

05.02.92



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

778

Seppo Kaunisto

MAA-ANALYYSIN KÄYTTÖ KASVUPAIKAN RAVINNETILAN ARVIOIMISEKSI
ERÄILLÄ ALKKIAN METSITETYILLÄ SUOPELLOILLA

Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some
afforested peatland fields at Alkkia

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

Seppo Kaunisto

MAA-ANALYYSIN KÄYTTÖ KASVUPAIKAN RAVINNETILAN
ARVIOIMISEKSI ERÄILLÄ ALKKIAN METSITETYILLÄ SUOPELLOILLA

Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested
peatland fields at Alkkia

Approved on 11.9.1991

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
3. TULOKSET	5
31. Maan ominaisuudet	5
311. Tiheys ja orgaanisen aineksen osuus	5
312. Ravinnepitoisuus	5
313. Ravinteiden määrä	7
314. Ravinteiden kulkeutuminen	9
315. Helppoliukoisten ravinteiden riippuvuus ravinteiden kokonaismäärästä	9
316. Ravinteiden määrä ja turpeen fysikaaliset ominaisuudet	9
32. Neulasten ravinnepitoisuudet ja maan fysikaaliset ominaisuudet	15
33. Neulasten ravinnepitoisuuden riippuvuus maan ravinteista	15
34. Lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin	23
4. TULOSTEN TARKASTELUA JA PÄÄTELMÄT	23
41. Maa-analyysimenetelmien vertailu	23
42. Kasvupaikan ravinnetilan arviointi	24
KIRJALLISUUS – REFERENCES	25
SUMMARY	27
LIITTEET – APPENDICES	30

Kaunisto, S. 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 p.

Neljältä samalla Alkkian suoalueella olevalta suopellon metsityskokeelta otettiin neulas- ja maanäytteitä yhteensä 116 koealalta. Näytteitä otettiin sekä muokkauskerroksesta (0–10 cm) että sen alapuolelta (30–40 cm). Maasta analysoitiin tiheys, orgaanisen aineksen osuus, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, pH, kokonais-N, -P, -K, -Ca, -Mg, -Zn, -Cu ja -B sekä ammoniumasetaatilla uutettu P, K ja Ca. Ravinteiden kokonaismäärät ilmaistiin kuiva-ainetta (mg/kg) ja pinta-alaa (kg/ha) kohden sekä ammoniumasetaatiliukoiset P, K ja Ca näiden lisäksi laboratoriotilavuutta (mg/l) kohden. Liukoinen typpi laskettiin vain laboratoriotilavuutta kohden. Tulokset kuiva-ainetta kohden laskettiin sekä näytteen orgaanista osaa että koko näytettä kohden. Neulasista analysoitiin samat ravinteet kuin maastakin.

Maan tiheys oli muokkauskerroksessa huomattavasti suurempi (jopa 3–4 -kertainen), mutta orgaanisen aineksen osuus pienempi kuin 30–40 cm:n syvyydessä. Tämä osoittaa alueilla käytetyn erilaisia määriä kivennäismaata, ns. painomaata maanparannusaineena. Ravinteiden kokonaismäärät kohosivat tiheyden myötä. Kaikkia ravinteita olikin pintakerroksessa enemmän kuin 30–40 cm:n syvyydessä, joskin booria pintakerroksessakin oli niukasti. Turpeen tyyppipitoisuudesta 30–40 cm:n kerroksessa voitiin päätellä, että suot luonnontilassa olivat olleet hyvin karuja. Painomaa oli muuttanut luontaisesti vähäravinteisen suon pintakerroksen ravinnetalouden perusteellisesti, mutta vaikuttanut vain vähän 30–40 cm:n kerrokseen. Ravinteiden kokonaismäärät *in situ* tai -pitoisuudet selittivät joko suunnilleen yhtä hyvin tai paremmin neulasten ravinnepitoisuuksia kuin helpoliukoiset ravinteet ja yleensä viimemainituista kuiva-ainetta (mg/g) kohden lasketut paremmin kuin laboratoriotilavuutta (mg/l) kohden lasketut pitoisuudet. Maan erilaisilla kalium- ja kalsiumarvoilla oli hyvin vähän merkitystä neulasten vastaavien ravinteiden pitoisuuksia selitettäessä. Tulosten perusteella on ilmeistä, että ravinnemääritykset metsitettävillä suopelloilla on tarpeen tehdä sekä muokkauskerroksesta että selvästi sen alapuolelta ja että ainakin seuraavat analyysit ovat tarpeellisia: tiheys, orgaanisen aineksen osuus, kokonais-N, -P, -K, -Ca, -B ja vaihtuva K. Tulokset tulisi ilmaista mieluummin luonnollista tilavuutta, *in situ*, kohden.

Four different afforestation experiments in the same peatland area within a distance of about 1.5 km were included. Soil and needle samples were taken from 116 plots altogether. The soil samples were taken from two depths: 0–10 cm (tilled layer) and 30–40 cm. Soil samples were analyzed for total N, P, K, Ca, Mg, Zn, B, Cu, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, pH and AAAC extractable P, K and Ca. For the total nutrients the results were calculated per oven dry weight (mg/kg) and per area (kg/ha), and for AAAC extractable P, K and Ca per laboratory volume (mg/l) in addition. $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were calculated only per laboratory volume (mg/l). The bulk density and organic matter content were also determined.

The bulk density was considerably higher and the organic matter content lower in the tilled 0–10 cm than in the untouched 30–40 cm layer indicating that mineral soil had been used as a soil improvement agent in the fields. Generally the amounts of the total nutrients correlated positively with bulk density. Accordingly there were more nutrients in the surface layer than in the 30–40 cm layer, although only small amounts of boron even there. Thus mineral soil application had greatly changed the surface substrate but only slightly affected the nutrient regime of the 30–40 cm layer. Nitrogen contents in the 30–40 cm layer were low indicating an originally poor peatland site type. The needle nitrogen and phosphorus concentrations correlated generally best with the corresponding soil nutrients calculated as mg/g or kg/ha, but the needle potassium concentrations correlated only weakly with soil properties. The total soil nitrogen and phosphorus contents correlated as well or better than the soluble fractions with corresponding needle nutrient concentrations. It is obvious that analyses both from the tilled layer and deeper layers are needed in order to estimate the quality of the substrate for wood production on peatland fields and that at least the following analyses are necessary: bulk density, organic matter content, total N, P, K, Ca, B and exchangeable K. The results should be expressed per volume *in situ*.

Keywords: soil analysis, afforestation, nutrients, agricultural peatland.
FDC 114 + 237

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, SF-39700 Parkano, Finland.

ISBN 951-40-1171-6
ISSN 0015-5543

Tampere 1991. Tammer-Paino Oy

1. Johdanto

Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusase-
man Alkkian alueella on metsitetty yli 300 hehtaaria suopeltoja. Noin sadalla hehtaarilla on tutkittu keinoja sopivien viljelymenetelmien kehittämiseksi. Ensimmäiset kokeet perustettiin 1960-luvun puolivälissä ja viimeiset 1970–80-lukujen vaihteessa (Kaunisto ym. 1986). Kokeet ovat varsin yksiselitteisesti osoittaneet, että viljelyn onnistumisen edellytyksenä on muokkaus ja heinäkasvillisuuden torjunta useina viljelyä seuraavina vuosina (Paavilainen 1970 ja 1977). Pintakasvillisuuden kilpailun vuoksi istutus on ollut kylvää varmempi menetelmä. Valtaosa metsityksistä on tehty männyllä. Edellä mainituin edellytyksin istutukset ovat yleensä onnistuneet verrattain hyvin ja taimien alkukehitys on ollut hyvä.

Alkkian alueella ei lannoitus pääravinteilla ole lisännyt taimien kasvua (Paavilainen 1970, 1977). Tähän todennäköisesti on ollut syynä suopelloille läheisiltä kankailla ajettu kivennäismaa, ns. painomaa. Painomaan on todettu lisäävän vilja- ja nurmikasvien satoja sitä enemmän mitä enemmän sitä on käytetty (Anttinen 1957, Pessi 1960, 1961 a ja b). Sadon määrään vaikuttaa myös painomaan laatu. Savi lisää satoja enemmän kuin hiekka (Pessi 1961 a ja b). Mineraalimaissa savipitoisuuden lisääntyminen lisää esim. vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määriä (Kaila & Ryti 1967, Lakanen & Hyvärinen 1971, Urvas ym. 1978) ja esim. lehtomaisille kankailla on tyypillistä hienojen lajitteiden runsaus (Urvas & Erviö 1974). Painomaan käyttö näkyy vielä vuosikymmenien kuluttua esim. muokkauskerroksen korkeina tuhkapitoisuuksina (Pessi 1961 c). Painomaan edullinen vaikutus johtuu lähinnä kivennäisravinteiden lisääntymisestä ja maan fyysikaalisen rakenteen parantumisesta.

Painomaan käytöstä huolimatta ilmeni Alkkian metsitetyillä suopelloilla paikoin hyvinkin runsaana kasvuhäiriöitä, joiden todettiin aiheutuvan boorinpuutoksesta (Raitio 1979). Latvuston sulkeuduttua kasvuhäiriöt ovat vähentyneet, mutta eivät kadonneet.

Metsitettyjen ja metsitettävien suopeltojen maasta saattaa olla analysoitua tietoa niiden peltokasvien viljelyn aikaiselta ajalta. Peltoviljelyssä kuitenkin maa-analyyseissä kiinnitetään yleensä päähuomio ravinteiden ns. kasveille

käyttökelpoiseen osaan, koska maan ravinnetilaan voidaan vaikuttaa vuosittain tehtävillä lannoituksilla. Metsänkasvatuksessa sen sijaan tarvitaan pitkän aikavälin ennusteita maan ravinnetilasta.

Peltokasvien kasvatusta koskeissa viljavuustutkimuksissa kivennäisravinteet määritetään yleensä milligrammoina kuivattua ja jauhettua maaliitraa, ns. laboratoriotilavuutta (Kurki ym. 1965) eikä todellista luonnollista tilavuutta, in situ, kohden. On kuitenkin todettu, että näin lasketut ravinnepitoisuudet antavat hienojakoisille kivennäismaille todellista pienempiä ja karkeajakoisille todellista suurempia arvoja (Niska 1986) sekä edelleen kivennäismaille todellista pienempiä ja turvemaille todellista suurempia arvoja (Erviö 1970). Tilanteissa, joissa suopelolle on tuotu kivennäismaata tai sitä on muutoin sekoitettu turpeeseen (ohutturpeiset suot), on vaikeata hallita näin syntyvää virhettä. Kun lisäksi puiden kasvurytmi ja ravinnetarve poikkeavat oleellisesti peltokasvien kasvurytmistä ja ravinnetarpeesta ja ravinteiden käyttö perustuu paljolti niiden kiertoon sekä puun sisällä tapahtuvaan ravinteiden siirtymiseen (esim. Miller 1978, 1984, Mälkönen 1974, Paavilainen 1980, Finér 1989), voi peltokasveja varten kehitetty ravinneanalyysin tulkinta poiketa metsäpuille tarvittavasta.

Alkkian suopelloilta on aikaisempien tutkimusten yhteydessä tehty maan ravinneanalyysyjä vain vähän. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan maan ja puuston ravinnetilaa sekä niiden välisiä riippuvuuksia neljällä Alkkian pellonmetsityskokeella. Samalla pyritään selvittämään maa-analyysin mahdollisuuksia maan ravinnetilan arvioimiseksi metsitettävillä suopelloilla yleisemminkin sekä erilaisten maasta analysoidujen ja eri tavoin ilmaistujen ravinnetunnusten keskinäistä paremmuutta maan ravinnetilan arvioimisessa neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella.

Tutkimuksessa mukana olleet kokeet on perustettu Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasemalta käsin, vanhimmat prof. Eero Paavilaisen ja nuorin kirjoittajan toimesta. Kokeiden perustamista valvoivat mm. metsäinsinöörit Matti Mäkitalo ja Kalle Nevanranta sekä työnjohtaja Esko Mansikkaviita. Tutkimusmestari Lauri Hirvisaari ja tutkimusvirkailija Markku Nikola ovat ke-

ränneet maa- ja neulasnäytteet. Ravinneanalyytit on tehty Parkanon tutkimusasemalla laboratoriomestari Arja Ylisen johdolla. Aineistojen tallentamisesta on huolehtinut pääasiassa tutkimusvirkillijä Anneli Nuijanmaa. Aineiston laskennan on suorittanut pääasiassa tutkimusmestari Tauno Suomilampi ATK-suunnittelija Olli Sepälän johdolla. ATK-piirtämisestä ja kirjoitustyöstä ovat vastanneet toimistosihteerit Tiina Luoto ja Pirkko Mar-

jamäki sekä toimistovirkailija Tuire Kilponen.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Eero Paavilainen ja Erkki Annala, agron. Leila Urvas, MMT Erkki Lipas, MMT Pekka Tamminen ja MML Jyrki Hytönen antaen hyviä neuvoja käsikirjoituksen viimeistelyä varten.

Kaikilla edellä mainituille sekä muille työn toteuttamisessa avustaneille esitän parhaat kiitokseni.

2. Aineisto ja menetelmät

Aineisto koottiin vuonna 1990 Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusalueesta, Alkkiasta (62°10' N, 22°75' E) suopellon metsityskokeilta 36, 42, 43 ja 161. Koe 36 oli perustettu v. 1967 alunperin männyn viljelytiheyskokeeksi (Kaunisto & Tuveva 1984, Kaunisto ym. 1986). Ilmenneiden voimakkaiden kasvuhäiriöiden vuoksi se kuitenkin jatkolannoitettiin v. 1975 jakamalla koealat 12 osaan erilaisiksi hivenlannoitusten (kolme tasoa) ja pääravinnelannoitusten (neljä tasoa) kombinaatioiksi. Hivenainekäsittelyt olivat seuraavat: 0, lannoiteboraattia 2 kg/ha (B 14,0 %), hivenseosta 25 kg/ha (ravinnepitoisuudet, kuten taulukossa 1). Pääravinnekäsittelyt olivat seuraavat: 0, hienofosfaattia 400 kg/ha (P 14,4 %), PK-lannosta (0–10,5–12,5) sekä PK-lannosta kuten edellä ja lisäksi oulunsalpietaria 400 kg/ha (N 27,5 %). Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty kokeen 36 osalta pienimmän istutustiheyden (2000 kpl/ha) koealoilta PK- ja NPK-lannoituksen saaneilta koealan osilta näitä kuitenkaan erottelematta, mutta erikseen eri hivenlannoituskäsittelyiltä. Koealoja oli yhteensä 24 kpl. Näytteiden oton aikaan puusto oli täystiheä ja n. 7–8 m:n pituisia.

Myös kokeet 42 ja 43 perustettiin v. 1967. Kokeessa 42 tutkittiin alunperin lannoitusajankohdan sekä istutuskuoppaan annetun raakafosfaatin vaikutusta sekä kokeessa 43 lannoitetypen määrän ja magnesiumlannoituksen vaikutusta taimien ensikehitykseen (Paavilainen 1977, Kaunisto ym. 1986). Kummassakin tapauksessa lannoitteet annettiin laikkuun taimen ympärille. Koska annetut ravinnemäärät kummassakin tapauksessa olivat verrattain pieniä ja aikaa oli kulunut lannoituksesta jo yli 20 vuotta, ei lannoituskäsittelyjen enää katsottu tässä vaiheessa voivan vaikuttaa kasvualustan eikä puiden ravinnetilaaan (ks. myös Paavilainen 1977). Kokeesta 42 valittiin 15 koealaa ja kokeesta 43 viisi koealaa. Aineiston käsittelyssä näitä ei ole eroteltu. Näytteiden oton aikaan puusto oli n. 7–8 m:n pituisia, mutta etenkin kuljupainanteissa aukkoista.

Koe 161 oli tutkituista kokeista nuorin ja perustettu pääravinne- ja hivenlannoituksen sekä maanmuokkauksen ja näiden erilaisten yhdistelmien vaikutusten selvit-

tämiseksi männyntaimien alkukehitykseen v. 1977 (taulukko 1). Hivenlannoitus annettiin kaistoina taimiriveille ja lannoitus pääravinteilla laikkuun taimen ympärille. Muokauskäsittelyt olivat neulasten ravinnepitoisuuksista lasketuissa varianssianalyseissä mukana luokkamuuttujina, mutta niiden vaikutuksia ei tässä yhteydessä käsitellä. Kokeessa oli yhteensä neljä toistoa. Tutkimukseen osoitettujen varojen niukkuuden vuoksi mukaan voitiin ottaa vain kaksi. Koealoja tutkittiin yhteensä 72 kpl. Puusto oli 2–4 m:n pituisia. Latvuspeittävyys oli vielä vähäinen.

Kaikista kokeista kultakin koealalta otettiin neulasnäytteet maaliskuussa 1990 kymmenestä puusta mahdollisimman tasaisesti koealan eri puolilta. Näytteet otettiin ylhäältä lukien toisesta ja kolmannesta oksakiehkurasta etelän puolelta ja yhdistettiin koealaa edustavaksi kokoomanäytteeksi. Maanäytteet otettiin syyskesällä 1990. Kokeilta 42 ja 43 otettiin viisi osanäytettä, yksi n.

Taulukko 1. Kokeen 161 käsittelykaavio. Numerot toistojen lukumääriä.

Table 1. Treatments in Experiment 1. Figures indicate the numbers of replicates.

Hivenlannoitus ¹ Micronutrient fertilization ¹	Pääravinnelannoitus ² Main nutrient fertilization ²			NPK
	0	K	PK	
0	6	6	6	6
B	6	6	6	6
M	6	6	6	6

¹ B = kaistalannoitus 0,5 g lannoiteboraattia/jm – Strip fertilization 0.5 g of fertilizer borate/rm (running metre).

M = 1,75 g hivenseosta/jm – 1.75 g/rm of micronutrient mixture (B 1,1, Cu 19,8, Mn 9,6, Fe 9,6, Zn 7,8, Mo 1,4, Na 4,5 %)

² K = KCl (K 50 %) 10 g/taimi – 10 g/plant

PK = PK (0–8, 3–15,3) 30 g/taimi – 30 g/plant

NPK = PK + oulunsalpietaria – oulu saltpetre (ammonium nitrate with lime, N 27,5 %) 20 g/taimi – 20 g/plant

viiden metrin etäisyydellä lävistäjän suunnassa jokaisesta koealan kulmasta ja yksi koealan keskeltä. Kokeesta 36 otettiin neljä osanäytettä hivenlannoituskaistojen keskilinjalta. Kokeesta 161 otettiin neljä osanäytettä koealan keskilinjalta, taimirivien välistä, siis lannoittamattomalta kaistalta n. neljän metrin välein. Kaikki näytteet otettiin muokkauskerroksesta (0–10 cm) ja selvästi sen alapuolelta (30–40 cm) tilavuustarkkoina. Osanäytteen koko oli 182 cm³. Osanäytteet yhdistettiin kerroksittain koealaa edustavaksi kokoomänäytteeksi. Kokeissa 42, 43 ja 161 kaikilla koealoilla ja kokeessa 36 valtaosalla koealoja turvekerros oli tutkimusaineistoa kerättyä ylä 1 m:n vahvuinen. Kokeessa 36 turvetta oli kaikilla koealoilla yli 60 cm.

Maanäytteistä analysoitiin seuraavien ravinteiden kokonaismäärät: N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn. Näiden lisäksi analysoitiin pH vedessä tilavuussuhteessa turve/vesi = 1/5, NH₄-N ja NO₃-N KCl-uutoksesta sekä ns. helppoliukoiset, ammoniumasetaatilla (pH 4,65) uutuvat P, K ja Ca. Sekä maan että neulasten kokonaisravineanalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen orgaanisen aineen analyysija varten tarkoitettuilla menetelmillä (Halonen ym. 1983), jossa kokonais-P, -K, -Ca, -Mg, -Cu ja -Zn määritetään tuhkan suolahappouutoksesta. Tämä poikkeaa kivennäismaista tehtävistä ravinteiden kokonaismäärityksistä (esim. Sippola 1974). Kokonaistyyppi

määritettiin Kjeldahlin menetelmällä. Liukoinen tyyppi ja pH analysoitiin tuoreista näytteistä, mutta kaikki muut 70 °C:ssa kuivatuihin näytteistä. Näiden tulokset kuitenkin laskettiin 105 °C:ssa määritettyä kuivapainoa kohden. Ammoniumasetaatilla uutettujen ravinteiden pitoisuudet lisääntyvät, jos näytteen kuivatuslämpötilaa nostetaan 40 °C:sta (Saarinen 1989). Tästä syystä peltojen viljavuustutkimuksissa näytteet kuivataan tätä alemmissa lämpötiloissa. Tässä tutkimuksessa saadut helppoliukoisen fosforin sekä vaihtuvan kalsiumin ja kaliumin pitoisuudet ovat näin ollen ilmeisesti jonkin verran peltonormaalissa viljavuustutkimuksessa saatuja arvoja korkeampia.

Ammoniumasetaattiuutoksesta määritetyt P, K ja Ca laskettiin sekä laboratoriotilavuutta (mg/l) ja kuivapainoa (mg/kg) kohden että luonnollista tilavuutta (*in situ*, kg/ha) kohden, mutta NH₄- ja NO₃-N vain laboratoriotilavuutta kohden. Kaikki kokonaisravinteet laskettiin sekä kuivapainoa (mg/kg) että luonnollista tilavuutta kohden hehtaarikohtaisina arvoina (kg/ha) kummallekin 10 cm:n kerrokselle erikseen. Kaikki ravinteiden kokonaispitoisuudet laskettiin sekä koko näytettä että sen orgaanista osaa kohden.

Mittaustietoja analysoitiin regressio-, korrelaatio- ja varianssianalyysillä. Turvekerrosten välisiä eroja testattaessa kerros oli osaruutumuttujana.

3. Tuiookset

3.1. Maan ominaisuudet

311. Tiheys ja orgaanisen aineksen osuus

Maan tiheys oli 0–10 cm:n pintakerroksessa yleensä moninkertainen ja toisaalta orgaanisen aineksen osuus vain 1/3–1/4 30–40 cm:n syvyydestä otettuihin näytteisiin verrattuna (kuvat 1 ja 2). Turpeen tiheys 30–40 cm:n syvyydessä oli vain hieman korkeampi kuin pitkään ojitettuina olleilla karuhkoilla rämeillä ja nevoilla, mutta pintakerroksessa moninkertainen (ks. Kaunisto & Paavilainen 1988). Ero johtuu läheisiltä kivennäismailta pelloille ajetusta painomaasta. Maalaji ympäröivillä kankailla on lähinnä hieta-moreenia. Tulosten perusteella on ilmeistä, että painomaata on joutunut 30–40 cm:n kerrokseen peltoviljelyn aikana vain harvoissa tapauksissa (kuvat 1 ja 2). Kokeiden välillä oli verrattain suuret erot. Kokeen 36 alueelle painomaata oli ilmeisesti tuotu selvästi vähemmän kuin muille peltoalueille.

Maan tiheys korreloi negatiivisesti orgaanisen aineksen osuuden kanssa (kuva 2 ja liite 1). Riippuvuus oli suoraviivainen kummassakin kerroksessa erikseen. Kun eri kerrokset yhdistettiin samaksi aineistoksi kuvasivat em. riippuvuutta yhtä hyvin (selitysaste kummassakin 91,1 %) logaritminen malli $\log y = a - b \log x$, jossa $a = +2,59$ ja $b = +1,02$ ja malli $\sqrt{y} = a - b \sqrt{x}$, jossa $a = +1,09$ ja $b = +0,075$. Jälkimmäinen malli on sama kuin Erviön (1970) erilaisille peltomaille esittämä tilavuuspainon ja maan humuspitoisuuden välistä yhteyttä kuvaava malli. Varsin hyvin kuvasi yhteyttä myös toisen asteen yhtälö $y = -ax + bx^2 + c$ (selitysaste 88,2 %), jossa $a = +0,0154$, $b = +0,00008$ ja $c = +0,86$.

312. Ravinnepitoisuus

Koko näytettä kohden lasketut maan typpipitoisuudet 0–10 cm:n pintakerroksessa olivat pieniä (taulukko 2), mikä ilmeisesti johtuu runsaasta

painomaan määrästä koealueilla. Näytteen orgaanista osaa kohden lasketut typpipitoisuudet pintakerroksessa vastasivat lähinnä saraisuus- ja mustikkaisuustason ojitettuja soita (Vahtera 1955, Kaunisto & Paavilainen 1988). Muokkauskerroksen alla, 30–40 cm:n syvyydessä typpipitoisuudet olivat erittäin matalia ja vastasivat lähinnä ojitettujen rahkarämeiden tasoa (Vahtera 1955). Ammoniumtyyppiä oli turpeessa vähän ja nitraattityyppiä ei käytännöllisesti katsoen lainkaan.

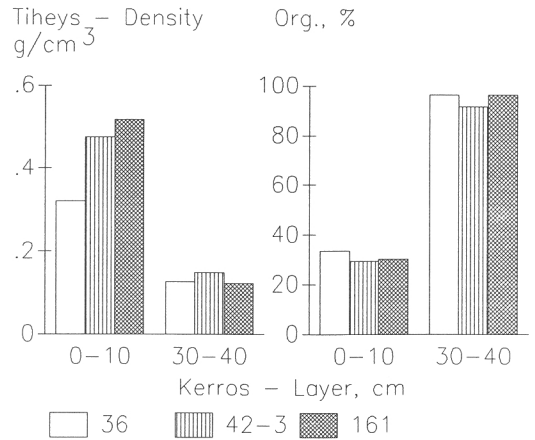
Muokkauskerroksen kokonaisfosforipitoisuudet vastasivat parhaiden ojitettujen korprien ja rämeiden arvoja, mutta olivat 30–40 cm:n syvyydessä erittäin matalia (Holmen 1964, Kaunisto & Paavilainen 1988). Helppoliukoisien fosforin (mg/l) määrä asettui Kurjen (1982) pelto-kasvien viljelyä varten laatimassa luokittelussa luokkaan tyydyttävä.

Muokkauskerroksen kokonaiskaliumin pitoisuus oli suunnilleen samanlainen kuin Holmenin (1964) ja Kauniston & Paavilaisen (1988) saamat arvot vanhoilla ojitusalueilla mutta selvästi alempia kuin Vahteran (1955) ojitettujen ja Westmanin (1981) sekä Starrin & Westmanin (1978) ojittamattomien rämeiden aineistoissa. Erityisen matalia kaliumpitoisuudet olivat 30–40 cm:n kerroksessa. Vaihtuvaa kaliumia oli Kurjen (1982) luokituksen mukaan kummassakin kerroksessa vain ”huononlaisesti”.

Aikaisempien tutkimusten mukaan kalsium- ja magnesiumpitoisuudet vaihtelevat erittäin paljon jopa samojenkin suotyyppien sisällä (Vahte-

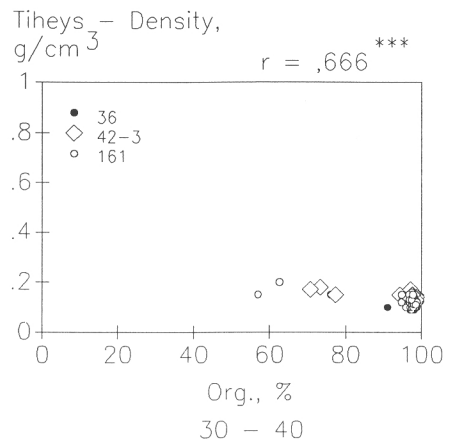
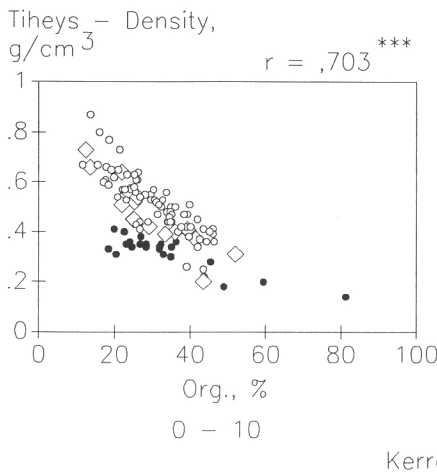
ra 1955, Holmen 1964, Westman 1981, Kaunisto & Paavilainen 1988), joten tässä tutkimuksessa saatuja näiden ravinteiden pitoisuuksia on vaikeata vertailla aikaisempiin tuloksiin.

Hivenaineista kuparia ja sinkkiä oli suunnilleen samanlaisina pitoisuuksina kuin Kauniston & Paavilaisen (1988) eräiden vanhojen ojitusalueiden aineistossa, mutta booripitoisuudet olivat huomattavasti matalampia.



Kuva 1. Maan keskimääräinen tiheys ja orgaanisen aineksen osuus eri syvyyksillä eri kokeissa (36, 42-3, 161).

Figure 1. The mean bulk density and organic matter content in different soil layers in different experiments (36, 42-3, 161).



Kuva 2. Maan tiheyden ja orgaanisen aineksen osuuden välinen riippuvuus eri syvyyksillä.
Figure 2. Correlation between the bulk density and the organic matter content in different soil layers.

Taulukko 2. Maan keskimääräiset ravinnepitoisuudet kuivapainoa ja laboratoriotilavuutta kohden ilmaistuna.

Table 2. Mean nutrient concentrations in different soil layers expressed per oven dry weight (mg g/kg) and per volume in laboratory (mg/l).

Ravinne ¹ Nutrient ¹	Turvekerros Peat layer	Koe — Experiment			
		cm	36	42-3	161
N tot., g/kg	0-10	5,6 ± 2,0	5,7 ± 1,7	5,2 ± 1,5	
	30-40	11,5 ± 2,7	9,5 ± 3,0	7,5 ± 1,7	
N tot. org., g/kg	0-10	17,3 ± 1,8	20,2 ± 3,0	17,5 ± 3,2	
	30-40	12,0 ± 2,8	10,4 ± 2,9	8,0 ± 2,3	
NH ₄ -N, mg/l	0-10	11,3 ± 3,3	10,8 ± 2,7	11,0 ± 5,5	
	30-40	4,8 ± 2,1	2,8 ± 1,0	1,7 ± 1,2	
NO ₃ -N, mg/l	0-10	0,6 ± 0,4	0,4 ± 0,4	0,8 ± 0,5	
	30-40	0,6 ± 0,5	0,5 ± 0,4	0,6 ± 0,5	
P tot., mg/kg	0-10	773 ± 119	568 ± 94	545 ± 98	
	30-40	300 ± 71	208 ± 47	183 ± 37	
P tot. org., mg/kg	0-10	2570 ± 786	2177 ± 887	1993 ± 842	
	30-40	312 ± 75	242 ± 108	199 ± 68	
P AAs, mg/kg	0-10	16,8 ± 9,3	15,8 ± 8,4	10,5 ± 2,9	
	30-40	16,8 ± 8,4	23,5 ± 8,3	12,0 ± 4,3	
P AAs, mg/l	0-10	12,2 ± 5,2	10,3 ± 2,8	9,8 ± 2,9	
	30-40	7,8 ± 4,8	8,1 ± 4,9	4,7 ± 2,4	
K tot., mg/kg	0-10	219 ± 33	235 ± 31	213 ± 34	
	30-40	92 ± 28	104 ± 30	114 ± 44	
K AAs, mg/kg	0-10	118 ± 43	140 ± 53	132 ± 37	
	30-40	79 ± 27	94 ± 27	112 ± 42	
K AAs, mg/l	0-10	89 ± 27	94 ± 28	122 ± 27	
	30-40	36 ± 17	30 ± 12	43 ± 23	
Ca tot., mg/kg	0-10	2721 ± 963	2308 ± 660	1962 ± 455	
	30-40	2294 ± 1032	2227 ± 447	2590 ± 527	
Ca AAs, mg/kg	0-10	1559 ± 1179	1585 ± 623	1183 ± 345	
	30-40	979 ± 541	1635 ± 356	1759 ± 378	
Ca AAs, mg/l	0-10	1129 ± 700	1051 ± 226	1079 ± 253	
	30-40	460 ± 265	517 ± 119	663 ± 211	
Mg, mg/kg	0-10	559 ± 77	663 ± 57	491 ± 65	
	30-40	555 ± 321	751 ± 145	516 ± 98	
B, mg/kg	0-10	0,25 ± 0,22	0,42 ± 0,42	0,36 ± 0,37	
	30-40	0,24 ± 0,32	0,70 ± 0,43	0,45 ± 0,34	
Cu, mg/kg	0-10	4,35 ± 2,15	5,61 ± 2,31	2,72 ± 0,56	
	30-40	2,20 ± 0,84	1,63 ± 0,63	1,10 ± 0,43	
Zn, mg/kg	0-10	12,41 ± 4,00	13,78 ± 2,85	9,66 ± 2,59	
	30-40	2,91 ± 1,40	8,95 ± 2,01	6,00 ± 20,07	

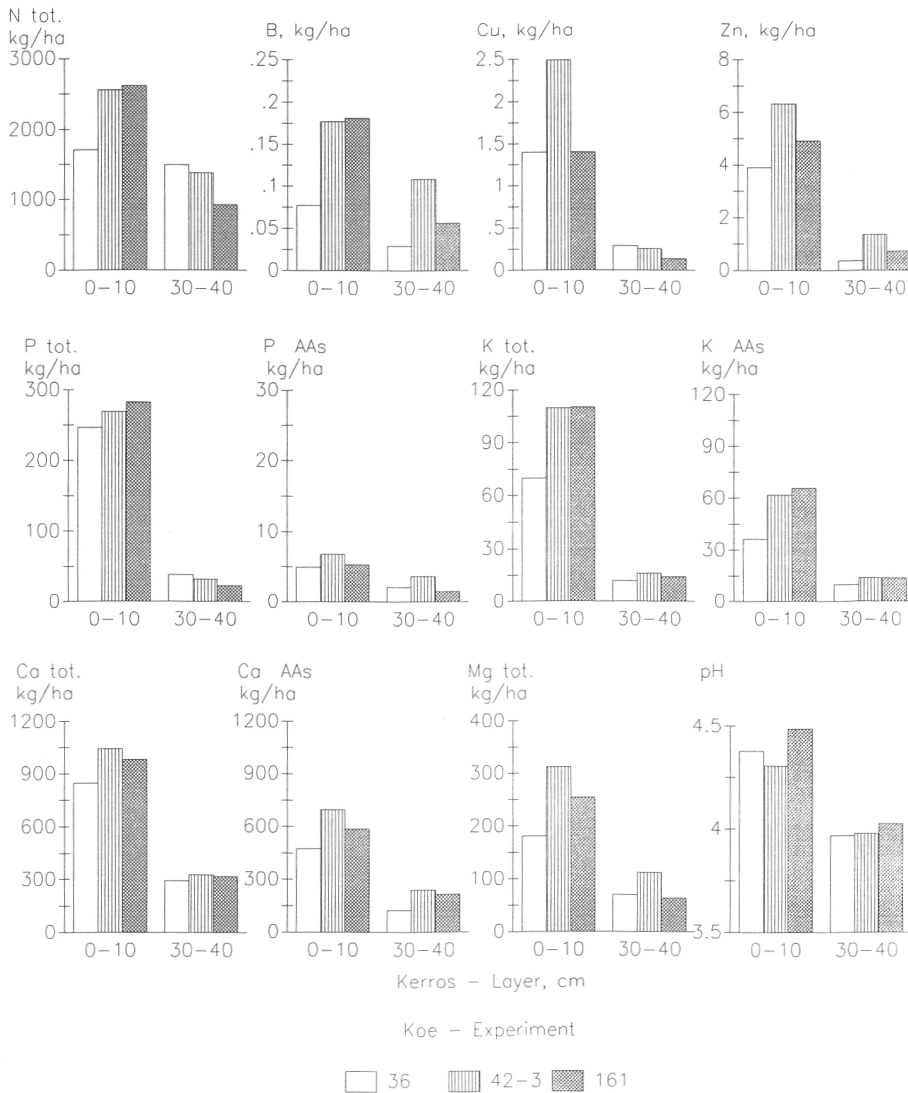
¹ AAs = happamalla (pH 4,65) ammoniumasetaatilla uutettu – Extracted with acid (pH 4.65) ammonium acetate

313. Ravinteiden määrä

Myös ravinnemäärien erot kerrosten välillä olivat yleensä suuria (kuva 3 ja liite 2). Kaikkien analysoitujen ravinteiden kokonaismäärät olivat pintakerroksessa korkeampia kuin muokauskerroksen alapuolella (30-40 cm). Boorimäärissä erot olivat pienimmät, mutta niissäkin tilastollisesti erittäin merkitsevät. Helpoliukois-

ten kivennäisravinteiden määrien erot olivat jonkin verran kokonaismäärien eroja pienempiä, mutta kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitseviä (kuva 3 ja liite 2). Maan pH oli pinnassa selvästi korkeampi kuin 30-40 cm:n kerroksessa (kuva 3, liite 2).

Kauniston & Paavilaisen (1988) turvekankailla mittaamiin ravinnemääriin verrattuna typen määrä oli maan pintakerroksessa samaa suuruus-



Kuva 3. Maan ravinteiden keskimääräiset kokonaismäärät, pH sekä fosforin, kaliumin ja kalsiumin ammoniumasetaatilla (AAs) uutetut määrät kokeittain eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.
 Figure 3. Total nutrient amounts, pH and the ammonium acetate extractable (AAs) amounts of P, K and Ca in different soil layers. Key in Fig. 2.

luokkaa kuin ravinteisuudeltaan hyvillä ja kes-
 kinkertaisilla turvekankailla, mutta 30–40 cm:n
 syvyydessä yhtä suuri tai jopa pienempi kuin
 varputurvekankailla vastaavassa kerroksessa.

Sekä fosforin että kaliumin kokonaismäärät
 0–10 cm:n kerroksessa olivat yleensä monin-
 kertaiset turvekankaisiin verrattuna (Kaunisto
 & Paavilainen 1988), mutta 30–40 cm:n kerrok-
 sessa fosforia oli vähemmän kuin em. turvekan-
 kailla ja kaliumiakin erittäin niukasti.

Vaihtuvan kaliumin osuus 0–10 cm:n kerrok-
 sessa oli vain n. puolet kokonaiskaliumin mää-
 rästään kun se 30–40 cm:n kerroksessa, kuten
 yleensäkin turvemaissa, oli yli 90 % (ks. Hol-
 men 1964, Westman 1981, Kaunisto & Paavi-
 lainen 1988, Kaunisto 1990). Suuri osa pinta-
 kerroksen kaliumista oli siis vaikealiukoisessa
 muodossa.

Kalsiumia oli jonkin verran, mutta magne-
 siumia moninkertaisesti enemmän pellon pinta-

kerroksessa kuin edellä mainituilla turvekan-
kailla. Magnesiumia oli enemmän myös 30–40
cm:n kerroksessa. Hivenaineista sinkkiä oli pin-
tamaassa runsaasti, kuparia kohtalaisesti, mutta
booria niukasti.

Kokeessa 36 annettiin booria, kuparia ja sink-
kiä hajalevityksenä. Näytteenottohetkellä boorin
ja sinkin määrissä ei ollut sanottavia eroja,
mutta kuparia oli 0–10 cm:n kerroksessa hiven-
seoksella lannoitetuilla koealoilla n. kaksinker-
tainen määrä muihin verrattuna, kuten seuraa-
vasta jaotelmasta ilmenee:

	0	Lannoitus		F
		B	hivenseos	
B, kg/ha	0,06	0,08	0,09	0,30
Cu, "	0,9	1,1	2,1	10,30***
Zn, "	3,2	4,3	4,2	1,85

Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

314. Ravinteiden kulkeutuminen

Ravinteiden kulkeutumista alaspäin tarkasteltiin siten, että laskettiin regressioyhtälöt ravin-
teiden määrien välille 30–40 cm (y) ja 0–10
cm:n (x) turvekerroksessa. Typen, fosforin ja
kaliumin kokonaismäärät 30–40 cm:n kerrok-
sessa eivät korreloineet vastaavien pintakerrok-
sen ravinteiden kokonaismäärien kanssa (liite
3), mutta kalsiumin, magnesiumin, boorin ja
sinkin määrät korreloivat, joskin selitysasteet
olivat matalia. Nitraattityppeä, helppoliukoista
fosforia sekä vaihtuvaa kaliumia ja kalsiumia
oli 30–40 cm:n kerroksessa sitä enemmän, mitä
enemmän näiden ravinteiden helposti uutettavia
fraktioita oli 0–10 cm:n kerroksessa, mutta fos-
forin ja kaliumin osalta selitysasteet olivat vä-
häisiä (liite 4).

315. Helppoliukoisten ravinteiden riippuvuus ravinteiden kokonaismäärästä

Helppoliukoisten ravinteiden ja kokonaisravin-
nemäärien välillä samassa kerroksessa oli yleensä
kiinteä positiivinen riippuvuus (kuva 4). Kaliumilla
korrelaatio oli 30–40 cm:n kerroksessa
yhtä suuri kuin kalsiumillakin, mutta 0–10 cm:n
kerroksessa selvästi vähäisempi, mikä myös osal-
taan viittaa runsaaseen kivennäismaasekoituk-
seen ja siinä olevan kaliumin osittaiseen vaikea-
liukoisuuteen. Kaikille ravinteille oli ominaista,
että 30–40 cm:n kerroksessa riippuvuus helppo-

liukoisten ja ravinteiden kokonaismäärien väli-
lä oli kiinteämpi kuin 0–10 cm:n kerroksessa.
Ravinteiden kokonaismäärän analysointi turpees-
ta antoi näin ollen vastaavien helppoliukoisten
ravinteiden määrästä paremman kuvan kuin ana-
lysointi turpeen ja kivennäismaan seoksesta.

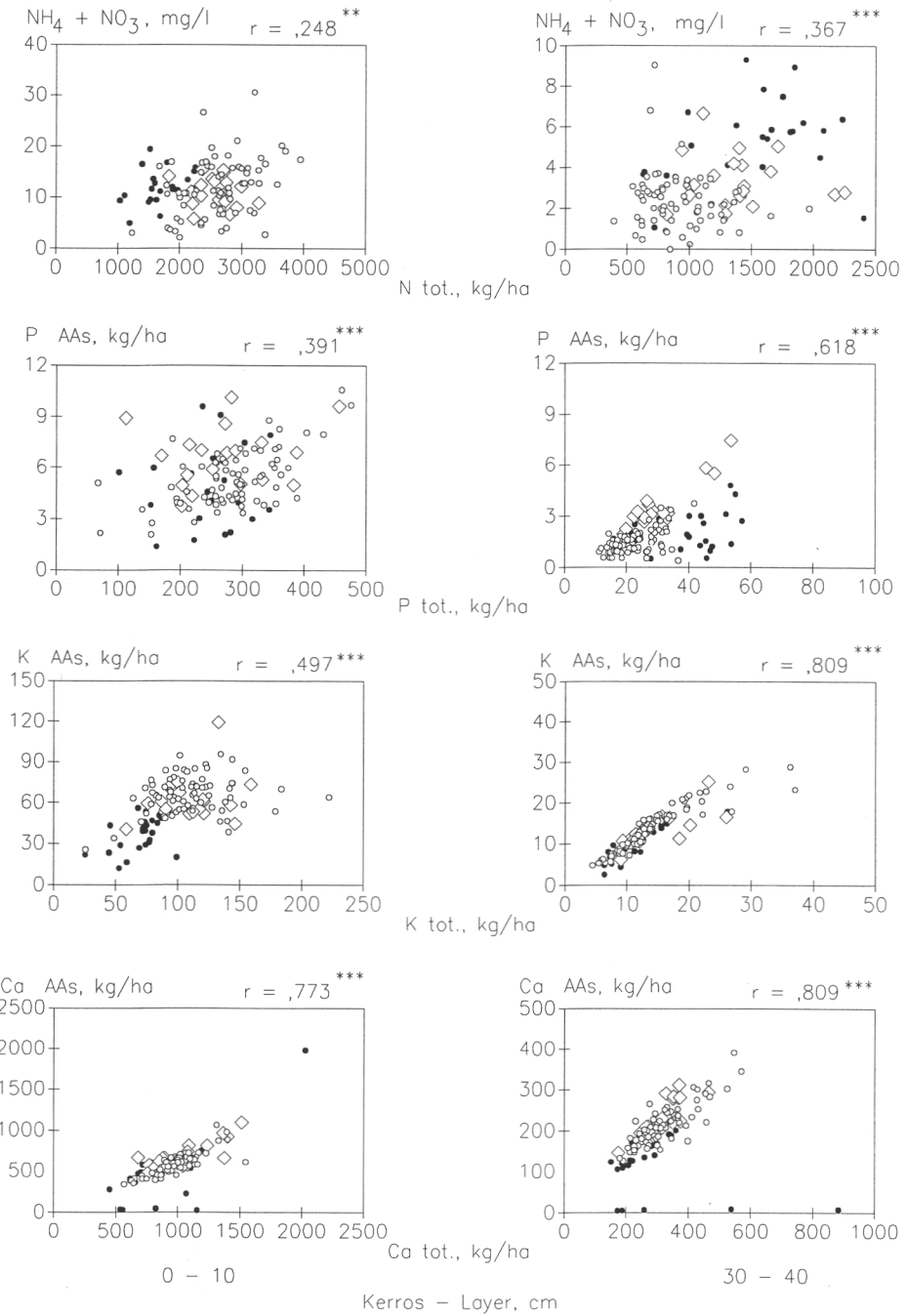
316. Ravinteiden määrä ja turpeen fyysiset ominaisuudet

Maan kokonaisravinteiden määrä oli yleensä sitä
suurempi mitä suurempi maan tiheys oli (kuvat
5–8, liite 5). Poikkeuksena oli sinkin määrä 30–
40 cm:n kerroksessa, jossa kolme poikkeavaa
havaintoa muuttivat tilanteen (liite 5, kuva 8).
Helppoliukoisten ravinteiden määrät korreloi-
vat tiheyden kanssa positiivisesti lukuunotta-
matta kalsiumin määrää 0–10 cm:n kerroksessa
sekä ammonium- ja nitraattitypen määriä kum-
massakin kerroksessa.

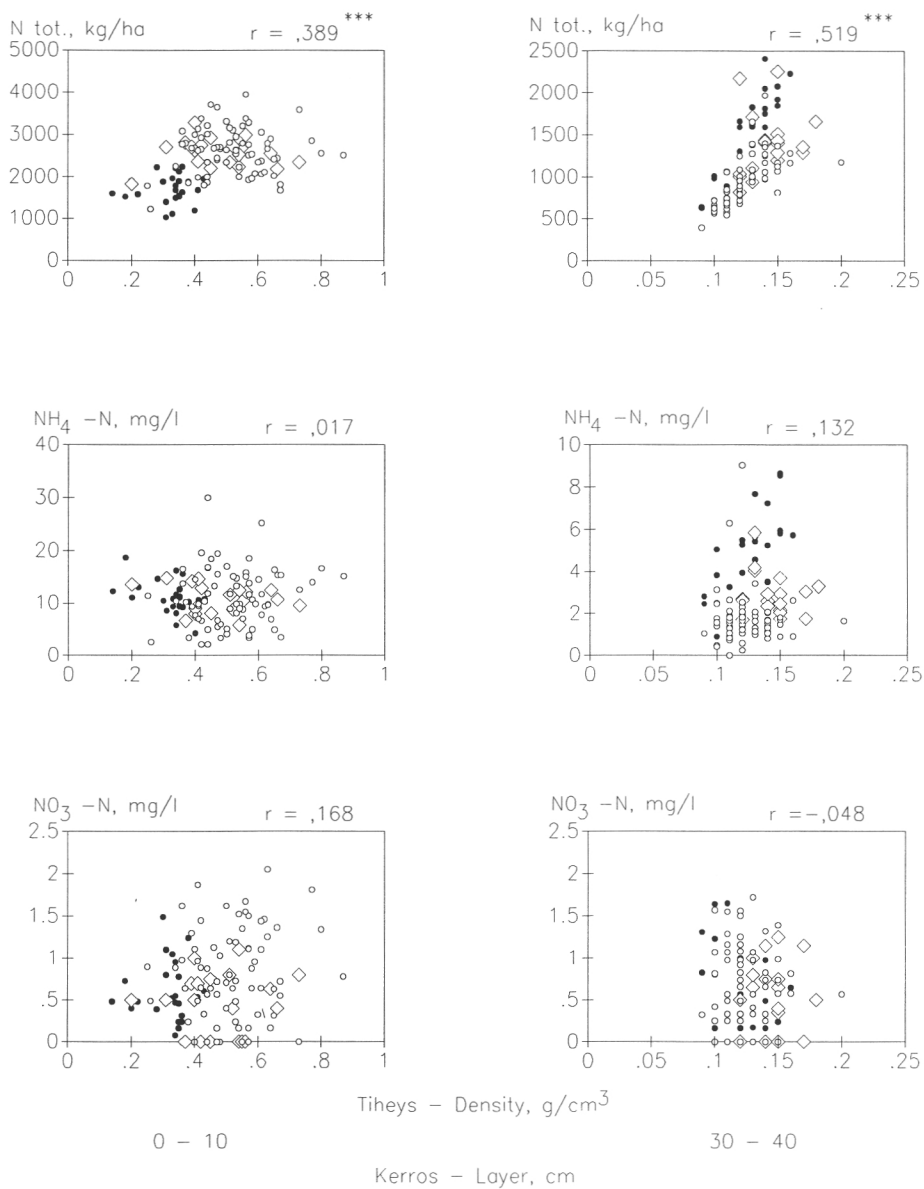
Yleensä maan ravinteiden ja tiheyden väliset
riippuvuudet olivat suoraviivaisia. Poikkeukse-
na olivat kokonaistypen ja vaihtuvan kaliumin
määrät 0–10 cm:n kerroksessa. Kummassakin
tapauksessa riippuvuutta kuvasi suoraa parem-
min alaspäin aukeava parabeli (kuvat 5 ja 6, liite
5), jonka huippu oli kokonaistypen aineistossa
tiheyden arvolla 0,61 g/cm³ vastaten kokonaisty-
pen määrää 2670 kg/ha ja vaihtuvan kaliumin
aineistossa tiheyden arvolla 0,66 g/cm³ vastaten
vaihtuvan kaliumin määrää 94 kg/ha. Maan tyy-
ppi on valtaosalta sitoutunut orgaaniseen ainee-
seen. Tällöin on ymmärrettävää, että tässä tilan-
teessa, jossa maan tiheyden lisääntyminen sam-
alla merkitsee orgaanisen aineksen vähenty-
mistä, saavutetaan käännekohta, jonka jälkeen
tiheyden edelleen lisääntyessä typen määrä vä-
henee. Yllättävämpää on helppoliukoisen kali-
umin samankaltainen riippuvuus. Syynä saattaa
olla kaliumin liukoisuuserot painomaana käy-
tetyissä kivennäismaissa.

Maan ravinnemääriä verrattiin myös orgaanisen
aineksen osuuteen. Kaikki tilastollisesti mer-
kitsevät riippuvuudet olivat negatiivisia (liite
6). Selitysasteet olivat yleensä selvästi pienem-
piä kuin ravinteiden määrän ja tiheyden välisissä
regressioissa (liitteet 5 ja 6).

Maan pH korreloi positiivisesti maan tihey-
den ja negatiivisesti orgaanisen aineksen osuu-
den kanssa 0–10 cm:n kerroksessa, mutta 30–40
cm:n kerroksessa ei ollut tilastollisesti merkitse-
vää korrelaatiota näiden suureiden välillä (liit-
teet 5 ja 6, kuva 7).

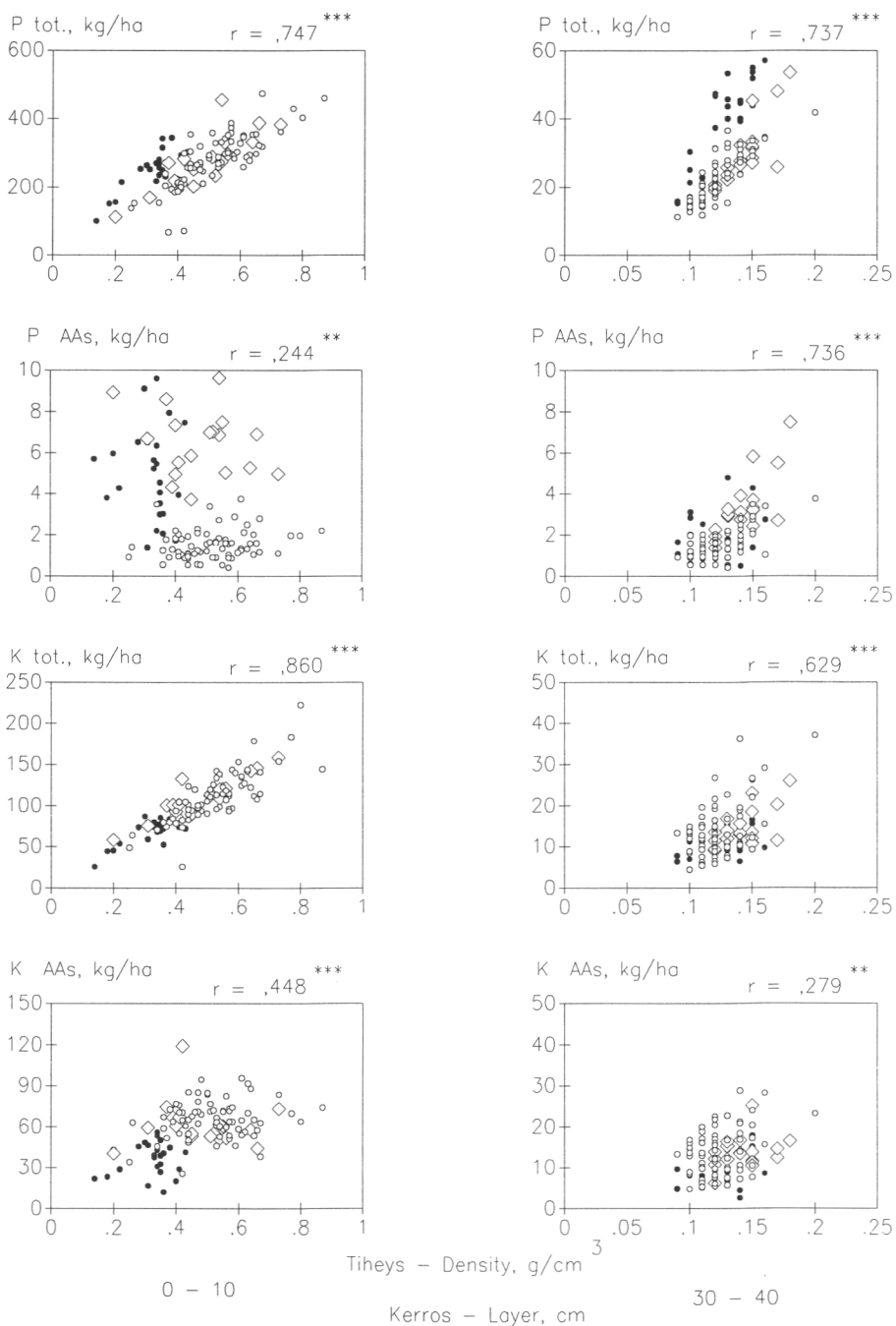


Kuva 4. Maan mineraalityypipitoisuuden sekä ammoniumasetatilla uutetun fosforin, kaliumin ja kalsiumin määrien riippuvuus vastaavien ravinteiden kokonaismäärästä maassa eri syvyyksillä.
 Figure 4. Dependence of the soil mineral nitrogen content and ammonium acetate extractable phosphorus, potassium and calcium contents on the total amounts of the corresponding nutrients at different depths.



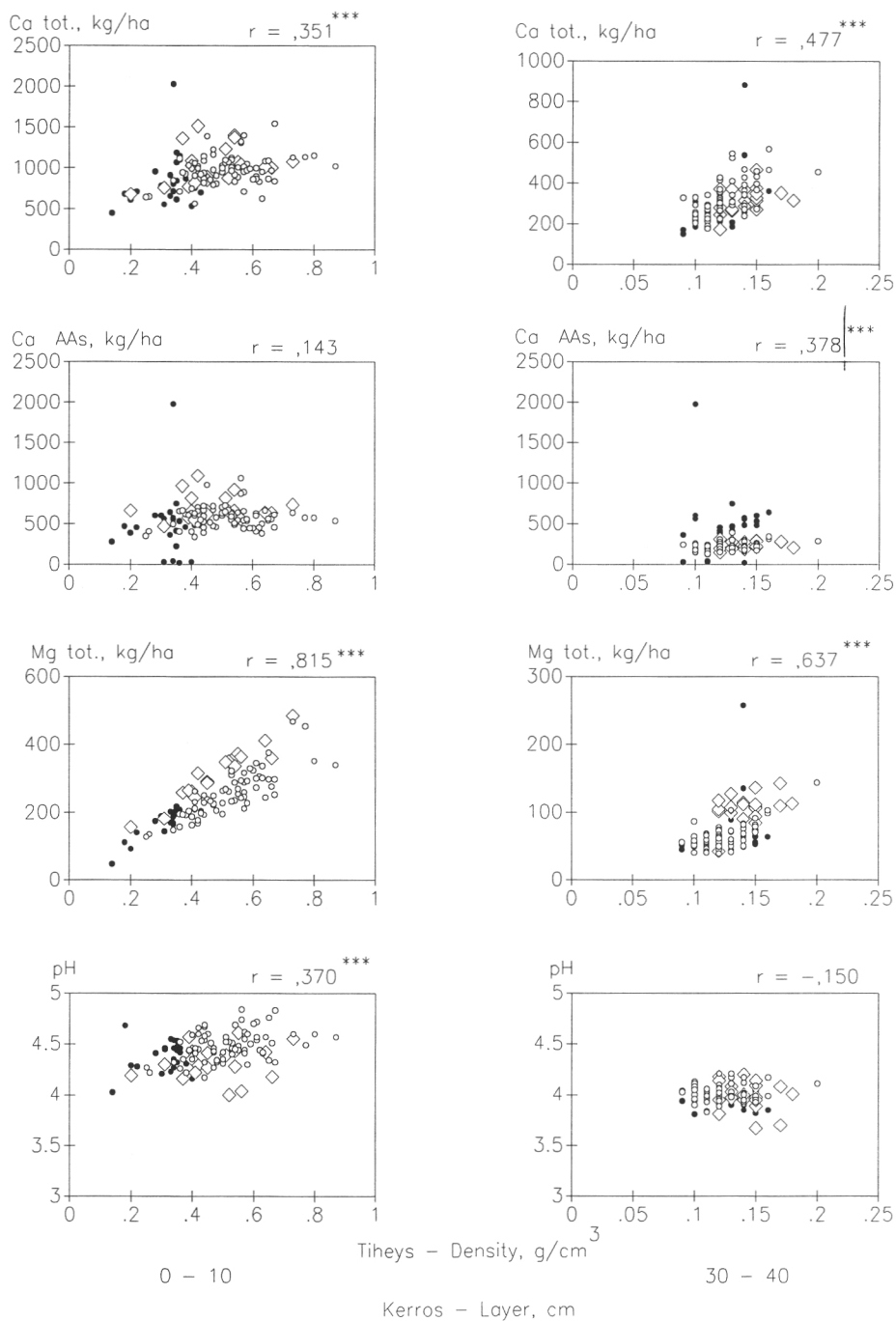
Kuva 5. Kokonaistypen määrän (kg/ha) ja liukoisen typen pitoisuuden (mg/l) riippuvuus maan tiheydestä eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.

Figure 5. Dependence of the soluble and total nitrogen contents on soil bulk density at different depths. Key in Fig. 2.

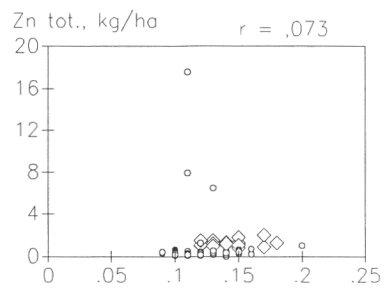
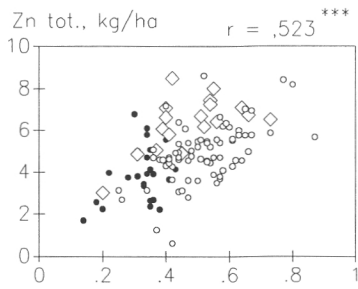
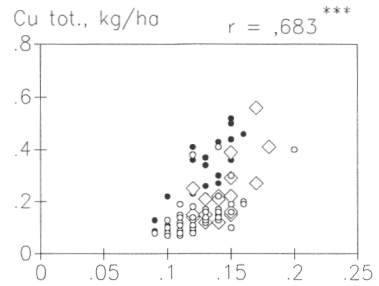
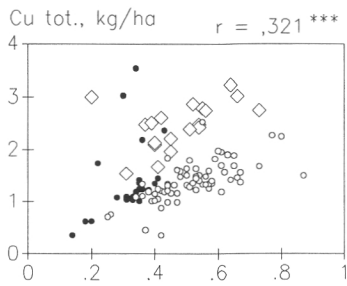
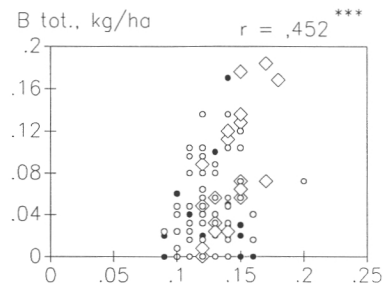
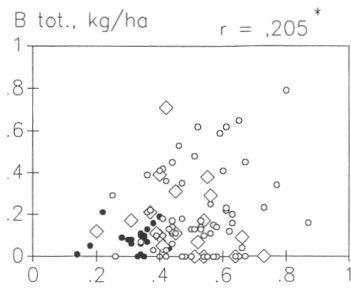


Kuva 6. Fosforin ja kaliumin kokonaismäärän ja ammoniumasetatilla (AAs) uutetun määrän riippuvuus maan tiheydestä eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.

Figure 6. Dependence of the amounts of the total and ammoniumacetate (AAs) extractable phosphorus and potassium on soil bulk density at different depths. Key in Fig. 2.



Kuva 7. Kalsiumin ja magnesiumin kokonaismäärän ja kalsiumin ammoniumasetaatilla (AAs) uutetun määrän sekä pH:n riippuvuus maan tiheydestä eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.
 Figure 7. Dependence of the total and ammonium acetate (AAs) extractable calcium amounts, the total magnesium amount and pH on soil bulk density at different depths. Key in Fig. 2.



Tiheys - Density, g/cm³
 0 - 10 30 - 40
 Kerros - Layer, cm

Kuva 8. Boorin, kuparin ja sinkin kokonaismäärän riippuvuus maan tiheydestä eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.
 Figure 8. Dependence of the total boron, copper and zinc amounts on soil bulk density at different depths. Key in Fig. 2.

32. Neulasten ravinnepitoisuudet ja maan fyysikaaliset ominaisuudet

Neulasten ravinnepitoisuuksia tarkasteltiin maan tiheyden ja orgaanisen aineksen osuuden suhteen eri kerroksissa. Neulasten ravinteiden ja orgaanisen aineksen osuuden välillä ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä riippuvuuksia, joten niitä ei tässä yhteydessä käsitellä. Sen sijaan neulasten ravinnepitoisuuksien ja maan tiheyden välillä oli joitakin tilastollisesti merkitseviä riippuvuussuhteita (taulukko 3). Neulasten typpi- ja fosforipitoisuudet korreloivat negatiivisesti 0–10 cm:n kerroksen, mutta positiivisesti 30–40 cm:n kerroksen tiheyden kanssa. Neulasten kaliumpitoisuudet eivät korreloineet turpeen tiheyden kanssa. Hivenaineista ainoastaan kupari- ja mangaanipitoisuudet korreloivat 0–10 cm:n kerroksen tiheyden kanssa.

33. Neulasten ravinnepitoisuuden riippuvuus maan ravinteista

Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelua tarkasteltiin sekä maan ravinnemäärien (kg/ha) että sen ravinnepitoisuuksien suhteen. Maan ravinnepitoisuuksista vertailtavina olivat sekä näytteen koko kuivapainoa että sen orgaanista osuutta kohden (mg, g/kg) lasketut pitoisuudet. Lisäksi vertailtiin neulasten ravinnepitoisuuksia typen, fosforin, kaliumin ja kalsiumin liukoisten fraktioiden laboratoriotilavuuksia kohden lasketujen pitoisuuksien (mg/l) suhteen.

Neulasten typpipitoisuudet olivat kokeessa 161 matalia ja useissa tapauksissa puutosrajalla (13 mg/g ks. Paarlahti ym. 1971) tai jopa sen alapuolella (kuva 9). Kokeissa 42–3 typpipitoisuudet olivat lähellä turvemaiden mäntytaimikoille esitettyä optimia 15–16 mg/g (Miller ym. 1981, Kaunisto 1982). Kokeessa 36 pitoisuudet vaihtelivat puutoksesta optimiin.

Neulasten typpipitoisuus oli sitä korkeampi, mitä enemmän (kg/ha) maassa oli typpeä (taulukko 4, kuva 9). Korkein korrelaatiokerroin oli neulasten typpipitoisuuden ja maan kokonaistypen määrän (kg/ha) 30–40 cm:n kerroksessa välillä. Lähes yhtä korkea korrelaatio oli neulasten typpipitoisuuden ja turpeen kokonaistypipitoisuuden (g/kg) samoin kuin NH_4 -typen laboratoriotilavuutta kohden lasketun pitoisuuden välillä 30–40 cm:n kerroksessa. Maan pintaosassa orgaanista ainetta kohden laskettu maan typpipitoisuus selitti neulasten typpipitoisuuksia paremmin kuin koko näytettä kohden lasket-

Taulukko 3. Neulasten ravinnepitoisuuksien ja maan tiheyden väliset tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot eri syvyyksillä.

Table 3. Statistically significant correlations between the needle nutrient concentrations and the soil bulk density at different depths.

Ravinne Nutrient	Kerros - Layer, cm	
	0–10	30–40
N	-,245**	,346***
P	-,351***	,314***
Ca	-,125	,225*
Cu	,317***	,054
Mn	,503***	-,030

tu typen määrää. Syvemässä kerroksessa tilanne oli päinvastoin.

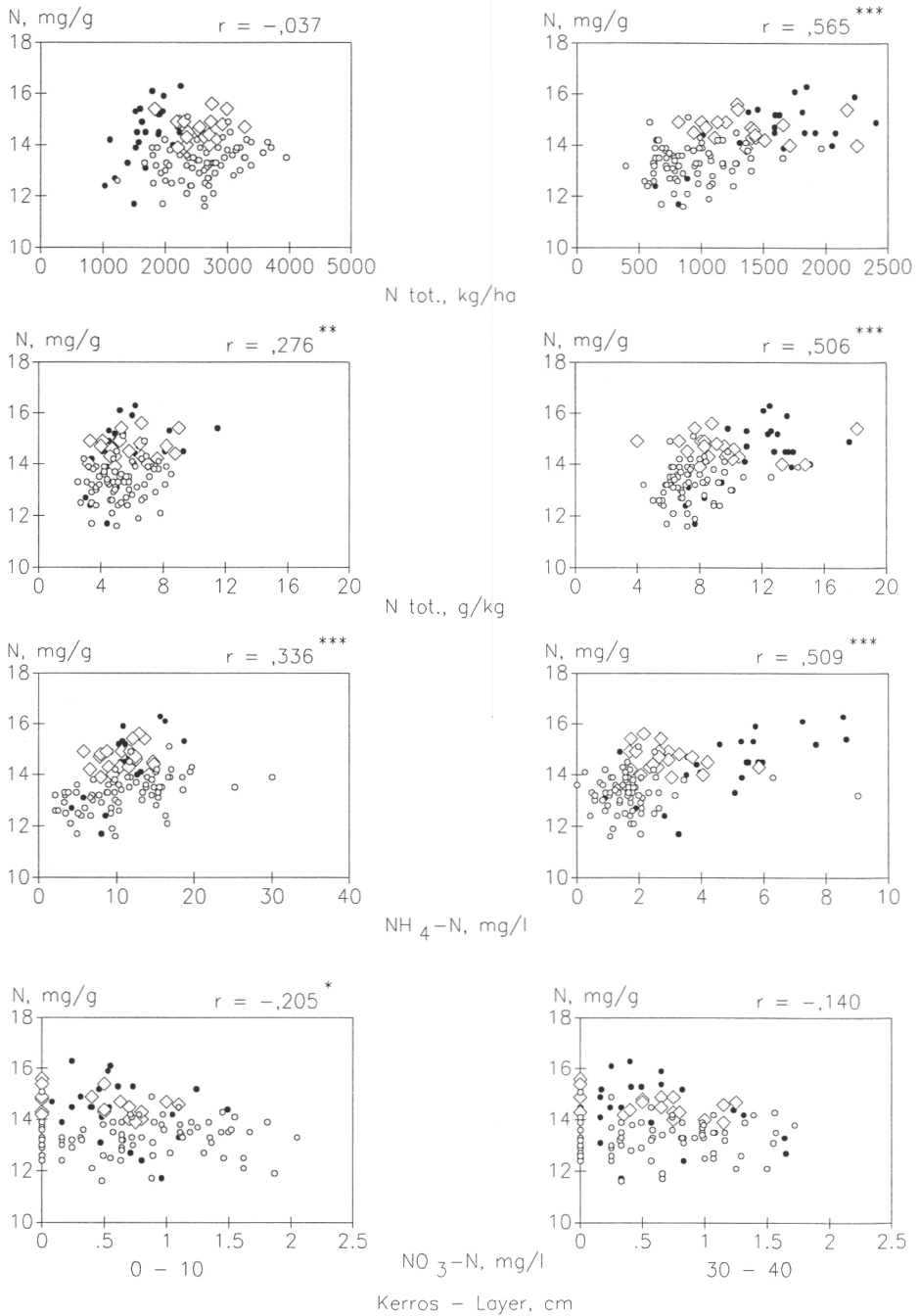
Neulasten typpipitoisuudet olivat em. puutosrajan yläpuolella kaikissa tapauksissa, joissa turpeen typen kokonaismäärä 30–40 cm:n kerroksessa oli yli 1500 kg/ha tai turpeen kokonaistypipitoisuus yli 12 mg/g (kuva 9, ks. myös Kaunisto 1982).

Neulasten fosforipitoisuudet olivat kokeessa 161 matalia ja useissa tapauksissa puutosrajalla (1,40 mg/g ks. myös Paarlahti ym. 1971) tai jopa sen alapuolella (kuva 10). Kokeissa 42–3 fosforipitoisuudet olivat pääasiassa Paarlahauden ym. (1971) suomänniköille esittämällä optimialueella 1,6–2,0 mg/g. Kokeessa 36 pitoisuudet vaihtelivat läheltä puutosrajaa optimiin.

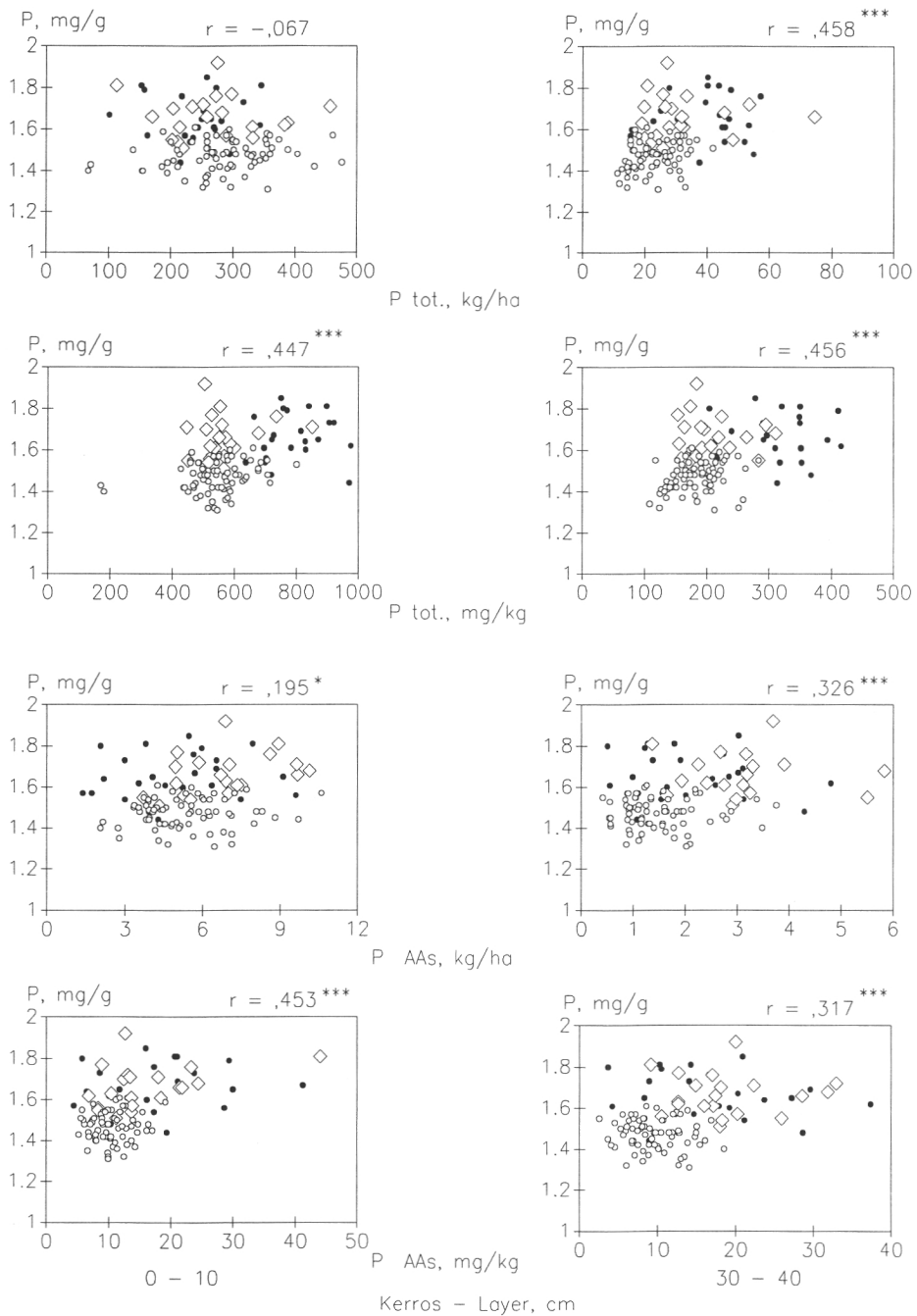
Neulasten fosforipitoisuuksia selittivät yhtä hyvin kokonaisfosforin määrä (kg/ha) 30–40 cm:n kerroksessa ja helppoliukoisen ja kokonaisfosforin pitoisuus (mg/kg) 0–10 cm:n kerroksessa (kuva 10). Laboratoriotilavuutta kohden laskettu (mg/l) helppoliukoisen fosforin pitoisuus selitti neulasten fosforipitoisuuden vaihtelua huonoimmin. Kaikissa tapauksissa näytteen koko painoa kohden lasketut pitoisuudet selittivät neulasten fosforipitoisuuksia paremmin kuin orgaanista osaa kohden lasketut (taulukko 4).

Neulasten fosforipitoisuudet olivat em. puutosrajan yläpuolella kaikissa tapauksissa, joissa turpeen kokonaisfosforin määrä 30–40 cm:n kerroksessa oli yli 40 kg/ha ja pitoisuus yli 280 mg/kg. Samoin neulasten fosforipitoisuus oli em. puutosrajan yläpuolella tapauksissa, joissa pintamaan fosforipitoisuus oli yli 600 mg/kg (kuva 10).

Neulasten kaliumpitoisuudet olivat yhtä poikkeusta lukuunottamatta yli 4,0 mg/g, jota esim. Paarlahti ym. (1971) pitävät raja-arvona silloin,



Kuva 9. Neulasten typpipitoisuuden riippuvuus kokonaistypen määrästä (kg/ha) ja pitoisuudesta (g/kg) sekä ammonium- ja nitraattitypen pitoisuudesta (mg/l) maassa eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.
 Figure 9. Dependence of the needle nitrogen concentration on the total nitrogen contents (kg/ha, g/kg) and on the ammonium and nitrate nitrogen contents in different soil layers. Key in Fig. 2.



Kuva 10. Neulasten fosforipitoisuuden riippuvuus maan kokonaisfosforin ja ammoniumasetaatilla (AAs) uutetun fosforin määrästä (kg/ha) ja pitoisuudesta (mg/kg) eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.

Figure 10. Dependence of the needle phosphorus concentration on the total and ammonium acetate (AAs) extractable phosphorus contents in different soil layers. Key in Fig. 2.

kun maan typpitalous on hyvä. Valtaosassa aineistoa neulasten kaliumpitoisuus oli yli 4,5 mg/g, joten puuston kaliumravitsemusta peltoalueilla voidaan pitää hyvänä.

Neulasten kaliumpitoisuudet korreloivat tilastollisesti merkitsevästi vain 30–40 cm:n kerroksen kaliumarvojen kanssa. Kaikki korrelaatiot olivat negatiivisia ja jonkin verran alempia kuin typpellä ja fosforilla (kuva 11). Laboratoriotilavuutta kohden lasketut (mg/l) kaliumpitoisuudet selittivät neulasten kaliumpitoisuuden vaihtelua huonoimmin. Orgaanista ainetta kohden lasketut kaliumpitoisuudet 30–40 cm:n kerroksessa selittivät neulasten kaliumpitoisuuksia huomattavasti enemmän kuin koko näytteen painoa kohden lasketut pitoisuudet (taulukko 4).

Neulasten kalsiumpitoisuuksien ja maan kalsiumin määrien (kg/ha) väliset korrelaatiot olivat vähäisiä (kuva 12). Maan kalsiumpitoisuudet (mg/kg) selittivät neulasten kalsiumpitoisuuksia jonkin verran paremmin (kuva 12, taulukko 4). Neulasten kalsiumpitoisuudet olivat sitä korkeampia mitä suurempia kalsiumpitoisuudet olivat 0–10 cm:n kerroksessa ja toisaalta sitä alempia mitä suurempia kalsiumpitoisuudet olivat 30–40 cm:n kerroksessa. Pintakerroksen orgaanista ainetta kohden lasketut pitoisuudet selittivät neulasten kalsiumpitoisuuksia parem-

min kuin koko näytettä kohden lasketut pitoisuudet (taulukko 4).

Neulasten magnesium- ja booripitoisuuksien sekä vastaavien maasta määritettyjen ravinteiden välillä korrelaatiot olivat vähäisiä (kuva 13, taulukko 4). Neulasten booripitoisuudet vaihtelivat erittäin paljon. Kokeessa 36 oli suurin osa boorille esitetyn puutosrajan (7 ppm, ks. Veijalainen ym. 1984) alapuolella tai sen tuntumassa.

Neulasten kuparipitoisuudet olivat sitä korkeampia mitä enemmän turpeen pintakerroksessa oli kuparia, mutta sitä alempia mitä enemmän 30–40 cm:n kerroksessa sitä oli (kuva 14, taulukko 4). Parhaiten neulasten kuparipitoisuuksia selitti kuparin määrä (kg/ha) 0–10 cm:n kerroksessa. Maan pintakerroksen orgaanista ainetta kohden laskettu kuparipitoisuus selitti neulasten kuparipitoisuutta paremmin kuin koko näytettä kohden laskettu kuparipitoisuus. Syvemmällä tilanne oli päinvastoin (taulukko 4). Neulasten kuparipitoisuuksien vaihteluväli oli hyvin laaja (kuva 14). Matalia (< 3,0 ppm) arvoja oli erityisesti kokeen 36 neulasissa.

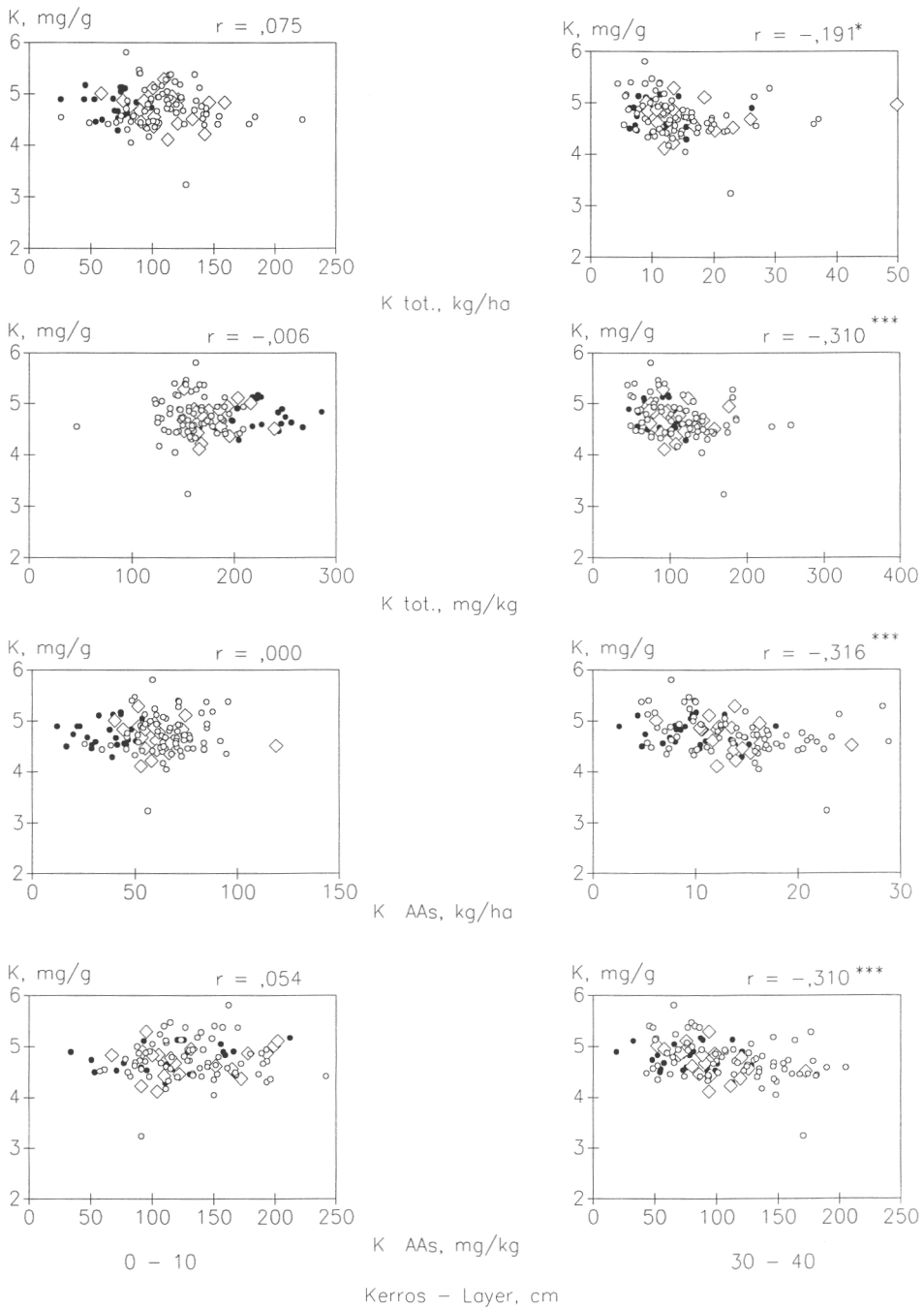
Neulasten sinkkipitoisuuksia selittivät parhaiten sinkin kokonaismäärä ja -pitoisuus 30–40 cm:n kerroksessa (kuva 14). Sinkkipitoisuudet vaihtelivat varsin paljon. Turpeen sinkkipitoisuuden 30–40 cm:n kerroksessa ollessa yli 6

Taulukko 4. Neulasten ravinnepitoisuuksien ja vastaavien maan ravinteiden pitoisuuksien väliset korrelaatiot eri syvyyksillä.

Table 4. Dependence of the needle nutrient concentrations on the corresponding soil nutrient concentrations at different depths.

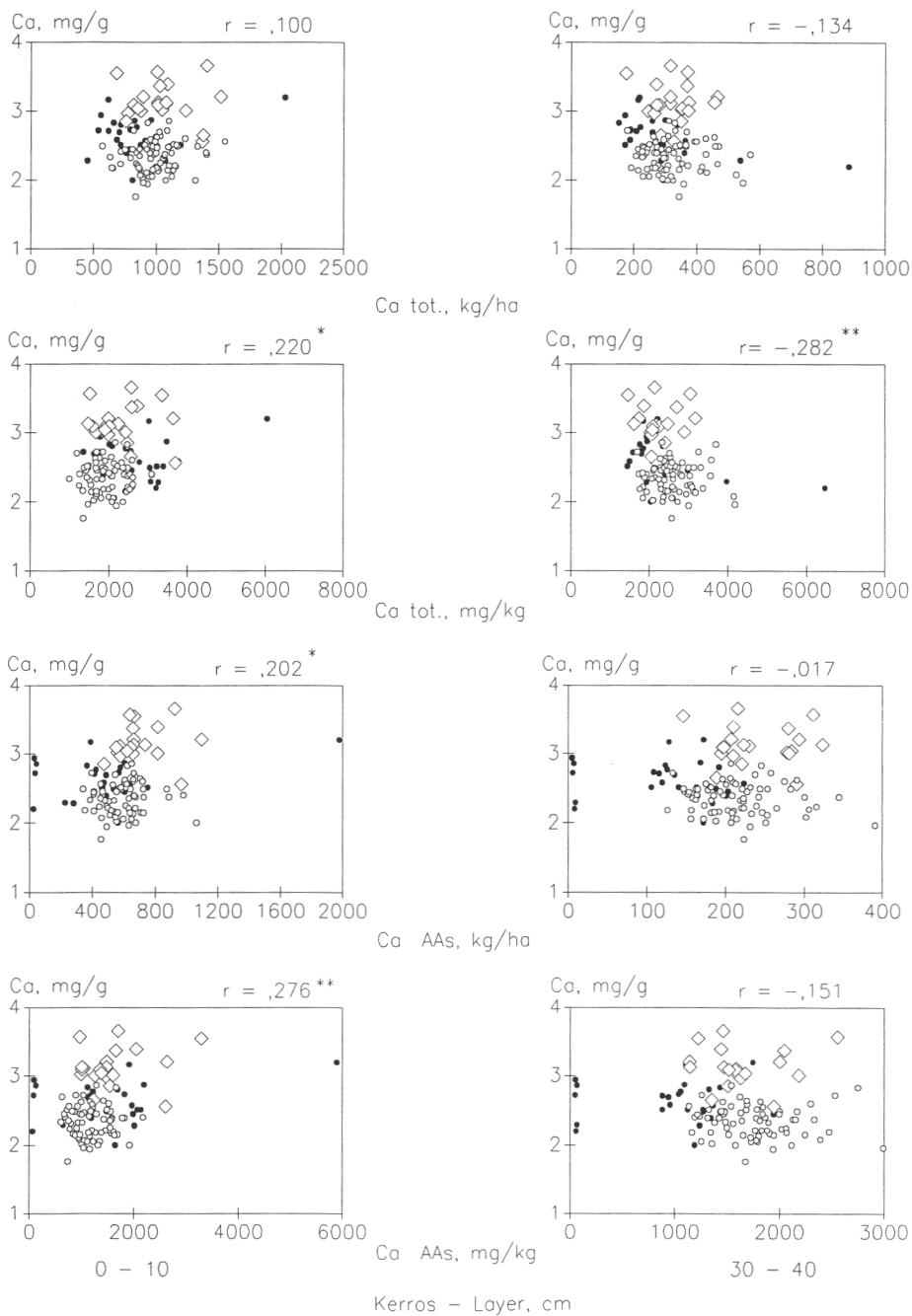
Maasta mitattu muuttuja ¹ Measured parameter in soil ¹	Koko näytettä kohden For total sample		Orgaanista osaa kohden For organic part	
	0–10	Kerros – Layer, 30–40	0–10	30–40
N tot., g/kg	,276**	,506***	,387***	,464***
NH ₄ +NO ₃ –N, mg/l	,304***	,458***	–	–
P tot., g/kg	,447***	,456***	,154	,338***
P AAs, mg/kg	,453***	,317***	,338***	,251**
P AAs, mg/l	,264***	,314***	–	–
K tot., mg/kg	–,006	–,310***	–,098	–,187*
K AAs, mg/kg	,054	–,310***	–,018	–,285**
K AAs, mg/l	,015	–,190*	–	–
Ca tot., mg/kg	,220*	–,282**	,313***	–,228*
Ca AAs, mg/kg	,276**	–,151	,375***	–,120
Ca AAs, mg/l	,057	–,266**	–	–
Mg tot., mg/kg	,158	,232*	,069	,182*
B tot., mg/kg	,149	,181	,094	,177
Cu tot., mg/kg	,259**	–,265**	,319***	–,155
Zn tot., mg/kg	,272**	,561***	,132*	,438***

¹ AAs = hapan (pH 4,65) ammoniumasetattiutus
Acid (pH 4,65) ammoniumacetate extraction



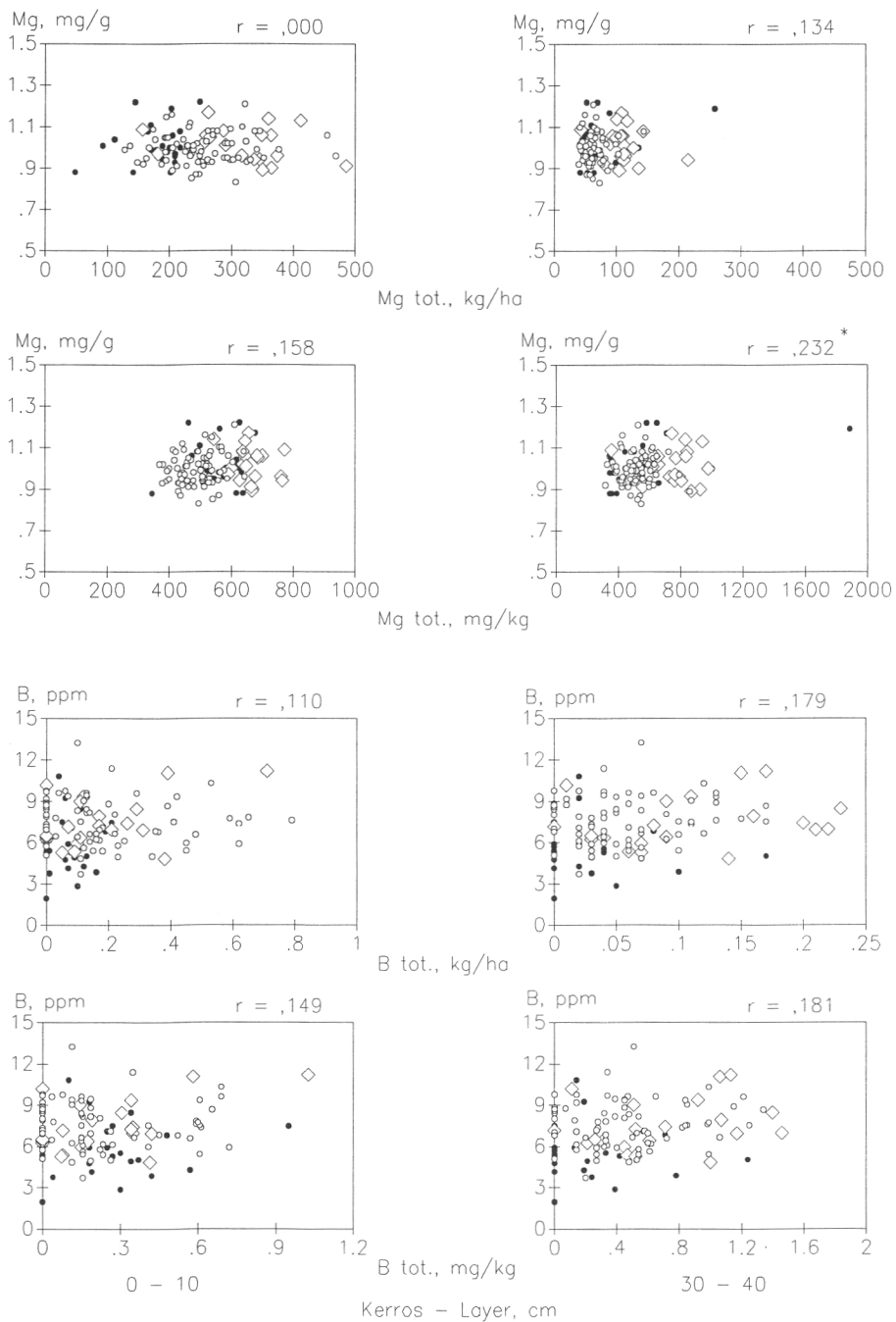
Kuva 11. Neulasten kaliumpitoisuuden riippuvuus maan kokonaiskaliumin ja ammoniumasetaatilla uutetun (AAs) kaliumin määrästä (kg/ha) ja pitoisuudesta (mg/kg) eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.

Figure 11. Dependence of the needle potassium concentrations on the total and ammonium acetate (AAs) extractable potassium contents in different soil layers. Key in Fig. 2.



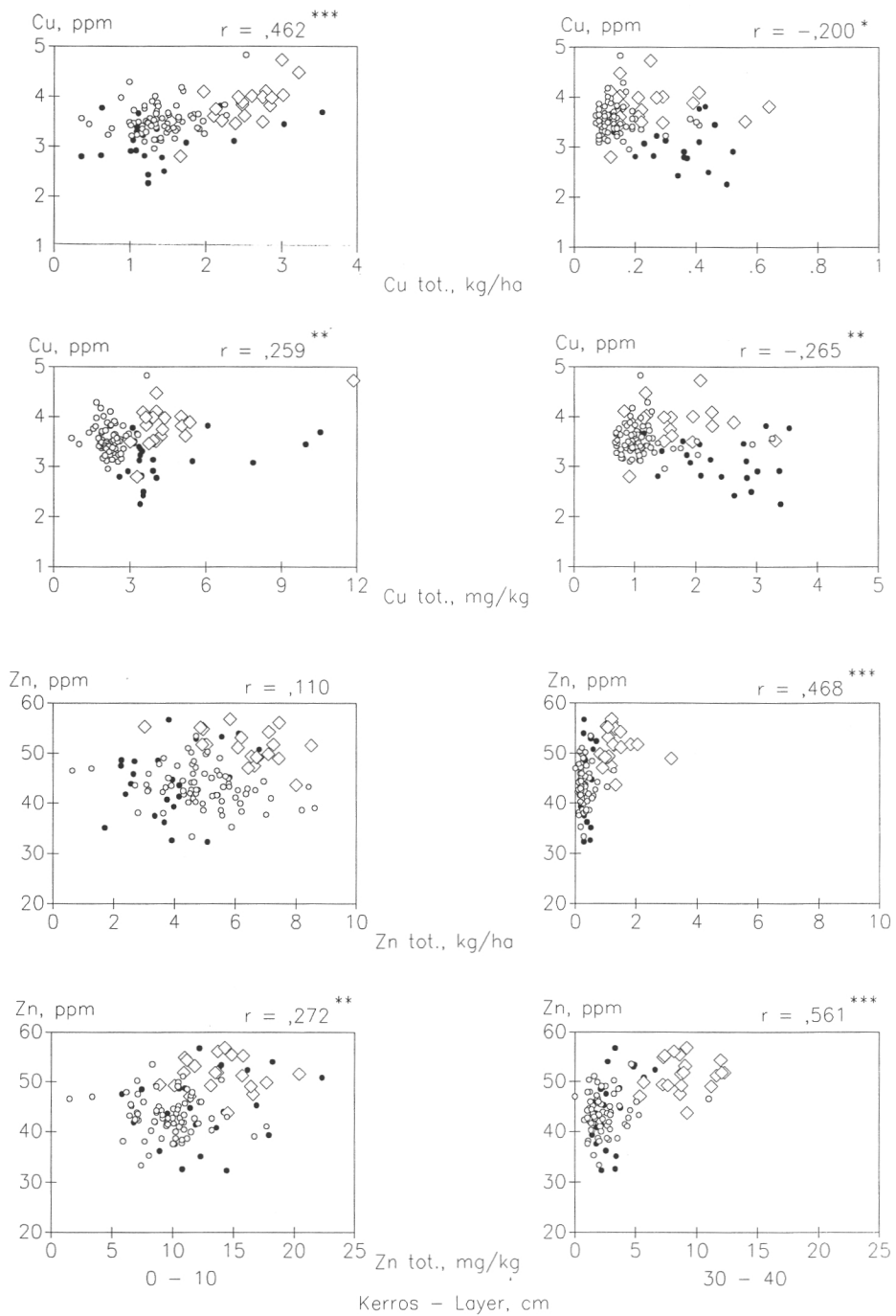
Kuva 12. Neulasten kalsiumpitoisuuden riippuvuus maan kokonaiskalsiumin ja ammoniumasetaatilla uutetun (AAs) kalsiumin määrästä (kg/ha) ja pitoisuudesta (mg/kg) eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 4.

Figure 12. Dependence of the needle calcium concentration on the total and ammonium acetate (AAs) extractable potassium contents in different soil layers. Key in Fig. 2.



Kuva 13. Neulasten magnesium- ja booripitoisuuden riippuvuus maan kokonaismagnesiumin ja boorin määrästä eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.

Figure 13. Dependence of the needle magnesium and boron concentrations on the total magnesium and boron contents in different soil layers. Key in Fig. 2.



Kuva 14. Neulasten kupari- ja sinkkipitoisuuden riippuvuus maan kokonaiskuparin ja sinkin määrästä eri syvyyksillä. Symbolit kuvassa 2.
 Figure 14. Dependence of the needle copper and zinc concentrations on the copper and zinc contents in different soil layers. Key in Fig. 2.

mg/kg kaikki neulasten sinkkipitoisuudet olivat korkeampia kuin 45 ppm.

34. Lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin

Kokeilla 36 ja 161 oli boori- ja hivenseoslannoituskäsittelyjä. Hivenseoslannoitus kohotti kum-

massakin kokeessa neulasten booripitoisuuksia, mutta boorilannoitus vain kokeessa 161 (taulukko 5). Neulasten kupari- ja sinkkipitoisuuksiin hivenainelannoitus ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi, vaikka turpeen kuparipitoisuus tämän ansiosta kohosikin (ks. luku 312). Lannoitus tyvellä, fosforilla ja kaliumilla ei vaikuttanut näiden ravinteiden pitoisuuksiin neulasisästä tilastollisesti merkitsevästi.

Taulukko 5. Hivenlannoituksen vaikutus neulasten boori-, kupari- ja sinkkipitoisuuksiin kokeissa 36 ja 161.

Table 5. Effect of micronutrient fertilization on the needle boron, copper and zinc concentrations in Experiments 36 and 161.

Koe Experiment	Ravinne Nutrient	Lannoitus — Fertilization ¹			
		0	B	M	F
36	B, ppm	4,9	4,9	7,5	6,57**
	Cu, ppm	3,3	2,9	3,2	1,39
	Zn, ppm	44	44	46	0,35
161	B, ppm	6,6	8,6	7,1	12,23**
	Cu, ppm	3,4	3,7	3,6	2,50
	Zn, ppm	45	43	40	0,58

¹ Kokeessa 36 B = lannoiteboraattia (14 % B) 2 kg/ha ja M = hivenseosta 25 kg/ha. Hivenseoksen ravinnepitoisuudet taulukossa 1, kuten myös kokeen 161 käsittelyt. In Experiment 36, B = fertilizer borate (14 %) 2 kg/ha and M = micronutrient mixture 25 kg/ha. The nutrient contents of the mixture are presented in Table 1 as well as the treatments of Experiment 161.

4. Tulosten tarkastelua ja päätelmät

41. Maa-analyysimenetelmien vertailu

Vaikka tutkituilla suopelloilla oli käytetty vaihtelevia määriä kivennäismaata maanparannusaineena, tehtiin kivennäisravinteiden kokonaismääritykset orgaanisen aineen analysointia varten kehitetyillä menetelmillä tuhkan suolahappopuutoksesta (Halonen ym. 1983). Tällä menetelmällä ei pystytty sanottavasti vaikuttamaan maahiukkasten rakenteeseen. Näin ollen on selvää, että tässä tutkimuksessa muokkauskerroksesta määritetyt kivennäisravinteiden kokonaismäärät ja -pitoisuudet ovat aliarvio todellisista kokonaismääristä ja -pitoisuuksista. Ne kuitenkin antanevat käsityksen varastoravinteiden määristä, jotka vähitellen voivat vapautua puuston käyttöön.

Kaikissa tapauksissa muokkauskerroksen alapuolelta, turpeesta (30–40 cm) koko näytettä kohden lasketut ravinnepitoisuudet selittivät neulasten ravinnepitoisuuksia paremmin kuin näytteen orgaanista osaa kohden lasketut pitoisuudet. Sen sijaan painomaata sisältävän muokkauskerroksen osalta tilanne oli epämääräisempi. Orgaanista osaa kohden laskettu muokkauskerroksen typpipitoisuus (g/kg) selitti neulasten typpipitoisuutta paremmin kuin koko näytettä kohden laskettu typpipitoisuus. Tamminen (1991) on todennut humuskerroksen orgaanista osaa kohden lasketun typpipitoisuuden selittävän puustotunnuksia kivennäismailla paremmin kuin koko näytettä kohden lasketun typpipitoisuuden. Samansuuntaisia ovat mm. Aaltosen (1925) ja Lipaksen (1985) kangasmaita koskevat tulokset.

set, joissa todetaan kasvupaikan viljavuuden riippuvan humuskerroksen orgaanisen osan typpi-pitoisuudesta. Neulasten fosforipitoisuuksia selittivät sen sijaan parhaiten koko näytettä kohden määritetyt pitoisuudet. Muiden ravinteiden kohdalla erot olivat vähäisempiä.

Lähes yhdenmukaisesti voitiin havaita, että ravinteiden kokonaismäärät *in situ* (ks. myös Westman et al. 1985) tai -pitoisuudet selittivät joko suunnilleen yhtä hyvin tai paremmin neulasten ravinnepitoisuuksia kuin helpoliukoiset ravinteet ja yleensä viimemainituista kuiva-ainetta (mg/g) kohden lasketut paremmin kuin laboratoriotilavuutta (mg/l) kohden lasketut pitoisuudet. Maan erilaisilla kalium- ja kalsium-arvoilla oli hyvin vähän merkitystä neulasten vastaavien ravinteiden pitoisuuksia selitettäessä.

Maan ravinnemäärien vertailu ojitettujen soiden ravinnemääriin osoitti, että kyseisillä suopelloilla oli pintakerroksessa erityisesti fosforia, mutta myös kaliumia huomattavasti enemmän kuin ojitetuilla soilla ja että kaliumista vain noin puolet oli ammoniumasetaatilla uuttuvassa muodossa. Analyysimenetelmästä johtuen helpoliukoisen kaliumin osuus todellisesta kokonaiskaliumin määrästä oli ilmeisesti vieläkin pienempi. Yleensä kalium on turpeessa lähes kokonaan vaihtuvassa tai liukoisessa muodossa (esim. Kaila & Kivekäs 1956). On siis oletettavissa, että painomaassa on vielä runsaasti jäljellä rapautumatonta kaliumia varastossa. Toisaalta on erittäin vaikeata arvioida, miten paljon kaliumia vuosikymmenien aikana tästä varastosta tulee vapautumaan puuston käyttöön.

42. Kasvupaikan ravinnetilan arviointi

Tutkittujen peltoalueiden alkuperäisestä ravinteisuusustasosta ei ole varmaa tietoa, mutta 30–40 cm:n kerroksen ravinneanalyysit antavat siitä verrattain hyvän kuvan. Vaikka kysymyksessä ovat vuosikymmeniä tehokkaasti ojitettuina olleet sualueet ja näin ollen maatumiseen ja tämän myötä orgaanisesti sitoutuneiden ravinteiden konsentroitumiseen on ollut runsaasti aikaa, oli koealueiden keskimääräinen typpipitoisuus 30–40 cm:n kerroksessa vain 8,7 mg/g vastaten n. 1100 kg/ha typpeä. Runsaassa viidenneksessä (22 %) tapauksia typpipitoisuus oli yli 10 mg/g ja vain 15 %:lla tapauksia typpipitoisuus yli 12 mg/g. Vertailu muihin tutkimuksiin osoittaa, että suot ovat todennäköisesti olleet alunperin erittäin karuja (ks. Vahtera 1955, Holmen 1964,

Westman 1981, Kaunisto 1982 ja 1987) ja verrattavissa lähinnä rakkaisiin ja lyhytkortisiin suotyppeihin. On myös ilmeistä, että typpipitoisuus parhaimmillaankin oli 30–40 cm:n kerroksessa typen nettomineralisaation alarajalla (Alexander 1967, Kaunisto 1982, 1987).

Pintakerroksessa maan orgaanista osaa kohden laskettu typpipitoisuus oli puolitoista-kaksinkertainen 30–40 cm:n kerroksen typpipitoisuuteen verrattuna ja pääosin tasolla, jolla typen nettomineralisaatiota voi jo tapahtua. Tähän viittaavat myös neulasten typpiärvot, joista valtaosa oli Paarlahden ym. (1971) esittämän puutosrajan (13 mg/g) yläpuolella.

Suon raivaaminen pelloksi edellyttää yleensä maanparannustoimia ja lannoitusta, koska turpeen pH usein on liian matala ja kivennäisravinteita on liian vähän peltokasvien viljelyä varten. Maanparannusaineena on usein käytetty kalkin ohella läheisiltä kankailta tuotua kivennäismaata ns. painomaata (Anttinen 1957, Pessi 1960, 1961 a, b ja c).

Tutkituissa tapauksissa tiedettiin painomaata käytetyn. Edelleen tiedettiin, että fosfori- ja kaliumlannoituksella ei oltu sanottavasti voitu ainakaan alkuvaiheessa vaikuttaa puuston kasvuun (Paavilainen 1977) ilmeisesti juuri painomaan vuoksi. Kivennäismailla vain typpi- ja fosforilannoituksella on voitu lisätä puiden kasvu (Viro 1972). Maa-analyysit osoittivat, että painomaan käyttö oli muuttanut peltojen luonteen kasvualustana täysin. Fosforia ja kaliumia oli 0–10 cm:n kerroksessa moninkertaisia määriä varsinaisiin soihin verrattuna (Vahtera 1955, Holmen 1964, Westman 1981, Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto 1990). Lisäksi on ilmeistä, että syvemmillä muokkauskerroksessa (10–20 cm) ravinteita on yhtä paljon, koska voidaan olettaa painomaan jakautuneen koko muokkauskerrokseen verrattain tasaisesti. Sen sijaan tiheysmääritysten perusteella 30–40 cm:n kerrokseen painomaata ei ollut kulkeutunut. Jossain määrin yllättävää oli, että ilmeisesti kivennäisravinteiden huuhtoutuminenkin muokkauskerroksen alapuolelle 30–40 cm:n kerrokseen oli ollut varsin vähäistä, koska kerros sisälsi esim. fosforia ja kaliumia saman verran tai vähemmän kuin varputurvekankaat (Kaunisto & Paavilainen 1988).

Tiheyden määrittäminen osoitti, että painomaata oli ilmeisesti käytetty hyvin erilaisia määriä. Tällä on merkitystä kasvupaikan ravinnetilan suhteen sikäli, että fosforin ja kaliumin määrät lisääntyvät suoraviivaisesti tiheyden lisääntyessä tai orgaanisen aineen määrän vähentyessä. On sel-

vää, että tämän tutkimuksen tulosten perusteella ei pelkän tiheyden tai orgaanisen aineen määrän avulla kuitenkaan voida tehdä kovin tarkkoja päätelmiä maan ravinnetilasta, koska painomaan laatu vaihtelee eikä ole tietoa siitä, kuinka paljon peltoviljelyn jäljiltä ravinteita on jäljellä. Kun tiheyden määrittämiseen liitetään kokonaisfosforin ja -kaliumin määrittäykset (suolahappuotto), on ilmeisesti jo huomattavasti helpompi arvioida näiden kasviraavinteiden riittävyyttä. Varsin mielenkiintoisia tässä suhteessa olivat happamalla ammoniumasetaatilla uutetun ja tuhkan suolahappuottoa analysoidun kaliumin määrien vertailu (ks. luku 41), joka osoitti, että painomaassa on jäljellä runsaasti vaikealiukoista kaliumia.

Puiden ravinnetalouden kannalta ongelmallisin ravinne oli boori. Kaikissa kokeissa booria oli maassa kummassakin tutkitussa kerroksessa erittäin niukasti. Tämä näkyi myös neulasten matalina ja usein selvästi puutosrajaa alemmina

(7 ppm, ks. Veijalainen ym. 1984) booripitoisuuksina. Lannoituksella neulasten booripitoisuudet kohosivat jonkin verran, mutta ilmeisesti lannoitteesta annettu boorin määrä (280 g/ha) oli liian pieni puiden booritarpeen tyydyttämiseksi (ks. esim. Veijalainen 1983).

Tulosten perusteella näyttää siltä, että kyseisillä suopelloilla ravinteiden riittävyyden puolesta voidaan kasvattaa enemmän kuin yksi puusukupolvi, kun pidetään huoli siitä, että ainakin booria, mutta mahdollisesti myös kuparia on puiden saatavilla riittävästi. Tulokset osoittavat myös, että määrittämällä muokkauskerroksesta ja selvästi sen alapuolelta maan typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin ja boorin kokonaismäärät sekä vaihtuva kalium, maan tiheys, pH ja orgaanisen aineksen osuus saadaan verrattain hyvä kuva paksuturpeisen suopellon ravinnetilasta metsänkasvatusta ajatellen. Raudan ja fosforin voimakkaan keskinäisen sitoutumisen vuoksi on ilmeistä syytä analysoida lisäksi myös rauta.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1925. Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden. Summary: The decomposition of nitrogenous compounds in woodland soils. *Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae* 10(6). 61 s.
- Alexander, 1967. *Introduction to soil microbiology*. New York. 472 s.
- Anttinen, O. 1957. Rahkasuon lannoitus- ja maanparannuskokeen tuloksia. Referat: Ergebnisse eines Düngungs- und Bodenverbesserungsversuchs auf Sphagnum-Moor. Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja 155. 30 s.
- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. *Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa*. *Acta Forestalia Fennica* 208. 63 s.
- Erviö, 1970. The importance of soil bulk density in soil testing. *Annales Agriculturae Fenniae* 9: 278–286.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 s.
- Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I–III. *Studia Forestalia Suecica* 16. 236 s.
- Kaila, A. & Kivekäs, J. 1956. Distribution of extractable calcium, magnesium, potassium and sodium in various depths of some virgin peat soils. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 28(4): 237–247.
- & Ryti, R. 1968. Calcium, magnesium and potassium in clay, silt and fine sand fractions of some Finnish soils. *Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40. 13 s.
- 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 eräistä turpeen ominaisuuksista sekä lannoituksesta, muokkauksesta ja kalkituksesta ojitetuilla avosoilla*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109. 56 s.
- 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. *Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140. 58 s.
- 1990. Effect of potassium fertilization on the growth of trees and on the nutrient contents in peat and needles. *Tiivistelmä: Kaliumlannoituksen vaikutus puiden kasvuun sekä turpeen ja neulasten ravinnetilään*. *Käsikirjoitus*.
- & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille

- perustetuissa riukuasteen männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia Forestalia* 585. 40 s.
- , Kinnunen, K., Lehtinen, S., Nevanranta, K. & Tukeyva, J. 1986. Alkkian kenttäkokeet 1961–1986. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 236. 98 s.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 1955–1980 tehtyjen viljavuustutkimusten tuloksia. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955–1980. *Pariset Oy*. Helsinki. 181 s.
- , Lakanen, E., Mäkitie, O., Sillanpää, M. & Vuorinen, J. 1965. Viljavuusanalyysien tulosten ilmoitustapa ja tulkinta. Summary: Interpretation of soil testing results. *Annales Agriculturae Fenniae*. 4: 145–153.
- Lakanen, E. & Hyvärinen, S. 1971. The effect of some soil characteristics on the extractability of macronutrients. *Annales Agriculturae Fenniae* 10: 135–143.
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618. 16 s.
- Miller, H. G. 1984. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. Julkaisussa: Bowen, G. D. & Nambiar, E. K. S. (toim.). Nutrition of plantation forests. Academic Press. s. 53–78.
- , Cooper, J. M., Miller, J. D. & Pauline, O. J. L. 1978. Nutrient cycles in pine and their adaption to poor soils. *Canadian Journal of Forest Research* 9(1): 19–26.
- , Miller, J. D. & Cooper, J. M. 1981. Optimum foliar nitrogen concentration in pine and its change with stand age. *Canadian Journal of Forest Research* 11: 563–572.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 84(5). 87 s.
- Niska, K. 1986. Kivennäismaan ravinnemäärien ilmaisutapa. Summary: Expressing the nutrient concentrations of mineral soils. *Silva Fennica* 20(2): 129–138.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisestä. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 74(5). 58 s.
- Paavilainen, E. 1970. Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä. Summary: Experimental results of the afforestation of swampy fields. *Folia Forestalia* 77. 24 s.
- 1977. Männyn istutus suopeltojen metsityksessä. Summary: Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields. *Folia Forestalia* 326. 27 s.
- 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojetulla isovarpuisella rämeellä. *Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 98(5). 71 s.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1977. Pääravinteiden sekä sinkin ja lyijyn vertikaalijakautumista rahkaturpeessa. Summary: Vertical distributions of N, P, K, Zn and Pb in Sphagnum peat. *Suo* 28(4–5): 95–102.
- Pessi, Y. 1960. Kivennäismaan merkityksestä mutasuon maanparannusaineena Leteensuon koaseaman pitkäaikaisten kenttäkokeiden perusteella. *Acta Agraria Fennica* 95(3). 27 s.
- 1961 a. Results from a soil improvement and fertilizing test on fen land at Leteensuo. *Maataloustieteellinen aikakauskirja* 33: 223–232.
- 1961 b. Suoviljelyksen niitonurmen perustamisesta ja hoidosta. Summary: Observations at Leteensuo on the laying down to grass of peatlands and on the tending of the grass leys. *Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja* 97(2). 28 s.
- 1961 c. The ash content of the plough layer of peat lands cultivated by different methods. Selustus: Viljeltyjen turvemaiden muokkauskerroksen tuhkapitoisuudesta. *Maataloustieteellinen aikakauskirja* 33(4): 215–222.
- Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsityllä suopellolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Abstract: 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.
- Saarinen, 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.
- Sippola, J. 1974. Mineral composition and its relation to texture and to some chemical properties in Finnish subsoils. Selustus: Pohjamaanäytteiden mineraalikoostumuksesta ja sen suhteesta lajitekoostumukseen sekä eräisiin kemiallisin ominaisuuksiin. *Annales Agriculturae Fenniae* 13(4): 169–234.
- Starr, M. & Westman, C. J. 1978. Easily extractable nutrients in the surface peat layer of virgin sedge-pine swamps. Seloste: Helpoliukoiset kasvinravinteet luonnontilaisten sararämeiden pintaturpeessa. *Silva Fennica* 12(2): 65–78.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Expressing forested mineral soil nutrient status and regional variation in soil fertility in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 40 s.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määrätymisen maalaajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Abstract: Influence of the soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. *Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 3: 307–319
- , Erviö, R. & Hyvärinen, S. 1978. Soil nutrient status as related to soil textural classification. *Annales Agriculturae Fenniae* 17: 75–82.
- Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojetettujen soitten ravinnepitoisuuksista. Referat: Über Nährstoffgehalte der für Walderziehung entwässerten

- Moore. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 45(4). 108 s.
- Veijalainen, H. 1983. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 153–159.
- , Reinikainen, A. & Kolari, K. K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. Folia Forestalia 601. 41 s.
- Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvu- paikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin. Acta Forestalia Fennica 172. 77 s.
- , Starr, M. & Laine, J. 1985. A comparison of gravimetric and volumetric soil properties in peatland and upland sites. Seloste: Gravimetrisesti ja volumetrisesti ilmaistujen maan ominaisuuksien vuoro- suhteita turve- ja kangasmailla. Silva Fennica 19(1): 73–80.
- Viro, P. J. 1972. Die Walddüngung auf Finnischen Mineralböden. Folia Forestalia 138. 19 s.

Total of 46 references

Summary

Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia

Introduction

It has been estimated that about 0.6–0.7 million hectares of arable land should be withdrawn from farming and planted for forestry in Finland, because of the overproduction of agricultural products. Peatland fields will have a substantial role in this action. However, only little analytical data from afforested peatland fields for estimating their value for wood production is available so far.

Material and methods

The material was collected from Alkkia experimental forest in Parkano research area of the Finnish Forest Research Institute (location 62°10'N, 22°75' E). Soil and needle samples were collected from four afforested peatland field experiments. Three of the experiments (36, 42 and 43) were planted with Scots pine (*Pinus sylvestris*) in 1967 and one (161) in 1977. At the time of the inventory the height of the trees averaged about 7–8 m in Exps. 36, 42 and 43 and 2–4 m in Exp. 161.

Exps. 42 and 43 had been established for examining the effects of different spot fertilization treatments (nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium) given as rather small quantities per plant. In the earlier investigations no significant fertilization effect on tree growth was found. It was assumed that the reason was the input of mineral nutrients in mineral soil used as a soil improvement agent during farming. Therefore fertilization treatments were not taken into account in this investigation.

Exp. 36 involved three different micronutrient treat-

ments: an unfertilized control, boron fertilization (2 kg/ha of fertilizer borate B = 14 %) and fertilization with a micronutrient mixture (25 kg/ha, elements and their percentages presented in the foot note of Table 1). In addition, one third of each plot remained unfertilized, one third was fertilized with PK fertilizer (0–10.5–12.5) and one with nitrogen (ammonium nitrate with lime, N = 27.5 %) along with PK. Combined samples from PK and NPK fertilized plots were collected for this study.

Exp. 161 involved different soil preparation treatments and fertilizations both with the main and micronutrients. Soil preparation included three different site preparation treatments (rotavation and two ploughing treatments). The main nutrient fertilization included an unfertilized control and spot fertilization with K, PK and NPK (Table 1). The micronutrient treatments included an unfertilized control and strip fertilization along the plant rows with boron or micronutrient mixture (Table 1). All the different treatments in Experiment 161 were included in the calculations performed on the needle nutrient contents, but only the results concerning fertilization are discussed in this context.

Samples from 116 plots (24 from Exp. 36, 20 from Exps. 42–43 and 72 from Exp. 161) were collected in all. Soil samples were taken from two depths: 0–10 cm (tilled layer) and 30–40 cm, below the tilled layer. In Experiments 42 and 43 five and in the other ones four subsamples were taken from each plot and combined by layers. In Experiment 161 the soil samples were taken from the unfertilized strip between the planting rows. The needle samples were taken in March 1990 from ten trees per sample plot from the south-facing part of the crown in the second and third whorl from the top.

Soil was analyzed for the total N, P, K, Ca, Mg, B, Cu,

Zn and for pH in H₂O (V/V=1/5), NH₄-N, NO₃-N and acid ammonium acetate (pH 4.65), extractable P, K and Ca. The total nitrogen was analyzed by the Kjeldahl method and the total P, K, Ca, Mg, Cu and Zn after ignition in muffle furnace at 550 °C from HCl extract (see Halonen et al. 1983). The method is used for the total analyses from organic matter. The results from the total analyses were expressed per volume *in situ* (kg/ha) and per dry weight (mg, g/kg in 105 °C). The latter ones were calculated both for the total sample and its organic part. Ammonium acetate extractable P, K and Ca were calculated both as volumetric basis (mg/l, volume determined in laboratory and kg/ha/*in situ*) and gravimetric basis (mg/kg). Ammonium and nitrate nitrogen were determined as volumetric basis (mg/l in laboratory).

Results and discussion

The bulk density was considerably higher and the organic matter content lower in the tilled 0–10 cm than in the untouched 30–40 cm layer (Fig. 1). This was due to mineral soil used as a soil improvement agent during farming. Both physical soil properties varied considerably in the tilled layer indicating variation in the amounts of mineral soil used (Fig. 2). The relationship between the bulk density and organic matter content was linear for both layers separately (Fig. 2, App. 1), but curvy linear if the data from different layers were combined. Equations $\log y = 2.59 - 1.02 \log x$ and $\sqrt{y} = 1.09 - 0.075 \sqrt{x}$ explained 91.1 % and equation $y = -0.0154x + 0.00008x^2 + 0.86$ 88.2 % from the variation of the combined data.

The soil nitrogen and phosphorus contents calculated per the organic matter content of sample (mg, g/kg) were high in the top soil layer, but very low in the 30–40 cm layer (Table 2) if compared to the contents in peat soils drained for forestry. The nitrogen contents below the tilling layer indicated that the original peatland site types in this case must have been quite poor (*Sphagnum fuscum* bog/dwarfshrub pine bog/low-sedge fen/low-sedge pine fen).

Ammonium acetate extractable volumetric (mg/l in laboratory) phosphorus, potassium and calcium were low as compared to fertility indexes used in agriculture. The total amounts (kg/ha) of all the nutrients were considerably higher in the 0–10 cm than 30–40 cm soil layer and especially so the amounts of copper, zinc, phosphorus and potassium (Fig. 3, App. 2). The comparison between the total and AAAC-extractable potassium showed that about one half of acid (HCl) soluble potassium in the 0–10 cm layer was not in the AAAC soluble form, and will possibly be available for trees at a later stage.

A comparison between peat density and the organic matter content in different layers showed that only in

few cases some mineral soil had reached the 30–40 cm soil layer. The mineral nutrient amounts and concentrations in the 0–10 cm layer were manifold but in the 30–40 cm layer about the same or less than the amounts found in peatlands drained for forestry. Only fractions of mineral nutrients applied into the surface peat had leached to the 30–40 cm soil layer (Fig. 3, App. 2). This was especially so with phosphorus and potassium. This was also confirmed by the fact that regression analyses showed no connection in the total phosphorus and potassium amounts between the 0–10 and 30–40 cm peat layers (App. 3), and only a slight positive correlation in AAAC extractable phosphorus and potassium amounts (App. 4). Yet, AAAC extractable P and especially K correlated closely with the corresponding total nutrients in the same soil layer (Fig. 4).

The total amount of nutrients increased along with the increasing soil bulk density and decreasing soil organic matter content (Figs. 5–8, Apps. 5 and 6). The correlation was particularly close with phosphorus, potassium and magnesium (Figs. 6 and 7). The soil bulk density explained the variation in the nutrient amounts better than the soil organic matter content (Apps. 5 and 6). It is obvious that the more mineral soil had been applied for soil improvement in farming, the higher amounts of mineral nutrients were still present in the surface soil.

The concentrations of needle nutrients correlated only slightly with the soil bulk density (Table 3) and not at all with the soil organic matter content. On the other hand, there were some rather close correlations between the needle nutrient concentrations and soil nutrient contents (Figs. 9–14), especially so with nitrogen and phosphorus.

On several plots trees suffered from nitrogen and phosphorus deficiency. The needle nitrogen and phosphorus concentrations were above the deficiency limits (13 mg and 1.5 mg/g respectively introduced by Paarlahti et al. 1971) when the soil nitrogen content in the 30–40 cm layer was above 12 mg/g or 1500 kg/ha and the phosphorus content above 280 mg/g or 40 kg/ha. With only one exception the needle potassium concentrations were below the deficiency limit, 4.0 mg/g (Fig. 11) introduced by Paarlahti et al. (1971). Correlations between the needle potassium, calcium, magnesium and boron concentrations and the corresponding values measured from the soil were weak (Figs. 11–13). It is worth noting that the needle boron levels were quite low and in most cases below the boron deficiency limit (7 ppm) introduced e.g. by Veijalainen et al. (1984).

The needle copper concentrations correlated positively with the copper values measured from 0–10 cm, but negatively with those from 30–40 cm (Fig. 14). The needle zinc concentration had a fairly close positive correlation with the zinc contents in the 30–40 cm layer (Fig. 14). The concentrations were above 40 ppm when

the soil zinc amount was more than 1 kg/ha and the concentration more than 5 mg/kg. Micronutrient fertilization affected only the needle boron concentrations (Table 5). Fertilization with the main nutrients had no effect on the needle nutrient concentrations.

The needle nutrient concentrations correlated as well or better with the total soil mineral nutrient contents (mg, g/kg or kg/ha) than with the AAAC extractable ones and the latter ones, furthermore, better with those expressed per weight (mg/kg) than per laboratory volume (mg/l, Table 4, Figs. 9–14). In the deeper (30–40 cm) soil layer, which, with only few exceptions, was pure peat, the soil analyses explained the needle nutrient con-

centrations better if calculated for the total weight than for the organic part of the sample, but in the 0–10 cm layer some contradictory results (N, Ca and Cu) were also found (Table 4).

In order to estimate the suitability of peatland fields for growing trees it is necessary to make at least the following analyses: the soil bulk density, the organic matter content, the total N, P, K, Ca, B and AAAC extractable K. Some data outside this investigation imply that the total iron should also be analyzed because large amounts of iron are common in peat soils and iron forms very stable chemical compounds with phosphorus.

Liite 1. Maan tiheyden riippuvuus orgaanisen aineksen osuudesta eri kerroksissa.

Appendix 1. Dependence of bulk density on the organic matter content in different soil layers.

Koe Experiment	n	0–10		Turvekerros – Peat layer, cm			
		Yhtälö – Equation	R ² , %	p	Yhtälö – Equation	R ² , %	p
36	24	$y = -0,0049x + 0,482$	64,2	<,001	$y = -0,0010x + 0,224$	5,1	,289
42–43	20	$y = -0,0135x + 0,867$	87,0	<,001	$y = -0,0024x + 0,370$	79,7	<,001
161	72	$y = -0,0109x + 0,849$	70,9	<,001	$y = -0,0069x + 0,790$	14,7	<,01
Kaikki – All	116	$y = -0,0099x + 0,773$	49,4	<,001	$y = -0,0020x + 0,321$	44,4	<,001

Liite 2. F-arvot ja selityksasteet maan ominaisuuksista lasketuissa varianssi-analyysissä, joissa luokittelijoina ovat koe ja turvekerros. Vrt. kuva 3.

Appendix 2. F values and coefficients of determination in the analyses of variance calculated for different soil characteristics. Experiment and soil layer (0–10 cm and 30–40 cm) as class variables. Compare Fig. 3.

Mitattu suure ¹ Measured quantity ¹	Koe Experiment	Kerros Layer	Yhdysv. Inter.	R ² , %
Tiheys – Density	27,27***	626,18***	28,96***	76,6
Org., %	2,59	2037,12***	1,08	90,0
N tot.	8,39	259,56***	56,74***	63,3
NH ₄ -N	4,09*	219,76***	2,96	50,8
NO ₃ -N	3,80	0,22	1,20	5,9
P tot.	0,65	836,57***	4,45*	78,9
P AAs	22,68***	195,11***	2,21	51,9
K tot.	22,91***	746,60***	17,17***	78,5
K AAs	46,67***	699,94***	27,68***	79,0
Ca tot.	5,54**	595,74***	2,69	73,0
Ca AAs	13,55***	276,88***	1,54	92,5
Mg tot.	33,88***	487,33***	13,16***	72,0
B tot.	6,67**	17,44***	2,08	13,4
Cu tot.	47,77***	834,24***	35,86***	81,6
Zn tot.	12,06***	288,56***	2,14	58,4
pH	16,50***	414,83***	4,38*	66,4

¹ X AAs = Hapan (pH 4,65) ammoniumasettaattiuutos
Acid (pH 4.65) ammonium acetate extraction

Liite 3. 30–40 cm:n turvekerroksen ravinteiden kokonaismäärän riippuvuus maan pintakerroksen (0–10 cm) ravinteiden kokonaismäärästä. Koko aineisto yhdessä (n = 116).

Appendix 3. *Dependence of the total nutrient amounts in 30–40 cm soil layer on those in the 0–10 cm soil layer. Includes all experiments (n = 116).*

Ravinne Nutrient	Yhtälö – Equation	R ² , %	p
N tot.	$y = -0,078x + 1307$	1,1	,258
P tot.	$y = -0,013x + 31,2$	0,7	,370
K tot.	$y = 0,011x + 12,9$	0,2	,600
Ca tot.	$y = 0,115x + 204$	7,0	<,01
Mg tot.	$y = 0,134x + 39,8$	9,5	<,001
B tot.	$y = 0,168x + 0,03$	28,7	<,001
Cu tot.	$y = 0,013x + 0,17$	0,4	,469
Zn tot.	$y = 0,113x - 0,06$	12,5	<,001

Liite 4. 30–40 cm:n turvekerroksen liukoisten ravinteiden määrän riippuvuus vastaavien liukoisten ja kokonaisravinteiden määrästä 0–10 cm:n kerroksessa. Koko aineisto yhdessä (n = 116).

Appendix 4. *Dependence of the amounts of easily soluble nutrients in the 30–40 cm soil layer on the amounts of corresponding easily soluble and total nutrients in the 0–10 cm soil layer. Includes all experiments (n = 116).*

Ravinne ¹ Nutrient ¹	Liukoisista ravinteista On soluble nutrients			Totaaliravinteista On total nutrients		
	Yhtälö – Equation	R ² , %	p	Yhtälö – Equation	R ² , %	p
NH ₄ -N	$y = 0,038x + 2,1$	0,9	,304	$y = -0,001x + 5,1$	11,6	<,001
NO ₃ -N	$y = 0,517x + 0,2$	29,9	<,001	$y = 0,00005x + 0,5$	0,0	,542
P AAs	$y = 0,196x + 0,9$	7,3	<,01	$y = 0,0003x + 2,1$	0,0	,863
K AAs	$y = 0,081x + 8,1$	8,0	<,01	$y = 0,026x + 10,3$	2,4	,098
Ca AAs	$y = 0,145x + 115,9$	22,6	<,001	$y = 0,086x + 117$	8,7	,001

¹ X AAs = Hapan (pH 4,65) ammoniumasettiuutos
Acid (pH 4.65) ammoniumacetate extraction

Liite 5. Ravinteiden määrän (kg/ha) riippuvuus maan tiheydestä vastaavassa turvekerroksessa. Koko aineisto yhdessä (n = 116).

Appendix 5. Dependence of the nutrient amounts (kg/ha) on soil density in the corresponding soil layer. Includes all experiments (n = 116).

Kuva Figure	Ravinne ¹ Nutrient	Turvekerros – Peat layer, cm					
		0–10			30–40		
		Yhtälö – Equation	R ² , %	p	Yhtälö – Equation	R ² , %	p
5	N tot. ²	$y = 1713x + 1613$	15,1	<,001	$y = 9242x - 66$	26,9	<,001
5	NH ₄ -N	$y = 0,58x + 10,8$	0,0	,860	$y = 10,02x + 1,3$	1,7	,157
5	NO ₃ -N	$y = 0,62x + 0,4$	2,8	,072	$y = -0,93x + 0,7$	0,2	,609
6	P tot.	$y = 417,3x + 76,5$	55,8	<,001	$y = 354,9x - 17,9$	54,3	<,001
6	P AAs	$y = 3,49x + 3,9$	6,0	<,01	$y = 41,8x - 3,4$	54,2	<,001
6	K tot.	$y = 201,4x - 7,1$	74,0	<,001	$y = 174,1x - 8,4$	39,6	<,001
6	K AAs ³	$y = 60,4x + 30,7$	20,1	<,001	$y = 59,8x + 5,2$	7,8	<,01
7	Ca tot.	$y = 600,1x + 681,8$	12,3	<,001	$y = 1547,8x + 64,7$	22,8	<,001
7	Ca AAs	$y = 235,6x + 472,1$	2,0	,125	$y = 1038,2x + 66,9$	14,3	<,001
7	Mg tot.	$y = 460,5x + 32,7$	66,4	<,001	$y = 856,1x + 36,7$	40,6	<,001
8	B tot.	$y = 0,267x + 0,03$	4,2	<,05	$y = 1,013x - 0,07$	20,4	<,001
8	Cu tot.	$y = 1,507x + 0,88$	10,3	<,001	$y = 13,38x - 0,25$	27,4	<,001
8	Zn tot. ⁴	$y = 6,04x + 2,1$	27,4	<,001	$y = 5,61x + 0,03$	0,5	,434
7	pH	$y = 0,46x + 4,2$	13,7	<,001	$y = -0,63x + 4,1$	0,0	,108

¹ X AAs = Hapan (pH 4,65) ammoniumasetaattiuutos – Acid (pH 4.65) ammonium acetate extraction.

² N tot 0–10 cm $y = 8266x - 6779x^2 + 152$, R² = 24 %, p <,001.

³ K liuk. — sol. 0–10 cm $y = 225x - 171x^2 - 6,2$, R² = 26 %, p <,001.

⁴ Kun 3 poikkeavaa havaintoa poistettu 30–40 cm:n kerroksesta yhtälö on: – When 3 exceptional values are omitted from the 30–40 cm layer the equation is as follows: $y = 8,19x - 0,65$, R² = 21,7 %, p <,001.

Liite 6. Ravinteiden määrän (kg/ha) riippuvuus maan orgaanisen aineen osuudesta vastaavassa turvekerroksessa. Koko aineisto yhdessä (n = 116).

Appendix 6. Dependence of the total nutrient amounts on the organic matter content in the corresponding soil layer (n = 116).

Ravinne ¹ Nutrient ¹	Turvekerros – Peat layer, cm					
	0–10			30–40		
	Yhtälö – Equation	R ² , %	p	Yhtälö – Equation	R ² , %	p
N tot.	$y = -6,30x + 2223$	0,0	,236	$y = -4,81x + 1579$	1,0	,344
NH ₄ -N	$y = 0,01x + 10,7$	0,0	,811	$y = -0,003x + 2,9$	0,0	,877
NO ₃ -N	$y = -0,002x + 0,8$	0,2	,661	$y = 0,002x + 0,4$	0,1	,744
P tot.	$y = -4,98x + 425,6$	47,2	<,001	$y = -0,67x + 92,1$	21,2	<,001
P AAs	$y = -0,019x + 6,1$	1,0	,270	$y = -0,113x + 12,8$	42,8	<,001
K tot.	$y = -1,87x + 159,4$	38,3	<,001	$y = -0,52x + 64,1$	38,8	<,001
K AAs	$y = -0,027x + 59,9$	0,0	<,867	$y = -0,127x + 25,1$	3,8	<,05
Ca tot.	$y = 4,28x + 1095$	0,4	<,05	$y = -2,26x + 530,2$	0,3	,051
Ca AAs	$y = 0,780x + 558,8$	0,1	,695	$y = -2,336x + 423,4$	7,8	<,01
Mg tot.	$y = -4,82x + 397,6$	43,7	<,001	$y = -1,81x + 245,8$	19,5	<,001
B tot.	$y = -0,002x + 0,21$	1,0	,275	$y = -0,002x + 0,27$	10,6	<,001
Cu tot.	$y = -0,024x + 2,32$	15,3	<,001	$y = -0,008x + 0,98$	30,2	<,001
Zn tot.	$y = -0,061x + 6,83$	16,7	<,001	$y = -0,28x + 3,1$	34,8	<,001
pH	$y = -0,005x + 4,5$	10,6	<,001	$y = -0,000x + 3,9$	0,0	,402

¹ X AAs = Hapan (pH 4,65) ammoniumasetaattiuutos – Acid (pH 4.65) ammonium acetate extraction

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 5331 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 51 381

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Field Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 336 411

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Field Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1991

- No 768 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*.
- No 769 Silfverberg, Klaus & Issakainen, Jorma: Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin.
Effects of ash fertilization on forest berries.
- No 770 Lipponen, Katriina: Juurikäävän kantotartunta ja sen torjunta ensiharvenusmetsiköissä.
Stump infection by *Heterobasidion annosum* and its control in stands at the first thinning stage.
- No 771 Selander, Jukka & Immonen, Auli: Lannoituksen vaikutus männynntaimen tuhonalttiuteen tukkimiehentäille.
Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis*.
- No 772 Sirén, Matti (toim.) Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring. Slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR) genomfört forskningsprojekt, 1987 – 1989.
Puiden joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa. Yhteispohjoismaisen NSR-projektin loppuraportti, 1987 – 1989.
Multi-tree processing and light technology in first thinnings. Final report for a research project of the Nordic Research Council on Forest Operations (NSR), 1987 – 1989.
- No 773 Hakkila, Pentti: Hakkuupoistuman latvusmassa.
Crown mass of trees at the harvesting phase.
- No 774 Korhonen, Kari T.: Sekamalliteknikalla laadittujen runkokäyramallien käyttö metsäninventoinnissa.
Using taper curve models based on mixed linear models in forest inventory.
- No 775 Oja, Seppo & Salonen, Tommi (toim.): Metsätutkimuslaitoksen julkaisut 1990.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1990.
- No 776 Mielikäinen, Kari & Valkonen, Sauli: Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa.
Effect of thinning method on the yield of middle-aged stands in southern Finland.
- No 777 Tamminen, Pekka: Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu.
Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland.
- No 778 Kaunisto, Seppo: Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi eräillä Alkkian metsitetyillä suopelloilla.
Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia.