



Pekka Tamminen



Anna Saarsalmi

Pekka Tamminen ja Anna Saarsalmi

Viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa

Tamminen, P. & Saarsalmi, A. 2004. Viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2004: 271–283.

Pohjois-Savossa on kiinnitetty kasvavaa huomiota nuorissa, viljavien kangasmaiden kuusikoissa ilmeneviin kasvuhäiriöihin. Kasvuhäiriön on oletettu aiheutuvan boorin puutteesta. Kasvuhäiriön yleisyyttä ja erityisesti neulasten booripitoisuuksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä tutkittiin Etelä-Suomessa (Oulun läänin etelärajaan asti) valtakunnan metsien 9. inventoinnin koaloilla. Selvityksessä oli mukana 110 nuorta kuusikkoa (*Picea abies* (L.) Karst.), joista kerättiin neulas- ja maanäytteitä sekä määritettiin erilaisia puu- ja metsikkötunnuksia.

Boorin puutosrajan alapuolella olevia pitoisuuksia, alle 5 mg/kg, tavattiin kolmea poikkeusta lukuun ottamatta Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Etelä-Savon metsäkeskuksissa. Selvästi kasvuhäiriöisiä puita tavattiin samalla alueella.

Neulasten booripitoisuus näytti laskevan pohjoiseen ja itään sekä metsikön tiheyden ja puuston keskiläpimitan myötä. Toisaalta neulasten booripitoisuus oli sitä korkeampi, mitä kosteampi kasvupaikka oli. Maa-analysimuuttujista parhaiten neulasten booripitoisuutta selittivät kivennäismaan vesiliukoisen boorin pitoisuus ja määrä ja humuskerroksen kokonais- ja vesiliukoisen boorin määrä.

Asiasanat: kuusi, kasvuhäiriö, boori

Yhteystiedot: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa

Sähköposti pekka.tamminen@metla.fi; anna.saarsalmi@metla.fi

Hyväksytty: 14.9.2004

I Johdanto

Pohjois-Savossa on kiinnitetty kasvavaa huomiota viljavien kangasmaiden kuusikoissa ilmeneviin kasvuhäiriöihin (Hynönen 1998, Hynönen ym. 1999, Hynönen ja Makkonen 2002). Puun kärkisilmu tai koko latvakasvain kuolee useana vuonna peräkkäin, mikä johtaa pituuskasvun tyrehtymiseen ja puun pensastumiseen (Rikala ym. 2003). Puiden runkoihin syntyy oksatihentymiä, poikaoksia, mutkia ja haaroja, jotka alentavat rungon laatua ja rahallista arvoa. Kasvuhäiriön vuoksi metsiköistä kehittyvät epätasaisia ja aukkoisia, tuotos jää alhaiseksi ja puun laatu heikoksi (Hynönen ja Makkonen 2002).

Tyypillistä kasvuhäiriömetsiköille on, että terveennäköisten puiden lisäksi metsikössä on eriasenteisesti vaurioituneita puita. Joskus puut toipuvat normaaliin kasvuun häiriövuosien jälkeen. Yhteistä kasvuhäiriömetsiköille näyttäisi olevan, että metsiä on kaskettu ja laidunnettu ja että yleensä niillä kasvaa tai on kasvanut sekapuuna runsaasti leppää (Hynönen 1998, Hynönen ym. 1999). Myös samojen alueiden pellonmetsityksissä kasvuhäiriö on melko yleistä (Hynönen 2000). On arvioitu, että kasvuhäiriötä esiintyisi jopa kolmasosalla Pohjois-Savon viljavien kivennäismaiden kuusikoista (Hynönen ja Makkonen 2002).

Metsäpuiden kasvuhäiriöitä on tutkittu Suomessa erityisesti ojitetuilla turvemaidella (Kolari 1983, 1988). Metsäammattilaisille osoitetun kyselyn mukaan kasvuhäiriötä eli latvakatoa esiintyi eniten siellä, missä on runsaasti ojitettuja soita eli Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa, Keski-Suomessa, Pohjois-Savossa ja Lapissa (Veijalainen 1978, Veijalainen 1983). Kangasmailla latvakatoa esiintyi kyselyaineistossa 23 %:ssa vastauksia. Kuusella latvakatoa oli havaittu lähinnä Järvi-Suomessa, mutta tutkija arvioi monissa tapauksissa olevan ilmeisesti kyse kuusen tuomiruosteesta (Veijalainen 1978). Edellä mainitussa latvakatokyselyssä vaurioituneiksi ilmoitetuista, kivennäismaalla kasvaneista viidestä kuusikosta mitatut booripitoisuudet viittasivat myös muuhun syyhyn kuin boorin puutteeseen (Silfverberg 1980). Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimuksen kasvuhäiriöprojektin (1976–1987) tulosten perusteella kasvuhäiriön pääasialliseksi syyksi turvemaidella arvioitiin kuitenkin boorin puute, minkä katsottiin

johtuneen puiden kasvua voimistaneiden pääravinnelannoitusten aiheuttamasta ohentumisilmiöstä (Braecke 1983a, 1983b, Reinikainen ja Veijalainen 1983, Kolari 1988).

Pohjois-Savon kasvuhäiriökuusikoista tehdyt neulasanalyysit osoittavat lähes poikkeuksetta boorin puutosta, booripitoisuus alle 5 mg/kg (suullinen tieto, Metsäkeskus Pohjois-Savo). Ulkoasultaan samanlaisia häiriötiloja kuin kasvuhäiriökuusikoissa on saatu aikaan niin männyllä kuin kuusella toistuvalla typpilannoituksella, joka on aiheuttanut boorin puutteen (Aronsson 1983, Möller 1983, Mälkönen ym. 1990). Pieniä booripitoisuuksia on havaittu kuusella myös kalkituksen jälkeen (Aronsson 1983, Lipas 1990, Lehto ja Mälkönen 1994), ja erityisesti silloin kun kalkin lisäksi on annettu typpeä (Aronsson 1983, Lipas 1990). Tähänastisten havaintojen perusteella voidaan olettaa, että kuusten kasvuhäiriön viljavilla kivennäismailla aiheuttaa boorin puute. Tätä oletusta tukevat Pohjois-Savossa saadut rohkaisevat tulokset nuorten kasvuhäiriöisten kuusikoiden toipumisesta, kun alueelle on levitetty booria sisältäviä lannoitteita (Hynönen ja Makkonen 2002). Myös aiemmat männyllä tehdyt selvitykset viittaavat selvästi siihen, että kasvuhäiriön aiheuttaa boorin puute (Kolari 1988, Hytönen ja Ekola 1993).

Suomen kallioperässä on booria hyvin vähän ja suuri osa siitä on rapautumista hyvin kestävinä mineraaleina (Wikner 1983). Metsäekosysteemin kasvien käytettävissä oleva boorimäärä on todennäköisesti myös varsin pieni. Koska boorin tärkein varasto on merivesi, meren läheisyys on ratkaisevaa boorin riittävyydelle, ja rannikkoalueille tuleekin sadveden 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 Suomen kangasmetsien hivenravinnepuutoksista ei ole tehty, mutta yleisen käsityksen mukaan niitä on pidetty harvinaisina.

