



Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987-88

*Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter
1987-88*

Heikki Veijalainen

Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987-88

Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter
1987-88

Heikki Veijalainen

Metsäntutkimuslaitos, metsäekologian tutkimusosasto

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 408

Vantaa 1992

Kansikuvat (H. Nousiainen): Oik. ylh: Ravinneperäinen kasvuhäiriö Tahvolan pellonmetsitysalueella, Muhos. Vas. ylh: Ankarat kaliumin puutos luontaisesti metsittyneellä pellolla, Utajärvi, Karjosuo. Oik. alh: Ankarat typen puutos sorapohjalla, Äänekoski, Hietama. Vertailuoksa Vantaa, Winterinmäki. Vas. alh: Moniravinnepuutos, Muhos, Jylkynrimpi.

ISBN: 951-40-1207-0
ISSN: 0358-4283

Valtion Painatuskeskus
Vantaa 1992

Veijalainen, H. 1991. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987-88. Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter 1987-88. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 408. 28 s. ISBN 951-40-1207-0, ISSN 0358-4283.

Metsänomistajat keräsivät neulasnäytteitä sairaiksi epäilemistään metsistä eri puolilta maata (Ilvesmetsänterveyspalveluprojekti). Talven 1987-88 kuluessa kertyi turvemailta yhteensä 351 neulasnäytettä. Näytteenottohetkellä vain 37 % metsiköistä oli merkitty sairaiksi. Aineisto sisälsi 34 näytettä kuusikoista ja 317 näytettä männiköistä. Neulasanalyysien tulkinta tapahtui asiantuntijaohjelmalla, joka valmisteltiin Ilves-projektissa. Männyn ylimmistä oksista kerätyistä näytteistä (n=282) voitiin todeta pitoisuuseroja taimikoiden ja varttuneiden männiköiden välillä sekä sairaiksi ja terveiksi ilmoitettujen puustojen välillä. Sairaissa puustoissa oli korkeampi neulasten N-pitoisuus ja alempi K-pitoisuus kuin terveissä. Karuilla kasvupaikoilla neulasten N- ja P-pitoisuus oli alempi kuin rehevillä kasvupaikoilla. Lannoitus lisäsi erityisesti P-, K- ja 1980-luvun lannoituksissa myös B-pitoisuuksia. Erityisesti neulasten N-pitoisuus oli Pohjois-Suomessa muuta maata alemmalla tasolla. P-puutos oli suometsien yleisin ravinnepuutos. N- ja K-puutosta todettiin yleisimmin Pohjois-Suomessa. Kohteista 30 % ei tarvinnut mitään lannoitusta, PK- tai NPK-lannoitussuosituksen sai 60 % kohteista ja vain 10 % metsikkökuvioista sai nykyisistä lannoitusohjeista poikkeavia suosituksia. Korkeat Mn-pitoisuudet neulasissa liittyivät ojanperkaustarpeeseen. Havaintoa voitane käyttää hyväksi arvioitaessa ojanperkaustarvetta talviaikana. Kuusen neulasissa Ca- ja Mn-pitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia, mutta Cu- ja Zn-pitoisuudet alempia kuin männyn neulasissa.

Kirjoittajan yhteystiedot: Veijalainen, Heikki: Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa (puh. 90-857 051). The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Ecology, Box 18, SF-01301 Vantaa.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos; Hanke 3081-0. Hyväksynyt: Eero Paavilainen, tutkimusjohtaja 27.4.1992.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. TUTKIMUSAINEISTO	4
21. Neulasnäytteet	4
22. Ravinneanalyysit	8
23. Neulasanalyysien tulkinta, tilastolliset menetelmät ja käytetyt lyhenteet.	8
3. TULOKSET.	9
31. Neulasten ravinnepitoisuudet terveiksi ja sairaksi luokitelluissa männiköissä	9
32. Neulasten ravinnepitoisuudet männiköiden eri kehitys- ja tiheysluokissa	13
33. Kasvupaikan viljavuuden, lannoituksen ja ojastojen kunnan vaikutus	13
34. Ravinnepitoisuuksien alueellinen vaihtelu.	17
35. Ravinnepuutokset ja lannoitus-suositukset männiköissä	17
36. Männyn ja kuusen analyysitulosten vertailu.	21
4. TULOSTEN TARKASTELU.	21
KIRJALLISUUS	24
SUMMARY	27

1. JOHDANTO

Metsäojitetuilla soilla männyn neulasanalyysiä on käytetty tutkimuksessa 1960-luvulta lähtien (Puustjärvi 1965, 1967). Neulasanalyysien perusteella on laadittu lannoitusohjeita myös käytännön metsäojitusalueiden männiköihin (ks. Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1979, 1984b, Reinikainen & Veijalainen 1983). Kuusen neulasanalyysitutkimuksessa ei vastaavaa vaihetta turvemilla ole vielä saavutettu. Neulasnäytteiden keräysmenetelmä perustuu ulkomaisiin tutkimustuloksiin (esim. Leyton ja Armson 1955, Smith 1962, Leaf 1973).

Neulasanalyysiä on käytetty kasvuhäiriön syiden ja torjuntamenetelmien etsinnässä (Veijalainen ym. 1984). Kokemusten perusteella voidaan otaksua, että neulasanalyysi antaa käyttökelpoista tietoa myös metsäpuiden muita vaurioita ja niiden taustoja tutkittaessa (ks. Kurkela 1965, 1975, 1983, Everard 1973, Heliövaara & Väisänen 1989, Nuorteva 1990 a, b).

Tiedot puuston kehitysluokan, tiheyden, ojanperkaustarpeen, jopa lannoituksen ja kasvupaikan luontaisen viljavuuden vaikutuksesta neulasten ravinnepitoisuuksiin ovat vajavaisia.

Aiemmin ei ole myöskään tutkittu ojitusalueittemme ravinnepuutoksien alueellista levinneisyyttä. Eräät yllätykset lannoituskokeissa (esim. Veijalainen 1984c, Moilanen ja Issakainen 1990) osoittavat, ettei puustojen lannoitus voine perustua yksinomaan suotyyppiin, ei myöskään ns. Huikarin (1952) ravinteisuusluokkiin samalla tavalla maan kaikissa osissa, koska samat suotyypit maan eri osissa voivat olla erilaisia ravinnetaloudelliselta taustaltaan (Ahti 1968).

Tutkimusaineisto kerättiin yhden talven (1987-88) aikana. Sitä edeltänyt kesä 1987 oli pohjois-Suomessa kylmä ja sateinen. Täten aineiston toivottiin antavan taustatietoja myös Lapin metsätuho-ongelmaan (ks. esim. Jalkanen 1989, Ritari 1989), sekä alustavaa tietoa suokuusikoiden ja -männiköiden neulasanalyytisistä eroista.

Käsikirjoituksen tarkastivat professori Eero Paavilainen, professori Eino Mälkönen, MML Leena Finer, FL Juha-Pekka Hotanen, MMT Seppo Kaunisto, MH Mikko Moilanen ja FL Antti Reinikainen. Laskennassa avusti tutkimusmestari Raimo Mäkelä, piirustustöissä Anja Ripatti, Raija Vakkuri ja tekstinkäsittelyn eri vaiheissa Pirjo Lemmetty, Kirsi-Marja Lehtinen ja Johanna Viemerö. Englanninkieliset tekstit tarkisti MML, B.Sc. John Derome. Kiitokset avusta kaikille, erityisesti Viljavuuspalvelu Oy:lle ja lives-projektiin tutkimusryhmälle sekä niille metsänomistajille, jotka vaikeissa lumiolosuhteissa keräsivät näytteet.

2. TUTKIMUSAINEISTO

21. Neulasnäytteet

Metsänomistajat keräsivät neulasnäytteet itse valitsemiltaan turvemaan metsikkökuvioilta joulukuun alun (1987) ja maaliskuun lopun (1988) välisenä aikana ILVES-metsänterveyspalveluprojektia varten (Jukka 1988). Näyte koostettiin kultakin tutkittavalta metsikkökuvioilta tai ongelma-alueelta 5 - 10 näytepuusta. Niistä pyrittiin saamaan 1 - 2 etelänpuoleista oksaa ylimmästä oksakiehkurasta. Jos näyte oli alemmaa, oli siitä tehtävä merkintä taustatietolomakkeelle, jolle merkittiin myös kasvupaikka- ja puustotiedot, metsikön sijaintitiedot, viimeinen lannoitusvuosi ja tieto mahdollisesta ojanperkaustarpeesta (ks. liite 1).

Turvemailta kertyi yhteensä 351 neulasnäytettä, 317 näytettä männystä ja 34 kuusesta. Valtaosa mäntynäytteistä oli yläoksanäytteitä (n=163 kpl). Toiseksi tai kolmanneksi ylimmästä oksakiehkurasta saatiin 119 näytettä (välioksanäytteet). Tätä alemmaa oli mäntyvaltaisista metsiköistä 35 näytettä (alaoksanäytteet).

