

Kimmo K. Kolari

## NEULASTEN RAVINNEPITOISUUKSIEN VAIHTELU MÄNNYN LATVUKSESSA

Variation in Scots pine needle nutrient concentrations in relation to position in crown and needle age

Kolari, K.K. 1994: Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu männyn latvuksessa. (Summary: Variation in Scots pine needle nutrient concentrations in relation to position in crown and needle age.) — Suo 45:47–55. Helsinki, ISSN 0039-5471.

Variation in nutrient concentrations in Scots pine needles in relation to crown position and needle age was examined at two drained peatland fertilization experiments. Samples were taken from plots which had received NPK fertilizer and from sites which had received only P fertilizer and are now suffering from potassium and phosphorus deficiency. In the NPK fertilized plots, potassium concentrations were the lowest in the needles of the uppermost branchlet and increased down the crown. On plots showing potassium deficiency the situation was the opposite. In both experiments phosphorus, magnesium, iron, zinc, and boron concentrations decreased and calcium concentrations increased down the crown but in potassium and phosphorus deficient trees calcium and manganese concentrations decreased down the crown. In both experiments phosphorus, potassium, magnesium and boron concentrations decreased with needle age while calcium, iron and manganese concentrations increased. Zinc concentrations increased in NPK fertilized trees but decreased in potassium and phosphorus deficiency trees.

Keywords: Crown position, needle analysis, nutrient variation, *Pinus sylvestris*

K.K. Kolari, The Finnish Forest Research Institute, Box 18, FIN-01301 Vantaa

### JOHDANTO

Neulasten ravinneanalyysiä on käytetty yleisesti metsäpuiden ravinnetilan ja lannoitustarpeen arviointiin. Tavallisimmin neulasanalyysi turvemailloilla tehdään Paarlahden ym. (1971) tutkimukseen pohjautuen puiden lepokauden aikana ylimmän oksakiehkuran 1-vuotiaista neulasista (Veijalainen 1979, 1991, Metsänlannoittajan opas 1989, Suometsien ravinteet 1990). Kangasmaiden metsissä neulaset kerätään tästä poiketen latvuksen yläosasta ja esim. metsien

terveydentilan tutkijoilla on oma standardinsa (Suomen standardisoimisliitto 1990). Myös puun latvuksen muita osia ja neulasikäluokkia on käytetty ravinnetilan tulkinnaissa. On katsottu, että ne kuvaisivat paremmin puun alttiutta marginaalisille ravinnepuutoksille (Leyton 1948, Morrison 1974, van den Driessche 1974).

Puiden solukoissa liikkuvia ja uudelleen translokoituvia ravinteita ovat mm. N, P, K, Mg, keskimääräisesti liikkuvia Fe, Mn, Zn, Cu ja heikosti liikkuvia Ca ja B (Raitio 1983). Liikkuvien ravinteiden pitoisuudet ovat yleensä

suurimmillaan uusimmissa ja ylemmissä neulasissa, kun ne vanhemmissa ja alemmissä neulasissa ovat yleensä pienimmillään. Heikosti liikkuvien ravinteiden pitoisuudet käyttäytyvät yleensä päinvastaisesti. Liikkuvien ravinteiden puute näkyy vastaavasti ensin alemmissä ja vanhemmissa neulasissa ja heikosti liikkuvien ravinteiden puute ensin ylemmissä ja uusissa neulasissa.

Neulasten ravinnepitoisuuksiin voivat vaikuttaa monet paikalliset tai ajalliset tekijät sekä myös puusto- ja itse puuhun liittyvät tekijät (Raitio 1991).

Männystä (*Pinus sylvestris* L.) on neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelusta latvuksessa tietoja mm. puun iän, neulasvuosikerran, niiden lukumäärän tai latvussijainnin (näytteen-ottokohdan) osalta sekä kivennäismailta (Leyton ja Armson 1955, Wright ja Will 1958, Tamm 1955, Mälkönen 1974, Fober 1976, Katainen 1986, Raitio 1987, Möller 1988, Helmisaari 1990, 1992, Raitio ym. 1990, Mälkönen ja Kukkola 1991) että turvemailta (Paavilainen 1980, Reinikainen ja Silfverberg 1983, Finér 1992 ja Veijalainen 1992).

Mäntylajeilla ravinnepitoisuudet neulasissa voivat vaihdella neulasvuosikertojen tai latvuksen eri osien välillä ja niissä näyttää myös esiintyvän erilaisia gradientteja. Tämän perusteella eri mäntylajeille on mm. esitetty latvusjakaumamalleja eri ravinteille (van den Driessche 1974, s. 350–351, kuva 1).

Männällä neulasten N-, P-, K-, Mg- ja B-pitoisuudet ovat eri ikäisten puustojen latvuksen eri osissa neulasen iän myötä yleensä alentuneet ja Ca-, Mn ja Zn -pitoisuudet kasvaneet (Tamm 1955, Fober 1976, Reinikainen ja Silfverberg 1983, Katainen 1986, Raitio 1987, Möller 1988, Finér 1992). PK- ja NPK-lannoitus on lisännyt neulasissa (neulasluokat 1–3 v.) näiden ravinteiden pitoisuuksia (Finér 1992). Finér'in (1992) turvemaiden suopuustoja käsittelevässä tutkimuksessa ei kuitenkaan latvusosia ole eroteltu neulasten iän perusteella erikseen, ts. eri neulasvuosikertanäytteet on kerätty koko latvuksesta jättäen pois mahdollinen latvusosan vaikutus eri-ikäisten neulasten ravinnepitoisuuksien vaihteluun.

On myös esitetty, että potentiaalisten ravinnepuutteiden toteamiseksi tulisi lisäksi ottaa näytteitä alemmista oksista neulasvuosikertajakautaman selvittämiseksi (Tamm 1955, Heinsdorf 1967, Florence ja Chuong 1974).

Ravinteiden erilaiset latvusjakaumamallit ja havaitut erot ravinteiden vaihtelussa latvuksessa kivennäismaan ja turvemaan mäntyjen välillä ovat antaneet aiheen tarkastella asiaa suopuustoissa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan puiden ravinnepitoisuuksia ja niiden vaihtelua latvuksessa turvemaan mäntyjen lepokauden aikana otetuista talvineulasnäytteistä. Tutkimuksen vertailuun valittiin oletuksena ravinnetilaltaan erilaisia perus- ja jatkolannoitettuja sekä pääravinteista kaliumin puutteista kärsiviä puita. Näissä tarkastelun kohteena olivat oksan pääranan ja 1. asteen haarojen neulaset, niiden vertikaalinen ja horisontaalinen latvussijainti käsittäen neulasvuosikerrat C–C+2, (C = uusimmat, edellisen kesän eli "1-vuotiaat neulaset").

## AINEISTO JA MENETELMÄT

### Kettulan koe

Lannoituskoe sijaitsee MTK:n säätöön mailla Lounais-Suomessa Kettulan kokeilualueen Kakarlammen itäpuolisella suolla (60° 25' N, 23° 47' E). Suo ojitettiin auraamalla 37 m:n sarkaan vuonna 1959 ja täydennysojitettiin (koealat 17–34) halkaisemalla sarat keskeltä vuonna 1988. Tutkimukseen sisältyvä osa (koealat 17–34) oli perustettaessa puustoltaan aukkoista, välttävä- ja huonokasvuista 2–5 metristä mäntyä. Suotyyppi oli ojitettaessa osin rahkamättäistä isovarpurämettä ja turpeen syvyys  $\geq 1,5$  m. Vuonna 1989 tämä suo oli kehittymässä varputurvekankaaksi.

Tutkimukseen valitut 8 puustokoealaa (37 x 54 m) saivat 8.5.1961 peruslannoituksena erilaisia alkuainemääriltään samansuuruisia typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitekäsittelyjä (kalisuola, kalkkiammon- ja montansalpietari, hieno-, super-, kotka- ja monoammoniumfosfaatti) Vuonna 1972 (18–19.5) koealat jaettiin neljään osaan siten että yksi koeruutu jätettiin ilman jatkolannoitusta ja kolme muuta ruutua saivat jatkolannoituksena N-, PK- tai NPK-käsittelyn, joista tähän tarkasteluun valittiin peruslannoitettu (jatkolannoittamaton) osa A ja NPK-jatkolannoitettu osa D.

Kettulan kokeessa puiden kasvut olivat sekä perus- että jatkolannoitetuilla puilla samaa suuruusluokkaa. Puiden keskikpituus oli peruslannoitetuilla puilla 11,2 m ja jatkolannoitetuilla puilla 11,1 m. Vastaavat rinnankorkeusläpimitat

olivat 16,4 ja 16,2 cm sekä vastaavat vuoden 1988 latvakasvaimen pituudet 24,5 ja 26,9 cm. Koealojen puissa ei näytteenottohetkellä havaittu silmävaraisesti tarkasteltuna pääravinteiden puutosoireita, ei edes typen puutetta, vaikka suotyypin perusteella niitä olisi ollut odotettavissa.

### Sievin koe

Sievin koe E sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Sievin Nevajärvennevenalla (63° 52' N, 24° 21' E) Koeputia otettiin pelkän fosforilannoituksen saaneilta koealoilta 11 ja 12. Alueen laskuoja oli kaivettu v. 1921. Koealue oli ojitettu 35 ja 75 m:n sarkaan vuonna 1925 ja täydennysojitettu v. 1963. Vuonna 1989 suotyypin vaihteli kokeella 0-ruutujen suursararämeen (SsR) ja PK-ruutujen ruohoisen rämemuuttuman (RhRmu/oj) välillä ja turpeen paksuus vaihteli 0,7 m:stä yli 1,5 m:iin. Koeala 11 sijaitsi aivan laskuojan vieressä, ojan ja koeala 12 välissä. Kumpikin tarkastelun koeala oli lannoitettu vuonna 1949 kotkafosfaatilla (200 kg/ha, P = 9,5%).

Koe E oli metsänhoidollisesti käsittelemätön, muttei tiheä. Koealan 11 puiden keskipituus oli 9,3 ja koealan 12 7,3 m. Vastaavat rinnankorkeuslähimittat olivat 11,0 ja 9,3 cm sekä vastaavat vuoden 1988 latvakasvaimen pituudet 19,7 ja 9,3 cm. Pituuseron syynä saattoi olla koealan 12 huonompi kuivatustila. Puustot kärsivät fosforin ja kaliumin puutoksista ja olivat aiemmin

vuonna 1987 kärsineet myös typen puutoksesta.

### Mittaukset, näytteenotto ja ravinneanalyytit

Näytekoealoilta valittiin maaliskuussa 1989 silmävaraisesti kolme vallitsevan latvuseroksen mäntyä kaadettavaksi puustomittauksia ja neulasnäytteiden ottoa varten. Kaadetuista puista mitattiin kokonaispituus, rinnankorkeuslähimitta sekä viimeisen vuoden pituuskasvu. Mittaustulokset laskettiin koealakohtaisesti kolmen puun keskiarvoina.

Neulasnäytteet otettiin puiden latvuksen etelänpuolisista oksista seuraavasti: (1) ylimmästä oksakiehkurasta otettiin yläoksanäyte (normaali neulasnäyte, 1-vuotiaat neulaset), (2) keskiosasta keskioksanäyte (1-, 2- ja 3-vuotiaat neulaset) sekä (3) alaosaan, alimmista elävistä oksista, alaoksanäyte (1-, 2- ja 3-vuotiaat neulaset). Riittävän neulasmateriaalin saamiseksi jouduttiin kunkin koealan kolmen puun vastaavat ylä-, keski- ja alaoksanäytteet neulasvuosikertoineen ja kaikkine neulasineen (yläoksanäyte/C; keskioksanäyte/C, C+1 ja C+2 ja alanäyte/C, C+1 ja C+2) yhdistämään vastaaviksi näytteiksi ravinneanalyysejä varten. Kettulan kokeessa toistojen määrä oli lannoitusluokkaa kohti kahdeksan. Sievin kokeesta ei saatu toistoja.

Neulasista analysoitiin Halosen ym. (1983) mukaisesti Rovaniemen tutkimusasemalla

Taulukko 1. Neulasanalyyysin tulkintaohje turvemaiden mäntypuustolle. \*

Table 1. Deficiency-toxicity guide to needle analysis of peatland Scots pine stands.\*

Ravinne Nutrient	Puutos Deficiency			Sopiva Optimal	Korkea High	Haitallinen Toxic
	Ankara Heavy	Lievä Intermediate	Alhainen Low			
N %	< 1,20	1,20 - 1,29		>1,30 < 1,80	> 1,80	> 3,50
P mg/g	< 1,30	1,30 - 1,59		> 1,70 < 2,20	> 2,20	
K - "-	< 3,50	3,50 - 4,49		> 4,50 < 6,50	> 6,50	
Ca - "-					> 3,50	
Mg - "-	< 0,60		0,60 - 0,99			
Mn - "-			20,0 - 99,0		> 600	> 3000
Zn - "-			10,0 - 40,0		> 150	
Cu - "-	< 2,0	2,0 - 2,4	2,5 - 2,9		> 7,0	
B - "-	< 4,9	5,0 - 7,4	7,5 - 9,9		30,0 - 39,0	> 40,0

\* näytteille, jotka on otettu vallitsevan latvuseroksen puista, ylimmän oksakiehkuran oksista talviaikana (1.12-1.3); ei luotettava yli 10-metrissä puustoissa; for samples taken from trees of dominant canopy layer and from the uppermost branch whorl during winter (1.12-31.3); validity decreases from trees over 10 m (Metsänlannoitusopas1989, Suometsien ravinteet 1990,Vejjalainen 1991)

(Kettulan näytteet) ja Muhoksen tutkimusasemalla (Sievin näytteet) N-, P-, K-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn-, Cu- ja B-pitoisuudet. Typpi määritettiin vanadomolybdaatti -menetelmällä. Kalium, kalsium ja magnesium sekä hivenravinteista mangaani, kupari, sinkki ja rauta määritettiin liekki-atomiabsorptiospektrofotometrillä. Boori määritettiin kolorimetrisesti atsoletiini-H-menetelmällä.

Tulosten laskennassa käytettiin yksikkönä kolmen puun keskiarvoa ja tilastomatemattisen BMDP7D-ohjelman yksisuuntaista varianssianalyysiä ja siihen sisältyvää parittaista t-testiä käyttäen kolmen keskiarvovertailun Bonferroni merkitsevyys-tasojä.

Neulasanalyysien tulkintaan käytettiin turvemaiden mäntypuustoja varten tehtyjä raja-arvoja ja tulkintaohjeita (Metsänlannoittajan opas 1989, Suometsien ravinteet 1990, Veijalainen 1979, 1991, ks. Taul. 1), jotka perustuvat laajan suokasvupaikkavalikoiman kattavaan tutkimukseen männyn neulasten lepokautisista ravinnepitoisuuksista (Paarlahti ym. 1971) ja sitä täydentäviin hivenravintetutkimuksiin (Veijalainen 1977, Kolari 1977, Reinikainen ja Veijalainen 1983).

## TULOKSET

Kettulan kokeessa ylimmän oksakiehkuran 1-vuotiaiden neulasten ravinnepitoisuudet olivat fosforia lukuunottamatta tyydyttävällä tasolla (Taul. 2). Tulkintaohjeiden perusteella (Taul. 1) männyn kärsvät mahdollisesti lievistä fosforin puutoksesta. Sievin kokeessa E koealojen 11 ja 12 puut kärsvät ankarasta fosforin ja kaliumin puutoksesta. (Taul. 3).

Nuorimpien neulasten ravinnepitoisuudet vaihtelivat latvuksen sisällä sekä Kettulan että Sievin kokeen puissa. Kettulan kokeessa boori- ja rautapitoisuudet pienenevät, mutta kalsiumpitoisuudet suurenevät yläöksistä alaoksiin päin ja niissä oli tilastollisesti merkitseviä eroja latvusosien välillä. Fosfori-, magnesium- ja sinkkipitoisuuksissa oli pienenevä ja kaliumpitoisuuksissa suureneva trendi latvasta alaspäin. Nuorimpien neulasten typpi-, mangaani- ja kuparipitoisuuksissa ei ollut selvää gradienttia eri latvusosien välillä (Taul. 2).

Sievin kokeesta olivat tulokset fosforin ja kaliumin puutteesta kärsvissä puissa 1-vuotiaiden neulasten typpi-, fosfori-, magnesium-, sinkki-, rauta- ja booripitoisuuksien osalta samankaltaisia

Kettulan kokeen tulosten kanssa. Poikkeuksina Kettulan tuloksiin verrattuna olivat neulasten kalium-, kalsium-, mangaani-, ja kuparipitoisuudet, jotka pienenevät yläöksistä alaoksiin päin (Taul. 3). Sievin osalta tulokset ovat vain suuntaa-antavia toistojen puuttuessa.

Kettulan kokeessa latvuksen keski- ja alaoksien neulasten fosfori-, kalium-, magnesium- ja booripitoisuudet alenevat neulasten iän myötä sekä perus- että jatkolannoitetuilla puilla. Kalsium-, mangaani-, sinkki- ja rautapitoisuudet taas kohosivat neulasen iän myötä. Vanhemmissa neulasvuosikerroissa olivat erot ravinnepitoisuuksissa 1-vuotiaisiin neulasiin verrattuna lähes kauttaaltaan merkitseviä (Taul. 2). Sievin koealoilla tulokset olivat samankaltaisia lukuunottamatta fosforia, jolla ei esiintynyt gradienttia ja sinkkiä, jolla pitoisuus laski neulasen iän myötä (Taul. 3). Myös tässä neulasen iän osalta toistojen puuttuminen on tulosten osalta vain suunta-antava.

## TULOSTEN TARKASTELU

Typen, fosforin, kaliumin ja kalsiumin keskimääräiset ravinnepitoisuudet olivat Kettulan kokeessa sekä perus- että NPK -jatkolannoituskäsittelyn saaneiden puiden ylimmän oksakiehkuran neulasissa samaa tasoa kuin turvemaiden mäntypuustoissa yleensä on havaittu (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1992). Magnesium- ja booripitoisuudet olivat keskimäärin hieman korkeampia ja mangaanipitoisuudet hieman alempia. Kaksi- ja kolmevuotiaiden neulasten typpi-, kalsium-, rauta- ja sinkkipitoisuudet olivat suurempia kuin Finér'in (1992) tutkimuksen vuoden 1987 aineistossa, jossa tosin puiden ikä (85 v.) oli huomattavasti Kettulan puustoa korkeampi, mikä ainakin osaksi selittänee pitoisuuseroja.

Sievin kokeessa neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat Kettulan tuloksiin, kuten myös muihin turvemaiden neulasanalyysituloksiin verrattuna, selvästi alempia. Koealoilla näiden ravinteiden puutos näyttää jatkuneen jo pitkään, sillä myös vuoden 1967 neulasanalyysissä (Paarlahti ym. 1971) todettiin näiden koealojen puustoissa ankaraa fosforin ja kaliumin puutosta. Vuonna 1987 todettiin lisäksi myös ankaraa typen puutosta. Koealalla 11 ravinnepitoisuudet olivat vuosina 1967 ja 1987 tehdyissä analyyseissä seuraavat: N(%) 1,39/1,13; P (mg/g) 1,21/1,10 ja

Taulukko 2. Kettulan kokeen näytepuiden neulasten ravinnepitoisuudet latvuksen eri osissa (ylä-, keski, alaoksanäyte ja eri neulasvuosikerroksissa. C = uusin, edellisen kesän neulasvuosikerta. Tilastollinen ero (<0,05) on merkitty samalla kirjaimella (latvusosat/abc ja neulasvuosikerrat/xzy).

Table 2. Nutrient concentration in needles from different crown positions (upper, middle and lower branches) taken from sample trees in the Kettula experiment. C = current, (last year's) needles. Statistical different ( $P < 0,05$ ) marked with same letter (crown parts/abc and needle age/xyz).

		Peruslannoitus 1961, NPK Basic fertilization 1961, NPK			Jatkolannoitus 1972, NPK Refertilization 1972, NPK		
		C	C+1	C+2	C	C+1	C+2
Latvusosa	Crown part	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
N %	ylä upper	1,48 ± 0,08			1,42 ± 0,10		
	keski middle	1,49 ± 0,07	1,49 ± 0,06	1,44 ± 0,07	1,53 ± 0,10	1,50 ± 0,10	1,46 ± 0,06
	ala lower	1,48 ± 0,07	1,43 ± 0,08	1,45 ± 0,07	1,48 ± 0,09	1,46 ± 0,09	1,45 ± 0,06
P mg/g	ylä upper	1,69 ± 0,05			1,68 ± 0,22		
	keski middle	1,56 ± 0,10 xy	1,43 ± 0,06 x	1,38 ± 0,06 y	1,57 ± 0,07 xy	1,46 ± 0,06 x	1,40 ± 0,07 y
	ala lower	1,55 ± 0,08 xy	1,40 ± 0,08 x	1,38 ± 0,06 y	1,56 ± 0,01 xy	1,43 ± 0,07 x	1,38 ± 0,06 y
K mg/g	ylä upper	4,89 ± 0,48			4,56 ± 0,82		
	keski middle	4,88 ± 0,35 y	4,49 ± 0,54	4,04 ± 0,24 y	5,03 ± 0,50 xy	4,38 ± 0,23 x	4,17 ± 0,28 y
	ala lower	5,25 ± 0,55 xy	4,47 ± 0,44 x	4,23 ± 0,26 y	5,38 ± 0,57 xy	4,47 ± 0,20 x	4,29 ± 0,21 y
Ca mg/g	ylä upper	b 2,42 ± 0,37			ab 2,28 ± 0,22		
	keski middle	3,02 ± 0,50 xy	4,59 ± 0,94 x	5,29 ± 0,72 y	a 2,88 ± 0,23 xy	4,30 ± 0,45 xz	5,13 ± 0,43 yz
	ala lower	b 3,11 ± 0,51 xy	4,34 ± 0,70 x	5,30 ± 1,02 y	b 2,94 ± 0,28 xy	4,39 ± 0,73 xz	5,14 ± 0,52 yz
Mg mg/g	ylä upper	1,31 ± 0,14			1,28 ± 0,18		
	keski middle	1,24 ± 0,16 y	1,05 ± 0,17	0,92 ± 0,18 y	1,21 ± 0,16 y	1,06 ± 0,17	0,93 ± 0,15 y
	ala lower	1,18 ± 0,13 xy	0,98 ± 0,13 x	0,91 ± 0,16 y	1,16 ± 0,11 y	1,00 ± 0,12	0,95 ± 0,16 y
Fe mg/kg	ylä upper	ab 75,4 ± 9,3			ab 68,8 ± 5,2		
	keski middle	a 57,9 ± 15,7 xy	81,8 ± 13,9 x	79,1 ± 9,6 y	ac 53,8 ± 5,6 xy	78,5 ± 11,0 x	81,7 ± 9,8 y
	ala lower	b 50,7 ± 5,6 xy	70,1 ± 9,8 x	74,6 ± 6,8 y	bc 46,1 ± 3,4 xy	69,4 ± 10,2 x	77,3 ± 7,4 y
Mn mg/kg	ylä upper	296 ± 79			327 ± 129		
	keski middle	371 ± 102	482 ± 164	558 ± 200	328 ± 59 y	435 ± 103	493 ± 102 y
	ala lower	341 ± 88 y	464 ± 165	548 ± 187 y	320 ± 68 y	437 ± 121	514 ± 134 y
Zn mg/kg	ylä upper	49,4 ± 6,4			52,0 ± 7,1		
	keski middle	46,9 ± 5,7 y	57,7 ± 9,8	62,6 ± 12,2 y	46,1 ± 4,7 xy	54,8 ± 6,3 x	60,0 ± 7,1 y
	ala lower	42,5 ± 5,4 xy	53,7 ± 8,8 x	58,7 ± 8,4 y	45,2 ± 10,8 y	52,5 ± 5,9	57,6 ± 5,0 y
Cu mg/kg	ylä upper	4,1 ± 0,8			4,0 ± 0,5		
	keski middle	3,6 ± 0,5	3,8 ± 0,5	3,6 ± 0,5	4,2 ± 0,4 y	3,8 ± 0,6	3,5 ± 0,4 y
	ala lower	3,8 ± 0,5	4,0 ± 0,7	4,0 ± 0,7	4,1 ± 1,1	4,0 ± 0,4	4,0 ± 0,7
B mg/kg	ylä upper	b 18,6 ± 1,2			b 19,7 ± 1,9		
	keski middle	16,7 ± 1,4 y	16,2 ± 1,9	14,6 ± 1,5 y	17,6 ± 1,8 y	15,4 ± 2,6	14,2 ± 2,0 y
	ala lower	b 15,7 ± 2,1	15,8 ± 1,9	15,1 ± 2,0	b 16,8 ± 1,9 y	15,2 ± 2,2	14,1 ± 2,0 y

K (mg/g) 3,33/2,51. Koealalta 12 ei vastaavaa ravinneanalyysiä ole tiedossa.

Kettulan kokeessa neulasten kaliumpitoisuudet olivat alaoksissa suurempia kuin muissa latvuksen osissa, mikä poikkeaa kivennäismaiden neulasanalyysituloksista (Helmisaari 1992). Myös Veijalaisen (1992) laajan suometsien neulasanalyysiaineiston tulokset viittaavat myös tähän suuntaan. Sen sijaan Sievin kokeen kaliuminpuutospuissa kaliumpitoisuudet

olivat alaoksissa pienimmät ja suuremmat ylempien oksien neulasissa. Onkin mahdollista, että turvemaidella voimakkaassa kaliuminpuutteessa neulasten pitoisuusgradientti latvuksen pystysuunnassa muuttuu. Sievin osalta tulos selittyy kaliumin helpolla liikkuvuudella ja sen kulkeutumisella puutostilassa latvuksen ylempiin osiin alempien oksien kustannuksella. Hitaasti kulkeutuvien kalsiumin ja mangaanin osalta tulos on Sievin kokeen osalta vaikeammin

Taulukko 3. Sievin kokeen E näytepuiden ravinnepitoisuudet latvuksen eri osissa ja neulasvuosikerroissa. (Ylä-, keski- ja alaoksanäyte, n = 1, kolmen puun yhdistetty näyte. C = uusin, edellisen kesän neulasvuosikerta.

Table 3. Nutrient concentration in needles from different crown positions (upper, middle and lower branches) taken from sample trees (n = 1, composite of three sample trees) in Sievi experiment E. C = current, (last year's) needles.

Ravinne Nutrient	Latvus- osa	Crown part	Koeala 11 Plot 11			Koeala 12 Plot 12		
			C	C+1	C+2	C	C+1	C+2
N %	ylä	upper	1.29			1.30		
	keski	middle	1.38	1.34	1.35	1.24	1.22	1.18
	ala	lower	1.27	1.28	1.28	1.18	1.20	1.24
P mg/g	ylä	upper	1.19			1.10		
	keski	middle	1.07	1.09	1.08	1.09	0.92	0.93
	ala	lower	1.02	1.01	1.01	1.04	0.91	0.94
K mg/g	ylä	upper	3.37			3.48		
	keski	middle	3.04	2.79	2.80	3.56	3.00	2.65
	ala	lower	2.88	2.70	2.64	3.18	2.81	2.83
Ca mg/g	ylä	upper	1.75			2.39		
	keski	middle	1.64	2.08	2.34	1.80	2.58	2.78
	ala	lower	1.52	2.43	2.78	1.55	2.23	2.56
Mg mg/g	ylä	upper	1.73			1.73		
	keski	middle	1.35	1.10	1.08	1.28	1.16	1.15
	ala	lower	1.21	1.13	1.07	1.23	1.13	1.06
Fe mg/kg	ylä	upper	46.7			35.0		
	keski	middle	36.5	57.6	59.7	27.5	45.6	46.1
	ala	lower	29.3	50.8	61.6	26.0	40.5	46.1
Mn mg/kg	ylä	upper	314			447		
	keski	middle	274	310	362	354	456	526
	ala	lower	260	390	437	323	447	528
Zn mg/kg	ylä	upper	61.6			62.2		
	keski	middle	39.8	38.4	33.2	44.2	44.2	42.0
	ala	lower	27.2	30.2	30.3	34.5	33.2	32.7
Cu mg/kg	ylä	upper	4.4			3.2		
	keski	middle	3.2	3.0	3.0	2.9	2.7	2.5
	ala	lower	2.8	2.9	2.8	2.9	2.7	2.7
B mg/kg	ylä	upper	11.0			10.8		
	keski	middle	10.6	9.0	8.7	10.0	8.5	8.0
	ala	lower	10.5	9.4	9.5	10.9	13.5	11.4

selitettävissä. Kettulan kokeessa jatkolannoitettujen puiden neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu latvuksessa ei poikennut peruslannoitetuista puista.

Neulasten booripitoisuudet olivat sekä latvuksen yläoksissa että nuorimmissa neulasissa suurimmat, etenkin Kettulan kokeessa. Tulos on odotettu, sillä boorin kulkeutumisen tiedetään perustuvan lähinnä massavirtaukseen (veden haihtumisvirtaan) ja edellyttävän jatkuvaa ottoa juuriston kautta boraatti-ionina aktiivisiin kasvusolukoihin (latvan kärkiosa ja uudet neulaset), missä sillä on elintärkeä merkitys aineenvaihdunnassa (Michael ym. 1969, Augsten ja Eichhorn 1976).

Sekä Kettulan että Sievin kokeissa neulasten iänmukainen ravinnepitoisuuksien vaihtelu oli pääosin samansuuntaista, ts. ns. liikkuvien ravinteiden (P, K, Mg) pitoisuudet alenivat ja heikosti liikkuvien ravinteiden (Ca, Mn) pitoisuudet kasvoivat neulasen iän myötä. Erot useiden ravinteiden pitoisuuksissa olivat Kettulan kokeessa merkitseviä lähes kaikissa latvusosissa etenkin 1- ja 3-vuotiaiden neulasten välillä, mikä tulisi ottaa huomioon neulasnäytteitä otettaessa. Sievin fosforin- ja kalinpuutospuissa sinkkipitoisuudet näyttivät olevan neulasen iästä riippumattomia.

Osa neulasten ravinnepitoisuustuloksien välisistä eroista latvuksen eri osissa tässä tutkimuksessa ja muissa kotimaisissa mäntyä koskevissa tutkimuksissa voi selittyä eri näytteenottotavoista. Suomännyillä neulasnäytteet neulasanalyyysiä varten tulisi ottaa puun ylimmistä etelänpuoleisista oksista (Paarlahti ym. 1971, Metsänterveysopas 1988, Suometsien ravinteet 1990). ILME- ja SILMU-tutkimuksissa käytetty neulasnäytteenotto perustuu latvuksen ylimmästä kolmanneksesta tai keskiosasta otettuihin näytteisiin poiketen tässä em. ohjeista ja vastaten lähinnä tämän tutkimuksen keskinäytteitä. Ravinnepuutostulkinnoissa käytetty näytteiden keruumenetelmä tulisikin ottaa huomioon ja verrata saatuja tuloksia relevantteihin referenssiaineistoihin. Tämän tutkimuksen perusteella

keski- ja alaoksanäytteiden analyysitulosten tulkinta esim. ravinnepuutosten osalta käyttäen ylimmän oksakiehkuran neulasiin perustuvia tulkintaohjeita voi tällöin johtaa helposti liian alhaisten pitoisuuksiensa takia vääriin tai turhiin lannoituksiin, mikäli tuloksissa ollaan lähellä puutospitoisuuksia.

## PÄÄTELMÄT

Tutkimuksen suppean aineiston ja toistojen puuttumisen (Sievin koe) vuoksi voidaan saatuja tuloksia pitää lähinnä suuntaa-antavina. Tästä huolimatta on merkittävimpänä seikkana pidettävä 1-vuotiaiden neulasten kaliumpitoisuuksien vertikaalisessa vaihtelussa ilmenneitä eroja Kettulan kaliumtasoltaan tyydyttävien puiden ja Sievin kaliumpuutospuiden välillä. Sievin puiden kaliumin laskeva pitoisuusgradientti latvuksen yläosasta alaspäin sekä tämän havainnon yleisempi merkitys kaliuminpuutoksen ja puun kaliumtilan tulkinnassa tulisikin selvittää tarkemmin puustojen kalilannoitustutkimuksissa. Myös näiden puiden kalsiumin ja mangaanin vastaava Kettulan puista poikkeavana ilmennyt laskeva gradientti voisi olla tarkemman tarkastelun arvoista.

Tämän tutkimuksen perusteella näytteen sijainti latvuksessa näyttäisi vaikuttavan ravinneanalyyysituloksiin, mikä tulisi ottaa huomioon analyysituloksia tulkittaessa. Muiden latvussijainniltaan erilaisten neulasnäytteiden (alemmat latvusosat tai 1-vuotta vanhemmat neulasvuosikerrat) käyttö voi olla tarpeen esim. ravinnevaihtelua koskevissa tarkasteluissa potentiaalisen puutostilan selvittämiseksi tai kasvukauden aikaiseen kasvuun tai aineenvaihduntaan kytkeytyvissä tarkasteluissa ja vertailuissa.

## KIITOKSET

MMT Seppo Kaunisto ja LuK Heikki Veijalainen sekä ennakkotarkastajat lukivat käsikirjoituksen tehden siihen huomioon otettuja parannusehdotuksia. Ph.D Michael Starr tarkasti englanninkielisen tekstin. Edellämainituille esitän lämmöllä parhaimmat kiitokseni.

## KIRJALLISUUS

Augsten, H. & Eichhorn, M. 1976: Biochemie und Physiologie der Borwirkung bei Pflanzen. — Biologische Rundschau 14:268–285.

Bukovac, M.J. & Wittwer, S.H. 1957: Absorption and mobility of foliar applied nutrients. — Plant physiology 32:428–435.

- Driessche, R. van den. 1974: Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. — *Botanical Review* 40 (3): 347–394.
- Finér, L. 1992: Nutrient concentrations in *Pinus sylvestris* L. growing on an ombrotrophic pine bog, and the effects of PK and NPK fertilization. — *Scandinavian Journal of Forest Research* 7 (2): 205–218.
- Florence, R.G. & Chuong, P.H. 1974: The influence of soil type on foliar nutrients in *Pinus radiata* plantations. — *Australian Forest Research* 6 (3): 1–8.
- Fober, H. 1976: Distribution of mineral elements within the crown of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). — *Arboretum Kornickie* 21:323–331.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983: Nutrient analysis methods. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121:1–28.
- Heinsdorf, D. 1967: Zur Charakterisierung des Ernährungszustandes von Kiefernpflanzen durch den Nährstoffhalt ihrer Terminaltriebnaedeln. — *Archiv fur Forstwesen* 16:679–682.
- Helmisaari, H.-S. 1990: Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. — *Scandinavian Journal of Forest Research* 5:177–193.
- Helmisaari, H.-S. 1992: Spatial and age-related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. (Tiivistelmä: Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien paikallinen ja iänmukainen vaihtelu.) — *Silva Fennica* 26:145–153.
- Kolari, K.K. 1983: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa — kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback in Finland — a review. — *Folia Forestalia* 389: 1-37.
- Leyton, L. 1948: Mineral nutrient relationships of forest trees. — *Forestry Abstracts* 9 (4): 399–408.
- Leyton, L. & Armonson, K.A. 1955: Mineral composition of the foliage in relation to the growth of Scots pine. — *Forest Science* 1:210–218.
- Metsänlannoittajan opas. 1989: — *Kemira Oy*. 36 s.
- Metsänterveysopas 1988: — *Metsätuhot ja niiden torjunta*. 168 s.
- Michael, G., Wilberg, E. & Kouhsiaschi-Tork, K. 1969: Durch hohe Luftfeuchtigkeit induzierter Bormangel. — *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 122: 1–3.
- Morrison, I.K. 1974: Mineral nutrition of conifers with special reference to nutrient status interpretation: a review of literature. — *Canadian Forestry Service Publication No. 1343*. Department of the environment. Ottawa. 74 s.
- Mälkönen, E. 1974: Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84 (5): 1–87.
- Möller, G. 1988: Behov av bortfallsats vid praktisk skogsgödsling. — *Slutrapport från projekt P 409*. Institutet för skogsförbättring. 11 s. + 29 s.
- 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* 75 (4): 1–58.
- Raitio, H. 1983 (toim.): *Metsäpuiden fysiologiaa I*. Ravinnetalouden perusteita. 1983: — Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 39:1–200.
- Raitio, H. 1987: Neulasvuosikertojen merkitys neulasanalyysin tulkinnaissa. Abstract: The significance of the number of needle year classes in interpreting needle analysis results. — *Silva Fennica* 21 (1): 11–16.
- Raitio, H. 1991: Neulas- ja lehtianalyysi diagnostisena tutkimusmenetelmänä. Abstract: Foliar analysis as a diagnostic research method. — *Luonnon Tutkija* 95:15–18.
- Raitio, H., Tikkanen, E. & Nöjd, P. 1990: Mäntyjen ravinnetalous Sallan puustovuorioalueella. — Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). *Lapin metsien terveys*. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 23–31.
- Reinikainen, A. & Silfverberg, K. 1983: Significance of whole tree nutrient analysis in the diagnosis of growth disorders. — Teoksessa: Kolari, K.K. (toim.) *Growth disturbances of forest trees*. Proceedings. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 116:48–58.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983: Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. — Teoksessa: Kolari, K.K. (toim.) *Growth disturbances of forest trees*. Proceedings. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 116:44–48.
- Suomen standardisoimisliitto. 1990: *Ilmansuojelu*. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsitely ja tulosten esittäminen. — *SFS* 5669.
- Suometsien ravinteet. 1990: — *Kemira Oy*. 14 s.
- Tamm, C.O. 1955: Studies on forest nutrition I. Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. Sammanfattning: Studier över skogens näringsförhållanden I. Årtidsvariationen i näringsinnehållet hos tall och granbarr. — *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 45:1–33.
- Veijalainen, H. 1977: Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemaidella. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92 (4): 1–32.
- Veijalainen, H. 1979: Neulasanalyysi ja sen tulkinta erityisesti turvemaiden mäntypuustojen lannoitustarpeen määrittämisessä. — *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 10/1979. 6s.
- Veijalainen, H. 1991: Neulasanalyysin tulkintaohje turvemaiden männylle. — *Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto*. Moniste. 1s.
- Veijalainen, H. 1992: Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987–88. (Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter 1987–88). — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 408:1–28.
- Wright, T.W. & Will, G.M. 1958: The nutrient contents of Scots and Corsican pines growing on sand dunes. — *Forestry* 31 (1): 13–25.



## SUMMARY:

## VARIATION IN SCOTS PINE NEEDLE NUTRIENT CONCENTRATIONS IN RELATION TO POSITION IN CROWN AND NEEDLE AGE.

Variation in nutrient concentrations in Scots pine needles from different positions in the crown and of different age was studied at two drained peatland fertilization experiments. The Kettula experiment had received basic (1961) and refertilization (1972) with NPK and the Sievi experiment had received only P (1949). The trees at the latter experiment were showing symptoms of potassium and phosphorus deficiency.

Current (1-year-old) green needles were taken from three positions in the crown: the topmost branchlets, and the middle and lower crown. Two and three-year-old needles were also taken from the middle and lower crown positions. Sampling was carried out in March 1989. In the Kettula experiment the number of repetitions for each fertilization class was eight. At Sievi experiment there were no replicates.

At the Kettula experiment the nutrient concentrations of the 1-year-old needles were about the same level, as has generally been found for drained peatland forest sites (Paarlahti et al. 1971, Veijalainen 1992). The potassium concentrations of the 1-year-old needles were the lowest in the uppermost branchlet and increased down the crown (Table 2). Nitrogen concentrations did not show any systematic trend with vertical crown position, but phosphorus, magnesium, iron, zinc, and boron concentrations decreased and calcium concentrations increased down the crown. At the Sievi experiment, where the trees exhibited symptoms of both potassium and phosphorus deficiency,

potassium concentrations, as well as calcium and manganese concentrations, decreased down the crown (Table 3).

In both experiments phosphorus, potassium, magnesium and boron concentrations decreased with needle age while calcium, iron, and manganese concentrations increased. Zinc concentrations increased in NPK fertilized trees with needle age but did not clearly vary in trees having potassium and phosphorus deficiency. In both experiments copper concentrations did not vary between needle age classes (Tables 2 and 3).

The needles from the uppermost branchlet were sampled according to the recommended sampling procedure (Table 1). The results show that needle nutrient concentrations vary vertically with crown position and needle age. Therefore needle analysis results not based on current (1-year-old) needles sampled from the uppermost branchlet should be compared with known values of critical concentrations with caution. It may be necessary to sample needles from other crown positions and several age classes in order to study, for example, potential nutrient deficiency or nutritional physiology during the growth period.

The variation in potassium, but also calcium and manganese concentrations in 1-year-old needles vertically throughout the crown shown in this study indicates that vertical variability in needle nutrient concentrations should be considered in more detail, especially in studies concerned with the potassium nutrition of Scots pine.

Received 8. IV. 1994

Approved 20.V. 1994