

# PK-lannoituksella aikaansaadun kasvureaktion suuruus riippuu ojitusaluemännikön ravinnetilasta

The growth response of Scots pine to PK fertilization depends on the nutrient status of the stand on drained peatlands

Mikko Moilanen & Hannu Hökkä

*Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos Muhoksen toimintayksikkö (Metla Muhos Research Unit), Kirkkosaarentie 7, FIN-91500 Muhos, Finland (email: mikko.moilanen@metla.fi)*

*Hannu Hökkä, Metsäntutkimuslaitos Rovaniemen toimintayksikkö (Metla Rovaniemi Research Unit), Eteläranta 55, FIN-96301 Rovaniemi, Finland (email: hannu.hokka@metla.fi)*

Tutkimuksessa selvitettiin fosfori- ja kaliumlannoituksen aikaansaaman männyn kasvureaktion riippuvuutta neulasten ravinnepitoisuuksista 36 pohjoissuomalaisella metsäojitusalueella. Tarkasteltavana vastemuuttujana oli 15 vuoden aikajaksolla lannoituksen jälkeen syntynyt ero lannoitettujen ja lannoittamattomien metsiköiden kokonaiskasvussa. Neulasanalyysin perusteella 53 % metsiköistä kärsi fosforin, 39 % kaliumin ja 19 % typen puutoksesta. Regressioanalyysin tulosten mukaan lannoittamattomien vertailupuiden neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet selittivät 47 % metsiköiden tilavuuskasvumuutosten vaihtelusta. Turpeen tai neulasten typpipitoisuus ei vaikuttanut puiden kasvureaktioon. Johtopäätöksenä esitetään, että ojitusaluemänniköissä lannoituksen tuottama puuston lisäkasvu voidaan suuntaa-antavasti arvioida määrittämällä neulasanalyysillä puiden ravinnetila ennen lannoitusta.

Avainsanat: lannoitus, puuston kasvu, ravinnepuutokset, turvemaa

## Johdanto

Metsäojitetuilla turvemailla puiden käytettävissä olevat ravinnevarat vaihtelevat suuresti riippuen muun muassa suon maantieteellisestä sijainnista, alkuperäisestä päätyppiryhmästä ja turpeen paksuudesta (Moilanen ym. 1996, Laiho ym. 2008). Etenkin fosforin (P) saatavuus (hidas mineralisointuminen) rajoittaa yleisesti puiden kasvua (esim. Moilanen 1992, Moilanen ym. 2005a, Hytönen & Kokko 2006, Silfverberg & Moilanen 2008).

Paksuturpeisilla, alkuaan märillä nk. sekatyypin soilla, joille on ominaista puustoisten mätäspintojen ja puuttomien välipintojen vuorottelu, puut kärsivät usein myös kaliumin (K) puutoksesta (Kaunisto & Tukeva 1984, Pietiläinen ym. 2005, Silfverberg & Moilanen 2008). Fosforin ja kaliumin voimakkaasta puutoksesta kärsiviä metsäojitusalueita arvioidaan olevan Suomessa noin viidennes koko ojitusalasta eli noin miljoona hehtaaria (Kaunisto 1997).

Fosforin ja kaliumin puutokset esiintyvät

yleensä samanaikaisesti ja puutokset ovat sitä voimakkaampia, mitä enemmän puilla on saatavilla käyttökelpoista typpeä (N) (Silfverberg & Moilanen 2008). Ongelmat kärjistyvät paksaturpeisilla, ravinteisuudeltaan letto-, ruoho- ja suursaratasen kasvupaikoilla: turpeessa on runsaasti typpeä, mutta niukasti kivennäsravinteita (Kaunisto & Pietiläinen 2003, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Riski puuston ravinnepuutosten ilmaantumiselle on siten suurin kohteilla, jotka ovat kehittyneet tai kehittymässä mustikka- tai puolukkaturvekanikoiden II-tyypeiksi (MtkgII, PtkgII) (ks. Vasander & Laine 2008). Toisaalta juuri runsaiden typpi- ja kalsiumvarojen (Ca) ansiosta kyseisten suokasvupaikkojen puuntuotospotentiaali on merkittävä.

