

Männyn ravinnetilan pitkäaikainen vaihtelu ojitetuilla rämeillä – koesarjan esittely ja alustavia tuloksia

Mikko Moilanen ja Jyrki Hytönen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Moilanen, Mikko ja Hytönen, Jyrki			
Nimeke Männyn ravinnetilan pitkäaikainen vaihtelu ojitetuilla rämeillä – koesarjan esittely ja alustavia tuloksia			
Vuosi 2014	Sivumäärä 40	ISBN 978-951-40-2482-5 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Pohjois-Suomen alueyksikkö / Hanke 3633			
Hyväksynyt Raija Laiho, professori, 17.6.2014			
Tiivistelmä <p>Tutkimustieto ojitusaluemetsien ravinnetilan luontaisesta muutoksesta ja ravinnevarojen riittävydestä pitkällä aikavälillä on vähäinen. Suomensien ravinnetilaa ja kasvukykyä voidaan seurata pitkäaikaisilla maastokokeilla. Vuosittaisilla mittauksilla ja analyysillä puiden ravinnetilan ojituksen tai lannoituksen jälkeiset ajalliset muutokset voidaan erottaa muiden kasvupaikka- ja ympäristötekijöiden (mm. sääolot) aiheuttamista muutoksista. Parhaiten tämä toteutuu, kun ravinnemääritykset tehdään samoissa metsiköissä – jopa samoissa puuyksilöissä – usean vuosikymmenen ajan.</p> <p>Metsäntutkimuslaitos perusti vuosina 1999–2000 ojitusaluemetsiin kenttäkoesarjan, jossa seurataan puiden ravinnetilan vaihtelua ja selvitetään ravinnetilaan pitkällä aikavälillä vaikuttavia puusto-, kasvupaikka- ja ympäristötekijöitä. Seitsemässä puolukkaturvekankaan (PtkgII) metsikössä tarkastellaan alueellisuuden, kasvukauden aikaisten säätekijöiden ja lannoituksen vaikutusta männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin ja puiden kasvuun. Koemetsiköistä eteläisin sijaitsee Parkanossa ja pohjoisin Kolarissa. Puiden ravinnetilan kehitystä on tarkoitettu seurata päätehakkuuseen saakka noin vuoteen 2030. Harvennushakkuut ja kunnostusojitukset ajoitetaan yhtäaikaiksi kaikissa metsiköissä.</p> <p>Tavoitteena on selvittää ravinnetilan vaihteluun vaikuttavia tekijöitä, kun puusto ikääntyy ja turvekasvualustan ominaisuudet muuttuvat vähitellen. Pitkä aikasarja mahdollistaa myös ilmastomuutoksen vaikutuksen tarkastelun. Tässä työraportissa esitellään tulokset turpeen ravinnevaroista sekä puuston ravinnetilan ja kasvun vaihtelusta koesarjan perustamisen jälkeisellä ensimmäisellä 10-vuotisjaksolla.</p> <p>Tulosten mukaan kasvupaikan ravinnevarat ja puiden ravinnetila vaihtelevat samankin turvekangastyypin sisällä huomattavasti. Osalla tämän koesarjan metsiköistä puiden ravinnetila on tyydyttävä ja näyttää säilyvän sellaisena koko puuston kasvatusajan. Osassa metsiköistä esiintyi ravinnepuutoksia ja ravinteiden epätasapainoa. Näillä kohteilla lannoitus lisäsi puuston kasvua ja kunnostuslannoitus näyttää välttämättömältä toimenpiteeltä puuston tasapainoiseen kehityksen turvaamiseksi.</p>			
Asiasanat Suometsät, ravinnevarat, ravinnepuutokset, lannoitus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp301.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot mikko.moilanen@metla.fi			
Muita tietoja Taitto: Irene Murtovaara			

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Aineisto ja menetelmät	7
2.1 Tutkimusmetsiköt ja koejärjestelyt.....	7
2.2 Turvenäytteiden keruu ja turpeen maatuneisuusluokitus.....	9
2.3 Neulasnäytteiden keruu ja ravinnepuutosten silmävarainen arviointi	9
2.4 Puustomittaukset.....	11
2.5 Aineiston käsittely	12
3 Tuloksia	12
3.1 Turpeen ravinnetunnukset	12
3.2 Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu ja ravinnepuutokset.....	14
3.3 Neulasten ravinnepitoisuudet ja kasvukauden lämpöolot.....	16
3.4 Lannoitusvaikutukset.....	18
3.4.1 Neulasten ravinnepitoisuudet	18
3.4.2 Ravinnepuutosoireiden silmävarainen arviointi	21
3.4.3 Puuston kasvu.....	22
4 Tulosten tarkastelu	24
Kirjallisuus.....	25
Liitteet	30

1 Johdanto

Maaperän viljavuus ja ilmasto-olot vaikuttavat keskeisesti metsäpuiden tuotoskykyyn. Lämpötilan ja sademäärän vuotuinen ja kasvukauden aikainen vaihtelu vaikuttaa myös puiden ravinnetilaan ja sen vuotuisen ja kasvukauden aikaiseen vaihteluun. Puiden neulasten ja lehtien ravinnepitoisuuksia käytetään yleisesti latvuskunnon ohella kun arvioidaan metsien elinvoiman pitkän aikavälin muutoksia (mm. Lyussaert ym. 2004, Lindgren ym. 2007). Puuston ravinnetila on määritetty mm. yleiseurooppalaisissa kangasmetsien terveydentilan arviointiin liittyvissä tutkimuksissa (mm. Thelin ym. 1998, Mellert et al. 2004, Luysaert ym. 2005, Merilä ym. 2007, Jonard ym. 2009). Näissä tutkimuksissa on havaittu mm. typen (N) pitoisuuden kohonneen ja fosforin (P), kaliumin (K), magnesiumin (Mg) ja kaliumin (K) pitoisuuksien alentuneen ajan myötä. Muutosten taustalla ovat olleet teollisuuslaitosten aiheuttamat ilman epäpuhtaudet ja mahdollisesti myös kasvihuoneilmaston voimistuminen. Puiden huonon kunnon on osoitettu olevan yhteydessä ravinnepuutoksiin (Raitio 1990, Veijalainen 1992).

Metsikön ravinnetila voidaan määrittää neulas- tai lehtinäytteistä analysoitujen alkuainepitoisuuksien ja ravinteiden keskinäisten riippuvuussuhteiden avulla. On mahdollista diagnosoida tietyn ravinteen absoluuttinen tai suhteellinen puutos muihin ravinteisiin nähden, samoin yksittäisten ravinteiden liiallinen saatavuus. Havupuilla neulasten ravinnepitoisuudet osoittavat puiden tietynhetkisen ravinnetilan ja kasvupotentiaalin. Neulasanalyysijä on tehty yleisesti jo 1950-luvulta alkaen (esim. Leyton & Armson 1955, White 1954, Tamm 1955, Will 1957) ja se on ollut laajalti käytössä standardimenetelmänä niin kivennäis- kuin turvemaillakin. Männyn ja kuusen tärkeimmille ravinteille (N, P, K, B) on voitu määrittää kynnysarvot, joita pienemmillä pitoisuuksilla puilla on ao. ravinteen puutos (Paarlahti et al. 1971, Bracke 1979, Reinikainen ym. 1998, Veijalainen 1984, 1992, 2001, Sarjala & Kaunisto 2002). Metsänkasvatusta varten ojitetuilla turvemailla on neulasanalyysiä niin ikään käytetty yleisesti puiden ravinnetilan ja lannoitustarpeen määrittämiseen (mm. Moilanen ym. 2005, Pietiläinen ym. 2005, Moilanen & Hökkä 2008).

Puiden ravinnetilassa esiintyy huomattavaa vuosien ja vuodenaikojen välistä vaihtelua (mm. White 1954, Tamm 1968, Mead & Will 1976, Chapin & Kedrowski 1983, Helmisaari 1990, 1992a, 1992b, Raitio 1994, Bauer ym. 1997), mikä aiheuttaa tulkintaongelmia tietynä ajankohdana tehdyn neulasanalyysin tulosten arviointiin. Esimerkiksi Helmisaaren (1990) tutkimuksessa viileän alkukesän jälkeen syntyneiden neulasten kuivamassa ja neulaspituus oli merkittävästi laskenut ja neulasten N-, P- ja K-pitoisuudet kohonneet verrattuna sääoloiltaan lämpimämpinä kasvukausina syntyneiden neulasten vastaaviin arvoihin verrattuna.

Kokonaisravinnemäärinä laskien turvemaissa on runsaasti typpeä, mutta vähän fosforia, kaliumia ja kalsiumia kivennäismaihin verrattuna Ravinnetasetarkastelut ovat osoittaneet, että suometsien puustoon voi kasvatusajalla sitoutua enemmän kaliumia ja booria kuin on turpeen pintakerroksessa (mm. Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998). Siten suometsissä voidaan perustellusti kantaa huolta tiettyjen ravinteiden riittävydestä. Esimerkiksi Moilasan ym. (2010) tutkimuksessa männyn neulasten K-pitoisuus oli alkuperältään nevaisilla ja paksuturpeisilla soilla sitä alempi, mitä enemmän ojituksesta oli kulunut aikaa.

Metsäojitetuilla soilla puiden ravinnetila on yhteydessä turvepaksuuteen ja suon alkuperäiseen päämuotoon (Silfverberg & Moilanen 2008, Moilanen ym. 2010). Kun turvekerroksen paksuus on enintään 30–40 cm, puut yleensä saavat kivennäisravinnetydennystä pohjamaasta (Saarinen 1997, Moilanen ym. 2010). Sitä vastoin paksuturpeisilla, alkuaan vähäpuustoisilla ja nevaisilla

soilla puiden kalium- ja fosforitila on yleensä heikompi ja ravinnepuutokset yleisempiä kuin alkuaan puustoisilla (nk. aidoilla) suotyypeillä ja niistä kehittyneillä turvekankailla (Saarinen 1997, Moilanen ym. 2010).

Ojitusalue metsien ravinnetilan kehittymisestä ja ravinnevarojen riittävydestä pitkällä aikavälillä tiedetään vielä melko vähän. Westman ja Laiho (2003) havaitsivat ojituksen jälkeisenä 75 vuotena turpeen ravinnevaroissa 30 cm:n kerroksessa tapahtuneen vain vähän muutoksia. Soiden turpeeseen sitoutuneiden ravinnevarojen muutosten seurannassa ongelmia aiheuttaa mm. ojituksen jälkeen tapahtuva hidas turpeen painuminen ja tiivistyminen, joka näkyy turpeen tiheyden kasvuna. Turpeen painumisesta johtuen vanhemmilta ojituskohteilta otettu näyte sisältää turvetta, joka ojitushetkellä oli nykyistä näytteenotto syvyyttä syvemmillä.

Suometsien kasvukyvyn seurannassa tarvitaan pitkäaikaisia kokeita, jotta puiden ravinnetilassa ojituksen tai lannoituksen jälkeen ajalliset muutokset voidaan erottaa muiden kasvupaikka- ja ympäristötekijöiden (mm. sääolot) aiheuttamista muutoksista. Parhaiten tämä toteutuu, kun ravinneääritykset tehdään samoissa metsiköissä – jopa samoissa puuyksilöissä – usean vuosikymmenen ajan. Vaikka ojitusalue metsien ravinnetilaa tutkimuksia on tehty runsaasti viimeisten vuosikymmenten aikana, tietous puiden ravinnetilan vaihtelusta lämpö- ja sadesuhteiltaan erilaisina kasvukausina on riittämätöntä. Korkalaisen et al. (2007) tutkimuksessa puiden typen saatavuus näytti olevan yhteydessä kasvukauden lämpösummaan: mitä korkeampi oli alueen lämpösumma, sitä suuremmat olivat neulasten typpiärvot. Kiinnostavaa onkin selvittää, näkyykö 2000-luvun lämpimien kesien vaikutus kohonneina typpipitoisuuksina puiden neulasissa. Ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa merkittävästi suometsien ravinnetilaan. Esim. lämpösumman nousu lisäänee typen mineralisaatiota ja siten puiden kasvua, mutta toisaalta voi myös johtaa ravinnetilan epätasapainoon.

Pitkäaikainen puiden ravinnetilan seuranta tuottaa tietoa vuosien välisen vaihtelun laajuudesta ja toimii vertailuaineistona tietynä ajankohtana tehtyjen ravinneääritysten tulosten tulkinnaissa. Käytännön metsätalous kokee suometsien lannoitustarpeen määrityksen ongelmalliseksi ja kaipaa täsmällisempää tietoa lannoitusvasteen suuruuteen vaikuttavista tekijöistä ravinneoloiltaan erilaisilla kasvupaikoilla. Ravinnetilan määritys tarkentuu, mikäli tietyltä alueelta tietynä ajankohtana tehdyn ravinneäärityksen tulkinnaissa voidaan hyödyntää taustatietoa puuston ravinnetilan yleisestä vaihtelusta ko. ajankohtana.

Metsäntutkimuslaitos perusti vuosina 1999–2000 ojitusalue metsiin kenttäkoesarjan, jossa seurataan puiden ravinnetilan vaihtelua ja selvitetään ravinnetilaan pitkällä aikavälillä vaikuttavia puusto-, kasvupaikka- ja ympäristötekijöitä. Seitsemässä turvemaan männikössä tarkastellaan alueellisuuden, kasvukauden aikaisten säätekijöiden ja lannoituksen vaikutusta männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin ja puiden kasvuun. Puiden ravinnetilan kehitystä seurataan päätehakkuuseen saakka noin vuoteen 2030. Harvennushakkuut ja kunnostusojitukset ajoitetaan yhtäaikaiksi kaikissa metsiköissä. Tavoitteena on selvittää ravinnetilan vaihteluun vaikuttavia tekijöitä, kun puusto ikääntyy ja turvekasvualustan ominaisuudet vähittäin muuttuvat. Pitkä aikasarja mahdollistaa myös ilmastomuutoksen vaikutuksen tarkastelun.

