin lähellä tätä. Käsitellyissä taimissa lehtien boorista oli 22,7%, rankojen 23,2, ja juurten 35,9%  $^{10}\text{B}$ :tä, ja kukin näistä erosi merkittävästi kontrolleista. Siten pulkkosienen mykorritsat ottavat booria maasta ja tämä kuljetetaan puun maanpäällisiin osiin.

## Johtopäätökset

Juurten ja mykorritsojen väheneminen oli ensimmäinen paljain silmin havaittava boorinpuutoksen vaikutus. Alhainen boorinsaanti vähensi juurenkärkien ja mykorritsojen muodostusta kauan ennen kuin silmännähtäviä muutoksia ilmeni maanpäällisissä osissa, ja neulasten booripitoisuudet olivat selvästi puutosrajojen yläpuolella. Siitä huolimatta boorinpuutos ei vaikuttanut kuusentaimien vesitalouteen eikä fotosynteesiin, kun taimien neulasten booripitoisuudet olivat juuri ankaran puutoksen rajan (4–5 mg/kg) yläpuolella. Kuivuuden ja boorinpuutoksen yhdysvaikutukset eivät ilmenneet elintoimintojen säätelyssä (ilmarakojohtavuus, vesipotentiaali, fotosynteesi), vaan rakenteellisissa tunnuksissa (pituuskasvu, latvan kuihtuminen). Muiden ravinteiden määrien lievä lasku toisessa taimikokeessa on ilmeisesti seurausta mykorritsojen vähenemisestä.

Ilmeisesti taimet pystyivät tulemaan toimeen alhaisella booritasolla, kunnes rakenteellisessa kehityksessä kasvun aikana tapahtui romahdus. Tämä ilmeni pituuskasvun heikkenemisenä ja jopa latvan kuihtumisena kuivuudesta kärsivillä taimilla, joissa vedenpuutos esti boorin kulkeutumisen. Kun taimien booripitoisuus oli alhainen, ja booria ei ollut saatavissa muista kasvinosistakaan, ei kuusen tunnetusta sisäisestä boorin kierrätyskyvystä ollut hyötyä (Lehto ym. 2000, 2004b). Maastossa voi syntyä tilanne, jolloin kuivuus ja boorin vähäisyys ensin yhdessä heikentävät juuria, ja boorin otto maasta vähenee. Jos tämä tapahtuu silmun muodostuksen tai pituuskasvun kannalta kriittisenä ajankohtana, muodostuu kasvuhäiriö.

Nämä tulokset selittävät osaltaan sitä, että maanpäällisten osien kasvuhäiriöt ilmenevät usein yllättäen, siihen asti hyväkasvuisissa puissa; maan alla ongelma on piillyt jo aikaisemmin.

## Kiitokset

Parhaat kiitokset asiantuntevasta avusta maasto- ja laboratoriotöissä seuraaville: Risto Ikonen, Leena Kuusisto, Raino Lievonon, Maini Mononen, Rauni Oksman ja Anita Pussinen. Tutkimustyötä ovat MMM:n lisäksi rahoittaneet Maj ja Tor Nesslingin säätiö ja Suomen Akatemia (päättökset 73515 ja 206898).

## Kirjallisuus

- Braekke, F.H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. Reports of the Norwegian Forest Research Institute 35: 213–236.
- Dell, B. ja Huang, L. 1997. Physiological response of plants to low boron. *Plant and Soil* 193: 103–120.
- Helmisaari, H.-S. ja Hallbäck, L. 1999. Fine-root biomass and necromass in limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management* 119: 99–110.
- Lehto, T. 1994a. Effects of liming and boron fertilization on mycorrhizas of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163: 65–68.
- Lehto, T. 1994b. Effects of soil pH and calcium on mycorrhizas of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163: 69–75.
- Lehto, T. 1995. Boron retention in limed forest mor. *Forest Ecology and Management* 78: 11–20.
- Lehto, T. ja Mälikönen, E. 1994. Effects of liming and boron fertilization on boron uptake of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163: 55–64.
- Lehto, T., Kallio, E. ja Aphalo, P.J. 2000. Boron mobility in two coniferous species. *Annals of Botany* 86: 547–550.
- Lehto, T., Lavola, A., Kallio, E. ja Aphalo, P.J. 2004a. Boron uptake by ectomycorrhizas of silver birch. *Mycorrhiza*. Painossa.
- Lehto, T., Lavola, A., Julkunen-Tiitto, R. ja Aphalo, P.J. 2004b. Boron retranslocation in Scots pine and Norway spruce. *Tree Physiology*. Painossa.
- Mitchell, R.J., Garrett, H.E., Cox, G.S., Atalay, A. ja Dixon, R.K. 1986. Boron fertilization, ectomycorrhizal colonization, and growth of *Pinus echinata* seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1153–1156.
- Möttönen, M., Aphalo, P.J. ja Lehto, T. 2001a. The role of boron in drought resistance in Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. *Tree Physiology* 21: 673–681.
- Möttönen, M., Lehto, T. & Aphalo, P.J. 2001b. Growth dynamics and mycorrhizas of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings in relation to boron supply. *Trees – Structure and Function*. 15: 319–326.
- Möttönen, M., Lehto, T., Aphalo, P.J., Kukkola, M. ja Mälikönen, E. 2003. Response of mature stands of Norway spruce (*Picea abies*) to boron fertilization. *Forest Ecology and Management* 180: 401–412.

# VIII Boorilannoituksen vaikutus kasvuhäiriökuusikon ravinnetilaan ja kehittymiseen

*Anna Saarsalmi ja Pekka Tamminen*

## Johdanto

Boorin puutosta esiintyy kangasmetsissä maailmanlaajuisesti ja sen tiedetään aiheuttavan puissa kasvuhäiriöitä (Stone 1990, Schorrock 1997). Ulkoasultaan samanlaisia häiriötiloja kuin kasvuhäiriöisissä kuusimetsiköissä Pohjois-Savossa on myös saatu aikaan niin männyllä kuin kuusella toistuvalla typpilannoituksella, joka on aiheuttanut boorin puutteen (Aronsson 1983, Möller 1983, Mälkönen ym. 1990). Alhaisia booripitoisuuksia on havaittu kuusella myös kalkituksen jälkeen (Aronsson 1983, Lipas 1990, Lehto ja Mälkönen 1994), ja erityisesti silloin kun kalkin lisäksi on annettu tyyppiä (Aronsson 1983, Lipas 1990).

Kasvuhäiriöisissä metsiköissä boorilannoitus on lisännyt puiden boorin ottoa ja puuston toipumista (Braecke 1983). Myös Pohjois-Savossa on saatu rohkaisevia tuloksia nuorten kasvuhäiriöisten kuusikoiden toipumisesta, kun alueelle on levitetty booria sisältäviä lannoitteita (Hynönen ja Makkonen 2002). Kasvihuonekokeissa boorilannoitus on lisännyt kuusten taimien pituuskasvua silloin kun tyyppi ei ole ollut kasvua rajoittava tekijä (Möttönen ym. 2001a, 2001b). Myönteisten käytännön kokemusten ja kasvihuonekokeiden lisäksi tarvitaan laajamittaisen lannoitustoiminnan perusteeksi selvää näyttöä siitä, voidaanko boorilannoituksella saada puusto toipumaan häiriötilasta.

Tutkimuksessa selvitettiin nelivuotisessa seurannassa boorilannoituksen vaikutus kuusikon ravinnetilaan ja eriasteisesti häiriintyneiden kuusien latvusten toipumiseen.

## Aineisto ja menetelmät

Koillis-Savoon (Kuopion Riistavedelle, Kaaville ja Tuusniemelle) perustettiin marraskuussa v. 1999 kokeet voimakkaasti kasvuhäiriöisiin, noin 30 vuoden ikäisiin istutuskuusikoihin. Puut luokiteltiin ulkonäön perusteella kolmeen luokkaan: 1) terve: yksi normaalisti kasvanut latvakasvain, 2) lievä kasvuhäiriö: 3–4 likimain normaalisti kasvanutta, mutta yhtä korkealle yltävää latvakasvainta ja 3) voimakas kasvuhäiriö: latva monihaarainen ja tasainen tai pyöreä ja yksittäiset kasvaimet lyhyitä ja mahdollisesti kuolleita (ks. artikkeli II, kuva 1: Eriasteisesti kasvuhäiriöisiä puita).

Puut lannoitettiin toukokuussa v. 2000 puukoh- taisesti boorilla 2 kg/ha) (B-lannoitus), fosforilla (40 kg/ha) ja boorilla (2 kg/ha)(P+B-lannoitus) tai typpellä (200 kg/ha)(N-lannoitus). Lannoitteet levitettiin 3 m:n säteelle koepuun ympärille. Koelajojen välille jätettiin vähintään 1 m:n levyinen vaippa. Vertailupuita ei lannoitettu (0). Lannoituskäsittelyt (4) toistettiin 10 kutakin kasvuhäiriöluokkaa (3) edustavalle puulle jokaisessa kokeessa (3), eli kokeeseen kuului 120 puuta ja koko koesarjaan 360 puuta.