Lannoituskokeilta saatujen tulosten perusteella fosforin ja kaliumin lisäys parantaa männyn tilavuuskasvua  $1\text{--}4\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ v}^{-1}$ . Lannoitusvaikutus on todettu voimakkaaksi etenkin saraturvevaltaisilla sekatyypin rämeiden tai nevojen ojitusalueilla (Kaunisto & Tukeva 1984, Moilanen 1993, Silfverberg & Moilanen 2008). Männyn kasvureaktio on yleensä ollut sitä voimakkaampi ja pitkäaikaisempi, mitä enemmän puilla on ollut käytössään typpeä (Moilanen 1993, Moilanen ym. 2004). Alkuaan puustoisilla nk. aidoilla rämetyypeillä tai ohutturpeisilla kohteilla (turvekerros < 40 cm) puusto on kohtalaisen kasvuisaa jo ennen lannoitusta (Moilanen ym. 1996, Saarinen 1997). Näin myös kasvunlisäykset ovat jääneet pienemmiksi (Moilanen 1993, Moilanen ym. 2004).

Puiden lehdistä tai neulasista tehtyjen alkuainemääritysten avulla voidaan arvioida puuston ravinnetilaa. Suomessa suopuustojen ravinnetilaa on neulasanalyysin avulla kartoitettu niin käytännön metsätaloudessa kuin tutkimustyössä jo usean vuosikymmenen ajan (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1984, 1992, Moilanen ym. 2005b, Hytönen & Kokko 2006). Sekä männyn että kuusen neulasten ravinnepitoisuuksille on voitu määrittää puiden hyvää, tyydyttävää ja heikkoa ravinnetilaa osoittavat pääravinteiden (N, P, K) ja eräiden hivenravinteiden, kuten boorin (B) arvot.

Lannoituksen aiheuttamaan puiden kasvureaktioon eli lannoitusvasteeseen vaikuttavia tekijöitä ei tunneta riittävästi. Valtaosa tähänastisista tutkimuksista on kohdistunut ojitusalueille, joissa puiden ravinnepuutokset ovat olleet ilmeisiä jo lannoitushetkellä (esim. Kaunisto & Tukeva 1984,

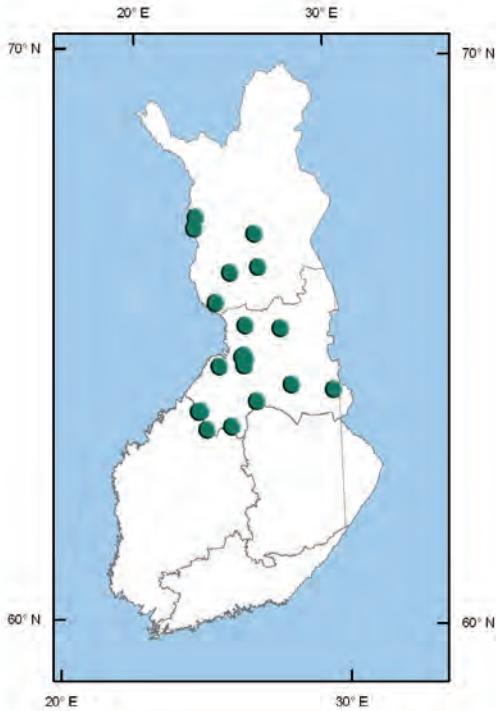
Rautjärvi ym. 2004, Moilanen 2005). Ravinnetilaltaan tasapainoisten aitojen räme- ja korpityyppien osalta lannoitusvaikutusten tutkimus on sen sijaan ollut vähäistä.

Neulasten ravinnepitoisuuksien tulkinta ja ravinnetilan arviointi rajoittuu tavallisesti pääravinnepuutosten toteamiseen ja lannoitusosuuden antamiseen. Tutkimustiedon puuttuessa ei kuitenkaan kyetä arvioimaan, mikä on lannoituksen aiheuttama puuston kasvureaktio ravinnetilaltaan erilaisissa metsiköissä. Käytännön metsätalouden kannalta tämä tieto olisi avainasemassa, kun neulasanalyysin avulla suunnitellaan lannoitustoimenpiteitä. Tieto kasvureaktion suuruudesta antaisi perustan arvioida lannoitusinvestoinnin kannattavuutta ja helpottaisi päätöksentekoa.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin fosfori- ja kaliumlisäyksen (PK-lannoitus) aikaansaamaa muutosta männyn tilavuuskasvussa ravinnetilaltaan erilaisissa metsiköissä. Puiden ravinnetilan indikaattorina käytettiin neulasten pääravinnepitoisuuksia kunkin metsikön lannoittamattomilla vertailualoilla ja lannoitusvasteen indikaattorina käytettiin muutosta puuston runkotilavuudessa PK-lannoitetuilla koaloilla 15 vuoden aikana lannoituksen jälkeen. Koska metsikön kasvuun vaikuttavien maaperätekijöiden (esim. turpeen paksuus, turvelaji, kasvupaikkatyyppi) yhteisvaikutuksen voi olettaa heijastuvan puiden ravinnepitoisuuksissa, hypoteesina esitetään, että puiden lannoitusvaste on määritettävissä neulasten pääravinnepitoisuuksien avulla.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa käytettiin Pohjois- ja Keski-Pohjanmaalle, Kainuuseen, Pohjois-Karjalaan ja Etelä-Lappiin 1970- ja 1980-luvuilla perustettuja ojitettujen turvemaiden lannoituskokeita (36 metsikköä) ja niiltä kerättyjä puustomittaus- ja neulasanalyysiaineistoja (Kuva 1). Tutkimusmetsiköiden kasvupaikat vaihtelivat ravinteisuudeltaan tupasvillatasosta ruohoisien. Valtaosa kasvupaikoista (26 metsikköä) edusti alkuperältään sekatyypin rämeitä. Aitoja rämeitä ja nevoja oli kumpiakin viisi. Turvekerroksen paksuus vaihteli 25 cm:stä yli 100 cm:iin. Ohutturpeiseksi (turvetta alle 40 cm) luokiteltiin 7 metsikköä.



