

20.04.94



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1993

822

Jyrki Hytönen & Elina Ekola

MAAN JA PUUSTON RAVINNETILA KESKI-POHJANMAAN
METSITETYILLÄ PELLOILLA

Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields
in central Ostrobothnia, western Finland

FOLIA FORESTALIA

Julkaisija — *Publisher*

Metsäntutkimuslaitos

The Finnish Forest Research Institute

Toimitus — *Editors*

Päätoimittaja — *Editor in chief:*

Erkki Annila

Toimittaja — *Editor:*

Seppo Oja

Toimittaja — *Editor:*

Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

Toimituskunta — *Editorial Board*

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, Eino Mälkönen

Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope*

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.

Tilaukset — *Subscriptions*

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle. *Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.*

FOLIA FORESTALIA 822

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1993

Jyrki Hytönen & Elina Ekola

MAAN JA PUUSTON RAVINNETILA KESKI-POHJANMAAN
METSITETYILLÄ PELLOILLASoil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields
in central Ostrobothnia, western Finland

Approved on 31.12.1993

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
2	AINEISTO JA MENETELMÄT	4
3	TULOKSET	6
3.1	Maan ominaisuudet	6
3.1.1	Maaluokitus	6
3.1.2	Tiheys, orgaanisen aineen osuus, pH ja ravinnemäärät	6
3.1.3	Maan fysikaalisten tunnusten keskinäiset suhteet	7
3.1.4	Ravinteiden määrä ja maan ominaisuudet	11
	Ravinteiden määrän riippuvuus tiheydestä ja orgaanisen aineen osuudesta ..	11
	Uuttuvien ravinteiden määrän riippuvuus ravinteiden kokonaismäärästä	11
	Uuttuvien ravinteiden osuus	11
3.1.5	Maan ravinnemäärät ja taimien kasvu	13
3.1.6	Maan ominaisuudet ja kasvuhäiriön esiintyminen	15
3.2	Neulasten ravinnepitoisuudet	16
3.2.1	Neulasten ravinnepitoisuudet maaryhmittäin	16
3.2.2	Neulasten ravinnepitoisuudet ja taimien kasvu	19
3.2.3	Neulasten ravinnepitoisuudet ja kasvuhäiriön esiintyminen	19
3.3	Neulasten ravinnepitoisuuksien riippuvuus maan ravinnemäärästä	21
4	TARKASTELU	24
	KIRJALLISUUS	27
	SUMMARY	29

Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland. *Folia Forestalia* 822. 32 p.

Keski-Pohjanmaalla inventoitiin 40 kpl 7–8 ja 15–16 vuotiaita pelloille viljeltyjä mänty- ja 14 kpl 16–17 vuotiaita rauduskoivutaimikoita. Koealoilta ja pelloilta 0–10 cm:n kerroksesta kerätyistä maanäytteistä analysoitiin tiheys, orgaanisen aineen osuus, pH, kokonais-N, -P, -K, -Ca, -Mg, -Fe, -B, -Zn, -Mn sekä ammoniumasetaatilla uutettu P, K, Ca, Mg, Mn, Fe ja Zn. Männiköistä otettiin neulasnäytteet, joista analysoitiin samat ravinteet kuin maastakin rautaa lukuunottamatta.

Varsin korkeat maan tiheyden, mutta alaiset orgaanisen aineen osuudet paksuturpeisillakin pelloilla viittasivat painomaan yleiseen käyttöön suopelloilla. Typpeä lukuunottamatta useimpia ravinteita suopelloilla oli vähemmän kuin multamaa- tai kivennäismaapelloilla. Typpeä oli runsaasti sekä turve- (keskimäärin 5400–6400 kg ha⁻¹) että kivennäismailla (keskimäärin yli 3300 kg ha⁻¹). Turvepeltojenkin P, K, Ca ja Mg määrät olivat huomattavasti korkeampia kuin ojitetuilla turvemailla. Booria oli keskimäärin 0,4–0,7 kg ha⁻¹; kivennäismailla vain hie- man enemmän kuin turvemailla.

Neulasten typpipitoisuudet olivat kaikissa taimikoissa korkeita eikä yhdelläkään metsityksellä myöskään tavattu fosforin puutosta. Kaliumin puutosta (< 3,50 mg g⁻¹) tavattiin yksinomaan turvemailla. Neulasten booripitoisuudet olivat varttuneissa metsiköissä alaisempia kuin nuorissa. Boorin puutosta (< 7,0 mg kg⁻¹) esiintyi 47 %:lla nuorista männyntaimikoista ja 74 %:lla varttuneista taimikoista.

Kasvuhäiriöisiä mäntyjä esiintyi pelloilla laikuittain. Varttuneissa taimikoissa 10–16 % männyistä oli ulkoasultaan kasvuhäiriöisiä. Nuorissa taimikoissa niitä oli huomattavasti vähemmän. Kasvuhäiriöt osoittautuivat yleiseksi pellonmetsitysalueiden ongelmaksi myös kivennäismaiden pelloilla.

Turve- ja multamaapelloilla mäntysten kasvuhäiriötä esiintyi alueilla, jolla oli runsaasti uuttuvaa fosforia ja magnesiumin kokonais- ja uuttuva määrä oli korkea. Männyn neulasten booripitoisuuden alittaessa 6 mg kg⁻¹, lisääntyi kasvuhäiriöisten puiden määrä jyrkästi. Myöskin N/B-, Ca/B-, ja Mg/B-suhteet olivat korkeat kasvuhäiriön esiintymisalueilla.

Line-plot inventories were made in central Ostrobothnia, western Finland, of Scots pine and Silver birch plantations (ages 7–8 and 15–16 years) established on old fields. Soil samples (0–10 cm) were analysed for their bulk density, proportion of organic matter, pH, total N, P, K, Ca, Mg, Fe, B, Zn, Mn and ammonium acetate extractable P, K, Ca, Mg, Mn, Fe and Zn. Foliar samples were taken from the Scots pine plantations and (with the exception of iron) these were analysed for the same nutrients as was the case with the soil samples.

Apart from nitrogen, the amounts of most of the other nutrients on peat fields were smaller than on mull and mineral soil fields. Nitrogen was in abundant supply in both peat soils (5400–6400 kg ha⁻¹ on average) and mineral soils (over 3300 kg ha⁻¹ on average). Even in the case of peat fields, the amounts of P, K, Ca and Mg were markedly higher than in peatlands drained for forestry. Boron averaged 0.4–0.7 kg ha⁻¹ with only slightly more in mineral soils than in peat soils.

Foliar nitrogen concentrations were high in all the sampled pine plantations. No cases of phosphorus deficiency were noted. Potassium deficiency (< 3.50 mg g⁻¹) was encountered on peat fields only. Foliar boron concentrations were lower in the older pine plantations than in the younger plantations. Boron deficiency (< 7.0 mg kg⁻¹) occurred on 47 % of young and 74 % of old pine plantations.

Trees afflicted by growth disturbance occurred in patches in the pine plantations. In the case of the older plantations, 10–16 % of the trees exhibited growth disturbances. In the younger plantations this percentage figure was lower. Growth disturbances proved to be a common problem in afforested fields.

The amount of extractable phosphorus and total amount of magnesium and extractable magnesium were the best soil characteristics for predicting the probability of growth disturbance occurring on peatland and mull fields. Once foliar boron concentration fell below 6 mg kg⁻¹ there was a steep increase in the number of trees afflicted by growth disturbance. Also foliar N/B, Ca/B, and Mg/B ratios were high on areas where visual symptoms of growth disturbance occurred.

Keywords: *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, field afforestation, nutrients, growth disturbance.
FDC 233+114.5

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, P.O. Box 44, FIN-69101 Kannus, Finland.

ISBN 951-40-1343-3
ISSN 0015-5543

Tampere 1993. Tammer-Paino Oy

1 Johdanto

Kaikkiaan peltoja on metsitetty maassamme tähän mennessä n. 170 000 ha. Pellonmetsitys on alueellisesti ollut vilkkainta Itä-Suomessa (Selby 1990). Pohjanmaalla kiinnostus pellonmetsityksiin on ollut vähäisempää. Keski-Pohjanmaalla on metsitetty vuoden 1990 loppuun mennessä kaikkiaan 3600 ha peltoa. Metsityksen alkuaikoina 1970-luvulla viljeltiin paljon rauduskoivua, peräti 38 % metsitysalasta. Männyn osuus oli 58 % ja kuusen vain 4 % (Hovila 1991). Peltojen ja pelloheittojen metsittäminen on koettu ongelmalliseksi (Laitinen 1988). Yleinen käsitys, jota vanhojen pellonmetsitysalueiden inventoinnit osittain tukevat onkin, että peltojen metsitys on onnistunut melko huonosti (Hynönen 1991, 1992, Hynönen & Saksa 1991, Hytönen 1991a, 1991b, Rossi ym. 1991, Valtanen 1990, 1991).

Peltojen metsityksessä monissa metsittämisessä, taimikon hoitoon ja kasvatukseen liittyvissä päätöksissä on usein otettava huomioon kasvualusta ja sen ravinteisuus. Peltojen ravinnetalous, erityisesti turvepelloilla poikkeaa monella tavalla metsämaiden ravinnetaloudesta (esim. Paavilainen 1970, 1977, Ekola 1991, Kaunisto 1991, Urvas 1991). Peltojen muokkaus, lannoitus, kalkitus ja muut maanparannustoimenpiteet sekä koneiden käyttö ovat muuttaneet maan fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Monille turvepelloille on viety painomaata, mikä on parantanut niiden ravinnetilaa lisäämällä ravinteiden ja kivennäisaineen määrää ja siten myös maan tiheyttä. Hiekoituksen ja saveuksen tarkoituksena on ollut myös parantaa maan lämpöoloja ja lujittaa liian löyhää maata (Pessi 1961b, 1961d). Turpeen tuhkapitoisuus ja muokkauskerroksen orgaanisen aineen tiheys lisääntyvät viljelyn yhteydessä käytettyjen lannoitteiden ja maanparannusaineiden, erityisesti kivennäismaalisäyksen vaikutuksesta (Pessi 1961b, 1961c, 1961d). Vaikutus voi olla hyvin pitkäaikainen, jopa 40 vuotta (Anttinen 1957b, Pessi 1961b, 1961d). Urvas (1985) totesi viljelyn vaikuttavan eniten rahkaturveisiin. Viljeltyjen turvemaiden muokkauskerroksen tuhkapitoisuuden lisääntyessä kauan vil-

jellyt suoviljelykset menettävät alkuperäisen luonteensa ja muuttuvat vähitellen multamaita muistuttaviksi (Pessi 1961a).

Jo 1970-luvun puolivälissä, jolloin peltojen metsitysala oli vielä vähäinen yli puolet kasvuhäiriöhavaintojen pinta-alasta oli metsitetyillä pelloilla (Veijalainen 1983). Näistä pääosa (81,5 %) oli turvepelloja. Tutkiessaan kuusen kasvuhäiriöitä Silfverberg (1980) totesi kasvupaikkoja luonnehtivan pienialaisuuden, ohutturpeisuuden ja eriateisen maatalouskäytön. Myös uusimpien pellonmetsitysinventointien mukaan kasvuhäiriöt ovat pellonmetsitysalueilla yleinen ongelma (Hytönen 1991a, 1991b, Valtanen 1991, Hynönen 1992). Turvemailla esiintyviä kasvuhäiriöitä on tutkittu melko laajasti (ks. Veijalainen ym. 1984, Kolari 1988). Kasvuhäiriöiden sekä makroskooppisia että mikroskooppisia tuntomerkkejä on kuvattu (esim. Veijalainen 1975, Raitio & Rantala 1977, Raitio 1979). Ravinneanalyyysien mukaan nuorilla männynillä kasvuhäiriöriskiä ilmentävät usein neulasten korkeat typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet sekä alhaiset boori-, kupari-, ja sinkkipitoisuudet (Reinikainen & Veijalainen 1983).

Työn tarkoituksena oli tutkia pelloille viljeltyjen mänty- ja koivutaimikoiden ravinnetaloudellista tilaa selvittämällä maan ravinnemääriä ja männyn neulasten ravinnepitoisuuksia Keski-Pohjanmaalla. Lisäksi tavoitteena oli selvittää kasvuhäiriön riippuvuutta maan ominaisuuksista ja neulasten ravinnepitoisuuksista.

Kenttämittauksista sekä maa- ja neulasnäytteiden keräyksestä vastasivat Esa Heino ja Seppo Vihanta. Seppo Vihanta avusti lisäksi aineiston käsittelyssä. Ravinneanalyysejä tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusosan laboratorioissa ja niistä vastasivat Kaisa Jaakola, Riitta Miettinen ja Arja Sarpola. Englanninkieliset tekstinosat käänsi MH Erkki Pekkinen. Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja siihen vartenotettuja parannusehdotuksia tehneet MMT Ari Ferm, MML Tenho Hynönen, prof. Seppo Kaunisto, MML Risto Lauhanen, MMT Pekka Tamminen, Agr. Leila Urvas ja Luk Heikki Veijalainen. Haluamme kiittää kaikkia työssä avustaneita.

2 Aineisto ja menetelmät

Elo-marraskuussa vuonna 1988 inventoitiin Keski-Pohjanmaalla 7–8 (nuoret) ja 15–16 vuotiaita (varttuneet) pelloille viljeltyjä mäntytaimikoita ja elo-lokakuussa vuonna 1989 16–17 vuotiaita rauduskoivikoita (taulukko 1). Inventointikohteet arvottiin Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan arkistosta (kuva 1). Mukaan otettiin vain ne kunnat, joissa pellonmetsitystä oli tehty kaikissa tutkittavissa ositteissa. Vuosina 1973 ja 1974 oli yksityisten maanomistajien peltoja metsittyä Keski-Pohjanmaalla 749 ha ja vuosina 1981 ja 1982 yhteensä 93 ha.

Tutkimusmenetelmä oli linjoittainen ympyräkoelamemetelmä, jossa koelakoko oli 20 m². Linja- ja koelaväli määräytyi pellon koon mukaan. Pienin mukaan otettu metsitysala oli 0,3 ha. Metsitysalueiden keskikoko oli 1,5 ha. Koalojen kokonaismäärä oli nuorissa mäntytaimikoissa 360, varttuneissa 391 ja koivikoissa 249. Koelakohtaisina yleistietoina määritettiin orgaanisen kerroksen paksuus, sarkaleveys ja lähimmän ojan kunto. Maalaji tarkistettiin kairanäytteistä. Koaloilta määritettiin puulaji ja taimien syntytytä sekä mitattiin taimien pituus desimetrin tarkkuudella, rinnankorkeusläpimittia millimetrin tarkkuudella ja mäntyjen viiden viimeisen vuoden pituuskasvu desimetrin tarkkuudella. Lisäksi arvioitiin taimissa esiintyneitä tuhoja sekä taimien vikaisuutta, elinvoimaa ja kasvatuskelpoisuutta. Kasvuhäiriön esiintyminen kaikissa mitatuissa puissa arvioitiin makroskooppisten tuntomerkkien perusteella (esim. Veijalainen 1975, Raitio & Rantala 1977, Veijalainen ym. 1984, Kolari 1988). Tuloksia taimien kehityksestä sekä taimikoiden tilasta on lyhy-

esti esitetty jo aiemmin (Hytönen 1991a, 1991b).

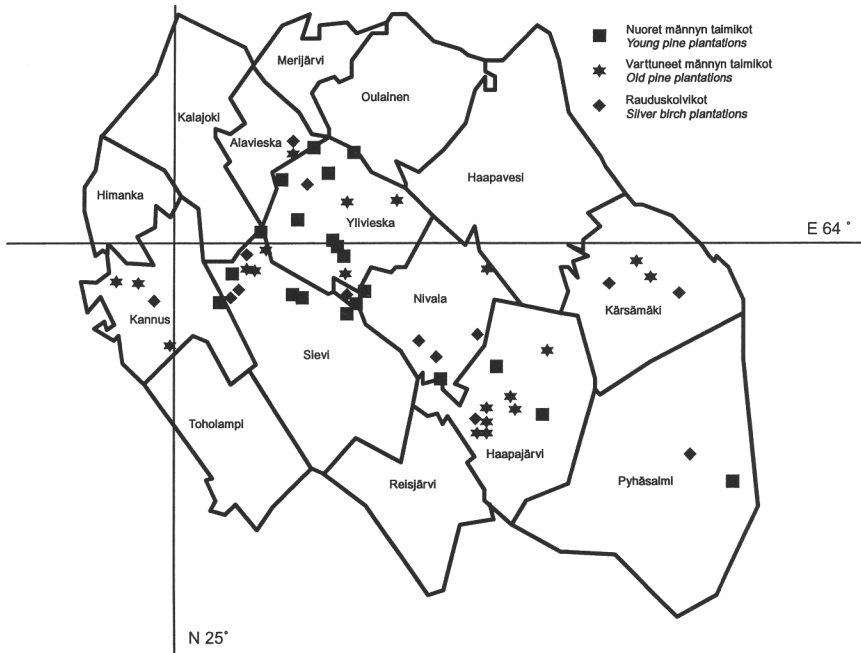
Männynviljelyalueiden (40 kpl) kaikilta koaloilta (751 kpl) otettiin vuoden kesä-elokuussa vuonna 1989 tilavuustarkat maanäytteet, jotka koostettiin kahdesta osanäytteestä (258 cm³) 0–10 cm:n pintakerroksesta. Koivikoista koostettiin mitausten yhteydessä (v. 1989 elosyyskuu) viideltä sattumanvaraisesti valitulta puustokoealalta otetuista näytteistä yksi koko taimikkoa edustava tilavuustarkka maanäyte. Maanäytteet otettiin siitä pinnanmuodosta, johon taimet oli istutettu. Pääsääntöisesti alueet oli pallekynnetty yksisiipisellä maatalousauralla, joten palteeseen kääntynyt ja maanäytteeksi otettu maa on peräisin pellon muokkauskerroksesta.

Kaikista näytteistä määritettiin kuivatuoretiheys, hehkutushäviö ja pH (vedessä tilavuussuhteessa näyte/vesi 1:2,5). Analyysiin näytteistä otettiin mukaan vain 2 mm seulan läpäisemät jakeet. Yli 2 mm:n jakeiden määrä oli vähäinen. Osasta männiköitä (19 kpl) analysoitiin maan ravinnepitoisuuksia koaloittain (321 koelaa, joilla kasvoi alkuperäisiä istutettuja mäntyjä). Muilta männylle viljeltyiltä pelloilta (21 kpl) määritettiin ravinnepitoisuudet kaikkien koalojen yhdistetystä näytteestä. Maanäytteistä määritettiin kokonais-N Kjeldahlin menetelmällä, tuhkan HCl-uutoksesta P, K, Ca, Mg, Fe, Zn ja Mn ja H₃PO₄–H₂SO₄-uutoksesta B. Näin määritetyistä ravinteista käytetään jatkossa nimitystä kokonaisravinneteet. Lisäksi maanäytteistä määritettiin happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4,65) uuttuvat P, K, Ca, Mg, Fe, Zn ja Mn, joista jatkossa käytetään nimitystä uuttuvat

Taulukko 1. Maan tiheys, orgaanisen aineen osuus ja orgaanisen kerroksen (turpeen) paksuus.
Table 1. Bulk density, proportion of organic matter and thickness of organic layer (peat).