Kaikista koepuista otettiin neulasnäytteet marraskuussa v. 1999 ja uudelleen joka toisesta koepuusta yhden (joulukuussa) ja kolmen (lokakuussa) kasvukauden kuluttua lannoituksesta. Näytteet otettiin koepuiden latvuksen ylimmästä kolmanneksesta, 2.–5. oksakiehkurasta etelän puolelta. Näytteiksi otettiin nuorimman vuosikerran neulasia, Kuopion kokeella myös kahden edellisen vuosikerran neulasia, ja niistä analysoitiin pää- ja hivenravinteet. Kaavin kokeella kaadettiin kolmen kasvukauden kuluttua lannoit-

tuksesta 6 lannoittamatonta ja 6 boorilla lannoitettua koepuuta, joiden neulasten, oksien kuoren ja puun booripitoisuudet määritettiin. Puolet näistä koepuista oli terveitä ja puolet voimakkaasti kasvuhäiriöisiä puita.

Maanäytteet otettiin ennen lannoitusta toukuksuussa kokeittain 21 puun ympäriltä humuskerroksesta ja kivennäismaakerroksesta 0–10 cm. Kaavin kokeella maanäytteet otettiin uudelleen em. 12 koepuun ympäriltä kolmen kasvukauden kuluttua lannoituksesta. Näytteistä analysoitiin kuumaan veteen uuttuva boori. Koepuiden läpimitta ja pituus mitattiin keväällä ennen lannoitusta ja uudelleen neljän kasvukauden kuluttua lannoituksesta. Puuston kunto määritettiin ennen lannoitusta ja neljä kasvukautta lannoituksen jälkeen.

## Tulokset

### *Maan booripitoisuudet ennen ja jälkeen lannoituksen*

Kaavin kokeella boorilannoitus näkyi selvästi kolmen kasvukauden kuluttua lannoituksesta sekä humuskerroksessa että kivennäismaakerroksessa (taulukko 1). Lannoitetuilla koelohjoilla booripitoisuus oli humuskerroksessa kaksinkertainen ja kivennäismaassa kolminkertainen lannoittamattomiin koelohjoihin verrattuna.

### *Puiden ravinnetila ennen lannoitusta*

Typen ja fosforin niukkuus on tullut esille kangasmaiden alueellisissa puuston ravinnetilan tutkimuksissa eri puolilla Suomea (esim. Mälkönen 1991, Raitio 1998). Tässä tutkimuksessa neulasten typpipitoisuudet (taulukko 2) olivat

likimain sopivia, kun niitä verrataan tuoreiden ja lehtomaisten kankaiden kuusikoille esitettyihin ohjearvoihin (>15 g/kg, vrt. Jukka 1988), mutta Raition (1998) Etelä-Suomen kuusikoille esittämiin keskimääräisiin typpipitoisuuksiin (12 g/kg) verrattuna typpipitoisuudet olivat kuitenkin selvästi korkeammat. Fosforipitoisuus oli ohjearvoihin verrattuna välttävä (1,40–1,79 g/kg) tai alle puotosrajan (<1,4 g/kg).

Ennen lannoitusta kaikki kuuset kaikilla kokeilla kärsivät ankarasta boorin puutteesta ( $B < 5$  mg/kg) (Aronsson 1983, Jukka 1988, Lipas 1990). Neulasten booripitoisuus oli matalin Kaavin kokeella, jolla myös neulasten fosfori- ja magnesiumpitoisuudet olivat matalimpia (taulukko 2). Typpi- ja mangaanipitoisuudet puolestaan olivat Kaavin kokeella merkitsevästi korkeammat kuin muilla kokeilla. Kuopion kokeella, jolla neulasten booripitoisuus määritettiin kolmen viimeisimmän vuosikerran neulasista, se oli nuorimmissa neulasissa kaikissa kasvuhäiriöluokissa merkitsevästi korkeampi kuin kahden edellisen vuosikerran neulasissa.

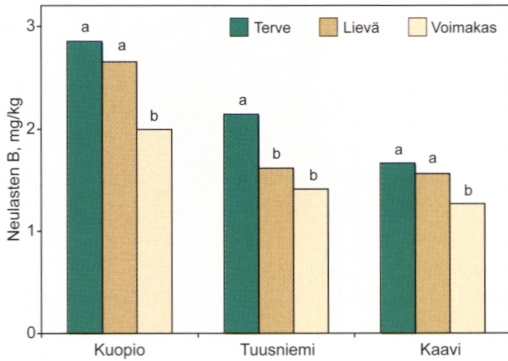
Neulasten booripitoisuus oli voimakkaasti kasvuhäiriöisissä puissa merkitsevästi matalampi kuin terveissä puissa (kuva 1). Neulas-

**Taulukko 1.** Maanäytteestä kuumaan veteen uuttuvan boorin pitoisuus (mg/kg) kuudella boorilannoitetulla ja kuudella lannoittamattomalla koelohjoilla Kaavin kokeella syksyllä 2002, kolme kasvukautta lannoituksen jälkeen. Booripitoisuuksien ero sekä humus- että 0–10 cm:n kivennäismaakerroksessa oli käsittelyjen välillä merkitsevä ( $p < 0,001$ ).

Kerros	Boorilannoitus			
	0 kg/ha $\bar{x}$	min-max	2 kg/ha $\bar{x}$	min-max
Humuskerros	1,05	0,94–1,22	2,26	1,47–2,85
0–10 cm	0,10	0,07–0,15	0,34	0,24–0,47

**Taulukko 2.** Neulasten keskimääräiset ravinnepitoisuudet eri kokeilla ennen lannoitusta. Samalla kirjaimella merkityt kokeet eivät poikkea ravinnepitoisuuksiltaan merkitsevästi toisistaan.

Koe	Ca	K	Mg g/kg	N	P	B	Cu	Fe mg/kg	Mn	Zn
Kuopio	4,66a	6,15a	1,04b	14,4b	1,57a	2,5a	3,0b	25,9b	731b	37,0a
Tuusniemi	3,42c	5,22b	1,10a	14,3b	1,55a	1,7b	3,1b	27,7a	706b	26,5c
Kaavi	4,24b	5,52b	0,90c	15,6a	1,19b	1,5c	3,5a	24,8c	860a	32,0b



**Kuva 1.** Neulasten booripitoisuus ennen lannoitusta kokeittain ja kasvuhäiriöluokittain. Kasvuhäiriöluokat: 1 = terve, 2 = lievä kasvuhäiriö ja 3 = voimakas kasvuhäiriö. Samalla kirjaimella merkityt neulasten booripitoisuudet eivät poikkea kokeen sisällä merkitsevästi toisistaan.

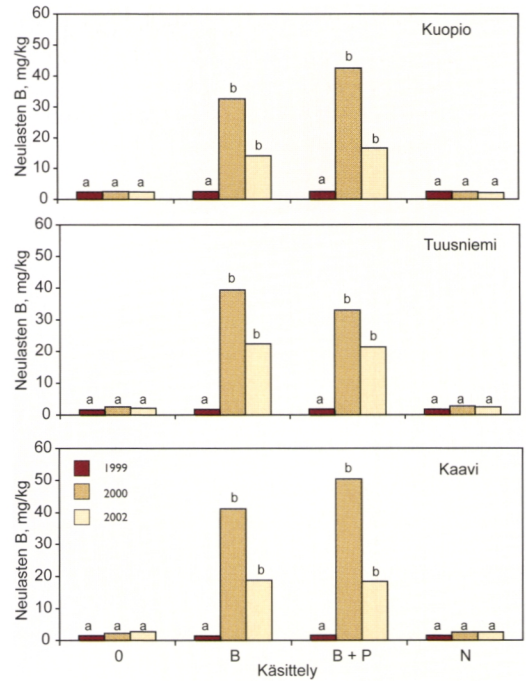
ten fosforipitoisuus oli puolestaan Tuusniemen kokeella voimakkaasti kasvuhäiriöisissä puissa merkitsevästi korkeampi kuin terveissä puissa. Muilla ravinteilla ei näyttänyt olevan yhteyttä kasvuhäiriöön.

#### Puiden ravinnetila lannoituksen jälkeen

Boorilannoitus (B ja B +P) vaikutti nopeasti neulasten booripitoisuuksiin kuusien kasvuhäiriöluokasta riippumatta. Boorilannoituksen jälkeisenä syksynä neulasten booripitoisuudet olivat nousseet kaikilla kokeilla 20-kertaisiksi lannoittamattomiin kuusiin verrattuna (kuva 2). Kun lannoituksesta oli kulunut kolme kasvukautta, neulasten booripitoisuudet olivat vielä 10-kertaiset lannoittamattomiin kuusiin verrattuna.

