

## Männyn ravinnetilan muutokset syys- ja talvikauden välillä ojitetuilla turvemaillo — neulasanalyttinen tarkastelu

Estimating nutrient status of Scots pine on drained peatlands with needle analysis — differences in foliar nutrient concentrations between autumn and winter seasons

Mikko Moilanen & Pekka Pietiläinen

*Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimintayksikkö, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos, e-mail: mikko.moilanen@metla.fi, tel: + 358-10-211-3745, fax: +358-10-211-3701,*

*Pekka Pietiläinen, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimintayksikkö, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos*

Neulasanalyysi on vakiintunut menetelmä määrittää puiden ravinnetila ja lannoitus-tarve. Käytännön metsänhoito-ohjeissa neulasnäytteet suositetaan otettavaksi puiden talvilevon aikana, jolloin puut ovat jäässä ja niiden aineenvaihdunta pysähdyksissä. Ravinneanalyysin tulkinta ja puutostiloja osoittavien pitoisuuksien raja-arvot pohjautuvat niin ikään talvella kerätyistä neulasnäytteistä tehtyihin ravinnemäärittäyksiin. Tässä tutkimuksessa selvitettiin metsäojitusalueella kasvavien mäntyjen ravinnetilassa syksyn aikana tapahtuvia muutoksia. Keskeinen tavoite oli vastata kysymykseen, voidaanko puiden ravinnetila määrittää luotettavasti jo syys–lokakuussa ennen puiden talvilepoa kerätyistä neulasnäytteistä. Tutkimusaineisto (216 neulasnäytettä) kerättiin kuudesta ojitusalueenniköstä Länsi- ja Pohjois-Suomesta. Aineistoon sisältyi neulasnäytepuita sekä lannoittamattomista että 2–4 vuotta aiemmin PK-lannoitetuista metsiköistä. Ravinnepitoisuuksien erot samoista puista otettujen syys- ja talvinäytteiden välillä olivat suhteellisen vähäiset. Lannoitetuissa metsiköissä vain neulasten Cu- ja K-pitoisuudet olivat syyskuussa merkitsevästi korkeammat kuin lokakuussa tai seuraavana talvena. Lannoittamattomissa metsiköissä neulasten K-pitoisuus oli lähes sama eri ajankohtina. Ca- ja Mn-pitoisuudet puolestaan hiukan kohosivat syyskuun ja sitä seuranneen talvikauden välisenä aikana. Lokakuun ja talvikauden välillä ei puiden ravinnepitoisuuksissa esiintynyt mainittavia eroja. Tulokset osoittavat, että lokakuun alun ja maaliskuun lopun välisenä aikana kerätyt neulasnäytteet antavat luotettavan kuvan männyn ravinnetilasta ojitusalueilla.

Avainsanat: PK-lannoitus, neulasanalyysi, ojitus, *P. sylvestris* L., ravinnepuutos, turvemaa

## Johdanto

Kangasmaihin verrattuna soiden turpeessa on yleensä runsaasti typpeä, mutta niukasti kivennäisravinteita. Turpeen typen ja fosforin kokonaismäärät ovat metsäpuille riittävät (Laiho & Laine 1994, Laiho & Alm 2005), mutta etenkin fosforin mineralisoituminen käyttökelpoiseen muotoon on usein hidasta verrattuna puiden ravinnetarpeeseen. Fosforin heikko saatavuus ja kaliumin niukkuus rajoittavatkin yleisesti puiden kasvua metsäojitusalueilla (Veijalainen 1992, Moilanen 1992, Moilanen 1993, Hytönen & Kokko 2006). Puiden ravinnetalousongelmat ovat yleisiä entisten avosoiden ja alkuaan vähäpuustoisten sekatyypin paksuturpeisilla ojitusalueilla (Moilanen ym. 1996, Silver & Saarinen 2001). Ongelman laajuudesta on toistaiseksi voitu tehdä vain suotyypin esiintymiseen perustuvia arvioita. Ravinnetalousongelmia esiintyy yli miljoonan hehtaarin alalla eli noin viidesosalla ojitetusta pinta-alasta (Kaunisto 1997).

Fosforia ja kaliumia sisältävien lannoitteiden on useissa tutkimuksissa todettu korjaavan puiden ravinnepuutokset ja lisäävän puuston kasvua ojitetuilla turvemailla 15–30 vuoden ajaksi (Kaunisto 1992, Moilanen 1993, Silfverberg & Hartman 1999, Rautjärvi ym. 2004, Moilanen ym. 2005a). Yleisin suometsien lannoituksessa käytetty lannoite on ollut Suometsien PK-lannos (myöhempi Metsän PK-lannos, nykyinen RautaPK), jota suositetaan runsastyypisille kohteille ja joka sisältää pääravinteista fosforia, kaliumia ja kalsiumia ja hivenravinteista booria (Hyvän metsänhoidon...2007). Myös puutuhka soveltuu suometsien ravinnetalouden hoitoon etenkin runsastyypisillä rämeillä (Silfverberg 1996, Moilanen ym. 2002, Moilanen ym. 2005b).

Metsätaloukseen ojitetuista turvemaista on lannoitettu viimeksi kuluneen 50 vuoden aikana noin kolmannes eli kaikkiaan 1,7 milj. ha. Lannoituksia tehtiin runsaasti etenkin 1970-luvulla. 1990-luvulla lannoitustoiminta väheni voimakkaasti, mutta on alkanut viime vuosina lisääntyä. Selvimmin on lisätty nk. terveyslannoituksia, joiden toteuttamista tuetaan yhteiskunnan varoin (KEMERA-laki). Ehtona tuen saamiselle on, että lannoitettavaksi ehdotetulla metsikkökuviolla puilla on todennettu fosforin tai kaliumin puutostila.

Kasvupaikan ravinteisuutta ja puuston ravinnetilaa voidaan kuvata useilla eri menetelmillä, joista osa perustuu silmävaraiseen arviointiin ja osa analyttisiin kasvinosien tai maaperän ravinnepitoisuuksien määrittäisiin (Reinikainen ym. 1998). Kun ravinnepuutokset ovat voimakkaita, ne ilmenevät myös silmin havaittavina lehtien tai neulasten värimuutoksina ja puun poikkeavana kasvutapana. Havupuilla neulasten ravinnepitoisuudet osoittavat puiden tietynhetkisen ravinnetilän. Ravinneanalyysjä on tehty yleisesti jo 1950-luvulta alkaen (esim. Leyton & Armson 1955, White 1954, Tamm 1955, Will 1957). 1900-luvun lopulla lehti- ja neulasanalytiikassa tapahtui voimakasta kehitystä mm. ilmansaastetutkimuksia ja metsien terveydentilan seuranta varten (Raitio 1994). Männyn ja kuusen tärkeimmille ravinteille (N, P, K, B) on lannoituskokeiden avulla määritetty pitoisuuksien kynnsarvot, joita pienemmällä arvoilla puut kärsivät ao. ravinteiden puutuksesta (Puustjärvi 1965, Paarlahti ym. 1971, Reinikainen ym. 1998, Veijalainen 2001).

Puuston ravinnetilä määryytyy maaperällisten ja ilmastollisten tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Kasvupaikan viljavuuden lisäksi ravinnetilä vaihtelee vuodesta ja etenkin vuodenajasta toiseen (White 1954, Mead & Will 1976, Chapin & Kedrowski 1983, Helmisaari 1990, 1992a, 1992b, Raitio 1994, Bauer ym. 1997). Ravinnetilään vaikuttavat myös kasvualustan vesitalous (Leaf ym. 1970, Humphreys ym. 1971), puiden terveydentila ja erilaiset taudinaiheuttajat (Veijalainen ym. 1984, Veijalainen 1992, Krivan ym. 1986, Raitio & Merilä 1998).