Osite Compartment ¹⁾	Tiheys Bulk density, g/l	Orgaanisen aineen osuus Organic matter, %	Orgaanisen kerroksen (turpeen) paksuus Depth of org. layer, cm	Taimikoita Plantations n
Nuoret männyntaimikot — <i>Young pine plantations</i> (metsitys — <i>afforestation</i> 1981, 1982)				
A Turvemaa	459	45,2	47	9
B Multamaa	591	33,4	26	5
C Kivennäismaa	905	12,8	6	6
Varttuneet männyntaimikot — <i>Old pine plantations</i> (metsitys — <i>afforestation</i> 1973, 1974)				
A Turvemaa	301	61,6	81	7
B Multamaa	455	51,4	41	6
C Kivennäismaa	870	14,8	9	7
Koivikot — <i>Birch plantations</i> (metsitys — <i>afforestation</i> 1973, 1974)				
A Turvemaa	410	46,8	52	6
B Multamaa	682	18,7	33	4
C Kivennäismaa	860	14,0	5	4

¹⁾ A = peatland, B = mull, C = mineral soil



Kuva 1. Inventoitujen pellonmetsitysten sijainti.
Fig. 1. Location of fields included in this afforestation study.

ravinteet. Analyysit tehtiin 70°C:ssa kuivatuista näytteistä, mutta kaikki tulokset laskettiin 105°C:ssa määritettyä kuivapainoa kohti ja ilmaistaan luonnollista tilavuutta kohden hehtaarikohtaisina arvoina (kg ha⁻¹).

Männiköistä kerättiin neulasnäytteitä talvella 1989 (helmikuusta maaliskuuta) niiltä koealoilta, joilla kasvoi alkupe-
räisiä istutusmättyjä. Näytteet otettiin mättyjen ylimmistä elävistä eteläpuoleisista oksakiehkuroista. Osasta peltot-
ja (19 kpl) näytteet analysoitiin erikseen koealoit-
tain, osalta (20 kpl) kerättiin maastossa jo koko metsity-
stä edustava kokoomanäyte. Näytteistä (321 kpl koeala-
kohtaisia, 20 kpl peltokohtaisia) analysoitiin Metsäntut-
kimuslaitoksen Kannuksen tutkimusaseman laboratorio-
ssa N-, P-, K-, Ca-, Mg-, B-, Zn- ja Mn-pitoisuudet
(Hälonen ym. 1983).

Pellot luokiteltiin turve-, multamaa- ja kivennäismaa-
peltotoin maan pintakerroksen (0–10 cm) tiheyden, orga-
nisen aineen määrän ja turvekerroksen paksuuden pe-
rusteella (taulukko 1). Kaikki mitatut maatunnukset vai-
htelivat hyvin paljon jo yhdelläkin pellolla, joten peltoko-
htainen tunnusluku voi poiketa huomattavasti yhden koea-
lan tilanteesta. Koealat jaettiin lisäksi turvekerroksen
paksuuden perusteella turve- ja multamaakoealoihin (vähintään 10 cm:n turvekerros) ja kivennäismaakoealoihin.
Koealakohtainen aineisto saatiin näin luokitellen homo-
geenisemmäksi kuin peltotason aineisto. Mittaustietoja
analysoitiin regressio- ja korrelaatioanalyysillä.

Maaryhmitystä tarkasteltiin askeltavalla erotteluanalyysillä, jossa luokituksen erottelijoina olivat toisaalta maa-
perän ravinnemäärät ja pH, ja toisaalta neulasten ravinne-

pitoisuudet. Erottelijoina ei käytetty muuttujia, joiden
perusteella ryhmitys oli primaarisesti tehty. Erottelu-
analyysi tehtiin sekä peltokohtaisille keskiarvoille että
käyttämällä koealoittaisia tunnuksia.

Männyn taimien kasvuhäiriöistä tutkittiin tilastollise-
na todennäköisyytenä logistisilla regressiomalleilla, jois-
sa selittävinä muuttujina käytettiin koealoilta mitattuja
maan (0–10 cm) ravinnemääriä ja neulasten ravinnepitoi-
suuksia. Malleilla ennustettiin kasvuhäiriön todennäköi-
syyttä koealoilla, jotka laskentaa varten oli jaettu kahteen
ryhmään kasvuhäiriön esiintymisen perusteella (0 = koe-
alalla ei ole yhtään kasvuhäiriöistä puuta, 1 = koealalla on
vähintään yksi kasvuhäiriöinen puu). Laskentaan hyväk-
syttiin mukaan vain ne koealat, joilla kasvoi alkuperäisiä
istutettuja mättyjä ja joilta oli otettu koealakohtaiset maa-
ja neulasnäytteet. Kasvuhäiriön esiintymisen suhteen teh-
tiin myös erotteluanalyysi.

Erotteluanalyysi ja kasvuhäiriötä ennustavat mallit las-
kettiin erikseen sekä turve- ja multamaapeltoryhmälle
että kivennäismaapeltoryhmälle. Koska nuorissa taimi-
koissa oli inventoinnin aikaan havaittavissa vain vähän
kasvuhäiriöitä, tehtiin mallit vain v. 1973–74 perustetuille
männiköille. Turve- ja multamaiden aineisto koostui
tarkasteltaessa maan ravinnemääriä 95 koealasta, joilla
31:llä oli havaittu kasvuhäiriöitä ja tarkasteltaessa neu-
lasten ravinnepitoisuuksia 99 koealasta, joilla 33 oli ta-
vattu kasvuhäiriöitä. Kivennäismaakoealoja maan ravin-
nemääriä tarkasteltaessa oli 40, joista 11:llä oli kasvuhäi-
riöitä ja tarkasteltaessa neulasten ravinnepitoisuuksia 52
koealaa, joista 17:llä oli havaittu kasvuhäiriöitä.

3 Tulokset

3.1 Maan ominaisuudet

3.1.1 Maaluokitus

Peltojen ryhmitys turve-, multa- ja kivennäismaihin

Peltojen turpeen paksuuden, tiheyden ja orgaanisen aineen osuuden perusteella tehtyä ryhmitteilyä tarkasteltiin askeltavalla erotteluanalyysillä, jossa eivät olleet mukana primääriset ryhmittelytekijät. Maaperätunnusten avulla nuorissa taimikoissa kyettiin luokittelemaan oikein 89 % turvemaista, 60 % multamaista ja kaikki kivennäismaat. Mallissa olivat tällöin mukana typen kokonaismäärä ($F = 22,9$), sinkin kokonaismäärä ($F = 6,8$) ja uuttuvan kalsiumin määrä ($F = 4,7$). Varttuneissa taimikoissa ryhmitys onnistui parhaiten kaliumin kokonaismäärän ($F = 17,6$), kalsiumin uuttuvan ($F = 2,5$) ja kokonaismäärän ($F = 5,5$), maan pH:n ($F = 6,7$) ja fosforin kokonaismäärän ($F = 3,9$) avulla. Kaikki kivennäismaat luokiteltiin oikeaan ryhmään. Sen sijaan turvemaista 57 % ja multamaista vain 40 % luokiteltiin oikein. Koivikoissa luokiteltiin maan typpi- ($F = 15,1$) ja fosforimäärien ($F = 2,4$) avulla oikein kaikki multamaat. Turvemaista luokiteltiin oikeaan ryhmään 83 % ja kivennäismaista 75 %.

Nuorissa taimikoissa neulasten sinkki- ($F = 3,3$) ja magnesiumpitoisuuksien ($F = 2,4$) avulla luokiteltiin oikein 22 % turvemaista ja 80 % kivennäismaista. Multamaat luokiteltiin valtaosin turvemaaryhmään kuuluviksi. Varttuneissa taimikoissa neulasten magnesium- ($F = 7,1$), sinkki- ($F = 3,9$) ja kalsiumpitoisuuksien ($F = 4,5$) avulla luokiteltiin oikein 57 % turvemaista, 75 % multamaista ja 86 % kivennäismaista.

Maan ravinnemäärien ja neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella laadituilla erotteluyhtälöillä luokiteltiin oikein kaikki nuorten taimikoiden turve- ja kivennäismaat. Multamaista luokiteltiin oikein 80 %; loput sijoituivat turvemaiden ryhmään. Tärkein erottelija oli typen määrä maassa. Varttuneissa taimikoissa tärkein erottelija oli kaliumin määrä maassa. Erotteluyhtälöillä luokiteltiin oikeaan ryhmään 71 % turvepeltoista, 83 % kivennäismaapelloista ja 50 % multamaapelloista.

Koealojen luokitus

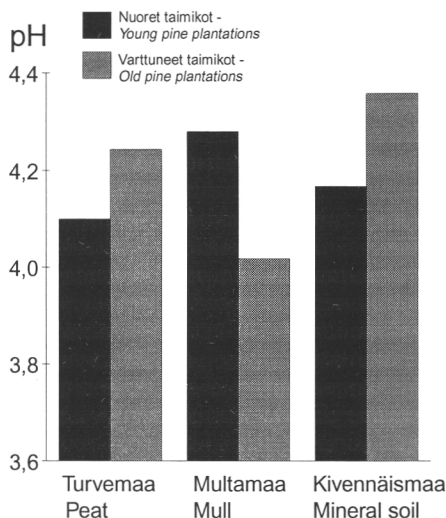
Maaperätunnusten avulla kivennäismaakoealoista luokiteltiin oikein 95 % ja orgaanisen maan koealoista 98 %. Malliin tulivat mukaan kaliumin kokonaismäärä ($F = 241,3$), typen kokonaismäärä ($F = 66,9$), sinkin kokonaismäärä ($F = 30,1$), uuttuvan kalsiumin määrä ($F = 5,0$), pH ($F = 10,2$) ja kalsiumin kokonaismäärä ($F = 4,8$).

Neulasten ravinnepitoisuuksien avulla luokittelu onnistui huomattavasti paremmin kuin maaperätunnusten avulla. Kivennäismaakoealoista luokiteltiin oikein 73 % ja orgaanisen maan koealoista 76 %. Malleihin tulivat mukaan neulasten kalsium- ($F = 36,2$), magnesium- ($F = 24,0$), sinkki- ($F = 5,9$) ja booripitoisuus ($F = 5,1$).

3.1.2 Tiheys, orgaanisen aineen osuus, pH ja ravinnemäärät

Maan tiheyden vaihtelu oli turvepelloilla varsin suuri (232–586 g dm⁻³). Kivennäismailla orgaanisen aineen osuus oli keskimäärin 13–15 %, mutta turvepelloilla vaihtelu oli huomattavasti suurempaa (28–86 %). Eri maaryhmissä pH:n vaihteluväli oli keskimäärin 4,0–4,4 (kuva 2). Korkein peltokohtainen pH-arvo oli 4,8 ja koealakohtainen 5,3.

Niin peltojen välinen kuin peltojen sisäisenkin vaihtelu maan ravinnemäärissä oli suuri. Typeä oli runsaasti sekä turve- (keskimäärin 5400–6400 kg ha⁻¹) että kivennäismailla (keskimäärin yli 3300 kg ha⁻¹) (kuva 3). Kaikissa puolaji- ja ikäryhmissä fosforin, kaliumin, magnesiumin, mangaanin, raudan ja sinkin kokonaismäärät sekä happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan sinkin ja mangaanin määrät olivat suuremmat kivennäismaiden pelloilla kuin turvepelloilla (kuvat 4 ja 5). Vaikka erot kokonaisravinteiden määrissä olivat selvät, eivät uuttuvan fosforin, kaliumin ja magnesiumin määrät eri maaryhmissä poikenneet selvästi toisistaan. Kokonaisraudan määrä oli suurin kivennäismailla, mutta uuttuvan raudan määrä sen sijaan oli suurin turve- ja multamaan pelloilla ja pienin kivennäismailla. Uuttuvaa kaliumia oli turve- ja kivennäismailla lähes yhtä paljon, vaikka kokonaiskaliumin määrä olikin turvemailla huomattavasti pienempi kuin kivennäismailla. Maaluokkien väliset erot boorin



Kuva 2. Maan pintakerroksen (0–10 cm) pH maaryhmittäin.

Fig. 2. Soil (0–10 cm) pH for different soil type groups.

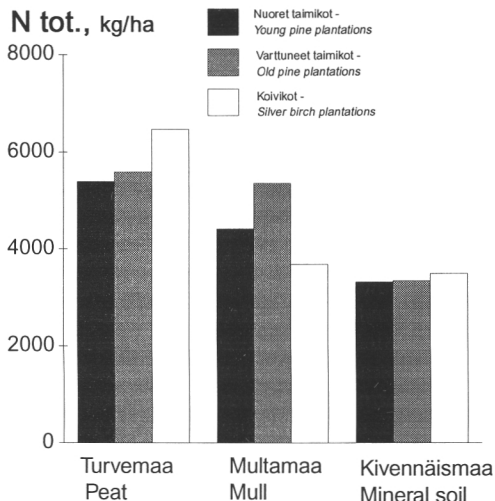
määrissä olivat pienet. Booria oli keskimäärin 0,4–0,7 kg/ha.

Kokonaisfosforia Keski-Pohjanmaan turvepeltoilla oli keskimäärin 610–720 kg ha⁻¹, uuttuvaa fosforia 7 kg ha⁻¹, kokonaiskaliumia 280–470 kg ha⁻¹ ja uuttuvaa kaliumia n. 60 kg ha⁻¹. Jopa paksuturpeisilla pelloilla kaliumin kokonaismäärät olivat huomattavan suuret, alimmillaankin yli 50 kg ha⁻¹.

Useiden ravinteiden keskimääräiset erot 1970- ja 1980-luvun alussa metsitetyillä pelloilla olivat melko pienet samoissa maaryhmissä (kuva 4). Kaliumia ja magnesiumia oli vähiten varttuneissa mäntytaimikoissa. Kalsiumin kokonaismäärät vaihtelivat ikäluokittain melko paljon turve- ja multamailla.

3.1.3 Maan fysikaalisten tunnusten keskinäiset suhteet

Maan (0–10 cm) tiheyden ja orgaanisen aineen osuuden välillä oli hyvin voimakas negatiivinen korrelaatio sekä nuorissa että varttuneissa mäntytaimikoissa (kuva 6). Parhaiten riippuvuutta kuvasi logaritminen malli $\ln Y = \ln a + b \ln X$. Mallien selityssasteet olivat varsin korkeita ($R^2 = 93,4\%$ ja $96,4\%$). Myöskin neliöjuurimuunnosta käyttämällä saatiin lähes yhtä hyvät mallit (ks. Erviö 1970, Kaunisto 1991), vaikkakin selityssasteet jäivät hieman alhaisemmiksi. Lähes yhtä hy-



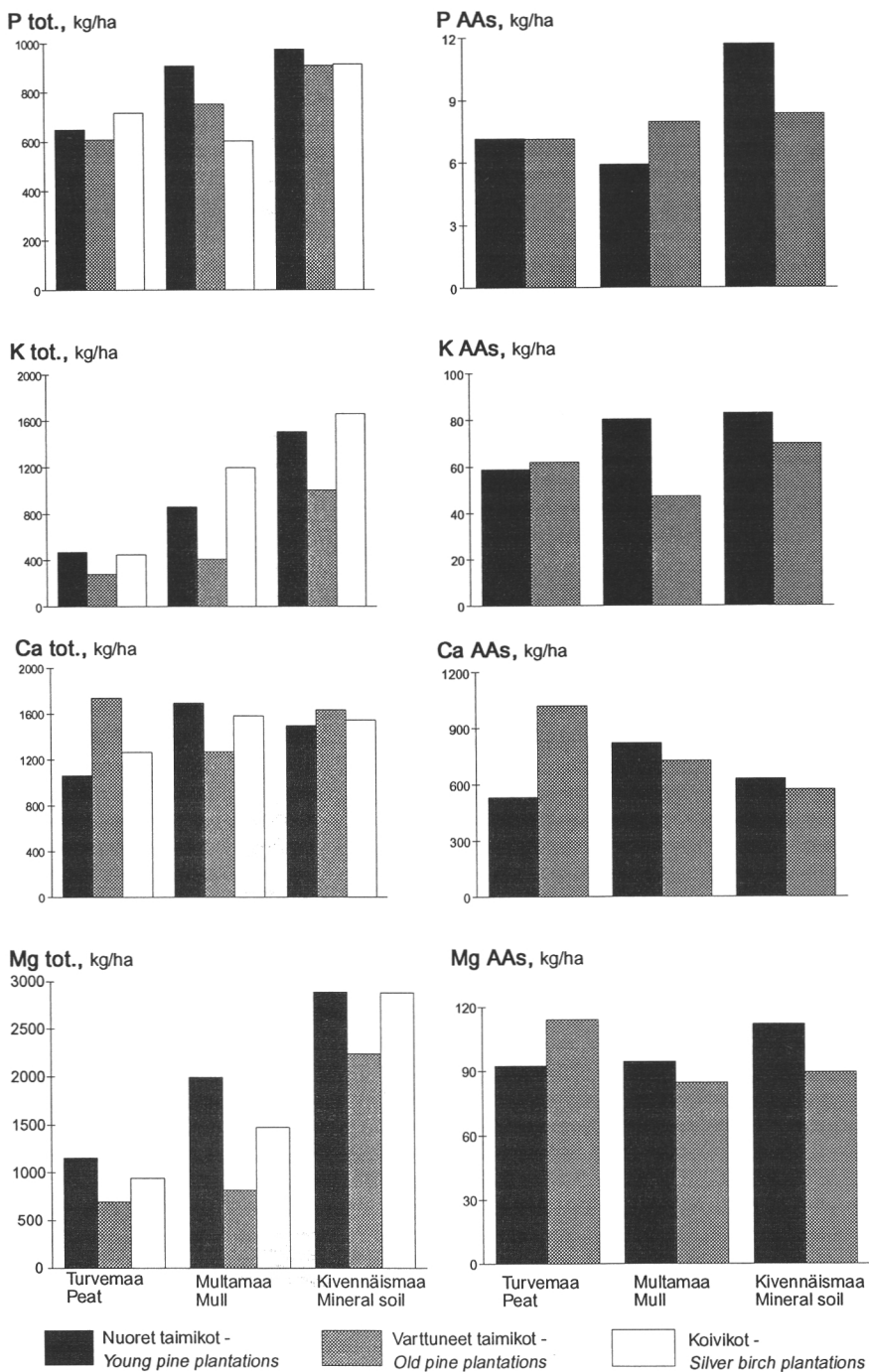
Kuva 3. Typen kokonaismäärä (kg ha⁻¹) maan pintakerroksessa (0–10 cm) maaryhmittäin.

Fig. 3. Total amount of nitrogen (kg ha⁻¹) in soil (0–10 cm) in different soil type groups.

vin yhteyttä kuvasivat kuten Kauniston (1991) Alkkian pelloillakin toisen asteen yhtälöt $y = a + bX + cX^2$ (nuoret taimikot: $a = 1190,01$, $b = -24,87$, $c = 0,17$, $R^2 = 95,9\%$, varttuneet taimikot: $a = 1148,13$, $b = -24,71$, $c = 0,16$, $R^2 = 95,3\%$). Riippuvuuden muoto oli samansuuntainen sekä varttuneissa että nuorissa taimikoissa.