Boorilannoituksen vaikutus (Kuopion koe) näkyi kolmen kasvukauden jälkeen kohonneina booripitoisuuksina kolmen viimeisimmän neulasvuosikerran neulasissa (kuva 3). Korkeimmat booripitoisuudet olivat lannoitusvuoden neulasissa. Erot eri neulasvuosikertojen booripitoisuuksissa eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

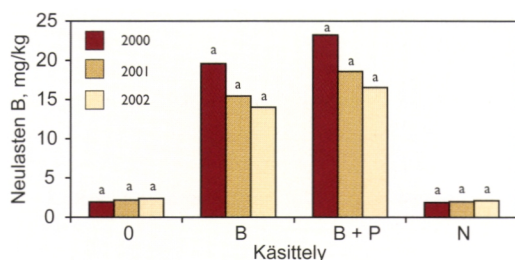
Boorilla lannoitettujen koepuiden eri osien pitoisuudet olivat puuainesta lukuun ottamatta merkitsevästi korkeampia kuin lannoittamattomilla koelaloilla (taulukko 3). Eri puunosien



**Kuva 2.** Neulasten booripitoisuus Kuopion, Tuusniemen ja Kaavin lannoituskokeilla ennen lannoitusta (v. 1999) ja yksi (v. 2000) sekä kolme kasvukautta (v. 2002) lannoituksen jälkeen. Käsittelyt: 0 = vertailu, B = booria 2 kg/ha (borax), B+P = booria 2 kg/ha (borax) ja fosforia 40 kg/ha (superfosfaatti) sekä N = typpeä 200 kg/ha (urea). Samana vuonna samalla kirjaimella merkityt neulasten booripitoisuudet eivät poikkea merkitsevästi toisistaan.

**Taulukko 3.** Koepuiden eri puunosien keskimääräiset booripitoisuudet (mg/kg) kuudella boorilannoitella ja kuudella boorilannoittamattomalla koelalla Kaavin kokeella syksyllä 2002, kolme kasvukautta lannoituksen jälkeen. Booripitoisuuksien ero kaikissa puunosissa puuainesta lukuun ottamatta oli käsittelyjen välillä merkitsevä ( $p < 0,001$ ).

Puunosa	Boorilannoitus			
	0 kg/ha $\bar{x}$	min-max	2 kg/ha $\bar{x}$	min-max
neulas 2000	2,0	1,2–2,9	18,9	7,1–29,2
neulas 2001	2,4	1,5–4,2	15,2	6,9–24,3
neulas 2002	2,8	1,3–6,1	14,9	9,5–20,7
oksa	3,8	3,1–5,2	6,8	4,5–9,97
kuori	7,9	5,6–11,9	12,2	7,4–17,2
puu	1,5	0,9–2,4	1,9	1,3–3,8



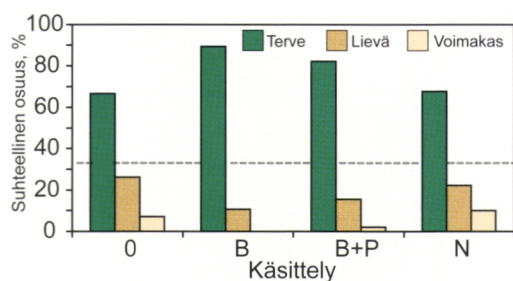
**Kuva 3.** Neulasten booripitoisuus Kuopion kokeella neulasvuosikerroittain (kolme viimeistä neulasvuosikertaa) ja käsittelyittäin v. 2002. Kaikki kasvuhäiriöluokat yhdessä. Käsittelyt, ks. selitykset kuva 2. Samalla kirjaimella merkityt eri neulasvuosikerrojen booripitoisuudet eivät poikkea merkitsevästi toisistaan.

booripitoisuuksissa ei ollut eroa terveiden ja voimakkaasti kasvuhäiriöisten puiden välillä.

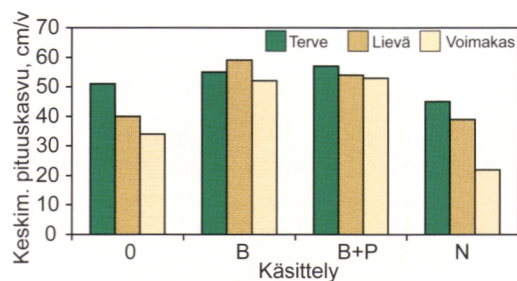
Typpilannoitus näkyi neulasten kohonneina tyypipitoisuuksina lannoitusvuoden syksyllä, mutta ei enää kolmen kasvukauden jälkeen. Fosforilannoitus kohotti neulasten fosforipitoisuuksia merkitsevästi kaikilla kokeilla yhden kasvukauden jälkeen, ja vaikutus näkyi Kuopion ja Kaavin kokeella vielä kolmen kasvukauden jälkeen. Muiden ravinteiden pitoisuuksiin lannoituskäsittelyillä ei ollut vaikutusta.

#### *Lannoituskäsittelyjen vaikutus puiden kuntoon ja kasvuun*

Neljän kasvukauden jälkeen kokeiden perustamisesta puiden kunto oli parantunut kaikilla kokeilla ja käsittelyillä (kuva 4). Boorilannoitus kuitenkin edisti puiden toipumista. Kuntojakaumat olivat keskenään samanlaisia boorikäsittelyillä B ja B+P ja vastaavasti käsittelyillä 0 ja N sekä koko aineistossa että yksittäisillä kokeilla. Boorilannoitus oli parantanut puiden kuntoa tilastollisesti merkitsevästi Kuopion ja Tuusniemen, mutta ei Kaavin kokeella. Kuusikoiden luontainen toipuminen ilmeni erityisesti voimakkaasti kasvuhäiriöisten kuusten osuuden vähenemisenä 33,3 %:sta keskimäärin 7 %:iin, kun samalla terveiden kuusten osuus keskimäärin kaksinkertaistui. Boorilannoitus varmisti puiden tervehtymisen, sillä booria saaneista puista keskimäärin vain



**Kuva 4.** Kuusten suhteelliset osuudet v. 2003 kasvuhäiriöluokittain ja käsittelyittäin kokeet yhdistettynä. Ennen lannoitusta (v. 1999) kaikkien kasvuhäiriöluokkien (pylväät) suhteelliset frekvenssit olivat 33,3 % (katkoviiva) (n=10). Käsittelyt, ks. selitykset kuva 2.



**Kuva 5.** Kuusten keskimääräinen pituuskasvu (cm/v) neljänä lannoituksen jälkeisenä kasvukautena kasvuhäiriöluokittain ja käsittelyittäin kokeet yhdistettynä. Käsittelyt, ks. selitykset kuva 2. Käsittelyjen välinen ero kuusten pituuskasvussa oli tilastollisesti merkitsevä.

1 % oli v. 2003 voimakkaasti kasvuhäiriöisiä, kun kontrolli- ja typpilannoitetuista puista niiden osuus oli keskimäärin 9 %.

Boorilannoitus lisäsi kuusten pituuskasvua, eniten voimakkaasti kasvuhäiriöisten (18 cm/v) ja vähiten terveiden kuusten (5 cm/v) (kuva 5). Fosfori ei lisännyt boorin vaikutusta. Puuston keskimääräisen pituuskasvun ja neulasten vuoden 2002 booripitoisuuden välillä vallitsi positiivinen korrelaatio,  $r = 0.44^{***}$ . Typpilannoitus alensi voimakkaasti kasvuhäiriöisten kuusten pituuskasvua. Terveiden tai lievästi kasvuhäiriöisten kuusten pituuskasvuun typpilannoituksella ei ollut vaikutusta. Lannoituksilla ei ollut vaikutusta puiden paksuuskasvuun.

## Johtopäätökset

Lannoituskokeet tukivat aiempia havaintoja siitä, että neulasten alhainen booripitoisuus on syynä kasvuhäiriöihin. Boorilannoitus kohotti nopeasti neulasten booripitoisuuksia, edisti puiden toipumista ja lisäsi puiden pituuskasvua. Lannoitusvaikutus oli sama riippumatta siitä, annettiinko boori fosforin kanssa tai yksinään. Typpilannoitus ei vaikuttanut oleellisesti puiden kuntoon lannoittamattomiin puihin verrattaessa. Voimakkaasti kasvuhäiriöisten puiden pituuskasvuun tyypellä oli lievä negatiivinen vaikutus. Boorin lisäksi muilla ravinteilla ei näyttänyt olevan yhteyttä kasvuhäiriöön.

## Kiitokset

Pekka Välikangas vastasi kenttätöistä. Kenttätyöhön osallistui lisäksi Reijo Hautajärvi Ismo Kyngäs, Jukka Lahti, Teuvo Levula ja Raino Lievonen. Kuvat piirsi Anne Siika. Piia Kinnunen, Kerttu Nyberg, Arja Reijonen, Pirkko Ronkainen, ja Maija Ruokolainen analysoivat näytteet laboratoriossa. Kiitos heille!

## Kirjallisuus

Aronsson, A. 1983. Growth disturbances caused by boron deficiency in some fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 116–122.

Braekke, F.H. 1983. Micronutrients – prophylactic use and cure of forest growth disturbances. *Communicationes Forestalis Fenniae* 116: 159–169.

Hopmans, P. & Clerehan, S. 1991. Growth and uptake of N, P and K by *Pinus radiata* D. Don in response to applications of borax. *Plant and Soil* 131: 115–127.

Hynönen, T. & Makkonen, T. 2002. Kuusikoiden kasvuhäiriöistä suuret tappiot. *Leipä Leveämmäksi*. 2002(1): 12–14.

Jukka, L. 1988. *Metsänterveysopas*. Samerka OY, Helsinki. 168 s.

Lehto, T. & Mälkönen, E. 1994. Effects of liming and boron uptake of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163(1): 55–64.

Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352: 22 s.

Mälkönen, E. 1991. Neulas- ja maa-analysien käytökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Julkaisussa: Mäkelä, P.P. & Hotanen, J. (toim.). *Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäismailla*. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1991. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 383: 52–61.

Mälkönen, E., Derome, J. & Kukkola, M. 1990. Effects of Nitrogen Inputs on Forest Ecosystems. Estimation Based on Long-Term Fertilization Experiments. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). *Acidification in Finland*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 325–349.

Möller, G. 1983. Variation of boron concentration in pine needles from trees growing on mineral soil in Sweden and response to nitrogen fertilization. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 111–115.

Möttönen, M., Aphalo, P. & Lehto, T. 2001a. Role of boron in drought resistance in Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. *Tree Physiology* 21: 673–681.

Möttönen, M., Lehto, T. Aphalo, P. 2001b. Growth dynamics and mycorrhizas of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings in relation to boron supply. *Trees* 15: 319–326.

Raitio, H. 1998. Puiden ravinnetila. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691: 86–89.

Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193: 121–148.

Stone, E.L. 1990. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. *Forest Ecology and Management* 37(1–3): 49–75.

# IX Booripitoiset lannoitteet ja nuoren kuusikon toipuminen häiriöstä

Tenho Hynönen

## Johdanto

Pohjois-Savossa on lannoitettu kasvuhäiriökuusikoita vuosina 1997–2003 booripitoisilla lannoitteilla noin 30000 hehtaaria. Tulokset ovat olleet rohkaisevia. Käytännön lannoituskohteisiin ei ole voitu jättää vertailualoja, eikä puustojen ravinnepitoisuuksien muutoksia ole myöskään ollut mahdollista seurata. Tämän vuoksi on osittain toimittu epävarman tiedon varassa. Myöskään eri lannoitteiden sopivuudesta kivennäismaiden kasvuhäiriökuusikoiden lannoitukseen ei ole ollut tutkittua tietoa. Perusteellisempaa seurantaa varten eri ikäisiin viljelykuusikoihin perustettiin kokeita, joilla oli tarkoitus selvittää käytännön lannoitustoiminnassa käytettyjen lannoitteiden vaikutusta kuusien kehitykseen. Merkittävänä tavoitteena on käyttää kokeita myös havaintokoealoina sekä metsämattihenkilöiden että metsänomistajien koulutuksessa ja neuvonnassa.

## Aineisto ja menetelmät

Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueelle perustettiin viisi lannoituskoetta (taulukko 1). Kiuruveden koe perustettiin metsitetylle turvemaapellolle ja muut koealat kivennäismaalle (metsämaalla). Vehmersalmen (koe E) metsikkö oli perustettu jo vuonna 1975, mutta alue oli täydennysviljelty vuonna 1989. Kaikilla kohteilla oli havaittavissa eriasteista puiden epänormaalia kehitystä. Voimakkaimmat kasvuhäiriöt esiintyivät Kiuruveden turvemaapellolla ja lievimmät häiriöt olivat Lapinlahden taimikossa (B). Vehmersalmen koealalla (E) havaittiin keväällä 2001 melko paljon latvakuolemia; kuusen latvoista oli kuivanut 0,5–1,0 metriä. Tuolloin tavattiin samantapaista latvakuivumista muuallakin Pohjois-Savon alueella. Kohteita ei ollut aikaisemmin lannoitettu metsänviljelyn jälkeen. Osalla kohteista oli selvästi nähtävissä metsälaiduntamisen merkit ja Vehmersalmen kohteella (E) laiduntaminen oli jatkunut kokeen perustamiseen saakka.

**Taulukko 1.** Kokeiden sijainti, kasvupaikka, puuston kehitysluokka, ikä, keskipituus ja häiriöaste kokeen alkaessa.

Koe	Kunta	Kasvupaikka	Kehitysluokka	Ikä, v	Pituus, m	Häiriöaste
A	Kiuruvesi	Mustikkaturvekangas <sup>(1)</sup>	T2	13	2,2	voimakas
B	Lapinlahti	Tuore kangas (MT)	T1	5	0,8	lievä
C	Varpaisjärvi	Lehtomainen kangas (OMT)	O2	30	8,1	lievä
D	Varpaisjärvi	Mustikkatyyppi (MT)	T2	18	4,9	lievä
E	Vehmersalmi	Lehtomainen kangas (OMT)	T2	20	5,5	voimakas

<sup>(1)</sup> Turvemaapelto

**Taulukko 2.** Lannoituskokeessa käytetyt lannoitteet ja niiden ravinnepitoisuudet sekä käytetty lannoitemäärä. N=typpi, P=fosfori, K=kalium, Ca=kalsium, Mg=magnesium, S=rikki, B=boori, Cu=kupari, Zn=sinkki. Vertailuruutuja (1) ei lannoitettu.

Lannoite	N	P	K	Ca	Mg %	S	B	Cu	Zn	Määrä kg/ha
2 Pellon metsityksen PK1	0	6,0	10,8	12,5	4,0	3,0	0,60	0,5	0,5	400
3 Metsän booriravinne	0	0	0	10,5	2,0	14,0	0,75	0	0	320
4 Metsän NP2	19,0	4,0	0	4,3	1,0	12,0	0,40	0	0,15	600

Jokainen koe muodostui 12 koealasta (à 400 m<sup>2</sup>), joihin arvottiin kolmeen lohkoon (toistot) neljä lannoituskäsittelyä, jotka olivat: 1 – lannoittamaton kontrolli, 2 – Pellonmetsityksen PK 1, 3 – Metsän booriravinne sekä 4 – Metsän NP 2 (ns. runsasboorinen metsän NP). Levitettävä lannoitemäärä laskettiin lannoitteen sisältämän boorin mukaan tavoitteena 2,4 kg B/ha. Lannoitteet levitettiin kesäkuussa 2001 (8.–28.6.2001). Lannoitteiden ravinnepitoisuudet ja levitysmäärät on esitetty taulukossa 2.

Seuranta varten koepuiksi valittiin jokaisen koealan keskipisteestä 5,64 metrin säteiseltä ympyräkoevalta kaikki puut. Kaikilta kokeilta analysoitiin koaloittain kerätyn kokoomanäytteen nuorimman vuosikerran neulasten ravinnepitoisuudet vuosina 2001, 2002 ja 2003 sekä lisäksi koalueilta A ja B ennen lannoitusta vuonna 2000. Näytteet kerättiin alkutalvella (marras–joulukuussa). Puuston kehittymistä seurattiin mittaamalla puiden pituus ja vuosikasvaimien pituus vuosina 2000–2003 sekä arvioimalla latvan elinvoimaisuutta luokituksella: 1 = heikko, kasvaimet elossa mutta heikkokuntoisia, 2 = tyydyttävä, kasvaimet vihreitä, mutta latvat ja neulaset hieman aneemisia ja lyhyehköjä, 3 = hyvä, normaalit latvakasvaimet, vihreät neulaset sekä terveennäköiset silmut 4 = erinomainen, erittäin hyvä kasvu ja tumman vihreät neulaset sekä terveennäköiset silmut.

## Tulokset

### *Lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuteen*

Neulasten booripitoisuus oli ennen lannoitusta kaikilla koaloilla selvästi alle 10 mg/kg, varttuneemmissa taimikoissa ja nuoressa kasvatusmetsässä alle 5 mg/kg. Lannoituksen vaikutus ilmeni jo ensimmäisen kasvukauden jälkeen. Neulasten booripitoisuudet nousivat lannoitetuilla koaloilla talveen mennessä lähtötasoon verrattuna 10–30-kertaisiksi (40–100 mg/kg) (kuva 1). Neulasten booripitoisuus nousi kivennäismailla (kokeet B–E) korkeimmalle Metsän booriravinteella, mutta turvemaapelolla (koe A) Pellon metsityksen PK1-lannoitteella. Neulasten booripitoisuus laski lannoitetuilla koaloilla kolmen kasvukauden aikana tasolle 20–35 mg/kg; pienessä kivennäismaan taimikossa (B) lasku oli voimakkain. Lannoitettujen koalojen neulasten booripitoisuus oli kuitenkin vielä kolmen kasvukauden jälkeen korkealla tasolla (kuvat 1 ja 2).