Kasvukauden aikana metsäpuut siirtävät nk. ”helposti liikkuvia” ravinteitaan (N, P, K, B, Cu) vanhemmista kasvinosista nuorempiin ja kasvupisteisiin. Tämä sisäinen ravinnekierto on puun ravinnetaloudelle merkittävä: vanhempien neulasten tyyppistä, fosforista ja kaliumista siirtyy ennen niiden varisemista uudempiin neulasiin ja sisäkuoreen arviolta 60–90 % (Mälkönen 1974, Helmisaari 1992a) vararavinnoksi seuraavana keväänä kasvunsa aloittaville kasvupisteille. Ravinnepuutostilanteessa puut pyrkivät ylläpitämään nuorempien neulasvuosikertojen riittäviä ravinnepitoisuuksia myös karistamalla vanhimpia neulasvuosikertoja. Kasvukauden päätyttyä neulasten ravinnepitoisuudet vakiintuvat talvi- eli

lepokauden tasolle. Sääolojen vaihtelusta riippuen vakiintuminen voi olla tiettyssä metsikössä eri vuosina eriaikaista. Myös ravinteiden välillä on havaittu eroja talveentumisen rytmikassa (Wells & Metz 1963, Mead & Will 1976). Talvilevon aikana puiden aineenvaihdunta ja nestevirtaukset ovat pysähdyksissä usean kuukauden ajan, ja neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu jää vähäiseksi (mm. Tamm 1955, Helmisaari 1990, Pietiläinen ym. 2000).

Puutosten raja-arvot on määritetty puiden lepokaudella yleensä joulukuun ja maaliskuun välisenä aikana kerättyjen neulasnäytteiden avulla (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1977, Veijalainen 2001). Näin on eliminoitu kasvukauden aikana nopeasti vaihtelevien pitoisuuksien aiheuttama ”häiriövaikutus”. On esitetty, että mikäli näyte kerätään muulloin kuin talvilevon aikana, niin ravinnanalyysistä tehtävään tulkintaan voi sisältyä merkittävää epävarmuutta.

Tutkimuksia havupuiden ravinnepitoisuuksien vuodenaajoittaisesta vaihtelusta on maassamme tehty verraten vähän. Helmisaaren (1990) tutkimuksessa kangasmaamännikön neulasten ravinnepitoisuudet olivat alimmillaan keväällä ja alkukesällä, mutta nousivat kasvukauden lopulla ja viimeistään syys–lokakuun aikana sille tasolle, jolla säilyivät seuraavan talvikauden. Raition ja Merilän (1998) tutkimuksessa kangasmaamännikön ja -kuusikon neulasten ravinnepitoisuudet olivat syyskuussa ravinteesta riippuen hieman alemmalla tai korkeammalla tasolla kuin myöhäissyksyllä tai seuraavana talvikautena. Ojitusaluekuusikon neulasten kaliumpitoisuuden vuodenaikaisvaihtelua selvittävässä tutkimuksessa Kaunisto ja Sarjala (2002) päätyivät tulokseen, jossa elo–lokakuussa kerättyjen neulasten K-pitoisuus korreloi voimakkaasti talvella (tammi–maaliskuu) kerättyjen näytteiden K-pitoisuuksien kanssa.

Käytännön metsätaloudessa neulasanalyysia on käytetty etenkin metsäojitettujen suomänniköiden ravinnepuutosten ja lannoitustarpeen arvioinnissa. Kun neulasnäytteet suositetaan kerättäväksi talvella, hankaloittaa se neulasanalyysin laaja-alaista soveltamista käytännön metsänhoitoon: keruu-aika rajoittuu lyhyeen talvikauteen, minkä ohella usein hankalat lumi- ja sääolot sekä päivän lyhyys heikentävät työtehoa

ja kohteiden saavutettavuutta. Käytännön työtä helpottaisi, jos olisi mahdollista määrittää puiden ravinnetila luotettavasti myös muulloin kuin talvikautena kerätyistä näytteistä. Tarkkaa selvitystä siitä, kuinka merkittäviä männyn neulasten ravinnepitoisuuksien tai neulasten ravinnesisällön erot turvemailla syksyn ja sitä seuraavan talven välillä ovat, ei ole aiemmin tehty.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää männyn ravinnetilassa syyskauden (syys–lokakuu) ja sitä seuraavan talvikauden (joulu–maaliskuu) välillä tapahtuvia muutoksia ja arvioida, voidaanko puiden ravinnetila diagnosoida luotettavasti määrittämällä ravinnepitoisuudet syys- tai lokakuussa kerätyistä neulasnäytteistä. Aiempaan puiden ravinnetilaa koskevaan tietämykseen pohjautuen tutkimushypoteesit asetettiin seuraavasti: 1) männyn neulasten ravinnepitoisuuksien vakiintuminen talviaikaiselle tasolle riippuu kasvukauden sääoloista ja on erilainen eri vuosina ja eri osissa maata, 2) ravinnepuutoksista kärsivissä metsiköissä puiden talveentumisen ajoittuminen on erilainen kuin metsiköissä, joissa ravinnepuutoksia ei esiinny ja 3) puiden ravinnefysiologinen talveentumisprosessi kasvukauden jälkeen on ojitetuilla rämeillä päättynyt syyskuun puoliväliin mennessä.

## Aineisto ja menetelmät

### Tutkimusmetsiköt ja koejärjestely

Aineisto kerättiin kuudelta vuonna 1999 perustetulta metsikkökokeelta Länsi- ja Pohjois-Suomesta (Kuva 1). Kokeilla seurataan jatkuvasti vuosittain puiden ravinnetilaa ja selvitetään ravinnetilan vaihteluun pitkällä aikavälillä vaikuttavia puusto-, kasvupaikka- ja ympäristötekijöitä. Tutkimuskohteet sijaitsevat paksaturpeisilla (turvekerros vähintään 70 cm) puolukka- ja mustikkaturvekan- kaan metsäojitusalueilla 23–160 metriä merenpin- nan yläpuolella (Taulukko 1). Keskimääräinen kasvukauden lämpösumma on kohteesta riippuen 797–1124 d.d.. Vallitseva puusto oli kokeiden perustamishetkellä nuorta kasvatusmännikköä, jonka valtapituus oli kokeesta riippuen 6–10 m. Sekapuuna esiintyi vähäisessä määrin hieskoivua ja/tai kuusta. Puuston käsittelystä oli kaikilla kokeilla kulunut vähintään 10 vuotta. Kohteilla



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti.

Fig. 1. Location of the experimental stands in Finland.

ei esiintynyt välitöntä kunnostusojitus- tai harvennustarvetta, eikä niitä ollut aiemmin lannoitettu.

Kullekin metsikkökokeelle rajattiin kuusi koealaa, joiden pinta-ala vaihteli 0,08–0,24 hehtaaria. Koealoista kolme lannoitettiin vuonna 2000 Metsän PK-lannoksella (450 tai 500 kg ha<sup>-1</sup>), ja kolme koealaa jäi lannoittamattomiksi vertailualoiksi. Lannoituskäsittely sisälsi fosforia 40–45 kg ha<sup>-1</sup>, kaliumia 70–80 kg ha<sup>-1</sup> ja booria 0,9–1,0 kg ha<sup>-1</sup>.

### Neulasnäytteiden keruu ja analysointi

Kultakin koealalta valittiin neulasnäytepuiksi 10 kpl pää- ja lisävaltapuustoon kuuluvaa, vapaassa tilassa kasvavaa mäntyä. Ojamailla tai ojaimaiden välittömässä läheisyydessä (etäisyys < 3 m) kasvavia puita ei kelpuutettu neulasnäytepuiksi. Talviaikaiset (jouluku–maaliskuu) neulasnäytteet kerättiin kaikilta kokeilta ja koealoilta vuosittain 1999–2007. Vuosina 2002 ja 2004 otettiin neulasnäytteet tätä tutkimusta varten samoista koepuista myös syyskuussa ja lokakuussa (Taulukko 2). Syys- ja lokakuun näytteet kerättiin ajankohtina, jolloin terminen kasvukausi oli jo päättynyt

Taulukko 1. Tutkimusmetsiköiden kasvupaikka-, puusto- ja lannoitustiedot vuodelta 2000.

Table 1. The site type, tree stand and fertilisation information from 2000.