Koemetsiköistä kerättyjä ja analysoituja neulasnäytteitä on aiemmin hyödynnetty Moilasan ja Pietiläisen (2008) tutkimuksessa, jossa selvitettiin puiden ravinnetilan vaihtelua niiden talveentumisen yhteydessä. Myös Hytönen ja Wall (2006) käyttivät näistä metsiköistä otettuja neulasnäytteitä tutkiessaan männyn neulasten värisävyjen ja ravinnepitoisuuksien keskinäistä yhteyttä. Tässä työraportissa esitellään alustavia tuloksia puuston ravinnetilan ja kasvun vaihtelusta koesarjan perustamisen jälkeisellä ensimmäisellä 10-vuotijaksolla. Lisäksi tarkastellaan puiden

ulkoisten ravinnepuutosoireiden yhteyttä neulasten ravinnepitoisuuksiin ja turpeen ravinnevaroihin. Samoin kuvataan lannoituksen aiheuttamia muutoksia puiden ravinnetilassa ja kasvussa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusmetsiköt ja koejärjestelyt

Koemetsiköistä eteläisin sijaitsee Parkanossa ja pohjoisin Kolarissa (kuva 1, taulukko 1, liite 3). Viisi niistä sijoittuu Pohjanmaan ja Peräpohjolan aapasuovyöhykkeisiin ja kaksi läntisen Suomen keidassuovyöhykkeelle (Ruuhijärvi 1983, 1988). Korkeusasema vaihtelee metsiköstä riippuen 23–160 metriä merenpinnan yläpuolella ja keskimääräinen kasvukauden lämpösumma 913–1275 d.d.-yksikköä (keskimäärin vuosina 1999–2010). Ennen 1930–1970-luvuilla tehtyjä ojituksia tutkimuskohteet ovat olleet sekatyypin rämeitä, joissa on esiintynyt mosaiikkina puutonta nevapintaa ja puustoista mätäspintaa. Turvekerroksen paksuus on kaikissa kohteissa vähintään 70 cm. Suotyypiluokittelussa ne edustavat varsinaista sararämettä (VSR), osittain myös ruohoista sararämettä (RhSR) tai tupasvillasararämettä (TSR) (Vasander & Laine 2008, Laine ym. 2012). Rovaniemen kohde lienee ojitushetkellä ollut lähes puutonta varsinaista saranevaa (VSN) ja Parkanon kohde tupasvillarämettä (TR). Kuivumissukcession myötä suot ovat muuttuneet tai muuttumassa suurelta osin II-tyyppin puolukaturvekankaiksi, osin mustikkaturvekankaaksi tai varputurvekankaaksi (Laine & Vasander 2005, Vasander & Laine 2008, Laine ym. 2012) (taulukko 1). Kyseisen tyyppiset vähäpuustoiset suot olivat yleisiä käytännön ojituskohteina 1960- ja 1970-luvuilla (Keltikangas ym. 1986).



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti.

Valtapuusto oli 2000-luvun alussa 6–10 m mittaista männikköä (*Pinus sylvestris* L.), sekapuuna esiintyi hieskoivua (*Betula pubescens* Ehrh.) ja/tai kuusta (*Picea abies* (L.) Karst.). Puuston käsittelystä oli kokeita perustettaessa kulunut vähintään 10 vuotta. Kohteilla ei esiintynyt välitöntä kunnostusojituksen tai harvennuksen tarvetta, eikä metsiköitä ollut aiemmin lannoitettu.

Seurantajakson alussa vuosina 1999–2000 tehty puuston ravinnetilan silmävarainen tarkastelu osoitti koemetsiköiden välillä esiintyvän huomattavaa vaihtelua. Selviä kaliumin ulkoisia puutosoireita – alikasvoskuusten neulasten kellertävä värisävy ja männyn neulasten keltakärkisyyttä – havaittiin etenkin Muhoksen, Rovaniemen ja Kolarin metsiköissä. Liperin ja Keminmaan metsiköissä puuden ulkoasu oli hyvä eikä selviä ravinteiden puutosoireita havaittu. Fosforin puutosoireet näkyivät selvimmin Muhoksella. Terveystilaltaan puustojen arvioitiin Muhosta lukuun ottamatta olevan tyydyttäviä tai hyviä. Rovaniemellä havaittiin hyönteisten ja sienten (ytimennävertäjä, karistesienet) aiheuttamaa neulaskatoa. Liperissä esiintyi vuosina 2004–2008 männyn harmaakaristetta.

Vuosina 2010–2011 tehdyn puuston harvennushakkuun yhteydessä tehostettiin kuivatusta perkaamalla sarjaojastot.

Koejärjestelyssä käytettiin arvottujen lohkojen menetelmää. Kuhunkin metsikköön rajattiin kuusi koealaa, joista kolme lannoitettiin fosforia, kaliumia ja booria sisältävällä Metsän PK-lannoksella (450 tai 500 kg ha⁻¹) ja kolme koealaa jäi lannoittamattomiksi vertailualoiksi. Koealojen pinta-ala vaihteli metsiköstä riippuen välillä 0,08–0,21 hehtaaria. Lannoituskäsittely sisälsi fosforia 40–45 kg ha⁻¹, kaliumia 70–80 kg ha⁻¹ ja booria 0,9–1,0 kg ha⁻¹. Lannoite levitettiin Sievin (lokakuu 2010) ja Liperin (kesäkuu 2001) kokeita lukuun ottamatta touko-kesäkuussa 2000.

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

	Parkano	Liperi	Sievi	Muhos	Keminmaa	Rovaniemi	Kolari
Sijainti (yhtenäiskoordinaatisto)	6885, 277	6942, 360	7091, 374	7199, 457	7305, 403	7372, 486	7473, 363
Korkeus merenpinnasta, mpy	143	118	113	72	23	160	153
Lämpösumma, d.d.	1275	1175	1152	1195	1077	982	913
Turvekangastyypin ¹⁾	Ptkgll Vatkg	Ptkgll	Ptkgll	Mtkgll Ptkgll	Ptkgll Ptkgl	Ptkgll	Mtkgll Ptkgll
Turpeen paksuus, m	>1,5	1,1–7,1	0,7–1,1	> 1,5	> 1,0	1,1–1,6	0,7–1,0
Ojitusvuosi	1975	1970-luku 1984	1982	1977	1930-luku, 1974	1988	
Puuston valtapituus, m	6–7	9–10	8–9	7–8	8–9	9–10	7–8
Lannoitusajankohta ²⁾	13.6.2000	7.6.2001	9.10.2000	7.6.2000	26.6.2000	19.5.2000	7.6.2000

¹⁾ Turvekangastyypin kuvaus ks. Laine & Vasander (2005) ja Laine ym. (2012)

²⁾ Metsän PK-lannos (9% P, 16% K, 0.2% B) 450 kg/ha (pl. Parkano 500 kg/ha).

2.2 Turvenäytteiden keruu ja turpeen maatuneisuusluokitus

Turvenäytteet kerättiin kaikista metsiköistä kokeita perustettaessa vuosina 1999–2001 ja uudelleen vuonna 2011. Koealoittainen näyte koostui 10 osanäytteestä, jotka otettiin suon tasapinoilta, erikseen raakahumuskerroksesta ja sen alla olevasta turpeesta (syvyydet 0–10 cm ja 10–20 cm). Pinnanäytteen raakahumuksesta poistettiin elävä kasvillisuus näytteenoton yhteydessä ja raakahumuksen paksuus mitattiin cm:n tarkkuudella (kuva 2). Näytteenottimen suupinta-ala oli 24–26 cm², jolloin 10 cm:n kerroksesta otetun koealaa edustavan kokoomanäytteen tilavuus oli n. 2,5 litraa. Näytteenottopisteet sijoitettiin neulasnäytepuiden läheisyyteen (Liperissä 1–2 metrin ja Sievissä 0,3–1,0 metrin etäisyydelle puun tyvestä). Ojamilta tai ojamaiden välittömästä läheisyydestä (3–5 m) näytteitä ei kerätty. Turvenäytteiden ottokohdista mitattiin turpeen paksuus (cm). Turpeen maatumis- ja ravinnetunnusten muutosten selvittämiseksi näytteet on tarkoitettu kerätä myös jatkossa 10 vuoden välein vuoteen 2030 saakka.



Kuva 2. Turvenäyte Liperistä 30.5.2001. Maaprofiili näytteenottimessa (vasemmalta oikealle): elävä sammal, raakahumus ja kaksi 10 cm:n näytekerrosta.

2.3 Neulasnäytteiden keruu ja ravinnepuutosten silmävarainen arviointi

Neulasnäytteet kerättiin vuosittain kaikista metsiköistä ajalla 1999–2010. Jokaiselle metsikön 6 koealalle merkittiin pysyviksi neulasnäytekoepuiksi 20 pää- ja lisävaltapuustoon kuuluvaa, vapaassa tilassa kasvavaa ja normaalin ulkoasun omaavaa mäntyä. Ojamailla tai niiden välittömässä vaikutuspiirissä (3–5 m) kasvavia puita ei kelpuutettu koepuiksi.

Puiden ravinnetila on perinteisesti määritetty puiden lepokaudella joulukuun ja maaliskuun välisenä aikana kerättyjen neulasnäytteiden avulla (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1977, Veijalainen 2001), vaikkakin uudet tutkimustulokset osoittavat jo lokakuussa otettujen näytteiden antavan luotettavan kuvan mäntyjen ravinnepitoisuuksista (Moilanen & Pietiläinen 2008). Lepokau-

della kerätyistä neulasista tehtyjä analyysyjä pidetään kasvukauden aikaisia luotettavampina osoittamaan puun ravinnepuutokset. Muina vuodenaikoina tehdyn ravinnemäärityksen tulkinta voi olla harhainen, koska neulasten ravinnepitoisuudet vaihtelevat etenkin kasvukauden kuluessa huomattavasti puiden sisäisen ravinnekierron vuoksi (Helmisaari 1990, Raitio & Merilä 1998, Pietiläinen ym. 2000, Kaunisto & Sarjala 2002, Moilanen & Pietiläinen 2008). Talveentumisen kynnyksellä puiden aineenvaihdunta ja nestevirtaukset hidastuvat ja ravinnepitoisuudet vakiintuvat tasolle, jolla ne säilyvät seuraavaan kevääseen saakka (mm. Tamm 1955, Helmisaari 1990, Pietiläinen ym. 2000). Tässä koesarjassa puiden ravinnetila on määritetty puiden lepokautena kerätyistä neulasnäytteistä.

Koealoittainen neulasnäyte koostui 10 puusta kerätyistä neulasista. Ensimmäisellä kerralla näytepuut valittiin em. 20 pysyvän koepuun joukosta arpomalla. Seuraavana vuonna näytepuista kahdesta ei enää otettu näytettä, vaan niiden tilalle arvottiin uudet kaksi puuta jäljelle jääneistä pysyvistä koepuista. Näytepuiden kierrätystä jatkettiin vuosittain, jotta puiden normaali kehitys ei häiriytyisi toistuvasta oksien katkonnasta. Viiden vuoden kuluttua vuorossa olivat taas kaikki alkuperäiset koepuut ja sama otos, josta keruu aloitettiin. Parkanon kokeella kuitenkin neulasnäytteet kerättiin samasta 10 puun otoksesta kolmen vuoden ajan peräkkäin, minkä jälkeen käyttöön vaihtuvat uudet 10 koepuuta seuraavaksi kolmen vuoden ajaksi.

Kukin neulasnäyte sisälsi 10 näytepuun edelliskesänä syntyneitä neulasia, jotka otettiin latvuksen kolmanneksi ylimmästä, mutta joskus ylimmästä tai toiseksi ylimmästä oksakiehkurasta etelän suuntaan kasvavien oksien kärkikasvaimista (yksi kasvain per puu). Näytteenotossa käytettiin 10–15 metrin pituisia hiilikuituista vapaa, jonka yläpäähän asennetuilla leikkaavilla saksilla näyteoksat pudotettiin maahan. Parkanon metsikössä, jossa puusto on kookasta ja latvuksen yläosa hankalasti tavoitettavissa, neulasotettiin 1–2 metrin matkalta puiden latvasta alaspäin. Puuston varttuessa jouduttaneen muissakin kohteissa jatkossa ottamaan neulasnäytteet vihreän latvuksen ylimmästä neljänneksestä. Näytekasvaimet irrotettiin oksista leikkurilla ja kerättiin muovi- tai paperipusseihin, joissa ne kuljetettiin laboratorioon ja joista neulasten kuivatuksen jälkeen irrotettiin analysoitavaksi. Kukin vuonna neulasnäytteitä kertyi yhteensä 42 kpl (7 koetta * 6 koealaa).

Vuodesta 2003 alkaen on neulasnäytteen keruun yhteydessä maastossa laskettu näytepuiden elävien neulasvuosikertojen määrä (yleensä puun 6. ylin oksakiehkura). Vuosina 2003–2009 tuoreista neulasnäytteistä arvioitiin puukohtaisesti ennen neulasten kuivaamista ja analysointia puiden ravinnetila ja ravinnepuutosten (K, P, B). Määritys tehtiin silmävaraisesti tarkastelemalla neulasten väriä ja ulkoasua (puutosoireiden kuvaus ks. Reinikainen ym. 1998). Koska neulasten värisävyvaihtelun tulkittiin heijastavan eroja lähinnä kaliumin saatavuudessa, arvioitiin tarkemmin vain K-puutosten ulkoisia oireita. Kahdesta nuorimmasta neulasvuosikerrasta tehtiin näytepuittain (10 kpl/koeala) ravinnetilan luokitus (taulukko 2):

Taulukko 2. Neulasten ravinnetilan arvioinnissa käytetty silmänvarainen luokitus.