Pääravinteiden pitoisuudet olivat jo ennen lannoitusta kaikilla kohteilla riittävät. Lannoituksella ei ollutkaan kovin suurta vaikutusta neulasten muiden ravinteiden kuin boorin pitoisuuksiin (kuva 2). Pellonmetsityksen PK1- ja metsän NP2-lannoitteet kohottivat neulasten fosforipitoisuutta samoin kuin Pellonmetsityksen PK 1 myös kaliumpitoisuuksia. Neulasten kalium-, fosfori- ja kuparipitoisuudet kohosivat seurannan aikana hiukan myös lannoittamattomilla koaloilla. Ainoastaan neulasten typpipitoisuus nousi Metsän NP-lannoitteella ensimmäisenä vuonna, mutta laski sitten lähelle vertailutasoa.

*Puuston muutokset eri lannoituskäsittelyillä*

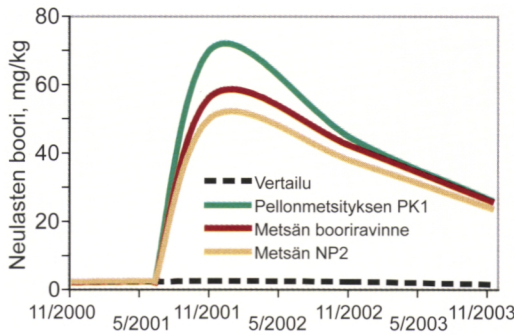
Lannoitus lisäsi puiden pituuskasvua (kuvat 3), vähensi kilpailevien latvakasvainten määrää sekä paransi latvan ja koko puun elinvoimaisuutta (kuva 4). Muutokset olivat suurimmat turvemaapellon taimikossa, jossa lannoituksen jälkeinen kolmen vuoden pituuskasvu parani 65 %, kun se keskimäärin kaikilla viidellä kokeella parani 23 % lannoittamattomiin puihin verrattuna. Muidenkin tunnusten osalta muutokset olivat turvemaapel-

lolla voimakkaammat kuin muilla kokeilla. Lannoituksella ei tietenkään voida vaikuttaa ennen lannoitusta syntyneisiin runko- ja latvavikoihin, joten puuhun jää vaurioitunut tyviosa.

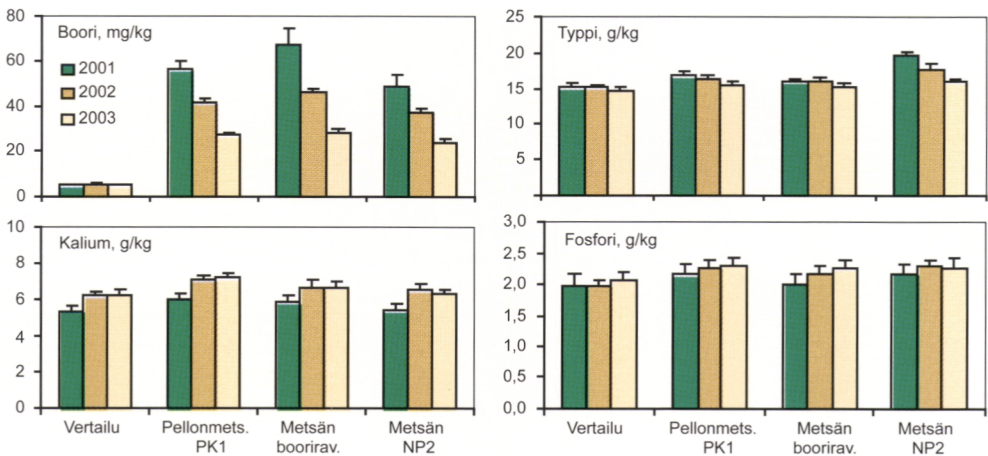
### Johtopäätökset

Kokeisiin valittujen häiriömetsien neulasten alhaiset booripitoisuudet tukevat muissa tutkimuksissa ja käytännön metsätaloudessa tehtyjä havaintoja Pohjois-Savon metsämaiden alhaisesta booritasosta. Lannoitus kohotti neulasten booripitoisuuksia jopa monikymmenkertaisiksi jo ensimmäisen kasvukauden aikana. Tämän jälkeen pitoisuudet tosin laskivat kahdessa vuodessa melko voimakkaasti pysyen kuitenkin vielä selvästi varsin korkeina. Eri lannoitteiden vaikutus neulasten booripitoisuuteen oli hyvin samanlainen, kun käyttömäärät oli laskettu niin, että hehtaaria kohti annettiin sama määrä booria. Muiden ravinteiden pitoisuuksiin lannoitteilla oli vain vähäinen vaikutus.

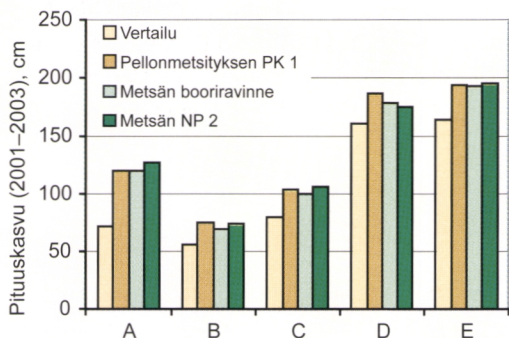
Häiriöpuiden latvakasvainten toipuminen oli nähtävissä kolmen kasvukauden jälkeen lannoituksesta. Pituuskasvu parani ja latvuksen kunto luokiteltiin parantuneeksi. Selvin muutos oli metsitetyn turvemaapellon kuusilla, joissa häiriö



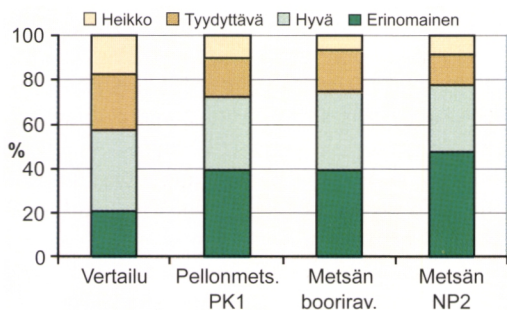
**Kuva 1.** Neulasten booripitoisuuden kehitys entiselle turvemaapellolle (koe A) istutetussa kuusitaimikossa lannoituskäsittelyittäin. Näytteet kerätty vuosittain marras–joulukuussa. Metsä lannoitettiin 8.6.2001.



**Kuva 2.** Boorin, typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet neulasissa syystalvella vuosina 2001–2003 lannoituskäsittelyittäin kokeet yhdistettynä. Koealat lannoitettiin kesäkuussa 2001. Pystyjana kuvaa keskiarvon keskivirhettä.



**Kuva 3.** Puiden vuosien 2001–2003 yhteenlaskettu pituuskasvu lannoituskokeilla A–E (selitykset taulukossa 1) lannoituskäsittelyittäin.



**Kuva 4.** Kuusen latvojen elinvoimaisuus viiden kokeen keskiarvona kolme kasvukautta lannoituksen (kesäkuu 2001) jälkeen syystalvella 2003.

ennen lannoitusta oli kaikkein voimakkain. Koska kasvuhäiriöinen puu toipuessaan saattaa tuottaa pensastavasta latvasta useita terveitä keskenään kilpailevia latvakasvaimia, vie aikansa ennen kuin puu muuttuu selvästi yksilatvaiseksi.

Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että booripitoisilla lannoitteilla voidaan parantaa jo häiriintyneiden puiden kehitystä. Vähäisimmät vaikutukset olivat nuorena taimikossa, jossa häiriöt olivat alkuaankin lieviä ja niiden aiheuttajina oli mahdollisesti myös halla ja hyönteiset. Käytettyjen lannoitteiden välillä ei ainakaan kolmen vuoden seurannassa havaittu selviä eroja. Käytännön metsätalouden kannalta oleellisinta on, että ravinnetalous voidaan hoitaa tasapainoon ennen puustossa ilmeneviä vaurioita.

## Kiitokset

Parhaimmat kiitokset Pentti Ahoselle Kemira Growhow'sta ja Vesa Pölöselle Pohjois-Savon metsäkeskuksesta. He olivat perustamassa lannoituskokeita sekä hoitivat näytteiden oton. Kokeissa käytetyt lannoitteet on antanut Kemira Growhow korvauksetta.

# X Boorilannoitteen syyslevitys kuusikossa

*Risto Rikala ja Martti Vuorinen*

## Johdanto

Boorilannoitukset toteutetaan pääosin helikopterilevityksenä, joka ajoittuu koko sulanmaan kaudelle (Sarvi 2004). Eri lannoitteiden levitys pyritään ajoittamaan sopivaksi lannoitusvaikutuksen kannalta. Pyrkimyksenä on saada levitykset toteutettua syyskuun alkuun mennessä. Joinakin vuosina booria sisältävien lannoitteiden levitystä on kuitenkin jouduttu jatkamaan aina marraskuulle saakka ja on epäilty, että osa boorista ehtisi huuhtoutua syksyn ja talven aikana ennen seuraavaa kasvukautta.

Suomessa on tutkittu N- ja PK-lannoitteiden lannoitusajankohdan vaikutusta puuston kasvuun, mutta boorilannoituksen ajoituksen vaikutuksia puiden kannalta ei ole toistaiseksi selvitetty. Koska boori on liukoinen ravinne, joka helposti huuhtoutuu kasvien saavuttamattomiin (Mengel ja Kirkby 1982), on syyslannoitusten vaikutuksen epäilty jäävän heikommaksi kuin kasvukauden aikaisten lannoitusten.

Boorilannoituksen vaikutus on nopea ja se ilmenee neulasten booripitoisuuksissa jo lannoitusvuonna (Silfverberg 1982, VIII, IX), joten lyhytaikaisellakin seurannalla voidaan lannoituksen jälkeen selvittää neulasten booripitoisuusmuutoksia.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, vaikuttaako myöhään syksyllä annettu boorilannoitus yhtä tehokkaasti puiden booripitoisuuteen kuin alkukesällä toteutettu lannoitus.

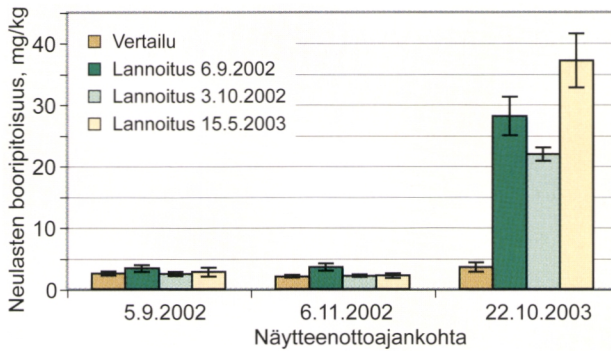
## Aineisto ja menetelmät

Levitysajankohdan vaikutusta selvitettiin runsaan vuoden kestäneessä, 30-vuotiaaseen boorinpuutoksesta kärsineeseen OMT:llä kasvaneeseen viljelykuusikkoon perustetussa kokeessa. Lannoitettaviksi koepuiksi valittiin 24 valtapuustoon kuuluvaa, vähintään 7 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevaa puuta, joiden pituus vaihteli 10–16 m. Kuuden lohkoittain arvotun puun ympärille levitettiin Kemiran Pellonmetsityksen PK-lannosta (B 0,6 %) 3 kg B/ha vastaava annos puukohtaisesti 2,5 m:n säteelle kolmena ajankohtana, 6.9.2002, 3.10.2002 ja 15.5.2003. Vertailukäsittelyn puita ei lannoitettu. Jokaisen koepuun ylimmästä, eteläpuoleisesta latvaneljänneksestä otettujen uusimpien kasvainten neulasten ravinnepitoisuuksia mitattiin kolme kertaa, 5.9.2002, 6.11.2002 ja 22.10.2003. Booripitoisuuksista pääteltiin, miten puut ottivat booria eri levitysajankohtien lannoituksista.

Syyskuu 2002 oli lähes yhtä lämmin kuin keskimäärin, mutta loka- ja marraskuu olivat noin 4°C ja keskimääräistä kylmempiä. Syyskuu ja lokakuu olivat selvästi keskimääräistä vähäsateisempia.

## Tulokset ja tarkastelu

Lannoittamattomien vertailupuiden neulasten booripitoisuus pysyi seurantavuoden ajan vakaana. Syyskuun alun lannoitus nosti neulasten booripitoisuutta marraskuun alkuun mennessä vähän, mutta lokakuun alun lannoitus ei lainkaan (kuva 1).. Sen sijaan seuraavan vuoden lokakuun loppuun mennessä kaikkien levitysajankohtien lannoitukset nostivat neulasten booripitoisuutta



**Kuva 1.** Lannoitusajankohdan vaikutus kuusen neulasten booripitoisuuksiin eri näytteenottoajankohtina. Pystyjana kuvaa keskiarvon  $\pm$ keskivirhettä (n=6).

voimakkaasti. Voimakkain vaikutus oli toukokuun lannoituksella; neulasten B-pitoisuus nousi yli 13-kertaiseksi alkutilanteeseen verrattuna. Edellisen syksyn sekä syys- että lokakuun lannoitukset nostivat B-pitoisuutta yli 8-kertaiseksi kuitenkin niin, että absoluuttisesti nousu oli voimakkaampi syyskuussa lannoitetuissa puissa. Tulos tukee aiempia tutkimuksia (Silfverberg 1982, VIII), joissa boorilannoituksen (2 kg/ha) vaikutus neulasten pitoisuuksiin on nopeaa ja nousu samaa luokkaa kuin tässä kokeessa.

Koevuoden syksyn vähäsateisuus saattoi hidastaa boorin liukenemista maassa ja viileys heikentää puiden boorin ottoa, mikä mahdollisesti heikensi neulasten booripitoisuuden kohoamista lannoitusyöksynä. On kuitenkin ilmeistä, että puut eivät yleensä otta merkittävässä määrin booria syksyllä levitetystä lannoitteesta ennen talven tuloa, koska ilmat viilenevät ja boorin otto ainakin valtaosin tapahtuu haihduntavirran mukana (Mengel & Kirkby 1982). On myös viitteitä, että boorin otto vähenee maan lämpötilan alentuessa (Ye ym. 2000). Viileinä syksyinä levitetyn boorilannoitteen hyödyntäminen tapahtuneekin pääosin vasta seuraavana kasvukautena.

## Johtopäätökset

Tämä tutkimus perustuu yhdessä metsikössä ja yhtenä vuonna toteutettuun kokeeseen, mikä rajoittaa tulosten yleistämismahdollisuuksia. Tulokset kuitenkin osoittavat, että sulanmaan ajan boorilannoitukset, ajankohdasta riippumatta, nostavat neulasten ravinnepitoisuutta riittävästi. Syyslevitys saattaa kuitenkin olla riskialttiimpaa, koska sateisina, viileinä syksyinä, jolloin haihduntavirta on pieni ja puiden boorin otto vähäistä, osa boorista huuhtoutuu syksyllä tai lumen sulamisvesien mukana keväällä juurten tavoittamattomiin.

## Kirjallisuus

- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. 3. painos. International Potash Inst., 'Der Bund' AG, Bern. 655 s.
- Sarvi, V. 2004. Lannoitteet helikopterilla maastoon kuin maastoon. Leipä leveämmäksi 1: 26–28.
- Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys i två spårämnesgödslade granplanteringar Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients. Folia Forestalia 526. 12 s.
- Ye, Z., Bell, R.W., Dell, B. & Huang, L. 2000. Response of sunflower to boron supply at low root zone temperature. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31 (11/14): 2379–2392.

# XI Koivikoiden booripitoisuuden ja kasvuhäiriöiden yhteys

*Risto Rikala ja Martti Vuorinen*

## Johdanto

Kuusen ohella myös viljelykoivikkojen on todettu kärsivän heikosta laadusta ja kasvuhäiriöistä. Pellonmetsityksissä koivuntaimikkojen on havaittu häiriintyvän jo nuorena (Hynönen ja Makkonen 1999, Saksa ym. 2003). Taimet haarautuvat, muodostuvat monilatvaisiksi ja osin pensasmaisiksi. Häiriötä esiintyy myös vanhemmissa 15–20-vuotiaissa metsiköissä (Hynönen ja Saksa 1997ab, Hytönen 1999). Tällöin tosin häiriöoireet ovat moninaisemmat ja vaikeammin kuvattavissa. Yleisimpiä oireita ovat haarautumiset eri ikävaiheissa, runkomutkat, poikaoksat, paksuoksaisuus, kuolleet paksut oksat sekä kuolleet latvakasvaimet ja sitä seuraava latvan pensastuminen.

Koivuilla monet tekijät voivat aiheuttaa häiriötä. Nisäkkäistä myyrät ja hirvet aiheuttavat syönnillään vioituksia taimiin (Hytönen 1999, Saksa ym. 2003). Etenkin pellonmetsityksissä useiden hyönteisten, kuten äkämäkääriäisen, kehäsmittarin, lehtikärsäkkäiden ja kirvojen aiheuttamat vauriot voivat johtaa ranganvaihtoihin ja pensastumiseen (Saalas 1949, Poteri 2002). Myös abioottiset tekijät kuten voimakas kesäaikainen kuivuus, syyshallat ja ravinnehäiriöt saattavat vioittaa koivun latvakasvaimia, mikä johtaa latvan pensastumiseen. Samoin ravinne-epätasapainon, erityisesti boorin puutteen (Braecke 1979, Ferm ja Markkola 1985) ja mangaanimyrkytyksen (Raitio 1982) on esitetty aiheuttavan koivuissa pensastumista.