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti.

Figure 1. Location of the study stands.

Kohteet olivat lannoitushetkellä kehittymässä tai jo kehittyneet varpu-, puolukka- tai mustikkaturvekankaiksi (Vatkg, PtkgI-II, MtkgII, luokitus ks. Vasander & Laine 2008). Kuivatustila oli kaikissa kohteissa hyvä tai tyydyttävä.

Kaikissa metsiköissä pääpuulajina oli mänty. Sekapuuna (alle 10 % tilavuudesta) esiintyi hieskoivua ja/tai kuusta. Lannoitushetkellä puusto (kokeesta riippuen 2–68 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) oli ollut riuku- ja osin taimikkovaiheessa. Yhdeksän metsikköä oli saanut nk. pohjalannoituksen (raakafosfaatti ja kalisuola) ojituksen yhteydessä 1960-luvulla, 10–21 vuotta ennen varsinaisen lannoituskokeen perustamista ja ne edustivat tyydyttävässä tai hyvässä ravinnetilassa olevia metsiköitä. Koejärjestelyt oli toteutettu arvottujen lohkojen periaatteilla. Lannoituskäsittelyjen toistoja oli 2–5 kussakin tutkimusmetsikössä. Tähän tutkimukseen otettiin mukaan lannoittamattomien vertailualueiden lisäksi vain PK-lannoitetut koealat. Pohjalannoitetuissa metsiköissä vertailua edustivat jatkolannoittamattomat koealat.

PK-käsittely oli tehty lähes poikkeuksetta 1970-luvulla käytössä olleella Suometsien PK-lannoksella (vastaa nykyistä RautaPK-lannoitetta). Lannoituksessa annettu fosforin määrä vaihteli 35–45 kg ha<sup>-1</sup> ja kaliumin määrä välillä 60–80 kg ha<sup>-1</sup>. Koealat oli rajattu saroille ojasta ojaan ja niiden pinta-ala vaihteli 0,05–0,20 ha.

Puuston tähän astinen kasvu selvitettiin nk. kairausmenetelmällä, kun lannoituksesta oli kulunut kokeesta riippuen 16–25 vuotta (Metsikkökokeiden...1987). Kultakin koealalta valittiin puidenluvun yhteydessä 15–25 koepuuta, joiden rinnankorkeuslöpimittojen (d1.3, mm) ja pituuksien (cm) avulla määritettiin koepuiden runkotilavuus (Laasasenaho 1982). Koepuista kasvukairalla otettujen lustonäytteiden sädekasvumittausten ja puiden pituuskasvujen avulla selvitettiin puuston runkotilavuuden kehitys lannoitusajankohdasta mittaushetkeen (Heinonen 1994).

Neulasnäytteet kerättiin metsikön lannoittamattomilta vertailukoaloilta, kun kokeen perustamisesta oli kulunut kohteesta riippuen 5–15 vuotta. Koealakohtainen neulasnäyte koostui 6–8 männystä kerätyistä uusimman neulasvuosikerran neulasista, jotka otettiin vihreän latvuksen yläosan sivukasvaimista (1–2 kasvainta per puu). Vertailukoalojen pintaturpeesta (0–10 cm) otettiin myös turvenäytteet, kun lannoituksesta oli kulunut 10–15 vuotta. Koealoittainen maanäyte koostettiin koealan eri osista tasavälein otetuista 5–10 osanäytteestä, jotka analyysivaiheessa yhdistettiin. Neulasnäytteiden N-, P- ja K-pitoisuudet ja turvenäytteiden N-pitoisuus määritettiin vakiintunein menetelmin (ks. Halonen ym. 1983). Puiden ravinnetilan tulkinta pohjautui aiemmissä tutkimuksissa esitettyihin neulasten ravinnepitoisuuksien raja-arvoihin (Paarlahti ym. 1971, Reinikainen ym. 1998, Moilanen ym. 2005b) seuraavasti:

Ravinne	Ankara puutos	Lievä puutos	Tyydyttävä / Hyvä
P, mg g <sup>-1</sup>	< 1,3	1,3–1,6	> 1,6
K, mg g <sup>-1</sup>	< 3,5	3,5–4,0	> 4,0
N, mg g <sup>-1</sup>	< 12	12–13	> 13

Aineisto analysoitiin SAS-ohjelmistolla (SAS Institute Inc. 1999) lineaarisena regressioanalyysinä käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää (OLS). Selitettävänä vastemuuttujana käytettiin männyn kokonaistilavuuskasvun erotusta ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) lannoitetuilla ja lannoittamattomilla koealoilla 15 lannoitusta seuranneen vuoden aikana kussakin metsikössä käsittelyjen toistojen keskiarvona. Selittävinä muuttujina käytettiin turpeen N-pitoisuutta ja neulasten N-, P- ja K-pitoisuuksia ( $\text{mg g}^{-1}$  kuiva-aineesta lannoittamattomien koealojen keskiarvona). Ravinnetilaltaan erilaisten kasvupaikkojen puustojen kasvumuutoksia verrattiin myös varianssianalyysillä ja Bonferronin testillä.

## Tulokset

### Neulasten ravinnepitoisuuksien ja puiden ravinnetilan vaihtelu

Männyn neulasten N-pitoisuus oli lannoittamattomilla vertailualoilla metsiköstä riippuen 9,8–18,1  $\text{mg g}^{-1}$ , P-pitoisuus 0,86–2,02  $\text{mg g}^{-1}$  ja K-pitoisuus 3,00–4,95  $\text{mg g}^{-1}$ . Kohteen viljavuustasoa osoittava turpeen typpipitoisuus vaihteli 1,2–2,8 % turpeen kuiva-aineesta.

Tutkimuskohteiden välinen ravinnetilan vaihtelu oli neulasanalyysin perusteella huomattavan suurta. Puusto kärsi neulasanalyysin perusteella ankarasta fosforin puutoksesta 19 metsikössä 36:sta (53 %:lla kohteista P-pitoisuus  $< 1,3 \text{ mg g}^{-1}$ ), ankarasta kaliumin puutoksesta 14 metsikössä (39 %:lla kohteista K-pitoisuus  $< 3,5 \text{ mg g}^{-1}$ ) ja ankarasta typen puutoksesta 7 metsikössä (19 %:lla kohteista N-pitoisuus  $< 12 \text{ mg g}^{-1}$ ). Samanaikaista fosforin ja kaliumin puutosta esiintyi 11 metsikössä (31 %:lla kohteista). Fosforin ja kaliumin puutosten esiintyminen kytkeytyi yhteen niin, että ankarasta fosforin puutoksen vallitessa puilla oli poikkeuksetta puutetta myös kaliumista ja että ankarasta kaliumin puutoksen vallitessa puut potivat yleensä myös fosforivajausta (neulasten P- ja K-pitoisuuksien välinen korrelaatiokerroin oli merkitsevä,  $r = 0.495$ ). Samanaikainen typen, fosforin ja kaliumin puutos esiintyi vain kahdessa metsikössä (6 %:lla kohteista).

Sekatyyppien ojituskohteille tai avosoille syntyneissä metsiköissä puiden tyypitila oli yleensä tyydyttävä tai hyvä, mutta fosfori- ja kaliumtila välttävä tai heikko. Typen puutoksia esiintyi lähinnä vain aidoilla puustoisilla ja/tai ohutturpeisilla kohteilla, joilla puolestaan fosfori- ja kaliumtila oli useimmiten tyydyttävä.

Pintaturpeen N-pitoisuus korreloi neulasten N- ja K-pitoisuuksien kanssa merkitsevästi. Mitä enemmän turpeessa oli typpeä, sitä korkeampi oli neulasten N-pitoisuus (korrelaatiokerroin  $r = 0.448$ ;  $p = 0.006$ ) ja sitä alempi K-pitoisuus (korrelaatiokerroin  $r = -0.491$ ;  $p = 0.002$ ). Turpeen N-pitoisuus ja neulasten P-pitoisuus eivät korreloineet keskenään ( $r = -0.113$ ).

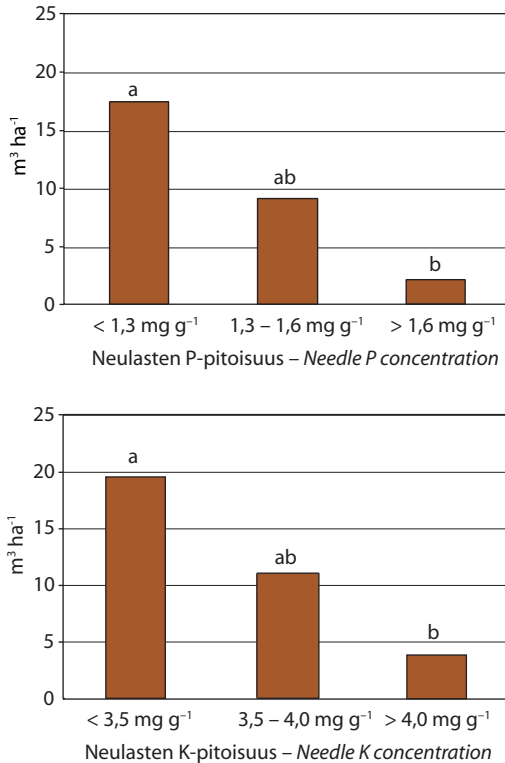
### Puiden lannoitusvasteen riippuvuus metsikön ravinnetilasta

Puiden ravinnetilan ja lannoituksella saadun lisäkasvun välillä todettiin selvä yhteys. Metsiköissä, joissa esiintyi neulasanalyysin perusteella selvä fosforin ja/tai kaliumin puutostila, PK-käsittely lisäsi puuston kasvua merkitsevästi enemmän kuin metsiköissä, joissa ravinnetila oli tyydyttävä tai hyvä (Kuva 2). Lannoitettujen puustojen tilavuuskasvu 15 vuoden aikana oli ankarissa puutostilanteissa 44–53 %, lievissä puutostilanteissa 15–22 % ja tyydyttävässä / hyvässä ravinnetilanteessa 3–6 % suurempi kuin lannoittamassa puustossa.

Estimoitu malli, jossa lannoituksen aiheuttama puuston lisäkasvu selitettiin merkitsevillä ravinnetunnuksilla eli neulasten P- ja K-pitoisuuksilla, selitti 47 % aineistossa olevasta vaihtelusta (Malli 1, Taulukko 1). Neulasten K-pitoisuuden ja puuston lisäkasvun välisen riippuvuuden vaihtelu oli suurempi kuin P-pitoisuuden ja lisäkasvun välinen vaihtelu, mikä näkyi ravinnemuuttujien erilaisissa merkitsevyyksissä. Mallin jäännös-vaihteluissa ei ollut trendiä neulasten tai turpeen N-pitoisuuden suhteen.

### Tulosten tarkastelu ja päätelmät

Turvemailla kasvavien männiköiden lannoitus-päätökset pohjautuvat usein neulasanalyysien tulkintaan. Tässä työssä pyrittiin arvioimaan,



Kuva 2. PK-lannoituksen tuottama puuston lisäkasvu ( $m^3 ha^{-1}$  15 vuoden aikana) fosfori- ja kaliumravinnetilaltaan erilaisissa ojitusaluemänniköissä. Samoilla kirjaimilla merkityt pylväät eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferronin testissä  $p$ -arvo  $> 0.05$ ).

Figure 2. Increase in 15-year stand growth ( $m^3 ha^{-1}$ ) induced by PK fertilization in stands of different P and K status. Differences between the columns marked with same letters are not statistically significant according to Bonferroni test ( $p > 0.05$ ).

tarjoaako neulasanalyysi mahdollisuuden estimoida lannoituksella aikaan saatavaa puuston kasvunlisäystä. Tulosten mukaan lähtöhypoteesi osoittautui pääosin oikean suuntaiseksi: mallilla kyettiin selittämään noin puolet lannoitettujen ja lannoittamattomien puustojen kasvun erotusten vaihtelusta. Estimoitua lannoitusvastetta onkin pidettävä kohtuullisen luotettavana. Puiden kasvun kannalta minimiravinteina voi tulosten perusteella pitää fosforia ja kaliumia, jotka molemmat selittivät lannoituksenjälkeistä kasvuvastetta. Turpeen tai neulasten typpipitoisuudella ei ollut olennaista merkitystä puiden kasvureaktion kannalta, vaikka

osalla tutkituista metsiköistä puut kärsivät neulasanalyysin mukaan typen puutoksesta.

Lannoituksen vaikutusta ojitettujen turvemaiden puustojen kasvuun ei liene aiemmin arvioitu tässä työssä esitetyllä tavalla. Lähellä tätä tarkastelutapaa on Silfverbergin ja Moilasan (2008) tutkimus, jossa selvitettiin lannoitettujen puiden neulasten ravinnepitoisuusmuutosten yhteyttä puiden ravinnetilaan lannoitushetkellä. Tulos oli samansuuntainen kuin tässä tutkimuksessa: mitä alempia neulasten P- ja K-pitoisuudet olivat, sitä suurempi oli neulasissa havaittu kyseisten ravinteiden pitoisuuksien kohoaminen etenkin ensimmäisellä lannoitusta seuranneella 10-vuotiskaksolla (Silfverberg & Moilanen 2008).

Tutkimusmetsiköiden välinen ravinnetilan vaihtelu oli huomattavan suurta. Keskimäärin joka kolmas metsikkö kärsi ankaraa P- ja K-puutosta, kolmasosalla ravinnepuutokset olivat vähäisiä ja kolmasosalla puutoksia ei neulasanalyysin perusteella voitu todentaa. Aineistolle alun perin asetetun tavoitteen — eli saada mukaan ravinnetilaltaan erilaisia puustoja — voidaan katsoa täyttyneen.

Tulosten yleistettävyyden suhteen muutama reunahuomautus on tarpeen. Puiden ravinnetilan määrittäminen perustui lannoittamattomista vertailupuustoista tutkimusjakson aikana kertaalleen tehtyihin neulasanalyysiin. Lähtöoletus oli, että

Taulukko 1. PK-lannoituksen ojitusaluemänniköissä tuottamaa lisäkasvua ( $m^3 ha^{-1}$  15 vuodessa) kuvaava regressiomalli ja mallin selittäjät, kertoimien estimaatit keskivirheeseen sekä selitysasteet ( $r^2$ ) ( $n = 36$ ).

Table 1. Regression model with respective explanatory variables, estimated coefficients and their standard errors and  $r^2$  for predicting the growth response ( $m^3 ha^{-1}$  in 15 years) to PK fertilization in pine stands ( $n = 36$ ).

Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe Standard error	p-arvo p-value
Vakio Intercept	4,5992	0,7946	<0,0001
P	-1,5132	0,4504	0,0020
K	-0,4753	0,2359	0,0521
$r^2 = 0,4697$			

Note: P = foliar phosphorus concentration ( $mg g^{-1}$ ), K = foliar potassium concentration ( $mg g^{-1}$ ).

vertailupuustojen ravinnetila on säilynyt koko 15 vuoden tarkastelujakson samanlaisena. Voidaanko tätä oletusta pitää luotettavana? Kuinka suuri on puiden ravinnetilan vuosien välinen vaihtelu ja metsiköiden iänmukainen ravinnetilan muuttuminen — varsinkin niiden metsiköiden osalta, jotka oli aiemmin pohjalannoitettu ja joilla pohjalannoituksen vaikutus ennemmin tai myöhemmin tulisi ehtymään? Onko tässä käytetty 15 vuoden tarkastelujakso riittävän pitkä lannoitusvasteen estimoimiseen ja olisivatko tulokset samansuuntaiset myös varttuneissa rämemänniköissä? Voidaanko tulokset yleistää myös Etelä-Suomen aluetta koskeviksi?

Huomattavalla osalla tutkimusmetsiköitä ravinnetilaa on seurattu 5 vuoden välein tehdyillä neulasanalyysillä kokeen perustamisesta lähtien. Peräkkäisissä analyyseissa ravinnepitoisuuksien erot ovat vähäisiä eivätkä pitoisuudet olennaisesti poikkeaa niistä ravinnepitoisuuksista, jotka valittiin selittäviksi muuttujiksi tässä tutkimuksessa. Myös niissä metsiköissä, joissa oli tehty peruslannoitus ennen varsinaista lannoituskoetta, puuston ravinnetila säilyi fosforin ja kaliumin osalta samanlaisena tutkimuskauden ajan.

Käytettyä 15 vuoden seurantajaksoa on pidettävä riittämättömänä lannoituksen kokonaisvaikutuksen arviointiin. PK-käsittelyn tiedetään lisäävän puuston kasvua paksuriveillä kohteilla ravinnepuutostilanteissa vähintään 20–30 vuoden ajan (esim. Moilanen ym. 2005a). Puuston kasvureaktion suuruus, ajoittuminen ja kestoaika kuitenkin riippuvat kasvupaikkatypistä (Moilanen 2005). Varpurivekankailla — joissa ravinnepuutokset ovat yleensä lieviä — lannoituksen kasvuvaikeus jää 0,5–1,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> tasolle ja lannoitusreaktio vakiintuu viimeistään 10 vuoden kuluessa sille tasolle, jolla se on säilynyt myös myöhempinä vuosina (Moilanen & Issakainen 1990). Mustikka- ja puolukkaturvekankaiden II-tyypeillä — joissa ravinnepuutokset ovat yleensä voimakkaita — puuston kasvu lisääntyy lannoituksen jälkeen vähintään 15 vuoden ajan (Moilanen ym. 2004). Voidaan siis päätellä, että erot ravinnetilaltaan erilaisten metsiköiden kasvussa lannoituksen jälkeen olisivat muodostuneet tässä tutkimuksessa todennettuja suuremmiksi, jos laskentajakso olisi ollut 20 tai 25 vuotta.

Yksittäisten metsiköiden välillä lannoitus-

vaikutus vaihteli voimakkaasti — myös ravinnetilaltaan samanlaisissa kohteissa — mikä heikensi mallin selitysvaikutusta. Esimerkiksi voimakkaasta P- ja K-puutoksesta kärsivissä metsiköissä vuotuinen runkopuuston kasvureaktio vaihteli 1–5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>. Luultavaa on, että mallien tarkkuus lisääntyisi, jos mukaan selittäjiksi otettaisiin pintaturpeen pääravinnemäärät, etenkin kaliumin osalta. Kaliumpitoisuudet ja -määrät olivat tiedossa kuitenkin vain muutamalta kokeelta, ja niiden mukaan puiden lannoitusvaste oli sitä voimakkaampi, mitä vähemmän turpeessa oli kaliumia.

Käytännön lannoitussuosituksen mukainen fosforiannostus (P 40–50 kg ha<sup>-1</sup>) riittää ravinnepuutoskohteissa turvaamaan puiden fosforinsaannin vähintään 30 vuoden ajaksi (Silfverberg & Hartman 1999, Silfverberg & Moilanen 2008). Kaliumlisäys (K 80–100 kg ha<sup>-1</sup>) näkyy neulasten K-pitoisuudessa 15–20 vuoden ajan käytettäessä nopealiukoista kalisuolaa (Kaunisto 1992, Moilanen & Issakainen 1990, Pietiläinen ym. 2005). Useimmiten puuston tilavuuskasvu säilyy lannoittamatonta vertailutasoa suurempana kiertoajan loppuun (Moilanen 2005).

Tämän tutkimuksen puustot olivat lannoitushetkellä vähäpuustoisia riukuvaiheen männiköitä ja niiden kasvu ilman lannoitusta hyvin vaatimatonta. Tuloksia lannoituksen aiheuttaman kasvureaktion suuruudesta ei näin ollen voida yleistää varttuneempiin metsiköihin, joissa absoluuttiset kasvut — ja myös lannoituksella saatavat lisäkasvut — olisivat tässä esitetyistä poikkeavia. Syynä suhteellisen pieniin tilavuuskasvulisäyksiin verrattuna aiemmissä tutkimuksissa esitettyihin (mm. Moilanen 1993, Moilanen 2005) on pidettävä lannoitushetken alhaisia puumääriä ja mahdollisesti myös PK-käsittelyn sisältämää verraten pientä kaliumannostusta (60–70 kg ha<sup>-1</sup>). Nykysuosituksen mukaisilla annostuksilla (K 80–100 kg ha<sup>-1</sup>) lannoituksen aikaansaama puuston kasvumuutos olisi todennäköisesti ollut suurempi, etenkin ankaraa ravinnepuutosta potyvissa metsiköissä.

Aineiston mukaisesti tulokset soveltuvat parhaiten nuoriin männiköihin Pohjois-Suomen alueelle. Tämänhetkinen tietämys lannoitusreaktioista eri ilmasto-oloissa ei ole riittävää, jotta voitaisiin arvioida tulosten soveltuvuutta Etelä-Suomen ojitusaluemetsiin.

Johtopäätöksenä esitetään, että lannoituksen aiheuttama kasvuvaikutus voidaan ojitusalueiden neulas- ja K-pitoisuuksien avulla. Tulokset palvelevat käytännön metsätalouden päätöksentekoa, kun arvioidaan lannoituksella tavoiteltavan puuston lisäkasvun suuruutta ja lannoitustoimenpiteen taloudellista kannattavuutta.

## Kiitokset

Juhani Päivänen ja Soili Kojola esittivät lukuisia varteenotettuja korjauksia käsikirjoitukseen. Graafit artikkeliin käsitteli Irene Murtovaara.

## Kirjallisuus

- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Hytönen, J. & Kokko, A. 2006. Mäntyjen ravinnetilä Kala- ja Pyhäjokilaaksojen suometsissä vuosina 1998–2005. Raportti Toimeentuloa metsästä -projektille. 12 s.
- Kaunisto, S. 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. *Suo* 43(2): 45–62.
- Kaunisto, S. 1997. Suometsien kasvu turvattava metsänparannus- ja metsänhoitotoimilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedote 27.11.1997.
- Kaunisto, S. & Pietiläinen, P. 2003. Peat nitrogen status and its effect on the nutrition and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on an afforested mire. *Baltic Forestry* 9(1): 33–42.
- Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuvaiheen männiköissä. (Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs). *Folia Forestalia* 585. 40 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curce and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108: 1–74.
- Laiho, R., Sarkkola, S., Kaunisto, S., Laine, J. and Minkkinen, K. 2008. Macroscale variation in peat element concentrations in drained boreal peatland forests. *Silva Fennica* 42(4): 555–570.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Moilanen, M. 1992. Suopuustojen ravinnetilä Pohjois-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Valtanen, J, Murtovaara, I. & Moilanen Merja (eds) Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 419: 58–65.
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilään 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. 2005. Suometsien lannoitus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi — suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 134–166.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1990. PK-lannos ja typpilannoitelajit karuhkojen ojitettujen rämeiden lannoituksessa. (Summary: PK fertilizer and different types of N fertilizer in the fertilization of infertile drained pine bogs). *Folia Forestalia* 754. 20 s.
- Moilanen, M., Piironen, M-L. & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Piironen, M-L. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35–54.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökkä, H. & Issakainen, J. 2004. Comparing effects of wood ash and commercial PK fertiliser on the nutrient status and stand growth of Scots pine on drained mires. *Baltic Forestry* 10(2): 2–10.
- Moilanen, M., Pietiläinen, P. & Issakainen, J. 2005a. Long-term effects of apatite and bitrite on the nutrient status and stand growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands. *Suo* 56(3): 115–128.

- Moilanen, M., Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2005b. Puuston ravinnetilan arviointi. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi — suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 81–95.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1–58.
- Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in three temperature sum regions. *Suo* 54(1): 1–13.
- Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Vesala, H. 2005. Nutrient status and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands after potassium fertilization. *Suo* 56(3): 101–113.
- 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.
- 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* 48(1): 21–25.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS OnlineDoc version 8 (computer program). SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- 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.
- 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* 59(3): 71–88.
- Vasander, H. & Laine, J. 2008. Site type classification on drained peatlands. Julkaisussa: Korhonen, R., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). 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. 1984. Lannoitustarpeen määrittäminen metsäojitusalueilla. (Summary: Diagnosing nutrient deficiencies on drained peatlands). *Suo* 4–5: 94–97.
- Veijalainen, H. 1992. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987–88. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 408. 28 s.

## Summary: The growth response of Scots pine to PK fertilization depends on the nutrient status of the stand on drained peatlands

For assessing the economics of peatland fertilization treatment in practical forest management, it is necessary to provide information on the magnitude of the expected growth response following PK-fertilization. This study aimed at constructing a regression model for predicting the growth response to PK-fertilization from the stand nutrient status prior to the treatment as indicated by foliar nutrient analysis.

It has been shown in several studies that while drained peatland sites are commonly rich in nitrogen (N), the lack of phosphorus (P) and potassium (K) is limiting the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* (L.)) stands. Nutrient imbalances have been commonly treated with commercial PK-fertilizers, which have resulted in improved foliar nutrient status and a remarkably increased growth rate of trees. The response has also been shown to be related to the stand nutrient status prior to fertilization.

The data came from 36 fertilization experiments established in northern Finland in 1970s and 1980s (Fig. 1). Deficiencies of P, K and N were diagnosed in 53%, 39% and 19% of all stands, respectively. In the linear regression analysis, the response variable was the total volume growth difference between PK-fertilized plots and non-fertilized plots — calculated as an average for each experiment — during the first 15 years period after fertilization. The N, P, and K concentrations of the foliage of the non-fertilized control stands, as well as the surface peat N concentrations, were used as the potential explanatory variables.

The results of the regression analysis showed that the P and K concentrations of the non-fertilized control plots explained 47 % of the variation in the volume growth response (Table 1). It was also shown that the magnitude of the growth response was negatively related to the pre-fertilization P and K status of the stand (Table 1, Fig. 2). Stands that were suffering from severe P or K deficiency responded with 44–53 % higher growth and those with satisfactory P and K status responded with only 3–6 % higher growth than the non-fertilized control stands. Foliar and peat N concentration were not related to the response.

The results clearly indicated that stand foliar nutrient status before fertilization is related to the rate of the growth response to PK fertilization in Scots pine stands in drained peatlands. Furthermore, the needle nutrient characteristics can be used to predict the magnitude of the growth response with considerable reliability. It should be kept in mind that this study only considered a 15-year period after fertilization in conditions characteristic to northern Finland. Nevertheless, the results are encouraging to further develop means to predict the expected growth response following fertilization in drained peatlands.