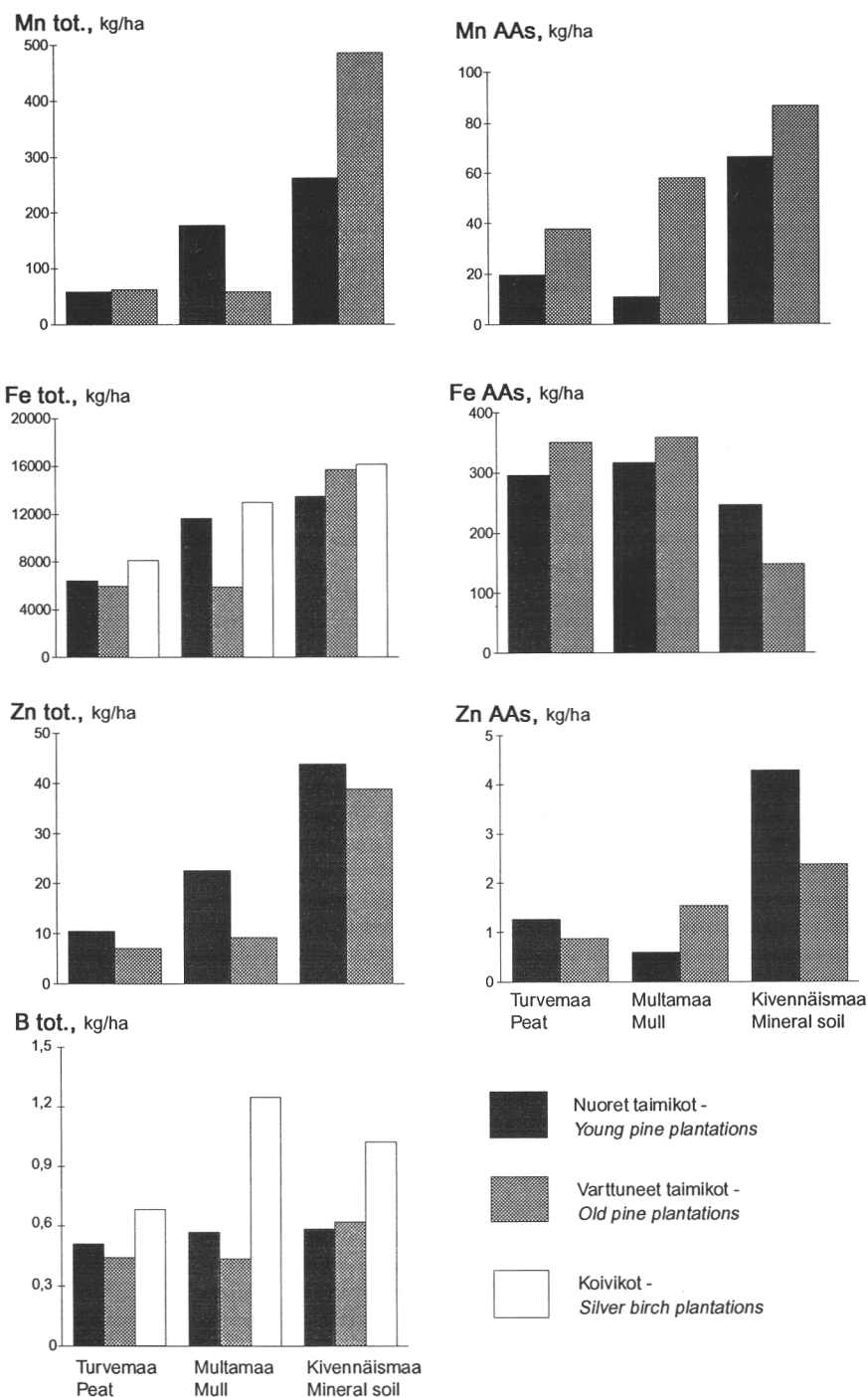
Turvekerroksen paksuuden ja orgaanisen aineen osuuden välinen korrelaatio oli nuorien taimikoiden turvekoaloilla melkein merkitsevä ($r = 0,210^*$) ja lineaarisen mallin ($Y = a + bX$) selityssaste vain 4,41 % (kuva 6). Varttuneissa taimikoissa vastaava korrelaatio oli korkeampi ($r = 0,395^{***}$) ja lineaarisen mallin selityssaste hieman suurempi (15,6 %). Turpeen paksuuden ollessa 40–50 cm, saattoi maan tiheys vaihdella välillä 0,2–1,0 g cm⁻³ ja orgaanisen aineen osuus pintakerroksessa välillä 20–80 %. Turvepeltojen pintakerroksen muuttuminen viljelyn aikana, erityisesti painomaan käyttö lieenee suurimpana syyinä siihen, että turvekerroksen paksuus kuvasi huonosti maan tiheyttä tai orgaanisen aineen osuutta kasvualustassa.

Varttuneissa mäntytaimikoissa maan pH oli sitä pienempi mitä suurempi oli orgaanisen aineen osuus ($r = -0,433^{***}$) tai maan tiheys ($r = 0,388^{***}$). Sen sijaan nuorissa mäntytaimikoissa korrelaatiot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.



Kuva 4. Fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kokonais- ja ammoniumasetaattiin uuttuvat (AAs) määrät (kg ha⁻¹) maan pintakerroksessa (0–10 cm) maaryhmittäin.

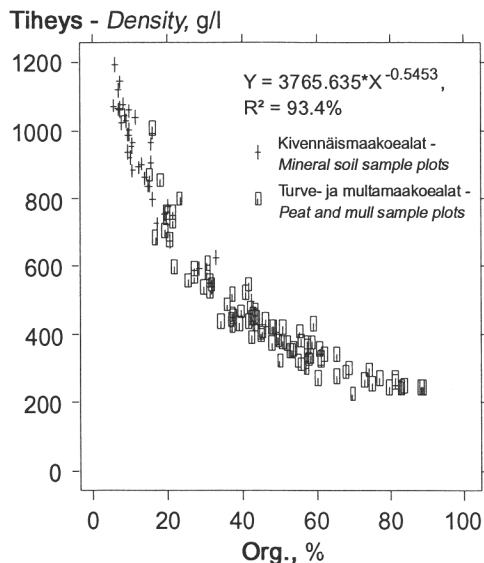
Fig. 4. Total amounts and ammonium acetate extractable (AAs) amounts of phosphorus, potassium, calcium and magnesium (kg ha⁻¹) in soil (0–10 cm) in different soil type groups.



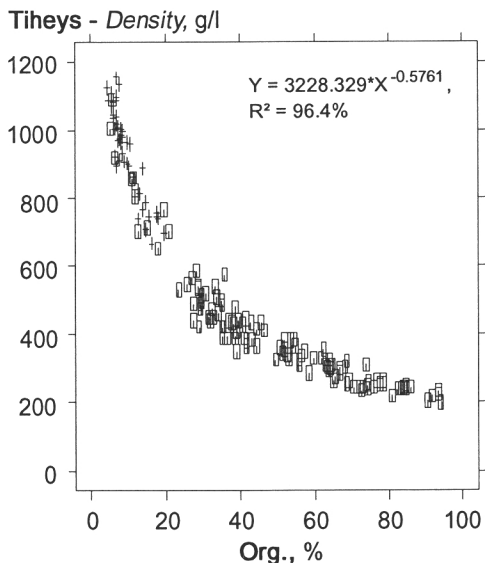
Kuva 5. Mangaanin, raudan ja sinkin kokonais- ja ammoniumasetattiin uuttuvat (AAs) määrät sekä boorin kokonaismäärä (kg ha^{-1}) maan pintakerroksessa (0–10 cm) maaryhmittäin.

Fig. 5. Total amounts and ammonium acetate extractable (AAs) amounts of manganese, iron and zinc and the total amount of boron (kg ha^{-1}) in the soil (0–10 cm) in different soil type groups.

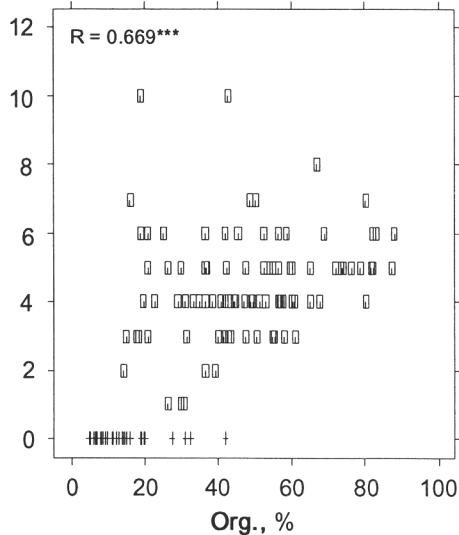
Nuoret taimikot -
Young pine plantations



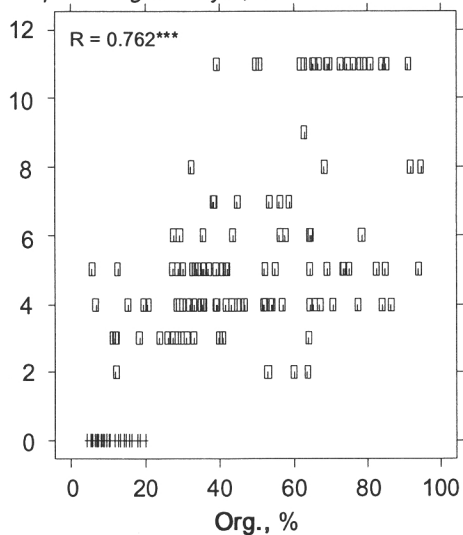
Varttuneet taimikot -
Old pine plantations



Org. kerroksen paksuus -
Depth of organic layer, dm



Org. kerroksen paksuus -
Depth of organic layer, dm



Kuva 6. Maan tiheyden ja turvekerroksen paksuuden korrelaatiot orgaanisen aineksen osuuden suhteen nuorissa ja varttuneissa männyntaimikoissa.

Fig. 6. Correlation between bulk density and organic matter content and thickness of peat layer and the organic matter content in young and old pine plantations.

3.1.4 Ravinteiden määrä ja maan ominaisuudet

Ravinteiden määrän riippuvuus tiheydestä ja orgaanisen aineen osuudesta

Kokonaisravinteiden sekä uuttuvien ravinteiden määrät korreloivat tiheyden kanssa yleensä paremmin turvemaiden koealoilla kuin kivennäismailla. Maan ravinnemääriä tarkasteltiin myös orgaanisen aineen osuuden suhteen. Ravinteiden määrän ja orgaanisen aineen osuuden väliset riippuvuudet olivat käänteisiä verrattuina riippuvuuksiin maan tiheyden kanssa, ja korrelaatiokertoimet olivat yleensä hieman alempia kuin käytetyssä tiheyttä maata kuvaavana fysikaalisena tunnuksena.

Kokonaistypen määrä maan pintakerroksessa laski tiheyden lisääntyessä (kuva 7). Turvemaiden nuorissa taimikoissa typen määrä ei kuitenkaan korreloinut tiheyden kanssa. Fosforin, kaliumin, magnesiumin ja sinkin kokonaismäärät sekä uuttuvan fosforin määrät turvekoealoilla korreloivat positiivisesti maan tiheyden kanssa (kuvat 7). Uuttuvan kaliumin ja tiheyden välinen riippuvuus oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan nuorien taimikoiden turvemaiden aineistossa. Kalsiumin määrä ei korreloinut selvästi maan tiheyden tai orgaanisen aineen osuuden kanssa. Raudan määrä korreloi turvekoealoilla positiivisesti maan tiheyden kanssa.

Uuttuvien ravinteiden määrän riippuvuus ravinteiden kokonaismääristä

Ravinteiden kokonaismäärien lisääntyessä vastaavien uuttuvien ravinteiden määrät myös yleensä lisääntyivät, vaikkakin maaryhmien ja ikäluokkien välillä oli suuria eroja (kuva 8). Ainoastaan kalsiumin kokonaismäärän ja uuttuvan määrän välinen riippuvuus oli kiinteä ja tilastollisesti erittäin merkitsevä kaikissa osa-aineistoissa. Myös uuttuvan kaliumin ja magnesiumin määrät lisääntyivät vastaavien ravinteiden kokonaismäärien lisääntyessä paitsi varttuneiden mäntytaimikoissa turvemaan koealoilla.

Maan raudan määrän lisääntyessä kokonaisfosforista erityisesti kivennäismaiden koealoilla oli yhä pienempi osuus helppoliukoisessa muodossa (kuva 9). Raudan määrän ja helppoliukoisen ja kokonaisfosforin suhteen väliset korrelaatiot olivat tilastollisesti merkitseviä kaikissa osa-aineistoissa.

Uuttuvien ravinteiden osuus

Helppoliukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista, keskimäärin 0,7–1,2 % (taulukko 2) oli samaa suuruusluokkaa kuin Kauniston (1991) turvepelloilla (0–10 cm). Turvemaan ja kivennäismaiden koealojen välillä ei ollut selvää eroa. Sen sijaan uuttuvan kaliumin osuus turvemaiden koealoilla (keskimäärin 27 ja 32 %) oli yli kaksinkertainen kivennäismaiden koealoihin (keskimäärin 11 ja 8 %) verrattuna (taulukko 2). Muutamasta näytteestä mitattiin uuttuvan kaliumin, kuten myös kalsiuminkin osuudeksi yli 100 %. Tärkeimpiä syitä tähän lienevä suurehko määrittäysvirhe ja uuttuvien ja kokonaismäärien suhteen suuruus (Tamminen 1991).

Uuttuvan kalsiumin ja magnesiumin osuudet näiden ravinteiden kokonaismääristä olivat turvekoealoilla suuremmat kuin kivennäismailla (taulukko 2). Erityisen suuri ero turve- ja kivennäismaan välillä oli magnesiumilla. Siitä oli kivennäismailla uuttuvassa muodossa keskimäärin 4 ja 3 %, kun taas turvemailla puolestaan 19 ja 16 % (taulukko 2). Turvemaan koealojen uuttuvan kalsiumin osuudet olivat hieman alhaisem-

Taulukko 2. Ammoniumasetaattiin uuttuvien ravinteiden osuus (%) kokonaisravinteiden määrästä.

Table 2. Proportion (%) of ammonium acetate (pH 4.65) extractable nutrients of total nutrients.

Ravinne Nutrient	Maaryhmä ¹⁾ Soil type ¹⁾	Ikä ²⁾ Age ²⁾	Keskiarvo Mean	cv ³⁾ %	Vaihteluväli Range
P	T	N	0,7	50	0,3–2,1
P	K	N	0,8	56	0,2–2,8
P	T	V	1,2	59	0,5–4,6
P	K	V	0,9	76	0,1–4,6
K	T	N	26,6	74	5,9–102,0
K	K	N	10,5	49	1,0–25,0
K	T	V	32,3	79	3,6–115,1
K	K	V	8,2	44	2,8–18,6
Ca	T	N	57,8	21	26,6–108,5
Ca	K	N	40,4	30	16,0–76,0
Ca	T	V	62,0	25	6,6–137,2
Ca	K	V	46,9	39	9,4–110,0
Mg	T	N	18,8	96	2,0–66,3
Mg	K	N	3,7	65	0,7–13,8
Mg	T	V	16,1	95	0,2–63,1
Mg	K	V	3,1	88	0,0–9,2

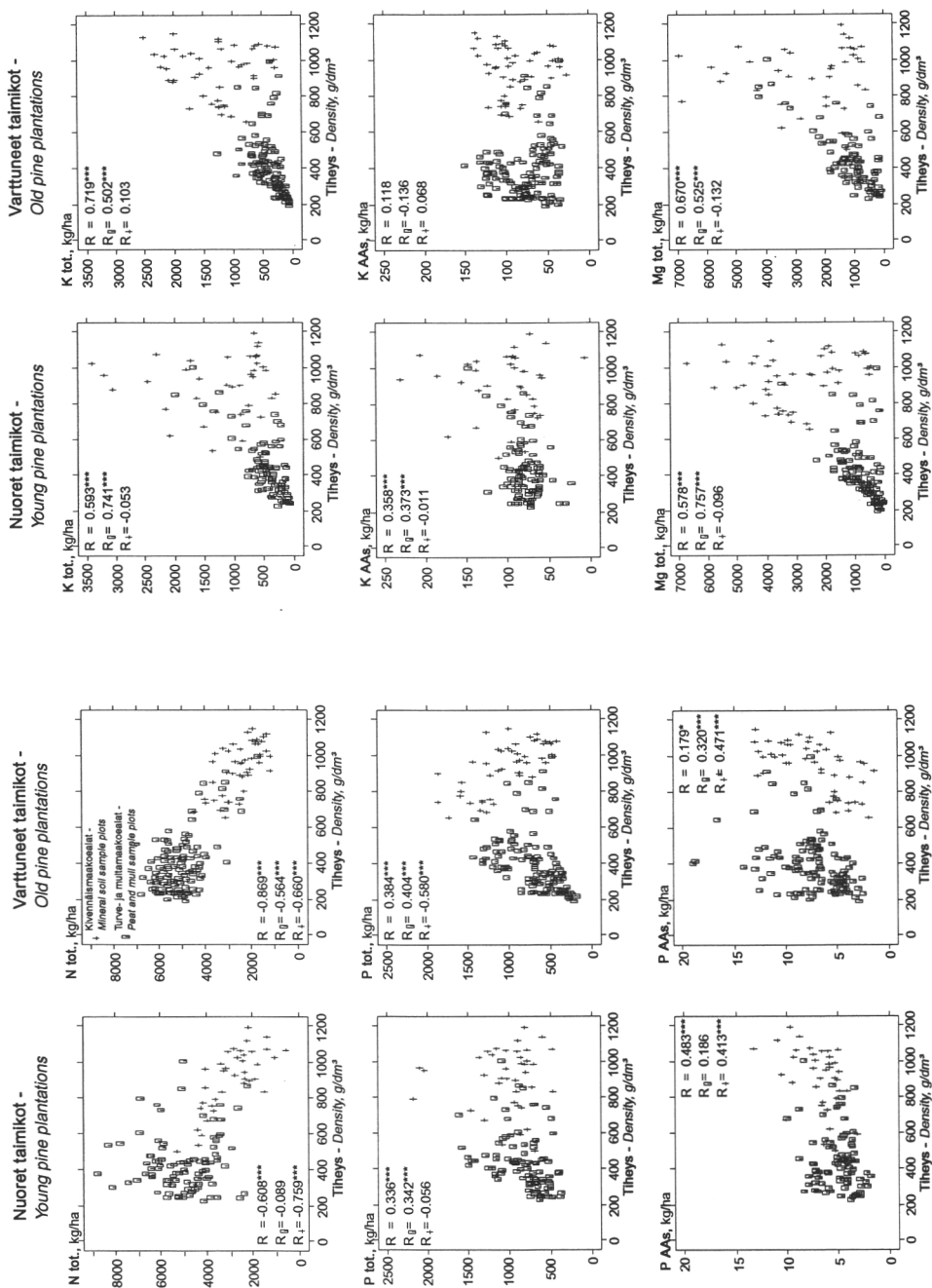
1) T = turvema — peatland

K = kivennäismaa — mineral soil

2) N = nuoret taimikot — young pine plantations

V = varttuneet taimikot — old pine plantations

3) variaatiokerroin — coefficient of variation



Kuva 7. Kokonaistypen, fosforin, ja kaliumin uuttuvien ja kokonaismäärän ja kokonaismäärän ja maan tiheyden välinen korrelaatio. Fig. 7. Correlation between amounts of total nitrogen, total and ammonium acetate (AAs) extractable phosphorus and potassium amounts, total magnesium amounts and bulk density of the soil.

pia ja kivennäismaiden uuttuvan kalsiumin sekä uuttuvan magnesiumin osuudet vastaavien ravinteiden kokonaismääristä huomattavasti alhaisempia kuin Tamminen (1991) kangasmetsien humuksesta mittaamat.