Koska kuusten kasvuhäiriön on osoitettu olevan yhteydessä neulasten matalaan booripitoisuuteen (Aronsson 1983, Lipas 1990, Stone 1990), arvioidaan tässä tutkimuksessa potentiaalisen kasvuhäiriöalueen sijainti ja laajuus määrittämällä kuusten neulasten booripitoisuus valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) koelaloilla Etelä-Suomessa. Tavoit-

teena on lisäksi selvittää, mitkä muut tekijät kuin sijainti selittävät neulasten booripitoisuutta.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koealojen otanta

Nuorten kuusikoiden booritulanteen kartoittamiseen valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) koealat sopivat hyvin, koska niistä tiedetään ao. metsikkökuvion kasvupaikka- ja puustotiedot ja niiltä on saatavissa kartat (Metsäntutkimuslaitos 1996). VMI 9:n Etelä-Suomen aineistosta (Oulun läänin etelärajaan asti) poimittiin 115 kuusivaltaista koealaa mahdollisimman tasaisesti. Otannassa käytettiin ositettua systemaattista otantaa, missä ositteina olivat metsäkeskukset ja painoina käytettiin koealojen (kuvioiden) lukumäärän neliöjuurta kussakin metsäkeskuksessa.

Koealakuvion piti täyttää seuraavat vaatimukset: osuus koealasta yli puolet, metsämaata, kasvupaikatyyppi lehto tai lehtomainen kangas, suosammiin osuus alle 25 %, orgaanisen kerroksen paksuus alle 15 cm, maalaji ei turvemaata, kalliota eikä kivikkoa, maaperän paksuus yli 10 cm, kehitysluokka varttunut taimikko tai nuori kasvatusmetsikkö ja pääpuulaji kuusi. Lisäksi aineistosta poistettiin kaikki saaret ja Ahvenanmaan maakunta. Koska nuorimpien neulasten booripitoisuuden on todettu tasaantuvan keskimäärin syyskuun lopulla (Aronson 1983, Helmisaari 1990, Raitio ja Merilä 1998), maastotyöt tehtiin syyskuun kahden viimeisen viikon aikana.

Kartoituksen aikana jouduttiin suunnitellusta otoksesta hylkäämään 5 koealaa, jotka eivät täyttäneet kriteereitä. Maastotyöt toteutettiin yhteensä 110 koealalla. Maastotyön jälkeen aineistosta poistettiin yksi soistunut koeala, jolla turpeen paksuus oli yli 15 cm, ja ravinneanalyysien jälkeen aineistosta poistettiin 8 koealaa, joilla neulasten B-pitoisuus oli yli 20 mg/kg, mikä viittasi selvästi boorilannoitukseen (vrt. Möller 1983, Wikner 1983). Lopulliseen aineistoon kuului 101 koealaa.

Suunnitellusta poiketen aineistoon tuli mukaan lehtojen ja lehtomaisten kankaiden ohella myös tuoreita kankaita (19 kpl), sillä osa VMI:n lehto-



Erkki Oksanen, Metta

Kuva 1. Eriasteisesti kasvuhäiriöisiä puita.

maisista kankaista arvioitiin maastotöiden yhteydessä tuoreiksi kankaiksi. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että osa pienistä näytealoista osui ison VMI-kuvion keskimääräisestä poikkeavalle metsätyyppikuviolle.

2.2 Näytteiden otto

Syksyllä v. 2000 kokeiltiin maastotyötä 10 koealalla Rannikon (Kusten; Uudenmaan rannikko) ja Häme-Uusimaan metsäkeskusten alueella. Nämä koealat sisällytettiin otokseen, koska ne eivät eronneet booripitoisuuksiltaan ympäristönsä koealoista. Muilta osin maastotyöt toteutettiin syksyllä v. 2001.

Koealat, joilta näytteet otettiin, sijoitettiin VMI-koealan kasvupaikka- ja puustokuvioille, enintään 20–30 m koealan keskipisteestä. Koealoittain valittiin kolme, vallitsevan jakson valtapuustoa edustavaa kuusta koepuiksi 10 m:n säteisen ympyrän sisältä ja vähintään 4 m:n päästä toisistaan. Koeuiden 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: 1) terveisiin, 2) lievästi kasvuhäiriöisiin ja 3) selvästi kasvuhäiriöisiin (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. Koepuiksi pyrittiin

ottamaan kaikkia VMI-koealakuviolla esiintyneitä kuntoluokkia. Jos maastoryhmä havaitsi kuviolla kasvuhäiriökuusia, näyteympyrä ($r = 7 \dots 10$ m) rajattiin siten, että ainakin yksi niistä jäi näytealalle, ja vähemmän häiriintyneet ja terveet kuuset valittiin myös tästä näyteympyrästä.

Neulasnäytteet otettiin koepuiden latvuksen ylimmästä kolmanneksesta, 2.–5. oksakiehkurasta etelän puolelta. Koealoittaiseen kokoomanäytteeseen otettiin kustakin puusta yhtä monta (1–3) oksaa. Koepuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta (mm) ja pituus (dm) ja mitattiin tai arvioitiin viimeisen latvakasvaimen pituus (dm). Puuston ikä määritettiin läpimitan suhteen keskimmäisestä puusta joko oksakiehkuroiden lukumäärän perusteella tai kairaamalla ikä kannosta.

Maanäytteet otettiin koealan keskeltä 9 (3×3) näytepisteestä. Pisteiden väli oli vähintään 4, mutta enintään 7 m. Näytepisteestä mitattiin kivirassin painuma (0–40 cm) ja orgaanisen kerroksen paksuus (mm) ja määritettiin humuslaji (puuttuu, kangashumus, mullas, multa, turve). Kivennäismaanäytteet (0–10 cm) otettiin ensisijaisesti samoista pisteistä kourukairalla ($d = 23$ mm) tai verkoston 4 kulmasta lapiolla. Maannoksen kuvaamiseksi yksi kuopista syvennettiin n. 30 cm:n syvyiseksi.

Koealalta arvioitiin kasvupaikkatyyppi ja suosamalien (rahkasammaleet, *Sphagnum* sp., ja korven karhunsammal, *Polytrichum commune*) peittävyys (0, alle 1, 1–9, 10–24, 25–50%) riippumatta VMI-ryhmän arvioista ja lisäksi kasvupaikan keskimääräinen kosteus (kuiva, tuore, kosteahko, kostea) (ks. Tamminen ja Mälkönen 1999), kulttuurivaikutus sekä kuusten ja muiden puulajien pohjapinta-alat. Kulttuurivaikutus koodattiin seuraavasti. 0 – Kuviota ei kaskettu, viljelty eikä laidunnettu, 1 – Lievästi kaskettu tai laidunnettu: ohuehko kangashumus- tai mullaskerros ja Ah- tai Eh-horisontti, 2 – Selvästi kaskettu: ohuehko kangashumus- tai mullaskerros ja selvä Ah-, Eh- tai jopa Ap-horisontti, mahdollisesti kivikasvoja ja kasvillisuudessa kulttuurivaikutusta (nokkonen, vuohenputki, koiranputki, tädykkeet, virnat yms.), 3 – Entinen pelto tai avoin laidun: ei juuri humuskerrosta, enintään multaa tai turvemultaa, selvä muokkauskerros (Ap) ja pelto- ja niittykasvillisuutta enemmän kuin metsäkasvillisuutta, ei varpuja. Eroaa luonnontilaisesta lehdosta erityisesti muokkauskerroksen perusteella.

2.3 Näytteiden analysointi

Maa- ja neulasnäytteet kuivattiin 40 °C:ssa. Orgaanisen kerroksen näytteet jauhettiin myllyssä, jossa oli 2 mm:n pohjaseula. Kivennäismaanäytteet seulottiin 2 mm:n seulalla sen jälkeen, kun kaikki kokkareet oli rikottu. Neulaset irrotettiin kasvaimista, laskettiin 100 neulasen massa, minkä jälkeen näytteet jauhettiin. Näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa Vantaalla.

Neulasista ja orgaanisen kerroksen näytteistä määritettiin alkuaineiden kokonaispitoisuudet polttamalla näyte Leco TGA uunissa 550 °C:ssa, liuottamalla tuhka suolahappoon (HCl) (Halonen ja Tulkki 1981), minkä jälkeen näyteliuoksen alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-laitteella (ARL 3580). Ilmakuivien neulas- ja maanäytteiden, myös kivennäismaanäytteiden, kosteuspitoisuus ja orgaanisen aineen osuus määritettiin TGA-uunilla.

