

Kuusialikasvoksen ravinnetila ja pituuskasvu ylispuuhakkuun ja lannoituksen jälkeen mustikkaturvekankaalla

Mikko Moilanen & Jorma Issakainen

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.

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

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

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Moilanen Mikko & Issakainen Jorma			
Nimeke Kuusialikasvoksen ravinnetila ja pituuskasvu ylispuuhakkuun ja lannoituksen jälkeen mustikkaturvekankaalla			
Vuosi 2011	Sivumäärä 22	ISBN 978-951-40-2281-4 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Pohjois-Suomi / SUM-tutkimusohjelma / 3484 Suometsien uudistaminen ja 3486 Suometsien ravinnetalous ja lannoitusvaikutukset			
Hyväksynyt Markku Saarinen, hankkeen vetäjä, 15.11.2010			
Tiivistelmä Turvemaiden varttuneissa hieskoivikoissa esiintyy usein luontaista kuusialikasvosta, jota voidaan hyödyntää metsänuudistamisessa vapauttamalla alikasvos ylispuuhakkuulla. Kuusialikasvoksen tuotoskyky riippuu keskeisesti puiden kivennäisravinteiden saatavuudesta. Paksuturpeisilla ja nevaista alkuperää olevilla metsäojitusalueilla puiden ravinnetalousongelmat ovat yleisiä ja ylispuuhakkuun seurauksena ne monesti kärjistyvät. Tässä tutkimuksessa selvitettiin ylispuuhakkuun jälkeen tehdyn lannoituksen (Metsän PK-lannos, Metsän kali-hivenlannos) vaikutusta ravinnepuutoksista (kalium, boori) kärsivän kuusialikasvoksen ravinnetilaan ja pituuskasvuun. 1960–70-luvuilla ojitettua 5 tutkimuskohdetta olivat kuivatuksen seurauksena muuttuneet alkuaan vähäpuustoisista nevarämeistä mustikkaturvekankaiksi (MtgII). Molemmat lannoituskäsittelyt poistivat puiden ravinnepuutosten ulkoiset oireet ja kohottivat kuusen neulasten kalium- ja booripitoisuutta merkittävästi jo vuoden kuluessa. Sinkkiä sisältänyt Metsän kali-hivenlannos kohotti myös neulasten sinkkipitoisuutta. Kuusten pituuskasvu oli 5–10 vuoden kuluttua lannoituksesta käsittelystä ja metsiköstä riippuen 1,2–2,4-kertainen lannoittamattomaan verrattuna. Puiden ravinnetila korjaantui ja kasvu lisääntyi merkittävästi jo pelkällä kaliumlannoituksella - fosforilisäyksestä ei juurikaan ollut puille hyötyä. Puiden lannoitusvaste osoitti kuitenkin heikentymisen merkkejä jo lannoitusta seuranneella toisella 5-vuotisjaksolla. Johtopäätöksenä esitetään, että kuusen ravinnetilan ja kasvun säilyminen hyvänä kyseisen tyyppisillä ravinneongelma-alueilla edellyttää 1–2 uusintalannoitusta metsikön kasvatusaikana.			
Asiasanat Picea abies, alikasvos, ravinnepuutos, lannoitus, turvemaa, metsänuudistaminen			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp188.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimipaikka, Kirkkosaarentie 7, 91500 MUHOS mikko.moilanen@metla.fi			
Muita tietoja			

Sisällys

Johdanto	5
Aineisto ja menetelmät	6
Tulokset	9
Alikasvoksen ravinnetila ylispuuhakkuun jälkeen	9
Alikasvoksen ravinnetilan ja kasvun muutokset lannoituksen jälkeen.....	11
Neulasten ravinnepitoisuudet	11
Alikasvoksen ulkoasu	16
Alikasvoksen pituuskasvu	17
Tulosten tarkastelu ja päätelmät	17
Viitteet.....	20

Johdanto

Metsikön varttuessa syntyy valtaapuuston alle usein luontaista taimiainesta, josta osa vakiintuu ja säilyy nk. alikasvoksena uudistumisvaiheeseen saakka. Varjostusta sietävänä puulajina kuusella (*Picea abies* Karst.) on Suomen oloissa muita puulajeja paremmat edellytykset uudistua luontaisesti vanhan puuston alla. Kangasmailla kuusialikasvoksia syntyy herkimmin sekametsiin ja koivikoihin. Alikasvoksia esiintyy runsaasti myös metsäoijitettujen turvemaiden hieskoivuvaltaisilla ja mänty-hieskoivusekapuustoa kasvavilla turvekankailla.

Alikasvospuiden kasvuedellytykset vaihtelevat riippuen ylispuuston puulajista ja järeydestä. Kuusella sopeutuminen alikasvosasemaan näkyy mm. neulasten ja latvuksen rakenteessa (Greis & Kellomäki 1974, Lesinski & Sundkvist 1992, Niinemets & Kull 1995a, 1995b, Metslaid 2008). Ylispuustosta johtuvan valo-, ravinne- ja juuristokilpailun vuoksi alikasvostaimien kasvu on yleensä hitaampaa kuin vapaana ja valossa kasvavien taimien (Bergqvist 1999, Klang & Ekö 1999). Järeäpuustoisessa kuusikossa alikasvostaimien kasvu on hyvin hidasta, kun taas harvahkon koivikon alla kuusen taimet säilyvät usein kasvuisina (Heikurainen 1985, Niemistö 1995, Mård 1996, de Chantal ym. 2003).

Kun kasvupaikka on kuuselle sopiva, tiheys riittävä ja alikasvos elpymiskykyistä, voidaan se hyödyntää metsänuudistamisessa ja näin säästää uudistamiskustannuksissa (mm. Hyvän metsänhoidon suositukset 2006, 2007). Olemassa oleva taimiaines vapautetaan ylispuuhakkuulla eikä taimettumiseen tähtäävää kaistale- tai suojuspuuhakkuuta tai avohakkuu-viljelyvaihetta tällöin tarvita (Moilanen & Saksa 1998). Samalla vältytään avohakkuun ja maanmuokkauksen aiheuttamilta ravinnehuuhtoutumilta, taimikonperkauksilta ja pintakasvillisuuden torjunnalta.

Ylispuuston poiston seurauksena alikasvostaimikon kasvuolot muuttuvat. Turvemaiden pohjaveden pinta yleensä kohoaa, kasvupaikan lämpöolot äärevöityvät ja riski taimien hallavaurioille kasvaa (Leikola 1975, Päivänen 1982, Leikola & Rikala 1983). Mitä voimakkaampia ja äkillisempiä kasvutekijöiden muutokset ovat, sitä pitemmän sopeutumisajan uusiin olosuhteisiin taimikko tarvitsee. Vapauttamisen aiheuttama ”shokkivaikutus” näkyy puiden pituuskasvun taantumisenä, neulaskatona ja joskus kuolleisuuden lisääntymisenä (Cajander 1934, Skoklefald 1976, Andersson 1984, Koistinen & Valkonen 1993, Mielikäinen & Valkonen 1995). Taantumisen voimakkuus ja kesto aika riippuvat alikasvoksen kunnosta, koosta ja aikaisemmasta kasvusta. Pitkään ylispuuston alla kituneen alikasvoksen toipuminen kestää yli viisi vuotta, mutta kohtalaisen kasvuista alikasvos elpyy muutamassa vuodessa (Helms & Standiford 1985, Koistinen & Valkonen 1993, Örlander & Karsson 2000, Hilli ym. 2003, Päätaalo ym. 2003, Metslaid ym. 2005, Metslaid 2008). Kasvun taantumisen ylispuiden poiston jälkeen on tulkittu osaltaan johtuvan valon lisääntymisen aiheuttamasta fotosynteesitehon taantumasta ja klorofyllipitoisuuden alentumisesta (Gnojek 1992, Saarinen & Sarjala 1999). Valo- ja lämpö-olojen muutokset voivat etenkin kuivilla kasvupaikoilla aiheuttaa myös kuivuusstressin, minkä vuoksi puut siirtävät kasvun painopisteen juuristoon, minä aikana pituuskasvu muutamiksi vuosiksi taantuu tai jopa heikkenee (Kneeshaw ym. 2002).

Ylispuuhakkuu muuttaa myös metsikön ravinnekiertoa. Vallitsevan puuston aiemmin käyttämät ravinteet vapautuvat nyt taimikon ja muun kasvillisuuden käyttöön, samoin hakkuutähteiden maatuessa niiden sisältämät ravinteet. Kuusialikasvosten ravinnetilatutkimuksissa on neulasten typi- ja fosforipitoisuuden havaittu kohonneen ylispuuhakkuun jälkeen, mutta kaliumpitoisuuden

yleensä laskeneen jopa ravinnepuutosrajan alapuolelle (mm. Kartusenko 1967, Koshelkov 1982, Saarinen 1995, 1996, Moilanen & Saksa 1998, Hilli ym. 2003). Myös neulasten booripitoisuuden alentumisesta on raportoitu (Granhuis & Brække 2001). Typpipitoisuuden nousun on arveltu olevan seurausta turpeen mikrobitoiminnan lisääntymisestä hakkuun jälkeen. Neulasten kaliumpitoisuuden aleneminen saattaisi taas olla seurausta siitä, että vapaan juuristotilan lisääntyessä puut suuntaavat kaliumin käytön lähinnä juuriston kasvupisteisiin (Saarinen 1996, 2005). Ylispuuhakkuun aiheuttaman taantuman vapautetun taimikon kasvussa voi siis selittää useita vuosia kestävä ravinnetasapainon häiriintyminen ja etenkin kaliumin puutos.

Metsäojitusalueilla puiden ravinnetalousongelmat painottuvat paksuturpeisille, vähäpuustoisista korpi- ja rämekohteista tai entisistä avosoista kehittyneille II-typin puolukka- ja mustikkaturvekankaille (Moilanen ym. 2005, Silfverberg & Moilanen 2008). Yleisimmin on kyse kivennäisravinteiden – fosfori (P) ja kalium (K) – heikosta saatavuudesta suhteessa typpeen (N). Uudistamishakkuiden seurauksena typen ja kaliumin epäsuhtana voi olettaa kärjistyvän entisestään, sillä turpeen kaliumvarat ovat vähäiset ja hakkuupoistuman aiheuttama ravinnehävikki suhteellisen suuri. Kun kasvillisuuden ja puuston ravinteiden käyttö hakkuun seurauksena vähenee ja tilapäisesti jopa lakkaa, alttiut helppoliukoisen kaliumin huuhtoutumiseen voi lisääntyä. Viljavien korpimetsien päätehakkuualoilla näin on todettu tapahtuneen (Nieminen 1999). Näin ollen seuraavan puusukupolven kasvattaminen tuotoksen kestävyttä vaarantamatta voi edellyttää puiden ravinnetaloutta tasapainottavia lannoituksia jo taimikkovaiheessa.

Tutkimustieto ylispuuhakkuun aiheuttamista ravinnetilan muutoksista turvemaiden alikasvostaimikoissa on riittämätöntä ja osin ristiriitaista (Saarinen & Sarjala 1999, Hilli ym. 2003). Erityisesti kaivataan lisätietoa siitä, kuinka nopeasti lannoitus korjaa mahdolliset ravinnepuutokset ja onko ravinnebisäys välttämätön metsikön kasvun säilymiseksi kasvupaikan potentiaalisen tuotoskyvyn edellyttämällä tasolla.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin lannoituksen vaikutusta ylispuuhakkuulla vapautetun ja ravinnepuutoksista kärsivän kuusialikasvoksen ravinnetilaan ja kasvuun metsäojitetulla turvemaalla. Puiden ravinnetilan ja kasvun muutoksia seurattiin neulasnäytteistä tehdyillä ravinneäärityksillä ja puiden pituuskasvumittauksilla. Tutkimusjakso kattoi lannoituksen jälkeisen ensimmäisen 10-vuotiskauden.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineisto kerättiin viidestä metsiköstä (pinta-ala 0,3–1,6 ha) Länsi-Lapista (Kolari, Tornio) ja Pohjois-Pohjanmaalta (Oulu, Muhos, Vihanti) (Taulukko 1). Kasvukauden keskimääräinen lämpösumma vuosina 1998–2007 oli kohteesta riippuen keskimäärin 933–1187 d.d. (laskentamenetelmä ks. Ojansuu & Henttonen 1983). Tutkimuskohteet ojitettiin 1960–1970-luvuilla, jolloin ne olivat ruohoisuustason korkea, rämettä tai nevaa. Vihannin metsikkö sijaitsi entisellä suopellolla. Kuivatuksen seurauksena kasvupaikat olivat muuttuneet suurelta osin mustikkaturvekankaan II-tyypeiksi (MtkgII), Oulun koealue luokitettiin puolikkaturvekankaaksi (PtkgII). Turvekerroksen paksuus oli kaikissa metsiköissä vähintään 80 cm. Issakaisen (1999) kehittämä nk. ”typensuosijalajien” esiintymiseen perustuva silmävaraisen kasvupaikkaluokituksen mukaan kohteet olivat runsastyyppisiä: pintaturpeen typpipitoisuuden arvioitiin olevan n. 3 %.

Metsiköt olivat ennen hakkuita luontaisesti syntyneitä ja kaksijaksoisia. Vallitsevan jakson eli ylispuuston muodosti huonokasvuinen ja vajaatuottoinen 60–90-vuotias hieskoivikko, sekapuuna esiintyi vaihtelevasti kuusta ja mäntyä. Kuusivaltaisen alikasvoksen pituus hakkuuhetkellä vaihteli metsiköstä riippuen välillä 0,2–6 m ja tiheys ylispuuhakkuun jälkeen välillä 1705–7335 kpl ha⁻¹. Torniossa alikasvos koostui lähes yksinomaan kuusesta, muissa kohteissa sekapuuna oli mäntyä (0–950 kpl ha⁻¹).

Taulukko 1. Tutkimusmetsiköiden taustatiedot, koejärjestelyt sekä puustomittausten ja neulasnäytteiden ke-ruun ajankohdat.

	Kolari	Tornio	Oulu	Muhos	Vihanti
Metlan koerekisteri nro	9166	9991	9995	9160	9996
Koetunnus	Pikkuteuravuoma 1/1998	Hannula 1/2001	Rusko 1/2001	Matolampi 80:19	Ahtaanoja 2/2001
Koordinaatit (N:E)	7471:364	7320:338	7218:343	7181:460	7146:340
Korkeus merenpinnasta, m	155	27	14	62	89
Lämpösumma, d.d. (vuodet 1998–2007)	933	1096	1187	1182	1153
Turvetta, cm	>100	100	80– >100	>100	40–70
Kasvupaikka (Huikari 1952)	RiRhN	RhK	SsR	(Ri)RhR	Ent. pelto Rh-tasoa
Turvekangastyypin (Vasander & Laine 2008)	MtkgII	MtkgII	PtkgII	MtkgII	MtkgII
Ojitusvuodet	1930–1970-luku	1968, 2002	2001	1978, 2003	1978
Sarkaleveys, m	30–40	15–30	30	45	33
Ylispuuston ikä, v	90	80	70	70	60
Ylispuuhakkuu, kk/v	1/1999	1/2001	2/1993	11/1997	1/1998
Alikasvoksen pituus, m	1,0–3,5	0,5–3,0	0,5–8,0	0,1–5,0	0,2–3,0
Alikasvoskuusia, kpl ha ⁻¹	5070	6050	2690	1705	7335
Kokeen pinta-ala, ha	1,38	1,37	1,62	1,04	0,27
Koealoja, kpl	16	12	12	20	6
Lannoituskäsittelyjä/toistoja, kpl	3/4	3/4	3/4	3/4	3/2
Lannoitusajankohta	10.6.1999	5.6.2002	19.6.2001	6.6.1998	18.6.2001

Kaikissa metsiköissä puuston vajaatuottoisuuden arvioitiin olleen seurausta kasvupaikan heikoista ravinneoloista. Havaitut ravinnepuutosten ulkoiset oireet – kuusen vanhempien neulasvuosiker- tojen kellertävä yleissävy ja männyn neulasten keltäkärkisyys – viittasivat kaliumin saatavuuden ongelmiin. Kaliumin puutos todennettiin Oulussa myös neulasanalyyysillä ennen lannoituskokeen perustamista: syksyllä 1997 alikasvoskuusten neulasista määritettiin ennätysmäisen alhainen ka- liumpitoisuus, 1,85 mg g⁻¹.

Ylispuuhakkuut tehtiin metsurityönä vuosina 1993–2001. Suuremmilta korjuuvaurioilta vältyttiin eikä alikasvostaimia merkittävästi tuhoutunut. Vuosina 1998–2002 perustetuissa lannoituskoeissa koejärjestelyinä olivat kasvupaikan ja puuston perusteella metsikköön muodostetut lohkot, joihin rajatuille koealoille (pinta-ala 0,05–0,14 ha) eri lannoitusvaihtoehdot arvottiin. Lannoittamattoman vertailun (kontrolli) lisäksi kaikissa kokeissa oli kaksi lannoituskäsittelyä, jotka tois-

tettiin metsiköstä riippuen 2–4 kertaa (taulukko 2). Pääkysymys oli, saadaanko alikasvoksen ravinnetila kuntoon pelkällä kaliumlisäyksellä (Metsän kali-hivenlannos) vai tarvitaanko kaliumin ohella myös fosforia (Metsän PK-lannos). Käsittelyjen sisältämä fosforiannostus oli 54 kg ha⁻¹ ja kaliumannostus 100 kg ha⁻¹. Lannoitteet levitettiin koealoille alkukesällä käsityönä: Muhoksella ja Kolarissa heti hakkuuta seuraavana kesänä, Torniossa vuoden, Vihannissa 3 vuoden ja Oulussa 8 vuoden kuluttua hakkuusta. Kohteita ei ollut aiemmin lannoitettu lukuun ottamatta Muhoksen koealuetta, joka oli saanut vuonna 1981 Suometsien PK-lannosta 500 kg ha⁻¹.

Alikasvoskuusista otettiin neulasnäytteet, kun lannoituksesta oli kulunut kokeesta riippuen 1–3 kasvukautta. Neulasnäytteet kerättiin toistamiseen 5–8 kasvukautta lannoituksen jälkeen. Muhoksen kokeella neulasnäytteet otettiin neljästi: 1, 2, 4 ja 8 vuoden kuluttua lannoituksesta. Neulaset kerättiin talvikautena puiden kolmen ylimmän oksakiehkuran sivukasvaimista. Kukin näyte koostui koealan 10–15 puusta otetuista edellisessä neulasista. Näytteet varastoitettiin säilytyksen ajaksi pakkahuoneeseen (-18 °C) ja analysoitiin standardimenetelmin (Halonen ym. 1983) Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) Muhoksen toimipaikan laboratoriossa. Neulasten kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä hajoitetuista näytteistä spektrofotometrisesti, kokonaisfosforin ja -boorin määrittäminen spektrofotometrisesti (värireaktio), kaliumin sekä muiden pää- ja hivenravinteiden määrittäminen kuivatuhkistetuista (500 °C, 48 tuntia) näytteistä atomiabsorptiospektrofotometrillä (liekki-AAS). Neulasten keskimassa (100 kpl) mitattiin kuivauksen (65 °C, 48 tuntia) jälkeen.

Puiden ravinnetilan tulkinta pohjautui aiemmin esitettyihin kuusen neulasten ravinnepitoisuuksien raja-arvoihin (Reinikainen ym. 1998, Veijalainen 2001, Moilanen ym. 2005) (taulukko 3).

Taulukko 2. Käytetyt lannoitteet (Kemira Grow How), lannoiteannostukset ja käsittelyjen alkuainesisältö.

Käsittely, lannoite, annostus (ravinnepitoisuudet, %)	Pää- ja hivenravinteita, kg ha ⁻¹				
	P	K	B	Cu	Zn
Kontrolli	-	-	-	-	-
Lannoittamaton vertailu					
PK, Metsän PK-lannos 602 kg ha ⁻¹ (P 9 K 16 B 0,3 Cu 0,2)	54	100	1,8	1,2	-
Khiv, Metsän kali-hivenlannos 333 kg ha ⁻¹ (K 30 B 0,4 Zn 0,4)	-	100	1,3	-	1,3

Taulukko 3. Kuusen ravinnetilaa osoittavat neulasten ravinnepitoisuuksien raja-arvot.

Ravinne	Ankara puutos	Välttävä	Sopiva
N, %	< 1,2	1,2–1,5	1,5–1,9
P, mg g ⁻¹	< 1,7	1,7–2,3	2,3–3,5
K, mg g ⁻¹	< 5,0	5,0–6,0	> 6,0
B, mg kg ⁻¹	< 7	7–10	10–30
Cu, mg kg ⁻¹	< 2 a)	-	-
Zn, mg kg ⁻¹	< 16	-	-

a) = alhainen arvo, varma puutosraja selvittämättä

- = ei tietoa raja-arvosta

Ravinnepitoisuuksien ohella ravinteiden keskinäiset suhteet vaikuttavat puiden elinvoimaan ja tuotoskykyyn. Kuusen neulasten 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-arvoina arvioitaessa puiden ravinnesuhteita ja niissä lannoituksen seurauksena tapahtuneita muutoksia.

Puustomittaukset tehtiin syksyllä 2008. Kunkin koealan keskipisteeseen sijoitettiin koealan koosta riippuen yksi (joskus kaksi) ympyräkoelaa ($r = 3,99\text{--}8,0\text{ m}$), joilta lukupuiksi otettiin kaikki yli 1,3 m:n (Kolarissa kaikki yli 0,3 m:n) pituiset kuuset. Lukupuista mitattiin rinnankorkeuspimmita ($d_{1,3}$, mm) ja niistä valittiin koepuiksi pienillä ympyräkoeloilla 15 ja isommilla ympyräkoeloilla 20–25 kuusta. Koepuista määritettiin puun terveydentila, pituus (dm), pituuskasvu (cm) viimeisen 3–5 vuoden ajalta ja arvioitiin ulkoiset ravinnepuutokset (P, K, B) neulasten muodon, pituuden ja värin perusteella (Reinikainen ym. 1998). Pituuskasvumittaukset kohdentuivat ajankohtaan, jolloin lannoituksesta oli kokeesta riippuen kulunut 5–10 vuotta. Terveydentila ja tuhot arvioitiin puiden ulkoisten tunnusmerkkien avulla (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987).

Lannoituksen vaikutusta puiden pituuskasvuun sekä neulasten ravinnepitoisuuksiin ja -suhteisiin (N:K, N:P) testattiin yksi- ja kaksisuuntaisella varianssianalyysillä (SPSS 14.0 for Windows). Käsitteilyjen parittainen vertailu tehtiin Bonferronin testillä (merkitsevyysraja $p < 0.05$). Muhoksen kokeella, jossa neulasanalyysi tehtiin neljästi tutkimusjakson aikana, käytettiin nk. toistettujen mittausten varianssianalyysiä.

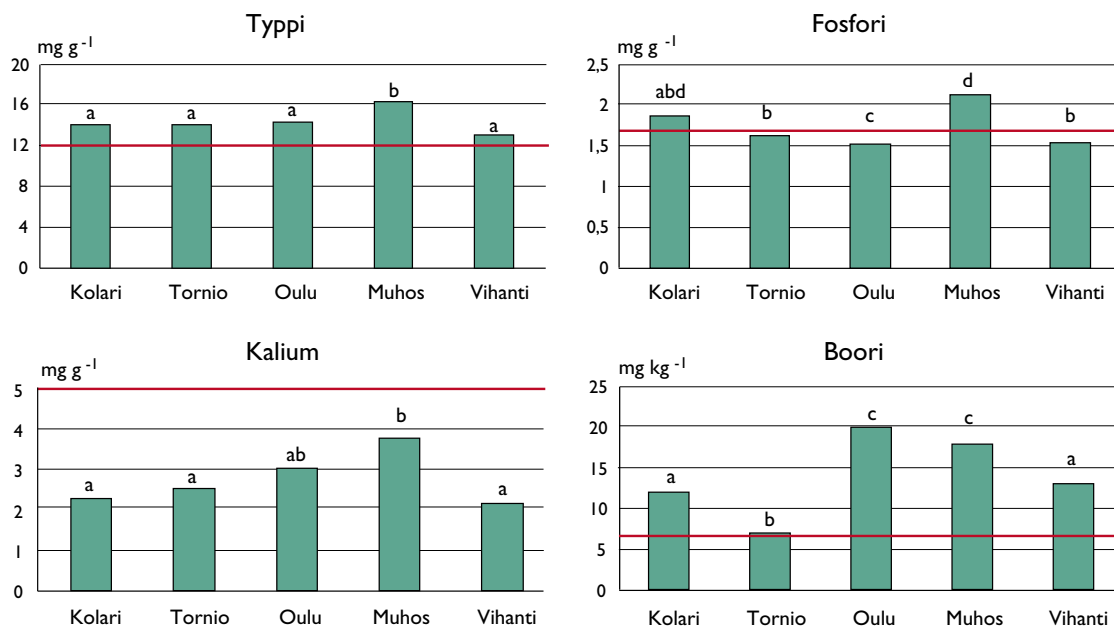
Alikasvospuiden ravinnetilan vaihtelua ja eri ravinteiden merkitystä puille selvitettiin myös vektorianalyysillä. Vektorianalyysi on kasvien ravinmediagnostiikkaan kehitetty tarkastelutapa, jossa neulasten ravinnepitoisuuksissa, kuivamassassa ja ravinnesisällössä ilmenneet suhteelliset muutokset havainnollistetaan graafisesti nk. vektoridiagrammissa (esim. Timmer & Stone 1978, Timmer & Ray 1988, Haase & Rose 1995). Menetelmä mahdollistaa usean eri ravinteen keskinäisen yhteyden samanaikaisen tarkastelun ja osoittaa, mitkä ravinteet rajoittavat puiden kasvua suhteellisesti eniten ja onko tiettyjen ravinteiden saanti ylenmääräistä tai jopa haitallista. Vertailutasona käytettiin lannoittamattomien puiden neulasten ravinnepitoisuuksia ja kuivamassaa, joihin lannoituskäsittelyjen aiheuttamat muutokset neulasten ravinnepitoisuuksissa ja ravinnesisällössä suhteutettiin.

Tulokset

Alikasvoksen ravinnetila ylispuuhakkuun jälkeen

Vapautettujen alikasvoskuusten neulasten ravinnepitoisuuksissa todettiin tutkimusmetsiköiden välillä merkitseviä eroja kalsiumia ja rautaa lukuun ottamatta (kuva 1, taulukko 4). Kaikissa kohteissa kuusella esiintyi voimakasta kaliumin puutosta (pitoisuus alle 5 mg g^{-1}). Torniossa, Oulussa ja Vihannissa esiintyi myös fosforin puutosta. Typen osalta tilanne oli hyvä tai tyydyttävä. Muhoksella ja Vihannissa neulasten Cu-arvot olivat alhaiset ja Torniossa B-arvot puutosrajan tuntumassa. Oulussa, Muhoksella ja Vihannissa myös Zn-pitoisuudet oli alhaisia.

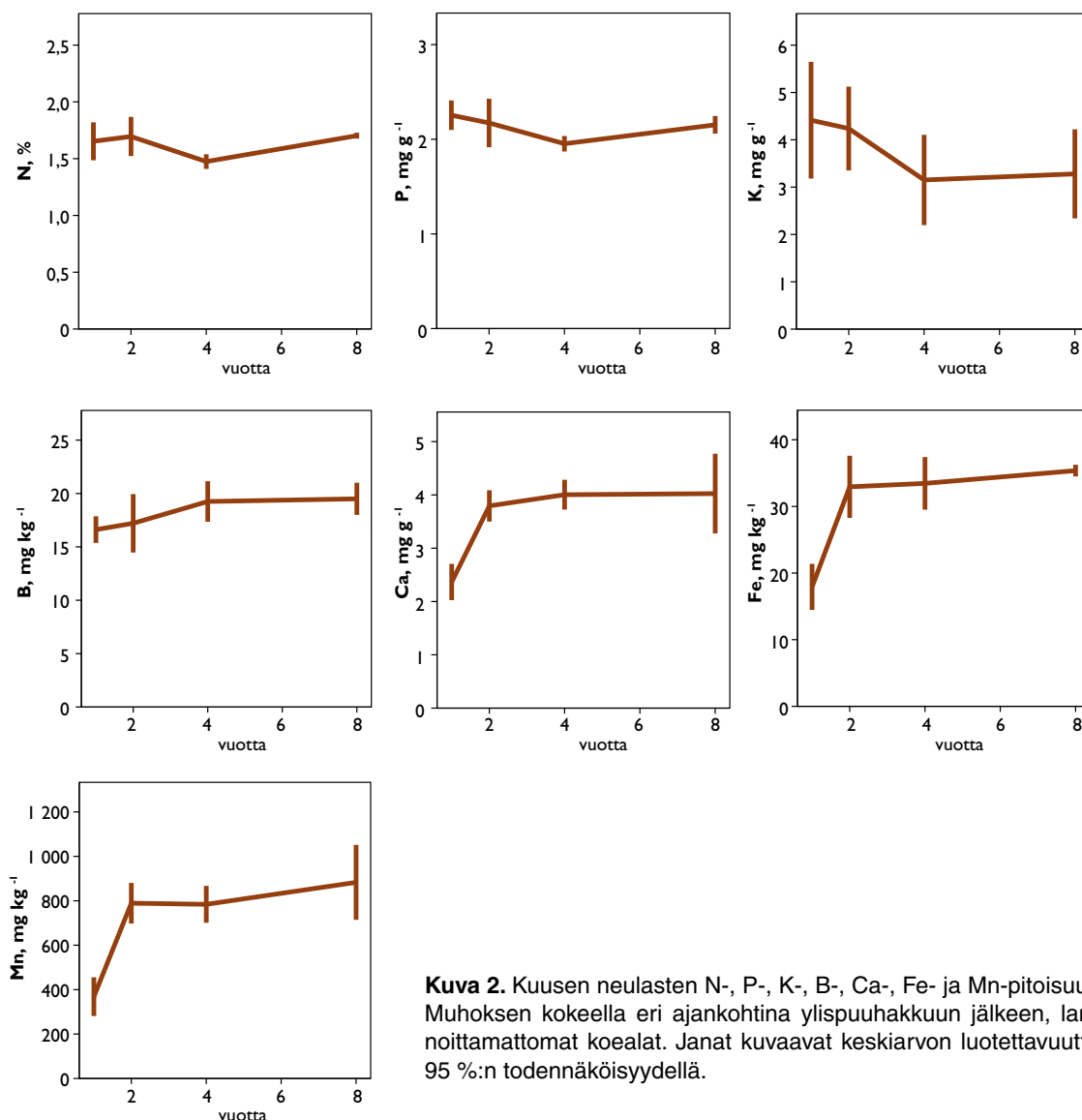
Muhoksella hakkuun vaikutus näkyi neulasten Ca-, Fe- ja Mn-pitoisuuden kohoamisena toisesta hakkuun jälkeisestä vuodesta lähtien (kuva 2). Neulasen kuivamassa kohosi noin puolitoistaker-taiseksi 2 vuoden aikana ylispuuhakkuusta ja säilyi tällä tasolla seuraavan 5 vuoden ajan. N-, P-, K- tai B-pitoisuuksissa ei 8 vuoden aikana havaittu selkeää muutostrendiä, joskin K-pitoisuus näytti hiukan laskevan hakkuusta kuluneen iän myötä.



Kuva 1. Kuusen neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuudet tutkimusmetsiköittäin, lannoittamattomat koealat. Samoilla kirjaimilla merkittyjen pylväiden arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferron). Punaiset viivat osoittavat ko. ravinteen puutosrajaa.

Taulukko 4. Kuusen neulasten Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- ja Cu-pitoisuudet tutkimusmetsiköittäin, lannoittamattomat koealat. Samoilla kirjaimilla merkityt arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferron).

Ravinne	Kolari	Tornio	Oulu	Muhos	Vihanti
Ca, mg g ⁻¹	3,5 a	3,12 a	2,82 a	3,55 a	2,61 a
Mg, mg g ⁻¹	1,14 a	1,02 ab	1,46 c	0,9 b	0,84 ab
Fe, mg kg ⁻¹	27 a	28 a	38 a	30 a	24 a
Mn, mg kg ⁻¹	684 ab	793 a	433 b	706 a	691 ab
Zn, mg kg ⁻¹	29 a	18 b	16 b	16 b	15 b
Cu, mg kg ⁻¹	2,2 ab	2,3 ab	2,4 b	1,9 a	2,0 ab



Kuva 2. Kuusen neulasten N-, P-, K-, B-, Ca-, Fe- ja Mn-pitoisuus Muhoksen kokeella eri ajankohtina ylispuuhakkuun jälkeen, lannoittamattomat koealat. Janat kuvaavat keskiarvon luotettavuutta 95 %:n todennäköisyydellä.

Alikasvoksen ravinnetilan ja kasvun muutokset lannoituksen jälkeen

Neulasten ravinnepitoisuudet

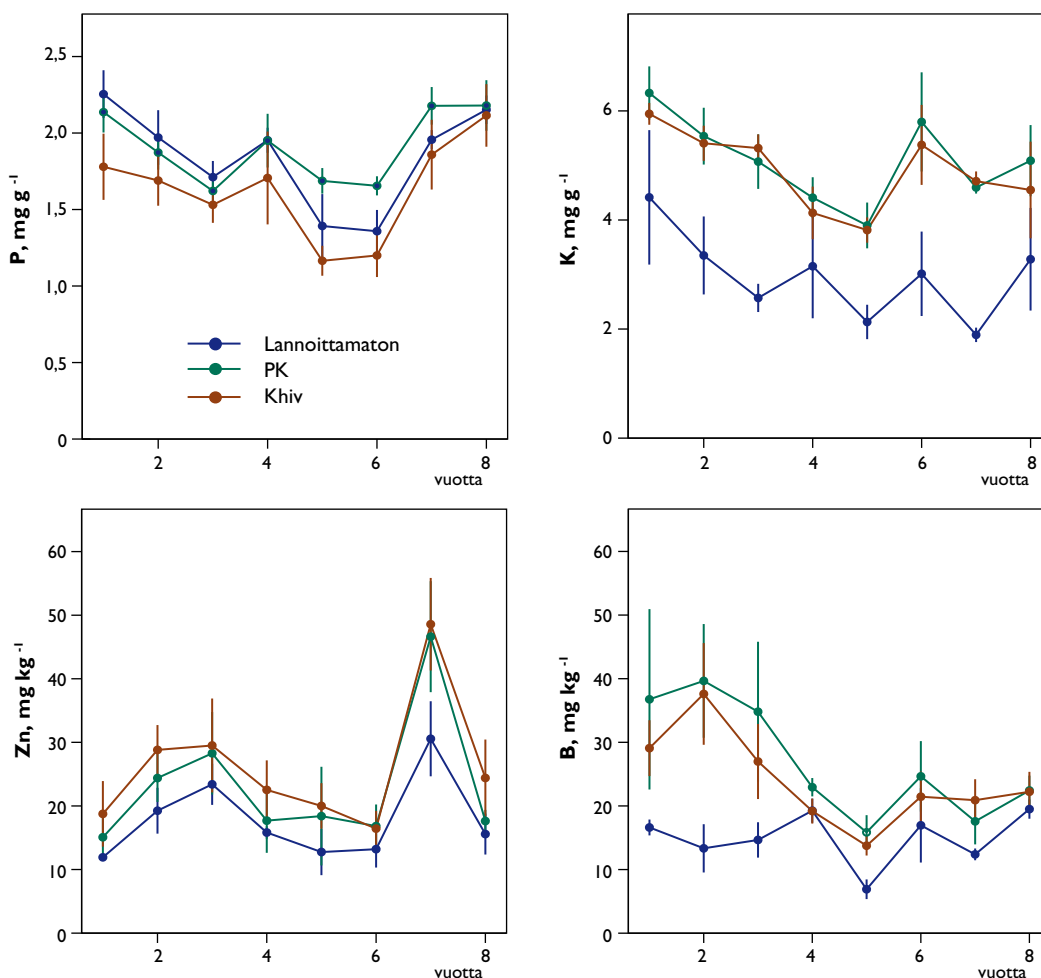
Kuusten ravinnepuutosten oireet hävisivät lannoitusta seuranneen vuoden aikana. Lannoituksen vaikutus näkyi selvimmin neulasten K- ja B-pitoisuuksissa, jotka kohosivat merkitsevästi jo levitystä seuranneella kasvukaudella (Muhos). Molemmat lannoitusvaihtoehdot kohensivat puiden K-tilaa samansuuntaisesti kaikissa metsiköissä. Kaksisuuntaisessa varianssianalyysissä merkitsevä yhdysvaikutus kokeen ja lannoituskäsittelyn välillä todettiin vain kahdella ravinteella kymmenestä (Ca ja B jaksolla 2–3 vuotta lannoituksesta ja B jaksolla 5–8 vuotta lannoituksesta).

Kun lannoituksesta oli kulunut 2–3 vuotta, neulasten K-pitoisuus oli lannoitetuilla koealoilla kokeesta riippuen 1,4–2,5-kertainen kontrolliin verrattuna (kuva 3). Khiv-aloilla neulasten K-pitoisuus oli puutosrajan (5 mg g^{-1}) yläpuolella kaikissa kohteissa, samoin PK-aloilla Kolaria lukuun ottamatta. Koko aineistossa neulasten K-pitoisuus oli kontrollialoilla keskimäärin 3 mg g^{-1} , PK-

aloilla 5,3 mg g⁻¹ ja Khiv-aloilla 5,4 mg g⁻¹. Kun lannoituksesta oli kulunut 5–8 vuotta, vastaavat keskiarvot olivat: 2,6 (kontrolli), 5,0 (PK) ja 4,7 (Khiv). Puiden kaliumin saatavuus oli siis selvästi heikentynyt riippumatta käsittelystä – vain kahdessa PK-lannoitetussa ja yhdessä Khiv-lannoitetussa metsikössä neulasten K-pitoisuus oli enää puutosrajan yläpuolella (kuva 3).

Neulasten B-pitoisuus oli 2–3 vuoden kuluttua lannoituksesta käsittelystä ja metsiköstä riippuen 1,4–6-kertainen, mutta 5–8 vuoden jälkeen enää 1,1–2,3-kertainen kontrolliin verrattuna (kuva 3). B-arvojen muutos oli suhteellisesti suurin Torniossa, jossa lannoittamattomien puiden B-tila oli heikohko koko tutkimuskauden ajan.

Khiv-käsittely alensi hieman neulasten P-pitoisuutta levitystä seuranneen 2–3 vuoden aikana ja vaikutus oli koko aineistossa myös tilastollisesti merkitsevä (kuva 3). Selvimmin ilmiö näkyi Vihannissa, Oulussa ja Torniossa. PK-käsittely puolestaan kohotti jaksolla 5–8 vuotta levityksestä neulasten P-pitoisuutta merkitsevästi kaikissa muissa paitsi Muhoksella. Lannoitus – etenkin Khiven-lannos – kohotti myös neulasten Zn-pitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi. Muiden analysoitujen ravinteiden pitoisuuksiin tai neulasten kuivapainoon lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet merkitsevästi.



Kuva 3. Kuusen neulasten P-, K-, Zn- ja B-pitoisuudet koko aineistossa eri ajankohtina lannoituksen jälkeen. Janat kuvaavat keskiarvojen luotettavuutta 95 %:n todennäköisyydellä.

Taulukko 5. Greenhouse-Geisser-testin testisuureet aika- ja lannoitustekijälle pää- ja yhdysvaikutuksineen (toistettujen mittausten varianssianalyysi), Muhoksen koe. Testisuureina neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuudet.

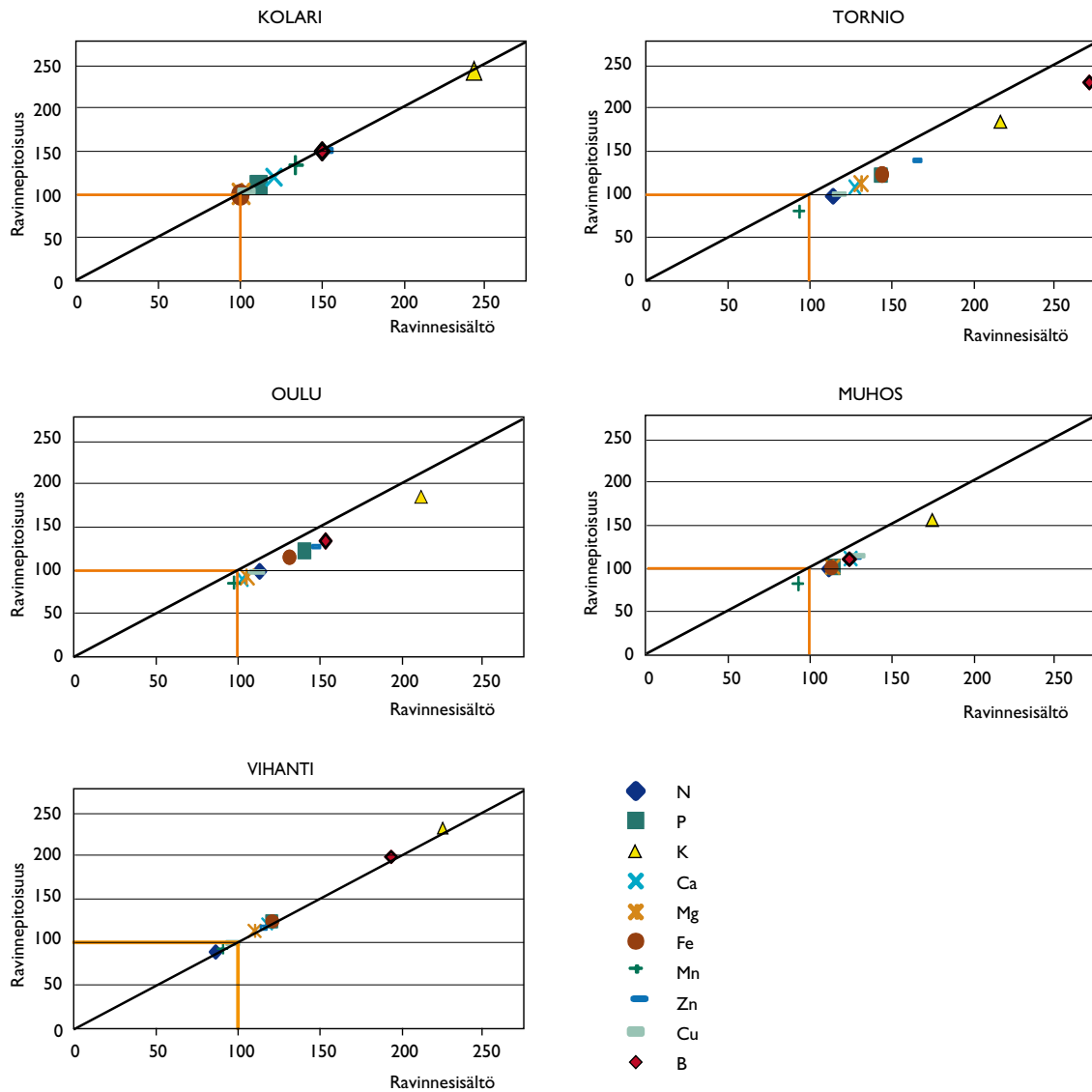
Ravinne	Tekijä	F-arvo	p-arvo	df
N	Aika	10.0	0.002	1.7
	Aika * Lannoitus	1.2	0.347	3.5
P	Aika	9.3	0.000	2.7
	Aika * Lannoitus	2.4	0.068	5.3
K	Aika	44.8	0.000	2.4
	Aika * Lannoitus	0.8	0.588	4.7
B	Aika	8.2	0.000	1.2
	Aika * Lannoitus	5.0	0.023	2.5

Muhoksen kokeella tehty toistettujen mittausten varianssianalyysi osoitti, että neulasten ravinnepitoisuuksissa esiintyi merkitsevää ajallista vaihtelua kaikilla ravinteilla. Pääravinteiden (N, P, K) osalta lannoitus- ja aikatekijän välillä ei esiintynyt yhdysvaikutusta, mutta hivenravinteista booripitoisuuden aikavaihtelu riippui lannoituskäsittelystä (taulukko 5). Yhdysvaikutuksen syynä oli lannoitettujen puiden B-pitoisuuden huomattava alentuminen tutkimusjaksolla.

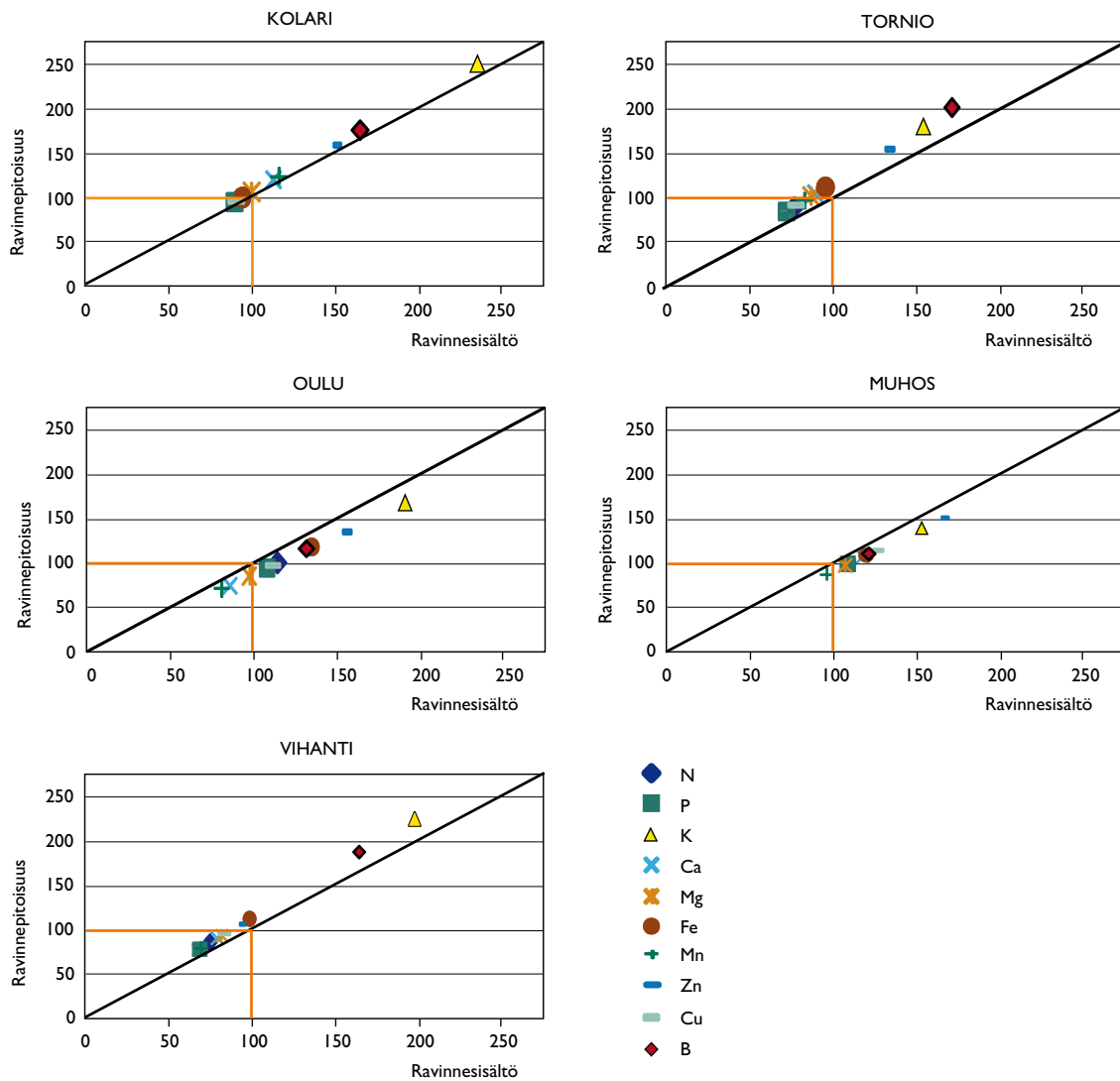
Vektorianalyysissä kalium osoittautui kaikissa kokeissa neulasmassan kasvua eniten rajoittavaksi yksittäiseksi ravinteeksi (kuvat 4–5). 5–8 vuoden kuluttua lannoituksesta neulasten K-pitoisuus ja K-sisältö olivat kokeesta ja lannoituskäsittelystä riippuen 1,5–2,5-kertaisia kontrolliin verrattuna. Fosforin suhteellista niukkuutta esiintyi eniten Oulun, Tornion ja Vihannin kokeissa, joilla fosforia sisältänyt PK-käsittely kohotti neulasten P-sisältöä. Vihannissa ja Torniossa neulasten P-pitoisuus ja -sisältö sitä vastoin aleni, kun lannoituskäsittelystä (Khiv) puuttui fosfori. Hivenravinteista boorin suhteellinen niukkuus oli suurinta Kolarissa, Vihannissa ja etenkin Torniossa, jossa molemmat käsittelyt lisäsivät eniten neulasten suhteellista B-sisältöä. Muutokset neulasten Zn-pitoisuudessa ja -sisällössä olivat huomattavat Khiv-käsittelyn saaneilla puilla, mikä viittaa siihen, että boorin ohella puilla esiintyi myös sinkkivajausta.

Kuusen neulasten N:K-suhde oli kontrollialoilla kohteesta riippuen 4,7–6,4 eli selvästi suurempi kuin optimaalisena arvona pidetty 3,0–3,5, osoittaen kaliumin saatavuuden niukkuutta suhteessa tyypeen (kuva 6). Molemmat lannoituskäsittelyt alensivat N:K-suhdetta optimitasolle tai sen alapuolelle.

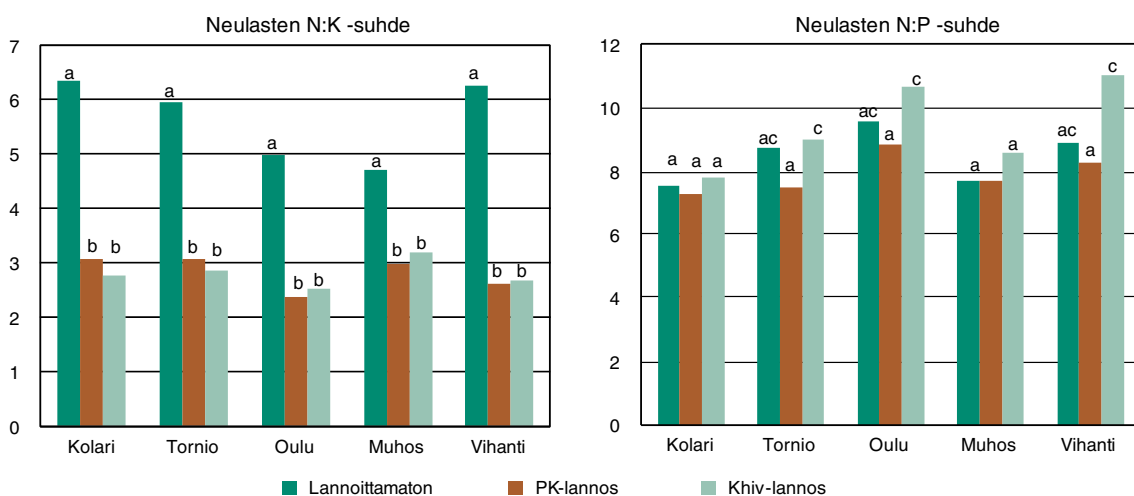
Neulasten N:P-suhde oli kontrollialoilla kohteesta riippuen 7,5–9,6. Kun optimaalinen suhde on n. 10, tulos merkitsee, että puilla oli fosforia liikaa suhteessa tyypeen. Fosforia sisältänyt PK-käsittely näytti vielä alentaneen suhdetta, joskaan vaikutus ei osoittautunut merkitseväksi. Khiv-käsittelyn saaneilla koealoilla N:P-suhde puolestaan hiukan kasvoi, mutta jäi edelleen alle optimaalisen arvon.



Kuva 4. PK-käsittelyn vaikutus kuusen neulasten kuivapainoon, ravinnepitoisuuteen ja ravinnesisältöön. Lannoituksesta kokeesta riippuen 5–8 vuotta. Neulastunnukset ilmaistu suhteellisin arvoina (lannoittamaton kontrolli = 100).



Kuva 5. Khiv-käsittelyn vaikutus kuusen neulasten kuivapainoon, ravinnepitoisuuteen ja ravinnesisältöön. Lannoituksesta kokeesta riippuen 5–8 vuotta. Neulastunnukset ilmaistu suhteellisinä arvoina (lannoittamaton kontrolli = 100).



Kuva 6. Kuusen neulasten pääravinnesuhteet kokeittain ja lannoituskäsittelyittäin (eri ajankohtien ravinnemääritykset yhdistetty). Samoilla kirjaimilla merkittyjen pylväiden arvot eivät poikkea merkittävästi toisistaan metsikön sisällä (Bonferron).

Alikasvoksen ulkoasu

Lannoituksen vaikutus näkyi silmin havaittavasti puiden ulkoasussa vielä 7–11 vuoden kuluttua. Kohteesta ja lannoituskäsittelystä riippuen 51–100 % puista luokitettiin terveiksi, kun kontrollialoilla terveiden osuus oli 19–57 % (taulukko 6). Suurimmalla osalla terveydentilaltaan heikentyneiksi luokitelluilla puilla ilmeni neulasten keltakärkisyyttä, jonka tulkittiin johtuvan kaliumin puutoksesta. Lannoitetuista puista vain pienellä osalla esiintyi neulasten keltaista värisävyä (kuva 7). Kolarin kokeella kuusta vaivasi ravinnepuutosten ohella kuusen suopursuruoste, jota esiintyi lannoituskäsittelystä riippumatta noin kolmasosalla puista.

Taulukko 6. Vapautetun kuusialikasvoksen ulkoinen terveydentila 7–11 vuotta lannoituksen jälkeen.

Koe/Aika lannoituksesta	Lannoituskäsittely	Terveitä puita, % kaikista	K-puutoksista kärsiviä puita, % kaikista
Kolari/10 v	Kontrolli	19	27
	PK	46	1
	Khiv	51	1
Tornio/ 7 v	Kontrolli	38	47
	PK	78	17
	Khiv	76	14
Oulu/ 8 v	Kontrolli	57	37
	PK	92	0
	Khiv	91	5
Muhos/ 11 v	Kontrolli	53	47
	PK	100	0
	Khiv	90	10
Vihanti/ 8 v	Kontrolli	47	53
	PK	85	15
	Khiv	96	4

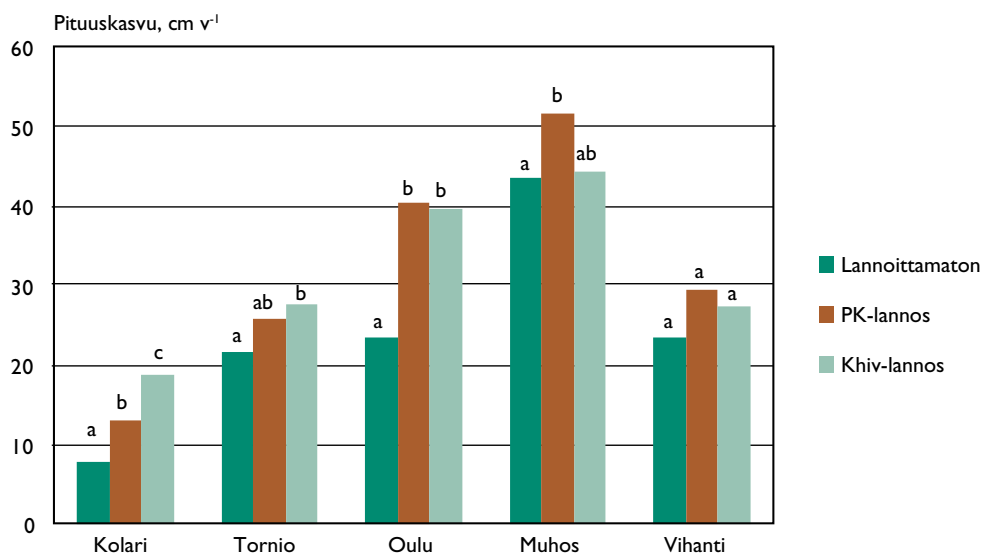


Kuva 7. Tornion koemetsikkö syyskuussa 2009. Vasemmalla lannoittamaton, oikealla Metsän kali-hivenlannosta saanut koeala. Ylispuuhakkuusta kulunut 9 vuotta, lannoituksesta 8 vuokka. Kuvat Jorma Issakainen / Metla

Alikasvoksen pituuskasvu

Alikasvokset olivat metsiköstä riippuen 1,5–5,0 metrin pituisia ja mittauksia edeltäneen kolmen vuoden pituuskasvu vaihteli välillä 8–43 cm v⁻¹ (kuva 8). Molemmat lannoituskäsittelyt lisäsivät puiden pituuskasvua, mutta vaikutuksen voimakkuus vaihteli kokeittain.

Lannoitettujen puiden pituuskasvu oli jaksolla 4–11 vuotta käsittelystä 1–18 cm v⁻¹ kontrollialojen pituuskasvua suurempi. Lannoitus lisäsi kuusen pituuskasvua merkitsevästi kaikissa muissa paitsi Vihannin kokeessa (taulukko 6). Selkein lannoitusvaste ilmeni Kolarissa, jossa lannoitettujen puiden kasvu oli 1,7–2,4-kertainen kontrollipuihin verrattuna. Oulussa lannoitus lisäsi pituuskasvun 1,7-kertaiseksi. Torniossa lannoitusvaikutus jäi vähäisemmäksi ja vain Khiv-käsittely lisäsi merkitsevästi pituuskasvua. Muhoksella vain PK-käsittely aiheutti merkitsevän kasvunlisäyksen. Vihannissa merkitsevää kasvuvaiikutusta ei ilmennyt kummankaan käsittelyn kohdalla, vaikka lannoitetut puut kasvoivat pituutta vuosittain 4–7 cm enemmän kuin kontrollipuut. Koko aineistossa puiden pituuskasvu oli vertailuilla lannoitteilla täsmälleen sama eli 32 cm v⁻¹.



Kuva 8. Kuusen pituuskasvu lannoituksen jälkeen kokeittain ja lannoituskäsittelyittäin. Samoilla kirjaimilla merkityt arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferron).

Tulosten tarkastelu ja päätelmät

Kalium osoittautui selkeästi kuusen ravinnetalouden minimitekijäksi kaikissa tutkimusmetsiköissä. Vapautetut alikasvokset potivat neulasanalyysin mukaan voimakasta kaliumin puutosta (pitoisuus alle 5 mg g⁻¹) ja vektorianalyysi vahvisti kaliumin myös neulasmassan kasvua suhteellisesti eniten rajoittavaksi ravinteeksi. Torniossa, Oulussa ja Vihannissa esiintyi myös fosforin kohtalaisen voimakasta puutosta. Typen osalta tilanne oli hyvä tai tyydyttävä kaikissa kohteissa. Aiemmat tutkimukset kuusialikasvosten ravinnetilasta ja lannoitusvaikutuksista (mm. Saarinen 1996, Hilli ym. 2003) ovat kohdistuneet kasvupaikoille, joissa puiden ravinnetalous – lähinnä N:K-suhde – on ollut tasapainoisempi kuin tämän tutkimuksen aineistossa. Tässä työssä saadut tulokset ovat yleistettävissä tilanteisiin, joissa alikasvos kärsii voimakkaasta typen ja kaliumin saatavuuden epäsuhdasta.

Hakkuun vaikutus näkyi selkeimmin kuusen neulasten neulasten Ca-, Fe- ja Mn-pitoisuuden ko-
hoamisena toisesta hakkuun jälkeisestä vuodesta lähtien. Pää- tai tärkeiden hivenravinteiden (N,
P, B) pitoisuuksissa ei havaittu selkeitä muutostrendejä. Aiemmissä tutkimuksissa turvemaiden
kuusialikasvoksen neulasten N-pitoisuus on ylispuuhakkuun jälkeen yleensä kohonnut ja K-pitoi-
suus laskenut (Saarinen 1996, Hilli ym. 2003). Tässä tutkimuksessa vastaava muutos näkyi vain
kaliumpitoisuuden lievänä alenemisena hakkuuta seuranneen kahden vuoden kuluessa. Ylispui-
den poiston vaikutusta voitiin tosin seurata tarkemmin vain Muhoksen kokeella, muilla kokeilla
hakkuun aikaista ravinnetilaa ei ollut kartoitettu. Hakkuun vaikutuksen arvioimista vaikeutti se,
että vuosien välistä ravinnepitoisuuksien vaihtelua ei voitu erottaa hakkuun mahdollisesti aihe-
uttamista ravinnepitoisuusmuutoksista. Ylispuiden poiston vaikutusten tarkempi analysointi olisi
edellyttänyt sen, että tutkimusmetsiköihin olisi jätetty hakkaamaton vertailupuusto ja että alikas-
vospuiden ravinnetila olisi määritetty kaikissa metsiköissä jo ennen hakkuuta.

Lannoituskäsittely kohotti neulasten K-pitoisuuden puutosrajan yläpuolelle kaikissa tutkimus-
metsiköissä ja tasapainotti N:K-suhteen lähes optimaaliselle tasolle. Vertailtavien lannoittelajien
väliset vaikutuserot puiden K-ravitsemustilaan jäivät vähäisiksi. Tulos oli odotettu, koska mo-
lemmissa lannoittelajeissa kalium on kaliumkloridina ja koska annostus oli molemmissa vaih-
toehdoissa sama. Kun lannoituksesta oli kulunut 2–3 vuotta, kuusen neulasten K-pitoisuus oli
kokeesta riippuen 1,4–2,5-kertainen lannoittamattomaan verrattuna. Tulos oli samansuuntainen
kuin aiemmissa PK-käsittelyn vaikutuksia kuusialikasvoksiin selvittäneissä tutkimuksissa: Saari-
sen ja Sarjalan (1999) aineistossa neulasten K-pitoisuus kohosi puutosrajan yläpuolelle vähintään
3 vuoden ajaksi ja Hillin ym. (2003) aineistossa K-pitoisuus oli vertailua korkeammalla tasolla
vielä 10 vuoden kuluttua lannoituksesta.

Myös neulasten B-pitoisuus ja -sisältö kohosi jo levitystä seuranneen 1–2 vuoden aikana, etenkin
silloin kun kuusten B-tila oli heikko. Tulos on yhdenmukainen aiemmissä tutkimuksissa saatujen
tulosten kanssa. Silfverberg (1982) ja Moilanen et al. (1996) totesivat hivenlannoituksen kohotta-
neen kuusen neulasten B-pitoisuutta lyhyellä aikavälillä voimakkaasti.

Molemmissa lannoittelajeissa kalium ja boori olivat helppoliukoisessa muodossa ja puut kykeni-
vät hyödyntämään niitä jo ensimmäisenä levityksen jälkeisenä kasvukautena. Toisaalta helppo-
liukoisuudesta saattoi seurata, että osa lannoiteravinteista huuhtoutui puiden ulottumattomiin ja
vaikutti lannoitusvasteen kestoaikaan (ks. Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto 1992). Tässä
tutkimuksessa lannoitusvaikutus heikkeni selvästi jo jaksolla 5–8 vuotta lannoituksesta. Vapau-
tettujen alikasvosten myöhempi kehitys ja kasvukyky kuusivaltapuustona lieneekin keskeisesti
riippuvainen kaliumin riittävydestä.

Tulosten pohjalta on vaikea ennustaa, kuinka kauan lannoitettujen puiden K-talous säilyy hyvänä
tai tyydyttävänä. Männyn osalta tiedetään, että PK-lannoitus näkyy neulasten K-pitoisuuksissa
vähintään 15–20 vuotta (mm. Silfverberg & Moilanen 2008). Tutkimuksia, joissa olisi seurattu
turvemaakuusikon ravinnetilan kehitystä pitemmällä aikavälillä lannoituksen jälkeen, ei juuri-
kaan ole julkaistu. Paavilaisen (1975), Hämäläisen ym. (1985) ja Moilasan ym. (1996) selvityk-
sissä kaliumlisäyksen vaikutusaika neulasten K-pitoisuuteen näytti rajoittuneen noin 10 vuoteen.
Tässä tutkimuksessa havaittu nopea K-pitoisuuden aleneminen lannoitusaloilla jo alle 10 vuoden
aikana viittaa siihen, että kaliumin saatavuuden ongelma vaivaa tutkimusmetsiköitä myös myö-
hemmällä iällä. Siksi kyseisen tyyppisillä kasvupaikoilla K-lannoitus joudutaan puuston kasva-
tusaikana toistamaan 1–2 kertaa, kun tavoitteena on ravinnetilan säilyttäminen hyvänä tai tyy-
dyttävänä. Puiden kuntokartoitus 7–11 vuoden kuluttua lannoituksesta ei kuitenkaan paljastanut
ulkoisia K-puutoksen oireita, mikä viittaa siihen, ettei lannoituksen uusiminen ole tarpeen aina-
kaan lähimmän 10 vuoden kuluessa.

Kuusten fosforitalous oli kahdessa tutkimusmetsikössä tyydyttävä, kolmessa metsikössä esiintyi fosforin saatavuuden ongelmia. Neulasten N:P-suhde oli kuitenkin kaikissa metsiköissä alle 10, joten puiden fosforin saatavuus vaikutti vähintään yhtä hyvältä kuin typen saatavuus. Fosforin suhteellista niukkuutta esiintyi siis vain osalla kokeista – samoilla joissa PK-lannos kohotti neulasten P-sisältöä. On pääteltävissä, että fosforin saatavuuden ongelmat eivät jatkossakaan muodostune kovin voimakkaiksi eivätkä rajoita kuusen myöhempää kasvua. Tutkimukset turvemaakuusikoiden ravinnetilan pitkäaikaisvaihtelusta tosin puuttuvat, mutta ainakin turvemaamänniköissä puiden P-tilan tiedetään säilyvän vakaana useita vuosikymmeniä (Silfverberg & Moilanen 2008).

Lannoittamattomilla puilla kuusen neulasten Zn-pitoisuus oli Kolaria lukuunottamatta alhainen ja puutosrajana pidetyn arvon (16 mg g^{-1}) tuntumassa. Lannoitus – etenkin sinkkiä sisältänyt Metsän kali-hivenlannos – kohotti kuusen neulasten Zn-pitoisuutta ja -sisältöä. Vektorianalysissä sinkin suhteellinen merkitys tuli esiin etenkin Muhoksen ja Oulun kokeissa. Kaikesta päätellen puilla siis esiintyi sinkkivajausta. Sinkin merkitystä kuusen kasvuun ja ravinnetalouteen turvemailla tulisikin selvittää enemmän ja mm. määrittää sinkin neulasanalyyttinen puutosraja ja sinkin tarpeellisuus turvemailla käytettävissä lannoitteissa.

Turvemaiden kuusikoissa lannoituksen puustovaikutus on vaihdellut riippuen mm. suon ravinteisuuden ja turpeen paksuuden mukaan (Paavilainen 1975, Paarlahti & Paavilainen 1985, Moilanen ym. 1996). Karuhkoilla turvekankailla ja ohutturpeisilla kohteilla kuusen minimiravinteena näyttää usein olevan typpi ja kasvumuutokset pelkän PK-lannoituksen jälkeen ovat jääneet vaatimattomiksi (Hämäläinen ym. 1985, Moilanen ym. 1996, Hilli ym. 2003). Tämän tutkimuksen kohteet olivat runsastyyppisiä ja paksuturpeisia, mistä johtuen edellytykset niin kivennäisravinnepuutoksille kuin toisaalta lannoituksen kasvunlisäyksille olivat olemassa. Sekä Metsän PK-lannos että Metsän Kali-hivenlannos lisäsivät kuusten pituuskasvua. Koko aineistossa puiden vuotuinen pituuskasvu oli vertailtavilla lannoitteilla täsmälleen sama eli 32 cm v^{-1} . PK-lannoksen sisältämällä fosforilla ei ollut olennaista vaikutusta puiden kasvuun. Vaikka neulasten P-sisältö hiukan aleni Metsän kali-hivenkäsittelyn seurauksena, niin kasvuvaste oli samansuuruinen kuin PK-lannoksella. Myöskään neulasten N:P-suhde ei kohonnut yli optimiarvon 10, mikä olisi viitannut fosforin niukkuuteen suhteessa tyyppiin.

Lannoitusvaikutus puiden kasvuun määritettiin tilanteessa, jossa levityksestä oli kulunut 5–10 vuotta. Tieto puiden kasvun vuotuisesta ajoittumisesta ja vaihtelusta lannoituksen jälkeen olisi ollut tarpeen, jotta mm. neulasten ravinnepitoisuuksilla tai ravinnepuutoksen voimakkuudella olisi voitu selittää todettu kasvuvasteen suuruus tai esittää ennusteita sen jatkumisesta.

Lannoituksen aiheuttaman puiden kasvuvasteen suuruuteen lienee osasyynä ollut se, että ylispuuston poistamisesta oli lannoitushetkellä kulunut eri kokeilla vaihtelevasti aikaa ja alikasvos siis kokeesta riippuen eri sopeutumisvaiheessa uuteen kasvuympäristöön. Alikasvosasemassa pitkään kituneen taimikon lannoitus heti ylispuuhakkuun jälkeen tuottaa oletettavasti toisenlaisen tuloksen kuin jos kyseessä on alikasvos, jossa ylispuuston kilpailuvaikutus on jäänyt pienemmäksi ja joka lannoitetaan vasta sitten, kun alikasvoksen nk. taantuvan kasvun vaihe on ohitettu. Saarisen ja Sarjalan (1999) tutkimuksessa saatiin viitteitä siitä, että jo ennen ylispuuhakkuuta tehty PK-lannoitus elvyttää alikasvoksen nopeammin kuin hakkuun jälkeen tehty lannoitus. Ylispuuston kilpailuvaikutuksen tarkempaan määrittämiseen ei tutkimusaineisto kuitenkaan antanut mahdollisuutta. Jatkossa mielenkiintoista olisi selvittää puiden lannoitusreaktion riippuvuutta mm. ylispuuston tiheydestä ja lannoituskäsittelyn ajoitusta suhteessa ylispuuiden poistoon.

Tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että runsastyyppisillä mustikka- ja puolukkaturvekankaiden II-tyypeillä kuusialikasvosten ravinneongelmat liittyvät keskeisesti kaliumin niukkuuteen ja epätasapainoon tyypeen nähden. Ylispuuhakkuun yhteydessä todettu alikasvoksen ravinnepuutos voidaan korjata kalium-boorilannoituksella. Samalla on varauduttava siihen, että metsikön kasvatusajalla kaliumlisäys on uusittava 1–2 kertaan kasvupaikan puutuotoskyvyn säilyttämiseksi täysimääräisenä.

Viitteet

- Andersson, S-O. 1984. Om lövröjning i plant- och ungskogar. Sveriges Skogsvårdsförbunds tidskrift 82: 69–95.
- Bergqvist, G. 1999. Wood volume yield and stand structure in Norway spruce understorey depending on birch shelterwood density. *Forest Ecology and Management* 122: 221–229.
- Brække, F.H. 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringslementer i gran- og furunåler. [Diagnostic concentrations of nutrient elements in Norway spruce and Scots pine needles]. *Aktuelt fra skogforsk* 15/94: 1–11.
- Cajander, E.K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19(5): 1–59.
- de Chantal, M., Leinonen, K., Kuuluvainen, T. & Cescatti, A. 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in boreal spruce forest. *Forest Ecology and Management* 176: 321–336.
- Greis, I. & Kellomäki, S. 1981. Crown structure and stem growth of Norway spruce undergrowth under varying shading. *Silva Fennica* 40: 86–93.
- Gnojek, A. 1992. Changes in chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in suppressed Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in response to release cutting. *Trees* 6: 41–47.
- Granhus, A. & Brække, F.H. 2001. Nutrient status of Norway spruce stands subjected to different levels of overstorey removal. *Trees* 15: 393–402.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 p.
- Heikurainen, L. 1985. Verhopuuston vaikutus kuusitaimikon kehitykseen. Summary: The influence of birch nurse crop (*Betula pubescens*) on the growth of spruce (*Picea abies*) seedling stands on drained peatlands. *Silva Fennica* 19: 81–88.
- Helms, J.A. & Standiford, R.B. 1985. Predicting release of advance reproduction of mixed conifer species in California following overstorey removal. *Forest Science* 31: 3–14.
- Hilli, A., Päätaalo, M-L., Moilanen, M., Piironen, M-L., Issakainen, J. & Tillman-Sutela, E. 2003. Verhopuuston tiheyden ja lannoituksen vaikutus kuusen taimien pituuskasvuun ojitetulla turvemaalla. Summary: The effect of nurse crop density and fertilization on the height growth of Norway spruce seedlings on drained peatland. *Suo – Mires and Peat* 54(2): 69–79.
- Huikari, O. 1952. Suotyyppin 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.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskusTapio. Metsäkustannus Oy. 100 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. 2007. Metsätalouden kehittämiskeskusTapio. Metsäkustannus Oy. 50 s.
- Hämäläinen, J., Paavilainen, E., Salminen, O. & Heinonen, R. 1985. Tuloksia ojitettujen korpikuusikoiden lannoituksesta. Summary: The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands. *Folia Forestalia* 623. 26 s.
- Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirement of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373–380.

- Issakainen, J. 1999. Turpeen typpipitoisuuden arviointi eräiden kasvilajien esiintymisen perusteella. Apukeino kasvupaikan viljavuuden luokitteluun. Moniste, 1 s. Metla, Muhoksen toimipaikka..
- Kartusenko, I.V. 1967. O vlijanii drevostoja berezy na metabolizm ugleroda i fosforoe pitanie podrosta eli. (The effect of the birch stand on the C metabolism and P nutrition of spruce underwood) Lesovedenie 1: 73–75. (venäjäksi)
- Kneeshaw, D., Williams, H., Nikinmaa, E. & Messier, C. 2002. Patterns of above- and below-ground response of understory conifer release 6 years after partial cutting. Canadian Journal of Forest Research 32: 255–265.
- Klang, F. & Ekö, P. 1999. Tree properties and yield of *Picea abies* planted in shelterwoods. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 262–269.
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. Silva Fennica 27: 179–194.
- Koshelkov, S.P. 1982. Rezim pitaniya podposta eli v berezijakah i na vyrubkah juznoj tajgi. (The nutrient regime of spruce regeneration in birch forests and felled areas in the southern taiga.) Lesovedenie 6: 26–34. (venäjäksi)
- Leikola, M. 1975. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin Pohjois-Suomessa. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature conditions in Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 85(7): 1–33.
- Leikola, M. & Rikala, R. 1983. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature conditions and the development of Norway spruce seedlings. Folia Forestalia 559. 33 s.
- Lesinski, J. A. & Sundkvist, H. 1992. Morphological diversity in advance growth of conifers native to Sweden. Teoksessa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22–25 1992. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Reports 35: 104–110.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Metslaid, M. 2008. Growth of advance regeneration of Norway spruce after clearcut. A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Forestry. Estonian University of Life Sciences. 47 s. + liite-julkaisut 4 kpl.
- Metslaid, M., Ilisson, T., Vicente, M., Nikinmaa, E. & Jöggiste, K. 2005. Growth of advance regeneration of Norway spruce after clear-cutting. Tree Physiology 25: 793–801.
- Metsätalostollinen vuosikirja. Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2009. Metsätutkimuslaitos, Vantaa. ISBN 978–951–40–2205–0 (nid.). Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala 2009. 450 s.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1995. Kaksijaksoisen kuusi-koivu-sekametsikön kasvu. Folia Forestalia 1995: 81–97.
- Moilanen, M. & Saksa, T. 1998. Alikasvokset metsänuudistamisessa – varjosta valoon. Pihlaja -sarja 3. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. ISBN 952–5118–18–5. 123 s.
- Moilanen, M., Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2005. Puuston ravinnetilan arviointi. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 81–95.
- Moilanen, M., Penttilä, T. & Issakainen, J. 1996. Lannoituksen vaikutus kuusikoiden kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla turvemailla Pohjois-Suomessa. Summary: Effects of fertilization on tree growth and nutrient status of Norway spruce stands on drained peatlands in northern Finland. Suo 47(3): 85–94.
- Mård, H. 1996. The influence of a birch shelter (*Betula* spp.) on the growth of young stands of *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 343–350.
- Nieminen, M. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden laatuun vanhoilla ojitusalueilla. Metsätalouden ympäristökuormitus. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 109–114.
- Niemistö, P. 1995. Influence of the density of a Pubescent Birch stand on understory spruce development on peatland. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 551: 68–85.
- Niinemets, Ü. & Kull, O. 1995a. Effects of light availability and tree size on the architecture of assimilative surface in the canopy of *Picea abies*: variation in needle morphology. Tree Physiology 15: 307–315.

- Niinemets, Ü. & Kull, O. 1995b. Effects of light availability and tree size on the architecture of assimilative surface in the canopy of *Picea abies*: variation in structure. *Tree Physiology* 15: 791–798.
- Ojansuu, R. and Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittauksista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. *Silva Fennica* 17(2), pp. 143–160.
- Paarlahti, K. & Paavilainen, E. 1985. Turvemaiden varttuneiden kuusikoiden ja koivikoiden lannoitus. Ennakkotuloksia. Summary: The fertilization of mature spruce and birch stands on peat soils. Preliminary results. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 206: 4–18.
- Paavilainen, E. 1975. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa. Summary: On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. *Folia Forestalia* 239. 10 s.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen. Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia Forestalia* 516. 19 s.
- Päätalo, M.-L., Hilli, A., Moilanen, M. & Tillman-Sutela, E. 2003. Koivuverhopuuston tiheyden ja kuusialikasvoksen pituuden tasauksen vaikutus taimikon pituuskasvuun ojitusalueella. Summary: Impact of birch nurse crop density and height equalization of Norway spruce understorey on spruce seedlings' height growth on a drained peatland.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 688. 44 s.
- Saarinen, M. 1995. Alikasvosten ravinnetalous ojitusalueilla. Teoksessa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.) *Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1994*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 538: 36–44.
- Saarinen, M. 1996. Effects of the removal of shelterwood on the foliar nutrient concentrations of Norway spruce (*Picea abies*(L.) Karst.) on drained peatlands. *Suo* 47(3): 95–102.
- Saarinen, M. 2005. Metsänuudistaminen turvemaiilla. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). *Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 177–193.
- Saarinen, M. & Sarjala, T. 1999. Effects of fertilization and removal of overstorey on foliar nutrient status and chlorophyll fluorescence of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] underwood on drained peatlands. *International Peat Journal* 9: 83–93.
- Seppälä, K. & Keltikangas, M. 1978. Alikasvostaimistot Pohjanmaan ojitusalueiden hieskoivikoissa. Summary: Occurrence of understorey seedlings in drained *Betula pubescens* stands in Ostrobothnia. *Suo* 29(1): 11–16.
- Skoklefald, S. 1967. Fristilling av naturlig gjenvekst av gran. Summary: Release of natural Norway spruce regeneration. *Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen* 23: 381–409.
- Silfverberg, K. 1982. Näringsanalys I två spårämnesgödslade granplanteringar. Abstract: Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients. *Folia Forestalia* 526. 12 s.
- 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.
- 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. 2001. Nutritional diagnosis of Norway spruce stands growing on drained peatlands using foliar analysis. Tiivistelmä: Ojitettujen suokuusikoiden ravinnetarpeen määrittäminen neulasanalyysillä. *Suo – Mires and Peat* 52(3–4): 89–98.
- Örlander, G. & Karlsson, C. 2000. Influence of shelterwood density on survival and height increment of *Picea abies* advance growth. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 20–29.