Ei ravinnepuutosta

Ei normaalista poikkeavaa värisävyä (neulanen tumman tai vaalean vihreä) kasvaimen latvaosassa neulasten kärki kellastunut enintään 1 mm:n matkalta

Lievä K-puutos

Kasvainten latvaosassa neulasen kärki kellastunut 2–5 mm:n matkalta (enintään 10 % neulaspituudesta) ja/tai ruskettunut 1–2 mm:n matkalta. Muu osa neulasesta vihreä, eläviä neulasvuosikertoja 3–4

Kohtalainen K-puutos

Neulasen kärkiosa kellastunut 5–15 mm:n matkalta (enintään 30 % neulaspituudesta) ja/tai ruskettunut 2–5 mm:n matkalta. Muu osa neulasesta vaaleanvihreä, eläviä neulasvuosikertoja 2–3

Voimakas K-puutos

Neulasten kärkiosa keltainen tai ruskea yli 15 mm:n matkalta tai koko neulasten pituudelta, eläviä neulasvuosikertoja 1–2

Neulas- ja turvenäytteiden ravinnemääritykset tehtiin Metlan Muhoksen toimipaikan laboratoriossa. Analyysivaiheessa koealalta kerätyt osanäytteet yhdistettiin ja saadut tulokset edustavat siis koko koealaa. Näytteistä analysoituja alkuaineita ovat typpi (N), fosfori (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangaani (Mn), sinkki (Zn), kupari (Cu) ja boori (B). Laboratoriossa neulaset irrotettiin oksista suojakäsineitä käyttäen. Neulasnäytteet kuivattiin +70 °C:n lämpötilassa, minkä jälkeen Kjeldahl-menetelmällä hajotetuista näytteistä määritettiin kokonaisytyppi (N) spektrofotometrisesti, K-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- ja Cu-pitoisuudet atomiadsorptiospektrofotometrillä (AAS), B-pitoisuus atsometriini-H-menetelmällä ja P-pitoisuus vanadomolybdaattimenetelmällä (Halonen ym. 1983). Neulasten ravinnesisällön laskemiseksi punnittiin neulasten kuivamassa (100 kpl). Turvenäytteistä määritettiin pH (turve-vesisuspensio 1:2,5) ja maatuneisuus (von Postin luokitus 1–10). Pintaturpeen ravinnemäärät eri näytteenottokerroksissa laskettiin turvenäytteiden tilavuuspainon ja ravinnepitoisuuksien avulla.

2.4 Puustomittaukset

Kaikista neulasnäytekoepuista (20 puuta per koeala) mitattiin kokeen perustamisen yhteydessä pituus (dm) ja läpimitta (d1.3, mm). Vuosina 2010–2011 puustoa harvennettiin kaikissa metsiköissä. Hakkuun yhteydessä mitattiin sekä poistettava että jäävä puusto ja jäävät puut kartoitettiin myöhempiä mittauksia varten. Koealojen rajoille saran pituussuunnassa jätettiin reunavaikutuksen eliminoinniseksi 5 m:n vaippavyöhyke, jolta puita ei luettu. Ojien läheisyydessä kasvavat puut sen sijaan tulivat mittaukseen. Neulasnäytepuiden (20 kpl per koeala) lisäksi jäävästä puustosta valittiin eri läpimittaluokista koepuiksi 15 mäntyä, joista otettiin kairanlastu rinnankorkeudelta puiden sädekasvu määrittämistä vasten. Rinnankorkeusläpimittojen (d1.3, mm) ja pituuksien (cm) avulla määritettiin koepuiden runkotilavuus (Laasasenaho 1982). Kasvukairalla otettujen lustonäytteiden sädekasvumittausten ja puiden pituuskasvujen avulla selvitettiin koealoitain puuston runkotilavuuden kehitys lannoitusajankohdasta mittaushetkeen (Heinonen 1994). Lustomittaukset tehtiin lustomikroskoopilla 0.01 mm:n tarkkuudella.

2.5 Aineiston käsittely

Aineiston tilastollisissa analyysissä käytettiin korrelaatio- ja varianssianalyysiä. Keskiarvojen välisiä merkitsevyyksiä testattiin Bonferronin testillä. Neulasanalyysien tulosten perusteella määritettiin puuston ravinnetila raja-arvojen perusteella hyväksi, tyydyttäväksi tai heikoksi (Taulukko 3).

Neulasten ravinnepitoisuuksien lisäksi tarkasteltiin männyn neulasten pääravinnesuhteiden (N:P, N:K) ajallista ja metsiköiden välistä vaihtelua. Männyn neulasissa optimaalisena N:K-suhteena pidetään yleisesti 100:30–35 ja N:P-suhteena n. 100:10 (mm. Ingestad 1979, Brække 1994). Näitä suhteita käytettiin raja-arvona arvioitaessa puiden ravinnesuhteita ja niissä lannoituksen seurauksena tapahtuneita muutoksia.

Taulukko 3. Hyvää, tyydyttävää ja heikkoa ravinnetilaa osoittavat ravinnepitoisuudet männyllä (pitoisuudet neulasten kuiva-aineesta) (Paarlahti ym. 1971, Reinikainen ym. 1998).

	N, %	P, mg g ⁻¹	K, mg g ⁻¹	B, mg kg ⁻¹
Hyvä	> 1,5	> 1,6	> 4,5	> 10
Tyydyttävä	1,2–1,5	1,3–1,6	3,5–4,5	5–10
Heikko	< 1,2	< 1,3	< 3,5	< 5

3 Tuloksia

3.1 Turpeen ravinnetunnukset

Turvekerroksen paksuus oli vähintään 0,7 m kaikissa kohteissa. Liperissä turvetta oli poikkeuksellisen runsaasti, paikoin jopa yli 7 m. Pintamaan (= raakahumus ja turpeen ylin 20 cm:n kerros) happamuutta osoittava pH-luku oli Liperissä ja Parkanossa kerroksesta riippuen 3,65–4,07, kun se muilla kohteilla vaihteli välillä 3,97–5,02 (taulukko 4). Raakahumuksen maatuneisuus (von Post) vaihteli välillä 2–3 ja turpeen maatuneisuus välillä 4–5. Kohteiden välillä ei esiintynyt selviä eroja. Parkanossa ylin 10 cm:n turvekerros oli tosin maatuneempaa kuin muissa kohteissa.

Turpeen ravinnepitoisuuksissa oli suuria eroja kohteiden välillä (liite 1). Kasvupaikan tuotospotentiaalia kuvastava N-pitoisuus oli Muhoksella, Rovaniemellä ja Kolarissa selvästi korkeampi (2,3–3,0 % kuiva-aineessa) kuin muissa kokeissa, joilla turpeen N-pitoisuus vaihteli välillä 1,5–2,1 %. Myös Fe-pitoisuus oli Muhoksella, Rovaniemellä ja Kolarissa korkea (6–7-kertainen) verrattuna muihin kokeisiin. Muidenkin ravinteiden osalta esiintyi kokeiden välistä vaihtelua, esim. Ca-pitoisuus oli Keminmaassa 2–6-kertainen muihin verrattuna. Raakahumuksen K-, Mg-, Mn- ja Zn-pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin alla olevan turpeen.

Taulukko 4. Turpeen pintakerrosten happamuus (pH) ja maatuneisuus (von Post) kokeiden lannoittamattomilla koealoilla. Rh (x cm) = raakahumuksen paksuus, 0–10 = turpeen ylin 10 cm:n kerros, 10–20 = turvekerros 10–20 cm. Sievissä ja Keminmaalla ei esiintynyt raakahumusta.

		pH	von Post (1 – 10)
Parkano	Rh (5 cm)	3,65	3
	0–10	3,67	6–7
	10–20	3,90	4–5
Liperi	Rh (6 cm)	3,93	2
	0–10	3,93	4–5
	10–20	4,07	5
Sievi	(Rh)		
	0–10	4,08	3–4
	10–20	4,24	4–5
Muhos	Rh (3 cm)	3,97	2–3
	0–10	4,28	4–5
	10–20	4,52	4–5
Keminmaa	(Rh)		
	0–10	4,40	2–3
	10–20	4,80	4
Rovaniemi	Rh (3 cm)	3,97	3
	0–10	4,50	4–5
	10–20	4,80	4–5
Kolari	Rh (2 cm)	4,17	3
	0–10	4,75	4–5
	10–20	5,02	5

Raakahumuksessa ja sen alapuolisessa 20 cm:n turvekerroksessa oli tyypeä kohteesta riippuen 3600–8800 kg ha⁻¹ ja fosforia 156–372 kg ha⁻¹ (liite 2). Eniten tyypeä ja fosforia oli Rovaniemellä ja Kolarissa, vähiten Parkanossa ja Keminmaassa. Kaliumvarat olivat pääosin niukat ja keskittyneet suurelta osin raakahumukseseen ja sen alapuoliseen 10 cm:n turvekerrokseen. Turvesyvytydessä 10–20 cm kaliumia oli keskimäärin vain 14 kg ha⁻¹. Runsaimmin kaliumia oli Liperissä (104 kg ha⁻¹) ja vähiten Muhoksella (43 kg ha⁻¹). Keminmaan ja Kolarin turve sisälsi muita enemmän kalsiumia. Rauta- ja mangaanimäärät olivat Muhoksella, Kolarissa ja etenkin Rovaniemellä huomattavan suuret muihin kohteisiin verrattuna.

Mitä enemmän turpeessa oli tyypeä, sitä enemmän siinä oli myös fosforia ja rautaa. Raakahumuksen alla olevassa 10 cm:n turvekerroksessa N- ja P-määrien (kg ha⁻¹) välinen korrelaatiokerroin oli 0.891, N- ja Fe-määrien välinen kerroin 0.795 ja P- ja Fe-määrien välinen kerroin 0.822 (taulukko 5). Samansuuntainen positiivinen korrelaatio em. ravinteiden kesken näkyi myös muissa turvekerroksissa. Turpeen K-määrä ei korreloinut muiden ravinteiden määrien kanssa missään kerroksessa, lukuun ottamatta Ca-määrän kanssa todettua voimakasta korrelaatiota ($r = 0.766-0.954$).

Taulukko 5. Pintaturpeen (10 cm) pääravinnemäärien (kg ha⁻¹) välinen korrelaatiomatriisi (n = 36). *** = p < 0.001; ** = p = < 0.01; * p = < 0.05. Kaikki koemetsiköt, lannoittamattomat koealat.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe
N	-	0.891***	-0.099	-0.127	-0.396*	0.795***
P	-		0.031	-0.140	-0.373*	0.822***
K	-		0.263	0.406*	-0.150	0.263
Ca	-				0.908***	-0.174
Mg	-					-0.379*

3.2 Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu ja ravinnepuutokset

Eri ravinteiden pitoisuuksien minimi- ja maksimiarvon ero oli koko aineistossa ravinteesta riippuen 2–9-kertainen (taulukko 6). Vaihteluväli oli samansuuruinen kuin aiemmissa tutkimuksissa on esitetty männyn ravinnepitoisuuksille turvemaille (ks. esim. Reinikainen ym. 1998 ja siinä mainitut viitteet, Moilanen ym. 2010).

Vaikka kokeiden välinen kasvupaikkavaihtelu oli pieni, niin puiden ravinnepitoisuuksien erot metsiköiden välillä olivat huomattavan suuret ja heijastelivat eroja turpeen ravinteisuudessa. Tämä näkyi selvästi mm. neulasten K-pitoisuudessa, joka oli matala Muhoksella ja korkea Liperissä turpeen kaliummäärän mukaisesti.

Taulukko 6. Männyn neulasten ravinnepitoisuudet koko aineistossa. Kaikki koemetsiköt ja neulasten keruuajankohdat, lannoittamattomat koealat (n = 240).

Ravinne	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
N, %	1,12	2,57	1,54	,32
P, mg g ⁻¹	,93	2,33	1,45	,31
K, mg g ⁻¹	2,71	5,31	3,76	,55
Ca, mg g ⁻¹	1,27	3,39	2,24	,38
Mg, mg g ⁻¹	,98	2,06	1,44	,19
Fe, mg kg ⁻¹	23	74	34	6,2
Mn, mg kg ⁻¹	108	938	404	178
Zn, mg kg ⁻¹	29	75	51	8,1
Cu, mg kg ⁻¹	1,1	5,1	3,0	,59
B, mg kg ⁻¹	4	23	12	4,5
100 neulasen paino, g	,86	3,78	2,12	,58

Neulasanalyysin tulkinta paljasti metsiköiden poikkeavan toisistaan etenkin P- ja K-ravitsemustilan osalta (taulukko 7, ravinnepuutosten raja-arvot ks. taulukko 3). Liperissä, Keminmaassa ja Kolarissa neulasten P-pitoisuus säilyi koko 12 vuoden seurantajakson ajan puutosrajan yläpuolella. Parkanossa, Sievissä ja Muhoksella puilla oli neulasanalyysin perusteella voimakas P-puutos. Muhoksen, Rovaniemen ja Kolarin metsiköissä puilla esiintyi myös voimakasta K-puutosta. Muissa metsiköissä puiden K-tila oli useimpina vuosina tyydyttävä (Liperi, Parkano, Keminmaa). Neulasten kaliumpitoisuuksissa oli myös ajallista vaihtelua. Esimerkiksi Rovaniemellä neulasten K-pitoisuus vuosien mittaan koheni ja Sievissä puutos esiintyi voimakkaana vain ensimmäisenä ja viimeisenä seurantavuonna.

Muiden ravinteiden osalta ei todettu selkeitä puutostiloja. Neulasten B-pitoisuudet tosin olivat Liperissä, Sievissä ja Kolarissa vain hiukan puutosrajan yläpuolella. Rovaniemellä ja Keminmaassa neulasten Cu-pitoisuudet olivat alkuvuosina puutosrajalla (2 mg kg^{-1}) tai sen alapuolella, mutta myöhemmin kohosivat selvästi puutosrajan yläpuolelle. Cu-pitoisuuden nouseva trendi todettiin myös Joensuussa. Puiden N-tila säilyi kaikissa metsiköissä hyvänä tai tyydyttävänä koko seurantajakson ajan.