Neulas- ja orgaanisen kerroksen näytteiden kokonaishiili- ja typpipitoisuudet määritettiin Leco CHN 1000 -laitteella. Kivennäismaiden kokonaistyyppi-pitoisuus määritettiin Muhoksen tutkimusasemalla Kjeldahl-tyyppisellä menetelmällä (Kubin 1978, Kubin ja Siira 1980). Orgaanisen kerroksen ja kivennäismaan näytteistä määritettiin vesiliukoinen boori kuumavesiuutolla, missä 5 ml humus- tai 10 ml kivennäismaanäytettä punnittiin teflon-PFA sisäastiaan. Näytteen kostuttamiseksi humusnäytteeseen lisättiin tislattua vettä 25 ml ja kivennäismaanäytteeseen 20 ml 5 ml:n erissä. Näytteitä kuumennettiin mikroaaltouunissa 800 W:n teholla 5 minuuttia, minkä jälkeen niitä pidettiin uunissa vielä 5 min. Näytteet vietiin jäähtymään pakastimeen 15–30 minuutiksi, minkä jälkeen ne suodatettiin 50 ml:n mittapulloon, joka täytettiin merkkiin. Booripitoisuus määritettiin ICP-laitteella (ARL 3580). Maanäytteiden pH määritettiin vesisuspensiosta siten, että 10 ml näytettä ja 25 ml tislattua vettä sekoitettiin astiassa niin, että näyte kostui täydellisesti, seisotettiin 2 tuntia, minkä jälkeen pH mitattiin kalibroidulla mittarilla.

Tilastanalyysissä käytettiin SPSS 11.0 ohjelmistoa. Korrelaatiokertoimet laskettiin Spearmannin järjestyskorrelaatioina, koska osa muuttujista oli järjestysasteikollisia ja osa intervalliasteikon muuttujista oli jakaumiltaan vinoja. Regressioanalyysessä varten tehtiin muuttujien jakaumien normalisoi-

Taulukko 1. Näytealojen suhteellinen osuus ja neulasten keskimääräinen booripitoisuus kasvupaikkaa kuvaavien muuttujien suhteen.

| Tunnus | Suhteellinen osuus, % | B, mg/kg |
|--------------------------------|-----------------------|----------|
| Kasvupaikkatyyppi | | |
| lehto | 5 | 11,2 |
| lehtomainen kangas | 76 | 8,6 |
| tuore kangas | 19 | 10,0 |
| Humuslaji | | |
| puuttuu | 1 | 10,2 |
| kangashumus | 59 | 8,4 |
| mullas | 30 | 9,6 |
| multa | 6 | 10,4 |
| turve | 4 | 10,8 |
| Suosammalien peittävyys | | |
| 0 % | 77 | 8,1 |
| <1 % | 9 | 11,0 |
| 1–9 % | 11 | 13,1 |
| 10–24 % | 3 | 10,8 |
| Kasvupaikan kosteus | | |
| kuiva | 5 | 5,6 |
| tuore | 82 | 8,6 |
| kosteahko | 10 | 11,7 |
| kostea | 3 | 15,8 |
| Kulttuurivaikutus | | |
| ei havaittavissa | 25 | 11,3 |
| lievästi kaskettu | 20 | 8,9 |
| selvästi kaskettu | 37 | 7,1 |
| entinen pelto | 18 | 9,7 |
| Maannos | | |
| Gleysol | 1 | 14,4 |
| Cambisol | 24 | 9,7 |
| Haplic Podzol | 51 | 8,2 |
| Cambic Podzol | 14 | 9,4 |
| Carbic Podzol | 10 | 9,0 |
| Keskiraekoko | | |
| savi | 14 | 10,6 |
| hiesu | 10 | 9,7 |
| hieno hieta | 18 | 8,3 |
| karkea hieta | 44 | 8,5 |
| hieno hiekka | 13 | 8,8 |
| karkea hiekka | 1 | 5,1 |

miseksi tarvittaessa logaritmimuunnos ja nominaali- ja järjestysasteikollisista muuttujista muodostettiin valemuuttujia (0/1).

Taulukko 2. Näytealojen ja koepuiden keskimääräisiä puusto- ja maaperätunnuksia.

| Muuttuja ¹⁾ | Keskiarvo | Minimi | Maksimi |
|--|-----------|--------|---------|
| Kuusten ppa, m ² /ha | 13,3 | 2,0 | 33,0 |
| Muiden puulajien ppa, m ² /ha | 4,7 | 0,0 | 25,0 |
| Kuusten ikä, v | 27 | 13 | 44 |
| Kuusten keskiläpimitta, mm | 138 | 59 | 214 |
| Kuusten keskipituus, dm | 106 | 50 | 164 |
| Kuusten pituuskasvu, dm/v | 5,1 | 2,3 | 8,3 |
| Humuskerros, mm | 29 | 5 | 78 |
| Vesipitoisuus _{hum} , % | 39 | 14 | 75 |
| Oa _{hum} , % | 62 | 12 | 90 |
| Kivisyys 0–30 cm, % | 27,1 | 0,5 | 74,7 |
| Vesipitoisuus _{kiv} , % | 21 | 12 | 49 |
| Sora, % | 9,9 | 0,0 | 31,1 |
| Oa _{kiv} , % | 9,8 | 2,2 | 37,0 |
| Maan tiheys (< 2 mm), kg/dm ³ | 0,77 | 0,46 | 1,15 |

¹⁾ ppa – pohjapinta-ala; hum – humuskerros; kiv – kivinäisyyttä 0–10 cm; Oa – orgaaninen aine.

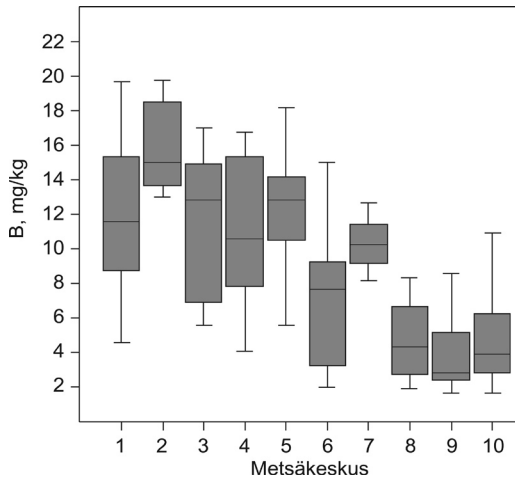
3 Tulokset

3.1 Koealat

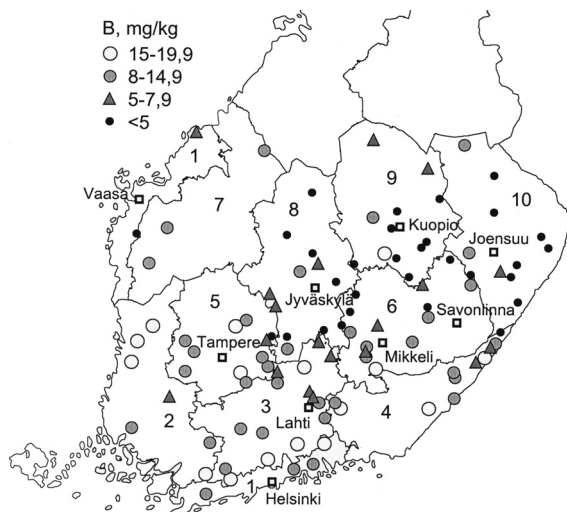
Valtaosa (76 %) koealoista oli lehtomaisilla kankaila (taulukko 1). Lehtojen osuus oli 5 %. Kasvupaikan kosteusluokituksen mukaan 82% koealoista oli tuoreita. Selvästi tai lievästi kaskettuja oli yli puolet koealoista. Humuslaji oli valtaosalla koealoista kangashumus tai mullas ja yleisimmin esiintyvä maannos oli rautahumuspodzoli eli FAO:n Haplic Podzol (FAO-Unesco 1988). Humuksen paksuus oli keskimäärin 29 mm (taulukko 2). Iältään metsiköt olivat 13–44 v. Muita koealojen keskimääräisiä kasvupaikka, puusto- ja maatumnuksia on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

3.2 Neulasten ravinnepitoisuudet

Neulasanalyysit osoittivat, että boorin puutosta – pitoisuus alle 5 mg/kg (Aronsson 1983, Jukka 1988, Lipas 1990, Hytönen ja Ekola 1993) – tavattiin kolmea poikkeusta lukuun ottamatta vain Keski-Suomen, Etelä-Savon, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskuksissa (kuvat 2 ja 3). Boorinpuutosalojen osuus oli yli 50 % Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Keski-Suomen metsäkeskusten



Kuva 2. Neulasten booripitoisuus metsäkeskuksittain.



Kuva 3. Viljavien kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa valtakunnan metsien 9. inventoinnin koelaloilla. Koelalat on luokiteltu booripitoisuuden perusteella neljään ryhmään. Metsäkeskusten numerot taulukossa 3.

alueilla ja Etelä-Savossakin kolmannes (taulukko 3). Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin 8 koelaa, joiden booripitoisuudet olivat yli 20 mg/kg. Näin korkeita kuusen neulasten booripitoisuuksia ei lannoittamattomissa kuusikoissa ole yleensä Suomessa havaittu (Raitio 1998, ks. myös Möller 1983). Maan booritunnukset olivat näillä koelaloilla keskimäärin korkeammat kuin muussa aineistossa, mutta eivät erotelleet yksittäisiä koelajoja muusta aineistosta

Taulukko 3. Boorinpuutoskoelajojen ($B < 5$ mg/kg) osuus metsäkeskuksittain.

| Metsäkeskus | n | Puutoskoelajojen osuus, % |
|--------------------|-----|---------------------------|
| 1 Rannikko | 7 | 14,3 |
| 2 Lounais-Suomi | 6 | 0,0 |
| 3 Häme-Uusimaa | 14 | 0,0 |
| 4 Kaakkois-Suomi | 11 | 9,1 |
| 5 Pirkanmaa | 11 | 9,1 |
| 6 Etelä-Savo | 15 | 33,3 |
| 7 Etelä-Pohjanmaa | 3 | 0,0 |
| 8 Keski-Suomi | 12 | 58,3 |
| 9 Pohjois-Savo | 12 | 66,7 |
| 10 Pohjois-Karjala | 10 | 70,0 |
| Yhteensä | 101 | 29,7 |

kuten neulasten booripitoisuudet. Muiden ravinteiden osalta ei havaittu selvää alueellista vaihtelua metsäkeskusten välillä (taulukko 4).

3.3 Maan ravinteet

Maan boorimuuttujista parhaiten neulasten booripitoisuuksia vastasi kivennäismaan vesiliukoinen boori, jonka maksimiarvot esiintyivät tutkimusalueen etelä- ja länsiosissa ja minimiarvot koillisosissa (taulukko 5). Humuskerroksen keskimääräiset booripitoisuudet eivät käyttäytyneet yhtä johdonmukaisesti.

Humuskerroksen kokonaisbooripitoisuuden ja vesiliukoisin boorin välinen Spearmannin järjestyskorrelaatio (r_s) oli 0,85 ja suhde vesiliukoinen/kokonaisboori oli keskimäärin 0,77 (0,4–1,8). Kivennäismaan (0–10 cm) vesiliukoisin boorin korrelaatio oli 0,45 humuskerroksen kokonaisboorin ja 0,38 vesiliukoisin boorin suhteen. Maan, humuskerros + kivennäismaakerros 0–10 cm, vesiliukoisin boorin määrästä humuskerroksen vesiliukoisin boorin osuus oli keskimäärin 41% (9–76%) ja kivennäismaan 59%. Humuskerroksen kokonaisboori korreloi positiivisesti kaikkien muiden humuskerroksen alkuaineiden paitsi lyijyn kanssa.

Boorin lisäksi humuksen kokonaisravinnepitoisuuksissa oli tilastollisesti merkitseviä eroja metsäkeskuksittain myös kalsium-, kalium- ja kuparipitoisuuksissa (taulukko 6). Mainittujen ravinteiden pitoisuudet olivat matalimmat Etelä-Savon metsäkeskuksen koelaloilla.

Taulukko 4. Neulasten ravinnepitoisuudet metsäkeskuksittain. Metsäkeskusten väliset erot testattiin varianssianalyysillä¹⁾. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan Bonferroni-testin perusteella ($p < 0,05$).

| Metsäkeskus | Ca | K | Mg g/kg | N | P | B | Cu | Fe mg/kg | Mn | Zn |
|--------------------|-------|-------|------------|-------|-------|----------|-------|-------------|--------|-------|
| 1 Rannikko | 4,60 | 8,86 | 0,90 | 14,8 | 1,81 | 12,1 bc | 3,30 | 49,7 | 577 ab | 33,3 |
| 2 Lounais-Suomi | 4,43 | 7,54 | 1,21 | 16,4 | 1,90 | 15,1 c | 3,23 | 46,5 | 665 ab | 37,0 |
| 3 Häme-Uusimaa | 4,55 | 8,55 | 1,04 | 14,5 | 1,63 | 11,4 bc | 3,30 | 36,9 | 846 b | 35,5 |
| 4 Kaakkois-Suomi | 5,02 | 7,59 | 1,18 | 14,5 | 1,47 | 11,4 bc | 2,83 | 36,7 | 772 ab | 36,4 |
| 5 Pirkanmaa | 4,48 | 7,94 | 0,99 | 15,6 | 1,76 | 12,2 bc | 3,20 | 34,0 | 785 ab | 34,8 |
| 6 Etelä-Savo | 4,20 | 7,67 | 1,05 | 14,9 | 1,46 | 7,3 ab | 2,97 | 33,9 | 519 a | 27,4 |
| 7 Etelä-Pohjanmaa | 5,35 | 7,29 | 1,14 | 14,9 | 1,95 | 10,4 abc | 3,15 | 33,4 | 860 ab | 39,1 |
| 8 Keski-Suomi | 5,26 | 7,12 | 1,13 | 15,0 | 1,83 | 5,2 a | 3,17 | 36,5 | 901 ab | 35,1 |
| 9 Pohjois-Savo | 4,86 | 7,52 | 1,10 | 15,7 | 1,90 | 4,6 a | 3,23 | 31,5 | 642 ab | 32,9 |
| 10 Pohjois-Karjala | 4,31 | 8,01 | 1,04 | 17,4 | 2,17 | 4,9 a | 3,44 | 37,6 | 766 ab | 37,0 |
| Keskimäärin | 4,66 | 7,82 | 1,07 | 15,3 | 1,75 | 9,0 | 3,17 | 36,9 | 728 | 34,2 |
| F ¹⁾ | 0,79 | 1,37 | 2,18 | 1,75 | 1,94 | 7,91 | 1,69 | 1,48 | 2,97 | 1,23 |
| p | 0,628 | 0,211 | 0,031 | 0,089 | 0,055 | 0,000 | 0,104 | 0,166 | 0,004 | 0,004 |

Taulukko 5. Humuskerroksen kokonais- ja vesiliukoinen sekä kivennäismaan vesiliukoinen booripitoisuus (mg/kg) metsäkeskuksittain. Metsäkeskusten väliset erot testattiin varianssianalyysillä¹⁾. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan Bonferroni-testin perusteella ($p < 0,05$).

| Metsäkeskus | n | Humuskerros | | Kivennäismaa |
|--------------------|-----|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | B _{tot} ²⁾ | B _{vesi} ²⁾ | B _{vesi} ²⁾ |
| 1 Rannikko | 7 | 4,01 d | 2,83 c | 0,24 bc |
| 2 Lounais-Suomi | 7 | 3,28 cd | 2,26 bc | 0,45 c |
| 3 Häme-Uusimaa | 14 | 2,64 bc | 1,87 bc | 0,19 bc |
| 4 Kaakkois-Suomi | 10 | 2,12 abc | 1,63 ab | 0,17 abc |
| 5 Pirkanmaa | 11 | 2,21 abc | 1,70 ab | 0,19 bc |
| 6 Etelä-Savo | 15 | 1,26 a | 1,02 a | 0,12 ab |
| 7 Etelä-Pohjanmaa | 3 | 2,20 abcd | 1,25 abc | 0,32 abc |
| 8 Keski-Suomi | 12 | 1,49 ab | 1,28 ab | 0,12 ab |
| 9 Pohjois-Savo | 12 | 1,74 ab | 1,64 ab | 0,08 a |
| 10 Pohjois-Karjala | 10 | 2,09 abc | 1,61 ab | 0,08 a |
| Kaikki | 101 | 2,15 | 1,66 | 0,16 |
| F ¹⁾ | | 7,94 | 5,26 | 6,25 |
| p | | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

²⁾ tot – kuivatotaalipitoisuus, vesi – kuumavesiuuttopitoisuus.

Taulukko 6. Humuskerroksen kokonaisravinnepitoisuudet ja vesi-pH metsäkeskuksittain. Metsäkeskusten väliset erot testattiin varianssianalyysillä¹⁾. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan Bonferroni-testin perusteella ($p < 0,05$).

| Metsäkeskus | Ca | K | Mg g/kg | N | P | Mn | Cu mg/kg | pH |
|--------------------|---------|---------|------------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| 1 Rannikko | 7,13 b | 1,36 ab | 1,67 | 18,9 | 1,20 | 0,77 | 10,0 ab | 4,5 |
| 2 Lounais-Suomi | 4,49 ab | 1,52 b | 2,27 | 16,2 | 1,18 | 0,79 | 16,5 b | 4,4 |
| 3 Häme-Uusimaa | 4,90 ab | 1,20 ab | 1,70 | 16,5 | 0,94 | 0,93 | 9,2 a | 4,6 |
| 4 Kaakkois-Suomi | 4,27 ab | 1,00 ab | 1,16 | 17,6 | 1,02 | 0,58 | 9,1 a | 4,3 |
| 5 Pirkanmaa | 4,58 ab | 1,00 ab | 1,64 | 14,9 | 1,07 | 1,05 | 11,6 ab | 4,5 |
| 6 Etelä-Savo | 3,25 a | 0,76 a | 0,88 | 15,1 | 0,87 | 0,46 | 8,6 a | 4,4 |
| 7 Etelä-Pohjanmaa | 3,17 ab | 1,01 ab | 0,80 | 15,1 | 1,05 | 0,87 | 8,6 ab | 4,1 |
| 8 Keski-Suomi | 3,86 ab | 1,09 ab | 1,47 | 13,7 | 1,04 | 0,80 | 7,9 a | 4,5 |
| 9 Pohjois-Savo | 5,43 ab | 1,07 ab | 1,40 | 17,5 | 1,14 | 0,77 | 10,2 ab | 4,6 |
| 10 Pohjois-Karjala | 5,50 ab | 0,95 ab | 1,25 | 19,1 | 1,06 | 0,80 | 12,9 ab | 4,6 |
| Keskimäärin | 4,63 | 1,07 | 1,42 | 16,4 | 1,04 | 0,77 | 10,9 | 4,5 |
| F ¹⁾ | 2,31 | 2,07 | 1,90 | 1,58 | 1,61 | 1,62 | 3,09 | 0,72 |
| p | 0,022 | 0,040 | 0,062 | 0,133 | 0,124 | 0,120 | 0,003 | 0,692 |

3.4 Neulasten booripitoisuuden riippuvuus eri tekijöistä

Neulasten booripitoisuus laski karkeasti lounaasta koilliseen (kuva 3). Neulasten booripitoisuuden ja kaikkien käytettävissä olleiden maaperä-, kasvupaikka- ja puustomuuttujien suhteen laskettiin järjestyskorrelaatiot (taulukko 7). Neulasten booripitoisuus korreloi negatiivisesti metsikön pohjois- ja itäkoordinaatin, kuusten pohjapinta-alan, keskilämpimän ja kuntomuuttujien, kaskeamisen (kulttuurivaikutus), kivennäismaan tiheyden ja orgaanisen kerroksen kokonaisfosforin kanssa (taulukko 7). Toisaalta booripitoisuus korreloi positiivisesti kasvupaikan ja maanäytteiden kosteutta kuvaavien muuttujien, maan boorimuuttujien, kivennäismaan humus- ja typpipitoisuuden ja orgaanisen kerroksen kokonais-sinkkipitoisuuden kanssa (taulukko 7).

Neulasten booripitoisuus korreloi parhaiten kivennäismaan vesiliukoisen boorin pitoisuuden kanssa ($r_S = 0,71$), mutta melko löyhästi humuskerroksen kokonais- ($r_S = 0,32$) ja vesiliukoisen boorin pitoisuuksien kanssa ($r_S = 0,17$, $p = 0,088$). Neulasten booripitoisuus korreloi vain lievästi humuskerroksen typpipitoisuuden ja C/N-suhteen kanssa ($r_S = -0,18$ ja $0,18$, $p < 0,10$). Kivennäismaan typpipitoisuuden ja neulasten booripitoisuuden välinen korrelaatio, $r_S = 0,23$, ($p = 0,024$) oli yllättäen positiivinen.

Neulasten booripitoisuusluokittain lasketut maan boorimuuttujien jakaumat menivät päällekkäin (taulukko 8), mutta vahvistivat korrelaatioiden antaman käsityksen maan boorimuuttujien yhteydestä neulasten booripitoisuuksiin. Selvimät erot luokkien välillä oli kivennäismaan vesiliukoisella booripitoisuudella, kun taas humuskerroksen vesiliukoisen boorin pitoisuudet eivät eronneet lainkaan neulasten booriluokkien kesken (taulukko 8). Maassa, humuskerroksessa ja 0–10 cm:n kivennäismaakerroksessa, oli vesiliukoista booria vähän, keskimäärin vain 100–200 g/ha.

Neulasten booripitoisuus korreloi positiivisesti neulasten rauta- ($r = 0,32$) ja kaliumpitoisuuden kanssa ($r = 0,30$) ja negatiivisesti neulasten magnesiumpitoisuuden kanssa ($r = -0,33$).

Neulasten booripitoisuuden ja puiden kunnon välillä oli negatiivinen korrelaatio (taulukko 7). Mitä alempi neulasten booripitoisuus oli, sitä todennäköisemmin puut olivat kasvuhäiriöisiä. Neulasten N/B-

Taulukko 7. Neulasten booripitoisuuden Spearmanin järjestyskorrelaatiot (r_S) kasvupaikka-, puusto- ja maaperämuuttujien kanssa. Mukana ovat vain korrelaatiot, joilla $p < 0,05$.

| Muuttuja ¹⁾ | Korrelaatiokerroin |
|--|--------------------|
| P-koordinaatti, km | -0,67 |
| I-koordinaatti, km | -0,46 |
| Suosammalien peittävyys (0–3) | 0,30 |
| Kosteus (2–5) | 0,25 |
| Kaskettu (koodit 0, 1, 2) | -0,31 |
| Kuusten ppa, m ² /ha | -0,45 |
| D, mm | -0,37 |
| kunto _{max} | -0,49 |
| kunto _{med} | -0,41 |
| Vesipitoisuus _{hum} , % | 0,49 |
| B _{thum} , mg/kg | 0,32 |
| kg/ha | 0,48 |
| B _{vhum} , kg/ha | 0,47 |
| P _{thum} , mg/kg | -0,24 |
| Zn _{thum} , mg/kg | 0,28 |
| Vesipitoisuus _{kiv} , % | 0,45 |
| Tiheys _{kiv} , kg/dm ³ | -0,33 |
| Oa _{kiv} , % | 0,34 |
| B _{vkiv} , mg/kg | 0,71 |
| kg/ha | 0,57 |
| N _{kiv} , g/kg | 0,23 |

¹⁾ ppa – pohjapinta-ala; kunto_{max} – koealan huonokuntoisimman puun kuntoluokka (1–3); kunto_{med} – koealan koeuiden (3) kuntoluokan mediaani (1–3); t – kuivatotaalimääritys; v – kuumavesiuutto; hum – humuskerros; kiv – kivennäismaakerros 0–10 cm; Oa – orgaaninen aine.

suhde ei korreloinut paremmin kunto_{max}-muuttujan kanssa ($r_S = 0,51$) kuin pelkkä booripitoisuus ($r_S = -0,49$). Neulasten booripitoisuudet olivat keskimäärin sitä korkeampia, mitä terveempiä koealan puut olivat (taulukko 9). Kun koealat luokiteltiin muuttujan kunto_{max} mukaan, luokkien booripitoisuudet olivat kaikki keskenään erisuuria. Kuntoluokkien välillä ei ollut eroja muiden ravinteiden suhteen.

Selvästi kasvuhäiriöisiä puita tavattiin eniten Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskuksissa (kuva 4). 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.

Taulukko 8. Maan boorimuuttujien jakaumatunnukset ja varianssianalyysi neulasten booripitoisuusluokittain. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan Bonferroni-testin perusteella ($p < 0,05$).

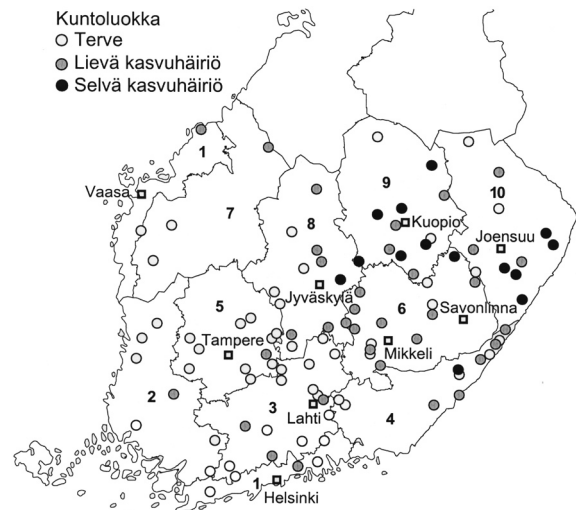
| Muuttuja ¹⁾ | Neulasten B | n | Min | Mediaani | Max | \bar{X} | F | p |
|---|-------------|----|------|----------|------|-----------|-------|-------|
| B _{t_{hum}} mg/kg | 0–4,9 | 30 | 0,98 | 1,67 | 4,52 | 1,87 a | 4,35 | 0,016 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 0,52 | 1,82 | 5,27 | 1,96 ab | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 0,49 | 2,19 | 4,85 | 2,56 b | | |
| B _{v_{hum}} mg/kg | 0–4,9 | 30 | 0,90 | 1,34 | 2,97 | 1,49 a | 2,23 | 0,113 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 0,69 | 1,33 | 4,53 | 1,56 a | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 0,59 | 1,80 | 3,82 | 1,85 a | | |
| B _{v_{kiv}} ²⁾ mg/kg | 0–4,9 | 30 | 0,05 | 0,08 | 0,17 | 0,09 a | 39,03 | 0,000 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 0,03 | 0,12 | 0,28 | 0,12 a | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 0,07 | 0,20 | 1,12 | 0,26 b | | |
| B _{t_{hum}} g/ha | 0–4,9 | 30 | 25 | 56 | 114 | 62 a | 10,01 | 0,000 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 36 | 76 | 222 | 81 ab | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 13 | 97 | 176 | 101 b | | |
| B _{v_{hum}} g/ha | 0–4,9 | 30 | 16 | 46 | 80 | 48 a | 8,10 | 0,001 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 11 | 59 | 179 | 65 b | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 23 | 71 | 161 | 72 b | | |
| B _{v_{kiv}} ²⁾ g/ha | 0–4,9 | 30 | 22 | 63 | 136 | 67 a | 22,98 | 0,000 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 19 | 58 | 190 | 74 a | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 29 | 140 | 783 | 165 b | | |
| B _{v_{yht}} ²⁾ g/ha | 0–4,9 | 30 | 78 | 112 | 214 | 116 a | 27,41 | 0,000 |
| | 5,0–9,9 | 30 | 31 | 129 | 303 | 139 a | | |
| | 10,0–19,9 | 39 | 159 | 215 | 869 | 237 b | | |

¹⁾ t – kuivatotaaliansalyysi; v – kuumavesiuutto; hum – humuskerros; kiv – kivennäismaa 0–10 cm

²⁾ Varianssianalyysissä ln-muunnetyt arvot

Taulukko 9. Neulasten booripitoisuus kuntoluokittain. Kuntoluokitus tehtiin näytealan huonokuntoisimman koepuun (Kunto_{max}) ja koepuiden mediaanikuntoluokan (Kunto_{med}) perusteella. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan Bonferroni-testin perusteella ($p < 0,05$). Kuntoluokat: 1 = terve, 2 = lievästi kasvuhäiriöinen, 3 = selvästi kasvuhäiriöinen puu.

| | n | Keskiarvo | Mediaani | Minimi | Maksimi |
|----------------------------|-----|-----------|----------|--------|---------|
| Kunto_{max} | | | | | |
| 1 | 52 | 10,9 a | 11,2 | 2,3 | 19,8 |
| 2 | 35 | 7,8 b | 7,2 | 2,2 | 16,8 |
| 3 | 14 | 4,2 c | 2,8 | 1,7 | 14,9 |
| Kaikki | 101 | 8,9 | 8,1 | 1,7 | 19,8 |
| Kunto_{med} | | | | | |
| 1 | 80 | 9,9 a | 9,9 | 2,1 | 19,8 |
| 2 | 17 | 5,9 b | 3,5 | 1,9 | 14,9 |
| 3 | 4 | 2,1 b | 2,0 | 1,7 | 2,9 |
| Kaikki | 101 | 8,9 | 8,1 | 1,7 | 19,8 |



Kuva 4. Kasvuhäiriöiden esiintyminen Etelä-Suomen viljavissa kuusikoissa valtakunnan metsien inventoinnin koekaloilla. Puiden kuntoluokitus tehtiin koekalan koepuiden (3 kpl) huonokuntoisimman (Kunto_{max}) puun perusteella. Metsäkeskusten numerot taulukossa 3.

Kulttuurivaikutus-muuttujalla pyrittiin mittaamaan kaskeamisen ja varsinaisen peltoviljelyn intensiteettiä. Booripitoisuuden ja kaskeamisasteen (0, 1, 2) välillä vallitsi kohtuullisen tiivis korrelaatio, $r_s = -0,31$ (taulukko 7). Selvästi kasketuilla koealoilla neulasten booripitoisuus oli merkitsevästi matalampi kuin kaskeamattomilla koealoilla (taulukko 1).

3.5 Neulasten booripitoisuus kasvupaikka-, puusto- ja maa-analysimuuttujien funktiona

Jotta voitaisiin arvioida, miten eri muuttujat selittävät neulasten booripitoisuutta ja jotta voitaisiin ennustaa neulasten booripitoisuus tutkimusalueen eri osissa ja erilaisissa oloissa, laskettiin regressioyhtälöitä (taulukko 10). Kun neulasten booripitoisuudelle laskettiin regressiomallit kasvupaikka- ja puustomuuttujien avulla, havaittiin, että yhdellä koealalla ennustettu booripitoisuus, 5,2 mg/kg, poikkesi selvästi havaitusta pitoisuudesta, 15,2 mg/kg ja samalla ko. havainnon standardoitu jäännöspoitteama oli yli 3, mitä voidaan pitää tyypillisenä ns. ulkopuoliselle havainnolle eli outlierille. Tämä havainto jätettiin pois regressioanalyysistä ja myös edellä esitellystä korrelaatiotarkastelusta.

Maastomuuttujiin perustuvaan regressioyhtälöön (1) valikoitui sijaintia kuvaavista muuttujista valemuuttuja metsäkeskus 1–5 tai 7 (ks. taulukko 3) ja pohjoiskoordinaatti (taulukko 10). Metsäkeskusvalemuuttuja kuvasi selvästi keskimääräistä korkeampaa, yli 10 mg/kg, booripitoisuuden tasoa ja pohjoiskoordinaatti booripitoisuuden trendinomaista vähenemistä pohjoiseen. Näiden sijaintimuuttujien lisäksi malliin valikoitui kuusten pohjapinta-ala ja suosammalien esiintyminen (0/1) koealalla. Booripitoisuus näytti vähenevän kuusten pohjapinta-alan, mutta kasvavan soistumisen myötä (ks. myös taulukko 7).

Kun booripitoisuutta selitettiin maastomuuttujien lisäksi myös maa-analysimuuttujilla, malliin valikoitui ensimmäisenä kivennäismaan vesiliukoisien boorin pitoisuus, sitten valemuuttuja metsäkeskus 1–5 tai 7 (yhtälö 2, taulukko 10). Neulasten booripitoisuus näytti korreloivan tämän jälkeen negatiivisesti kuusten pohjapinta-alan ja pohjoiskoordinaatin kanssa, kuten mallissa (1) ja lisäksi vielä humus-

Taulukko 10. Neulasten booripitoisuus maastossa mitattujen (1) ja maastossa ja laboratoriossa mitattujen muuttujien funktiona (2) askeltavan regressioanalyysin mukaan.

| Muuttuja ¹⁾ | Regressiokerroin | t | p |
|--|------------------|-------|-------|
| (1) $Y = B$; $R^2 = 0,600$; $s_f = 3,24$ | | | |
| Vakio | 157,2 | 5,35 | 0,000 |
| Mk 1–5, 7 | 2,85 | 3,33 | 0,001 |
| Kuusten ppa, m ² /ha | -0,212 | -4,71 | 0,000 |
| P-koordinaatti, km | -0,0215 | 5,07 | 0,000 |
| Suosammaleet (0/1) | 1,71 | 2,10 | 0,038 |
| (2) $Y = B$; $R^2 = 0,689$; $s_f = 2,86$ | | | |
| Vakio | 121,4 | 4,17 | 0,000 |
| ln(BV _{kiv}) | 3,44 | 5,20 | 0,000 |
| Mk 1–5, 7 | 2,17 | 2,83 | 0,006 |
| Kuusten ppa, m ² /ha | -0,206 | -5,09 | 0,000 |
| ln(Mgt) | -2,40 | -4,34 | 0,000 |
| P-koordinaatti, km | -0,0127 | -2,98 | 0,004 |

1) Mk – metsäkeskusvalemuuttuja (ks. taulukko 3); ppa – pohjapinta-ala; Suosammaleet – Suosammaleiden peittävyys (0 = 0, 1 = 1–24 %); ln – luonnollinen logaritmi; BV_{kiv} – kivennäismaan (0–10 cm) vesiliukoisien boorin pitoisuus (mg/kg); Mgt – humuskerroksen kokonaismagnesiumipitoisuus (mg/kg); R² – selityssaste; s_f – yhtälön keskivirhe.

kerroksen kokonaismagnesiumin kanssa. Malli (2) oli luonnollisesti parempi kuin maastomuuttujamalli (1), mutta ero oli melko pieni. Neulasten booripitoisuuden vaihtelusta mallit (1) ja (2) selittivät 60 ja 69 %.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen lähtökohtana olivat havainnot neulasten booripitoisuuden ja kasvuhäiriön yhteydestä. Metsikön kasvuhäiriöfrekvenssi booripitoisuuden funktiona alkaa kohota voimakkaasti, kun keskimääräinen booripitoisuus laskee alle 5 mg/kg:n (Aronson 1983, Lipas 1990, Hytönen ja Ekola 1993). Tulokset vahvistivat nämä havainnot. Siellä, missä booripitoisuus oli matala, kasvuhäiriö oli yleisin (kuvat 3 ja 4). Muiden neulasten ravinteiden pitoisuuksien ja kasvuhäiriön yleisyyden välillä ei havaittu riippuvuutta.

Tässä aineistossa neulasten keskimääräiset typpi-pitoisuudet (taulukko 4) olivat kaikissa metsäkeskuksissa sopivia tai lähes sopivia, kun niitä verrataan tuoreiden ja lehtomaisten kankaiden kuusikoille

esitettyihin ohjearvoihin (Jukka 1988). Neulasten fosforipitoisuudet olivat sopivia lukuun ottamatta Kymen ja Etelä-Savon metsäkeskuksia, joissa ne olivat keskimäärin välttäviä. Ohjearvoihin verrattuna neulasten kaliumpitoisuudet olivat sopivia ja kalsium- sekä magnesiumpitoisuudet joko välttäviä tai sopivia (Jukka 1988).

Kuusten kasvuhäiriössä näyttää olevan kyse boorin absoluuttisesta puutteesta eikä esimerkiksi typeen suhteutetusta boorin puutteesta, koska neulasten N/B-suhde ei korreloinut paremmin kasvuhäiriöisyyden kanssa kuin pelkkä booripitoisuus. Toisaalta on ilmeistä, että runsas typen tarjonta alentaa neulasten booripitoisuutta (Aronsson 1983, Möller 1983). Kuitenkaan tässä aineistossa esimerkiksi hyvinä tyyppi-indikaattoreina tunnetut neulasten typpipitoisuus ja humuskerroksen C/N-suhde eivät korreloineet neulasten booripitoisuuden kanssa. Aineiston keskittyminen viljaville ja samalla typpitaloudeltaan keskimääräistä paremmille kasvupaikoille saattoi osaltaan olla syynä tähän.

Sekä kivennäismaan booripitoisuus että -määrä korreloivat yllättävän hyvin neulasten booripitoisuuden kanssa ja selvästi paremmin kuin humuskerroksen boorimuuttujat (taulukko 7), vaikka humuskerroksen ravinnemuuttujien on havaittu selittävän selvästi paremmin esim. kasvupaikan puuntuotoskykyä kuin vastaavien kivennäismaan muuttujien (Lipas 1985, Tamminen 1993). On vaikea selittää, miksi humuskerroksen boori, joka on pääosin peräisin laskeumasta ja puuston ja pintakasvillisuuden karikkeesta, korreloi huonommin neulasten boorin kanssa kuin kivennäismaan boori. Maan (orgaaninen kerros + kivennäismaakerros 0–10 cm) vesiliukoisesta boorista oli humuskerroksessa keskimäärin 41 %.

Koealan sijaintia kuvaavat muuttujat korreloivat hyvin neulasten booripitoisuuden kanssa. Booria oli vähiten tutkimusalueen koillisosassa ja eniten etelässä ja lännessä, lähellä rannikkoa, aivan kuten Ruotsissa (Möller 1983, Wikner 1983). Aineisto tukee oletusta, että boorin tärkein luontainen lähde on Suomessa merivesi. Osa boorista on peräisin mineralisoituvasta orgaanisesta aineesta, rapautuvista kivennäismaahiukkasista, fossiilisten polttoaineiden poltosta, teollisuudesta ja kiviainespölystä (ks. Neal 1997). Tutkimusalueella boorin laskeuma lienee pienin juuri booripuutteesta kärsivällä alueella

(Wikner 1983). Humuskerroksen ja kivennäismaan boorimäärät näyttävät olevan pieniä likimain samalla alueella kuin neulasten booripitoisuudetkin (taulukot 4 ja 5). Vuosina 1976–1980 tehtyjen peltojen viljavuustutkimusten mukaan booria on ollut vähiten Pohjois-Savossa, Itä-Hämeessä, Keski-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa ja eniten lounaisrannikolla (Kurki 1982).

Neulasten booripitoisuuden kanssa korreloivat myös eräät puustotunnukset, mm. kuusten pohjapinta-ala ja keskiläpimitta. Mitä järeämpiä ja tiheämpiä kuusikot olivat, sitä matalampia olivat booripitoisuudet keskimäärin (taulukot 7 ja 10). Tuntuu loogiselta, että booripitoisuuksien lasku on yhteydessä runkopuun, oksien ja puumaisten juurten kasvuun, koska boorin pitoisuudet ovat neulasissa ja puuaineksessa lähes samaa tasoa (Reinikainen ja Silfverberg 1983), toisin kuin pääravinteilla. Puuainekseen sitoutuneen boorin määrä voi olla nuorena kuusikossa 50...200 g/ha eli samaa luokkaa kuin pintamaan vesiliukoisen boorin määrä (Mälkönen 1975, Reinikainen ja Silfverberg 1983).

Neulasten booripitoisuus näytti korreloivan sijainti-, puusto- ja maan boorimuuttujien lisäksi myös soistuneisuuden eli märkyyden kanssa. Kuivuuden on uskottu alentavan puiden boorinsaantia, koska puut eivät pysty ottamaan booria 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 suosammalten peittävyys ja kasvupaikan ja maanäytteiden kosteutta kuvaavat muuttujat korreloivat positiivisesti neulasten booripitoisuuden kanssa (taulukko 7). Toisin sanoen kosteilla kasvupaikoilla ei esiintynyt boorinpuutetta.

Aineiston perusteella potentiaalinen kasvuhäiriöalue keskittyy Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Etelä-Savon metsäkeskusten alueille. Syynä tähän saattaa olla mm. alueen todennäköisesti pieni boorilaskeuma (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, Hynönen 1998) ja lehtipuuvaltaisuudesta (Ilvessalo 1930) ennen kuusten istutusta.

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. 1983a. Occurrence of growth disturbance problems in Norwegian and Swedish forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 20–24
- 1983b. Micronutrients – prophylactic use and cure of forest growth disturbances. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 159–169.
- 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.
- FAO-Unesco 1988. Soil map of the world. Revised legend. *World Soil Resources Report* 60. 119 s.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työhjeet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 36. 23 s.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 4(2). 264 s.
- Helmisaari, H.S. 1990. Temporal variation in nutrient concentration of *Pinus sylvestris* needles. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5(2): 177–193.
- Hynönen, T. 1998. Viljavien maiden puissa kasvuhäiriöitä. *Leipä Leveämmäksi* 1998(1): 36–37.
- 2000. Pellonmetsitysten onnistuminen Itä-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 765. 174 s.
- & Makkonen, T. 2002. Kuusikoiden kasvuhäiriöistä suuret tappiot. *Leipä Leveämmäksi* 2002(1): 12–14.
- , Korhonen, K.T. & Tammilehto, E. 1999. Kuusen kasvuhäiriöt Pohjois-Savon kangasmetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 1999(3): 577–581.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland. *Folia Forestalia* 822. 32 s.
- Ilvessalo, Y. 1930. Suomen metsät viljavuusalueittain kuvattuina. Tuloksia vuosina 1921–1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. Summary: The forests of Suomi (Finland) described by areas of fertility. Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921–1924. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 15. 90 s.
- Jukka, L. 1988. *Metsänterveysopas*. Samerka Oy. 168 s.
- Kolari, K.K. (toim.). 1983. Growth disturbances of forest trees. *Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116. 208 s.
- 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Kasvuhäiriöprojektin loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 310. 35 s.
- Kubin, E. 1978. Kasvimateriaalin typpipitoisuuden määrittämisestä. *Oulun yliopiston kasvitieteen laitos*. 25 s.
- & Siira, J. 1980. On the suitability of the phenyl hypochlorite procedure for the determination of total nitrogen from plant and soil samples. *Aquilo Ser. Botanica* 17: 11–17.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 1955–1980 tehtyjen viljavuustutkimusten tuloksia. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955–1980. *Viljavuuspalvelu Oy*. 181 s.
- Lehto, T. & Mälkönen, E. 1994. Effects of liming and boron uptake of *Picea abies*. *Plant and Soil* 163(1): 55–64.
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lanonitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618. 16 s.
- 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Abstract: Lime-induced boron deficiency in Norway spruce on mineral soils. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352. 22 s.
- Metsäntutkimuslaitos 1996. Valtakunnan metsien 9. inventointi (VMI9). Maastotyöhjeet 1996. Pohjois-Savo, Keski-Suomi, Etelä-Pohjanmaa, Rannikko (länsiosa). *Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, VMI*. 152 s.
- Mälkönen, E. 1975. Hakuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutuksia. *Teho* 1975(10): 12–13.
- , 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 tree growing on mineral soil in Sweden and response to nitrogen fertilization. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 111–115.

- Neal, C. 1997. Boron water quality for the Plynlimon catchments. *Hydrology and Earth System Sciences* 1(3): 619–626.
- Raitio, H. 1998. Puiden ravinnetila. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691: 86–89.
- & Merilä, P. 1998. Seasonal variation in the size and chemical composition of Scots pine and Norway spruce needles in different weather conditions. *Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema*. 44 s.
- Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hottanen, J.-P. (toim.). 2000. *Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa*. Kustannusosakeyhtiö Tammi. 384 s.
- & Silfverberg, K. 1983. Significance of whole-tree nutrient analysis in the diagnosis of growth disorders. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 48–58.
- & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 44–48.
- Rikala, R., Sutinen, S. & Vuorinen, M. 2003. Kuusikoiden kasvuhäiriötä tutkitaan Itä-Suomessa. *Leipä Leveämmäksi* 2003(1): 13–15.
- Salminen, S. 1981. Vuosien 1971–75 valtakunnallisia metsävaratietoja karttamuodossa. Summary: A cartographic presentation of forest resources in Finland 1971–75. *Folia Forestalia* 483. 42 s.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce. *Folia Forestalia* 432. 13 s.
- Stone, E.L. 1990. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. *Forest Ecology and Management* 37(1–3): 49–75.
- Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819. 26 s.
- & Mälkönen, E. 1999. Näytteenotto metsämaan ominaisuuksien määrittämistä varten. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 729. 54 s.
- Veijalainen, H. 1978. Metsäpuiden latvakadon esiintymisestä Suomessa. Summary: Occurrence of die-back of forest trees in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 1978(1). 22 s.
- 1983. Geographical distribution of growth disturbances in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 13–16.
- Wikner, B. 1983. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 131–141.

42 viitettä