	Parkano	Sievi	Muhos	Keminmaa	Rovaniemi	Kolari
Sijaintikoordinaatit (P, I) Coordinates (N, E)	6885, 3277	7091, 3374	7199, 3457	7305, 3403	7372, 3486	7473, 3363
Korkeus merenpinnasta, mpy Altitude, m above sea level	143	113	72	23	160	153
Kasvukauden lämpösumma (d.d.-yksikköä vv. 1950–80) Temp. sum (d.d. 1950–1980)	1124	1029	1022	983	871	797
Turvekangastyypin kuvaus <sup>1)</sup> Site type I)	PtkgII	PtkgII	PtkgII	PtkgII– MtkgII	MtkgII	PtkgII– MtkgII
Turpeen paksuus, m Peat thickness, m	> 1,5	0,7–1,1	> 1,5	> 1,0	1,1–1,6	0,7–1,0
Puuston valtapituus, m Height of stand, m	6–7	8–9	7–8	8–9	9–10	7–8
Lannoitusajankohta <sup>2)</sup> Date of fertilisation <sup>2)</sup>	13.6.2000	9.10.2000	7.6.2000	26.6.2000	19.5.2000	7.6.2000

<sup>1)</sup> Turvekangastyypin kuvaus ks. Laine & Vasander (2005) — Site types see Laine & Vasander (2005)

<sup>2)</sup> Metsän PK-lannos (9 % P, 16 % K, 0,2 % B) 450 kg ha<sup>-1</sup> (pl. Parkano 500 kg ha<sup>-1</sup>) — PK-fertilizer (9% P, 16% K, 0.2% B) 450 kg ha<sup>-1</sup> (excl. Parkano 500 kg ha<sup>-1</sup>)

tai päättymässä. Varsinaisia pakkasjaksoja ei ollut vielä esiintynyt. Talvikausina 2002–03 ja 2004–05 näytteitä kerättäessä lumen vahvuus vaihteli kokeesta riippuen välillä 10–50 cm, ja ilman lämpötila oli kaikissa kohteissa ollut useita viikkoja pakkasen puolella.

Neulasnäytteet otettiin sivukasvaimien (1–2 kasvainta per puu) neulasista 1–2 metrin matkalta vihreän latvuksen yläosasta latvuksen eteläpuolelta. Oksat irrotettiin puusta oksaleikkurilla ja neulas oksista muovisia suojakäsineitä käyttäen. Kunakin ajankohtana näytteitä otettiin kultakin koelalalta yksi kappale eli yhteensä 36 kpl.

Neulasnäytteiden ravinnemääritykset tehtiin nuorimman vuosikerran neulasista Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen toimintayksikön laboratoriossa. Analysoitavat ravinteet olivat typpi (N), fosfori (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangaani (Mn), sinkki (Zn), kupari (Cu) ja boori (B). Neulasnäytteet kuivattiin +70 °C:n lämpötilassa, ja niistä määritettiin kokonaistyyppi (N) Kjeldahlmenetelmällä, K-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- ja Cu-pitoisuudet atomiadsorptiospektrofotometrillä (AAS), B-pitoisuus atsometiini-H-menetelmällä ja P-pitoisuus vanadomolybdaattimenetelmällä (Halonen ym. 1983). Lisäksi määritettiin neulasten kuivamassa (g per 100 neulasta), mikä mahdollisti neulasten ravinnesisällön määrittämisen.

## Aineiston käsittely

Metsikkökoekohtaiset sääolot vuosina 2002–2005 estimoitiin Metlassa kehitetyllä ohjelmalla, jonka lähtöaineistona olivat kunkin kohteen sijaintikoordinaatit ja Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien ko. ajankohdille tuottamat säähavainnot (Ojansuu & Henttonen 1983). Säätekijöistä tarkasteluun otettiin mukaan kasvukauden lämpösusma sekä huhti–marraskuun kuukausittainen sademäärä ja keskilämpötila.

Aineiston käsittely tehtiin erikseen molemmille tarkastelujaksoille (syyskuu 2002 – talvi 2003; ja syyskuu 2004 – talvi 2005). Vastemuuttujina tilastoanalyysissä (SPSS 14.0) olivat kunkin ravinteen pitoisuus (tai sisältö per 100 neulasta) eri ajankohtina (syyskuu, lokakuu, jouluu–maaliskuu). Eri ajankohtien väliset pitoisuuserot ja pitoisuuksien riippuvuudet määritettiin korrelaatio- ja varianssianalyysillä. Kaksisuuntaisella varianssianalyysillä testattiin syys- ja talviaikaisten ravinnepitoisuuksien eroja (koetekijä, ajankohta) sekä lannoituksen vaikutusta ravinnepitoisuuksiin. Toistettujen mittausten varianssianalyysillä selvitettiin ajankohtatekijän merkitystä ravinnepitoisuuksiin, sekä ajankohtatekijän, koetekijän ja lannoitustekijän keskinäisiä yhdysvaikutuksia. Parittaiset testaukset tehtiin Bonferronin testillä.

Taulukko 2. Tutkimusmetsiköiden säähavainnot vuosilta 2002 ja 2004 sekä neulasnäytteiden keruun ajankohdat.  
Table 2. Weather conditions in the experimental stands for 2002 and 2004, and the time of the sampling.

	Parkano	Sievi	Muhos	Keminmaa	Rovaniemi	Kolari
Kasvukauden lämpösusma v. 2002, d.d. <i>Temperature sum in 2002, d.d.</i>	1255	1132	1165	1139	1033	898
Sademäärä (kesä–syyskuu) v. 2002, mm <i>Precipitation in June–September 2002, mm</i>	302	270	250	345	336	269
Kasvukauden lämpösusma v. 2004, d.d. <i>Temperature sum in 2004, d.d.</i>	1373	1273	1287	1285	1168	1004
Sademäärä (kesä–syyskuu) v. 2004, mm <i>Precipitation in June–September 2004, mm</i>	281	225	231	282	281	359
Neulasnäytteiden keruu v. 2002–03 <i>Date of needle sampling in 2002–2003</i>	2.9.2002 1.10.2002 4.3.2003	2.9.2002 7.10.2002 12.2.2003	4.9.2002 2.10.2002 21.3.2003	4.9.2002 1.10.2002 17.1.2003	4.9.2002 1.10.2002 3.12.2002	5.9.2002 2.10.2002 4.12.2002
Neulasnäytteiden keruu v. 2004–05 <i>Date of needle sampling in 2004–2005</i>	31.8.2004 1.10.2004 5.1.2005	21.9.2004 20.10.2004 11.1.2005	2.9.2004 30.9.2004 5.1.2005	1.9.2004 5.10.2004 10.1.2005	1.9.2004 6.10.2004 1.12.2004	3.9.2004 7.10.2004 3.12.2004

Puiden ravinnepitoisuuksien ajallista vaihtelua selvitetään myös nk. vektorianalyysin avulla, joka perustuu neulasten ravinnepitoisuuksien ja neulasten kuivamassan muutosten visuaaliseen tarkasteluun graafisen diagrammin avulla (mm. Timmer & Morrow 1984, Timmer & Ray 1988, Haase & Rose 1995). Menetelmä havainnollistaa ravinteiden keskinäisiä yhteyksiä ja tuo esiin puiden kasvuun merkittävimmin vaikuttavat ravinteet. Tässä tutkimuksessa vektoridiagrammilla kuvattiin neulasten ravinnepitoisuuksien ja ravinnesisällön suhteellisia muutoksia syksyn kuluessa samanaikaisesti useiden ravinteiden osalta.

## Tulokset

### Puiden ravinnetilan vaihtelu

Ravinnepitoisuuksien vaihtelu neulasnäytteissä oli huomattavan suurta ja lähes kattoi sen vaihteluvälin, joka metsäojitettujen turvemaiden männiköissä esiintyy (ks. Reinikainen ym. 1998 ja siinä mainitut viitteet). Pitoisuuksien minimi- ja maksimiarvojen ero oli ravinteesta riippuen 2–10-kertainen (Taulukko 3). Lannoittamattomien puiden ravinnetila oli neulasanalyysin perusteella hyvä tai tyydyttävä vain Keminmaassa sijaitsevalla kokeella, muilla kokeilla välttävä tai heikko

Taulukko 3. Männynneulasten ravinnepitoisuuksien keskiarvot ja vaihteluväli koko aineistossa (eri vuodet, vuodenaajat ja lannoituskäsittelyt; n = 216).

Table 3. Mean needle nutrient concentrations and range in the total data (different years, seasons and fertilisation treatments; n=216)

Ravinne Nutrient	Keskiarvo Mean	Minimi Minimum	Maksimi Maximum
N, %	1,44	1,06	2,56
P, mg g <sup>-1</sup>	1,48	0,79	2,60
K, mg g <sup>-1</sup>	4,26	2,57	6,45
Ca, mg g <sup>-1</sup>	2,24	1,50	3,12
Mg, mg g <sup>-1</sup>	1,35	0,97	1,85
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	35	24	56
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	408	114	843
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	50	35	67
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	2,9	1,1	5,4
B, mg kg <sup>-1</sup>	21,8	4,3	42,5

(puutosrajat ks. Paarlahti ym. 1971, Reinikainen ym. 1998). Kannuksessa ja Parkanossa esiintyi voimakasta fosforin puutosta (P-pitoisuus < 1,3 mg g<sup>-1</sup>) ja Kolarissa voimakasta kaliumin puutosta (K-pitoisuus < 3,5 mg g<sup>-1</sup>). Samanaikainen fosforin ja kaliumin puute vallitsi Muhoksen ja Rovaniemen lannoittamattomilla koealoilla. Lannoitetuilla koealoilla (käsittelystä 2–4 vuotta) puiden ravinnepuutoksia ei todettu yhdessäkään metsikössä, ja neulasten P-, K- ja B-pitoisuudet olivat merkitsevästi korkeampia kuin lannoittamattomilla vertailualueilla. PK-käsittely alensi kahden vuoden kuluessa neulasten N- ja Mg-pitoisuuksia ja myöhemmin myös Mn-, Fe- ja Zn-pitoisuuksia.

### Neulasten syys- ja talvikautisten ravinnepitoisuuksien erot

Neulasten ravinnepitoisuuksien ja kuivamassan erot samoista puista otettujen syys- ja talvinäytteiden välillä olivat keskimäärin suhteellisen vähäiset. Ravinteista kalium ja kupari olivat ainoat, joissa tapahtui syksyn ja talven välillä selviä muutoksia molemmilla tarkastelujaksoilla (syksy 2002→talvi 2003 ja syksy 2004→talvi 2005): pitoisuudet olivat syyskuun näytteissä merkitsevästi korkeammat kuin lokakuun ja talven näytteissä (Taulukot 4 ja 5). Pitoisuuksien ero oli kaliumilla 0,3–0,5 mg g<sup>-1</sup> ja kuparilla 0,4–0,6 mg kg<sup>-1</sup>. Neulasten Mn-pitoisuus puolestaan kohosi syyskuun ja seuraavan talven välillä 5–10 % ja Ca-pitoisuus syyskuun ja lokakuun välillä vuoden 2002 aineistossa, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Vuoden 2002 aineistossa Mg-pitoisuus oli lokakuussa merkitsevästi alempi kuin syyskuussa.

PK-lannoitus ei vaikuttanut ravinnepitoisuuksien ajallisiin muutoksiin talveentumisen aikana lukuun ottamatta kaliumia: ajankohtatekijän ja lannoitustekijän välinen yhdysvaikutus ilmeni siten, että lannoittamattomilla koealoilla koealojen väliset erot eri ajankohtien K-pitoisuudessa olivat pienemmät kuin lannoitetuilla koealoilla (Kuva 2).

Vuoden 2004 aineistossa ajankohtatekijän ja koetekijän välillä havaittiin merkitsevä yhdysvaikutus: K-pitoisuus pieneni syyskuusta talveen mentäessä vain Keminmaalla ja Sievissä. Ajankohta- ja koetekijän välinen yhdysvaikutus oli

myös toistettujen mittausten varianssianalysissä merkitsevä useimpien ravinteiden osalta sekä vuoden 2002 että 2004 aineistossa (Greenhouse-Geisser-testi, tuloksia ei tässä).

Syys- ja talvinäytteiden ravinnepitoisuudet korreloivat vahvasti keskenään (Taulukko 6). Kiintein yhteys ajankohtien välillä todettiin boorilla ja mangaanilla, mutta myös typellä, fosforilla

Taulukko 4. Männynneulasten ravinnepitoisuudet syyskuussa ja lokakuussa 2002 sekä talvella 2003 ja 2-suuntaisen varianssianalyysin p-arvot (Aika = eri ajankohdat, Lan = lannoituskäsittely, n = 18, Kuivamassa=neulasten kuivamassa, g/100kpl). Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferroni,  $p > 0.05$ ).

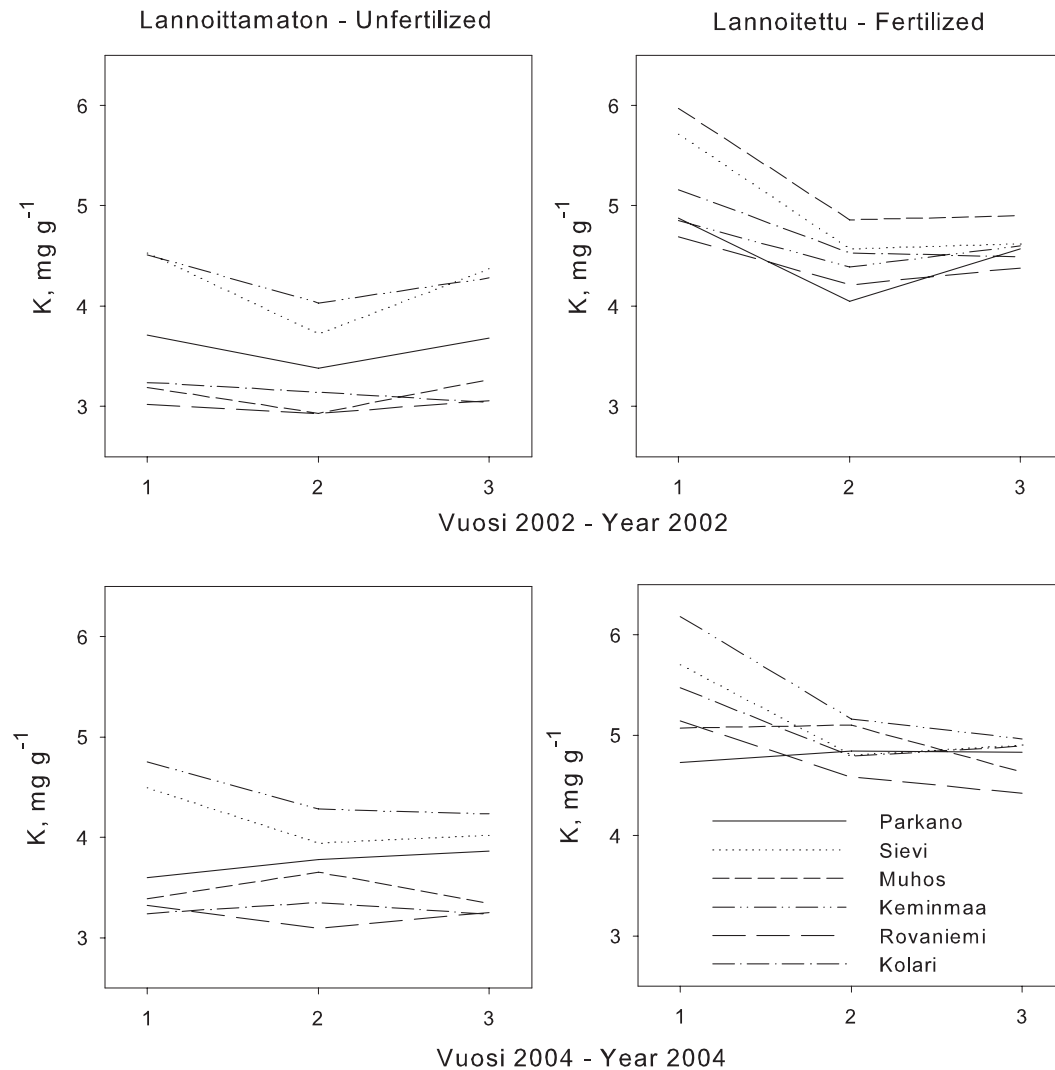
Table 4. Needle nutrient concentrations in September and October 2002 and winter 2003 with two-way ANOVA p-values (Aika = sampling time, Lan = fertilisation, n = 18, Kuivamassa=Dry mass of needles, g/100 needles). Values appended with the same letter are not statistically different (Bonferroni,  $p > 0.05$ ).

Ravinne Nutrient	Syyskuu September 2002	Lokakuu October 2002	Talvi Winter 2003	ANOVA-mallin p-arvot p values of ANOVA model		
				Aika	Lan	Aika*Lan
N, %	1,36 a	1,38 a	1,38 a	0.906	0.004	0.971
P, mg g <sup>-1</sup>	1,36 a	1,32 a	1,36 a	0.751	0.000	0.773
K, mg g <sup>-1</sup>	4,46 a	3,90 b	4,10 b	0.000	0.000	0.089
Ca, mg g <sup>-1</sup>	2,14 a	2,29 a	2,29 a	0.172	0.504	0.701
Mg, mg g <sup>-1</sup>	1,35 a	1,24b	1,30 ab	0.008	0.000	0.626
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	38 a	38 a	37 a	0.535	0.066	0.285
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	409 a	422 a	437 a	0.723	0.449	0.965
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	48 a	48 a	50 a	0.402	0.470	0.986
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	3,2 a	2,6 b	2,6 b	0.001	0.928	0.765
B, mg kg <sup>-1</sup>	24 a	21 a	22 a	0.131	0.000	0.678
Kuivamassa	2,3 a	2,3 a	2,4 a	0.553	0.000	0.837

Taulukko 5. Männynneulasten ravinnepitoisuudet syyskuussa ja lokakuussa 2004 sekä talvella 2005 ja 2-suuntaisen varianssianalyysin p-arvot (Aika = eri ajankohdat, Lan = lannoituskäsittely, n = 18, Kuivamassa=neulasten kuivamassa, g/100kpl). Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferroni,  $p > 0,05$ ). Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea toisistaan (Bonferroni,  $p > 0.05$ ).

Table 5. Needle nutrient concentrations in September and October 2004 and winter 2005 with two-way ANOVA p-values (Aika = sampling time, Lan = fertilisation, n = 18, Kuivamassa=Dry mass of needles, g/100 needles). Values appended with the same letter are not statistically different (Bonferroni,  $p > 0.05$ ).

Nutrient	Syyskuu September 2004	Lokakuu October 2004	Talvi Winter 2005	ANOVA-mallin p-arvot p values of ANOVA model		
				Aika	Lan	Aika*Lan
N, %	1,47 a	1,59 a	1,48 a	0.108	0.024	0.830
P, mg g <sup>-1</sup>	1,59 a	1,65 a	1,61 a	0.666	0.000	0.936
K, mg g <sup>-1</sup>	4,59 a	4,28 b	4,21 b	0.004	0.000	0.116
Ca, mg g <sup>-1</sup>	2,24 a	2,25 a	2,20 a	0.839	0.301	0.905
Mg, mg g <sup>-1</sup>	1,41 a	1,44 a	1,38 a	0.411	0.000	0.969
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	33 a	31 a	32 a	0.072	0.000	0.979
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	365 a	411 a	405 a	0.494	0.009	0.978
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	49 a	51 a	51 a	0.645	0.013	0.886
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	3,3 a	2,9 b	2,7 b	0.000	0.075	0.446
B, mg kg <sup>-1</sup>	21 a	21 a	22 a	0.408	0.000	0.362
Kuivamassa	1,5 a	1,6 a	1,6 a	0.123	0.000	0.977



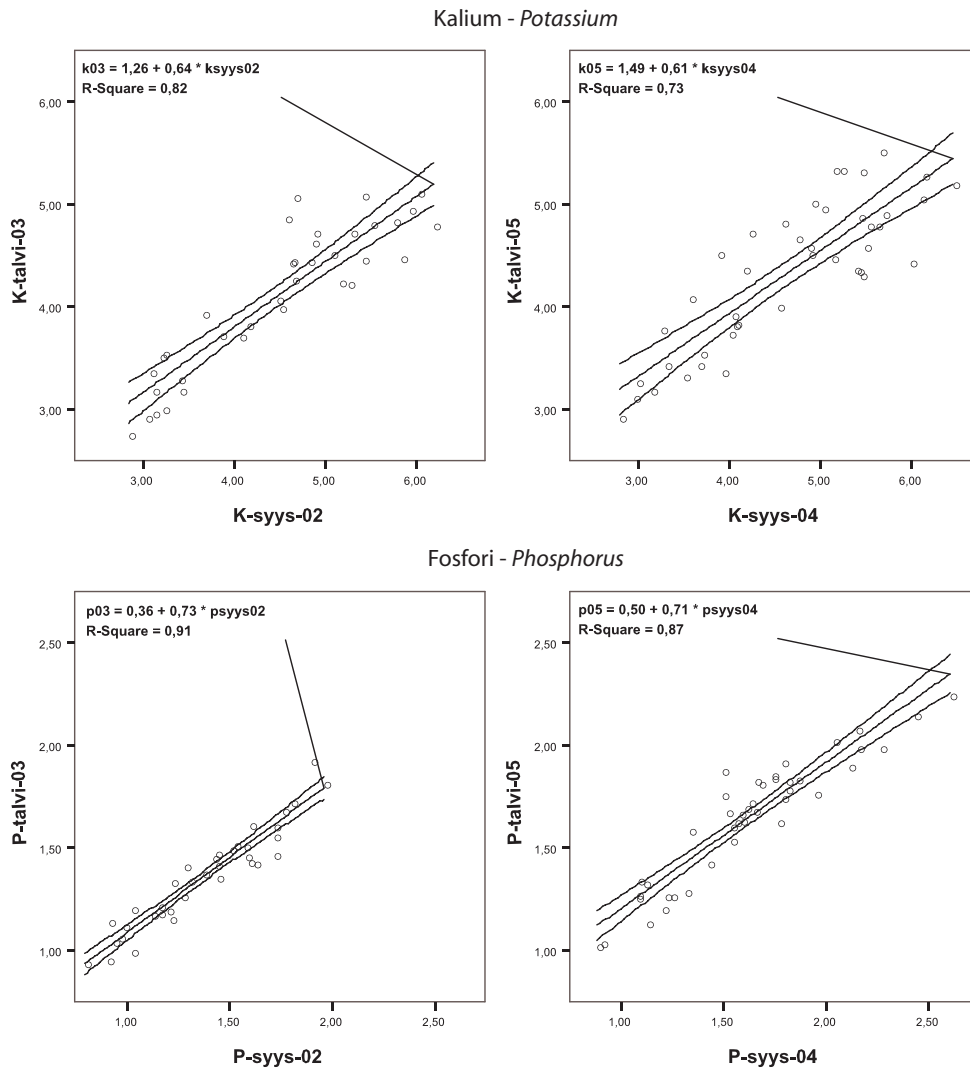
Kuva 2. Männynneulasten K-pitoisuus tutkimusmetsiköissä vuosina 2002 ja 2004. Vaaka-akselilla näytteenkeruuaikakohdat: 1 = syyskuu, 2 = lokakuu, 3 = talvi.

Fig. 2. Scots pine needle K concentration in the experimental stands in 2002 and 2004. X-axis is the time of the sampling: 1 = September, 2 = October, 3 = Winter.

ja kaliumilla eri ajankohtien välinen korrelaatio oli voimakas molempina tarkasteluvuosina. Neulasten ravinnepitoisuuksien muutokset syksyn ja talven välillä olivat yhteydessä puiden ravinnetilaa: kun neulasten K- tai P-pitoisuudet olivat syyskuussa matalia, ne hiukan kohosivat talveen siirryttäessä (Kuva 3). Syyskuun korkeat K- tai P-pitoisuudet puolestaan keskimäärin laskivat syksyn kuluessa.

Neulasten ravinnepitoisuuksien ja ravinnesisällön muutokset siirryttäessä syyskuusta talveen olivat myös vektorianalyysin perusteella suhteellisen vähäisiä, mutta kuitenkin havaittavia. Lannoittamattomien puiden neulasten suhteellinen Ca- ja Mn-pitoisuus ja -sisältö kasvoi n. 10 %, Cu- ja B-pitoisuus ja -sisältö vastaavasti pieneni 10–20 % vuonna 2002 siirryttäessä syksystä talveen (Kuva 4). Mangaanilla ja kuparilla





Kuva 3. Männyneulasten talviaikaisten K- ja P-pitoisuuksien ( $\text{mg g}^{-1}$ ) riippuvuus syyskuun K- ja P-pitoisuuksista vuosina 2002 ja 2004. Kuvassa regressiosuorat ja niiden 95 %:n luottamusvyö. Kaikki tutkimusmetsiköt ja koealat.

*Fig. 3. Scots pine needle winter (talvi, y-axis) K and P concentration ( $\text{mg g}^{-1}$ ) dependancy on September (syys, x-axis) K and P concentration ( $\text{mg g}^{-1}$ ), separately in 2002 and 2004. Plotted is the regression line and its 95% confidence region. All research stands and plots.*

tulos oli sama myös vuonna 2004. Kun neulasten kuivamassa lisääntyi syksyn 2004 aikana n. 10 %, se merkitsi neulasten ravinnesisällön kasvamista kuparia lukuun ottamatta. Lannoitetuissa metsiköissä neulasten Mn-pitoisuus ja -sisältö lisääntyi

syyskuun ja talvikauden välisenä aikana sekä vuonna 2002 että 2004 (Kuva 5). Lisäksi talveentumisvaihe kohotti Ca-pitoisuutta vuonna 2002 ja B-pitoisuutta vuonna 2004. K- ja Cu-pitoisuus ja -sisältö vastaavasti pienivät.

## Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkimusaineisto kerättiin verraten laajalta maantieteelliseltä alueelta, joka kattoi Suomen suovaltaisimman alueen. Kun neulasnäytteet kerättiin syys- ja lokakuussa samoihin aikoihin kaikista tutkimusmetsiköistä, olisi puiden ravintilan kehittämisessä metsiköiden välillä olettanut paljastuvan eroja. Tulevathan esim. syksyn ensipakkaset Pohjois-Suomeen yleensä aikaisemmin kuin eteläiseen Suomeen ja niiden olettaisi aikaistavan puiden talveentumista. Myös valoilmasto on pohjoisessa rytmiltään erilainen kuin etelässä. Eräissä aiemmissa tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että Pohjois-Suomessa puiden ravinnepitoisuudet olisivat joko korkeampia (esim. K, Mg, Zn) tai alempia (esim. N, Fe) kuin Etelä-Suomessa (Veijalainen 1992, Raitio 1994). Ilmastollisten tai aluegeologisten tekijöiden selvittämiseksi koeaineisto oli kuitenkin liian suppea. Metsiköiden välillä ilmeni eroja lähes kaikkien ravinteiden pitoisuuksissa, mutta ne tulkittiin johtuvan enemmänkin kasvupaikkojen erilaisuudesta kuin maantieteellisestä sijainnista. Kasvupaikkojen erilaisuus heijastui mm. puiden ravintelussa, joka vaihteli kokeesta, lannoitus-käsittelystä ja ravinteesta riippuen optimitason ja ankaran puutosalueen välillä. Lähtöolettamusta, jonka mukaan kohteen maantieteellinen sijainti (pohjoisuus – eteläisyys) vaikuttaisi puiden ravintilan kehitysrytmiin syksyn kuluessa, ei voitu tällä aineistolla todentaa. Ajankohtatekijän ja koetekijän yhdysvaikutus ravinnepitoisuuksiin oli kuitenkin merkitsevä, mikä viittaisi metsiköiden välisiin eroihin puiden talveentumisessa.

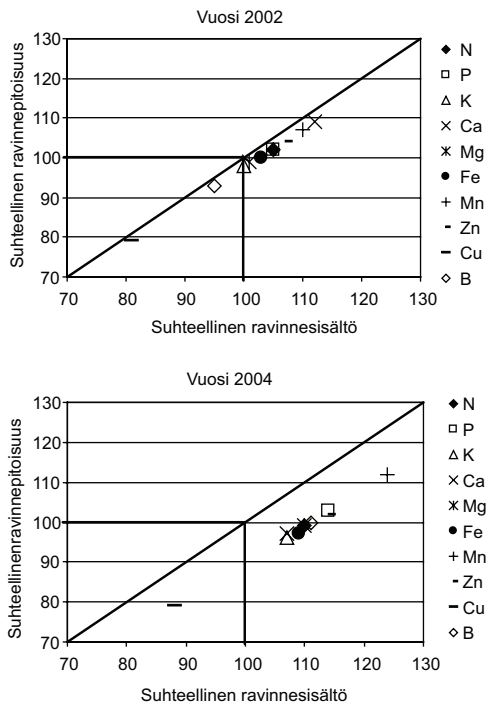
Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu syyskuun ja sitä seuraavan talvikauden välillä jäi molempina tutkimusvuosina suhteellisen vähäiseksi. Poikkeuksen tekivät kalium ja kupari, joiden pitoisuudet olivat syyskuussa selvästi korkeammat kuin myöhemmin syksyllä. Kaliumilla erot näkyivät vain lannoitetuilla puilla. Lannoitus-käsittelyn seurauksena puiden K-ravitsemustila oli parantunut, mikä saattoi viivästyttää puiden talveentumista. Tulos vahvasti lähtöolettamusta, jonka mukaan ravinteiden kuljetus puun sisällä on hyvän ravintilan omaavilla puilla erilainen kuin ravinnepuutoksista kärsivillä puilla.

Tutkimuksen tulokset olivat kaliumin ja kuparin osalta samansuuntaisia aiemmin esitettyjen kanssa. Raition ja Merilän (1998) aineistossa kangasmaan männyn ja kuusen neulasten Cu-pitoisuus laski ja K-pitoisuus joko laski (kuusella) tai nousi (männyllä) syksyn ja talven välillä. Selvittäessään neulasten kaliumpitoisuuden vuodenaikaisvaihtelua eteläsuomalaisessa ojitusaluekuusikossa Kaunisto ja Sarjala (2002) totesivat neulasten K-pitoisuuden olleen syksyllä hiukan korkeampi kuin talvella. Myös Helmi-saaren (1990) tutkimuksessa männynneulasten K-pitoisuus oli syys-lokakuussa hiukan korkeampi kuin seuraavana talvena, mutta — toisin kuin tässä tutkimuksessa — pitoisuus ei laskenut syksyn kuluessa. Pietiläisen ym. (2000) tutkimuksessa, jossa seurattiin ojitusaluemänniköiden ravintilan vuosittaista ja vuodenaikaista vaihtelua kolmen vuoden ajan, kaikkien keskeisten pää- ja hivenravinteiden pitoisuudet vakiintuivat Pohjois-Pohjanmaan ilmasto-oloissa talvilevon tasolle marraskuun aikana.

Taulukko 6. Eri ajankohtien väliset männynneulasten ravinnepitoisuuksien korrelaatiot (Pearson) tutkimusvuosille 2002 ja 2004 ( $n = 36$ ). Kertoimien  $p$ -arvo  $< 0,01$  kaikilla ravinteilla.

Table 6. Correlation coefficients (Pearson) between nutrient concentrations at different sampling times in 2002 and 2004 ( $n = 36$ ). The coefficient's  $p$ -value  $< 0.01$  for all nutrients.

Ravinne Nutrient	Korrelaatiokertoimet Correlation coefficients	
	Syyskuu-02 vs. talvi-03 September-02 vs. Winter-03	Syyskuu 2004 vs. talvi 2005 September-04 vs. Winter-05
N	0,95	0,93
P	0,95	0,94
K	0,91	0,85
Ca	0,88	0,81
Mg	0,73	0,88
Fe	0,56	0,57
Mn	0,97	0,98
Zn	0,87	0,79
Cu	0,76	0,65
B	0,97	0,97

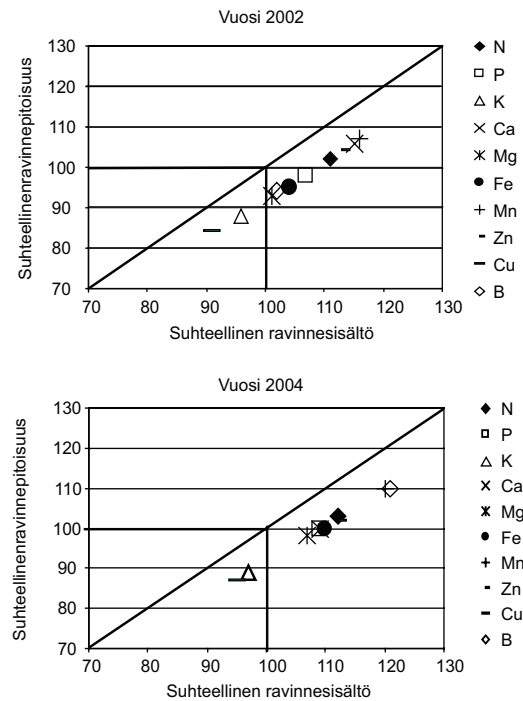


Kuva 4. Neulasten suhteelliset ravinnepitoisuudet (= tietyn raviteen pitoisuus syyskuussa / pitoisuus talvella, Y-akseli) ja suhteelliset ravinnesisällöt (tietyn raviteen pitoisuus\*neulasmassa syyskuussa / pitoisuus\*neulasmassa talvella, X-akseli) vuosina 2002 ja 2004, lannoittamattomat koealat. Vertailukohtana (suhdeluku 100) = syyskuu.

Figure 4. The relative needle nutrient concentrations (= the ratio of certain nutrient concentration in September and the following winter, Y-axis) and relative nutrient contents (= the ratio of certain nutrient content in September and the following winter, X-axis) in 2002 and 2004 with reference to the September (ratio of 100), unfertilised plots.

Neulasten Ca- ja Mn-pitoisuudet olivat myöhäissyksyllä ja talvella korkeampia kuin syyskuussa. Tulos on yhdensuuntainen kuin Raition ja Merilän (2000) sekä Pietiläisen ym. (2000) tutkimuksissa, joissa männyn Ca-, Mg-, Mn, Zn- ja Fe-pitoisuudet kohosivat alkusyksyn ja myöhäissyksyn välillä. Myös Helmisaaren (1990) tutkimuksessa männynneulasten Ca-, Mn- ja Fe-pitoisuus kohosivat syksyn aikana.

Uusien neulasten kuivamassa saavutti jo syyskuun alkupuolella tason, jolla se pysyi talveen saakka. Tulos viittaa siihen, että yhteyttämis- ja aineenvaihduntatuotteiden liikkuminen neulasiin



Kuva 5. Neulasten suhteelliset ravinnepitoisuudet (= tietyn raviteen pitoisuus syyskuussa / pitoisuus talvella, Y-akseli) ja suhteelliset ravinnesisällöt (tietyn raviteen pitoisuus\*neulasmassa syyskuussa / pitoisuus\*neulasmassa talvella, X-akseli) vuosina 2002 ja 2004, PK-lannoitetut koealat. Vertailukohtana (suhdeluku 100) = syyskuu.

Figure 5. The relative needle nutrient concentrations (= the ratio of certain nutrient concentration in September and the following winter, Y-axis) and relative nutrient contents (= the ratio of certain nutrient content in September and the following winter, X-axis) in 2002 and 2004 with reference to the September (ratio of 100), PK-fertilised plots.

tai neulasista pois oli enää hyvin vähäistä. Myös Raition ja Merilän (1998) tutkimuksessa männyn uusien neulasten kuivamassa vakiintui syyskuuhun mentäessä.

Kasvukauden lämpö- ja kosteusolojen on todettu vaikuttavan puiden ravinnetilaan ja osaksi määräävän puiden ravinnepitoisuuksien vaihtelua (Leaf ym. 1970, van den Driessche 1974, Helmisaari 1990). Tässä tutkimuksessa vuoden 2002 kasvukausi oli viileämpi ja sateisempi kuin vuoden 2004 kasvukausi. Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien mittaustiedoista laskettu vuoden 2004 kasvukauden tehoisa lämpösumma oli

kokeesta riippuen 106–146 d.d.-yksikköä (10–14 %) suurempi kuin kasvukaudella 2002. Pitkän ajan normaaliarvoihin verrattuna molemmat tutkimusvuodet olivat lämpimiä. Kasvukauden 2002 lämpösumma oli kokeiden keskiarvona 133 d.d.-yksikköä (12 %) ja vuoden 2004 lämpösumma 261 d.d.-yksikköä (21 %) suurempi kuin keskimäärin vuosina 1950–80. Lämmin kasvukausi merkitsee yleensä tehostuvaa turpeen typen mineralisaatiota, millä voi olla vaikutusta paitsi puiden typpitalouteen myös muiden ravinteiden ottoon.

Neulasten ravinnepitoisuuksien kehittyminen syyskauden aikana oli samantyyppinen molempina tutkimusvuosina 2002 ja 2004. Myös ravinnepitoisuuksien erot jäivät vuosien välillä pieniksi. Neulasten P-pitoisuus kuitenkin kohosi lannoitetuilla koealoilla vuosien välillä — ravinnelisyksen vaikutus puiden fosforitalouteen alkoi näkyä vasta 2–4 vuoden kuluttua lannoituksesta. Myös N-pitoisuus kohosi, mutta ei merkittävästi. Kun neulasten kuivamassa vuosien 2002 ja 2004 välillä toisaalta pieneni, jäi sääolojen merkitys puiden ravinnetaloudelle tässä aineistossa epäselväksi. Tulokset olisivat voineet olla erilaisia, mikäli aineistoon olisi sisältynyt tätä selvästi kylmempiä tai lämpimämpiä kasvukausia.

Metsänlannoitusta koskevissa käytännön työohjeissa neulasnäytteet suositetaan otettavaksi talvikaudella joului–maaliskuun välisenä aikana. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella ojitusalueennakkoiden ravinnetilä voidaan määrittää neulasanalyytisesti jo syyskuussa kerätyistä neulasnäytteistä. Syyskuun alussa havaitut myöhäissyysy korkeammat K-pitoisuudet toisaalta viittaavat siihen, että puiden talveentuminen voi ravinnetilasta riippuen olla tuolloin vielä kesken. Näin ollen neulasnäytteiden kerääminen on luotettavinta ajoittaa lokakuun alun ja maaliskuun lopun väliseen kauteen.

## Kirjallisuus

- Bauer, G., Schulze, E.-D. & Mund, M. 1997. Nutrient contents and concentrations in relation to growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* along a European transect. *Tree Physiology* 17: 777–786.
- Chapin, F. S. & Kedrowski, R. A. 1983. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus fractions and autumn retranslocation in evergreen and deciduous taiga trees. *Ecology* 64(2): 376–391.
- Finér, L. 1994. Variation in needle nutrient concentrations in the crown of Scots pine on peatland. *Silva Fennica* 28(1): 41–51.
- Haase, D. L. & Rose, R. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *Forest Science* 41(1): 54–66.
- Halonen, O. & Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 s.
- Helmisaari, H.-S. 1990. Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 177–193.
- Helmisaari, H.-S. 1992a. Spatial and age-related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. *Silva Fennica* 26: 145–153.
- Helmisaari, H.-S. 1992b. Nutrient translocation within the foliage of *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology* 10: 45–58.
- Humphreys, F.R., Turner, J. & Watt, A. J. 1971. Annual foliar nutrient level variation in *Pinus radiata* over a nine year period. Teoksessa: Boardman, R. (toim.). *The Australian forest-tree nutrition conference. Contributed Papers: 258–270.* Forestry and Timber Bureau. Canberra.
- Hytönen, J. & Kokko, A. 2006. Mäntyjen ravinnetilä Kala- ja Pyhäjokilaaksojen suometsissä vuosina 1998–2005. Raportti Toimeentuloa metsästä -projektille. 12 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. 2007. Metsätalouden Kehittämiskeskus Tapio 26/2007. 50 s.
- Kaunisto, S. 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. *Suo — Mires and Peat* 43: 45–62.
- Kaunisto, S. 1997. Suometsien kasvu turvattava metsänparannus- ja metsänhoitotomilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedote* 27.11.1997.
- Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2002. Estimating potassium nutrition of Norway spruce with

- needle analysis during different seasons. *Suo — Mires and Peat* 53: 17–26.
- Kriivan, V., Lüttge, U. & Schaldach, G. 1986. Profile von Makro- und Mikromineralnährstoffen in gesunden und kranken Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) auf verschiedenen Standorten in Südwestdeutschland. *Angewandte Botanik* 60: 373–389.
- Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 251–260.
- Laiho, R. & Alm, J. 2005. Turvemaiden ravinnevarat. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti: 40–45.
- Laine, J. & Vasander, H. 2005. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. ISBN 952-5118-70-3. 110 s.
- Leaf, A.L., Berglund, J.V. & Leonard, R.E. 1970. Annual variation in foliage of fertilized and/or irrigated red pine plantations. *Soil Science Society of America Journal* 34: 677–682.
- Leyton, L. & Armson, K. A. 1955. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of Scots pine. *Forest Science* 1(3): 210–218.
- Mead, D.J. & Will, G.M. 1976. Seasonal and between-tree variation in the nutrient levels in *Pinus radiata* foliage. *New Zealand Journal of Forestry Science* 6: 3–13.
- Moilanen, M. 1992. Suopuustojen ravinnetila Pohjois-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Valtanen, J, Murtovaara, I. & Moilanen Merja (toim.) Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 419: 58–65.
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu. *Folia Forestalia* 820. 37 s.
- Moilanen, M., Pietiläinen, P. & Issakainen, J. 2005a. Long-term effects of apatite and biotite on the nutrient status and stand growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands. Tiivistelmä: Apatiitin ja biotiitin pitkäaikaisvaikutukset männyn tilavuuskasvuun ja neulasten ravinnepitoisuuksiin ojitetuilla rämeillä. *Suo — Mires and Peat* 56(3): 115–128.
- Moilanen, M., Piironen, M-L & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat Metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Piironen, M-L & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35–54.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., and Hokkanen, T.J. 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management*, Volume 171, Issue 3, 15 November 2002: 321–338.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökkä, H. & Issakainen, J. 2005b. Wood ash as a fertilizer on drained mires - growth and foliar nutrients of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 35(11): 2734–2742.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittatiedoista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. *Silva Fennica* 17(2): 143–160.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74 (5): 1–58.
- Pietiläinen, P., Poikolainen, J. & Lähdesmäki, P. 1991. Long-term monitoring of nitrate reductase activity in the needles of *Pinus sylvestris* in the context of environmental temperature and ground frost as an indicator of nitrogen balance in N. Finland. *Annales Botanici Fennici* 28:131–134.
- Pietiläinen, P., Veijalainen, H. & Lähdesmäki, P. 2000. Seasonal variation in foliar nutrient concentrations in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands growing on drained mires. *Aquila Ser. Bot.* 38: 29–38.

- Puustjärvi, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Summary: The analysis of needles as an exponent for the need of fertilization of Scot pine. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 1: 26–28.
- Raitio, H. 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysin valossa. Teoksessa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.). Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 527: 25–34.
- Raitio, H. & Merilä, P. 1998. Seasonal variation in the size and chemical composition of Scots pine and Norway spruce needles in different weather conditions. European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems. Level II, Finland. Technical Report, Finnish Forest Research Institute. 44 s.
- Raitio, H. & Sutinen, S. 1994. Männyn neulasten rakenteen ja ravinnepitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelu. Teoksessa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.). Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 527: 175–184.
- Rautjärvi, H., Kaunisto, S. & Tolonen, T. 2004. The effect of repeated fertilizations on volume growth and needle nutrient concentrations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on a drained pine mire. *Suo — Mires and Peat* 55(2): 21–32.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset — Metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 688. 44 s.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized, drained peatlands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 588. 27 s.
- Silfverberg, K. & Hartman, M. 1999. Effects of different phosphorus fertilisers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. *Silva Fennica* 33(3): 187–206.
- Silver, T. & Saarinen, M. 2001. Terveyslannoituskohteen määrittely turvemaidilla. Summary: Determining the need of repairing fertilization on drained peatlands. *Suo — Mires and Peat* 52(3–4): 115–120.
- Tamm, C.O. 1955. Studies on forest nutrition. I. Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 45(5): 1–34.
- Timmer, V. R. & Ray, P. N. 1988. Evaluating soil nutrient regime for black spruce in the Ontario Claybelt by fertilization. *Forestry Chronicle* 64: 40–46.
- Tomppo, E. 2005. Suomen suometsät 1951–2003. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 25–38.
- Van den Driessche, R. 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review* 40(3): 347–394.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies in Scots pine on drained peatlands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 92 (4).32 s.
- Veijalainen, H. 1992. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987–88. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 408. 27 s.
- Veijalainen, H. 2001. Nutritional diagnosis of Norway spruce stands growing on drained peatlands using foliar analysis. *Suo* 52(3–4): 89–98.
- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim raport. *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- Wells, C. G. & Metz, L.J. 1963. Variation in nutrient content of Loblolly pine needles with season, age, soil and position on the crown. *Soil Science Society of America Journal* 27: 90–93.
- White, D.P. 1954. Variations in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pine needles with season, grown position and sample treatment. *Soil Science Society of America Journal* 18(3): 326–330.
- Will, G. M. 1957. Variation in the mineral content of Radiata pine needles with age and position in tree crown. *New Zealand Journal of Science and Technology* 38 B: 699–706.

## Summary: Estimating nutrient status of Scots pine on drained peatlands with needle analysis — differences in foliar nutrient concentrations between autumn and winter seasons

### Introduction

In contrast to mineral forest soil, the peat in mires contains an abundance of nitrogen, but a low amount of mineral nutrients. Stand growth in drained peatlands varies greatly depending on the site type, geographical location, as well as the site's fertility and water budget. Deficiencies in mineral nutrients (P, K) are most common on former treeless mires and sparsely wooded thick-peated drained peatlands.

Nutrient deficiencies in peatland stands can be determined by leaf or needle nutrient analysis (Paarlahti et al. 1971, Reinikainen et al. 1998, Veijalainen 2001). In practical forestry, needle analysis has been utilised particularly in assessing nutrient deficiencies and the need for fertilisation of Scots pine stands on drained peatlands.

The nutrient status of trees varies with the season. At the start of the growing season, during early summer, needle nutrient concentrations are at their lowest. Towards the end of the growing season, the concentrations rise and stabilise to a level at which they stay for several months during the winter (eg. Tamm 1955, Helmisaari 1990, Pietiläinen et al. 2000). The deficiency limits for different nutrients have been defined using needle samples taken in the dormant period, generally between December and March (Paarlahti et al. 1971, Veijalainen 2001), thus eliminating possible errors caused by rapid changes in nutritional status during the growing season.

This recommendation of collecting needle samples in the winter causes difficulties in applying needle analysis in operational scale forestry. The collection period is limited to a short time in the winter, and the often difficult snow and weather conditions, as well as the low number of daylight hours are limiting factors in work efficiency and access to the sites. Therefore, it is important to discern whether it is possible to assess the nutrient status of trees by needle analysis also outside the dormant period.

The objective of this study was to analyse the changes in the nutritional status of Scots pine that happen between autumn (September–October) and the following winter (December–March). The aim was to learn whether needle samples taken already in September or October give accurate results regarding the nutritional status of the tree.

### Material and methods

The material was collected from six experimental stands in Western and Northern Finland (Figure 1). The sites were located on thick-peated drained peatlands (Table 1). The stands were Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with a height of 6–10 m, with the occasional Downy birch (*Betula pubescens*). In 1999, each of the sites were divided into six plots (area 0.08–0.24 ha depending on the experiment), of which three were fertilised in 2000 with a PK fertiliser (450 or 500 kg ha<sup>-1</sup>), and three were left unfertilised as the control plots. The treatment contained 40–50 kg ha<sup>-1</sup> of phosphorus (P), 70–80 kg ha<sup>-1</sup> of potassium (K) and 0.9–1.0 kg ha<sup>-1</sup> of boron (B). The needle samples were collected in 2002 and 2004 from all six plots in each experiment and from the same Scots pine individuals, on three occasions: in September, October and between December and March (Kuva 2). A sample from one plot consisted of needles from the youngest lateral shoots (1–2 shoots per tree) from the previous summer, collected from ten dominant trees. From the samples (216 in total), the total concentrations of the following nutrients were determined: nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and boron (B). The dry needle mass (for 100 needles) was also measured, which allowed for monitoring the changes in the needles' nutritional content.

### Results and conclusions

The experimental stands varied in terms of nutritional conditions. The nutrient status of the unfertilised trees was, according to needle analysis, good or satisfactory only in one of the stands — the rest suffered from slight or major lack of P and K. In fertilised plots (after 2–4 years of the application) the nutrient status had improved in all stands, and needle P, K and B concentrations were significantly higher than on unfertilised control plots.

The differences in needle nutrient concentrations and dry mass between samples taken from the same trees in autumn and winter remained relatively minor, in both years of study (Tables 4 and 5). The correlation between the concentrations in autumn and winter samples was high for all nutrients (Pearson  $p < 0.01$ ) (Table 6, Figure 3). The needle K and Cu concentrations were significantly higher in the September samples, compared to October and the following winter. On unfertilised plots, needle K concentration remained nearly the same regardless of the season — changes were visible only on fertilised plots (Figure 2).

Between September and the following winter, changes in needle nutrient concentrations and contents were relatively minor, but noticeable nonetheless. The relative Ca and Mn concentration and content in unfertilised trees increased

approximately 10 %, while Cu and B concentration and content was reduced by 10–20 % between autumn and winter of 2002 (Figure 4). For Mn and Cu, the results were similar also in 2004. As the needle dry mass increased by approximately 10 %, the result was that the needle nutrient content had increased (except for Cu). In fertilised trees, needle Mn concentration and content increased between September and the following winter, both in 2002 and 2004 (Figure 5). In addition, during the hardening phase before winter, Ca concentration increased in 2002, and B concentration increased in 2004, while K and Cu concentrations and contents were reduced.

In current forestry recommendations for fertilisation, needle samples for analysing tree nutrient status are recommended to be collected between December and March, that is during the dormant season, when there are no rapid changes in nutritional status characteristic of the growing season. However, this study shows that the nutritional status of Scots pine on drained peatlands in Western and Northern Finland can be determined by needle analysis from samples collected already in September. On the other hand, higher concentrations of K that were observed at the beginning of September indicate that the tree may, depending on the nutritional status, still be in its hardening phase, and that a more accurate analysis will be gained with samples collected between the start of October and the end of March.

(Received 1.4.2008; Accepted 30.10.2008)