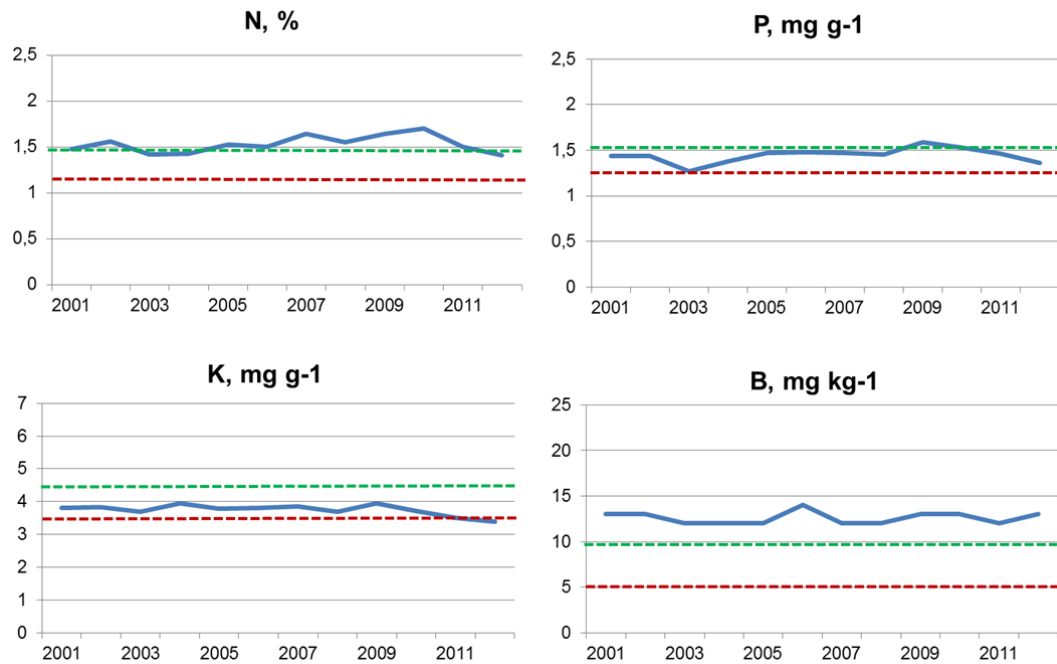
Sadan neulasen kuivamassa oli kohteesta riippuen 1,7–2,7 g. Neulasten kuivamassa ei ollut selvää ajan suhteen tapahtuvaa muutostrendiä, mutta vuosien väliset erot olivat suuret. Samoista puista eri ajankohtina määritetty sadan neulasen massan maksimiarvo oli metsiköstä riippuen 1,6–2,2-kertainen minimiarvoon verrattuna. Neulasten ravinnesisällössä (neulasaino * pitoisuus) ei todettu seurantajaksolla merkittäviä muutoksia.

Männyn neulasten N:K-suhde oli metsiköstä riippuen 3,1–6,5. Sievissä, Rovaniemellä ja etenkin Muhoksella suhde oli suurempi kuin optimaalisena arvona pidetty 3,0–3,5, mikä osoitti puiden kaliumin saatavuuden olevan niukkaa suhteessa typpeen tai typen ylimäärästä kaliumiin verrattuna. Neulasten N:P-suhde oli metsiköstä riippuen 7,3–19,6. Liiallinen typen saatavuus suhteessa fosforiin näkyi Sievissä ja Muhoksella metsiköissä – kun optimaalinen suhde on n. 10, niin molemmissa suhdeluku oli yli 15. Neulasten ravinnepitoisuuksien ja -suhteiden perusteella arvioituna Liperi ja Keminmaa edustivat ravinnetaloudeltaan tasapainoisia, Muhos ja Sievi puolestaan epätasapainoisia kasvupaikkoja.

Koko aineistossa keskimäärin puiden fosfori- ja kaliumravitsemustila säilyivät tutkimusjakson eri vuosina samana: pitoisuudet osoittivat lievää puutostilaa (kuva 3). Typpitila tulkittiin vuodesta riippuen hyväksi tai tyydyttäväksi, ja booripitoisuudet osoittivat kaikkina ajankohtina hyvää booritilaa. Minkään ravinteen osalta ei voitu koko aineistossa havaita selvää ajallista trendiä.

Taulukko 7. Puiden ravinnetila tutkimusjaksolla 1999–2010.

	N-tila	P-tila	K-tila	B-tila
Parkano	Tyydyttävä	Heikko	Tyydyttävä	Hyvä
Liperi	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Sievi	Hyvä	Heikko	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Muhos	Hyvä	Heikko	Heikko	Hyvä
Keminmaa	Tyydyttävä	Hyvä	Tyydyttävä	Hyvä
Rovaniemi	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Heikko	Hyvä
Kolari	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Heikko	Tyydyttävä



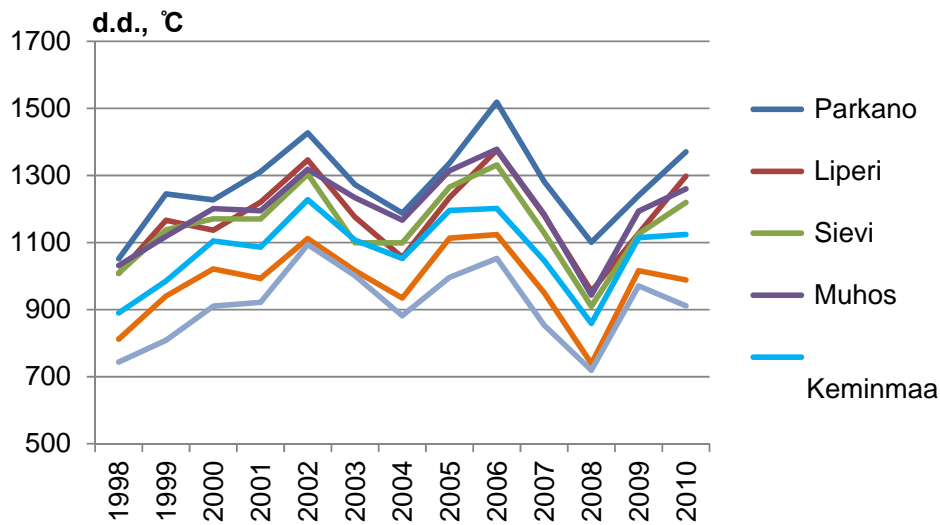
Kuva 3. Männyn neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuus seurantajakson eri vuosina. Kaikki metsiköt, lannoittamattomat koealat. Punainen katkoviiva osoittaa ravinnepuutoksen raja-arvon ja vihreä katkoviiva hyvää ravinnetilaa kuvaavan pitoisuuden raja-arvon.

3.3 Neulasten ravinnepitoisuudet ja kasvukauden lämpöolot

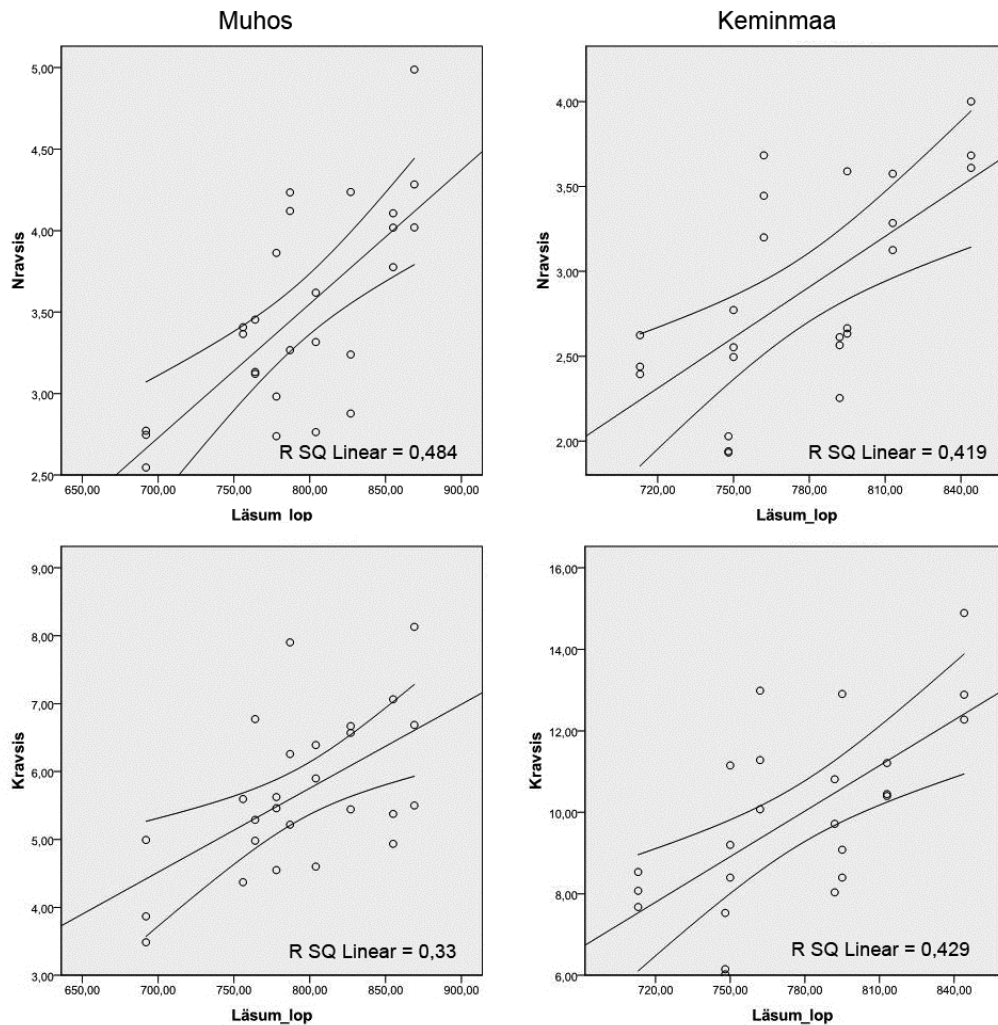
Koemetsiköiden pitkäkestoisella seurannalla pyritään selvittämään, miten sääolot vaikuttavat neulasten ravinnepitoisuuksiin. Kasvukauden (huhti-lokakuu) aikaiset kuukausittaiset lämpötila- ja sademäärät sekä lämpösummakertymät laskettiin kuhunkin metsikköön Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien tuottamista säähavainnoista (Venäläinen ym. 2005).

Kasvukauden keskimääräinen lämpösumma vuosina 1998–2010 vaihteli metsiköstä riippuen välillä 913–1275 d.d.-yksikköä (kuva 4). Pitkäaikaiseen keskiarvoon (vuodet 1950–1980) verrattuna tutkimusjakso oli koemetsiköissä 10–17 % lämpimämpi. Vuosien välinen vaihtelu oli eri metsiköissä samansuuntaista. Kylmimmän ja lämpimimmän kasvukauden lämpösummaero oli eri metsiköissä 369–435 d.d.-yksikköä (28–34 %). Vuonna 2006 lämpösummakertymä oli korkein (kokeestariippuen 1053–1519 d.d.) ja vuonna 2008 matalin (kokeesta riippuen 719–1101).

Kasvukauden lämpösumman ja neulasten ravinnepitoisuuksien välillä ei korrelaatio- ja regressioanalyseissä havaittu selkeitä riippuvuussuhteita. Poikkeuksen muodostivat Muhos ja Keminmaa, joilla neulasten ravinnesisältö (neulaspaino*ravinnepitoisuus) korreloi merkitsevästi loppukesän (heinäkuun alusta kasvukauden loppuun) lämpösumman kanssa, johtuen lähinnä lämpösumman ja neulaspainon välisestä merkitsevästä positiivisesta korrelaatiosta. Muhoksella ja Keminmaassa loppukesän lämpösumma selitti neulasten ravinnesisällön vaihtelusta suuremman osan kuin koko kasvukauden lämpösumma. Ravinteesta riippuen selitysaste vaihteli välillä 24–52 % (kuva 5). Vain raudalla ja mangaanilla selitysaste jäi alle 20 %:iin. Muualla kuin Muhoksella ja Keminmaassa ei vastaavia riippuvuussuhteita todettu.



Kuva 4. Kasvukauden lämpösummat koemetsiköissä jaksolla 1998–2010.



Kuva 5. Neulasten tyyden ja kaliumin ravinnesisällön ja kasvukauden loppuosan (1. heinäkuuta alkaen) lämpösumman välinen riippuvuus Muhoksella ja Keminmaassa. Kaikki ajankohdat, lannoittamattomat koealat.

3.4 Lannoitusvaikutukset

3.4.1 Neulasten ravinnepitoisuudet

Metsiköissä kokeiden perustamisajankohtana 2000-luvun alussa tehty lannoitus vaikutti useimpien analysoitujen ravinteiden pitoisuuksiin neulasissa. Käsittelyn vaikutukset ravinnepitoisuuksiin olivat samansuuntaisia kaikissa metsiköissä ja sitä suurempia, mitä alemmalla tasolla pitoisuudet olivat olleet ennen lannoitusta (taulukko 8). Jaksolla 3–8 vuotta lannoituksesta N-pitoisuus oli neljässä metsikössä merkitsevästi alemmalla tasolla verrattuna lannoittamattomaan; etenkin Muhoksen ja Sievin kokeella ero oli selkeä. P- ja K-pitoisuudet olivat lannoituksen seurauksena nousseet merkitsevästi ja ravinnetila muuttunut hyväksi. Etenkin Muhoksen ja Rovaniemen metsiköiden K-tilanne oli parantunut selkeästi. Eniten oli kuitenkin kohonnut B-pitoisuus, joka oli metsiköstä riippuen 1,5–5-kertainen lähtötasoon nähden.

Sieviässä ja Muhoksella myös neulasten Ca-pitoisuus kohosi merkitsevästi jaksolla 3–8 vuotta lannoituksesta (taulukko 8). Neulasten Mg-pitoisuus puolestaan aleni merkitsevästi lähes kaikissa metsiköissä. Neulasten Fe-pitoisuuksissa ei lannoituksen jälkeen todettu selkeitä muutoksia. Mn-, Zn- ja Cu-pitoisuudet alenivat jaksolla 3–8 vuotta lannoituksesta merkitsevästi muissa paitsi Keminmaan ja Kolarin metsiköissä. Lannoituksen aiheuttamia muutoksia havaittiin myös neulasten koossa: neulasten kuivapaino kasvoi lannoituksen seurauksena neljässä metsikössä.

Lannoituskäsittely aiheutti muutoksia myös neulasten pääravinnepitoisuuksien suhteisiin (taulukko 9). N:P- ja N:K-suhde aleni lannoituksen jälkeen merkitsevästi kaikissa metsiköissä. Ravinteiden epätasapainosta selvimmin kärsineissä Sieviässä ja Muhoksella neulasten N:P- ja N:K-suhteet olivat lähimpänä optimia jaksolla 3–8 vuotta lannoituksesta. N:K-suhde oli lähellä optimia suurimmalla osalla lannoitetuista aloista.