Havupuilla ravinneanalyysi tehdään yleensä neulasista ja näytteet kerätään lepoaikana talvella. Lehtipuilla keruuajankohdan valinta on kuitenkin ongelmallisempi. Fermin ja Markkolan (1982) hieskoivututkimuksen mukaan lehtianalyysi on käyttökelpoisempi kuin muista kasviosista

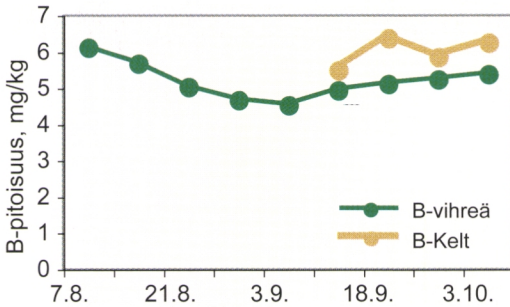
(oksat, silmut) tehty analyysi. Lehtinäytteiden ottoajankohdan oikean valinnan merkitystä on korostettu, jotta analysoidut pitoisuudet ovat vertailukelpoisia. Suomessa koivun lehtinäytteet suositellaan kerättäviksi elokuun alkupuolella, jolloin ravinnepitoisuuksien katsotaan pysyvän melko muuttumattomina (Reinikainen ym. 1998). Suositus perustuu lähinnä pääravinteiden kasvukauden aikaiseen vaihteluun. Hivenravinteiden määritysajankohdasta Fermin ja Markkolan (1985) mukaan on vaikeata antaa yleispätevää suositusta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rauduskoivun lehtinäytteiden ravinnepitoisuuden vaihtelua oikean näytteenottoajankohdan määrittämiseksi sekä kartoittaa koivun lehtien ravinnepitoisuuden vaihtelu terveissä ja kasvultaan eriasteisesti häiriintyneissä viljelykoivikoissa.

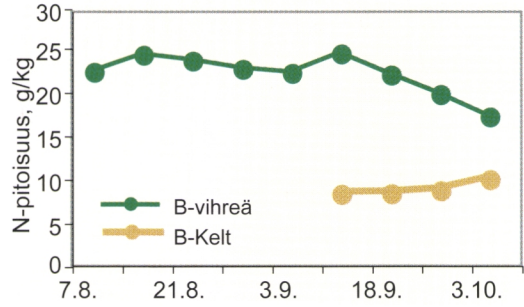
## Lehtinäytteiden ottoajankohta

Koivun lehtien ravinnepitoisuuksien muutoksen seuraamiseksi 19-vuotiaasta istutuskoivikon kolmesta puusta (puun ylimmästä kolmanneksesta kolmen oksan kokoomanäyte) kerättiin näytteet yhdeksän kertaa viikon välein 7.8.–3.10.2001. Näytteiksi otettiin vihreitä lehtiä, minkä lisäksi neljänä viimeisenä keruuajankohtana otettiin vihreiden lehtien lisäksi täysin kellastuneita lehtiä. Lehdistä määritettiin ravinnepitoisuudet.

Koivun lehdet pysyivät vihreinä elokuun loppuun saakka. Aluksi lehdet kellastuivat puiden alaoksilla ja varisivat maahan syyskuun alussa. Syyskuun aikana lehtiä kellastui ja suurin osa niistä varisi nopeasti maahan. Syyskuun lopussa vihreitä lehtiä oli vain puiden latvaosissa.



**Kuva 1.** Koivunlehtien booripitoisuus elo–syyskuussa vihreissä ja kellastuneissa lehdissä.



**Kuva 2.** Koivunlehtien typpipitoisuus elo–syyskuussa vihreissä ja kellastuneissa lehdissä.

Koivun vihreiden lehtien booripitoisuus laski elokuun alusta syyskuun alkuun ja nousi taas lokakuun alkuun mennessä (kuva 1). Kellastuneiden lehtien booripitoisuus oli lievästi korkeampi kuin vihreiden lehtien. Lehtien typpipitoisuus (N) säilyi vihreissä lehdissä 22–24 mg/kg:n tasolla syyskuun puoliväliin saakka, minkä jälkeen se laski selvästi syysyksi kohti (kuva 2). Täysin kellastuneissa lehdissä N-pitoisuus oli alussa noin 10 mg/kg. Myös fosfori- ja kaliumpitoisuuden vaihtelu oli verraten vähäistä elokuun aikana. Kellastuneiden lehtien kaliumpitoisuus ei juuri poikennut vihreiden lehtien pitoisuudesta, mutta niiden fosforipitoisuus oli vain noin puolet vihreiden lehtien pitoisuudesta.

## Kasvuhäiriöiset koivikot ja ravinteet

Tutkimuskohteiksi valittiin Pohjois-Savon alueelta puiden ulkonäön perusteella laadullisesti erilaisia, metsä- tai peltomaalle istutettuja 5–35-vuotiaita istutusköivikoita (17 kpl). Kahden turvepeltokohteen puulaji oli hieskoivu, muiden raudoiskoivu. Metsiköt luokiteltiin silmävaraisesti kolmeen häiriöluokkaan: 1. terveennäköiset, 2. häiriöiset ja 3. voimakkaasti häiriintyneet (kuva 3). Häiriöisyyden syytä pyrittiin selvittämään silmävaraisesti, mutta varsinkin aiemmin tapahtuneet ranganvaihtojen ja haarautumisten syyt jäivät selvittämättä. Hirvituhoja ei näytemetsiköissä kuitenkaan havaittu. Metsiköitä ei ollut lannoitettu metsittämisen jälkeen. Peltokohteita

oli mahdollisesti lannoitettu ja kalkittu ennen metsittämistä maataloustuotannon aikana. Lehtinäytteet kerättiin 7.–21.8.2001 (11 koivikkoa) ja täydennysaineisto 18.–28.8.2003 (6 koivikkoa). Jokaisesta koivikosta valittiin kolme, 10–20 metrin etäisyydellä toisistaan sijaitsevaa näytepuuta, joista kerättiin lehtinäytteet (yksi kokoomänäyte/puu). Maanäytteet ravinneanalysiin koostettiin metsiköittäin.

Lehtien ravinnepitoisuudet vaihtelivat metsiköittäin voimakkaasti ja kasvuhäiriöluokkien sisälläkin hajonta oli suuri (kuva 4abc). Myöskään metsiköittäin tarkasteltuna ei häiriöisyyden ja minkään ravinnepitoisuuden tai ravinnepitoisuuksien suhteen (esim. boori/typpi) välillä löytynyt selvää riippuvuutta. Voimakkaasti häiriöisiä köivikoita, joilla lehtien booripitoisuus oli kuitenkin korkea, oli etupäässä kivennäismaa- tai suopelloilla (kuva 4b). Nuorimmissa peltoköivikoissa oli havaittavissa todennäköisesti hyönteisten vioittamia puita. Lehdistä mitattujen ravinnepitoisuuksien ja köivujen häiriöasteen välillä ainoastaan mangaanin osalta riippuvuus ( $r=-0,53$ ,  $p=0,03$ ) muodostui merkitseväksi (kuva 4c).

Maan ravinteisuuden ja köivikoiden häiriöisyyden välillä oli selvä riippuvuus (kuva 5). Mitä korkeampia olivat maan kokonaistypen ( $r=0,80$ ,  $p<0,001$ )-fosforin ( $r=0,67$ ,  $p=0,002$ ), -kalsiumin ( $r=0,72$ ,  $p=0,001$ ) ja -kuparin ( $r=0,61$ ,  $p=0,009$ ) pitoisuudet, sitä voimakkaammin köivikko oli häiriintynyt.