Männyn neulasten Ca-pitoisuus oli yläoksanäytteissä merkitsevästi alempi kuin väli- ja alaoksanäytteissä. Eroja oli myös Mg- ja Zn-pitoisuuksissa, kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan:

Ravinne Nutrient	Yläoksat	Välioksat	Alaoksat
	1.	2.-3.	4.-
Ca mg/g	2,27	2,63*	2,64*
Mg "	1,14	1,09	1,02*
Zn mg/kg	47,8	44,3	34,2*

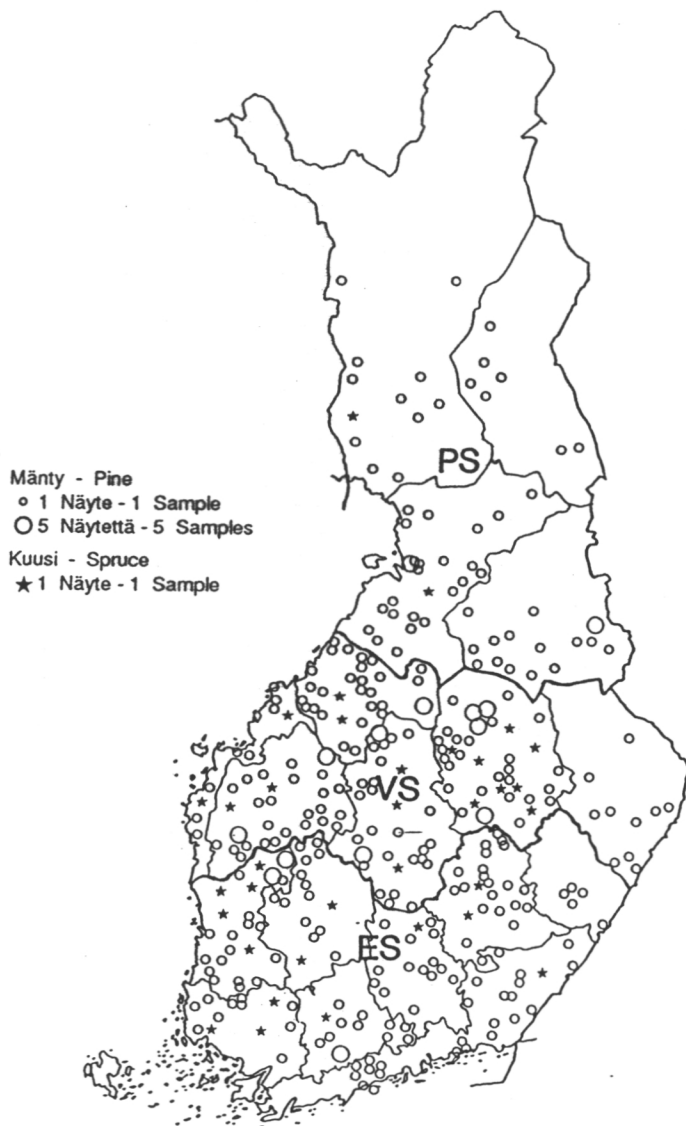
* = ero yläoksanäytteeseen merkitsevä alle 5 % riskitasolla - differs significantly from topmost whorl samples.

Vaikka muiden ravinteiden kohdalla ei t-testin mukaan ollut merkitseviä eroja, havaittiin niissäkin joitakin trendejä. N-, P- ja B-pitoisuudet olivat sitä suurempia, mitä ylemmästä oksakiehkurasta neulasnäyte oli otettu. Päinvastainen trendi näkyi K-pitoisuuksissa. Tämän vuoksi männyn alaoksa-aineisto hylättiin, jolloin jäi 282 N-, P-, K-, Ca-, Mg- ja B-analyysiä, 142 Cu-, Zn- ja Mn-analyysiä ja 92 S-analyysiä. Vain männyn ja kuusen neulasanalyysitulosten vertailussa (luku 36) käytettiin koko aineistoa.

Mäntynäytteet jakautuivat suhteellisen tasaisesti maan eri osiin (kuva 1). Vähiten näytteitä tuli Ahvenanmaalta ja Lapista. Otos ei ollut satunnainen, sillä Ilves-projektin tavoitteena oli auttaa nimenomaan sairaiden metsiköiden ravinnetalousongelmissa. Näytteen keräys kohdistui lisäksi lähinnä yksityisomistuksessa oleville metsikkökuivioille.

Kolmesta ylimmästä oksakiehkurasta otettuja männyn neulasnäytteitä kertyi 282 kpl, joista sairaiksi ilmoitettuja oli 106 ja terveitä 176 kpl. Alueellista tarkastelua varten Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan näytteet yhdistettiin Lapin kanssa Pohjois-Suomen näytteiksi (VMI:n aluejako) ja loput näytteet kahteen osaan (Väli-Suomi ja Etelä-Suomi) (kuva 1).

Ilves-projektin taustatietolomake oli käytännön syistä suppea, joten kasvupaikka- ja puustotiedot jäivät suhteellisen karkealle tasolle (ks. taulukko 1).



Kuva 1. Neulasnäytteet metsänomistajan asuinpaikan mukaan.

Fig. 1. Distribution of needle samples according to address of the forest owners.

Taulukko 1. Terveiden ja sairaiden mäntynäytteiden jakautuminen maantieteellisesti ja eräiden kasvupaikka- ja puustotunnusten mukaan.

Table 1. Distribution of healthy and non-healthy pine stands geographically and into some site and stand classes.

Luokittelu Classification	Näytealojen määrä - Number of sample plots		
	Terveet- Healthy	Sairaat- Non-healthy	Yhteensä- Sum
<u>1. Alue -Zonation</u>			
E-Suomi - S. Finland	77	32	109
V-Suomi - Central part	56	46	102
P-suomi - N. Finland	43	28	71
<u>2. Kasvupaikka - Site</u>			
Karu - Poor	127	78	205
Ravinteikas - Fertile	49	28	77
<u>3. Ojanperkaustarve - Need for ditch cleaning</u>			
Ei - No	51	26	77
Kyllä - Yes	125	80	205
<u>4. Puuston tiheys - Density of stands</u>			
Harva - Sparse	19	26	45
Normaali - Normal	137	71	208
Tiheä - Dense	20	9	29
<u>5. Kehitysluokka -Development stage</u>			
Taimikko - Sapling stage	86	67	153
Nuori kasvatusmetsikkö - Young thinning stand	78	32	110
Varttunut kasvatusmetsikkö - Advanced thinning stand	12	7	19
<u>6. Lannoitettu - Fertilized</u>			
Kyllä - Yes	74	42	116
Ei - No	102	64	166
Yhteensä - Sum	176	106	282

22. Ravinneanalyysit

Ravinneanalyysit suoritettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Näytteet kuivattiin (24 h/+ 60°C). Neulaset irrotettiin oksista ja homogenisoitiin jauhamalla. Typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä. Rikin analysoinnissa käytettiin märkäpolttoa. Kuivapoltossa (+500 - 600°C), näyte poltettiin tuhaksi josta analysoitiin kaikki muut ravinteet. Ravinnepitoisuudet mitattiin HCl-uutoksesta plasmaemissiospektrometrillä (ICP). Tulokset ilmoitettiin kuiva-ainetta kohden. Analyysien luotettavuutta seurattiin kontrollinäytteitä analysoimalla ja muissa laboratorioissa tehdyillä vertailututkimuksilla (ks. Jukka 1988). Turvemaiden mäntyaineistosta tarkistettiin jälkikäteen muutama korkea kuparipitoisuus, mutta analyysivirheitä ei todettu.

23. Neulasanalyysien tulkinta, tilastolliset menetelmät ja käytetyt lyhenteet

Turvemaiden mäntyaineiston neulasanalyysien tulkinnassa käytetyt raja-arvot perustuivat laajan suokasvupaikkavalikoiman kattavaan tutkimukseen männyn neulasten lepokautisten ravinnepitoisuuksien ja puun kasvun riippuvuudesta (Paarlahti ym. 1971) sekä sitä täydentäviin hivenravinnetutkimuksiin (esim. Veijalainen 1977, Koları 1979, Reinikainen ja Veijalainen 1983).

Turvemaiden kuusiaineiston tulkinta tapahtui manuaalisesti ja se perustui lähinnä prof. E. Mälkösen laatimiin tuoreiden kangasmaiden kuusikoiden raja-arvoihin. Kuusen booripitoisuuksien tulkinnassa käytettiin Silfverbergin (1980) esittämiä raja-arvoja. Tärkeimmät raja-arvot on esitetty Metsänterveysoppaassa (Jukka 1988).

Männyn neulasanalyysien tulkinta ja lannoitus-suositusten laadinta tapahtui ns. Ilves-tulkintaohjelmalla Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Ohjelmalla neulasanalyysitulokset voidaan muuttaa toimenpideohjeiksi, jos taustatiedot ovat riittävät. Ohjelmasta on oma versio turvemaille ja kivennäismaille. Sen sisältämästä asiantuntemuksesta vastasi Ilves-metsänterveyspalvelun tutkimusryhmä, jossa toimivat:

Professori Eino Mälkönen
Maalaboratorion päällikkö Väinö Mäntylähti
Professori Matti Nuorteva
Tuotepäällikkö Lauri Päivinen
Tutkija Heikki Veijalainen

METLA
Viljavuuspalvelu Oy
Helsingin Yliopisto
Kemira Oy
METLA

Lannoitemääräsuositukset perustuivat turvemaille pääosin vanhoihin suosituksiin (ks. Huikari ja Paavilainen 1972).

Taimikoihin suositeltiin 50 %:n vähennystä ja ankariin puutostiloihin normaalia korkeampia annoksia (ks. Ojittettujen soiden NPK1987).

Aineiston testaamiseen käytettiin seuraavia BMDP-ohjelmia (Dixon ja Brown 1979):

- ID = Simple data description (luokittelu, keskiarvot ja hajonnat)
- 9D = Multiway description of groups (varianssianalyysit)
- 2V = Analysis of variance and covariance with repeated measures (varianssianalyysit, yhdysvaikutukset)

Keskiarvoja vertailtiin myös laskemalla 95 %:n luotettavuusvälit ($\bar{x} + S\bar{x}$ t,05).

Käytetyt lyhenteet - Symbols

N = typpi	- nitrogen	B = boori	- boron
P = fosfori	- phosphorus	Cu = kupari	- copper
K = kalium	- potassium	Mn = mangaani	- manganese
Ca = kalsium	- calcium	Zn = sinkki	- zinc
Mg = magnesium	- magnesium		
S = rikki	- sulphur		

VMI = Valtakunnan metsien inventointi - National Forest Inventory

METLA = Metsäntutkimuslaitos - Forest Research Institute

F = F-testiarvo - Value of F-test

n = havaintojen lukumäärä - number of samples

p = todennäköisyys, jolla O-hypoteesi ei päde - risk level

3. TULOKSET

31. Neulasten ravinnepitoisuudet terveiksi ja sairaiksi luokitelluissa männiköissä

Sairaissa mäntypuustoissa oli korkeampi neulasten N-pitoisuus, mutta alempi K-pitoisuus kuin terveissä mäntypuustoissa. B-pitoisuudet olivat molemmissa luokissa yllättävän korkeat. Mitään viitettä sairaiden puiden kohonneista S-pitoisuuksista ei saatu (taulukko 2). Lannoitetuista metsiköistä oli terveitä suurempi osa (63,8 %) kuin lannoittamattomista metsiköistä (61,4 %).

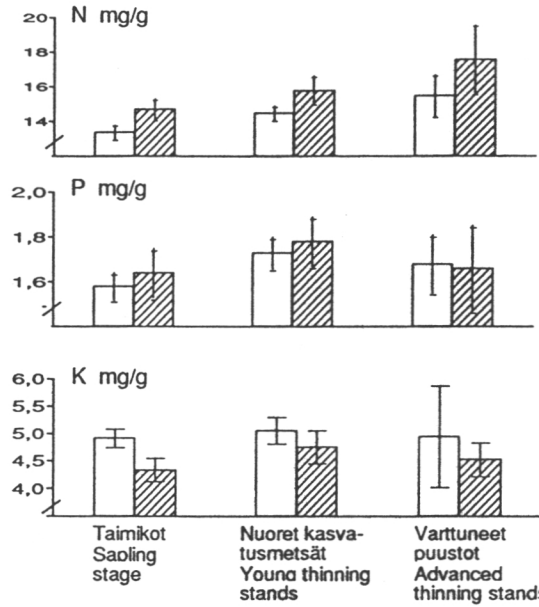
Terveiden ja sairaiden puustojen ero N- ja K- pitoisuuksissa oli suurin taimikoissa (kuva 2). Erot havaittiin myös rehevillä soilla (kuva 3), ojanperkaustarpeeltaan erilaisilla ojitusalueilla (kuva 4) ja samansuuntaisena etelä-, väli- ja pohjois-Suomen aineistossa (kuva 5).

Taulukko 2. Neulasten ravinnepitoisuudet terveiksi ja sairaiksi luokitelluissa mäntypuustoissa.

Table 2. Nutrient concentrations of needles in healthy and diseased pine stands.

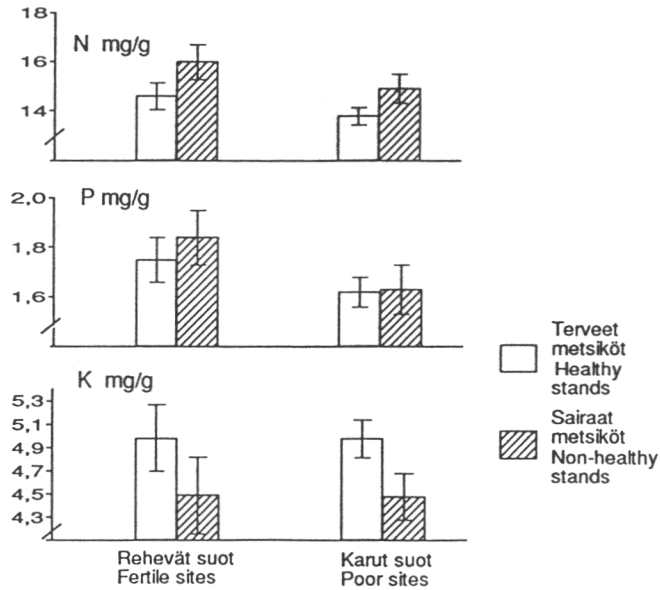
Ravinne - Nutrient	Terveet - n	Sairaas -		
		Healthy	n	Diseased
N mg/g	176	14,0 ± 0,30	106	15,2 ± 0,48*
P "	"	1,66 ± 0,05	"	1,68 ± 0,08
K "	"	4,98 ± 0,13	"	4,49 ± 0,17*
Ca "	"	2,47 ± 0,10	"	2,34 ± 0,13
Mg "	"	1,11 ± 0,03	"	1,12 ± 0,05
B mg/kg	"	15,3 ± 0,96	"	14,2 ± 1,58
Cu "	82	4,0 ± 0,52	60	3,3 ± 0,22
Mn "	"	382 ± 29,6	"	368 ± 43,6
Zn "	"	48,6 ± 2,28	"	43,8 ± 2,98
S mg/g	55	1,10 ± 0,04	38	1,06 ± 0,07

* = ero terveisiin tilastollisesti merkitsevä (p<5%)
- differs significantly (p<5%) from healthy.



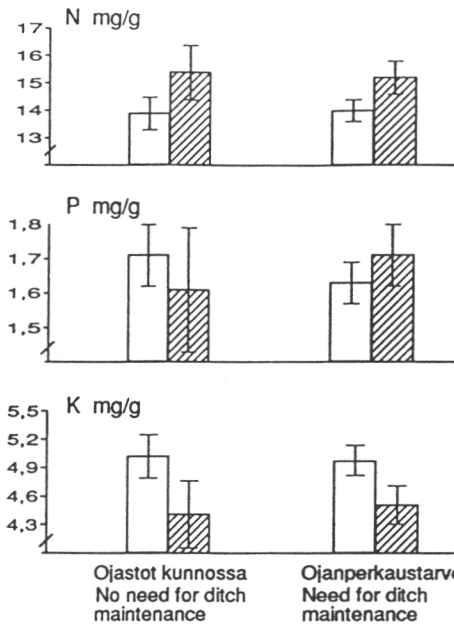
Kuva 2. Männyn neulasten N-, P- ja K-pitoisuudet eri kehitysvaiheiden terveissä ja sairaissa puustoissa.

Fig 2. Average N, P and K composition of pine needles in healthy and non-healthy stands in different development stages.



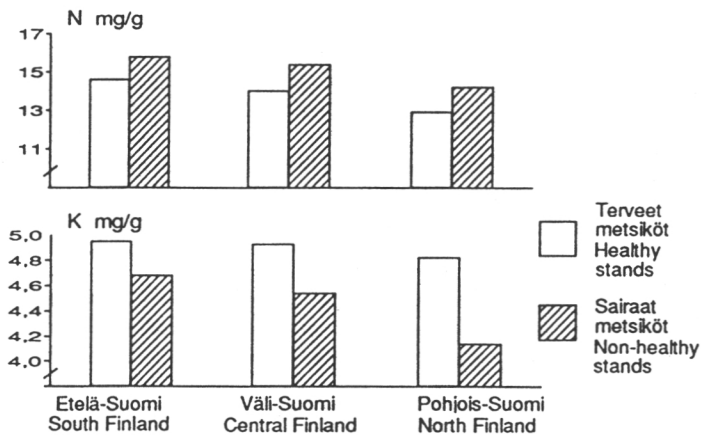
Kuva 3. Männyn neulasten N-, P- K-pitoisuudet eri viljavuustason terveissä ja sairaissa puustoissa.

Fig. 3. Average N, P and K composition of pine needles in healthy and non-healthy sites at different fertility levels.



Kuva 4. Männyn neulasten N-, P- ja K-pitoisuudet ojanperkaustarpeeltaan erilaisten alueiden terveissä ja sairaissa puustoissa.

Fig. 4. Average N, P and K composition of pine needles in healthy and non-healthy sites at different draining conditions.



Kuva 5. Männyn neulasten N- ja K-pitoisuudet terveissä ja sairaissa metsiköissä maan eri osissa..

Fig. 5. Average N and K composition of pine needles in healthy and non-healthy sites in different geographical zones of Finland.

Taulukko 3. Neulasten ravinnepitoisuudet mäntymetsiköiden eri kehitysluokissa.
Table 3. Nutrient concentrations in pine needles representing different development stages.

Kehitysluokka - Development stage	n	N mg/g	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	B mg/kg
Taimikko - Seedling stand	153	13,9	1,61	4,66	2,34	1,07	13,6
Nuori kasv.m. - Young thinning stand	110	14,9 ^a	1,75 ^a	4,98	2,53	1,16 ^a	15,7
Vartt.kasv.m. - Advanced thinning stand	19	16,39 ^a	1,67	4,83	2,44	1,22	20,5
Kaikki - All F-arvo ¹⁾ - F value	282	14,5 18,4 ^{***}	1,67 9,4 ^{**}	4,80 6,9 ^{**}	2,42 5,3 [*]	1,12 14,7 ^{***}	14,9 11,3 ^{***}
Kehitysluokka - Development stage	n	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	n	S mg/g	
Taimikko - Seedling stand	81	3,51	390	47,0	51	1,04	
Nuori kasv.m. - Young thinning stand	52	4,06	362	46,3	37	1,14	
Vartt.kasv.m. - Advanced thinning stand	9	3,11	330	44,2	5	1,06	
Kaikki - All F-arvo ¹⁾ - F value	142	3,69 1,7	376 1,7	46,5 0,2	93	1,08 6,5	

^a = ero taimikon arvoon merkitsevä ($p < 5\%$) - differs significantly ($p < 5\%$) from seedling stands
F-arvon merkitsevyydet - significance levels of F values
^{*} = $p < 5\%$
^{**} = $p < 1\%$
^{***} = $p < 0.1\%$

¹⁾ Taimikot vs. muut - Seedling stands vs. others

32. Neulasten ravinnepitoisuudet männiköiden eri kehitys- ja tiheysluokissa

Mäntyaineisto koostui valtaosin taimikoista tai nuorista kasvatusmetsiköistä kerätyistä näytteistä (taulukko 1). Nuorissa kasvatusmetsiköissä neulasten N-, P- ja Mg- pitoisuudet olivat merkitsevästi korkeampia kuin taimikoissa, joissa eräiden muidenkin ravinteiden pitoisuudet olivat alempia kuin varttuneemmissa metsiköissä (taulukko 3). Puuston tiheydellä oli vaikutus vain neulasten Mg- ja S- pitoisuuksiin. Harvapuustoisissa metsiköissä molemmat pitoisuudet olivat keskimääräistä alempia, kuten seuraavasta asetelmasta havaitaan:

Tiheys - Density	n	Mg, mg/g	n	S, mg/g
Harva - Sparse	45	1,08	11	0,95
Normaali - Normal	208	1,11	72	1,11
Tiheä - Dense	29	1,23	10	1,05
F		4,6*		4,1*

33. Kasvupaikan viljavuuden, lannoituksen ja ojastojen kunnan vaikutus

Metsänomistajien reheviksi luokittelemilla soilla oli tilastollisesti merkitsevästi korkeammat N- ja P- pitoisuudet sekä alemmat Zn-pitoisuudet kuin karuilla soilla. Muiden hivenravinteiden ja rikin pitoisuuserot olivat pieniä (taulukko 4). Karujen soiden männiköissä esiintyi keskimäärinkin lievää P- puutosta.

Lannoituksella ei ollut vaikutusta neulasten N-pitoisuuksiin. Sen sijaan P- ja K-pitoisuudet olivat lannoitetuilla alueilla korkeampia kuin lannoittamattomilla. Eroa oli myös B-pitoisuuksissa (taulukko 5).

Lannoituksesta kuluneella ajalla oli vaikutuksia neulasten ravinnepitoisuuksiin. Lannoittamattomiin metsiköihin verrattuna korkeita neulasten P-pitoisuuksia havaittiin jopa 1960-luvulla lannoitetuissa kohteissa. K-pitoisuuksissa lannoitusvaikutusta todettiin 1970-luvun puolivälin jälkeen lannoitetuilla ojitusalueilla. B-pitoisuuksien kohoamista havaittiin vasta 1980-luvun lannoituksissa.

Lannoitus ei vaikuttanut neulasten N-pitoisuuteen edes karuilla soilla, joilla typen käyttöä on suositeltu. Lannoituksen vaikutus neulasten P-pitoisuuksiin oli merkitsevä sekä rehevillä että karuilla kasvupaikoilla. Lannoitus lisäsi myös neulasten K-pitoisuuksia yli 10 %, mutta riippuvuus kasvupaikasta oli vähäinen (taulukko 6). Kasvupaikan viljavuuden ja lannoituksen välillä ei todettu merkitseviä yhdysvaikutuksia. Täten neulasten N- ja P-pitoisuudet olivat riippuvaisia kasvupaikasta ja P- ja K-pitoisuudet lannoituksesta.

Ojastojen kunnolla ei ollut mitään yleistettävissä olevaa vaikutusta neulasten pääravinnepitoisuuksiin. Neulasten korkeita Mn-pitoisuuksia (Mn>600 mg/kg) esiintyi ainoastaan niillä metsäojitusalueilla, joilla maanomistajien arvion mukaan oli ojastojen kunnostustarvetta (kuva 6). Kunnostusojitustarvetta tavattiin tosin alemmillakin Mn-pitoisuuksilla.

Taulukko 4. Männyn neulasten ravinnepitoisuudet viljavuudeltaan erilaisilla ojitusalueilla.
Table 4. Nutrient concentrations of pine needles from poor and fertile peatland sites.

Ravinteisuusryhmä Site	n	N	P	K	Ca	Mg	B
		%	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/kg
Karut suot - Poor	205	1,42**	1,62***	4,79	2,40	1,12	15,1
Rehevät suot - Fertile	77	1,52	1,78	4,80	2,47	1,12	14,3
Kaikki - All	282	1,45	1,67	4,80	2,42	1,12	14,9

	n	Cu	Mn	Zn	n	S
		mg/kg	mg/kg	mg/kg		mg/g
Karut suot - Poor	101	3,75	375	48,0*	61	1,06
Rehevät suot - Fertile	41	3,52	380	43,0	32	1,13
Kaikki - All	142	3,69	376	46,5	93	1,08

t-testin merkitsevyydet - significance levels in *t*-test

* = $p < 5\%$

** = $p < 1\%$

*** = $p < 0.1\%$

Taulukko 5. Neulasten ravinnepitoisuudet lannoittamattomissa ja eri aikoina lannoitetuissa männiköissä.

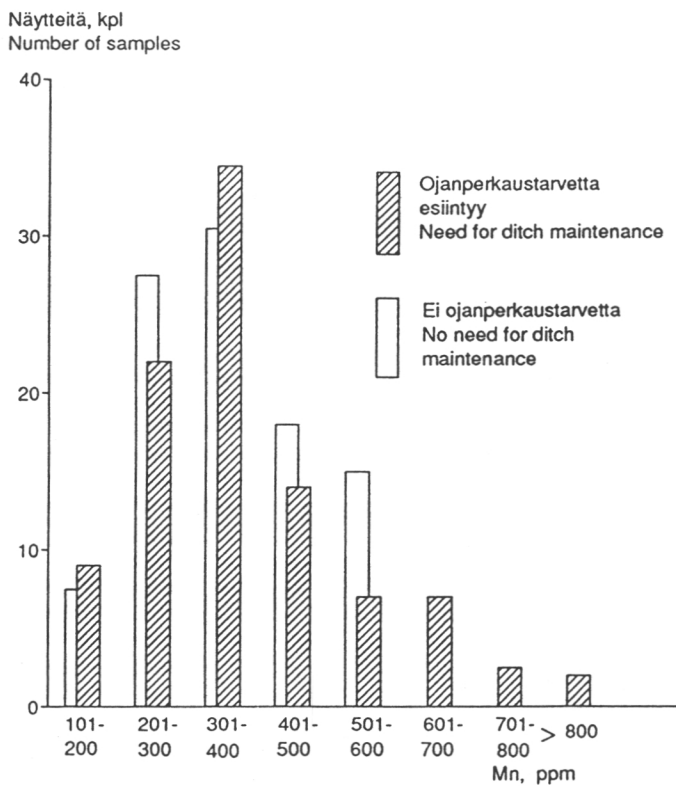
Table 5. Nutrient concentrations of pine needles on fertilized and non-fertilized peatlands sites.

Lannoitusvuosi - Application year	n	N mg/g	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	B mg/kg
1960 - 69	13	13,6	1,80 ^a	4,75	2,47	1,20	12,7
1970 - 74	37	14,5	1,65	4,81	2,52	1,12	13,9
1975 - 79	39	14,6	1,71	5,05 ^a	2,45	1,08	14,4
1980 - 84	18	14,7	1,89 ^a	5,47 ^a	2,08 ^a	1,05	20,9 ^a
1985 - 87	9	15,1	1,88 ^a	5,89 ^a	2,57	0,87 ^a	20,8 ^a
Lannoitetut - Fertilized stands	116	14,5	1,74	5,07	2,42	1,08	15,6
Ei lannoitusta - Non-fertilized stands	166	14,5	1,65	4,61	2,42	1,14	14,4
Kaikki - All	282	14,5	1,67	4,80	2,42	1,12	14,9
F/lannoitusvaikutus - F/fertilization effect		0,00	9,04 ^{**}	17,06 ^{***}	0,01	3,81	1,95

Lannoitusvuosi - Application year	n	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	n	S mg/g
1960 - 69	8	3,36	432	52,5	4	1,11
1970 - 74	17	5,43	317 ^a	48,5	11	1,04
1975 - 79	14	3,30	340	43,6	9	1,06
1980 - 84	8	3,28	328	44,2	7	1,13
1985 - 87	4	2,95	233 ^a	38,0	3	1,13
Lannoitetut - Fertilized stands	51	3,99	336	46,3	34	1,08
Ei lannoitusta - Non-fertilized stands	91	3,52	399	46,7	59	1,09
Kaikki - All	142	3,69	376	46,5	93	1,08
F/lannoitusvaikutus - F/fertilization effect		2,04	5,81 [*]	0,04	93	0,02

^a = ero lannoittamattomiin merkitsevä ($p < 5\%$) - differs significantly ($p < 5\%$) from non-fertilized.

F-testin merkitsevyytasot, ks. taulukko 3. - significance of F tests, see table 3.



Kuva 6. Männyn neulasten Mn-pitoisuus ojituskunnoiltaan erilaisilla soilla.

Fig. 6. Mn concentration of pine needles in sites with different draining conditions.

Taulukko 6. Kasvupaikan viljavuuden ja lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin. Table 6. Effect of site fertility and fertilization on the nutrient concentrations in pine needles.

Kasvupaikka Site	Lannoitus Fertilization	n	N	P	K	Ca	Mg	B
			mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/kg
Karu - poor	O	118	14,2	1,57	4,62	2,39	1,15	14,7
" "	+	87	14,2	1,69	5,03	2,42	1,07	15,6
Rehevä - Fertile	O	48	15,1	1,72	4,58	2,50	1,12	13,6
"	+	29	15,2	1,88	5,17	2,44	1,12	15,5
F/Kasvupaikka - Site			9,92**	12,93***	0,17	0,46	0,14	0,37
F/lannoitus - Fertilization			0,07	9,29**	16,12***	0,02	1,39	2,12

F-arvotestit, ks. taulukko 3. - F tests, see table 3.

34. Ravinnepitoisuuksien alueellinen vaihtelu

Neulasten ravinnepitoisuudet Pohjois-Suomessa olivat muuta maata alemmat Mg- ja Mn-pitoisuuksia lukuunottamatta. Myös S-pitoisuudet olivat alimpia Pohjois-Suomessa (taulukko 7). Erot Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä olivat monien ravinteiden pitoisuudessa yli 10 % koko aineiston keskiarvosta.

Kun tarkasteltiin maantieteellisen sijainnin vaikutusta neulasten ravinnepitoisuuksiin puuston eri kehitysluokissa (taimikot, muut) havaittiin, että alueellinen vaikutus oli suurin typen, kaliumin ja rikin kohdalla (taulukko 8). Myös neulasten Ca-pitoisuus oli merkittävästi korkeampi etelässä kuin pohjoisessa. Kehitysluokan vaikutus N-, P-, Mg-, B- ja S-pitoisuuksiin oli tilastollisesti merkittävä.

35. Ravinnepuutosten yleisyys ja lannoitussuositukset männiköissä

Yleisimpiä ravinnepuutokset olivat neulasanalyysien mukaan Pohjois-Suomessa. Vain fosforin puutos ($P < 1,7$ mg/g) näytti olevan yhtä yleistä koko maassa (taulukko 9).

Typen puutos ($N < 1,3$ %) oli kolme kertaa yleisempää karuilla kuin rehevillä soilla. Lannoitetuilla soilla se oli lähes yhtä yleistä kuin lannoittamattomilla. Ojien kunnostustarve näytti lisäävän vain vähän typenpuutostapauksia.

Fosforin puutosta esiintyi yleisimmin karuilla ja lannoittamattomilla metsäojitusalueilla, mutta myös rehevillä ja lannoitetuilla alueilla se oli yleisin ravinnepuutos.

Kaliumin puutos ($K < 4,5$ mg/g) oli yleisempää kuin typen puutos jopa karuilla kasvupaikoilla. Ero näkyi erityisesti rehevillä ja lannoittamattomilla soilla. Boorin puutoskin ($B < 7,5$ ppm) oli yleisintä rehevillä, lannoittamattomilla ojitusalueilla.

*Taulukko 7. Männyn neulasten keskimääräiset ravinnepitoisuudet maan eri osissa.
Table 7. Average nutrient concentrations of pine needles in different parts of the country.*

Ravinne - Nutrient	Etelä- Suomi South Finland	Väli- Suomi Central Finland	Pohjois- Suomi North Finland	Koko maa Whole country
N mg/g	15,0	14,4	13,5	14,5
P "	1,65	1,71	1,60	1,67
K "	5,03	4,73	4,44	4,80
Ca "	2,57	2,37	2,23	2,42
Mg "	1,09	1,12	1,17	1,12
S "	1,15	1,03	1,02	1,08
B mg/kg	16,2	14,2	13,6	14,9
Cu "	4,2	3,4	3,2	3,7
Zn "	49,0	45,1	44,9	46,5
Mn "	364	384	385	376

Taulukko 8. Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu taimikoissa ja varttuneissa männiköissä maan eri osissa.

Table 8. Variation in some nutrient concentrations in seedling and mature pine stands in different parts of Finland.

Ravinne - Nutrient	Taimikot Sapling stands			Varttuneet puustot Mature stands			F-arvot - F-value ¹⁾	
	ES	VS	PS	ES	VS	PS		
n =	55	63	35	54	61	14	Alue ³⁾	KL ²⁾
							Zone	
N mg/g	14,4	14,0	13,1	15,6	14,8	14,4	5,43**	13,10***
P "	1,56	1,68	1,57	1,74	1,74	1,70	1,40	7,30**
K "	4,87	4,64	4,37	5,20	4,82	4,58	6,47*	3,66
Ca "	2,42	2,35	2,18	2,72	2,38	2,35	4,45*	3,38
Mg "	1,02	1,07	1,15	1,16	1,17	1,23	2,95	12,43***
B mg/kg	14,1	13,6	12,8	18,3	14,9	15,7	2,63	8,63**
n	24	19	8	19	19	4		
S mg/g	1,10	0,99	1,00	1,20	1,08	1,06	6,31**	4,18*

1) = Ei merkitseviä yhdysvaikutuksia - No significant interactions

2) KL = Kehitysluokka - Development stage

3) = Aluejako, ks. kuva 1. - Zonation of the country, see fig 1.

Taulukko 9. Ravinnepuutosten¹⁾ jakautuminen kasvupaikka- ja puustotunnusten mukaan, %.

Table 9. Distribution of nutrient deficiencies¹⁾ according to some site and stand characteristics.

Kasvupaikan jakoperuste - Criterion	Ravinnepuutos - Nutrien deficiency			
	N-	P-	K-	B-
1. <u>Aluejako</u> ²⁾ - <u>Zonation</u> ²⁾				
ES - South Finland	20,2	61,5	26,6	9,2
VS - Central "	27,4	54,0	37,1	12,1
PS - North "	46,9	63,3	55,1	16,1
2. <u>Kasvupaikka</u> - <u>Site</u>				
Karu - Infertile	34,1	64,9	35,6	9,8
Rehevä - Fertile	11,7	41,6	37,7	16,9
3. <u>Ojanperkaustarve</u> - <u>Need for ditch</u> <u>maintenance</u>				
- Ei - No	31,2	55,8	31,2	11,7
- Kyllä - Yes	26,8	59,5	38,0	11,7
4. <u>Puuston tiheys</u> - <u>Stand density</u>				
Harva - Sparce	28,9	62,2	33,3	37,5
Normaali - Normal	28,4	57,2	37,5	12,0
Tiheä - Dense	24,1	62,1	31,0	0,0
5. <u>Kehitysluokka</u> - <u>Development stage</u>				
Taimikot - Young stands	46,7	64,1	43,1	17,6
Muut - Older stands	14,7	51,9	27,9	4,7
6. <u>Lannoitettu</u> - <u>Fertilized</u>				
- Ei - No	28,9	62,7	42,8	14,5
- Kyllä - Yes	26,7	52,6	26,7	7,8

1) Lievät ja ankarat puutokset yhteensä - Mild and severe deficiencies together.

2) Ks. kuva 1. - See Fig 1.

Typen puutos oli erityisesti taimikoiden ongelma (taulukko 9). Taimikoissakin oli yleisimmin puutetta fosforista, mutta myös kalium- ja booriongelmat näyttivät liittyvän voimakkaimmin taimikkovaiheeseen. Boorin puutos oli yleisintä harvoissa puustoissa. Tiheistä puustoista sitä ei todettu ollenkaan.

Mäntyaineistosta (n=317) laadittiin lves-tulkintaohjelmalla turvemaille 261 lannoitustarvediagnoosia.

Vajaat 30 % mäntyvaltaisista metsiköistä ei tarvinnut neulasanalyytituloksin mukaan mitään lannoitusta (taulukko 10). Ravinnetaloudeltaan kunnossa olevia kohteita oli suhteellisesti enemmän rehevillä kuin karuilla soilla. Erilaisia PK-lannoituksia lves-ohjelma suosittelee yli 40 %:lla kohteista, niitäkin useimmin reheville suokasvupaikoille. NPK-lannoituksia suositeltiin vajaalle 20 %:lle metsiköistä, etupäässä karuille ojitusalueille.

Taulukko 10. lves-porjektin lannoitussuosituksen jakautuminen trofialtaan erilaisille suomänniköille.
Table 10. Qualitative fertilization recommendations for pine stands growing on different peatland sites, lves-project.

Suositus Recommendation	Karut suot Poor sites	Rehevät suot Fertile sites	Kaikki All
1. Ei lannoitusta - No fertilization need	28,1 %	35,4 %	29,9 %
2. PK-lannoituksia - PK fertilizations	36,7 %	52,4 %	40,6 %
3. NPK-lannoituksia - NPK-fertilizations	25,5 %	3,0 %	19,9 %
4. Muut - Others	9,7 %	9,2 %	9,6 %
Yhteensä - Total % n	100,0 196	100,0 65	100,0 261

Taulukko 11. Männyn ja kuusen neulasanalyytitulokset ($x \pm 1,05 Sx$).
Table 11. Nutrient concentrations in pine and spruce needles ($x \pm 1.05 Sx$).

Ravinne - Nutrient			Mänty - Pine	Kuusi - Spruce
N	mg/g	n= 317	14,4 ± 2,40	n= 34 12,8 ± 6,80
P	"	"	1,65 ± 0,04	" 1,74 ± 0,15
K	"	"	4,81 ± 0,10	" 5,46 ± 0,58
Ca*	"	"	2,44 ± 0,07	" 4,88 ± 0,44
Mg	"	"	1,11 ± 0,02	" 1,14 ± 0,11
B	mg/kg	"	14,7 ± 0,79	" 13,4 ± 2,79
Cu*	"	n= 157	3,65 ± 0,29	n= 19 2,82 ± 0,26
Mn*	"	"	381 ± 24,7	" 641 ± 134
Zn*	"	"	45,4 ± 1,85	" 32,3 ± 4,38
S	mg/g	n= 106	1,09 ± 0,04	n= 15 1,06 ± 0,12

*) Ero puulajien välillä merkitsevä ($p < 5\%$) - difference between tree species is significant ($p < 5\%$).

Muita lannoitusohjeita saatiin vajaat 10 %. Vast'ikään PK-lannoitetulle karulle suolle tuli N-lannoitussuosituksia ja erittäin ankaraan K-puutteeseen PK+K-lannoituksia. Vajaat puolet ryhmän "muut" suosituksista edellyttivät hivenseos- tai boorilannoituksia.

36. Männyn ja kuusen analyysitulosten vertailu

Kuusen neulasissa N-, Cu- ja Zn-pitoisuudet olivat alempia kuin männyn neulasissa, mutta Ca- ja Mg-pitoisuudet olivat lähes kaksinkertaisia. (taulukko 11). Kuusesta oli alaoksa- näytteitä 23,5 % ja männystä 11 %, mikä saattoi heikentää jonkin verran mänty- ja kuusiaineistojen vertailtavuutta. Lisäksi kuusiaineisto oli niin suppea, ettei muita vertailuja tehty.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Sairaiden ja terveiden metsikkökuvioiden erottelu perustui metsänomistajan arvioon. Täten lähtökohta oli se, että sairauksien syyt voivat olla hyvinkin erilaisia eri tapauksissa. Arvattavasti sairaita turvemaan näytteitä tuli paitsi ravinneongelmien vuoksi "sairailta" alueilta, myös männynversosurman, karistautien ym. bioottisten tuhojen vaivaamilta alueilta. Sairaissa mäntypuustoissa todettiin korkeammat N-pitoisuudet ja alemmat K-pitoisuudet kuin terveeksi luokitelluissa metsiköissä. Tulos poikkeaa aiemmista turvemaiden terve - sairas-vertailuista, joissa todettiin kaikkien pääravinnepitoisuuksien kohoamista männyn kasvuhäiriötapauksissa (ks. Veijalainen ym. 1984, Braecke 1979, vrt. Krivan ym. 1986). Nyt saatu tulos tukee Kauniston ja Paavilaisen (1988) esittämää kalinloppumisteoriaa (vrt. Laiho 1991), sillä erotuksella, että nyt esille tulivat myös korkeat N-pitoisuudet.

Viime aikoina on varotettu ottamasta neulasnäytteitä sairaita puustoista (esim. Jukka 1988 s. 158), koska neulasanalyysin perusteella ei aina voida tehdä oikeaa diagnoosia. Varoitus näyttää osittain turhalta, koska esimerkiksi sairaiden suopuustojen alhaiset NPK-pitoisuudet yleensä todella osoittavat puutostiloja, jotka ovat yleisiä useilla suokasvupaikoilla (ks. Vahtera 1955, Reinikainen 1967, Kaunisto ja Paavilainen 1988). Myös myrkytystilanteissa neulasanalyysiä voidaan käyttää samoin kuin sairauksien taustatietoina; (Entry ym. 1990) ehkä joskus tuhoallisuuden selittäjänä (esim. Jalkanen, 1990).

Monien ravinteiden pitoisuus oli varttuneissa metsissä korkeampi kuin taimikoissa. Syynä ei ollut taimikonnäytteiden keskittyminen karuille tai lannoittamattomille kasvupaikoille. Taimikoista kasvoi karuilla kasvupaikoilla 74,2 %, ja varttuneista metsiköistä 70,2 %. Taimikoista ilmoitettiin lannoitetuiksi 38 %, kun vastaava luku koko aineistossa oli 41 %. Varttuneiden puustojen korkeampiin ravinnepitoisuuksiin voi vaikuttaa luontaisten ravinnevarojen tehostunut käyttö eli ojituksen aiheuttama ravinteiden mineralisaation voimistuminen sekä juuristojen kasvaessa parantunut ravinteidenottokyky. On myös mahdollista, että ravinnepitoisuuden muutokset liittyvät suoraan puuston ikään (ks. Arnold & Roomans 1983).

Ojanperkaustarpeella ei ollut vaikutusta neulasten tärkeimpiin ravinnepitoisuuksiin (vrt. Veijalainen 1977, Orlov 1983), joten neulasanalyysin käyttöä voidaan suositella myös ennen oijen perkausta, elleivät ojat ole aivan ummessa. Ojituksen seurauksena lisääntynyt puusto kykenee ilmeisesti jossain määrin korvaamaan ojastojen heikentyntä toimintaa (esim. Päivänen 1982).

Korkeat Mn-arvot osoittivat poikkeuksetta ojanperkaustarvetta. Ne ovat ilmeisesti seurausta alueella käyneestä kesätulvasta (ks. Raitio 1982) tai korkeasta pohjavesitasosta (Veijalainen 1977). Kasvualustan korkeat Fe-pitoisuudet saattavat alentaa neulasten Mn-pitoisuuksia (Twyman 1951). Siten ojanperkaustarvetta saattaa esiintyä myös Fe-pitoisilla kasvupaikoilla, joiden neulasten tai lehtien Mn-pitoisuudet ovat suhteellisen alhaisia. Mangaaniyhdisteet pelkistyvät happamassa maassa helposti happipitoisuuden laskiessa (esim. Kabata-Pendias ja Pendias 1984). Metsäojitusalueilla tilanne syntyy pohjaveden pinnan kohotessa lähelle turpeen pintaa kasvukauden aikana, jolloin puiden

ravinteiden otto on aktiivista ja maahengitys voimakasta. Vastaava tulos on saatu aiemmin Vilppulan ekologisilta koekentiltä (Veijalainen 1977).

Näytteenottajien käsitys karusta ja rehevästä suosta jakoi metsiköt kahteen ryhmään, joita luonnehtivat selvät erot neulasten N- ja P-pitoisuuksissa. Rehevillä soilla oli yleensä korkeammat neulasten N- ja P-pitoisuudet, mutta alemmat hivenravinnepitoisuudet kuin karuilla soilla. Tilastollisestikin merkitsevä ero neulasten Zn-pitoisuudessa pohjautuu P/Zn-antagonismiin (Safaya 1976, Veijalainen 1977).

Lannoitetuissa metsiköissä neulasten K-pitoisuus näytti pysyneen yli 10 vuotta korkeampana kuin lannoittamattomissa metsiköissä (vrt. Ipatiev ja Paavilainen 1975, Paavilainen 1977, Kaunisto 1989). Fosforin vaikutusaika neulasanalyysein mukaan oli yli 20 vuotta. Kaliumin vaikutusajaksi saatiin siten sama kuin Karsiston (1972, 1976) arvot, mutta fosforin vaikutusajaksi jonkin verran pidempi.

Turvemaan metsänlannoitteisiin on lisätty booria vasta vuodesta 1976 lähtien, mikä näkyi analyysituloksista. Vaikutti siltä, että 1970-luvun lopulla tehtyjen booriilisyösten vaikutus alkoi jo laantua (vrt. Veijalainen 1984a), mikä aiheutuu pienestä boorin käyttömäärästä (B 0,8-1,0 kg/ha), jos suometsien PK-lannosta on käytetty 400-500 kg/ha.

Metsänlannoitus ei aiheuttanut neulasten typpipitoisuuksien kohoamista edes karuilla kasvupaikoilla. Synnä saattoi olla vähäiseksi jäänyt typpilannoitteiden käyttö metsäojitusalueilla, niiden lyhyt vaikutusaika (Karsisto 1972, Paavilainen 1972) tai mahdollisesti PK-lannoituksen neulasten typpipitoisuuksia alentava vaikutus (esim. Paarlahti ym. 1971).

Pohjois-Suomessa männyn neulasten fosfori- ja typpipitoisuudet olivat yllättävän matalia jopa rehevillä soilla. Syy voi olla yli viiteen kesän (1987) viipynyt routa (ks. Ritari 1989) ja sen aiheuttama pintamaan kylmyys. Siksi ravinteiden mineralisaatio on voinut jäädä pohjois-Suomessa hyvinkin vähäiseksi nyt tutkittujen neulasten kehitysvaiheessa kesällä 1987. Toisaalta etelä- ja pohjois-Suomen mäntyrodut poikkeavat toisistaan (Sarvas 1964), joten myös niiden ravinteiden otto- ja käyttötavoissa voi olla eroja (ks. Walker & Hatcher 1965, Evers 1973).

Selviä merkkejä rikki- tai typpilaskeumasta ei neulasanalyyseihin perusteella voitu havaita. Booripitoisuuksien alueellinen jakauma sopii pääpiirteissään teoriaan sen merellisestä alkuperästä (Tolonen 1974) ja kuvaan kasvuhäiriöiden esiintymisestä (Veijalainen ym. 1984).

Kuparianalyysistä oli niukasti alueellista tarkastelua varten, mutta aineisto paljasti yllättävän selvästi suoviljelyksiltä tutun Pohjanmaan-Lapin kuparipuutosalueen (ks. Kurki 1963, 1982). Toisaalta paljastui yksittäisiä hyvin korkeita neulasten kuparipitoisuuksia, jotka saattoivat olla peräisin poikkeuksellisen kuparipitoisesta pohjamaasta tai siirtolohkareista. Kuparilannoitus ei yleensä kohota neulasten Cu-pitoisuuksia kovinkaan voimakkaasti (ks. Veijalainen 1984a).

Ravinnepuutteiden jakautuminen erilaisille kasvupaikoille vastasi aikaisemmasta tutkimuksesta saatua kuvaa (Paarlahti ym. 1971), joskaan kaliumin ja fosforin puute lannoittamattomilla soilla ei ollut yhtä yleistä kuin 1960-luvun lopussa kerätyssä aineistossa. Hämmästyttävintä oli se, ettei tiheistä puustoista löytynyt yhtään booripuutostapausta. Se voi merkitä sitä, että boorilla on mäntytaimikoiden kuolleisuutta vähentävä vaikutus (esim. Braekke 1979, Veijalainen ym. 1984).

Ilves-projektin tulkintaohjelmalla saadut lannoitussuosituksot noudattivat pääpiirteissään lannoitusoppaissa (ks. Huikari & Paavilainen 1972, Paavilainen 1979) annettuja suuntaviivoja siitä huolimatta, että monessa tapauksessa kyseessä oli jatkolannoitussuositus. Ongelmallisinta lannoitussuositusten antaminen on nevaisilla tai nevasyntyisillä ojitusalueilla, joilla näyttää esiintyvän ankaraa kaliumin puutetta (ks. Kaunisto ja Tukeva 1984, Kaunisto 1987, Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto 1989) ja muilla ennestään puuttomilla turvemilla, joita yritetään metsittää (Veijalainen 1984b, Ferm ym. 1991).

Nykyiset käytännön PK- ja NPK-lannoitussuosituksot olivat neulasanalyyseinkin mukaan oikea ratkaisu 60 %:lle turvemaan metsien ongelmakohteista, joita Ilves-projektiin karttunut aineisto ilmeisesti

etupäässä edusti. Kuparin puutetta esiintyi neulasanalyysin mukaan vain harvakseltaan, mutta alhaiset booripitoisuudet olivat odotettua yleisempiä etenkin maan pohjoisosassa.

Tuloksia ei voida yleistää kaikkiin suomensiin, koska aineisto painottui sairaisiin puustoihin.

Kuusen neulasissa oli korkeampi Ca-pitoisuus kuin männyn neulasissa. Vastaavanlaisia tuloksia on saatu myös kangasmailta (esim. Everard 1973, Christersson 1974, Fober 1976). Myös kuusen alemmat neulasten Cu- ja Zn-pitoisuudet ja korkeammat Mn-pitoisuudet on aiemmin todettu Norjassa turvemaalla tehdyssä tutkimuksessa (Braekke 1978). Kuusiaineiston N-, P-, K- ja Mg-arvot olivat normaaleja, mutta Ca-pitoisuudet poikkeuksellisen korkeita aiempiin turvemaiden kuusiaineistoihin verrattuina (Paavilainen 1975, Silfverberg 1980 ja 1982). Cu-pitoisuudet olivat Ilves-aineiston kuusikoissa poikkeuksellisen alhaisia (vrt. Silfverberg 1982). Kuusen neulasten N-pitoisuudet olivat suhteellisen alhaisia (vrt. Jukka 1988), mikä aiheutui osittain siitä, että kuusinäytteitä oli tullut myös karuiksi luokitelluilta ojitusalueilta. Toisaalta alhaisia N-pitoisuuksia tavattiin myös rehevien soiden kuusinäytteistä. Tulos tukee käsitystä, jonka mukaan jopa ruoho- ja mustikkakorvissa typen puute voi rajoittaa kuusen kasvua (ks. Paarlahti ja Paavilainen 1985).

KIRJALLISUUS

- Ahti, E. 1968. Suotyyppien alueellinen kontinuum. *Laudaturtyö*. Helsingin Yliopisto, Suometsätieteen laitos. 37 s.
- Arnold, S. von. & Roomans, G. 1983. Analysis of mineral elements in vegetative buds and needles from young and old trees of *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*. 13(4): 689-693.
- Braekke, F. 1978. Njustmyra. Forsøksopplegg og resultater. Den XIV nordiske skogkongress, 26-30 juni 1978. Norge. 26 s. Ekskursjon nr. 16.
- , 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. *Meddelelser fra Norsk Institut for Skogforskning*, 35: 213-236.
- Christersson, L. 1974. Seasonal ionic fluctuations and annual growth rates in stands of *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* Karst (L.). *Plant and Soil* 41(2): 343-350.
- Dixon, W. & Brown, M. (eds.) 1979. BMDP-79, Biomedical Computer Programs, P-series. University of California Press, Berkley-Los Angeles-London. 880 p.
- Fober, H. 1976. Distribution of mineral elements within the crown of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.). *Karst. Arboretum Kornickie, Rocznik XXI*: 323-331.
- Entry, J., Hagle, S. & Cromack, K. 1990. The effect of armillaria attack on the nutrient status of Inland douglas-fir. *Eur. J. For. Path.* 20(5): 269-274.
- Everard, J. 1973. Foliar analysis. Sampling methods, interpretation and application of the results. *Quarterly Journal of Forestry*. 67(1): 51-66.
- Evers, F. 1973. Genetische Unterschiede im Mineralstoffgehalt der Nadeln junger Fichten (*Picea abies* (L.) Karst. *Mitteil. Ver. Forstl. Standortskunde M. Forstpflanzenzuchtung*. 23: 67-71.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1991. Pellolle viljellyn mäntytaimikon ravinneongelmien torjuminen tuhalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 391: 71-79.
- Huikari, O. 1952. Suotyyppien määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. *Silva Fennica* 75. 22 s.
- & Paavilainen, E. 1972. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 68 s.
- Heliövaara, K. & Väisänen, R. 1989. Quantitative variation in the elemental composition of Scots pine needles along a pollutant gradient. Tiivistelmä: Männyn neulasten alkuainekoostumus Harjavallan teollisuusalueella. *Silva Fennica* 23(1): 1-11.
- Ipatiev, V. & Paavilainen, E. 1975. Lannoituksen vaikutuksen kestoajasta vanhassa tupasvillärämeen männikössä. Summary: Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cottongrass pine swamp. *Folia Forestalia* 241:13 s.
- Jalkanen, R. 1989. Vauriot Lapin luonnossa talven 1986-87 jälkeen. Teoksessa: Lapin metsien terveys (toim. Varmola M. & Palviainen, P.) *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 347: 31-33.
- 1990. Nitrogen fertilization as a cause of dieback of Scots pine at Paltamo, northern Finland. *Aquileo Ser. Bot.* 29: 25-31.
- Jukka, L. (toim.) 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Vaasa Oy. Vaasa. 168 s.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1984. Trace elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 315 s.
- Karsisto, K. 1972. Lannoituksen vaikutuksen kestoajasta suometsissä. Summary: On the duration of the effect of fertilizer application to peatland forests. *Suo* 23(3-4): 51-56.
- 1976. Metsänlannoitus. Eripainos. *Metsä ja Puu* 5-9. 12 s.
- Kaunisto, S. 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. *Folia Forestalia* 681: 23 s.
- 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. *Folia Forestalia* 724. 15 s.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- & Tukeva, J. 1984. Kailannoituksen tarve vanhojen avosuo-ojitusalueiden männikössä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia Forestalia* 585. 40 s.

- Kolari, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa - kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland - a review. *Folia Forestalia* 389. 37 s.
- Krivan, V., Lüttge, U. & Schaldach, G. 1986. Profile von Makro- und Mikromineralnährstoffen in gesunden und kranken Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) auf verschiedenen Standorten in Südwestdeutschland. *Angewandte Botanik* 60: 373-389.
- Kurkela, T. 1965. Männyn lumikaristetaudin ja lannoituksen suhteesta Kivisuon metsänlannoitusalueella. Summary: On the relationship between the snow blight (*Phacidium infestans* Karst.) and fertilization in Scots pine seedlings. *Folia Forestalia* 14. 8 s.
- 1975. Lannoituksen ja eräiden ympäristötekijöiden vaikutuksesta männyn taimien lumikaristeisuuteen. Summary: Incidence of snow blight on Scots pine as affected by fertilization and some environmental factors. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 85. 35 s.
 - 1983. Fungal diseases associated with nutritional growth disturbances of Scots pine. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 73-77.
- Kurki, M. 1963. Suoviljelysten hivenainetilanteesta viljavuustutkimusten perusteella. Summary: On the trace element nutrient conditions in cultivated peatlands on the strength of productivity investigations. *Suo* 13(6): 79-82.
- 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. *Pariset Oy*. Helsinki. 181 s.
- Laiho, R. 1991. Metsäojituksen vaikutus nevalaisten rämeiden turpeen ravinnevaroihin. *Lisensiaattitutkimus*. Helsingin yliopisto, Suometsätieteen laitos, 90 s.
- Leaf, A. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. In: Walsh, L. & Beaton, J. (ed). *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil science society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA. s. 427-454.
- Leyton, L. & Armson, K. 1955. Mineral composition of foliage in relation to the growth of Scots pine. *Forest Science* 1(3): 210-218.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1990. Suometsien 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.
- Nuorteva, H. 1990a. Elävän latvuksen supistumisen vaikutus neulasten alkuainepitoisuuksiin versosyöpäisissä ja pystykarsituissa männiköissä. *Pro gradu-tutkielma*. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 104 s.
- 1990b. Sairaana metsän ravinnanalyysi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 347: 127-130
- Ojitettujen soiden NPK-lannoitustarve ilmaistuna N-, P- ja K-tasoina. *Moniste* 5 s.
- Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto. (KP - AR - HV). 1987.
- Orlov, A. 1983. [The dependence of nitrogen content in needles of spruce advance growth on the aeration of the soils on felled areas. *Lesovedenic* 3: 47-54.] Ven.
- Paarlahti, K. & Paavilainen, E. 1985. Turvemaiden varttuneiden kuusikoiden ja koivikoiden lannoitus. Ennakotuloksia. Summary: The fertilization of mature spruce and birch stands on peat soils. Preliminary results. Teoksessa: *Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa* 28.11.1985. *Forest research day at Kannus* 28.11.1985. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 206: 4-18.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5). 58 s.
- Paavilainen, E. 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatland. *Seloste: Typpilannoitelajien vaikutus männyn kasvuun metsäojitetuilla soilla*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 77(3). 46 s.
- 1975. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa. Summary: On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. *Folia Forestalia* 239. 10 s.
 - 1977. Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakotuloksia. Abstract: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. *Folia Forestalia* 327: 32 s.
 - 1979. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s.
- Puustjärvi, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 1: 26-28.
- 1967. Neulasanalyysi metsien lannoitustarpeen ilmentäjä. *Suomen Puutalous* 10: 328-329.
- 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.
- Raitio, H. 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. Summary: Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field. *Folia Forestalia* 536. 15 s.

- Reinikainen, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization at Kivisuo. Proceedings of the 5th Colloquium of the International Potash Institute. Jyväskylä, Finland 1967.
- & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 44-48.
- Ritari, A. 1989. Talven 1986-87 sääolojen poikkeuksellisuus ja pakkasvauriot pohjois-Suomessa. Teoksessa: Lapin metsien terveys (toim. Varmola, M. & Palviainen, P.). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 347: 31-33.
- Safaya, N.M. 1976. Phosphorus-zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, zinc, copper, manganese and iron in corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40(5): 719-722.
- Sarvas, R. 1964. Havupuut. WSOY. Porvoo. 518 s.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce. *Folia Forestalia* 432. 13 s.
- , 1982. Näringsanalys i två spårämnesgödslade granplanteringar. Abstract: Nutrient analysis of Norway spruce after application of micronutrients. Seloste: Kahden hivenlannoitetun istutuskuusikon ravinneanalyysi. *Folia Forestalia* 526: 12 s.
- Smith, P. 1962. Mineral analysis of plant tissues. *Annual review of plant physiology* 13: 81-108.
- Tolonen, K. 1974. Suomen keidassuovesien ravinteista. Summary: On the nutrient content of surface water in ombrotrophic mire complexes in Finland. *Suo* 25(3-4): 41-51.
- Twyman, E.S. 1951. The iron and manganese requirements of plants. *New Phytologist* 50: 210-226.
- Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalten den für Walderziehung entwässerten Moore. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(4):108 s.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemailla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(4). 32 s.
- 1979. Neulasanalyysi ja sen tulkinta erityisesti turvemaiden mäntypuustojen lannoitustarpeen määrittämisessä. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 10. 6 s.
- 1984a. Hivenlannoituksen vaikutus erään istutusmännikön ravinnetalouteen turvemailla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 126. 19 s.
- 1984b. Lannoitustarpeen määrittäminen metsäojitusalueella. Abstract: Diagnosing nutrient deficiencies on drained peatlands. *Suo* 35(4-5): 94-97.
- 1984c. Tuloksia rämetaimikoiden lannoituskokeista keski-Pohjanmaan rannikkoalueelta. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 143. 28 s.
- , Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. *Folia Forestalia* 601. 41 s.
- Walker, L. C. & Hatcher, R. D. 1965. Variation in the ability of slash pine progeny groups to absorb nutrients. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 29: 616-621.

Summary

In winter 1987/88 (December-March) forest owners collected 317 needle samples from pine and 34 samples from spruce forests growing on drained peatlands in Finland (Fig. 1) in order to obtain information about the nutrient status and vitality of their forests. An expert system was constructed to interpret the needle analysis results. Needle samples (282) from 3 topmost branch whorls were accepted for the final pine data (Table 1).

There were significant differences in the N and K concentrations of healthy-looking and non-healthy stands (Table 2, Figs. 2-5).

Pine stands growing on poor sites had lower N and P concentrations and higher Zn concentrations than ones growing on fertile sites (Table 4). Needle analysis appeared to be a suitable tool in estimating the duration of the effects of fertilizers (Table 5). The site fertility had a significant effect on the N and P concentrations and fertilization on the P and K concentrations (Table 6). The variation in drainage efficiency, as assessed by the forest owner, gave no additional information.

The concentrations of most of the nutrients were lowest in northern Finland (Table 7). The south-north trend in N, K and Ca concentrations became clear, even when the effect of development stage was eliminated (Table 8).

N and P deficiencies were more common on infertile than on fertile sites. Fertilization had clearly decreased the relative incidence of K and B deficiencies. Nutrient deficiencies were more common in young stands than in older ones. B deficiency did not occur at all in dense stands. P deficiency was the most common nutrient imbalance in all parts of the country. Nitrogen and K deficiency was twice as common in the northern parts of Finland than in the south (Table 9).

PK or NPK fertilization was recommended in 60 per cent of the interpreted cases. There was no fertilization requirement on 30% of the sites. Only about 10 per cent of the fertilization recommendations were abnormal compared to fertilization guides for peatland forestry (Table 10). High Mn concentrations (Mn > 600 ppm) were connected with unsatisfactory ditching efficiency (Fig. 6). It was concluded that Mn analysis may be beneficial in estimating the need for ditch cleaning in winter.

There were some rather obvious nutritional differences between the pine and spruce samples (Table 11), as well as between juvenile and older pine stands (Table 3).

NÄYTENUMERO

METSÄN TAUSTATIEDOT

1. Metsänomistaja _____

Postiosoite ja -numero _____

Puhelin _____

2. Metsän sijaintikunta _____

3. Puulajisuhteet:

mänty _____ %, kuusi _____ %, lehtipuut _____ %

4. Viimeisin lannoitusvuosi: 19__

lannoitelaji _____ määrä _____ kg/ha

5. Maapohja:

 Kangasmaa Turvemaaa. Lehtomainen kangas a. Karu suo b. Tuore kangas b. Rehevä suo c. Kuivahko kangas Ojitus/ on d. Kuiva kangas ojanperkaustarve ei

6. Puuston kehitysluokat:

Taimikko Nuori kasvatusmetsä Varttunut kasvatusmetsä Uudistus kypsä metsä

7. Puuston tiheys:

Harva Normaali Tiheä

8. Puuston kunto:

Terve Sairas

9. Näyte on otettu

a. Ylimmästä oksakiehkurasta b. Toiseksi tai kolmanneksi

ylimmästä oksakiehkurasta

c. Alempaa

ISBN 951-40-1207-0
ISSN 0358-4283

Valtion Painatuskeskus
Helsinki 1992