Koko aineiston vuotuisessa tarkastelussa – jossa metsiköt oli yhdistetty – lannoituskäsittely kohotti jo levitysvuonna neulasten K- ja etenkin B-pitoisuutta merkitsevästi (kuva 6). Seuraavan kymmenvuotiskauden aikana lannoitusvaikutus K-pitoisuuteen säilyi jotakuinkin samansuuruksena, mutta B-pitoisuudet laskivat selvästi. Lannoitefosforin hidasliukoisuus heijastui sen vaikutusnopeuteen: selvä P-pitoisuuden kohoaminen ilmeni vasta 3–4 vuoden kuluttua levityksestä, minkä jälkeen ero lannoittamattomaan säilyi samalla tasolla tai jopa kasvoi. Neulasten N-pitoisuuksissa näkyi – usein aiemminkin PK- tai tuhkalannoituksen jälkeen havaittu – nk. ”ohentumisilmiö”, joka on yhteydessä puiden parantuneen ravinnetilan aiheuttamaan neulasmassan ja puuaineksen kasvuun. Tässäkin koesarjassa neulasten N-pitoisuus aleni lannoituksen seurauksena, joskaan ei puutosrajalle saakka. On kuitenkin muistettava, että kun neulasmassa vastaavasti huomattavasti lisääntyi, kasvoi myös neulasmassaan sitoutuneen kokonaistypen määrä.

Taulukko 8. Neulasten ravinnepitoisuudet metsiköittäin ja lannoituskäsittelyittäin. Lannoituksesta 3–8 kasvukautta. Ei = lannoittamaton vertailu, Lan = PK-käsittely. * = ero lannoittamattomaan merkitsevä (Bonferron testi).

	Parkano		Liperi		Sievi	
	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>
N, %	1,41	1,39	1,44	1,36 *	1,82	1,61 *
P, kg g ⁻¹	1,25	1,72 *	1,70	1,89 *	1,26	1,64 *
K, mg g ⁻¹	3,84	4,89 *	4,50	5,31 *	4,01	5,08 *
Ca, mg g ⁻¹	2,49	2,50	2,55	2,41	2,51	2,77 *
Mg, mg g ⁻¹	1,39	1,23 *	1,43	1,32 *	1,28	1,10 *
Fe, mg kg ⁻¹	32	36 *	35	36	34	34
Mn, mg kg ⁻¹	513	377 *	249	208 *	298	234 *
Zn, mg kg ⁻¹	62	58 *	55	49 *	44	37 *
Cu, mg kg ⁻¹	3,6	3,3 *	3,2	2,9 *	2,9	2,7 *
B, mg kg ⁻¹	18	29 *	8	24 *	9	22 *
Neulaspaino, 100 kpl	2,04	2,41 *	2,31	2,29	2,61	3,15 *

	Muhos		Keminmaa		Rovaniemi	
	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>
N, %	2,08	1,50 *	1,28	1,26	1,35	1,30 *
P, kg g ⁻¹	1,07	1,52 *	1,79	1,98 *	1,41	1,81 *
K, mg g ⁻¹	3,27	4,72 *	4,39	5,08 *	3,34	4,59 *
Ca, mg g ⁻¹	1,79	2,07 *	2,46	2,55	1,89	1,88
Mg, mg g ⁻¹	1,29	1,16 *	1,68	1,47 *	1,49	1,40
Fe, mg kg ⁻¹	38	40	33	33	31	34 *
Mn, mg kg ⁻¹	403	260 *	183	165	575	423 *
Zn, mg kg ⁻¹	51	45 *	53	51	53	47 *
Cu, mg kg ⁻¹	3,3	2,8 *	2,3	2,6	2,8	2,4 *
B, mg kg ⁻¹	14	31 *	18	29 *	12	31 *
Neulaspaino, 100 kpl	1,77	2,58 *	2,20	2,23	1,89	2,13 *

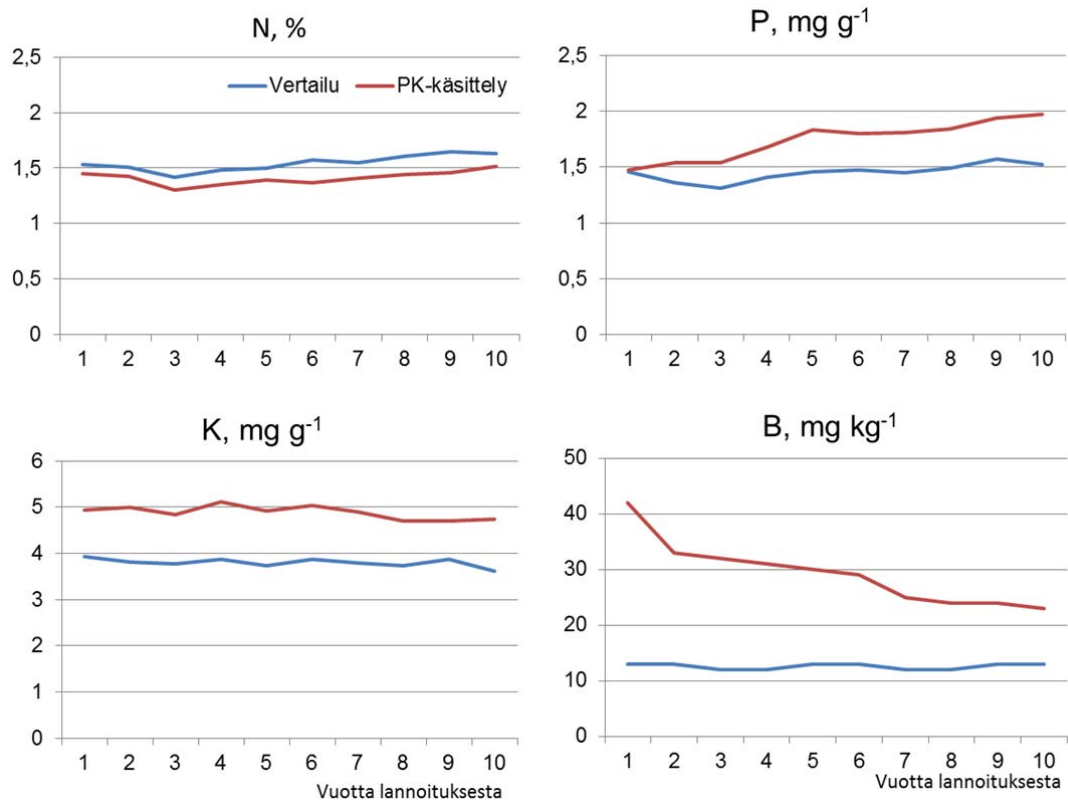
	Kolari	
	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>
N, %	1,26	1,22
P, kg g ⁻¹	1,55	1,69
K, mg g ⁻¹	3,23	4,74 *
Ca, mg g ⁻¹	2,07	2,14
Mg, mg g ⁻¹	1,63	1,43 *
Fe, mg kg ⁻¹	30	34 *
Mn, mg kg ⁻¹	661	598
Zn, mg kg ⁻¹	46	46
Cu, mg kg ⁻¹	2,7	2,7
B, mg kg ⁻¹	7	33 *
Neulaspaino, 100 kpl	1,71	1,87

Taulukko 9. Männyn neulasten N:P- ja N:K-suhteet metsiköittäin ja lannoituskäsittelyittäin. ”Optimiarvot”: N:P = n. 10, N:K = n. 3. Lannoituksesta 3–8 kasvukautta. Ei = lannoittamaton vertailu, Lan = PK-käsittely. * = ero lannoittamattomaan merkitsevä (Bonferron testi).

	Parkano		Iiperi		Sievi	
	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>
N:P	11,3	8,1 *	8,4	7,2 *	14,6	9,9 *
N:K	3,7	2,9 *	3,2	2,6 *	4,6	3,2 *

	Muhos		Keminmaa		Rovaniemi	
	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>
N:P	19,7	9,9 *	7,3	6,4 *	9,9	7,3 *
N:K	6,4	3,2 *	2,9	2,5 *	4,1	2,9 *

	Kolari	
	<u>Ei</u>	<u>Lan</u>
N:P	8,2	7,3 *
N:K	3,9	2,6 *



Kuva 6. Männyn neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuudet eri vuosina lannoituksen jälkeen, kaikki metsiköt.

3.4.2 Ravinnepuutosoireiden silmänvarainen arviointi

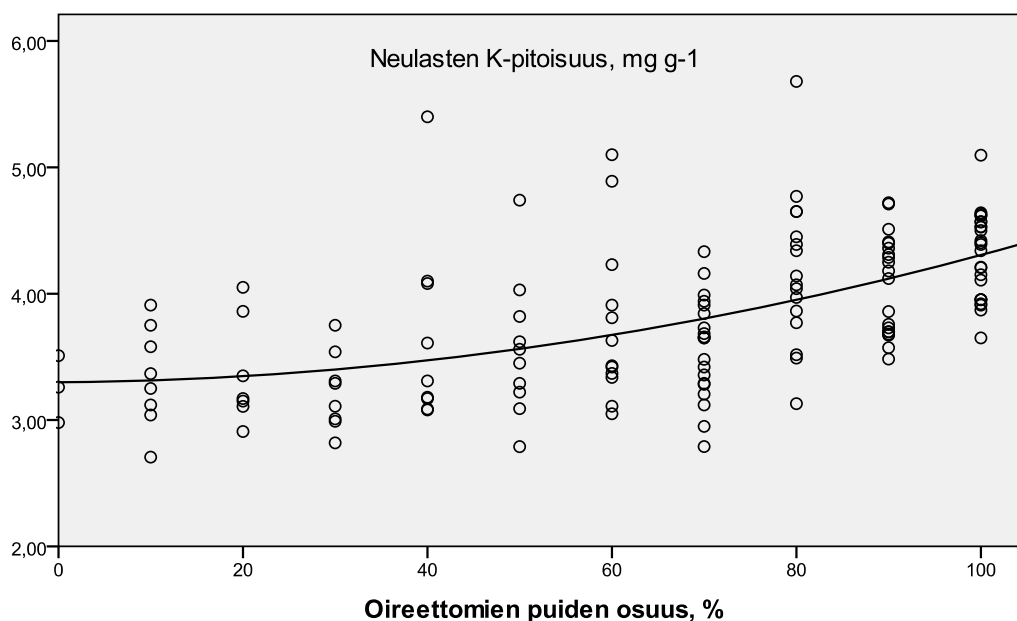
Ravinnepuutosoireiden silmänvarainen tarkastelu neulasnäyteksistä vuosina 2006–2009 vahvisti jo kokeiden perustamisen yhteydessä tehdyn arvion metsiköiden välisistä eroista. Vähiten puutosoireita esiintyi Parkanossa, Liperissä ja Keminmaassa, joissa yli 90 % nuorimmista neulasista oli vihreitä ja vain 2–9 %:lla havaittiin neulasten keltakärkisyyttä osoituksena lievistä K-puutoksesta (taulukko 10). Lannoituksella ei näissä metsiköissä ollut merkittävää vaikutusta, koska lannoittamattomillakin koealoilla lähes kaikki puut olivat oireettomia. Sen sijaan muissa metsiköissä, joissa ravinnepuutokset olivat yleisiä – etenkin Muhoksella ja Kolarissa – lannoitus suurelta osin poisti silmämääräisesti arvioidut puutosoireet. Esimerkiksi Muhoksen lannoittamattomilla koealoilla 46 %, mutta lannoitetuilla koealoilla vain 8 %:lla tutkittujen näyteksien uusimpien versojen neulasista arvioitiin kärsivän eriasteista K-puutoksesta.

Toisessa neulasvuosikerrassa K-puutos oli kaikissa metsiköissä selvemmin havaittavissa kuin nuorimmissa neulasissa. Muhoksella, Rovaniemellä ja Kolarissa eriasteista puutosta todettiin lannoittamattomilla koealoilla kokeesta riippuen 65–76 %:lla näyteksistä. Vaikka lannoituskäsittely vähensikin neulasten keltaista värisävyä, näkyivät lievän puutoksen tunnusmerkit selvinä toisessa neulasvuosikerrassa jaksolla 5–9 vuotta lannoituksesta (taulukko 10).

Taulukko 10. K-puutoksen yleisyys (% näyteksistä) lannoituskäsittelyittäin talvikausina 2006–2009. Vuosina 2004–2008 syntyneet neulaset, silmänvarainen määrittely erikseen kahdesta (1vsk, 2vsk) neulasvuosikerrasta. Lannoituksesta kulunut 5–9 kasvukautta.