Askeltavalla regressioanalyysillä tutkittiin ravinteiden kokonaismäärän, orgaanisen aineen osuuden, maan tiheyden ja pH:n vaikutusta uuttuvien ja kokonaisravinnemäärien suhteeseen (taulukko 3). Kokonaismäärän lisääntyessä pieneni uuttuvan ravinteen osuus, kuten Tamminenkin (1991) aineistossa. Kalsiumin kokonaismäärä ei regressioanalyysissä selittänyt uuttuvan kalsiumin osuutta varttuneiden taimikoiden aineistossa lainkaan, ja nuorissakin vain turvemaalla. Orgaanisen aineen osuus tai maan tiheys tulivat malleihin mukaan useammin turve- kuin kivennäismailla. Turvemailla orgaanisen aineen tai tiheyden lisääntyessä uuttuvan kaliumin ja magnesiumin osuus ravinteiden kokonaismäärästä kasvoi. pH oli malleissa useammin kivennäis- kuin turvemailla.

Uuttuvan kaliumin ja magnesiumin osuus pys-

tyttiin selittämään hyvin turvemaan koaloilla. Kaliumin osalla malleissa olivat turvemailla mukana sekä orgaanisen aineen osuus että tiheys ja selitysasteet olivat varsin korkeita, 66 ja 65 %. Heikoimmin selittyi uuttuvan kalsiumin osuus (myös Tamminen 1991).

3.1.5 Maan ravinnemäärät ja taimien kasvu

Maan ravinnemäärien vaikutusta puuston kasvuun tarkasteltiin vain peltotasolla. Koska turvepelloilla puut olivat keskimäärin hieman lyhyempiä ja olivat kasvaneet hieman hitaammin kuin kivennäismaapelloilla, turvemaakivennäismaa-akselilla vaihtelevat ravinnemäärät korreloivat puiden pituuden kanssa. Saatuihin korrelaatioihin on kuitenkin multikollineaarisuuden takia suhtauduttava varauksella. Mitä enemmän maassa oli tyypeä (turvemaat), sitä lyhyempää ja huonokasvuisempaa oli puusto. Varttuneissa taimikoissa puuston pituuskasvu korreloi positiivisesti maan kalium- ja magnesiummäärien kanssa.

Taulukko 3. Ammoniumasetaatista uuttuvien ravinteiden osuus (%) ravinteiden kokonaismäärän, orgaanisen aineen osuuden, maan tiheyden ja pH:n funktiona. Regressiomallien kertoimet, selitysasteet (R^2) ja variaatiokertoimet (cv).
Table 3. Ammoniumacetate (pH 4.65) extractable nutrients as percentage of total nutrients as a function of total amount, organic matter content, bulk density and pH. Regression coefficients, coefficient of determination (R^2) and coefficient of variation (cv).

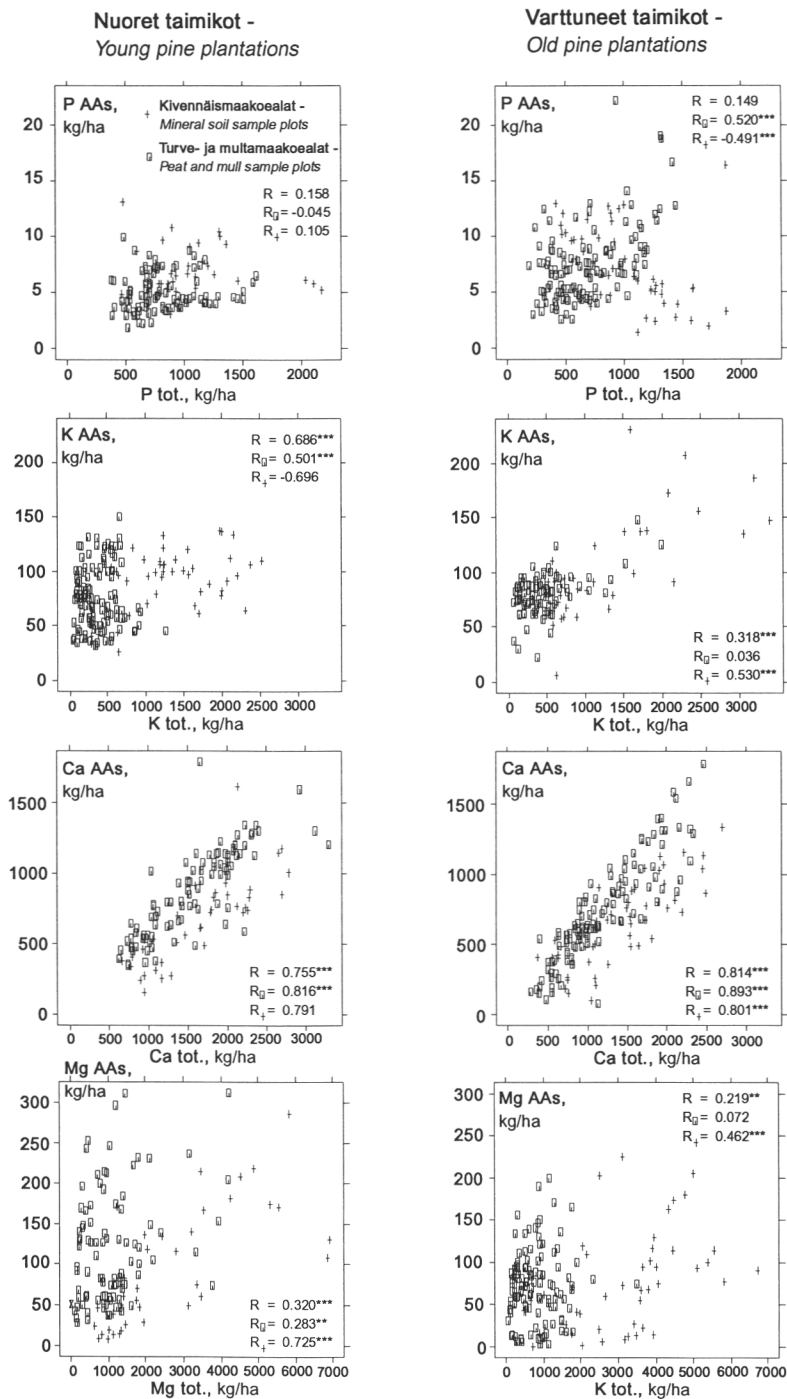
Ravinne Nutrient	Maaryhmä ¹⁾ Soil type ¹⁾	Ikä ²⁾ Age ²⁾	Vakio Const.	Kok.määrä Tot. amount, kg ha ⁻¹	Org. OM, %	Tiheys Density, g/l	pH	R ² %	cv %
P	T	N	2,479	-0,254	-0,004		-0,254	40,3	40
P	K	N	0,077	-0,002			0,557	30,1	50
P	T	V	0,077	-0,002			0,557	30,2	50
P	K	V	2,437	-0,002				64,6	46
K	T	N	45,844	-0,038	0,833	0,087	-18,838	66,0	44
K	K	N	15,649	-0,004				38,2	40
K	T	V	-13,068	-0,046	0,837	0,050		65,1	47
K	K	V	8,550	-0,004		0,006		60,0	29
Ca	T	N	76,745	-0,005		-0,026		20,7	19
Ca	K	N	32,891		0,588			15,5	28
Ca	T	V	-5,314			16,623		15,7	23
Ca	K	V	...						
Mg	T	N	-60,813	-0,012	1,020	0,100		54,5	65
Mg	K	N	15,270		-0,012			14,1	113
Mg	T	V	-64,883	-0,006	0,770	0,045	7,130	71,8	51
Mg	K	V	6,899	-0,001		-0,176		28,1	76

¹⁾ T = turvemaat — peatland

K = kivennäismaat — mineral soil

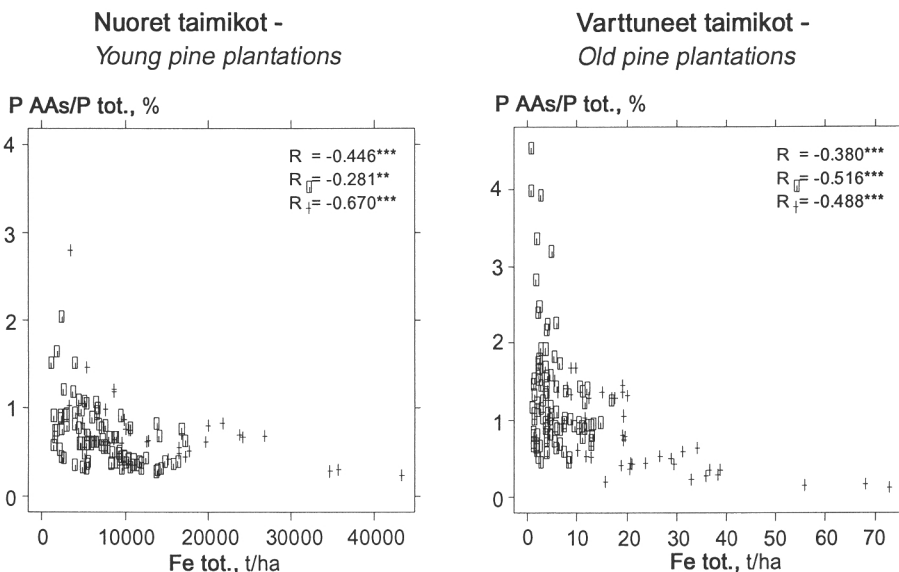
²⁾ N = nuoret taimikot — young pine plantations

V = varttuneet taimikot — old pine plantations



Kuva 8. Maan fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin uutuvien ja kokonaismäärien väliset korrelaatiot.

Fig. 8. Correlation between ammonium acetate extractable (AAs) phosphorus, potassium, calcium and magnesium amounts in substrate and total amounts of these nutrients.



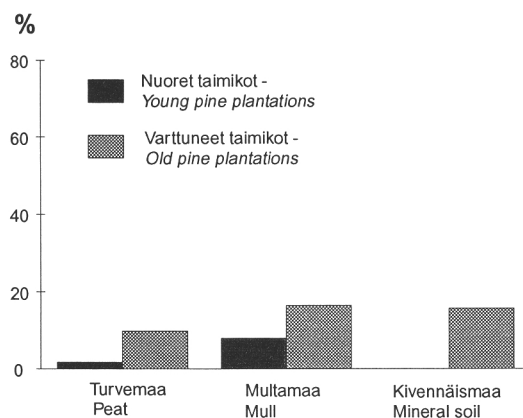
Kuva 9. Maan uuttuvan fosforin osuuden ja kokonaisraudan määrän välinen korrelaatio.
Fig. 9. Correlation between proportion ammonium acetate extractable phosphorus in soil and total amount of iron in the soil.

3.1.6 Maan ominaisuudet ja kasvuhäiriön esiintyminen

Kasvuhäiriöisiä puita esiintyi pelloilla yleensä laikuittain. Kasvuhäiriöisten puiden osuus nuorissa taimikoissa oli pienempi kuin varttuneissa (kuva 10). Nuorissa, vuosina 1981–82 perustetuissa taimikoissa oli 8 %:ssa multamaapeltojen ja 2 %:ssa turvepeltojen alkuperäisistä istutusmännystä havaittavissa kasvuhäiriöoireita. Kivennäismaapelloilla kasvuhäiriöisiä nuoria puita ei tavattu lainkaan. Varttuneissa taimikoissa oli multamaa- ja kivennäismaapelloilla 16 % ja turvepelloilla 10 % alkuperäisistä istutusmännystä kasvuhäiriöisiä. Vaikka puiden lukumäärästä vain pieni osa oli kasvuhäiriöisiä, ilmiötä esiintyi varsin suurella osalla pelloista. Yllättävää oli, että kivennäismaapelloilla kasvuhäiriötä esiintyi suhteellisesti enemmän kuin muiden maaluokkien pelloilla.

Peltokohtaiset maan ravinnemäärien keskiarvot korreloivat heikosti pelloilla laikuittaisesti esiintyvän kasvuhäiriön kanssa. Varttuneissa taimikoissa kasvuhäiriöisten istutusmännysten osuus oli suurimmillaan, kun maassa oli paljon booria ja uuttuvaa fosforia ja vähän uuttuvaa magnesiumia.

Kasvuhäiriön esiintymistodennäköisyyttä yksittäisellä koelalla ennustavat logistiset mallit



Kuva 10. Kasvuhäiriöisten alkuperäisten istutettujen männyntaimien osuus.
Fig. 10. Percentage of original planted pine seedlings with visible growth disturbances.

laadittiin erikseen turve- ja multamaiden sekä kivennäsmaiden koaloille käyttäen selittävinä muuttujina maan ravinnemääriä ja pH:ta. Turve- ja multamailla tärkein selittäjä oli maan uuttuvan fosforin määrä. Lisäksi kalsiumin ja magnesiumin määrien suhteet sekä keskenään, että kaliumin ja typen kanssa ja uuttuvan magnesiumin määrä olivat parhaita selittäjiä. Malleja laadittiin kaksi,

Taulukko 4. Maan ravinnemäärien (kg/ha) perusteella lasketut kasvuhäiriön esiintymistodennäköisyyttä ennustavat logistiset mallit ja niiden tunnusluvut. Mallit ovat muotoa $P = e^{(u)} / (1 + e^{(u)})$, jossa P = ennustettu todennäköisyys, $u = b_0 + \sum b_i X_i$ ja X = selittävä muuttuja.

Table 4. Logistic regression models and their statistics predicting the occurrence of growth disturbances with soil nutrient amounts (kg/ha). Models have the form $P = e^{(u)} / (1 + e^{(u)})$ in which P = predicted probability, $u = b_0 + \sum b_i X_i$ and X = independent variable.

Tunnus Statistic	Turve- ja multamaat — Peat and mull fields						Kivennäismaat — Mineral soil fields		
	Malli 1 — Model 1			Malli 2 — Model 2			Malli 3 — Model 3		
	c ²	D.F.	p	c ²	D.F.	p	c ²	D.F.	p
Yhteensopivuus Goodness of fit (2*O*LN(O/E))	86,95	92	0,629	73,25	88	0,871	21,34	36	0,975
Yhteensopivuus Goodness of fit (Hosmer-Lemeshow)	4,19	8	0,840	4,54	8	0,806	4,19	8	0,839

Malli 1 — Model 1: $b_0 = -1,657$, $b_1 = 0,314$, $b_2 = -0,5715$. $X_1 = P$ AAs, $X_2 = Ca/Mg$.

Malli 2 — Model 2: $b_0 = -0,7139$, $b_1 = 0,3958$, $b_2 = -0,7586$, $b_3 = +0,1289$, $b_4 = -0,01452$, $b_5 = 3,28$, $b_6 = -4,811$. $X_1 = P$ AAs, $X_2 = Ca/Mg$, $X_3 = N/Mg$, $X_4 = Mg$ AAs, $X_5 = K/Ca$, $X_6 = K/Mg$.

Malli 3 — Model 3: $b_0 = 6,624$, $b_1 = 0,006588$, $b_2 = -0,03166$, $b_3 = -2,389$. $X_1 = Mn$, $X_2 = Mg$ AAs, $X_3 = N/Mg$

joista laajempi sopi aineistoon hyvin (taulukko 4). Kasvuhäiriöiden ennustettu todennäköisyys kasvoi, kun maan uuttuvan fosforin määrä kasvoi ja maan kalsiumin ja magnesiumin kokonaismäärien suhde pieneni. Kivennäismaiden koealoilla malliin tuli selittäjäksi mangaanin määrä maassa, sen jälkeen uuttuvan magnesiumin määrä ja maan N/Mg-suhde (taulukko 4).

Erotteluanalyysi tehtiin eri maaryhmille (turve- ja multamaat sekä kivennäismaat) erikseen. Orgaanisilla mailla uuttuvan fosforin määrä oli voimakkain erottelija, sen sijaan kivennäismailla parhaiten ryhmiä erotti uuttuvan kalsiumin määrä. Orgaanisilla mailla erottelufunktiot, joissa selittäjinä olivat uuttuvan fosforin ja uuttuvan magnesiumin määrät, luokittelivat oikein 75 % kasvuhäiriöttömistä ja 68 % kasvuhäiriöisistä koealoista. Kivennäismailla vastaavalla mallilla voitiin luokitella oikein 78 % kasvuhäiriöttömistä ja 64 % kasvuhäiriöisistä koealoista.

3.2 Neulasten ravinnepitoisuudet

3.2.1 Neulasten ravinnepitoisuudet maaryhmittäin

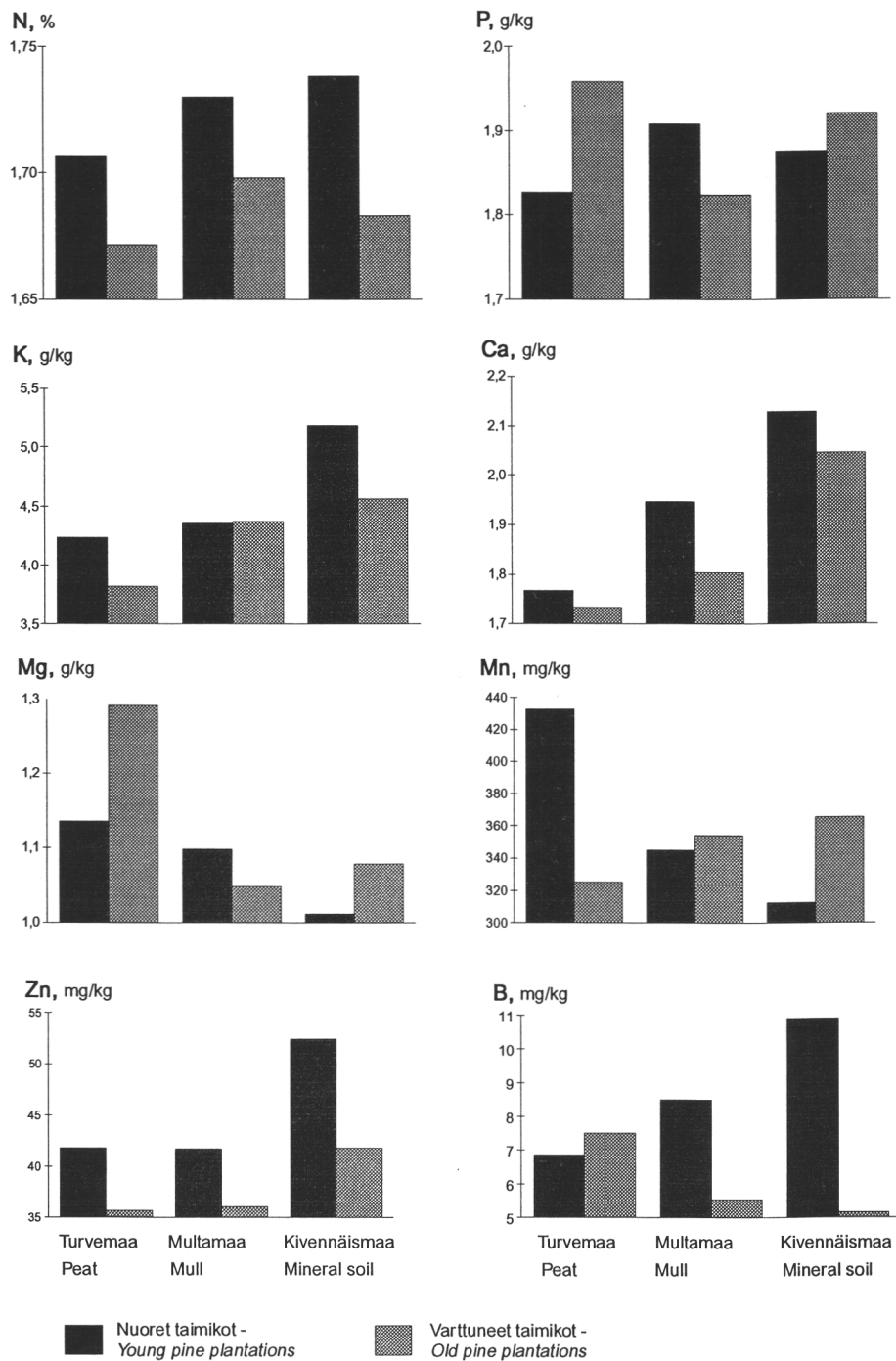
Männyn neulasten typpipitoisuudet olivat lähes yhtä suuret eri maaryhmissä ja ikäluokissa, n. 1,7 % (kuva 11). Yhdelläkään pellonmetsitysalueella ei neulasanalyysin mukaan esiintynyt typen puutetta. Päinvastoin, neulasten typpipitoisuudet olivat kauttaaltaan varsin korkeita ja useat pelto- ja koealakohtaiset typpipitoisuudet

olivat Kauniston (1982) turvemaiden mäntytaimikoille esittämän optimialueen (1,5–1,6 %) yläpuolella.