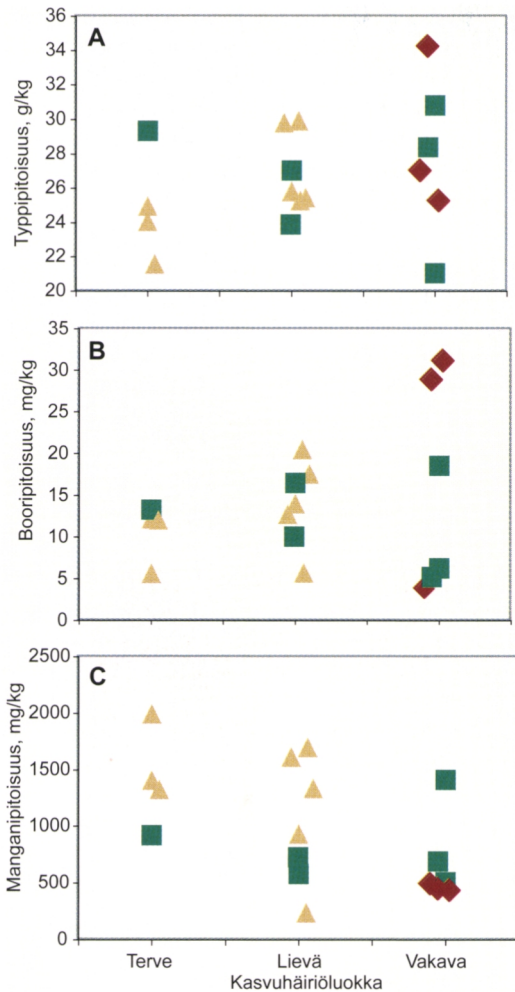


**Kuva 3.** Käytetty kasvuhäiriöluokitus: Terveennäköinen= ranka suora, vain lieviä mutkia, yksilätkäinen (vasemmanpuoleinen), lievä häiriö= ranka lievästi mutkainen, useampia haaroja tai poikaoksia, oksat pitkiä, usein kaksi- tai useampilätkäinen (keskimmäinen) ja voimakas häiriö= ranka voimakkaasti mutkainen, runsaasti haaroja ja poikaoksia sekä oksatihentymiä, latva pensasmainen (oikeanpuoleinen). (Risto Rikala)

## Johtopäätökset

Nyt toteutettu lehtien ravinnepitoisuuden seurantaselvitys perustuu vain yhteen vuoteen ja metsikköön. Tulosten mukaan useimpien ravinteiden pitoisuudet tasoittuvat elokuun aikana. Pääravinteiden osalta havainnot tukevat aiempia pohjoismaisia (Kivinen 1933, Tamm 1951) ja amerikkalaisia koivututkimuksia (Hoyle 1965, Lea ym. 1979). Samoin boorin, kuparin ja sinkin osalta vaihtelu oli samanlaista kuin keltakoivulla (Hoyle 1969). Ferm & Markkola (1985) päätyivät

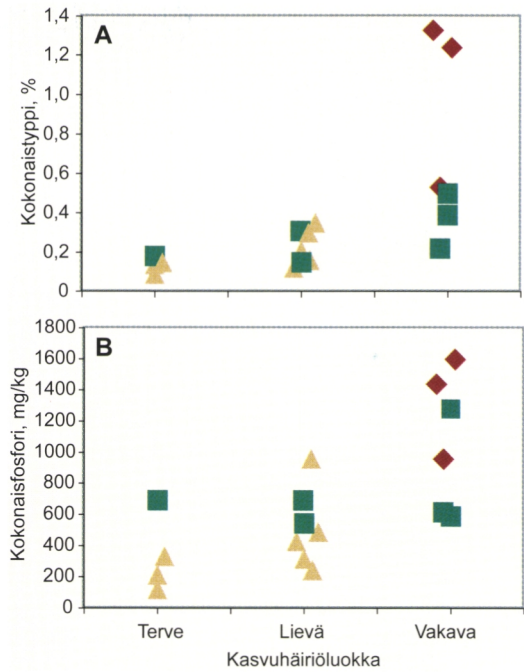
samantapaiseen tulokseen tietyn varauksin. He havaitsivat, että kivennäismailla booria kasautui lehtiin syksyä kohti, mutta turvemaan kasvuhäiriöisessä taimikossa pitoisuus (<10 mg/kg) pysyi vakaana koko kasvukauden. Tämän tutkimuksen ja aikaisemman kirjallisuuden perusteella lehtinäytteet (vain vihreitä lehtiä) ravinneanalyysiä varten tulisi kerätä elokuussa ennen kuin lehdet alkavat kellastua. Monen hivenravinteiden osalta lehtien kellastuminenkaan ei näyttäisi muuttavan pitoisuuksia. Koska myös sääolosuhteet, kuten kuivuus, saattavat kasvukauden aikana vaikuttaa



**Kuva 4.** Koivun lehtien typi- (A) ja boori- (B) ja mangaanipitoisuudet (C) kasvuhäiriöluokittain. Metsiköt luokiteltu kivennäismaapeltoihin = vihreä neliö, turvepeltoihin = punainen vinoneliö ja metsämaihin = vaaleanruskea kolmio.

huomattavastikin esim. typen ja boorin pitoisuuksiin, on tulosten tulkinnassa aina syytä olla varovainen.

Lehtien ravinnepitoisuudet eivät selittäneet koivujen häiriöitä. Tässä tutkimuksessa ei löytynyt boorinpuutosrajaa, jonka alapuolella kasvuhäiriö olisi todennäköinen. Aineistossa oli varsin terveennäköisiä koivikoita, joissa booripitoisuus oli alle 6 mg/kg ja vastaavasti monilatvaisia ja pensoittuneita koivikoita, joissa booripitoisuus



**Kuva 5.** Maan (0–20 cm) kokonaistypen (A) ja kokonaistofosforin (B) pitoisuudet kasvuhäiriöluokittain eri kasvupaikoilla (ks. kuva 4).

oli yli 15 mg/kg. Onkin ilmeistä, että koivulla kasvuhäiriön syyt eivät ole niin selviä ja tunnistettavia kun kuusella.

Koivujen häiriön voimakkuuden riippuvuus maan ravinteisuudesta viittaa pääravinteiden tai niiden kanssa riippuvuussuhteessa olevien tekijöiden merkitykseen häiriön synnyssä. Valtaosa häiriökohteista oli pelloilla, mikä puolestaan voisi olla seurausta ennen istutusta tapahtuneen viljelytoiminnan, lähinnä lannoituksen ja kalkituksen vaikutusta. Hynönen ja Makkonen (1999) havaitsivat, että kuparin, fosforin ja kaliumin kokonaistypitoisuudet selittivät yli puolet turvemaapeltojen kasvuhäiriöisten koivujen osuudesta. Koska tämän tutkimuksen aineistoa ei ollut valittu arpoen eri kasvupaikoilta, ei peltojen suuremmasta riskialtiudesta häiriöön voida kuitenkaan tehdä johdopäätöksiä. Peltokohteilla voi myös maaperän kosteus vaikuttaa puiden laatuun. Hynösen ja Saksan (1997a) mukaan huono kuivatus kivennäismaapelloilla on merkittävästi heikentänyt koivikoiden kasvua ja laatua Nuorissa peltotaimi-

koissa voi usein havaita hyönteisten ja myyrien voituksia, jotka johtavat taimien haaroittumiseen ja pensastumiseen, mutta joita myöhemmin on vaikea erottaa esim. ravinnesyiden aiheuttamista häiriöistä.

## Kirjallisuus

- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. *Folia Forestalia* 613. 28 s.
- Hoyle, M.C. 1965. Variation in foliage composition and diameter growth of yellow birch with season, soil and tree size. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 475–480.
- Hoyle, M.C. 1969. Variation in content of microelements in yellow birch foliage due to season and soil drainage. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 458–459.
- Hynönen, T. & Makkonen, T. 1999. Turvemaapeltojen maan ominaisuudet ja niiden vaikutus hieskoivujen alkukehitykseen Pohjois-Savossa. Summary: Soil properties of peat-based fields and their effect on the initial development of downy birch in Pohjois-Savo, southern Finland. *Suo* 50(1): 17–34.
- Hynönen, T. & Saksa, T. 1997a. Metsitystulos Pohjois-Savon kivennäismaapelloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1997: 165–180.
- Hynönen, T. & Saksa, T. 1997b. 1970- ja 1980-luvuilla tehtyjen pellonmetsitysten onnistuminen Pohjois-Karjalassa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/1997: 455–476.
- Hytönen, J. 1999. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/1999: 697–710.
- Kivinen, E. 1933. Koivun- ja lepänlehtien typpipitoisuuksista kasvukauden kuluessa. *Maataloustieteellinen Aikakauskirja* 1933: 108–115.
- Lea, R., Tierson, W., Bickelhaupt, D.H., Leaf, A L. 1979. Stand treatment and sampling time of hardwood foliage. I. Macro-element analysis. *Plant and Soil* 51: 515–533.
- Poteri, M. (toim.) 2002. Taimituho-opas. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 842. 136 s.
- Raitio, H. 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. *Folia Forestalia* 536. 15 s.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. 44 s.
- Saalas, U. 1949. Suomen metsähyönteiset sekä muut metsälle vahingolliset ja hyödylliset eläimet. WSOY. Porvoo, Helsinki. 719 s.
- Saksa, T., Hynönen, T. & Makkonen, T. 2003. Nuorten paakkuimilla viljeltyjen rauduskoivikoiden tila kivennäismaapelloilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2003: 3–13.
- Tamm, C. O. 1951. Seasonal variation in composition of birch leaves. *Physiologia Plantarum* 4: 461–669.











ISBN 951-40-1944-X  
ISSN 0358-4283