	Ei puutosta		Lievä		Kohtalainen		Voimakas	
	1vsk	2vsk	1vsk	2vsk	1vsk	2vsk	1vsk	2vsk
Lannoittamaton vertailu								
Parkano	91	83	9	17	0	0	0	0
Liperi	98	94	2	6	0	0	0	0
Sievi	83	67	17	33	0	0	0	0
Muhos	53	22	41	45	5	24	1	9
Keminmaa	92	67	8	33	0	0	0	0
Rovaniemi	70	34	28	47	2	18	0	1
Kolari	60	22	38	50	2	26	0	2
	Ei puutosta		Lievä		Kohtalainen		Voimakas	
	1vsk	2vsk	1vsk	2vsk	1vsk	2vsk	1vsk	2vsk
PK-lannoitus								
Parkano	99	93	1	7	0	0	0	0
Liperi	98	98	2	2	0	0	0	0
Sievi	95	89	5	11	0	0	0	0
Muhos	92	87	8	13	0	0	0	0
Keminmaa	89	66	11	34	0	0	0	0
Rovaniemi	90	73	10	27	0	0	0	0
Kolari	77	53	22	44	1	3	0	0

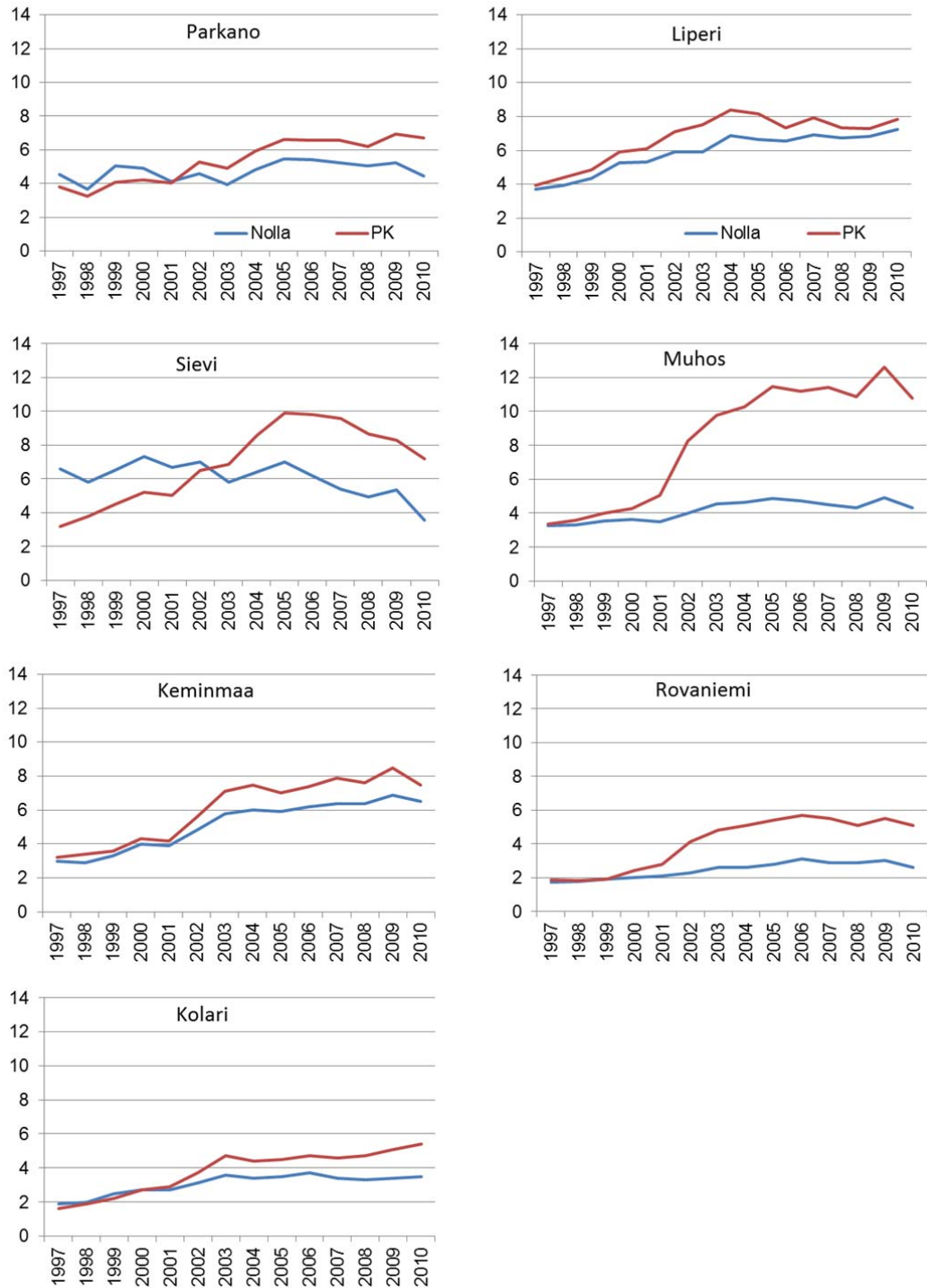
Neulasnäytteitä kerättyäessä kaikki 10 koepuuta luokiteltiin neulasten värisävyn perusteella terveisiin ja eriasteisesti K-puutuksesta kärsiviin puihin. Neulasten K-pitoisuus ja terveiden näytepuiden suhteellinen osuus korreloivat keskenään positiivisesti. Kun näyte koostui puista, joista yli puolet oli terveitä, niin K-pitoisuus oli keskimäärin puutosrajan ($3,5 \text{ mg g}^{-1}$) yläpuolella, vaikkakin vaihtelu oli huomattavan suurta (kuva 7). Osassa näytteistä K-pitoisuus kuitenkin jäi alle puutosrajan, vaikka lähes kaikki puut olivat silmänvaraisen arvioinnin mukaan terveitä, ja myös toisin päin: värisävyltään kellertävistä neulasnäytteistä ei ravinnemääritys aina paljastanut selvää K-puutosta.



Kuva 7. Neulasnäytepuiden silmävaraisesti määritetty ravinnetilan ja neulasten K-pitoisuuden suhde vuosina 2003–2008 ($R^2 = 33 \%$). Oireeton puu = ei ravinnepuutosoireita. Kaikki metsiköt, lannoittamattomat koealat.

3.4.3 Puuston kasvu

PK-lannoituksen vaikutus puuston kasvuun vaihteli kokeittain huomattavasti. Runkopuuston tilavuuskasvu voimistui eniten niissä metsiköissä (Muhos, Rovaniemi), joissa ravinnepuutokset puiden ulkoasun ja ravinneanalyysien perusteella arvioitiin voimakkaiksi (kuva 8). Muhoksella puuston kasvu kolminkertaistui ja Rovaniemellä kaksinkertaistui lannoitusta seuraavan viiden vuoden kuluessa. Myös Sievissä puuston kasvumuutos oli – lähtötasoero huomioon ottaen – voimakas. Muissa metsiköissä lannoitusvaikutus oli selvästi pienempi ja jäi ravinnetilaltaan tyydyttävissä metsiköissä (Liperi, Keminmaa) neljäsosaan Muhokseen ja Rovaniemeen verrattuna.



Kuva 8. Puuston tilavuuskasvun ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{v}^{-1}$) kehitys lannoituskäsittelyittäin (toistojen keskiarvot). PK-lannoitus tehty vuonna 2000 (Liperi vuonna 2001).

4 Tulosten tarkastelu

Koekohteet sijaitsivat pääosin puolukkaturvekankaalla (PtkgII). Kasvupaikkatyypin vähäisestä vaihtelusta huolimatta niiden välillä esiintyi suurta ravinteisuuden vaihtelua. Puiden ravinnetila vaihteli metsiköstä, lannoituskäsittelystä ja ravinteesta riippuen optimitason ja ankaran puutosalueen välillä. Yleisesti havaittiin kaliumin ja fosforin niukkuutta suhteessa tyypeen. Kohteet edustivat alkuperältään sekatyypin rämeitä, joilla eriaisteiset kivennäisravinteiden puutostilat ovat yleisiä (Moilanen ym. 2010). Kyseisen tyyppisiä alueita myös pidetään sopivina PK- tai tuhkalannoituskohteina (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007).

Lannoituksen vaikutus riippui puiden ravinnetilasta. Puusto hyötyi PK-lannoituksesta sitä enemmän, mitä pienempi pintaturpeen K-määrä oli ja mitä selvemmin puilla neulasanalyysin perusteella oli kaliumin ja fosforin puutos. Ravinnepuutosten ja lannoituksen vaikutus näkyi selkeästi neulasten ravinnepitoisuuksissa, puiden ulkoasussa ja kasvussa. Tulokset vahvistivat aiempia havaintoja siitä, että puiden ravinnetila vaikuttaa merkittävästi lannoitusvasteeseen (mm. Moilanen & Hökkä 2008, Silfverberg & Moilanen 2008). Koemetsiköissä puuston ravinnetilan ja kasvun parantuminen lannoituksen ansiosta lienee aiempiin tutkimuksiin pohjautuen (mm. Moilanen ym. 2005, Silfverberg & Moilanen 2008) pitkäaikainen – vähintään 30 vuotta. Siksi niiden ravinnetilan ja kasvun seuranta on tarpeellista jatkaa suunnitellusti vaikutuksen voimakkuuden ja keston varmistamiseksi. Samalla saadaan täsmennettyä tietoa puiden ravinnetilan merkityksestä lannoituksella tuotettuun puiden lisäkasvuun, jolloin tulokset palvelevat nykyistä paremmin käytännön metsäsuunnittelua ja neulasanalyysien tulkintaa. Kun myös pintaturpeen ravinnevarat määritetään toistuvasti, saadaan uutta tietoa ravinnevarojen riittävydestä pitkän aikavälin metsänkasvatukseen kyseisen tyyppisillä metsäojituskohteilla.

Kasvukauden lämpö- ja kosteusolojen on todettu vaikuttavan puiden ravinnetilaan ja osaksi määräävän puiden ravinnepitoisuuksien vaihtelua (Leaf ym. 1970, van den Driessche 1974, Helmisaari 1990). Seurantajakson (vuodet 1999–2010) kasvukaudet olivat pitkäaikaiseen aiempaan keskiarvoon verraten lämpimämpiä ja lämpösummat 10–20 % korkeampia. Vuosien väliset erot olivat myös huomattavat.

Aiemmissä tutkimuksissa (Leaf ym. 1970, Humphreys ym. 1971, van den Driessche 1974, Helmisaari 1990) neulasten syntymävuoden tai jopa edellisvuoden lämpö- ja kosteusolojen on päätelty vaikuttavan neulasten ravinnesisältöön. Tämän selvityksen metsiköissä männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ja kasvukauden lämpöolojen välillä ei havaittu selvää yhteyttä. Neulasten kuivapaino kuitenkin korreloi positiivisesti neulasten syntymävuoden lämpösumman kanssa, mikä samalla merkitsi myös neulasmassaan sitoutuneiden ravinnemäärien vaihtelua kasvukauden lämpimyyden mukaan. Tulos on samansuuntainen kuin Helmisaaren (1990) tutkimuksessa, jossa alkukesän lämpöolojen todettiin määräävän männyn neulasten pituus- ja kuivamassakehityksen. Myös Raition (1994) selvityksessä männyn neulasten koko ja sadan neulasan kuivamassa vaihtelivat samansuuntaisesti lämpösumman ja sademäärän kanssa.

Muutamalla kokeella havaittiin merkitsevä korrelaatio neulasten N-sisällön ja loppukesän lämpösumman välillä. Lämmin kasvukausi merkitsee yleensä tehostuvaa turpeen tyyppien mineralisatiota, millä voi olla vaikutusta puiden typpitalouteen ja mahdollisesti myös muidenkin ravinteiden ottoon. Seuranta-aineiston karttuessa saadaan lisävalaistusta sääolojen ja puiden ravinnetilan keskinäisistä yhteyksistä sekä voidaan myös arvioida kokeellisesti ilmastomuutoksen vaikutuksia suometsien ravinnetilaan.

Neulasten ravinnepitoisuuksien vuosien välinen vaihtelu oli huomattavaa. Kuitenkin jo yksittäisen vuoden neulasanalyysin avulla voitiin diagnosoida luotettavasti puiden ravinnetila ja löytää keskeiset kasvua rajoittavat ravinteet, kun oli kyse voimakkaasta ravinnepuutostilasta. Tulos merkitsee, että lannoitustarpeen määrittäminen on neulasanalyysin avulla mahdollista myös sääoloiltaan nk. ”normaalista” poikkeavan kasvukauden jälkeisenä talvikautena. Lievissä ravinnepuutostilanteissa sääolojen merkitys neulasanalyysin tulkinnassa on otettava huomioon, kun analysoidaan poikkeuksellisen epätavallisissa lämpö- ja kosteusoloissa syntyneitä neulasia.

Kirjallisuus

- Barker, A. V. & Pilbeam, D. J. 2007. Handbook of plant nutrition. 613 s.
- 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.
- Braekke, F.H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. *Medd. Norsk ist. skogforsk* 35: 213–236.
- Brække, F.H. 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringselementer i gran- og furunåler. [Diagnostic concentrations of nutrient elements in Norway spruce and Scots pine needles]. *Aktuelt fra skogforsk* 15/94: 1–11.
- 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.
- Epstein, E. & Bloom, A. J. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, Second Edition. 380 s.
- Halonen, O. & Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 s.
- Heinonen, J. 1994. Koelajojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL käyttöohje. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 504. 80 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.
- Huikari, O. 1952. Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Summary: On the determination of mire types, specially considering their drainage value for agriculture and forestry. *Silva Fennica* 75: 1–22.
- 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. & Wall, A. 2006. Foliar colour as indicator of nutrient status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on peatlands. *Forest Ecology and Management* 237(1–3): 156–163.

- Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirement of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373–380.
- Jonard, M., André, F., Dambrine, E., Ponette, Q. & Ulrich, E. 2009. Temporal trends in the foliar nutritional status of the French, Walloon and Luxembourg broad-leaved plots of forest monitoring. *Annals of Forest Science* 66 (2009) 412. DOI: 10.1051/forest/2009014.
- Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140. 58 p.
- Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2002. Estimating potassium nutrition of Norway spruce with needle analysis during different seasons. *Suo – Mires and Peat* 53: 17–26.
- Kaunisto, S. and Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. *Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia* 3/1998: 393–410.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 p.
- Keltikangas, K., Laine, J., Puttonen, P. and Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193: 1–94.
- Korkalainen, T., Pietiläinen, P. & Colpaert, A. 2007. The effect of total peat nitrogen on the height and volume of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in three fertilized and drained peatlands in northern Finland *Suo – Mires and Peat* 58(3–4): 75–85.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108: 1–74.
- Laine, J. & Vasander, H. 2005. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Helsinki. 110 s
- Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Saarinen, M. & Penttilä, T. 2012. Suotyypit ja turvekankaat–opas kasvupaikkojen tunnistamiseen. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 160 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.
- Lindgren, M., Nevalainen, S. & Pouttu, A. 2007. Valtakunnallisen latvuskunnon seurannan tulokset. Results of the national crown condition survey. In: Merilä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (eds.). *Forest condition monitoring in Finland–National report 2002–2005. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 45: 21–31.
- Luyssaert, S., Sulkava, M., Raitio, H. & Hollmén, J. 2005. Are N and S deposition altering the mineral composition of Norway spruce and Scots pine needles in Finland? *Environmental Pollution* 138: 5–17.
- 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.

- Mellert, K. H., Prietzel, J., Straussberger, R. & Rehfues, K. E. 2004. Long-term nutritional trends of conifer stands in Europe: results from the RECOGNITION project. *European Journal of Forest Research* 123: 305–319.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H. & Appel, T. 2001. *Principles of plant nutrition*. 5th Edition. 849 s.
- Merilä, P. & Derome, J. 2008. Relationships between needle nutrient composition in Scots pine and Norway spruce stands and the respective concentrations in the organic layer and in percolation water. *Boreal Environment Research* 13(supp.B): 35–47
- Merilä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (eds.) 2007. *Forest condition monitoring in Finland - National report 2002–2005*. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 45. 166 p.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Miller, W. F. 1966. Annual changes in foliar nitrogen, phosphorus, and potassium levels of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) with site and weather factors. *Plant and Soil* 24 (3): 369–378.
- 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 p.
- Moilanen, M. & Hökkä, H. 2009. PK-lannoituksella aikaansaadun kasvureaktion suuruus riippuu ojitusaluemännikön ravinnetilasta. Summary: The growth response of Scots pine to PK fertilization depends on the nutrient status of the stand on drained peatlands. *Suo – Mires and Peat* 60(3-4): 111–120
- Moilanen, M. & Pietiläinen, P. 2008. Männyn ravinnetilan muutokset syys- ja talvikauden välillä ojitetulla turvemaidella – neulasanalyttinen tarkastelu. Summary: Estimating nutrient status of Scots pine with needle analysis during different seasons- differences in foliar nutrient concentrations between autumn and winter seasons. *Suo – Mires and Peat* 59(4): 101–116.
- Moilanen, M., Pietiläinen, P. & Issakainen, J. 2005. Long-term effects of apatite and biotite on the nutrient status and stand growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands. *Suo – Mires and Peat* 56(3): 115–128.
- Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 583–601.
- 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.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. 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.

- Paavilainen, E. & Pietiläinen, P. 1983. Foliar responses caused by different nitrogen rates at the refertilization of fertile pine swamps. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 91–104.
- Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Vesala, H. 2005. Nutrient status and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands after potassium fertilization. *Suo – Mires and Peat* 56(3): 101–113.
- 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.
- Raitio, H. 1990. The foliar chemical composition of young pines (*Pinus sylvestris* L.) with or without decline. *Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.* s. 699–713.
- 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.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688.* 44 s.
- Ruuhijärvi, R. 1983. The Finnish mire types and their regional distribution. In: Gore, A.P.J (Ed.). *Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor. Ecosystems of the World 4 B.* Elsevier, Amsterdam: 24–28.
- Ruuhijärvi, R. 1988. Suokasvillisuus (Mire vegetation). In: Alalammi, P. (ed.) *Atlas of Finland, Folio 141–143: 2–6.* National Board of Survey & Geographical Society of Finland, Helsinki.
- Saarinen, M. 1997. Ojitusaluepuustojen kaliumin puutokset ja metsätalouden suunnittelu. *Summary: Assessment of the potassium status of peatlands drained for forestry in connection with forest management planning. Suo – Mires and Peat* 48(1): 21–25.
- Sarjala, T., & Kaunisto, S. 2002. Potassium nutrition and free polyamines of *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. *Plant and Soil* 238: 141–149.
- Silfverberg, K. & Moilanen, M. 2008. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland. *PK-lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan Pohjois-Pohjanmaan ojitusalueilla. Suo – Mires and Peat* 59(3): 71–88.
- 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.
- Tamm, C.O. 1968. An attempt to assess the optimum nitrogen level in Norway spruce under field conditions. *Studia Forestalia Suecica* 61: 1–67.
- Theelin, G., Rosengren-Brinck, U., Nihlgård, B. & Barkman, A. 1998. Trends in needle and soil chemistry of Norway spruce and Scots pine in South Sweden 1985–1994. *Environmental Pollution* 99: 149–158.
- Van den Driessche, R. 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review* 40(3): 347–394.

- Vasander, H. and Laine, J. 2008. Site type classification on drained peatlands, in: Korhonen, R., Korpela, L. and Sarkkola, S. (Eds), Finland – Fenland. Research and Sustainable Utilisation of Mires and Peat, Finnish Peatland Society, Maahenki Ltd. ISBN 978-952-5652-47-5. Helsinki: 146–151.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies in Scots pine on drained peatlands. *Communicationes 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.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P. & Drebs, A. 2005. A basic Finnish climate data set 1961–2000 – description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Reports No. 2005: 5. 27 s. (http://mesi.metla.fi/cgi-bin/saa_10x10)
- Westman, C.J. & Laiho, R. 2003. Nutrient dynamics of drained peatlands. *Biogeochemistry* 63: 269–298.
- 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: 699–706.1

Liitteet

Liite 1

Turpeen pintakerrosten ravinnepitoisuudet. Rh (x cm) = raakahumus (paksuus, cm), 0–10 = turpeen ylin 10 cm:n kerros, 10–20 = turvekerros 10–20 cm. Sievissä ja Keminmaalla ei esiintynyt raakahumusta. Kaikki koemetsiköt, lannoittamattomat koelat.

		N	P	K	Ca	Mg
		%	mg g⁻¹	mg g⁻¹	mg g⁻¹	mg g⁻¹
Parkano	Rh (5 cm)	1,26	0,59	0,57	2,66	0,47
	0–10	1,94	0,88	0,27	1,85	0,25
	10–20	1,92	0,57	0,07	2,32	0,22
Liperi	Rh (6 cm)	1,51	0,92	0,93	3,52	0,60
	0–10	1,94	1,11	0,41	3,64	0,50
	10–20	1,97	0,84	0,16	2,96	0,36
Sievi	(Rh)					
	0–10	1,79	0,24	0,49	3,34	0,76
	10–20	2,11	0,91	0,15	3,70	0,68
Muhos	Rh (3 cm)	1,67	0,80	0,56	2,98	0,54
	0–10	2,31	1,17	0,18	1,68	0,22
	10–20	2,36	1,09	0,08	2,52	0,26
Keminmaa	(Rh)					
	0–10	1,45	0,78	0,37	9,58	1,59
	10–20	1,99	0,78	0,17	13,97	1,88
Rovaniemi	Rh (3 cm)	1,54	0,90	0,64	3,27	0,64
	0–10	2,60	1,45	0,26	2,20	0,25
	10–20	2,93	1,15	0,07	2,64	0,25
Kolari	Rh (2 cm)	1,77	1,26	0,84	4,16	0,93
	0–10	2,88	1,31	0,31	4,36	0,59
	10–20	3,00	0,90	0,04	5,57	0,65

Liite 1 jatkuu

		Fe g kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹
Parkano	Rh (5 cm)	1,76	120	57,7	8,5	3,3
	0–10	2,60	17	14,9	3,6	2,4
	10–20	1,87	16	6,3	3,1	1,9
Liperi	Rh (6 cm)	1,41	82	48,0	8,1	2,4
	0–10	3,62	16	20,8	8,3	1,1
	10–20	1,63	9	5,8	7,4	0,6
Sievi	(Rh)					
	0–10	4,55	130	24,7	6,5	2,4
	10–20	3,80	11	6,0	7,7	2,2
Muhos	Rh (3 cm)	5,63	201	69,2	6,3	3,0
	0–10	18,7	17	9,4	4,5	3,0
	10–20	14,2	14	3,4	5,4	1,8
Keminmaa	(Rh)					
	10–20	4,06	4,67	6,8	2,7	3,0
Rovaniemi	Rh (3 cm)	6,19	211	36,3	4,8	3,6
	0–10	36,9	24	8,5	3,3	1,6
	10–20	19,3	27	3,8	4,4	2,9
Kolari	Rh (2 cm)	13,0	210	25,1	11,9	3,1
	0–10	20,8	32	5,8	3,7	2,1
	10–20	15,3	73	4,1	3,7	3,3

Liite 2

Turpeen pintakerrosten ravinnemäärät. Rh (x cm) = raakahumus (paksuus, cm), 0–10 = turpeen ylin 10 cm:n kerros, 10–20 = turvekerros 10–20 cm. Sievissä ja Keminmaalla ei esiintynyt raakahumusta. Kaikki koemetsiköt, lannoittamattomat koelat.

		N	P	K	Ca	Mg
		kg ha ⁻¹				
Parkano	Rh (5 cm)	331	16	15	70	13
	0–10	2000	90	27	189	26
	10–20	1686	50	6	203	19
	Yhteensä	4017	156	48	462	58
Liperi	Rh (6 cm)	505	31	31	117	20
	0–10	2411	139	50	451	62
	10–20	2980	126	23	448	54
	Yhteensä	5896	296	104	1016	136
Sievi	(Rh)					
	0–10	1893	99	51	348	79
	10–20	2949	128	21	517	95
	Yhteensä	4842	227	72	865	174
Muhos	Rh (3 cm)	311	15	10	56	10
	0–10	2826	144	23	205	27
	10–20	3151	146	10	335	35
	Yhteensä	6288	305	43	596	72
Keminmaa	(Rh)					
	0–10	1336	72	34	875	146
	10–20	2277	89	20	1579	213
	Yhteensä	3613	161	54	2454	359
Rovaniemi	Rh (3 cm)	329	19	14	70	14
	0–10	3474	192	35	294	34
	10–20	4112	161	9	368	35
	Yhteensä	7915	372	58	732	83
Kolari	Rh (2 cm)	307	22	15	71	16
	0–10	3557	162	38	538	72
	10–20	4886	146	7	904	105
	Yhteensä	8750	330	60	1513	193

Liite 2 jatkuu

		Fe	Mn	Zn kg ha ⁻¹	Cu	B
Parkano	Rh (5 cm)	46	3,2	1,5	0,2	0,1
	0–10	266	1,7	1,5	0,4	0,2
	10–20	166	1,4	0,5	0,3	0,2
	Yhteensä	478	6,3	3,5	0,9	0,5
Liperi	Rh (6 cm)	49	2,7	1,6	0,3	0,1
	0–10	450	2,0	2,6	1,0	0,1
	10–20	246	1,3	0,9	1,1	0,1
	Yhteensä	745	6,0	5,1	2,4	0,3
Sievi	(Rh)					
	0–10	484	13,9	2,6	0,7	0,3
	10–20	535	1,6	0,8	1,1	0,3
	Yhteensä	1019	15,5	3,4	1,8	0,6
Muhos	Rh (3 cm)	104	3,8	1,3	0,1	0,1
	0–10	2318	2,0	1,2	0,5	0,4
	10–20	1905	1,8	0,5	0,7	0,2
	Yhteensä	4327	7,6	3,0	1,3	0,7
Keminmaa	(Rh)					
	0–10	280	1,1	2,7	0,3	0,3
	10–20	460	0,5	0,8	0,3	0,3
	Yhteensä	740	1,6	3,5	0,6	0,6
Rovaniemi	Rh (3 cm)	134	4,4	0,8	0,1	0,1
	0–10	4927	3,2	1,1	0,5	0,2
	10–20	2701	3,8	0,5	0,6	0,4
	Yhteensä	7762	11,4	2,4	1,2	0,7
Kolari	Rh (2 cm)	231	3,5	0,4	0,2	0,1
	0–10	2575	4,1	0,7	0,5	0,3
	10–20	2458	12,1	0,7	0,6	0,5
	Yhteensä	5264	19,7	1,8	1,3	0,9

Liite 3. Tutkimusmetsiköiden esittely ja koejärjestelyt.**Parkano**

Parkano, Häädetjärvi, Katiskakorpi

Metsähallituksen maalla koerekisterinumero 9990.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen

Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).

Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on 0,16 ha ja yhteispinta-ala 0,96 ha. Koealojen nurkat ja keksipisteet on merkitty painekyllästetyillä puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat P 688 502 ja I 327 738, korkeus merenpinnasta 143 m ja lämpösumma 1 124 d.d.

Kasvupaikka on Vatkg (alunperin TR). Turpeen paksuus >150 cm ja typpipitoisuus (2.6.2000, 0 – 10 cm) 1,9 %. Perusojitus 1975 ja täydennykset 6/2011. Ei lannoitettu aikaisemmin.

Puusto on luontaisesti syntynyttä, aikoinaan ”risusavotoitua” 9,0 – 13,5 m pituista mäntymetsää, jossa tehtiin 28.2. – 4.3.2011 metsurityönä perinteinen kuitupuuhakkuu. Raivattavaa ei ollut.

Lannoituskäsittelyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

■ = lannoittamaton vertailu; koealat 2, 4 ja 6

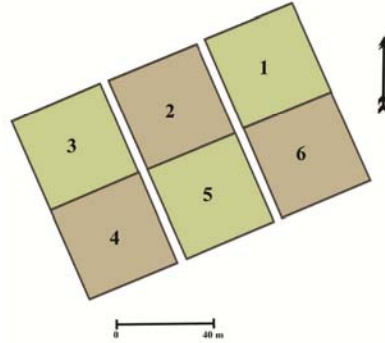
■ = rakeinen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 1, 3 ja 5

Lannoitus vakasta käsin kylväen 13.6.2000 L. Hirvisaari.

Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 23.3.2000 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu kolmannen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääversion viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennessa oksasta.

Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa eräitä perustietoja. Ensimmäinen varsinainen puuston mittaus suoritettiin 10/2010. Kasvamaan jäävät puut kartoitettiin ja lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Kokeen perustaminen ja hoito Metla/PA/A. Ryyränen.



Kuva: Yleisnäkymä metsikön puustosta 11/2010. Tulevassa hakkuussa poistettavat puut on merkitty kirvesleimalla. Suopursu on vallitseva varpu.

Valokuva A. Ryyränen / Metla.

Liperi

Liperi, Apajalahti, Sammalsuo. Kiinteistötunnus 426-403-13-5. Metsähallituksen maalla, koerek.nro 10263.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen

Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).

Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on 0,208 ha ja yhteispinta-ala 1,24 ha. Koealojen nurkat ja keksipisteet on merkitty puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat P 694 2090 ja I 360 3950, korkeus merenpinnasta 118 m ja lämpösumma 1250 d.d.

Kasvupaikka on Ptkg II (alunperin VSR). Turpeen paksuus 1,1 – 7,1 m ja typpipitoisuus (30.5.2001, 0 – 10 cm) 1,9 %. Perusojitus 1970-luvulla ja kunnostus 6/2011. Vesitaloustilanne on ollut kauan puutteellinen (soistumsita). Ei lannoitettu aikaisemmin.

Puusto on luontaisesti syntynyttä, 12 m:n keskipituista mäntyvaltaista metsää, jossa tehtiin talvella 2011 mototyönä ojalinjahakkuu ja koealoilla metsurityönä perinteinen kuitupuuhakkuu. Alle 5 cm:n puiden raivaus syksyllä 2010 ennen mittausta sekä yli 5 cm:n, mutta alle kuitupuukokoiset keväällä 2011.

Lannoituskäsittelyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

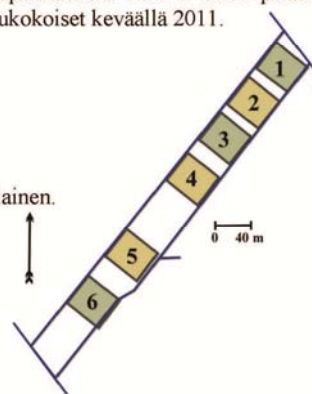
- = lannoittamaton vertailu; koealat 1, 3 ja 6
- = rakeinen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 2, 4 ja 5

Lannoitus vakasta käsin kylväen 7.6.2001 Markku Tiainen ja Pauli Saarelainen.

Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 23.1.2001 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu toisen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääverson viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennessa oksasta.

Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa $d_{1,3}$, latvusraja sekä pituus. Ensimmäinen varsinainen puuston mittausta suoritettiin 10/2010. Kasvamaan jäävät puut kartoitettiin ja lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Kokeen perustaminen ja hoito Metla/JO/M. Tiainen.



Markku Tiainen keräsi turvenäytteet Liperin kokeelta 25.8.2011.

Sievi

Sievi, Etelä-Sydänmaa

Metsähallituksen maalla koerekisterinumero 9791.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen

Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).

Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on välillä 0,130 – 0,182 ha ja yhteispinta-ala 1,02 ha. Koealojen keksipisteet on merkitty keltaisilla numeroituilla puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat 709 116 ja I 337 362, korkeus merenpinnasta 113 m ja lämpösumma 1 029 d.d.

Kasvupaikka on Ptkg II (alunperin TSR(N)). Turpeen paksuus 65 - >110 cm ja typpipitoisuus (18.9.2000, 0 – 10 cm) 1,9 %. Perusojitus 1984 ja kunnostus 6/2011. Ei lannoitettu aikaisemmin.

Puusto on luontaisesti syntynyttä käsittelemätöntä 6,0 – 10,5 m pituista mänty-koivu metsää, jossa tehdään kevät talvella 2011 metsurityönä perinteinen kuitupuuhakkuu ja raivaus.

Lannoituskäsitteilyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

■ = lannoittamaton vertailu; koealat 2, 4 ja 5

■ = rakeinen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 1, 3 ja 6

Lannoitus vakasta käsin kylvään 9.10.2000 J. Miettinen ja T. Jaakola.

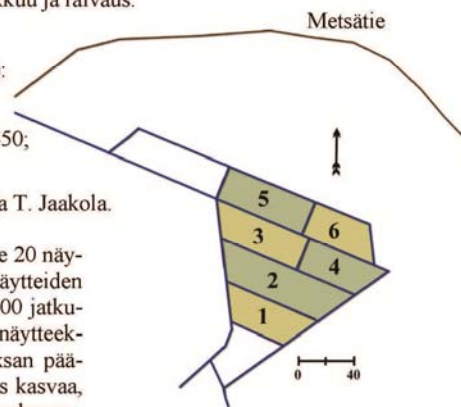
Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 1 – 3.2.2000 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu kolmannen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääverson viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennesta oksasta.

Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa eräitä perustietoja. Ensimmäinen varsinainen puuston kartoitusmittaus suoritettiin kahdelta ympyräkoevalta/ruutu vuonna 2000. Toinen mittaus samoilta ympyräkoevaloilta syksyllä 2010, jolloin lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Kokeen perustaminen ja hoito Metla/KA/O.Kohal.

Valokuvaus 2.9.2008 J. Issakainen ja M. Moilanen.

Kuva: Koealan 3 puustoa 2.9.2008. Pienistä kannoista ja koivun vesatuppaista voisi päätellä, että taimikkoa on joskus perattu?



Muhos

Muhos, Hanhisuo

Metsähallituksen maalla koerekisterinumero 9168.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen

Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).

Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on 0,08 ha ja yhteispinta-ala 0,48 ha. Koealojen keksipisteet on merkitty punaisilla numeroiduilla puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat P 719 9160 ja I 345 6560, korkeus merenpinnasta 72 m ja lämpösumma 1 034 d.d.

Kasvupaikka on Ptkg II (alunperin TSR(N)). Turpeen paksuus >100 cm ja typpipitoisuus (5.6.2000, 0 – 10 cm) 2,4 %. Perusojitus 1980-luvun alussa ja kunnostus 6/2011. Vesitaloustilanne on vuosia ollut puutteellinen. Ei lannoitettu aikaisemmin.

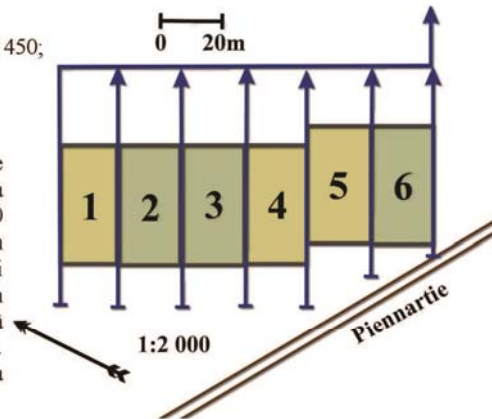
Puusto on luontaisesti syntynyttä 4 – 9 m pituisia mäntyvaltaista metsää, jossa tehtiin 2/2011 metsurityönä perinteinen kuitupuuhakkuu ja raivaus.

Lannoituskasittelyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

- = lannoittamaton vertailu; koealat 2, 3 ja 6
- = rakeinen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 1, 4 ja 5

Lannoitus vakasta käsin kylväen 7.6.2000 H. Vesala.

Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 30.3.2000 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu kolmannen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääverson viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennessa oksasta.



Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa eräitä perustietoja. Ensimmäinen varsinainen puuston mittaus suoritettiin syksyllä 2010. Kasvamaan jäävät puut kartoitettiin ja lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Lannoitetuilla aloilla puuston kasvu on ollut voimakasta. Kokeen perustaminen ja hoito Metla/MU/J. Issakainen. Valokuvaus 11.4.2000 (dia), 19.8.2004 koealat 1 ja 2 sekä 3.3. 2011 (J. Issakainen).

Kuva: Vasemmalla näkymä ennen lannoitusta 11.4.2000 ja oikealla 19.8.2004 viisi kasvukautta PK-lannoituksesta. Koeala 4.



Keminmaa

Keminmaa, Akkunusjoki, Helkkusenjätkä

Metsähallituksen maalla koerekisterinumero 9171.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen

Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).

Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on välillä 0,075 - 0131 ha ja yhteispinta-ala 0,58 ha. Koealojen rajat ja keskipisteet on merkitty punaisilla numeroiduilla puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat 730 5290 ja I 340 2560, korkeus merenpinnasta 2,3 m ja lämpösumma 992 d.d.

Kasvupaikka on Ptkg II (alunperin VSR). Turpeen paksuus >100 cm ja typpipitoisuus (13.6.2003, 0 – 10 cm) 1,45 %. Perusojitus 1977 ja kunnostusojitus 6/2011. Ei lannoitettu aikaisemmin.

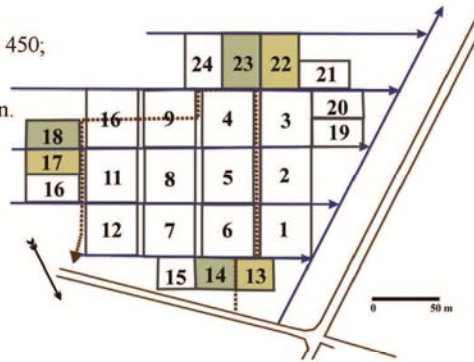
Puusto on luontaisesti syntynyttä 5 - 10 m pituista männikköä, jossa tehtiin 3/2011 perinteinen (metsuri MOTO) kuitupuuhakkuu ja raivaus.

Lannoituskäsittelyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

- = lannoittamaton vertailu; koealat 14, 18 ja 23
- = rakeinen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 13, 17 ja 22

Lannoitus vakasta käsin kylväen 26.6.2000 J. Issakainen.

Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 18.1.2001 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu kolmannen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääverson viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennessa oksasta.



Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa eräitä perustietoja. Varsinainen puuston mitaus suoritettiin syksyllä 2010 ja keväällä 2011. Kasvamaan jäävät puut kartoitettiin ja lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Kokeen perustaminen ja hoito Metla/MU/J. Issakainen. Kokeeseen kuuluu neljäs toisto, mutta se ei ole mukana seurannassa. Valokuvaus J. Issakainen 7.6.2001 ja 2.9.2003. Samalla alueella sijaitsee koe 4038 (kts. koealakartta).



Kuva: Koeala 17; 2.9.2003. Punainen paalu on koealan keskipisteessä. Neulasnäytepuissa (1 – 20) on hyvin näkyvät numerot.

Rovaniemi

Rovaniemi, Kivalo, Alajärvensuo

Metsähallituksen maalla koerekisterinumero 9769.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen


Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).


Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on välillä 0,081 – 0,105 ha ja yhteispinta-ala 0,55 ha. Koealojen nurkat ja keksipisteet on merkitty punaisilla numeroiduilla puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat 737 1890 ja I 348 6430, korkeus merenpinnasta 160 m ja lämpösumma 882 d.d.

Kasvupaikka on Ptkg II (alunperin VSN). Hiukan katajaa ja siniheinää. Turpeen paksuus >100 cm ja typpipitoisuus (19.5.2000, 0 – 10 cm) 2,6 %. Perusojitus 1930-luvulla ja kunnostukset 1988 ja 2011. Ei lannoitettu aikaisemmin.

Puusto on luontaisesti syntynyttä 5 – 11 m pituista mänty-koivu metsää, jossa tehtiin 2/2011 metsurityönä perinteinen kuitupuuhakkuu ja raivaus. Männyissä ja alikasvoskuusista näkyi kaliumin puutos.

Lannoituskäsittelyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

 = lannoittamaton vertailu; koealat 1, 4 ja 5

 = rakkainen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 2, 3 ja 6

Lannoitus vakasta käsin kylväen 19.5.2000 J. Issakainen.

Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 7.12.1999 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu kolmannen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääverson viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennessa oksasta.

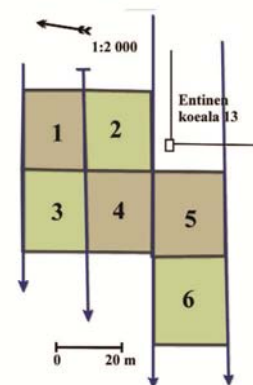
Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa eräitä perustietoja. Varsinainen puuston mittaus suoritettiin syksyllä 2010. Kasvamaan jäävät puut kartoitettiin ja lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Kokeen perustaminen ja hoito Metla/MU/J. Issakainen. Valokuvaus 3.4.2000 ja 8.6.2003 J. Issakainen.



Kuva: Koeala 2;
3.4.2000

Kuva: Koealojen
5 ja 6 rajalla oli
8.6.2001
alikasvoskuusista
selvästi
nähtävissä
kaliumin puutos.



Kolari

Kolari, Palosaajo

Metsähallituksen maalla koerekisterinumero 9170.

Metla/Muhos 1.3.2011 J. Issakainen


Suomännikön ravinnetilan pitkäaikainen seuranta 2000 – 2050. Seitsemän kenttäkoetta Liperistä Kolariin (standardimetsikkö).


Koe muodostuu kuudesta koealasta, joiden pinta-ala on välillä 0,077 – 0,080 ha ja yhteispinta-ala 0,47 ha. Koealojen rajat ja keksipisteet on merkitty punaisilla numeroiduilla puupaaluilla. Kohteen koordinaatit ovat 747 2870 ja 1 336 2850, korkeus merenpinnasta 153 m ja lämpösumma 808 d.d.

Kasvupaikka on koealoilla 1 – 4 Mtkg II sekä 5 ja 6 Ptkg II (alunperin VSR-RhSR). Turpeen paksuus 85 cm ja typpipitoisuus (6.6.2000, 0 – 10 cm) 2,9 %. Perusojitus 1974 ja kunnostusojitus 6/2011. Vesitaloustilanne on ollut kauan puutteellinen (soistumista). Ei lannoitettu aikaisemmin.

Puusto on luontaisesti syntynyttä 4,0 – 8,5 m pituista 1975 hoidettua mäntyvaltaista metsää, jossa tehtiin 1/2011 metsurityönä perinteinen kuitupuuhakkuu ja raivaus. Havupuissa nähtävissä paikoin K-pulan merkkejä.

Lannoituskäsitteilyjä on kaksi kolmesti toistettuna (kg/ha):

 = lannoittamaton vertailu; koealat 2, 3 ja 5

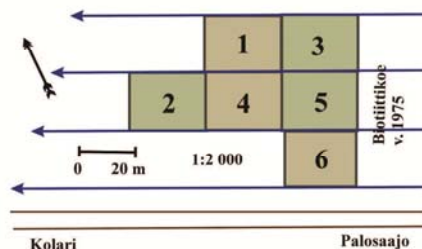
 = rakeinen suometsien PK-lannos (0-9-16, B 0,3) 450; koealat 1, 4 ja 6

Lannoitus vakasta käsin kylväen 7.6.2000 J. Issakainen.

Neulasnäytteiden ottoa varten valittiin jokaiselle koealalle 20 näytepuuta, jotka kartoitettiin ja numeroitiin pysyvästi. Näytteiden keruu (vuosittain 10 puusta/koeala) aloitettiin 8.12.1999 jatkuen tietokoneella laaditun ohjelman mukaan. Toistaiseksi näytteeksi on otettu kolmannen oksakiehkuran eteläisimmän oksan pääverson viimeisin kasvain. Sitä mukaan kun puiden pituus kasvaa, tehtävä vaikeutuu. Neulasvuosikertojen määrä luetaan kuudennesta oksasta.

Neulasnäytepuista mitattiin kokeen alussa eräitä perustietoja. Ensimmäinen varsinainen puuston mittaus suoritettiin syksyllä 2010. Kasvamaan jäävät puut kartoitettiin ja lisäkoepuut (15 kpl/koeala) kairattiin (tarkemmin e-mail 13.9.2010 M. Moilanen).

Huomautuksia: Kokeen perustaminen ja hoito Metla/MU/J. Issakainen. Valokuvaus 2.8.2001 ja 3.9.2003 J. Issakainen.



Kuva: Koeala 6; 2.8.2001 kaksi kasvuakutta PK- lannoituksesta.