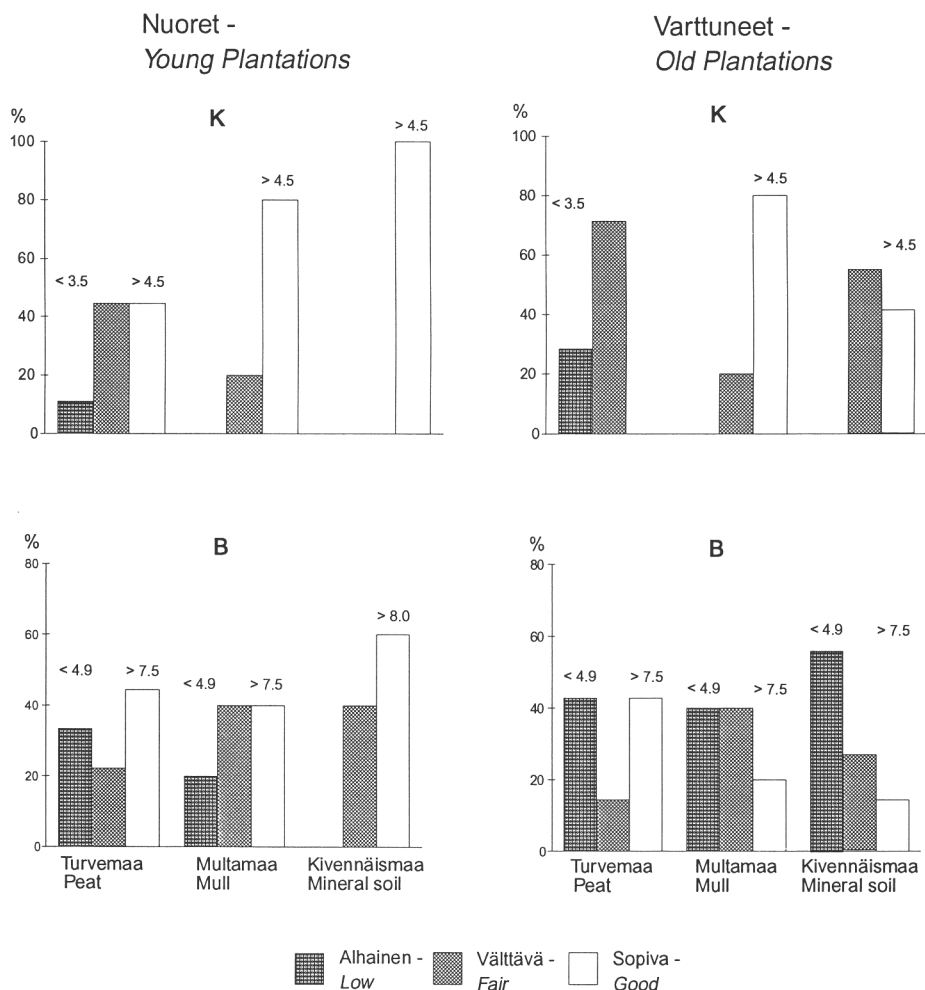
Myöskin neulasten fosforipitoisuudet eri ikäluokissa ja maaryhmissä olivat samantasoiset ja varsin korkeat (1,8–2,0 g kg⁻¹), eikä selvää fosforin puutetta esiintynyt. Yhdelläkään pellolla fosforipitoisuuksien keskiarvo ei alittanut Paarlahauden ym. (1971) suomänniköille esittämää optimia (1,6–2,0 g kg⁻¹), vaikkakin yksittäisillä koealoilla tavattiin tätä alhaisempia pitoisuuksia.

Kaliumpitoisuudet olivat suurimmillaan kivennäismailla ja pienimmillään turvemaiden mailla (kuva 11). Selvin ikäluokkien välinen ero oli turvemaiden mailla; nuoremmissa männiköissä neulasten kaliumpitoisuus oli korkeampi kuin varttuneissa taimikoissa. Neulasten kaliumpitoisuudet vaihtelivat melko paljon (nuorissa taimikoissa koealakohtaiset arvot 2,7–6,6 g kg⁻¹ ja varttuneissa 2,6–6,2 g kg⁻¹) ja varsin mataliakin kaliumpitoisuuksia esiintyi.

Peltojen välisen ravinnetalousvaihtelun tarkastelua varten jaettiin metsiköt kolmeen luokkaan neulasten keskimääräisten ravinnepitoisuuksien perusteella. Luokkarajoina käytettiin pääasiassa suomäntyjen neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvoja (Paarlahti ym. 1971, Veijalainen ym. 1984, Jukka 1988). Kivennäismaapeltojen männiköissä ei neulasanalyysin mukaan tavattu kaliumin puutetta (kuva 12). Multamailla alle 4,5 g kg⁻¹ pitoisuuksia esiintyi joka viidennessä taimikossa ja turvepelloilla kolmessa taimikossa neljästä. Alhaiset kaliumpitoisuudet turve- ja multamailla olivat yleisempiä varttuneissa kuin



Kuva 11. Neulasten ravinnepitoisuudet maaryhmittäin eri ikäisillä männyillä.
 Fig. 11. Foliar nutrient concentrations in pines belonging to different age groups on fields belonging to different soil type groups.



Kuva 12. Neulasten keskimääräisten kalium- ja booripitoisuuksien perusteella kolmeen ravinnetasoluokkaan (alhainen, välttävä, sopiva) jaettujen peltöjen suhteellinen osuus maaryhmittäin.

Fig. 12. Percentage of fields divided into nutritional groups according to average foliar potassium and boron concentrations in different soil type groups.

nuorissa taimikoissa.

Neulasten kalsiumpitoisuudet olivat suurimmat kivennäismaapelloilla ja pienimmät turve- mailla (kuva 11) ja samantasoiset kuin Pohjois-Savon turvepelloilla (Hynönen 1992). Magnesiumpitoisuudet olivat turveilla hieman korkeammat kuin kivennäismaapelloilla ja keskimäärin samantasoiset kuin Hynösen (1992) ja Fermin ym. (1992) aineistoissa.

Neulasanalyysin mukaan 42 %:ssa taimikoista tavattiin sinkkipitoisuuksia, jotka alittivat 40 mg kg⁻¹. Vain yhdessä taimikossa neulasten sinkkipitoisuus ylitti Raition (1978) esittämän lievän puutoksen (57 mg kg⁻¹) rajan. Neulasten sinkki-

pitoisuudet olivat kivennäismailla selvästi korkeammat kuin turve- ja multamailla, joilla ne olivat lähes yhtä suuret.

Neulasanalyysin mukaan boorin puutetta esiintyi Keski-Pohjanmaalla yleisesti sekä turve- että kivennäismaiden pelloilla; varttuneissa metsiköissä enemmän kuin nuorissa. Nuorissa taimikoissa neulasanalyysin mukaan ankaraa boorin puutetta esiintyi (alle 4,9 mg kg⁻¹) 21 %:ssa peltöjä, mutta varttuneissa peräti 53 %:ssa. Varttuneissa metsiköissä boorin puutetta esiintyi huomattavasti enemmän kivennäismailla kuin multa- ja turve- mailla (kuva 12). Veijalaisen ym. (1984) esittämän boorinpuutosrajan (7,0 mg kg⁻¹) alapuolelle

jäi 47 % nuorista mäntytaimikoista ja 74 % varttuneista mäntytaimikoista. Kivennäismaapelloilla varttuneiden taimikoiden neulasten keskimääräinen booripitoisuus oli vain hieman yli 5 mg kg⁻¹, kun se nuorissa taimikoissa oli lähes 11 mg kg⁻¹. Turvemailla vastaava pitoisuus oli varttuneissa taimikoissa hieman yli 7 mg kg⁻¹ ja nuorissa hieman alle 7 mg kg⁻¹.

3.2.2 Neulasten ravinnepitoisuudet ja taimien kasvu

Peltokohtaisten yhdistelmänäytteiden perusteella tarkasteltiin taimien pituuskasvun ja neulasten ravinnepitoisuuksien välisiä suhteita. Viiden viimeisen vuoden pituuskasvu oli ollut sitä suurempi mitä enemmän neulasissa oli booria, erityisesti suhteessa tyypeen, kalsiumiin ja magnesiumiin (kuva 13). Tämä pätee sekä nuoriin että varttuneisiin taimikoihin.

3.2.3 Neulasten ravinnepitoisuudet ja kasvuhäiriön esiintyminen

Kasvuhäiriön esiintymistä tarkasteltiin sekä pello- että koealatasolla. Neulasten ravinnepitoisuuksien peltokohtaisten keskiarvojen tarkastelussa todettiin booripitoisuuden alittaessa 6 mg kg⁻¹ varttuneissa taimikoissa esiintyvän kasvuhäiriöitä yleisesti (kuva 14). Sen sijaan nuorissa taimikoissa vastaavat ja alhaisemmatkaan neulasten booripitoisuudet eivät näkyneet suurina kas-

vuhäiriöisten puiden määrinä (kuva 14). Aineistosta laskettiin varttuneille taimikoille neulasten koealakohtaisten ravinnepitoisuuksien perusteella kasvuhäiriöiden esiintymistodennäköisyyksiä ennustavat logistiset mallit. Malli, jossa on mukana neulasten typpipitoisuus ja neulasten B/Mg-suhde, sopii hyvin yhteen tarkastellun aineiston kanssa (taulukko 5). Mallin perusteella turve- ja multamailla todennäköisyys sille, että koealalla oli vähintään yksi kasvuhäiriöinen taimi kasvoi jyrkästi, kun neulasten booripitoisuudet laskivat alle 6 mg kg⁻¹:n (kuva 15). Myöskin neulasten N/B-suhteen kasvaessa yli 3000 kasvuhäiriön todennäköisyys kasvoi (kuva 15). Neulasten korkea N/Ca- tai N/Mg-suhde samoin kuin korkea Ca/B- tai Mg/B-suhde olivat yhteydessä kasvuhäiriöiden esiintymistodennäköisyyteen. Kivennäismaiden koealoilla malli, jossa oli ainoastaan neulasten B/Ca-suhde, kuvasi käytetyn aineiston jo sellaisenaan melko hyvin (taulukko 5). N/P-suhteen lisääminen paransi kivennäismaiden mallia hieman. Myös kivennäismailla kasvuhäiriön esiintymisen todennäköisyys kasvoi neulasten booripitoisuuden alittaessa 6 mg kg⁻¹ (kuva 15). Kuten turve- ja multamaillakin myös kivennäismailla N/B-, Ca/B-, ja Mg/B-suhteiden kasvaessa lisääntyi todennäköisyys kasvuhäiriön esiintymiselle (kuva 15). Erotteluanalyysissä kaikki neulasten booripitoisuuteen liittyvät tunnuks (B mg kg⁻¹, N/B, P/B, K/B, B/Ca, B/Mg) olivat varsin vahvoja selittäjiä. Erottelufunktiot, joissa olivat selittäjinä vain neulasten N/B- ja B/Ca-suhteet, luokittelivat oikein 68 % niistä koealoista, joilla ei ollut

Taulukko 5. Neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella lasketut kasvuhäiriön esiintymistodennäköisyyttä ennustavat logistiset mallit ja niiden tunnusluvut. Mallit ovat muotoa $P = e^{(u)} / (1 + e^{(u)})$, jossa P = ennustettu todennäköisyys, $u = b_0 + \sum b_i X_i$ ja X = selittävä muuttuja.

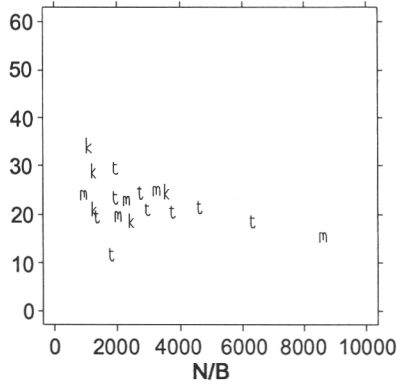
Table 4. Logistic regression models and their statistics predicting the occurrence of growth disturbances with foliar nutrient concentrations. Models have the form $P = e^{(u)} / (1 + e^{(u)})$ in which P = predicted probability, $u = b_0 + \sum b_i X_i$ and X = independent variable.

Tunnus Statistic	Turve- ja multamaat — Peat and mull fields			Kivennäismaat — Mineral soil fields					
	Malli 1 — Model 1			Malli 2 — Model 2			Malli 3 — Model 3		
	c ²	D.F.	p	c ²	D.F.	p	c ²	D.F.	p
Yhteensopivuus Goodness of fit (2*O*LN(O/E))	74,33	96	0,951	39,75	50	0,850	35,69	49	0,922
Yhteensopivuus Goodness of fit (Hosmer-Lemeshow)	2,75	8	0,949	7,13	8	0,522	5,97	8	0,651

Malli 1 — Model 1: b₀ = 17,22, b₁ = -1125, b₂ = -8,868 . X₁ =B/Mg , X₂ =N .
Malli 2 — Model 2: b₀ = 6,002, b₁ = -3829. X₁ = B/Ca.
Malli 3 — Model 3: b₀ = -5,057, b₁ = -4869, b₂ = 1,440. X₁ = B/Ca, X₂ = N/P.

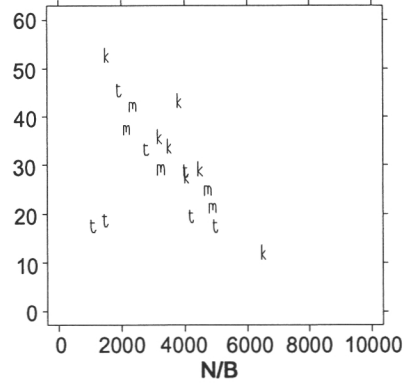
Nuoret taimikot -
Young pine plantations

Pituuskasvu -
Height growth, cm/a

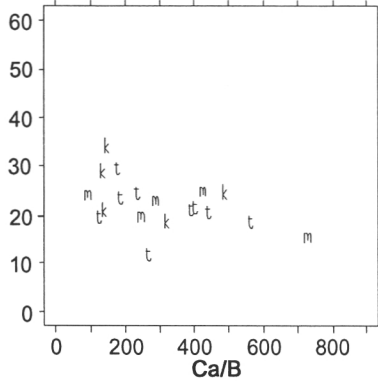


Varttuneet taimikot -
Old pine plantations

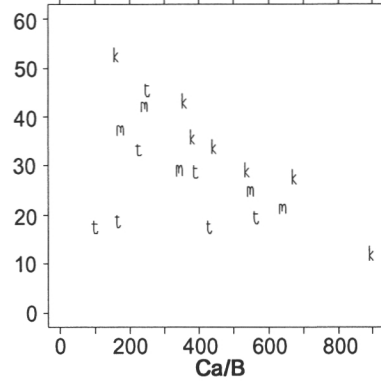
Pituuskasvu -
Height growth, cm/a



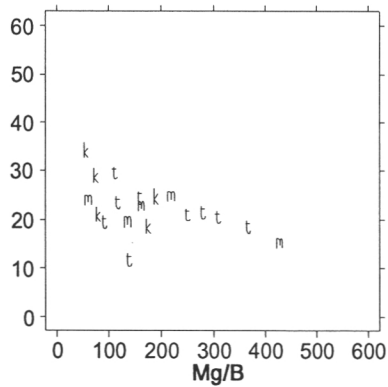
Pituuskasvu -
Height growth, cm/a



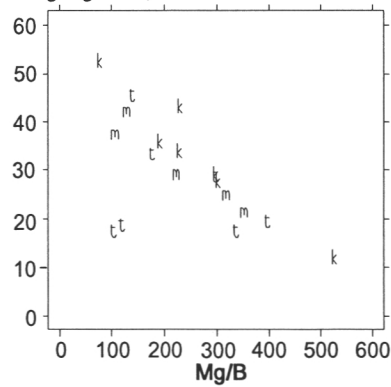
Pituuskasvu -
Height growth, cm/a



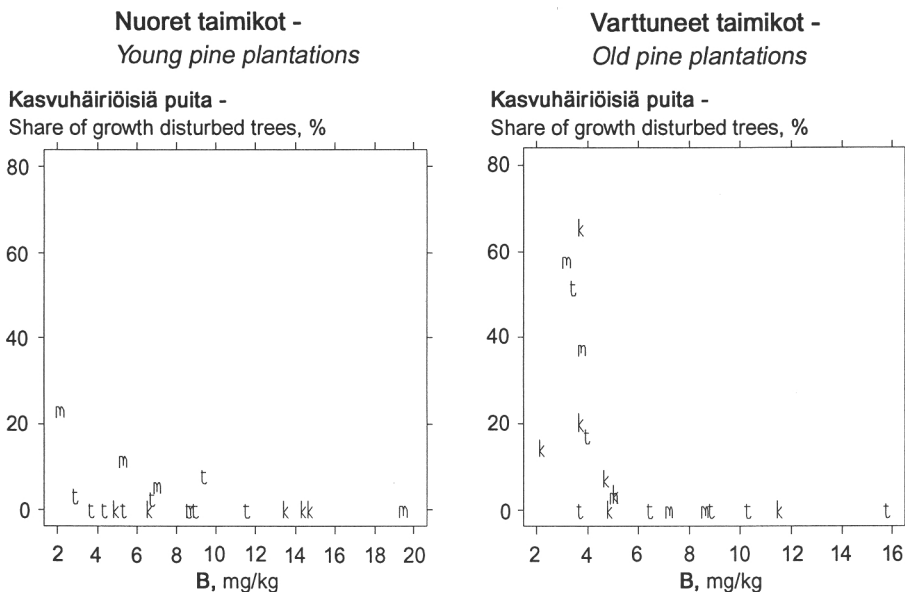
Pituuskasvu -
Height growth, cm/a



Pituuskasvu -
Height growth, cm/a



Kuva 13. Mäntyjen pituuskasvun riippuvuus neulasten N/B, Ca/B-, Mg/B- suhteesta.
Fig. 13. Correlation between height growth of pines and foliar N/B, Ca/B, Mg/B ratios.



Kuva 14. Kasvuhäiriöisten puiden osuuden riippuvuus neulasten booripitoisuudesta nuorissa (A) ja varttuneissa (B) taimikoissa maaryhmittäin. t = turvemaa, m = multamaa, k = kivennäismaa.

Fig. 14. Correlation between the percentage of the pine saplings afflicted by growth disturbances and foliar boron content in young (A) and (B) old pine plantations in different soil type groups. t = peat, m = mull, k = mineral soil.

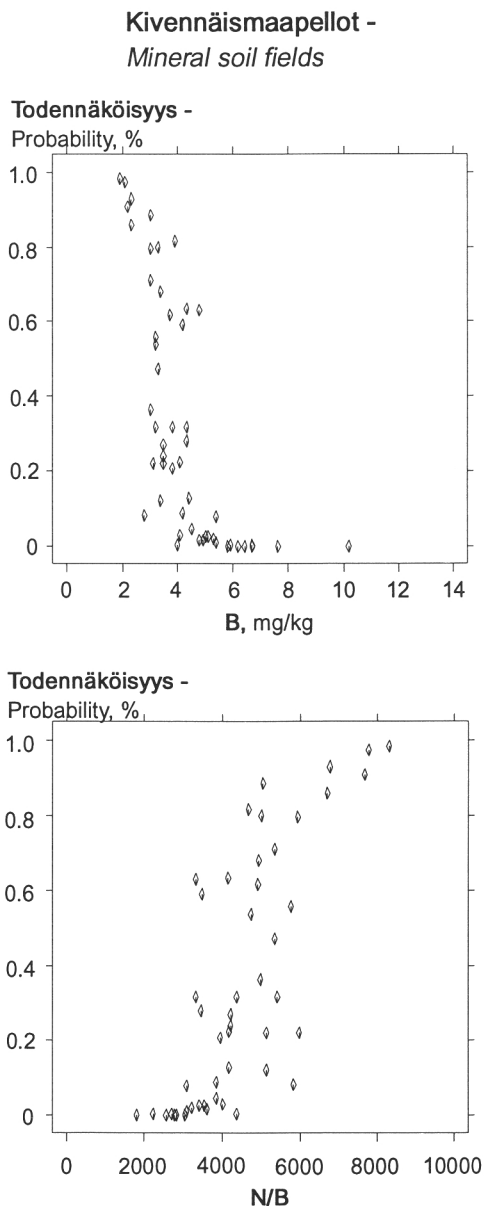
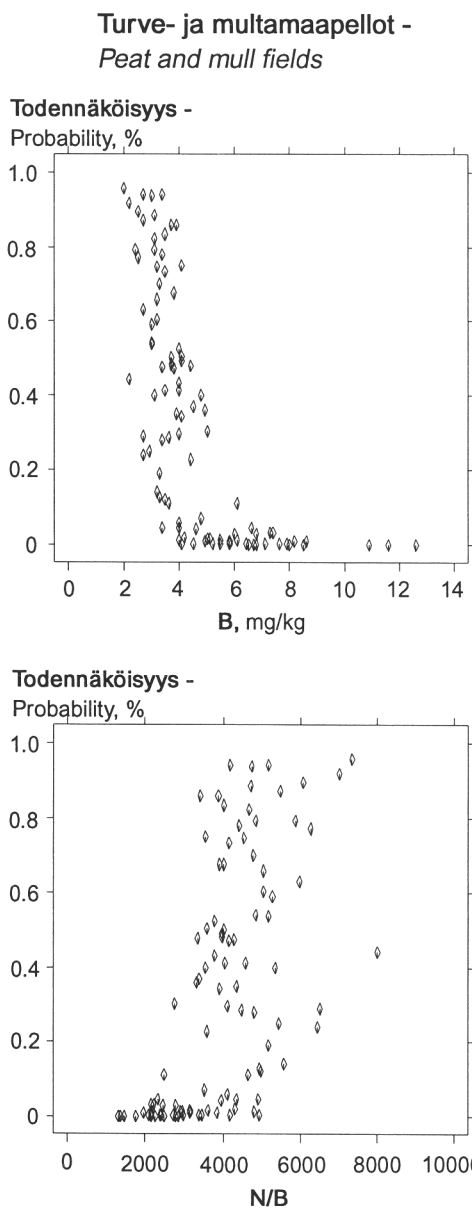
kasvuhäiriöitä, ja 72 % kasvuhäiriöisistä koealoista. Kun erottelufunktioissa olivat selittäjinä neulasten N-, Ca-, ja Zn-pitoisuudet sekä N/B-suhde, kyettiin luokittelemaan oikein 75 % kasvuhäiriöttömistä ja 80 % kasvuhäiriöisistä koealoista.

Turve- ja multamailla vahvoina erottelijoina olivat neulasten booripitoisuuden ja boorin ja pääravinteiden suhteiden lisäksi myös neulasten typpipitoisuus ja typen suhde kalsiumiin ja magnesiumiin. Kivennäismaaryhmässä sen sijaan erottelijoina olivat ainoastaan — samoin kuin yhdistetyssä aineistossa — booripitoisuus ja boorin ja pääravinteiden suhteet. Kivennäismailla erottelufunktiot, joissa erottelijoina olivat neulasten N/B- ja B/Ca-suhteet, luokittelivat oikein 74 % kasvuhäiriöttömistä ja 77 % kasvuhäiriöisistä koealoista. Orgaanisten maiden ryhmässä vastaava malli luokitteli oikein 56 % kasvuhäiriöttömistä ja 82 % kasvuhäiriöisistä koealoista. Kun orgaanisten maiden ryhmässä malliin lisättiin neulasten typpipitoisuus, parani mallin luokittelukyky niin, että 74 % kasvuhäiriöttömistä ja 91 % kasvuhäiriöisistä koealoista luokiteltiin oikein.

3.3 Neulasten ravinnepitoisuuksien riippuvuus maan ravinne määrästä

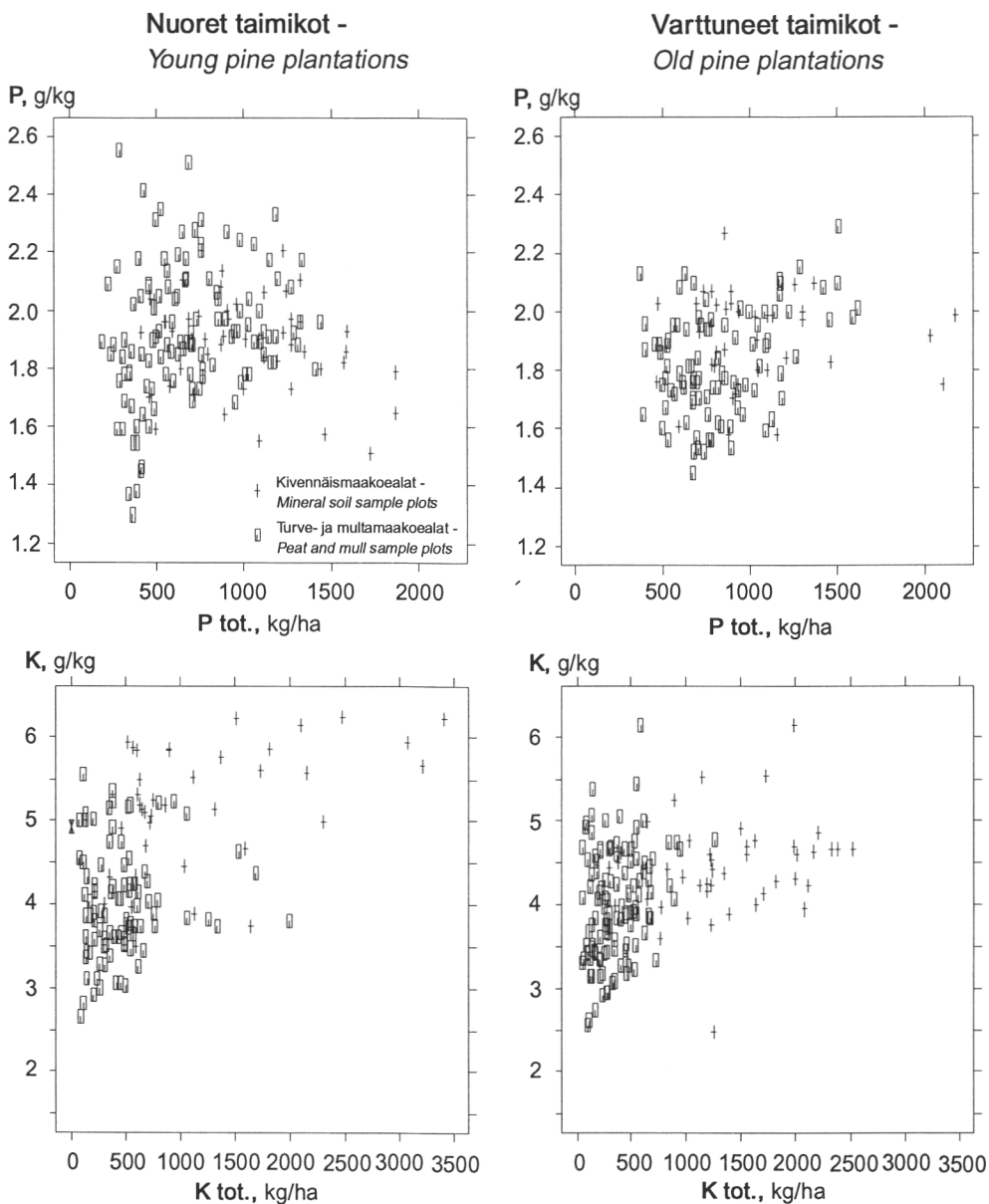
Neulasten ravinnepitoisuuksien ja vastaavien maan kokonais- ja uuttuvien ravinteiden määrien (kg ha^{-1}) ja maan ravinnepitoisuuksien (g kg^{-1}) väliset korrelaatiot olivat useimmiten varsin heikkoja (liite 1). Neulasten typpipitoisuus ei korreloinut maan pintakerroksen (0–10 cm) typen määrän kanssa.

Turvemaiden koealoilla neulasten fosforipitoisuus kasvoi maan kokonaisfosforin määrän tai pitoisuuden kasvaessa (kuva 16). Neulasten kaliumpitoisuudet korreloivat positiivisesti maan kaliumin määrän kanssa lukuunottamatta nuorien taimikoiden turvekoealojen aineistoa (kuva 16). Neulasten booripitoisuuksien ja maan boorin määrän väliset korrelaatiot olivat heikkoja (liite 1).



Kuva 15. Kasvuhäiriöiden ennustetun todennäköisyyden riippuvuus neulasten booripitoisuuksista ja neulasten N/B-suhteesta turve- ja multamaapelloilla.

Fig. 15. Correlation between the predicted probability of growth disturbances and foliar boron concentrations and the foliar N/B ratio on peatland and mull fields.



Kuva 16. Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuden riippuvuus vastaavien ravinteiden kokonaismäärästä (kg ha⁻¹) (A nuoret, B varttuneet taimikot).

Fig. 16. Correlation between foliar phosphorus and potassium concentrations and corresponding total amounts of these nutrients in soil (kg ha⁻¹) (A young, B old pine plantations).

4 Tarkastelu

Tulosten luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Tutkimuksen maanäytteet kerättiin pelloilta, jotka olivat satunnaisotos 1970- ja 1980-lukujen alkuvuosien pellonmetsityksistä Keski-Pohjanmaalla. Näytteet otettiin 10 cm:n pintakerroksesta siitä pinnanmuodosta, johon taimet oli istutettu. Muokkauskerroksen alapuolelta otettu näyte olisi voinut tuoda lisäinformaatiota kasvupaikan luontaisesta ravinteisuudesta (Kaunisto 1991). Pääosa puiden juurista, ainakin turvemaidella, on kuitenkin pintakerroksessa (Heikurainen 1955, Paavilainen 1966, 1967, Finer 1991). Pääsääntöisesti alueet oli pallegynnetty yksisiipisellä maatalousauralla, joten palteeseen kääntynyt ja maanäytteeksi otettu maa on peräisin melko homogeenisesta pellon muokkauskerroksesta.

Ravinnemääritykset maasta tehtiin kaikista näytteistä tuhkan suolahappouutoksesta riippumatta näytteen maan orgaanisen aineen osuudesta (Halonen ym. 1983). Näin määritetyt ravinteiden kokonaismäärät ja -pitoisuudet ovat etenkin kivennäis- ja multamailta aliarvioita todellisista kokonaismääristä ja -pitoisuuksista. Saman analyysimenetelmän käyttöä puolsi orgaanisen ja kivennäismaan välisen rajan osoittamisen vaikeus. Turvepelloilla mm. kivennäismaan ja turpeen sekoittuminen sekä painomaan vaihteleva käyttö vaikeuttivat rajanvetoa. Ravinneanalyysiä varten maanäytteet kuivattiin 70°C:ssa. Kuivatuslämpötila vaikuttaa eräiden ammoniumasetaattiin uuttuvien ravinteiden määrään. Lämpötilan kasvaessa uuttuvan fosforin määrä lisääntyy ja uuttuvan raudan määrä pienenee (Saarinen 1989). Myöskin pH määritettiin 70°C:ssa kuivatuista näytteistä. Tämä lienee myös alentanut pH-arvoja tässä tutkimuksessa. Saarinen (1989) suosittaakin näytteiden kuivatuslämpötilaksi 20–40°C määritettäessä uuttuvia ravinteita. Maatalouden tutkimuskeskuksen ohjeissa maanäytteiden kuivatuslämpötila ravinnemäärityksiä varten onkin +35°C (Methods ... 1986).

Luokitus

Peltojen kasvupaikkatyyppin määrittäminen pintakasvillisuuden perusteella osoittautui tässä tutkimuksessa varsin vaikeaksi suorittaa. Myös inventoitujen peltojen lukumäärä (14–20 kpl/ikäryhmä)

rajoitti aineiston jakamista moniin ryhmiin. Hynösen (1992) mukaan turvepeltojen luokittelu alkuperäisen suotyypin mukaan on mahdollista pellon ympärillä olevien soiden ja kankaiden kasvupaikkojen, pellon pintakasvillisuuden määrän ja pellon historiasta kertovan tiedon (mm. ojien juurakot) avulla. Metsitetyt pellot jaettiin tässä tutkimuksessa kuitenkin vain turvemaihin, multamaihin ja kivennäismaihin turpeen paksuuden, maan tiheyden ja orgaanisen aineen määrän perusteella. Luokitus ei ollut sama kuin maataloudessa käytetty (turvemaiden orgaanisen aineen määrä yli 40 %, multamaisissa 20–40 %), koska turvemaidet haluttiin erottaa myös muokkauskerroksen alapuolisen turvekerroksen mukaan. Turvepeltojen luokitusta vaikeuttaa pintakerroksen muuttuminen viljelyn aikana. Vaikka peltojen tarkkaa historiaa ei ollut tiedossa, voitiin päätellä painomaata käytetyn turvepelloilla varsin yleisesti.

Vaikka metsitetyt pellot olivat keskimäärin varsin pienialaisia, osoittautui pellon sisäinen vaihtelu kuitenkin suureksi. Turvemaidella maan tiheys ja orgaanisen aineen osuus pintakerroksessa vaihtelivat hyvin paljon sekä Keski-Pohjanmaalla että Pohjois-Savossa (Hynönen 1992). Samalla pellolla saattoi olla kaikkiin maaluokkiin kuuluvia koealoja. Kun käytettyä maaluokitusta tarkasteltiin erotteluanalyysillä, maan ravinnemäärät erottelivat ryhmät paremmin kuin neulasten ravinnepitoisuudet. Erotteluanalyysissä kivennäismaat erottuivat selvästi omaksi ryhmäkseen, turve- ja multamaita sen sijaan lomitettiin.

Suomen peltoalasta on turvemaita n. 10 % ja eloperäisiä maita n. 20 % (Heikkilä 1989). Keski-Pohjanmaalla viljavuustutkimusten näytteistä 1960-luvun alkupuolella oli turvemaita 23 % ja multamaita 19 % (Kurki 1969, 1972). Metsitetyn peltoalan jakautumista eri maaluokkiin ei kuitenkaan tiedetä. Tämän tutkimuksen aineistossa turvemaiden osuus inventoitujen metsitysten kokonaispinta-alasta oli eri ositteissa 36–53 %. Kun multamaita luetaan mukaan, eloperäisiä maita oli kaikkien Keski-Pohjanmaan pellonmetsitysten pinta-alasta 65–87 %. Turve- ja multamaiden peltoja on metsitetty huomattavasti enemmän kuin on niiden osuus (42 %) peltoalasta (Kurki 1969, 1972) edellyttäisi. Rauduskoivikoista oli yhtä suuri osuus (21 %) viljelty kiven-

näismaalle kuin männyistäkin. Pellonmetsitykset olivat ainakin 1970- ja 1980-luvuilla Keski-Pohjanmaalla keskittyneet eloperäisille maille. Mikäli kaikkien Keski-Pohjanmaan pellonmetsitysten jakauma maaluokkiin olisi samanlainen koko metsitysalasta (3600 ha) olisi turvepeltoja metsitetty 1300–1900 ha ja eloperäisiä maita yhteensä 2300–3100 ha. Maan fysikaalisten ominaisuuksien perusteella voidaan päätellä, että ensimmäiseksi lienee metsitetty turvepelloistakin paksuturpeisimpia sekä niitä, joille ei ollut lisätty painomaata. Rauduskoivikot oli viljelty viljavammille pelloille kuin männyt.

Ravinnetalous

Soiden luontaisella ravinnetaloudella typeä lukuunottamatta ei ole kovin suurta merkitystä maatalouden kasvintuotannossa, koska taloudellinen peltoviljely ei ole mahdollista ilman lannoitusta (Pessi 1971). Metsätaloudessa on sen sijaan syytä tarkastella ravinteiden riittävyyttä koko puuston kiertoajaksi. Peltojen viljelyn aikaiset toimenpiteet ovat muuttaneet erityisesti turvepeltoja vaihtelevasti riippuen turpeen paksuudesta, alkuperäisestä suotyypistä ja viljelyhistoriasta, painomaan käytöstä, lannoituksista, kalkituksista, pellon iästä ja kuivatuksen tasosta. Painomaan käyttö näkyi maan fysikaalisista ominaisuuksissa paksuturpeisten peltojen pintakerroksessa korkeana tiheytenä ja alhaisena orgaanisen aineen määränä verrattuna ojitusalueisiin (Kaunisto & Paavilainen 1988).

Metsitetyillä turvepelloilla Keski-Pohjanmaalla oli kalsiumia valtaosin kaksi kertaa ja magnesiumia 10–20 kertaa enemmän kuin suometsissä (Kaunisto ja Paavilainen 1988), mutta saman verran kuin Pohjois-Savon turvepelloilla (Hynönen 1992). Kalkituksen lisäksi Anttisen (1957a,b) mukaan myös saven lisääminen nostaa suopelton pH:ta. Vanhoilla pellonmetsitysalueilla Keski-Pohjanmaalla, Pohjois-Savossa ja Alkkiassa pH oli kuitenkin huomattavasti alempi kuin Suomen peltojen keskimääräinen pH (5,6) 1960-luvun lopussa (Lakanen ym. 1969, Kurki 1972, Kaunisto 1991, Hynönen 1992). Koska pH ei yhdelläkään pelloilla kohonnut 4,8:aa korkeammaksi (korkein koealakohtainen pH-arvo oli 5,3) se ei vaikuttanut haitallisesti fosforin tai eräiden hivenravinteiden liukoisuuteen.

Kokonaistypen määrä peltojen pintakerroksessa oli suuri. Keski-Pohjanmaan kivennäismaidenkin pelloissa oli pintakerroksessa lähes yhtä paljon typeä kuin ojitetuilla soilla tai karuilla suo-

pelloilla (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto 1991). Turvepeltojen typpimäärä oli keskimäärin noin 1000 kg ha⁻¹ suurempi kuin Pohjois-Savon turvepelloilla (Hynönen 1992). Neulasanalyysien mukaan yhdelläkään pelloilla ei esiintynyt typen puutetta, vaan neulasten typpipitoisuudet olivat varsin korkeita. Pitoisuudet olivat suuremmat kuin Pohjois-Savon turvepelloilla (Hynönen 1992).

Fosforia oli enemmän kivennäismaiden kuin turvemaiden pelloilla. Turvepeltojen kokonaisfosforin määrä Keski-Pohjanmaalla oli noin 200 kg ha⁻¹ suurempi kuin Pohjois-Savossa (Hynönen 1992) ja moninkertainen vanhoihin ojitusalueisiin verrattuna (Kaunisto ja Paavilainen 1988). Uuttuvaa fosforia oli saman verran kuin Kauniston (1991) peltoaineistossa. Fosforista vain vajaa 1 % oli uuttuvassa muodossa. Turvepelloilla uuttuvan fosforin määrään vaikutti orgaanisen aineen osuus maassa. Fosfori saattaa sitoutua esim. rautaan, jota eräillä pelloilla Keski-Pohjanmaalla kuten Pohjois-Savossakin (Hynönen 1992) esiintyi runsaasti, tai alumiiniin (Puustjärvi 1953, Kaila 1963, Valmari 1970). Vaikkakin Valmarin (1970) mukaan rauta ei sido fosforia erityisen voimakkaasti pelloilla, pieneni uuttuvan fosforin osuus kokonaisfosforista raudan määrän kasvaessa. Mäntyjen neulasten ravinnepitoisuuksien tarkastelu osoitti, että taimikoissa ei esiintynyt fosforin puutosta.

Kokonaiskaliumia oli kivennäismailla moninkertaisesti turvepeltoihin verrattuna. Turvepelloillakin kaliumin määrä Keski-Pohjanmaalla, kuten Pohjois-Savossakin (Hynönen 1992) oli suurempi kuin Alkkian turvepelloilla, ja 10–20-kertainen vanhoihin ojitusalueisiin nähden (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto 1991). Painomaan käytöllä — erityisesti saveuksella, mutta myös hiekoituksella — on huomattava kaliumlannoitusvaikutus. Ne voivatkin peltoviljelyssä pienentää kaliumlannoitustarvetta (Isotalo 1953, Anttinen 1957a, 1957b, Pessi 1960, 1961b). Anttinen (1957b) toteaa saven lisäävän myös uuttuvan fosforin määrää, koska turpeessa oleva rautafosfaatti muuttuu saveuksen ansiosta helpommin liukenevaan muotoon. Painomaan käytöstä ilmeisesti johtui tämänkin tutkimuksen maan kalium- ja fosforimäärien lisääntyminen turvepelloilla tiheyden kasvaessa ja orgaanisen aineen määrän vähentyessä (ks. myös Kaunisto 1991). Turvepelloillakin, ilmeisesti johtuen painomaan käytöstä ja kivennäismaan sekoittumisesta pintaturpeeseen, vain vajaa kolmasosa kaliumista oli uuttuvassa muodossa, kun turvepeltojen muokauskerroksen alapuolella, suometsissä ja kan-

gasmaiden humuksessa uuttuvan kaliumin osuus on yli 90 % (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto 1991, Tamminen 1991). Uuttuvaa kaliumia oli turvemilla lähes yhtä paljon kuin kivennäismilla, vaikka kokonaismäärät kivennäismilla olivat huomattavasti suuremmat.

Neulasanalyyysien mukaan kaliumin puutosta esiintyi vain turvemilla. Keski-Pohjanmaalla, kuten Pohjois-Savossakin (Hynönen 1992) neulasten kaliumpitoisuus oli turvemilla alle 4,5 g/kg. Kaliumin puutosta esiintyi enemmän varttuneissa kuin nuorissa taimikoissa.

Turveltojen hivenravinnetilanne on usein huonompi kuin kivennäismaiden peltojen (Kurki 1975). Vaikka booria oli eniten kivennäismilla niin maaryhmien väliset erot boorin määrässä olivat varsin pienet. Boorin määrä ei riipukaan kovin paljon maalajista (Kurki 1975). Booria Keski-Pohjanmaalla oli hieman enemmän kuin Pohjois-Savossa (Hynönen 1992) ja noin kaksi kertaa niin paljon kuin Alkkian turvelloilla (Kaunisto 1991) tai vanhoilla ojitusalueilla (Kaunisto ja Paavilainen 1988). Neulasanalyyysin mukaan boorin puutosta esiintyi Keski-Pohjanmaalla yleisesti turvelloilla, kuten Pohjois-Savossakin (Hynönen 1992) mutta myös kivennäismaiden pelloilla. Nuorissa taimikoissa neulasten booripitoisuudet olivat matalia joka viidennessä taimikossa ja varttuneissa peräti joka toisessa.

Pellonmetsitysalueilla sekä Keski-Pohjanmaalla, Pohjois-Savossa että Alkkiassa sinkkiä oli huomattavasti vähemmän kuin vanhoilla ojitusalueilla (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Kaunisto 1991, Hynönen 1992). Samoin kuin viljelyillä pelloilla sinkkiä oli enemmän kivennäis- kuin turvemilla (Kurki 1975, Urvas ym. 1992). Tämä näkyi myös neulasten sinkkipitoisuuksissa. Keski-Pohjanmaan turvelloilla neulasten sinkkipitoisuudet olivat samantasoiset kuin Pohjois-Savossakin (Hynönen 1992). Neulasanalyyysien mukaan 42 %:ssa taimikoista neulasten sinkkipitoisuus alitti 40 mg kg⁻¹.

Kasvuhäiriö

Ravinneperäiset kasvuhäiriöt, joiden kehitystä, tuntomerkkejä ja syitä on kuvattu kasvuhäiriöprojektin raporteissa (Veijalainen ym. 1984, Kolari 1988), ovat pellonmetsitysalueilla yleinen ongelma (Silfverberg 1980, Veijalainen 1983, Hytönen 1991a, 1991b, Valtanen 1991, Ferm ym. 1992, Hynönen 1992). Boorin puutosta esiintyi maataloudessa ohrassa eri puolilla Suomea runsaasti 1960-luvun puolivälistä alkaen (Simo-

joki 1991). Tässä tutkimuksessa ravinneperäisiä kasvuhäiriöitä esiintyi runsaasti (10–16 % puita) 15–16 vuotta sitten viljellyissä männikoissä. Nuorissa taimikoissa kasvuhäiriön ulkoisia tuntomerkkejä havaittiin vähän, vaikka neulasten booripitoisuudet olivatkin matalia. Kasvuhäiriöisiä puita esiintyi pelloilla laikuittain. Kasvuhäiriöriskiä ei ennustanut jako kivennäis- ja turvemaiden peltoihin.

Neulasista mitatuista ravinnepitoisuuksista sekä turve- että kivennäismilla selvimmin kasvuhäiriötä ennusti neulasten alhainen booripitoisuus — etenkin suhteessa pääravinnepitoisuuksiin. Orgaanisilla mailla tärkeitä selittäjiä olivat myös neulasten typpipitoisuus ja sen suhteet pääravinteisiin (Veijalainen ym. 1984). Neulasten booripitoisuuden alittaessa raja-arvon 6 mg kg⁻¹ lisääntyi kasvuhäiriöisten puiden osuus jyrkästi kaikilla kasvupaikoilla. Aiemmin kriittisen matalaksi booripitoisuuden raja-arvoksi on esitetty 7 mg kg⁻¹ (Reinikainen & Veijalainen 1983). Saattaa olla, että uusimmilla pellonmetsityksillä esiintyy vähemmän boorinpuutoksia kuin vanhemmilla, koska maanviljelyssä käytettäviin lannoitteisiin lisättiin booria 1970-luvun puolivälissä (Simojoki 1991).

Kasvien boorin ottoon vaikuttavat mm. maan pH, sekä kalsiumin ja magnesiumin määrä (Gupta 1979). Maan magnesiumin kokonaismäärä — etenkin suhteessa kalsiumiin, typpeen ja kaliumiin — ja uuttuva määrä ennustivatkin hyvin kasvuhäiriötä orgaanisilla mailla. Peltojen viljelyn aikainen kalkitus on voinut aiheuttaa ravinnetaloudellisia ongelmia kasvien kalsiumin, magnesiumin ja boorin suhteissa (Raitio 1979, Lipas 1990, Teasdale & Richards 1990). Tähän viittaa myös kivennäismaiden kasvuhäiriötä ennustavissa malleissa mukana olleet uuttuvan magnesiumin määrä sekä typen ja magnesiumin suhde. Tässä tutkimuksessa kasvuhäiriön todennäköisyyden lisääntyi myös neulasten Ca/B- ja Mg/B-suhteiden kasvaessa. Kivennäismaiden lannoituskokeilla kalkitus on alentanut neulasten booripitoisuuksia (Lipas 1990) ja turvemilla on männyn neulasten ravinnepitoisuustarkasteluissa todettu boorin ja kalsiumin vuorovaikutus (Raitio & Rantala 1977, Raitio 1979, Reinikainen & Silfverberg 1983). Myös maataloudellisissa tutkimuksissa vakavan boorinpuutteen on havaittu liittyvän kalkitukseen (Saarela 1985). Neulasten korkea typpipitoisuus sekä korkea typen ja boorin suhde lisää kasvuhäiriön riskiä (ks. Reinikainen & Veijalainen 1983, Veijalainen ym. 1984, Kolari 1988). Erottelufunktiolla, jossa oli selittäjinä neulasten N-, Ca-, Zn-pitoisuudet ja N/B-suhde kyettiin

luokittelemaan oikein 80 % koealoista, joilla tavattiin kasvuhäiriöitä. Kasvuhäiriön luokitus onnistui paremmin neulas- kuin maatunnusten avulla.

Jako turve- ja kivennäismaiden peltoihin luonnehti kasvupaikkoja ravinnetaloudellisesti pääravinteiden osalta melko hyvin. Kivennäismailla ei esiintynyt pääravinteiden puutetta. Turvepeltojen välinen ja sisäinen vaihtelu oli suurta, eikä niitä voidakaan enää rinnastaa fysikaalisten ominaisuuksien tai ravinnemäärien puolesta ojitettujen turvemaiden kasvupaikkoihin. Turvepeltojen ravinteisuustasoa ja metsityskelpoisuutta määrittäessä on syytä tarkastella fysikaalisten suureiden lisäksi myös ravinnemääriä. Ravinneanalyysien käyttö turvepelloilla lienee usein perusteltua, vaikkakin Hynösen (1992) mukaan maas-

tossa tapahtuvalla tiedon keruulla on mahdollista selvittää ravinteisuustaso melko tarkasti.

Keski-Pohjanmaan pellonmetsitysalueilla ei tutkimuksen mukaan esiintynyt typen tai fosforin puutetta. Ainoastaan turvepelloilla tavattiin kaliumin puutetta. Sekä kivennäis- että turvepelloilla esiintyi yleisesti boorin puutosta. Ravinneperäiseen kasvuhäiriön ulkoisia tuntomerkkejä havaittiin varttuneissa metsiköissä runsaasti, kun neulasten booripitoisuus alitti kriittisen rajan arvon 6 mg kg⁻¹. Vaikka nuorissa taimikoissa neulasten booripitoisuudet olivat matalia, niihin ei liittynyt kasvuhäiriön ulkoisia oireita. Erityisesti boorin ja kalsiumin sekä boorin ja magnesiumin suhteet liittyivät kasvuhäiriöön sekä turve- että kivennäismailla.

Kirjallisuus

- Anttinen, O. 1957a. Rahkasuon lannoitus- ja maanparannuskokeen tuloksia. Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja 155. 30 s.
- 1957b. Saraturvesuon saveus- ja lannoituskokeen tuloksia. Referat: Ergebnisse eines Lehzufuhr- und Düngungsversuchs auf Seggentorfmoor. Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja 163. 20 s.
- Ekola, E. 1991. Peltomaiden ominaisuudet ja metsänkasvatus. Abstract: Soil characteristics and afforestation of former agricultural fields. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391: 60–65. ISBN 951-40-1179-9, ISSN 0358-4283.
- Erviö, R. 1970. The importance of soil bulk density in soil testing. *Annales Agriculturae Fenniae* 9:278–286.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147:305–316.
- Finér, L. 1991. Root biomass on an ombrotrophic pine bog and the effects of PK and NPK fertilization. Tiivistelmä: Ohutjuurten biomassa lannoitetulla ja lannoittamattomalla ombrotrofisella rämeellä. *Silva Fennica* 25(1):1–12. ISSN 0037-5330.
- Gupta, U.C. 1979. Boron nutrition of crops. *Advances in Agronomy* 31:273–307.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s. ISBN 951-40-068-6, ISSN 0358-4283.
- Heikkilä, R. 1989. Soiden maataloudellinen merkitys nyt ja tulevaisuudessa. Abstract: Peatlands in Finnish agriculture now and in the future. *Suo* 40(2–3):111–113. ISSN 0039-5471.
- Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen: Referat: Der Wurzelbau der Kiefernbestände auf Reisermoorenböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. *Acta Forestalia Fennica* 65(3). 85 s.
- Hovila, P. 1991. Peltojen metsittäminen Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 374:35–36. ISBN 951-40-1145-7, ISSN 0358-4283.
- Hynönen, T. 1991. Turvemaapeltojen metsitys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 383:33–38. ISBN 961-40-1159-7, ISSN 0358-4283.
- 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvemaapeltojen metsittämiseen. Helsingin Yliopisto, Maatalousmetsätieteellinen tiedekunta. Tutkielma maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatin tutkintoa varten. 181 s.
- Hynönen, T. & Saksa, T. 1991. Peltojen metsistytulos Pohjois-Savossa 1970- ja 1980-luvulla. Abstract: Field afforestation in Savo, eastern Finland, in the 1970's and 1980's. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391:29–34. ISBN 951-40-1175-9, ISSN 0358-4283.
- Hytönen, J. 1991a. Peltojen metsityksen tuloksia Keski-Pohjanmaalta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 394:18–30. ISBN 951-40-1180-5, ISSN 0358-4283.
- 1991b. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. Abstract: Field afforestation in central Ostrobothnia, western Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391:22–28. ISBN 951-40-1180-5, ISSN 0358-4283.
- Isotalo, A. 1953. Suoviljelysten lannoitustarpeesta. *Maatalous ja koetöiminta* 8:26–33.
- Jukka, L. (toim.) 1988. Metsänterveysopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s. ISBN 951-9176-34-9.
- Kaila, A. 1963. Dependence of the phosphaate sorption capacity on the aluminium and iron in Finnish soils. *Maataloustieteellinen aikakauskirja* 28:168–177.
- Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. *Seloste: Männyn istutustaimien kehityksen riippuvuus turpeen ominaisuuksista sekä lannoituksesta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109. 56 s. ISBN 951-50-0597-X, ISSN 0358-6909.
- 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi eräillä Alkkian metsitetyillä suopelloilla. Summary: Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia. *Folia Forestalia* 778. 32 s. ISBN 951-40-1171-6, ISSN 0015-5543.

- & 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. ISBN 951-40-1004-3, ISSN 0358-9609.
- Kolari, K. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Kasvuhäiriöprojektin loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 310. 35 s. ISBN 951-40-1018-3, ISSN 0358-4283.
- Kurki, M. 1969. Suoviljelysten viljavuustutkimuksista. Summary: Fertility studies of cultivated peatlands. Suo 20(2):29–32.
- 1972. Suomen peltojen maalaji-, multavuus- ja happamuussuhteista. Summary: Soil classes of Finnish agricultural soils with special reference to their mull content and acidity. Suo 23(3–4):57–61.
- 1975. Eloperäisten maiden hivenravinnetilanteesta. Summary: Trace elements in organic agricultural soils. Suo 26(5):93–94.
- Laitinen, I. 1988. Peltojen ja peltoheittojen metsittämisen biologiset ongelmat. Katsaus Pohjoismaiseen kirjallisuuteen. Helsingin Yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos. Pro gradu -työ. 99 s.
- Lakanen, E., Sillanpää, M., Kurki, M. & Hyvärinen, S. 1969. Maan viljavuustekijäin keskinäiset vuorosuhteet maalaajettain. Summary: On the interrelations of pH, calcium, potassium and phosphorus in Finnish soil tests. Maataloustieteellinen aikakauskirja 42:59–67.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 352. 22 s. ISBN 951-40-1097-3, ISSN 0358-4283.
- Methods of soil and plant analysis. 1986. Agricultural Research Centre. Department of Soil Science. Jokioinen. 45 s. ISBN 951-729-285-6.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männikköiden laitemustilan määrittämisessä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(5). 58 s.
- Paavilainen, E. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(1). 110 s.
- 1967. Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan. Summary: Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63(6). 21 s.
- 1970. Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä. Summary: Experimental results on the afforestation of swampy fields. Folia Forestalia 77. 25 s.
- 1977. Männyn istutus suopeltojen metsityksessä. Summary: Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields. Folia Forestalia 261. 27 s. ISBN 951-40-0298-9, ISSN 0015-5543.
- Pessi, Y. 1960. Kivennäismaan merkityksestä mutasuon maanparannusaineena Läteensuon koaseman pitkäaikaisten kenttäkokeiden perusteella. Summary: On the significance of mineral soil as a soil improving agent on fens on the basis of prolonged field tests at Läteensuo experimental station. Acta Agraria Fennica 95(3). 21 s.
- 1961a. Suoviljelysten niitonurmen perustamisesta ja hoidosta. Summary: Observations at Läteensuo on the laying down to grass of peatlands and on the tending of the grass leys. Acta Agraria Fennica 97(2). 28 s.
- 1961b. Results from a soil improvement and fertilizing test on fenland at Läteensuo. Maataloustieteellinen aikakauskirja 33:223–232.
- 1961c. The volume weight of the organic matter in the plough layer of peatlands cultivated by different methods. Maataloustieteellinen aikakauskirja 33:248–255.
- 1961d. The ash content of the plough layer of peatlands cultivated by different methods. Maataloustieteellinen aikakauskirja 33:215–222.
- 1971. Luontaisen ravinteisuuden merkityksestä soiden maa- ja metsätaloudelliselle käytölle. Summary: On the significance of natural nutrient resources for the utilization of peatlands in agriculture and forestry. Suo 22(1):8–12.
- Puustjärvi, V. 1953. Raudan saostuminen soissa. Suo 4(1b):5–12.
- Raitio, H. 1978. Pääravinnelannituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla karulla avosuolla. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 7(5):1–9.
- 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Summary: Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms. Folia Forestalia 412. 16 s. ISBN 951-40-0419-1, ISSN 0015-5543.
- & Rantala, E.-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Summary: Macroscopic and microscopic symptoms of a growth disturbance in Scots pine. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(1). 30 s.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116:44–48. ISBN 951-40-0623-2, ISSN 0358-6909.
- & Silfverberg, K. 1983. Significance of whole-tree nutrient analysis in the diagnosis of growth disorders. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116:48–58. ISBN 951-40-0623-2, ISSN 0358-6909.
- Rossi, S., Varmola, M. & Hyppönen, M. 1991. Lapin pellonmetsitysinventoinnin tulokset. Abstract: Results of field afforestation inventory in Lapland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391:15–19. ISBN 951-40-1179-9, ISSN 0358-4283.
- Saarela, I. 1985. Plant-available boron in soils and the boron requirement of spring oilseed rapes. Selostus: Kasveille käyttökelpoinen maan boori ja kevätropsin ja -rapsin boorin tarve. Annales Agriculturae Fenniae 24:183–265. ISSN 0570-1538.
- Saarin, J. 1989. Effect of drying temperature on the extractable macro- and micronutrients and pH of different peat types. Tiivistelmä: Kuivatuslämpötilan vaikutus eri turvelajien uuttuviin pää- ja hivenravinteisiin sekä pH-lukuun. Suo 40(4):149–153. ISSN 0039-5471.
- Selby, A. 1990. Finnish land use policies: from disintegration to integration? Seloste: Suomalainen maankäyttöpolitiikka: hajaannuksesta yhtenäisyyteen?

- Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 364. 43 s. ISBN 951-40-1125-2, ISSN 0358-4283.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce. *Folia Forestalia* 432. 13 s. ISBN 951-40-0445-0, ISSN 0015-5543.
- Simojoki, P. 1991. Boron deficiency in barley. Selostus: Ohran boorinpuutos. *Annales Agriculturae Fenniae* 30:389–405.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 40 s. ISBN 951-40-1170-8, ISSN 0015-5543.
- Teasdale, R.D. & Richards, D.K. 1990. Boron deficiency in cultured pine cells. Quantitative studies of the injection with Ca and Mg. *Plant Physiology* 93:1071–1077.
- Urvas, L. 1985. Viljelyn vaikutus turpeen ravinnepitoisuuteen. Summary: Effect of cultivation on the nutrient status of peat soils. *Suo* 36(3):61–64. ISSN 0039-5471.
- 1991. Pelto ja metsämaiden ravinteisuuden vertailu. Abstract: A fertility comparison between field and forest soils. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391:55–59. ISBN 951-40-1179-9, ISSN 0358-4283.
- , Jokinen, R. & Hyvärinen S. 1992. Uuttuva sinkki viljellyissä eloperäisissä maissa. Abstract: Extractability of zinc in cultivated organic soils. *Suo* 43(2):37–44. ISSN 0039-5471.
- Valmari, A. 1970. On relationship between iron and available phosphorus in peat soil. *Aquilo Ser. Bot.* 10:1–7.
- Valtanen, J. 1990. Suopeltojen metsitys on rahan tuhlausta. *Metsä ja Puu* 10:33–35.
- 1991. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. 52 s. ISBN 951-40-1153-8.
- Veijalainen, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on a drained dwarf-shrub-rich pine swamp. *Suo* 26(5):87–92.
- 1983. Geographical distribution of growth disturbances in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116:13–16. ISBN 951-40-0623-2, ISSN 0358-9609.
- , Reinikainen, A., Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Summary: Nutritional growth disorders in forest trees in Finland. *Folia Forestalia* 601. 41 s. ISBN 951-40-0657-5, ISSN 0015-5543.

Total of 64 references

Summary

Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland

Introduction

Afforestation of fields in Finland, aimed at reducing the country's area of arable land, began in the late 1960s (Selby 1990). The total area so far afforested is approx. 170,000 ha. Cultivation of agricultural crops, fertilization, liming, soil improvement measures, and the use of machines are all likely to have altered the physical and chemical properties of the substrate. A common practice with peatland fields has been to mix mineral soil in them, and this too has changed the site's nutrient status (e.g. amount of nutrients, bulk density of the substrate, amount of organic matter).

The purpose of present study was to examine the nutritional status of Scots pine and Silver birch plantations established on old fields by describing the amounts of nutrients in the substrate and foliar nutrient concentrations of pine in central Ostrobothnia, western Finland. A further objective was to examine the dependence of growth disturbance on the characteristics of the substrate and on the nutrient concentrations of pine needles.

Material and methods

Scots pine plantations 7–8 years of age (young pine plantations) and 15–16 years of age (old pine plantations) and Silver birch plantations 16–17 years of age were inventoried using the line-plot method with circular plots 20 m² in size (Table 1). Tree stand characteristics were measured (see Hytönen 1991b). Occurrence of visual growth disturbance symptoms was estimated tree by tree (see Raitio & Rantala 1977, Veijalainen et al. 1984).

Soil samples from the 0–10 cm cultivation layer were taken from all 751 sample plots of pine. All samples were analyzed for bulk density, loss of ignition and pH from dried samples (in water, V/V 1:2.5). Nineteen of the stands (321 sample plots) were analyzed to determine the nutrient concentrations of the soil plot by plot. Combined soil samples representing the whole field were used for the nutrient analyses of the birch plantations and other pine plantations. Soil analysis covered total N (Kjeldahl method), P, K, Ca, Mg, Fe, B, Zn and Mn and acid ammonium acetate extractable (pH 4.65) P, K, Ca, Mg,

Fe, Zn and Mn (see Halonen et al. 1983). Total P, K, Ca, Mg, Fe and Zn were analyzed after ignition in muffle furnace at 550 °C from HCl extract. The analysis results were expressed per volume *in situ*. The needle samples from the plantations of Scots pine were analysed for their N, P, K, Ca, Mg, B, Zn and Mn contents (see Halonen et al. 1983).

The study material was classified at the field level into peatland, mull and mineral soil fields (Table 1). This classification was based on the bulk density of the topsoil, the percentage of organic matter, and the thickness of the peat layer. Soil classification was examined using stepwise discriminant analysis with soil nutrient amounts and pH, on the one hand, and foliar nutrient concentrations, on the other, as the discriminants.

The risk of growth disturbance was studied by constructing logistic regression models for predicting the occurrence of growth disturbance on the sample plots. Soil nutrient amounts and foliar nutrient concentrations observed on the sample plots were employed as determining variables. This was accompanied by a discriminant analysis with respect to the occurrence of growth disturbance. The plot-specific material for the old pine plantations was divided into two groups according to the thickness of the organic soil layer: peatland and mull sample plots (with peat or mull layers) and mineral soil sample plots (no peat or mull layer).

Results and discussion

Of the total area of arable land in Finland, peatland fields account for approx. 10 % and other organogenic fields for approx. 20 %. The proportion of afforested peatland fields in this study varied between 36–53 % of the area covered. If mull fields are also included, organic soils amounted to 65–87 % of the total area.

In discriminant analysis mineral soil fields clearly stood out. Peatland and mull fields, on the other hand, partly overlapped. The discriminating soil variables in the material on the young pine plantations were amounts of total nitrogen, zinc and extractable calcium. In the old plantations, the corresponding factors were amounts of total potassium, extractable calcium, total calcium, pH and total phosphorus. Classification based on the discriminant functions in the young plantations was correct on 89 % of the peatland fields, 60 % of the mull fields and 100 % of the mineral soil fields; the corresponding values for the old plantations were 57 %, 40 % and 100 %. In birch stands, the best variables were the amounts of total nitrogen and phosphorus in the soil. This resulted in all mull fields to be correctly classified. The figure for peatland fields was 83 % and that for mineral soil fields 75 %.

Both between and within field variation in the nutrient amounts of the soil was considerable. The total amounts

of phosphorus, potassium, magnesium, manganese, iron and zinc were considerably higher in mineral soils than in peat soils (Figs. 3, 4, 5). The amounts of ammonium acetate extractable phosphorus, potassium and magnesium in the soil of peatland fields were almost equal to the amounts obtained for mineral soil fields. Nitrogen was abundant in both peatland fields (5400–6400 kg ha⁻¹ on average) and mineral soil fields (over 3300 kg ha⁻¹ on average). Boron averaged 0.4–0.7 kg ha⁻¹ with mineral soil fields having only slightly more than peatland fields. The mineral nutrient amounts in the 0–10 cm layer of peatland fields exceeded manifold the amounts found in peatlands drained for forestry (Kaunisto & Paavilainen 1988) and were at the same level as in the afforested peatland fields in Northern Savo (Hynönen 1992).

The bulk density correlated closely with organic matter content both in the young and old pine plantations (Fig. 6, Kaunisto 1991). This relationship was best described by the logarithmic model $\ln Y = \ln a + \ln X$. It explained 93.4 % of the variation in the young and 96.4 % of the variation in the old pine plantations. The proportion of organic matter in the topsoil of peatland fields varied a lot. Even though the cultivation history of the fields studied was not known, it could be concluded that mineral soil had been used quite widely as a soil improvement agent on peatland fields.

Most of the total and extractable amounts of nutrients correlated with the topsoil bulk density better on peatland sample plots than on mineral soil sample plots (Fig 7). Correlations between nutrient amounts and organic matter content were generally slightly lower than those between nutrient amounts and bulk density. The amount of total nitrogen decreased as bulk density increased (Fig. 7). In peatland sample plots, the total amounts of phosphorus, potassium, magnesium, iron and zinc increased as the bulk density of the soil increased. The amount of ammonium acetate extractable phosphorus increased with an increase in bulk density (Fig. 7).

The extractable amounts of calcium and potassium increased along with an increase in the total amount of these nutrients (Fig 8). As the amount of soil iron increased, an increasingly smaller proportion of the total phosphorus was in an extractable form (Fig. 9).

Peatland and mineral soil sample plots did not clearly differ in their proportions of extractable phosphorus (0.7–1.2 %) from the total amount of phosphorus (Table 2). The proportion of extractable potassium in the peatland sample plots (27 % and 32 % on average), however, was more than twice that of mineral soil sample plots (11 % and 8 % on average). The addition of mineral soil to peatland fields is the most probable explanation for the low proportions of extractable potassium. The proportions of both extractable calcium and extractable magnesium in the total amounts of these nutrients were higher in peatland sample plots than in mineral soil sample plots (Table 2).

Stepwise regression analysis was employed to examine the influence of total nutrient amounts, proportion of organic matter, bulk density of the substrate and pH on the ratio of amounts of extractable nutrients and total nutrients (Table 3). An increase in the total amount led to a decrease in the proportion of extractable nutrients. The models made it possible to explain well the proportions of extractable potassium and extractable magnesium in sample plots representing peatland fields.

The influence of substrate nutrient amounts on tree growth was examined at field level. Since the average tree on peatland fields was shorter and grew slightly slower than the average tree on mineral soil fields, the nutrient amounts varying along the peat-mineral soil axis correlated with tree height growth.

Numerous nutrient-based growth disturbances were observed in this study in pine plantations established 15–16 years ago (Fig. 10). External signs of growth disturbance in young plantations were infrequent. Trees afflicted by growth disturbance occurred in patches. In the older plantations, 10–16 % of the trees showed signs of growth disturbance. The risk of growth disturbance could not be predicted by the division into mineral soil and peatland fields.

On peatland and mull fields, logistic regression models predicted the risk of occurrence of growth disturbance best of all in terms of the amount of extractable phosphorus. The total amount of soil magnesium — especially in relation to the amounts of Ca, N and K — and the amount of ammonium acetate extractable Mg were good predictors of the occurrence of growth disturbance in plantations established on organic soils. Even in the case of discriminant analysis of organic soils, the most significant determining factor was the amount of extractable phosphorus; with mineral soils it was the amount of extractable calcium. When the amounts of extractable phosphorus and magnesium in the soil were employed as the independent factors, it was possible to correctly classify 71 % of the sample plots containing trees afflicted by growth disturbance.

Concentrations of foliar nitrogen were quite high (1.7 % on average) in all pine plantations and there were no incidences of phosphorus deficiency (Fig. 11). Potassium deficiency (less than 3.50 mg g^{-1}) was observed in plantations on peatland fields, more frequently in the old (1 of 3) than in the young plantations. Foliar analyses results showed that boron deficiency was common on both peatland and mineral soil fields and more so in old than in young plantations. Boron deficiency (less than 7.5 mg kg^{-1}) occurred on 47 % of young and on 74 % old plantations (Fig. 12).

Also height increment had been the smaller the less the needles contained boron in relation to the amounts of nitrogen, calcium and magnesium (Fig. 13).

The occurrence of growth disturbances was examined at both field level and sample plot level. Already when examined at the field level, it was noted that foliar boron concentrations of less than 6 mg kg^{-1} were manifested in the form of common occurrence of growth disturbances in the old plantations (Fig. 14). In the young plantations, however, corresponding and even lower foliar concentrations of boron had not resulted in significant numbers of trees afflicted by growth disturbance (Fig. 14). In addition to being influenced by foliar boron concentrations, the occurrence of growth disturbances was also clearly influenced by the ratios between boron and certain other nutrients (inc. N/B, Ca/B, Mg/B, K/Ca, P/B, K/B).

According to the logistic regression models a fall in foliar boron concentrations below 6 mg kg^{-1} results in a marked rise in the probability of occurrence of growth disturbances in plantations on all soil types (Fig. 15). It was also observed that an increase in the N/B ratio increases the probability of growth disturbance, especially in plantations on peatland soils. Increases in the Ca/B ratio and Mg/B ratio had a similar effect, especially in plantations established on mineral soil fields.

With discriminant functions including foliar concentrations of N, Ca, and Zn and the N/B ratio as the independent factors, it was possible to correctly classify 75 % of the non-disturbance sample plots and 80 % of those manifesting growth disturbances. In the case of peatland and mull groups, the significant discriminating factors included foliar boron concentration, the ratios of boron and the main nutrients, and foliar concentrations of nitrogen, and the ratio of nitrogen to calcium and magnesium. In the mineral soil group, the discriminant factors were simply boron concentration and the ratio of boron and the main nutrients; this was also the case in the combined material.

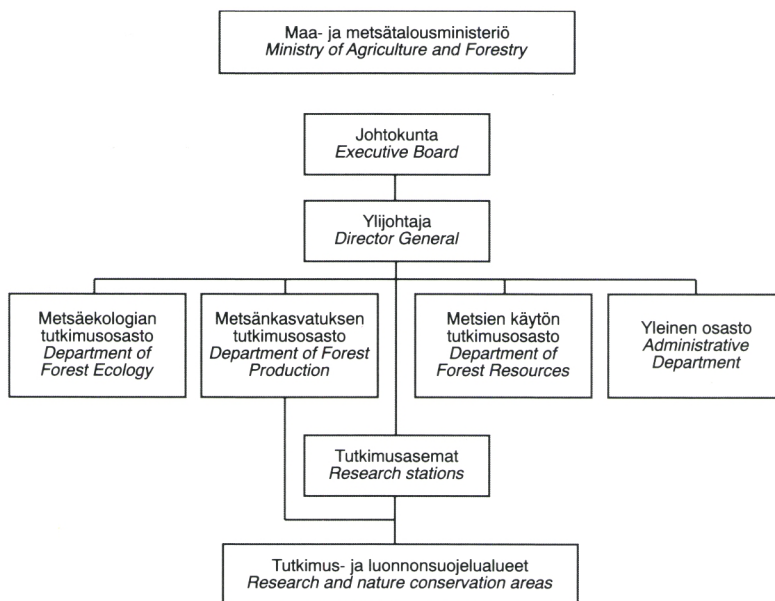
The correlations between foliar nutrient concentrations and the corresponding amounts (kg ha^{-1}) of total and extractable nutrients in the substrate, and the nutrient concentrations (g kg^{-1}) of the substrate mostly remained fairly weak (Fig. 16, Appendix 1).

The division into peat and mineral soil fields characterised the sites fairly well in terms of their main nutrient status. Nevertheless, this did not provide an adequate basis for predicting the probability of nutrient-based growth disturbance. Overlapping was observed between peatland and mull fields, the former being more subject to variability. Peatland fields can no longer be considered as being equivalent to peatlands drained for forestry in terms of their physical characteristics or their nutrient status. Peatland fields form distinct sites of their own. Foliar analyses indicate that potassium deficiency occurred only in plantations established on peatland fields whereas boron deficiency was common to all soil classes. Although the afforested fields were, on average, fairly small in area, within field variation proved to be great.

Liite 1. Neulasten ravinnepitoisuuksien ja maan vastaavien ravinteiden määrien tai pitoisuuksien korrelaatiot.
Appendix 1. Dependence of foliar nutrient concentrations on the amounts or concentrations of the soil nutrients nutrients in substrate.

Maan ominaisuus Soil characteristic		Nuoret männyntaimikot — <i>Young pine plantations</i>			Varttuneet männyntaimikot — <i>Old pine plantations</i>		
		Orgaaniset maat <i>Organic soils</i>	Kivennäismaat <i>Mineral soils</i>	Kaikki <i>All soils</i>	Orgaaniset maat <i>Organic soils</i>	Kivennäismaat <i>Mineral soils</i>	Kaikki <i>All soils</i>
P tot	kg ha ⁻¹	0,345**	0,012	0,278***	0,221*	−0,183	0,059
	g kg ⁻¹	0,311***	0,073	0,107	0,312***	−0,215	0,238**
K tot	kg ha ⁻¹	0,107	0,442***	0,514***	0,279**	0,278*	−0,304***
	g kg ⁻¹	0,069	0,493***	0,366***	0,269**	0,298*	0,319***
B tot	kg ha ⁻¹	0,256*	0,291	0,262**	−0,062	−0,218	−0,100
	mg kg ⁻¹	0,188	0,210	0,153	0,043	−0,179	0,024
Ca tot	kg ha ⁻¹	0,045	−0,083	0,032	−0,289**	−0,130	−0,136
	g kg ⁻¹	0,050	−0,034	−0,113	−0,481***	−0,235	−0,519***
Ca AAs	kg ha ⁻¹	0,120	−0,104	−0,020	−0,211*	−0,007	−0,183*
	g kg ⁻¹	0,103	−0,062	−0,107	−0,426***	−0,123	−0,485***
Mg tot	kg ha ⁻¹	−0,187	0,447**	−0,089	0,140	−0,160	−0,198*
	g kg ⁻¹	0,056	0,476**	0,150	0,096	−0,219	−0,134
Mg AAs	kg ha ⁻¹	0,146	0,619***	0,351***	−0,175	0,132	−0,084
	g kg ⁻¹	0,318**	0,572***	0,451***	−0,234	0,104	−0,045

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute*

Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Ero Paavilainen

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä

Tutkimusasemat — *Research Stations*

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 810 Kaunisto, Seppo, Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä.
Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests.
- No 811 Kaitera, Juha & Jalkanen, Risto: Surmakka Rikkilehdon männikössä Sallassa.
Gremmeniella abietina on Scots pine in Rikkilehto stand in Salla, northern Finland.
- No 812 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Harvennusemetsien määrä ja harvennushakkuiden liiketaloudellinen merkitys.
Amount of thinning forests and profitability of thinnings in Finland.
- No 813 Varmola, Martti: Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli.
A stand model for early development of Scots pine cultures.
- No 814 Nieminen, Mika & Ahti, Erkki: Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta.
Leaching of nutrients from an ombrotrophic peatland area after fertilizer application on snow.
- No 815 Heikkilä, Risto: Ravinnon määrän ja puulajikoostumuksen vaikutus hirven ravinnonkäyttöön ja taimituhoihin mäntytaimikoissa.
Effects of food quantity and tree species composition on moose (*Alces alces*) browsing in Scots pine plantations.
- No 816 Uusvaara, Olli: Pystykarstuista männiköistä valmistetun sahatavaran laatu ja arvo.
Quality and value of sawn goods from pruned Scots pine stands.
- No 817 Kanninen, Kaija: Sisäisten mallien teoria hakkuutyötapaturmien selittäjänä.
Theory of internal models in explaining logging accidents.
- No 818 Mäkinen, Pekka: Metsäkoneyrityksen menestystekijät.
Success factors for forest machine contractors.
- No 819 Tamminen, Pekka: Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä.
Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties.
- No 820 Moilanen, Mikko: Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla.
Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu.
- No 821 Rantala, Tapio & Moilanen, Mikko: Nuorten suomänniköiden lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla.
Profitability of fertilization of young pine stands in northern Ostrobothnia.
- No 822 Hytönen, Jyrki & Ekola, Elina: Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla.
Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland.