

05.02.92



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

777

Pekka Tamminen

KANGASMAAN RAVINNETUNNUSTEN ILMAISEMINEN JA VILJAVUUDEN
ALUEELLINEN VAIHTELU ETELÄ-SUOMESSA

Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of
forested sites in southern Finland

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: Professori Eljas Pohtila
Director: Professor

Julkaisujen jakelu: Kirjastonhoitaja Liisa Ikävalko-Ahvonon
Distribution of Librarian
publications:

Julkaisujen toimitus: Toimittajat Seppo Oja
Editorial office: Editors 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.

Pekka Tamminen

KANGASMAAN RAVINNETUNNUSTEN ILMAISEMINEN JA
VILJAVUUDEN ALUEELLINEN VAIHTELU ETELÄ-SUOMESSA

Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility
of forested sites in southern Finland

Approved on 5.9.1991

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
11. Viljavuuden käsite	3
12. Viljavuuteen vaikuttavat tekijät	3
13. Viljavuuden alueellinen vaihtelu	4
14. Tutkimustehtävä	4
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	5
21. Aineisto	5
22. Menetelmät	5
Näytteenotto ja mittaukset	5
Näytteiden esikäsittely ja analysointi	6
3. TULOKSET	7
31. Maaperätunnusten vaihtelu	7
32. Ravinnetunnusten ilmaisutapa	9
33. Maaperätunnusten keskinäiset suhteet	11
Pinta- ja pohjamaan raekoostumus	11
Maaperätunnusten faktorianalyysi	11
Ravinnetunnusten riippuvuus muista maaperätunnuksista	12
Humuskerroksen uuttuvat ja kokonaisravinteet	13
34. Maaperätunnukset suhteessa lämpösummaan, topografiaan, puustoon ja metsätyyppiin	14
Maaperätunnukset ja lämpösumma	14
Maaperätunnukset ja topografia	14
Maaperätunnukset ja puusto	15
Maaperätunnukset ja metsätyyppi	16
35. Tutkimusalueiden viljavuuserot	18
4. TULOSTEN TARKASTELU	22
KIRJALLISUUS — REFERENCES	24
SUMMARY	27
LIITTEET — APPENDICES	29

Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 40 p.

Vuosina 1980–85 otettiin maanäytteet 1248 koealalta. Humuskerroksesta ja pintamaasta (0–30 cm) määritettiin vesi-pH, kokonaistyyppi ja uuttuvat P, K, Ca ja Mg. Humusnäytteistä analysoitiin myös kokonaisravinteet P, K, Ca ja Mg. Pohjamaasta määritettiin vain raakoostumus.

Humuskerroksen ravinnetunnuksista korreloivat parhaiten pituusboniteetin kanssa pitoisuudet orgaanisesta aineesta, erityisesti typen osalta. Kivennäismaan ravinnetunnuksista korreloivat parhaiten pituusboniteetin kanssa typpipitoisuus orgaanisesta aineesta ja kalsiumin ja magnesiumin määrät hehtaaria kohti.

pH ja orgaanisen aineen ja saveksen osuudet selittivät huonosti maan ravinnepitoisuuksia. Happamalla ammoniasetaatilla uuttui humuksen kokonaiskaliumista 90 %, kalsiumista 69, magnesiumista 57 ja fosforista 23 %.

Kasvupaikkatunnuksista metsätyyppi korreloi parhaiten ravinnetunnuksen kanssa. Typpi- ja magnesiumpitoisuudet olivat parhaita kaikista maaperätunnuksista luokiteltaessa metsätyyppejä erotteluanalyysillä. Puuston vaikutus humuskerroksen ravinteisuuteen ilmeni siten, että humuskerroksen ravinnetila oli paras lehtimetsissä ja huonoin vanhoissa havumetsissä.

Tutkittujen alueiden välillä oli selviä viljavuuseroja, jotka ilmenivät sekä metsätyyppijakaumissa että maan ravinnepitoisuuksissa.

Soil sampling of 1248 forested sample plots in southern Finland was carried out during 1980–85. pH (in water), total nitrogen, and ammonium acetate (pH 4.65) extractable P, K, Ca and Mg concentrations were determined from humus layer and surface mineral soil (0–30 cm) samples. Total concentrations of P, K, Ca and Mg were also determined from the humus samples. Only texture was determined from subsoil (65–75 cm) samples. The nutrient concentrations of the humus layer, especially nitrogen, were best correlated with site index when expressed on an organic matter basis. In mineral soil, nitrogen concentration on an organic matter basis and calcium and magnesium amounts per hectare had the best correlations with site index. Soil pH and organic matter and clay contents poorly explained nutrient concentrations. In the humus layer, acid ammonium acetate extracted 90 % of total potassium, 69 % of total calcium, 57 % of total magnesium and 23 % of total phosphorus. Of the site characteristics determined, forest site type had the best correlation with nutrient parameters. Nitrogen and magnesium were the nutrients that best classified site types. The nutrient status of the humus layer was effected by the composition of the forest stand — nutrient status was best under broadleaved stands and poorest under old, coniferous stands. There were clear differences in site fertility between the study areas. These differences were evident both in the distribution of site types and in nutrient concentrations.

Keywords: nutrient status, soil analysis, soil chemistry, soil fertility, soil productivity.
FDC 114

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Soil Science, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1170-8
ISSN 0015-5543
Tampere 1991. Tammer-Paino Oy

1. Johdanto

11. Viljavuuden käsite

Metsätaloudessa viljavuudella tarkoitetaan kasvupaikan puuntuotoskykyä eli boniteettia. Viljavuus mielletään usein kasvupaikan suhteelliseksi tuotoskyvyksi. Sitä voidaan pitää myös absoluuttisena, kasvupaikasta ja suurilmastosta riippuvana puuntuotoskykynä (Kuusela 1977). Maaperän viljavuus eli ns. edafinen boniteetti tarkoittaa tietyn maaperän suurilmastosta riippumatonta (suhteellista) tuotoskykyä (Valmari 1957). Aktuaalinen viljavuus tarkoittaa kasvupaikan nykyistä tuotoskykyä ja potentiaalinen viljavuus maksimaalista luontaista tai eri toimenpitein saavutettavissa olevaa tuotoskykyä (Cajander 1925, Sirén 1955, Valmari 1957, Heikurainen 1973, Kuusela 1977).

Koska kasvupaikan viljavuutta on vaikea mitata, on yleisesti käytetty puustoon, pintakasvilisuuteen tai muihin kasvupaikkatunnuksiin perustuvia tuotosluokkia. Suomessa on käytetty metsä- ja suotyyppeihin perustuvia veroluokkia

ja nyttemmin myös pituusboniteetteihin perustuvia tuotosluokkia. Muitakin mahdollisuuksia on olemassa, mutta em. menetelmät ovat erilaisina muunnelmia yleisimpiä myös muissa maisissa (ks. Hägglund 1981).

12. Viljavuuteen vaikuttavat tekijät

Viljavuuteen vaikuttaa mm. ilmasto, maaperä, topografia ja ihmisen toiminta. Ilmaston merkitys kasvaa siirryttäessä etelästä pohjoiseen (Koivisto 1970, Kuusela 1977), samoin topografian (Stage 1976, Roiko-Jokela 1980). Maaperän vaikutus sen sijaan ilmenee selvimmin etelämpänä (Viro 1961). Ihmisen toiminta, esim. kaskeaminen, kulutus, kulontorjunta, metsälaiduntaminen, lannoitus, ojitus, muokkaus, hakkuut, puulajivalinnat ja epäpuhtauksien päästöt, voivat myös vaikuttaa viljavuuteen.

Topografia vaikuttaa viljavuuteen välillisesti lämpö-, vesi-, ja ravinnetalouden välityksellä.

Lyhenteet — Abbreviations

Metsätyypit — Site types (see Cajander 1949)

LH	=	Lehdot — Groves
OMT	=	Käenkaali-mustikkatyyppi — <i>Oxalis-Myrtillus</i> Type
MT	=	Mustikkatyyppi — <i>Myrtillus</i> Type
VT	=	Puolukkatyyppi — <i>Vaccinium</i> Type
CT	=	Kanervatyyppi — <i>Calluna</i> Type
CIT	=	Jäkälätyyppi — <i>Cladina</i> Type

Maaperätunnukset — Soil characteristics

Sa	=	Saves — Clay fraction ($<2 \mu\text{m}$)
Hienot	=	Hienot lajitteet — Fine fractions ($<60 \mu\text{m}$)
d ₅₀	=	Keskiraakoko — Median grain size
Sort	=	Lajittuneisuusaste — Sorting index = $\sqrt{d_{75\%}/d_{25\%}}$
Kivis	=	Kivien ($d > 20 \text{ mm}$) osuus — Volume proportion of stones ($d > 20 \text{ mm}$)
ka	=	Kuiva-aine — Dry matter
oa	=	Orgaaninen aine — Organic matter
Humpak	=	Humuskerroksen paksuus — Thickness of humus layer
pH	=	vesi-pH — pH in water
Kokonaisravinteet	=	Total nutrients: N _t , P _t , K _t , Ca _t , Mg _t
Uuttuvat ravinteet	=	Extractable nutrients: P _u , K _u , Ca _u , Mg _u
Alaindeksi	=	Subscript h = Humuskerros — Humus layer k = Kivennäismaa — Mineral soil

Tilastolliset tunnusluvut — Statistical parameters

\bar{x}	=	Keskiarvo — Mean
md	=	Mediaani — Median
s	=	Keskiahajonta — Standard deviation
cv	=	Variaatiokerroin — Coefficient of variation
R	=	Vaihteluväli — Range
d	=	Otantavirhe — Sampling error
n	=	Havaintojen lukumäärä — Number of observations
R ²	=	Selitysaste — Coefficient of determination
s _e	=	Arvion suhteellinen virhe — Relative standard error of estimate, %
b _{std}	=	Standardoitu regressiokerroin — Standardized regression coefficient
ln	=	Luonnollinen logaritmi — Natural logarithm

Pohjoisessa, humidisessa ilmastossa puusto kasvaa etelä-länsirinteillä keskimäärin paremmin kuin pohjois-itärinteillä (Poso & Kujala 1973, Stage 1976). Alarinteet ja notkot ovat yleensä viljavampia kuin ylärinteet tai mäkien laet ylärinteeltä tulevan happi- ja ravinnepitöisen veden johdosta (Lundmark 1974). Toisaalta notkot ovat usein liian veden tai hallan vaivaamia. Kaltevuus sinänsä voi edistää puiden kasvua märillä kasvupaikoilla vaikuttamalla veden liikkumiseen (Troedsson 1966).

Maaperän fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien avulla on toivottu voitavan arvioida viljavuutta objektiivisesti kaikilla kasvupaikoilla puustosta ja pintakasvillisuudesta riippumatta (Carmean 1975). Useiden maaperän ominaisuuksien on todettu korreloivan puuntuotoskyvyn tai pituusboniteetin kanssa. Esim. puiden juurille käyttökelpoisen maakerroksen paksuudessa puuntuotoskyky paranee alussa hyvin selvästi (Paavilainen 1966, Låg 1980). Hienojen lajitteiden osuus korreloi positiivisesti puuntuotoskyvyn kanssa (Viro 1947, 1951, Lipas 1985b, Westman 1990) ja kivien osuus negatiivisesti (Viro 1952, 1958). Kivennäismaan orgaanisen aineen määrä (Aaltonen 1929), tyyppipitoisuus (Aaltonen 1929, Viro 1961, Urvas & Erviö 1974, Lipas 1985b) ja kalsiumpitoisuus (Valmari 1921, Aaltonen 1929, Viro 1951, Urvas & Erviö 1974) korreloivat positiivisesti boniteetin kanssa. Viron mukaan (1952) kivennäismaan pintakerroksen (0–30 cm) ravinnemäärät (kg/ha) antavat parhaan kuvan ravinteisuudesta. Lipas (1985b) havaitsi hyväksi viljavuusindikaattoriksi humuskerroksen orgaanisen aineen tyyppipitoisuuden.

Eri tekijöiden vaikutus riippuu siitä, kuinka rajoittavia ne ovat suhteessa muihin tekijöihin. Suomessa puuston kasvua rajoittaa alhaisen lämpötilan lisäksi käyttökelpoisen typen puute ja liika vesi. Tosin kalliomailla ja lajittuneilla, karkearakeisilla kankailla viljavuus on alhainen veden puutteen vuoksi (Lipas 1985a). Viljavilla, tuoreilla kasvupaikoilla minimitekijänä voi olla fosforikin. Turvemailla taas liian veden lisäksi viljavuus riippuu lähinnä käyttökelpoisen fosforin ja kaliumin, karuimmilla soilla myös typen määrästä.

Maaperätunnusten käyttöä viljavuuden määrittämisessä vaikeuttaa selvien kausaalisuhteiden puuttuminen ja maaperätunnusten keskinäiset sekä maaperätunnusten ja muiden kasvupaikka- ja puustotunnusten väliset riippuvuudet. Lisäksi maaperätunnukset vaihtelevat voimakkaasti, ja

niiden jakaumat ovat monesti hyvin vinoja. Suuri vaihtelu ja poikkeaminen normaalisuudesta näyttäisi liittyvän erityisesti kivennäismaan tunnusien jakaumiin (Lipas 1985b). Maaperätunnusten käyttöä bonitoinnissa haittaa lisäksi maanäytteiden oton vaikeus kivisistä metsämaista, analyysien hankaluus ja vielä analyysien tulkin-takin.

13. Viljavuuden alueellinen vaihtelu

Kasvupaikkojen viljavuutta on kartoitettu Suomessa valtakunnan metsien inventoinneissa, joiden perusteella on laadittu metsätyyppi- (Ilves-salo 1960) ja veroluokkakarttoja (Salminen 1981), kasvilajien levinneisyyskarttoja (Kujala 1962) ja kalliisuus-kivisyyskarttoja (Viro 1958). Lisäksi on tarkasteltu mm. maalajien yleisyyttä ja humus- ja huuhtoutumiskerroksen paksuutta (Aaltonen 1941). Viljavuuden alueittainen vaihtelu ilmenee selvästi metsätyyppi-, veroluokka- ja kasvilajikartoilta, joilta erottuu ympäristöään viljavampia ja toisaalta karumpia alueita. Valtakunnan metsien inventoinnin lisäksi maaperäkartoituksen (Urvas & Erviö 1974), peltomaiden viljavuusanalyysien (Sippola & Tares 1978, Kurki 1982) ja geologisten maaperäkartojen perusteella on myös arvioitavissa, että viljavuuteen vaikuttavat tekijät, erityisesti maaperän ominaisuudet vaihtelevat alueittain. Kuitenkaan esim. metsämaiden raekoostumuksesta ja ravinnemääristä ei ole julkaistu alueellisesti yksilöityjä tietoja. Myös maaperätunnusten pienialaista vaihtelua on meillä tarkasteltu hyvin vähän (kuitenkin Mälkönen 1974, Sepponen 1985) toisin kuin Ruotsissa (Troedsson & Tamm 1969, Falck 1973, Nykvist & Skyllberg 1989).

14. Tutkimustehtävä

Pelto- ja puutarhaviljelyssä on pitkään käytetty hyväksi kemiallisilla analyyseillä saatavia maan ravinnetunnuksia. Metsämaidenkin tutkimuksessa on maaperän ominaisuuksien analysointi tavallista, mutta tunnusten yhdistäminen viljavuuteen on kuitenkin ongelmallisempaa kuin viljelysmailla, missä maa on hienorakeista ja muokkauksen johdosta homogeenista. Viljelysmaat ovat myös yleensä tasaisia ja ojitettuja ja sato korjataan vuosittain. Metsämaat ovat taas heterogeenisia, kivisiä ja karkearakeisia, maaston muoto, maaperän paksuus, kuivatustila ja kas-

villisuus vaihtelevat. Lisäksi tuotoskyvyn mitana ei metsämailla ole vuosittain korjattava sato, vaan 50...150 vuoden väliajoin uudistettava, puulajisuhteiltaan vaihteleva puusto.

Kangasmaiden viljavuudesta tiedetään yleis-tettävällä tasolla melko vähän, vaikka pääpiirteet on tunnettu jo kauan (Aaltonen 1929). Viljavuudesta ja viljavuustekijöistä tulisikin saada tarkempaa tietoa, erityisesti kun ympäristömme muuttuu fysikaalisesti ja kemiallisesti aiempaa nopeammin.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kangasmaiden viljavuustekijöiden, pääasiassa ravinnetun-nusten, jakaumia ja riippuvuuksia sekä alueel-lista vaihtelua. Tarkoitus on selvittää, miten ravin-nepitoisuudet tulisi ilmaista, kuinka ravinne-tunnukset korreloivat keskenään ja muiden kas-vupaikkatunnusten kanssa sekä miten ravinne-tunnukset vaihtelevat metsiköittäin ja alueittain.

Tutkimuksen alustavan suunnitelman laativat vuonna 1980 professori Eino Mälkönen, metsänhoitaja Reijo Jokinen ja metsätalousinsinööri Teuvo Levula. Pekka Tamminen keräsi maastoaineiston yhteisvoimin Teuvo Levulan kanssa. FT Jussi Kuusipalo keräsi osalta koealoja oman kasvillisuusaineistonsa. Näyteistä analysoitiin raekoostumus Geologian tutkimuskeskuksen maa-peräsosastolla ja muut tunnukset Metsätutkimuslaitok-sen maantutkimusosastolla. Käsikirjoituksen lukivat profes-sori Eino Mälkönen, MMT Erkki Lipas ja Dipl. Forstw. Tiina Heinonen. Käsikirjoituksen kirjoittivat puhtaaksi Anne Siika ja Sari Elomaa, joka piirsi lisäksi kuvat. Käsikirjoituksen englanninkieliset tekstit paranteli Ph.D. Michael Starr. Kiitän kaikkia, jotka ahersivat tämän työn parissa.

2. Aineisto ja menetelmät

21. Aineisto

Tutkimusaineisto kerättiin vuosina 1980–85 Suomen maaperän peruskartoituksen (Korpela & Niemelä 1985) kartoitusalueilta siten, että olisi saatu sisäisesti yhtenäisiä, mutta keskenään erilaisia alueita. Maaperäkartoitus-alueiden hyväksikäyttöä puolsi mm. se, että Geologian tutkimuskeskuksen maaperäsasto analysoi näytteiden raekoostumuksen saaden samalla lisäaineistoa kartoitukseen.

Yhdeksältä eteläisen Suomen kartoitusalueelta sekä Pohjanmaan ja Kuhmon erillisalueilta (kuva 1) tutkittiin 1248 koealaa. Kultakin peruskarttalehdeltä (10 × 10 km) mitattiin 10...25 koealaa ja kultakin alueelta yhteensä 31...222 koealaa (taulukko 1).

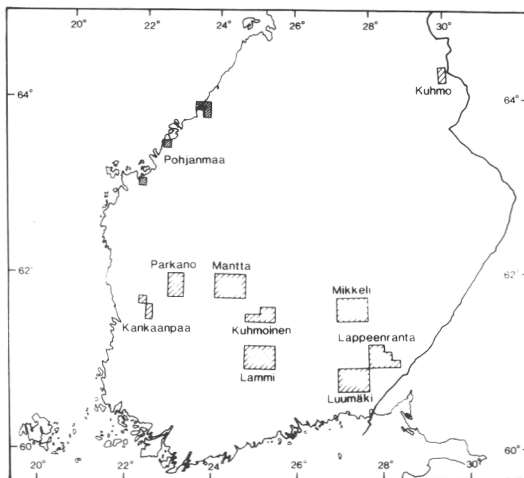
Aineisto edustaa lähinnä Järvi-Suomen eteläosaa, ts. keskimäärin maan parhaita alueita metsänkasvua ajatellen (Koivisto 1970, Kuusela 1977, Salminen 1973, 1981).

22. Menetelmät

Näyteenotto ja mittaukset

Kullekin tutkittavalle karttalehdelle merkittiin joka kolmas tai neljäs kangasmaalle osunut koordinaattiruudun keskipiste näytepisteeksi. Maastossa näytepisteeseen ra-

jattiin koeala (16 × 16 m) siten, että koko koeala pyrittiin sijoittamaan yhdelle, mieluummin puustoiselle kuviolle. Puusto luettiin keskipisteeseen rajatulta relaskooppi-koealalta (1 puu = 2 m²), ja varttuneissa havumetsiköissä mitattiin pääpuulajin pituusboniteetti (Gustavsen 1980, Poso 1983).



Kuva 1. Tutkimusalueet.
Fig. 1. Location of the study areas.

Taulukko 1. Aineisto tutkimusalueittain.
Table 1. Material by study area.

Tutkimusalue ¹⁾ Study area	Maastotyö- vuosi Year of field work	Kartta- lehti Map sheet	Karttalehtiä No. of map sheets (1:20000)	Koelaloja No. of sample plots
<u>Kankaanpää</u>	1984	1144	3	35
<u>Lammi</u>	1981–82	2134	12	206
<u>Kuhmoinen</u>	1982–83	2144	6	97
<u>Parkano</u>	1980	2211	6	104
<u>Mänttä</u>	1980–82	2231	11	157
<u>Luumäki</u>	1983	3131	12	215
<u>Lappeenranta</u>	1980–81	3134	9	131
<u>Mikkeli</u>	1984	3142	12	222
<u>Kuhmo, Lentiira</u>	1981	4144	2	31
<u>Pohjanmaa</u>	1985	1333	1	10
“	1985	2321	1	10
“	1985	2324	1	10
“	1985	2413	1	10
“	1985	2413	2	20
Yhteensä — Total			78	1248

1) Alleiviivattua osaa käytetään alueen lyhenteenä
The underlined part of the name is the abbreviation of the
study area used in subsequent tables

Kivisyys arvioitiin 30 cm:n pintakerroksesta painamismetelmällä (Viro 1952), ja humusnäyte koottiin 16 pisteestä koealan kehältä (otantaväli 4 m) sylinterillä (d = 58 mm). Samalla mitattiin humuskerroksen paksuus (mm) kussakin näytepisteessä. Kivennäismaanäytteet koottiin lapiolla 30 cm:n pintakerroksesta neljästä ja 65–75 cm:n syvyydeltä yhdestä koealan kulmasta. Näytteet lähetettiin muovipusseissa 2–5 päivän sisällä laboratorioon kuivattaviksi. Maastotyöt tehtiin vuosittain pääasiassa kesä–heinäkuussa.

Kullakin koealalla arvioitiin seuraavat kasvupaikka- ja puustotunnukset: yhtenäiskoordinaatit (10 m), korkeus merenpinnasta (5 m), lämpösumma (dd, Ojansuu & Henttonen 1983), topografinen asema, kaltevuus, kaltevuussuunta, hakkuusta kulunut aika, mahdollinen maankäsittely, metsätyyppi, kivisyys, suokasvien osuus, pääpuulaji, kehitysluokka, havu- ja lehtipuuston pohjapinta-ala, kallion ja pohjaveden esiintymissyvyys, pinta- (0–30 cm) ja pohjamaalaji (65–75 cm), maannostyyppi, horisonttien selvyys, ja huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksen paksuus. Vuosina 1980–81 osa em. tunnuksista ei kuitenkaan ollut mukana.

Humusnäytteiksi otettiin vain kangashumusta, mul-
lasta tai turvetta, mutta ei multaa. Pohjamaanäyte otettiin sellaisilta koealoilta, joilla kallio tai pohjavesi oli yli 60 cm:n syvyydessä. Pohjamaasta analysoitiin vain

raekoostumus. Raekoostumus ilmaistiin lajiteosuuksina, keskiraekokona (mediaaniraekoko) ja lajittuneisuusasteena $Sort = \sqrt{d_{75\%}/d_{25\%}}$ (Seppälä 1971, s. 48).

Kivien osuus arvioitiin Viron (1952) aineistosta las-
ketulla empiirisellä yhtälöllä: $y = 83 - 2,75x$, missä $y =$
kivien osuus (%) ja $x =$ rassin keskipainuma kivennäis-
maahan (cm). Aiemmin käytetty Viron (1952) teoreetti-
nen yhtälö, $y = 100 - 3,33x$, antaa liian suuria kivisyys-
prosentteja olettaessaan rassin painumisen estävän kiven
ulottuvan aina 30 cm:n syvyyteen. Yhtälöt eroavat toi-
sistaan eniten kivisimmillä paikoilla.

Humuskerroksen massa (t/ha) laskettiin kaavalla:

$$M_h = 100 \times m_h / (n \times A),$$

missä m_h = humusnäytteen massa, g,
 n = osanäytteiden lukumäärä ja
 A = näytesylinterin poikkipinta-ala, cm²

Kivennäismaan alle 2 mm:n jakeen massa (t/ha) lasket-
tiin seuraavasti:

— kivennäismaan tilavuus 30 cm:n pintakerroksessa,
 m^3/ha ; $V_{tot} = 10\,000\,m^2 \times 0,3\,m = 3\,000\,m^3$

— kivetön eli sorallinen tilavuus, m^3/ha ; $V_{20} =$
 $V_{tot} - V_{kivet}$, missä
 $V_{kivet} = V_{tot} - V_{tot} \times (83 - 2,75 \times rassi) / 100$

— soraton eli alle 2 mm:n jakeen tilavuus, m^3/ha ; $V_2 =$
 $V_{20} - V_{sr}$, missä $V_{sr} = (m_{sr}/m_{20}) \times V_{20}$, missä
 m_{sr} = soran massa näytteessä, g

m_{20} = sorallisen eli koko näytteen massa, g

— alle 2 mm:n jakeen massa, t/ha;

$$M_2 = tih_2 \times V_2, \text{ missä}$$

$tih_2 =$ alle 2 mm:n jakeen laboratorioissa määritetty
tiheys, t/m³

Volumetriset pitoisuudet laskettiin humuksen todellisen
ja kivennäismaan laboratorioissa määritetyn tiheyden avul-
la.

Näytteiden esikäsittely ja analysointi

Kivennäismaanäytteet kuivattiin ja niiden raekoostumus
määritettiin Geologian tutkimuskeskuksessa areometri-
menetelmällä. Humusnäytteet kuivattiin (+50°C) ja jau-
hettiin 2 mm:n pohjaseulalla varustetulla myllyllä. Näyt-
teet analysoitiin ilma-kuivina.

pH mitattiin maa-vesisuspensiosta — 15 ml maata, 25
ml vettä. Näytettä seisotettiin yön yli, sekoitettiin, annet-
tiin seistä noin yksi tunti ja mitattiin pH-mittarilla. Uut-
tavat ravinteet määritettiin ammoniumasetaattiuutteesta
(pH = 4,65) — 15 ml näytejauhetta, 150 ml uutonestet-

tä. Näytettä seisotettiin yön yli, heilutettiin yksi tunti ja suodatettiin (Halonen ym. 1983). Humuksen kokonaisravinteet (P, K, Ca, Mg) määritettiin hehkuttamalla näytettä 550°C:ssa kolme tuntia ja liuottamalla tuhka suolahappoon (Halonen ym. 1983). Kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä, paitsi vuosien 1984–85 näyt-

teet Leco CHN-600 laitteella. Kivennäismaan tiheys määritettiin laboratorioissa: koputettiin mittalasisissa 100 g alle 2 mm:n ilmakuivaa näytettä 20 kertaa kumialustaa vasten ja määritettiin näytteen vaatima tilavuus. Humusnäytteille laskettiin todellinen kuiva-tuoretiheys.

3. Tulokset

31. Maaperätunnusten vaihtelu

Maaperätunnukset vaihtelevat hyvin voimakkaasti (Troedsson & Tamm 1969, Falck 1973). Usein kuitenkin analysoidaan vain yksi kokoomanäyte yhtä maakerrosta kohti. Tällöin koealakohtaista otantavirhettä ei voida estimoida. Tässäkin tutkimuksessa analysoitiin vain yksi näyte kerrosta kohti lukuunottamatta viittä koealaa Mäntän alueen yhdellä karttalehdellä. Näiltä koealoilta analysoitiin systemaattisesti kerätyt 49 humus- ja 9 kivennäismaanäytettä (0–30

cm) yksitellen. Humuskerroksen näytteet otettiin sylinterillä (d = 50 mm) ja kivennäismaanäytteet lapiolla. Koska humusnäytettä kertyi monesti vähän, määritettiin näytteistä vain uutuvat ravinnepitoisuudet, kivennäismaasta lisäksi kokonaistyyppi ja raekoostumus. Vaihtelututkimuksen koealoihin sisältyi yksi OMT- ja kolme MT-kuusikkoa ja yksi VT-männikkö.

Fysikaalisista maaperätunnuksista eniten vaihteli savesosuus, jonka variaatiokerroin oli keskimäärin 56 % (taulukko 2). Muiden fysikaalisten tunnusten suhteellinen vaihtelu oli 30 %:n

Taulukko 2. Humuskerroksen paksuuden, kivirassin painuman ja kivennäismaan raekoostumuksen vaihtelu viidellä vaihtelututkimuksen koealalla.

Table 2. Variation in humus layer thickness, stone-rod penetration and texture of the mineral soil for the five sample plots used to evaluate within-plot variation.

Tunnus Characteristic		Koeala — Sample plot					Keskim. Average
		1	2	3	4	5	
		OMT	Metsätyyppi — Site type		VT		
			MT	MT	MT		
Humuskerros — Humus layer							
Paksuus	\bar{x}	31	53	61	34	35	
Thickness,	s	13	13	16	10	10	12
mm	cv,%	43	24	26	28	28	30
Kivennäismaa — Mineral soil (0–30 cm)							
Painuma	\bar{x}	15	19	13	29	15	
Penetration,	s	3,9	4,1	6,9	1,5	6,9	4,7
cm	cv,%	25	21	51	5	44	29
Hienot	\bar{x}	23	23	21	17	12	
Fines,	s	4,4	8,8	4,5	6,6	3,4	5,5
%	cv,%	19	38	21	40	29	29
Saves	\bar{x}	1,7	2,6	1,9	1,3	1,3	
Clay,	s	1,0	0,7	0,9	0,9	1,0	0,9
%	cv,%	61	27	45	67	78	56

Taulukko 3. Humuskerroksen ja kivennäismaan ravinnepitoisuuksien vaihtelu viidellä vaihtelututkimuksen koealalla.
 Table 3. Variation in nutrient concentrations of the humus layer and of the mineral soil for the five sample plots used to evaluate within-plot variation.

Tunnus Characteristic	Koeala — Sample plot					Keskim. Average	
	1	2	3	4	5		
Humuskerros — Humus layer							
P _u , mg/kg	\bar{x}	112	72	43	86	90	
	s	45	22	27	23	33	30
	cv,%	40	30	63	27	37	39
K _u , “	\bar{x}	800	660	740	830	780	
	s	220	160	190	200	210	200
	cv,%	28	24	25	24	27	26
Ca _u , “	\bar{x}	2200	1880	2030	2110	1660	
	s	970	450	850	460	400	630
	cv,%	44	24	42	22	24	31
Mg _u , “	\bar{x}	280	310	320	250	210	
	s	78	78	83	75	71	77
	cv,%	28	25	26	30	34	29
Kivennäismaa — Mineral soil (0–30 cm)							
N _t , g/kg	\bar{x}	1,0	0,7	1,0	0,5	0,6	
	s	0,2	0,2	0,5	0,1	0,3	0,3
	cv,%	20	34	46	28	59	37
P _u , mg/kg	\bar{x}	4,4	1,3	1,0	0,7	4,7	
	s	2,6	0,6	0,4	0,2	3,2	1,4
	cv,%	59	47	39	31	67	49
Ca _u , “	\bar{x}	38	29	41	32	38	
	s	23	8	15	11	22	16
	cv,%	60	26	35	35	58	43
K _u , “	\bar{x}	19	16	20	14	20	
	s	7	4	10	4	7	6
	cv,%	37	22	48	27	35	34
Mg _u , “	\bar{x}	8	7	9	4	5	
	s	3	3	3	2	2	2
	cv,%	35	35	34	43	41	38

tasolla. Taulukon 2 perusteella kivirassin painuman ja humuskerroksen paksuuden otantavirheen voidaan arvioida olleen käytännön mittauksissa (n = 16) keskimäärin 7 % (1...13 %), kun otantavirhe on laskettu kaavalla $d \leq cv/\sqrt{n}$ (Liedes & Manninen 1974). Saveksen ja alle 0,06 mm:n fraktion otantavirheet olisivat olleet vastaavasti käytännössä (n = 4) noin 28 (14...39 %) ja 10 % (10...20 %) ja absoluuttisesti 0,5 ja 2,8 %-yksikköä (vrt. Elonen 1971).

Ravinnetunnusten vaihtelu oli humuskerroksessa pienempää kuin kivennäismaassa (taulukko 3). Humuskerroksen kalium- ja magnesiumpitoisuuksien otantavirheiden voidaan arvioida olleen käytännön työssä ($d = cv/\sqrt{4}$, taulukko 3)

keskimäärin 7...8 %. Fosforipitoisuuden virhe olisi ollut vastaavasti noin 10 %. Kivennäismaan ravinnepitoisuuksien otantavirheiden voidaan arvioida olleen käytännössä (n = 4) 17...25 % (taulukko 3).

Maaperätunnusten koealoittaisen vaihtelun lisäksi tarkasteltiin myös niiden vaihtelua eri tutkimusalueilla ja koko aineistossa (taulukko 4). Humuskerroksen tyyppipitoisuus vaihteli vähiten ja kivennäismaan kalsiumpitoisuus eniten. Taulukoiden 2, 3 ja 4 vaihtelutunnukset on tiivistetty tyyppi ja kalsiumpitoisuuksien osalta kuvassa 2. Koealakohtaiset variaatiokertoimet laskettiin taulukoiden 2 ja 3 avulla käytännön otoskokoja vastaavasti — 16 humusnäytettä ja 4

Taulukko 4. Maaperämuuttujien variaatiokertoimia (%) erisuuruksilla alueilla ja koko aineistossa.

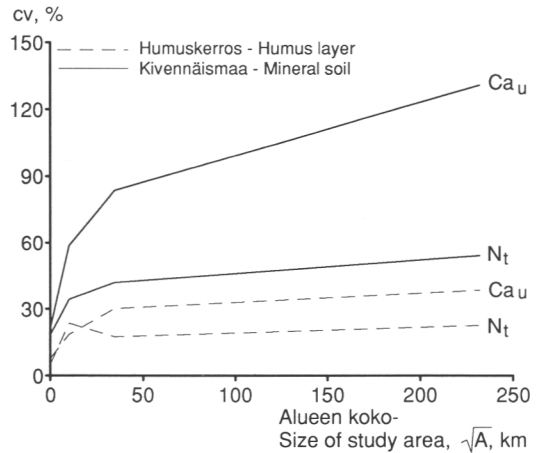
Table 4. Coefficients of variation (%) of selected soil characteristics at different area scales.

Tunnus Characteristic	Karttalehti Map sheet (10×10 km)	Alue Area (30×40 km)	Yhteensä Total (200×270 km)
Humuskerros — Humus layer			
N _t , g/kg	7...44	15...27	22
Ca _u , mg/kg	17...53	24...48	38
Kivennäismaa — Mineral soil (0-30 cm)			
Kivis, %	11...60	26...74	56
Hienot, %	18...49	26...79	52
N _t , g/kg	17...75	32...53	52
Ca _u , mg/kg	34...273	43...158	129

kivennäismaanäytettä.

Tarkastelualueiden koko on ilmaistu kuvassa 2 niiden pinta-alaa vastaavan neliön sivujen pituutena: yksittäinen koela $\sqrt{0,016 \times 0,016}$ km, karttalehti (2231 09) $\sqrt{10 \times 10}$ km, Mäntän kartoitusalue (2231) $\sqrt{30 \times 40}$ km ja koko tutkimusalue $\sqrt{200 \times 270}$ km. Variaatiokertoimien riippuvuus alueen koosta ilmeni selvimmin, kun alueen kokoa kuvaavasta neliön sivusta otettiin logaritmi: N_{th} r = 0,90, Ca_{uh} r = 0,94, N_{tk} r = 0,94 tai neliöjuuri: Ca_{uk} r = 0,97 (n = 4). Tällainen käyräviivainen riippuvuus saattaa päteä koelatasollakin — pinta-ala 25–100 m² (Nykvist & Skyllberg 1989).

Variaatiokerroin näyttäisi kasvavan aluksi voimakkaasti ja saavuttavan hitaasti kasvavan tason jo koelakoolla 10×10 m (Troedsson & Tamm 1969, Falck 1973). Muuttujat, joiden otosjakaumat ovat normaaleja, esim. humuskerroksen tyyppipitoisuus ja pH, käyttäytyvät eri tavoin kuin muuttujat, joilla on hyvin vinot jakaumat, esim. kivennäismaan kationiravinteet. Jos muuttujan variaatiokerroin — osanäyte- tai koelakohtainen — ja otosjakauman muoto tunnetaan edes karkeasti, voidaan kuvan 2 tai vastaavien tietojen avulla arvioida laajempien alueiden otosvirheitä.



Kuva 2. Humuskerroksen ja kivennäismaan kokonaistypen (g/kg) ja uuttuvan kalsiumin (mg/kg) pitoisuuksien variaatiokerroin tutkimusalueen koon funktiona.

Fig. 2. Coefficient of variation of total nitrogen (g/kg) and extractable calcium (mg/kg) concentrations in the humus layer and in the mineral soil as a function of the size of the study area.

32. Ravinnetunnusten ilmaisutapa

Maan ravinnepitoisuudet voidaan ilmaista gravimetrisesti koko näytettä tai tiettyä näytefraktiota kohti tai volumetrisesti todellista tai laboratoriossa määritettyä tilavuutta kohti. Volumetristen pitoisuuksien, esim. mg/l, tai määrien, esim. kg/ha, on otaksuttu olevan luonnollisempia ja puuston kasvun suhteen selityskykyisempiä kuin gravimetristen pitoisuuksien (Westman ym. 1985, Niska 1986). Metsämaiden kivisyyden ja karkeuden vuoksi volumetristen näytteiden otto onnistuu säännöllisesti vain humuskerroksesta. Kivennäismaan luonnontilaisen tiheyden sijasta käytetään monesti alle 2 mm:n jakkeen laboratoriossa määritettyä tiheyttä, joka korreloi kuitenkin heikosti todellisen tiheyden kanssa (Niska 1986). Vaikka tässä tutkimuksessa ei yritetty ottaa volumetrisia näytteitä kivennäismaasta, voidaan volumetrisia näytteitä ottaa vähäkivisistä maista ja kivisten maiden tiheyttä voidaan estimoida esim. raekoostumuksen ja orgaanisen aineen osuuden avulla (Alexander 1989, Huntington ym. 1989).

Eri tavoin ilmaistujen ravinnepitoisuuksien keskinäistä paremmuutta arvioitiin niiden korrelaatioilla pituusboniteetin suhteen (taulukko 5). Humuksen osalta saatiin parhaat korrelaatiot

Taulukko 5. Eri tavoin ilmaistujen ravinnepitoisuuksien osittaiskorrelaatiot pituusboniteetin (H_{100}) suhteen, kun lämpösunnan ja puulajin vaikutus on poistettu.

Table 5. Partial correlations between site index (H_{100}) and different expressions of soil nutrient contents after eliminating the effects of effective temperature sum and tree species.

Ravinne Nutrient	mg/kg ln ¹⁾		Pitoisuusilmaus — Expression of nutrient content mg/kg oa ln		mg/l <2 mm ln		mg/l >20 mm ln		kg/ha ln	
	Humuskerros — Humus layer									
N _t	0,31	0,30	0,53	0,55	0,34	0,36	—	—	-0,00	-0,03
P _t	0,13	0,15	0,26	0,29	0,23	0,25	—	—	-0,10	-0,10
K _t	0,03	0,00	0,15	0,15	0,15	0,13	—	—	-0,16	-0,18
Ca _t	0,23	0,27	0,27	0,34	0,26	0,30	—	—	0,04	0,06
Mg _t	0,27	0,33	0,24	0,34	0,25	0,32	—	—	0,16	0,19
P _u	-0,06	-0,08	0,04	0,01	0,02	0,01	—	—	-0,16	-0,20
K _u	-0,16	-0,16	0,01	0,01	0,00	0,00	—	—	-0,26	-0,25
Ca _u	0,26	0,32	0,28	0,37	0,26	0,33	—	—	0,06	0,09
Mg _u	0,18	0,21	0,27	0,31	0,25	0,27	—	—	0,02	-0,02
Kivennäismaa — Mineral soil (0–30 cm)										
N _t	0,15	0,18	0,40	0,44	0,21	0,22	0,27	0,29	0,29	0,30
P _u	-0,14	-0,09	-0,08	-0,08	-0,13	-0,09	-0,09	-0,05	-0,00	0,03
K _u	-0,06	-0,08	-0,05	-0,09	-0,07	-0,09	-0,03	-0,02	0,02	0,07
Ca _u	0,09	0,25	0,09	0,26	0,10	0,26	0,09	0,30	0,07	0,34
Mg _u	-0,02	0,14	-0,01	0,15	-0,02	0,15	-0,02	0,19	-0,02	0,23

¹⁾ Logaritmimuunnos — Logarithmic transformation

gravimetrisillä pitoisuuksilla orgaanisesta aineesta ja seuraavaksi parhaat volumetrisillä pitoisuuksilla mg/l todellista tilavuutta. Selityskykyisin ravinne oli kokonaistyyppi, kuten Lipaksenkin (1985) tutkimuksessa, mutta myös kalsium, magnesium ja kokonaisfosfori korreloivat pituusboniteetin kanssa.

Kivennäismaan ravinteista korreloi pituusboniteetin kanssa parhaiten kokonaistyyppi, laskeutunut orgaanisesta aineesta, aivan kuten humuskerroksessakin. Kalsiumin ja magnesiumin osalta parhaiten korreloivat sen sijaan määrät, kg/ha. Kivennäismaan näennäisvolumetriset pitoisuudet, mg/l, korreloivat vain hiukan paremmin pituusboniteetin kanssa kuin gravimetriset pitoisuudet.

Tarkastelua jatkettiin vertaamalla humuskerroksen ravinnepitoisuuksia tai -määriä — g/kg kuiva-ainetta, g/kg orgaanista ainetta, mg/l todellista tilavuutta ja kg/ha — kivennäismaan pitoisuuksiin tai määriin — mg/kg alle 2 mm:n näytettä, mg/kg savesta+orgaanista ainetta, mg/kg orgaanista ainetta, mg/l alle 2 mm:n jaetta ja kg/ha (30 cm:n kerros).

Humuskerroksen ja kivennäismaan ravinnepitoisuuksien korrelaatiot nousivat kalsiumilla

ja magnesiumilla 0,64–0,65:een, tyypellä 0,52:een, kaliumilla 0,40:een ja fosforilla 0,27:ään. Oheisessa jaotelmassa on kunkin ravinteen kaksi parasta pitoisuusyhdistelmää.

Paras yhdistelmä:

	humuskerros	kivennäismaa	r
N	g/kg oa	mg/kg oa	0,52
P	g/kg ka	mg/kg <2mm	0,27
K	g/kg ka	mg/kg <2mm	0,40
Ca	g/kg oa	mg/l <2mm	0,65
Mg	g/kg ka	mg/kg(mg/l)	0,64

Toiseksi paras yhdistelmä:

N	mg/l	mg/l <2mm	0,48
P	g/kg oa	mg/kg <2mm	0,25
K	g/kg ka	mg/l <2mm	0,39
Ca	g/kg oa	mg/kg <2mm	0,64
Mg	g/kg ka	kg/ha	0,60

Mikään pitoisuuspari ei noussut selvästi parhaaksi, mutta huonoimpia olivat yhdistelmät, joissa humuskerroksen ravinteet ilmaistiin määrinä, kg/ha. Humuskerroksen osalta keskimäärin paras vastaavuus kivennäismaahan oli pitoisuuksilla orgaanisesta aineesta. Kivennäismaan

Taulukko 6. Pinta- (0–30 cm) ja pohjamaan (65–75 cm) keskiraekoon jakaumat.
 Table 6. Median grain size distribution of surface (0–30 cm) and sub-soil (65–75 cm) layers.

Pintamaa Surface soil	Pohjamaa — Subsoil								Yhteensä Total
	d ₅₀ , µm ¹⁾								
d ₅₀ , µm ¹⁾	–2	–6	–20	–60	–200	–600	–2000	–20000	
–2									
–6	4	3					1		8
–20	5	6	14	4	2	2	1		34
–60	1	5	19	13	11	4	3	2	58
–200		2	14	37	179	117	46	11	406
–600		8	5	23	95	189	92	28	440
–2000		1	2		18	43	50	23	137
–20000			1		1	1	4		7
Yhteensä Total	10	25	55	77	306	356	197	64	1090

1) Vain luokkien ylärajat merkitty
 Only the upper limits of classes are given

osalta parhaat korrelaatiot humuskerroksen pitoisuuksiin saatiin käyttämällä pitoisuuksia mg/kg tai mg/l alle 2 mm:n jaetta.

Havaintujen riippuvuuksien perusteella päädyttiin ilmaisemaan humuskerroksen pitoisuudet gravimetrisesti orgaanisesta aineesta (Lipas 1985b). Myös kivennäismaan typpipitoisuuden osalta katsottiin pitoisuus orgaanisesta aineesta parhaaksi. Kivennäismaan uuttuvien ravinteiden osalta mikään pitoisuusilmaus ei näyttänyt olennaisesti muita paremmalta, joten tuntui luontevalta käyttää maatalouspuolella vakiintunutta ja metsämaantutkimuksissakin käytettyä näennäisvolumetrista pitoisuutta mg/l alle 2 mm:n jaetta.

33. Maaperätunnusten keskinäiset suhteet

Pinta- ja pohjamaan raekoostumus

Kultakin koelalalta kerättiin pintamaanäyte (0–30 cm) neljästä kulmasta, mutta pohjamaanäyte (65–75 cm) vain yhdestä. Koaloja perustettaessa yritettiin välttää maaperältään heterogeenisiä kuvioita, mutta syvyysuuntaista vaihtelua ei voitu tällöin ottaa huomioon. Syvyysuuntaisen vaihtelun tyypillistä monille maaperämuodostumille, esim. hienorakeisille kerrostumille, harjuille ja kumpumoreeneille.

Pinta- ja pohjamaan keskiraekoot vastasivat kohtalaisesti toisiaan, logaritmiarvojen korrelaatiokerroin oli 0,55. Taulukon 6 mukaan kun

pohjamaa oli hienoa, pintamaa oli karkeampaa, ja kun pohjamaa oli karkeaa, pintamaa oli hienompaa. Vastaavuus oli paras keskikarkeilla mailla (60–600 µm).

Maaperätunnusten faktorianalyysi

Maaperämuuttujien keskinäisiä suhteita selvitettiin hahmottelemalla muuttujien muodostamat ulottuvuudet faktorianalyysillä. Muuttujille tehtiin ln-muunnos, mikäli jakauman vinous ja varianssin homogointi vaati, ja aineistosta poistettiin koelat, joilta ei ollut humusnäytettä.

Seitsemän faktoria, joiden ominaisarvo oli yli yhden, selittivät kokonaisvariانسista 77 %. Taulukon 7 on merkitty faktorilataukset, joiden itseisarvo oli yli 0,25.

Faktori 1 oli humuskerroksen ravinnefaktori, jolla myös kivennäismaan kationiravinteet saivat korkeahkoja latauksia. Faktori 2 oli raekoostumusfaktori, faktori 3 kivennäismaan kationiravinne- ja moreenifaktori, faktori 4 humuskerroksen paksuusfaktori, faktori 5 kivennäismaan pH-faktori, jolla korkeita latauksia saivat myös kivennäismaan orgaaninen aine ja typpipitoisuus. Faktori 6 oli humuskerroksen uuttuvan fosforin ja kaliumin faktori, ja faktori 7 kivennäismaan fosforifaktori, jonka kanssa korreloivat myös humuskerroksen kalium ja fosfori. Kaikkiaan 27 maaperämuuttujaa tiivistyi seitsemäksi faktoriksi. Maaperätunnusten voimakkaan

Taulukko 7. Seitsemän faktorin (ominaisarvo >1) faktoriratkaisu, jossa on käytetty kaikkia maaperämuuttujia.
 Table 7. Seven factor (eigenvalue >1) solution using factor analysis with all soil characteristics.

Muuttuja Variable	Faktori — Factor							
	1	2	3	4	5	6	7	
	Faktorilataukset — Factor loadings							
Mg _{th}	0,90							
Ca _{uh}	0,85							
pH _h	0,85							
Ca _{th}	0,84							
Mg _{uh}	0,83							
P _{th}	0,77						0,35	
oa _h ,%	-0,75					0,28		
K _{th}	0,73						0,47	
N _{th}	0,64				0,48			
Ca _{uk}	0,60		0,57					
Hienot,%		0,92						
Hienot,t/ha		0,92						
d ₅₀		-0,90						
Sa		0,80	0,28					
K _{uk}	0,34		0,72					
Sort			0,64					
Kivis		-0,47	0,63			0,30		
Mg _{uk}	0,50	0,33	0,62					
oa _k ,%			0,59		0,53			
Humpak	-0,34			0,87				
oa _h ,t/ha	-0,36			0,83				
pH _k				-0,26	-0,73			
N _{tk}	0,33				0,59		-0,25	
oa _k ,t/ha		0,51			0,58	-0,40		
P _{uh}						0,86		
K _{uh}	0,49					0,51	0,43	
P _{uk}							0,69	
Osuus kokonaisvarianssista — Proportion of total variance, %								Yhteensä Total
	32,1	15,0	9,2	7,0	4,8	4,5	4,2	76,8

keskinäisen korreloitumisen vuoksi (ks. liite 1) voitaisiin nyt käytetyillä muuttujilla saatu informaatio esittää pienellä osalla muuttujia. Toisin sanoen yhden muuttujan merkitys muiden yhteydessä oli keskimäärin vähäinen.

Ravinnettunustien riippuvuus muista maaperätunnuksista

Ravinnepitoisuuksia voidaan selittää fysikaalisilla tunnuksilla, esim. orgaanisen aineen, savoksen tai hienojen lajitteiden (<0,06 mm) osuu-

della (esim. Niskanen & Jaakkola 1985, Sepponen 1985), ts. ravinteiden vapautumisen ja sitoutumisen kannalta aktiivisten aineiden määrillä. Asiaa tarkasteltiin regressioanalyysin avulla ottamalla mukaan selittäjäksi vielä pH (taulukko 8). Jakaumien vinouden poistamiseksi ja jäänösvarianssien homogenisoimiseksi käytettiin tarvittaessa logaritimuunnosta.

Humuskerroksen ravinnepitoisuudet oli laskettu orgaanisesta aineesta, joten sen suora vaikutus pitoisuuksiin poistui. Siitä huolimatta orgaanisen aineen osuus ja kokonaismäärä näyttivät vaikuttavan merkittävästi pitoisuuksiin. Kumpikin vähensi pitoisuuksia. Selityksenä voi-

Taulukko 8. Ravinnepitoisuudet fysikaalisten tunnusten ja pH:n funktiona. Regressiomallin standardoidut regressiokertoimet, selitysaste ja suhteellinen virhe.
 Table 8. Nutrient contents as a function of some soil physical characteristics and pH. Standardized regression coefficients, coefficient of determination and relative error of estimate of the regression model are given.

Ravinne Nutrient	b _{std}			R ²	s _e %
	oa	pH	Sa		
Humuskerros — Humus layer (n = 1220)					
N ₁₅ , g/kg oa	-0,13	0,53		0,37	16
P ₁₅ , “	-0,44	0,40		0,55	19
K ₁₅ , “	-0,45	0,26		0,40	31
Ca ₁₅ , “	-0,10	0,78		0,70	26
Mg ₁₅ , “	-0,49	0,32		0,52	69
P ₁₅ , “	0,13	0,10		0,01	37
K ₁₅ , “	-0,01	0,42		0,19	21
Ca ₁₅ , “	-0,11	0,81		0,76	24
Mg ₁₅ , “	-0,07	0,68		0,51	31
Kivennäismaa — Mineral soil (n = 1248)					
N ₁₅ , g/kg oa	0,09	-0,20	0,15	0,08	19
P ₁₅ , mg/l	0,05	0,06	-0,14	0,02	84
K ₁₅ , “	0,43	0,11	0,46	0,44	51
Ca ₁₅ , “	0,27	0,21	0,46	0,35	98
Mg ₁₅ , “	0,09	0,06	0,68	0,49	135

sivat olla paksujen humuskerrosten ominaisuudet: maatumattomuus, suuri orgaanisen aineen osuus, vähäravinteisuus ja happamuus. Humuksen pH korreloi selvästi positiivisesti muiden ravinnemuuttujien paitsi uuttuvan fosforin kanssa. Uuttuva kalium ja erityisesti fosfori selittyvät heikosti fysikaalisilla tekijöillä.

Kivennäismaan vähistä fysikaalisista muuttujista parhaimpia olivat odotetusti saveksen ja orgaanisen aineen osuudet (Urvas & Erviö 1974, Westman 1983). Kivisyysprosentti korreloi positiivisesti ravinnepitoisuuksien kanssa, lukuunottamatta typpeä, mikä viittaa siihen, että tässä aineistossa ravinteikkaat kasvupaikat olivat kivisiä ja päinvastoin vähäravinteiset kivettömiä. Kivennäismaassa pH:lla oli vähäinen merkitys muiden ravinteiden paitsi typen osalta. Kerroin oli tällöin kuitenkin odotusten vastaisesti negatiivinen. Osasyynä lienee humuspitoisuuden ja pH:n negatiivinen korrelaatio, -0,33.

Taulukko 9. Humuskerroksen uuttuvien ravinteiden osuus (%) kokonaisravinteista.

Table 9. Humus layer extractable nutrient concentrations as a proportion (%) of total nutrients.

Ravinne Nutrient	\bar{x}	cv %	vaihteluväli
P	23	39	1–69
K	89	21	15–124
Ca	69	12	36–110
Mg	57	31	4–103

Humuskerroksen uuttuvat ja kokonaisravinteet

Ravinnepitoisuuksien ennustaminen humuskerroksen tai kivennäismaan fysikaalisten ominaisuuksien ja pH:n avulla ei onnistunut hyvin minäkään ravinteiden osalta, tyydyttävästi vain humuskerroksen kalsiumin ja magnesiumin osalta. Mutta miten uuttuvien ravinteiden pitoisuuksien ennustaminen onnistuisi kokonaisravinnepitoisuuksien avulla?

Taulukossa 9 on aluksi esitetty suhteen uuttuva/kokonaispitoisuus tunnuslukuja eri ravinteiden osalta. Huomiota herättävät yli 100 %:n arvot kationiravinteilla, erityisesti kaliumilla. Kaliumilla 25 %:lla havainnoista uutettu pitoisuus oli suurempi kuin kokonaispitoisuus. Tähän on selityksenä suhteen K_u/K_t suuruus ja suurehko määrittämisvirhe. Virhe koostuu otanta-, punnitus- ym. mittausvirheistä ja laitevirheistä ja lienee rutiinianalyseissä 4...10 % (Mäkitie 1958, Sippola & Tares 1978). Myöhemmissä tarkasteluissa niille havainnoille, joilla uuttuva pitoisuus oli suurempi kuin kokonaispitoisuus, annettiin molemmille em. pitoisuuksien keskiarvo.

Näytteiden ominaisuudet vaikuttivat merkittävästi suhteeseen uuttuva/kokonaispitoisuus (taulukko 10). Ravinteiden kokonaispitoisuuden kasvaessa väheni uuttuvan ravinneosan pitoisuus, kaliumilla jyrkimmin, kalsiumilla loivimmin. Muiden muuttujien vaikutus ei ollut yhtä selvä. pH korreloi kuitenkin selvästi positiivisesti kationiravinteiden uuttumisosuuden kanssa. Vaikka kalsiumyhtälön selitysaste oli alhainen, olivat absoluuttinen ja suhteellinen keskiarvo pienimpiä, koska uuttuvan kalsiumin osuus vaihteli alunperin vähän. Uuttuvan magnesiumin osuus pystyttiin ennustamaan tehokkaasti (taulukko 9), kaliuminkin melko hyvin, mutta fosforin huonosti.

Taulukko 10. Humuskerroksen uuttuvien ravinteiden osuus (%) kokonaisravinteista kokonaispitoisuuden, orgaanisen aineen määrän ja pH:n funktiona. Regressiomallien standardoidut regressiokertoimet, selityssasteet ja suhteelliset virheet.

Table 10. Extractable nutrients as a percentage fraction of total nutrients as a function of total concentration, organic matter content and pH. Standardized regression coefficients, coefficient of determination and relative error of the regression models.

Ravinne Nutrient	b _{std}			R ²	s _e %
	Kok.pit. Tot.conc.	oa %	pH		
P	-0,30	0,18	-0,07	0,24	36
K	-0,49	0,30	0,07	0,46	13
Ca	-0,71	-0,13	0,72	0,19	10
Mg	-0,37	0,46	(-0,01)	0,58	20

Aineistosta laskettiin myös regressioyhtälöt uuttuville pitoisuuksille. Fosforia lukuunottamatta paras selittäjä oli ao. ravinteen kokonaispitoisuus. Fosforin riippuvuus oli muutenkin heikko. Kalsiumin yhtälö oli niin hyvä, ennustevirhe 10 %, että pelkät ennustetut arvot saattaisivat joissakin tapauksissa olla riittäviä.

34. Maaperätunnukset suhteessa lämpösummaan, topografiaan, puustoon ja metsätyyppiin

Yleistä

Maaperätunnusten vaihtelua tarkasteltiin myös muiden kasvupaikkatunnusten suhteen. Lämpösumman vaihteluväli oli aineistossa suppea, mutta teoriassa lämpösumma voi selittää ravinteisuutta vaikuttamalla mm. rapautumiseen, orgaanisen aineen hajoamiseen, kasvilajistoon, kasvien ravinteiden ottoon ja haihdunnan kautta huuhtoutumiseen. Topografisilla tunnuksilla voidaan lämpöolojen lisäksi kuvata mm. vesitaloutta ja epäsuorasti maan fysikaalisia ominaisuuksia, esim. maaperän paksuutta ja raekoostumusta. Metsätyyppi edustaa monen kasvupaikkatekijän yhteisvaikutusta pintakasvillisuuteen, eikä siis ole saman tason tunnus kuin edellä mainitut. Metsätyyppiin on osoitettu korreloivan esim. raekoostumuksen, orgaanisen aineen määrän ja kalsium- ja typpipitoisuuksien kanssa (esim. Valmari 1921, Ilvessalo 1933, Aaltonen

1937, Viro 1947, 1951, Urvas & Erviö 1974, Kuusipalo 1985, Lipas 1985b). Puusto edustaa kasvupaikalla muuttuvaa tekijää, joka vaikuttaa mm. kasvupaikan vesitalouteen, valo- ja lämpöoloihin sekä maaperän orgaanisen aineen laatuun ja määrään. Maahan joutuvan karikkeen laatu, joka riippuu paljolti puustosta, vaikuttaa hyvin olennaisesti orgaanisen aineen hajoamiseen ja ravinteiden mineralisaatioon (Mikola 1954, Viro 1955, 1963). Toisaalta puulajien esiintymistä ja sukkessiota säätelevät myös maaperätekijät (Sepponen ym. 1979).

Maaperätunnukset ja lämpösumma

Lämpösumman merkitystä selvitettiin vain muutamien metsätyyppien kanssa korreloineen ravinnemuuttujan osalta. Ravinnemuuttujille laskettiin regressioyhtälöt, joihin otettiin selittäjiksi lämpösumman lisäksi metsätyyppi (arvot 1–5), puulaji (kaksi valemuuttujaa) ja kehitysluokka (kaksi valemuuttujaa) (taulukko 11).

Aineisto oli huono selittäjien jakaumien suhteen — pienet vaihteluvälit ja vinot jakaumat, ja esim. metsätyyppi ilmaistiin järjestysasteikolla. Yhtälöiden kertoimet näyttivät kuitenkin johdonmukaisilta (Viro 1962, Kurki 1982, Mikola 1985) ja selityssasteet kohtuullisilta. Lämpösumman vaikutus ravinnemuuttujiin oli 20...50 % metsätyyppien vaikutuksesta eli samaa suuruusluokkaa kuin puustomuuttujien vaikutus. Lämpösumma näytti vaikuttavan erityisesti humuskerroksen typpipitoisuuteen, minkä Virolin (1962) totesi. Magnesiumyhtälöissä lämpösumman vaikutus oli vähäinen ja negatiivinen (vrt. Viro 1962). Lämpösumman vaikutus oli kaikkiaan vähäinen, ja osa siitäkin johtunee ravinteisuuden alueellisesta, ilmastosta riippumattomasta vaihtelusta.

Maaperätunnukset ja topografia

Kun koealakohtien topografiaa kuvattiin koealan asemalla, rinteiden kaltevuudella ja kaltevuussuunnalla, korreloivat maaperän fysikaaliset ominaisuudet odotetusti topografisen aseman kanssa (taulukko 12). Tasamaalla ja notkossa oli eniten orgaanista ainetta sekä humuskerroksessa että kivennäismaassa. Ylärinne ja mäen laki olivat taas raekoostumukseltaan selvästi karkeampia ja kivisempiä kuin tasamaa, notko ja alarinne.

Taulukko 11. Ravinnetunnukset lämpösunnan, metsätyyppiin, puulajin ja puuston kehitysluokan funktiona. Regressiomallien standardoidut regressiokertoimet ja selitysasteet.

Table 11. Nutrient characteristics as a function of effective temperature sum, site type and tree stand characteristics. Values given are standardized regression coefficients and coefficient of determination of the regression models.

Selitettävä muuttuja Dependent variable	b _{std}						R ²
	Lämpösumma Temp. sum	Metsätyyppi ¹⁾ Site type	Puulaji ²⁾ Tree species		Kehitysluokka ²⁾ Developm. class		
			Kuusi Spruce	Lehtipuu Decid.	0+1	3+4	
Humuskerros — Humus layer							
N _h , g/kg oa	0,28	-0,54	0,08	0,11	0,15	-0,20	0,55
Ca _u , “	0,17	-0,50	—	—	0,28	-0,08	0,38
Mg _u , “	-0,11	-0,57	—	0,15	0,18	-0,14	0,43
pH	0,17	-0,51	-0,06	0,05	0,19	-0,18	0,39
Kivennäismaa — Mineral soil							
N _k , g/kg oa	0,14	-0,50	—	0,08	—	—	0,31
Ca _k , mg/l	0,18	-0,50	-0,06	—	0,11	-0,12	0,31
Mg _k , “	—	-0,50	0,08	—	—	-0,17	0,30

1) Metsätyyppi — Site type: 1 = lehto — grove, 2 = OMT, 3 = MT, 4 = VT, 5 = CT (see Cajander 1949).

2) Valemuuttujat — Dummy variables (0/1). Kehitysluokka: 0+1 = aukea ala ja taimikko, 3+4 = varttunut kasvatusmetsä ja uudistuskypsä — Development class: 0+1 = treeless and seedling stage, 3+4 = older thinning stage and mature.

Eri maastokohtien ravinnepitoisuudet erosiivat yleensä toisistaan varianssianalyysin mukaan, mutta keskinäiset erot olivat pieniä ja suuruusjärjestys vaihteli. Fosforipitoisuudet olivat kuitenkin sekä humuskerroksessa että kivennäismaassa korkeimpia ylärinteellä ja mäen laella. Viljavuutta hyvin kuvaavat tyyppipitoisuudet olivat taas korkeimpia notkossa ja alarinteellä. Oheiseen jaotelmaan on koottu ravinnetunnusten F-testiarvot, joiden mukaan kivennäismaan fosfori ja pH vaihtelivat voimakkaimmin topografisen aseman suhteen.

Humuskerros				Kivennäismaa			
Tunnus	F-arvo	Tunnus	F-arvo	Tunnus	F-arvo	Tunnus	F-arvo
N _t	8,1	—	—	N _t	6,6	—	—
P _t	7,3	P _u	8,6	P _u	22,7	—	—
K _t	5,8	K _u	4,4	K _u	5,0	—	—
Ca _t	9,9	Ca _u	10,6	Ca _u	10,0	—	—
Mg _t	3,9	Mg _u	0,4	Mg _u	5,0	—	—
		pH	11,3	pH	19,3	—	—

Maaperätunnukset ja puusto

Puuston ja maaperätunnusten suhteita tutkittiin tarkastelemalla puuston kehitysluokan ja puulajin merkitystä erityisesti humuskerroksen ominaisuuksiin (taulukot 11, 13 ja 14).

Varttuneen puuston alla maaperä oli keskimäärin ravinneköyhempiä kuin nuoren puuston alla (taulukot 11 ja 13). Kehitysluokat 0 ja 5 näyttivät poikkeavan eniten muista luokista paitsi pienen havaintomääränsä myös muuttujien suuremman hajonnan vuoksi. Jos em. luokat jätettäisiin tarkastelun ulkopuolelle, korreloisivat lähes kaikki taulukossa 13 esitetyt muuttujat kehitysluokan kanssa. Humuksen määrä lisääntyi, ja ravinnepitoisuudet alenivat metsikön kehityksen myötä. Riippuvuudet olivat tosin löyhiä, mutta odotetun suuntaisia ja johdonmukaisia (Alban 1982, Mikola 1985).

Aineisto oli epätydyttävä puulajin vaikutuksen tutkimiseen, koska erityisesti lehtipuuvaltaisia koealoja oli vähän (taulukko 14), ja nekin jakautuivat koivun, lepän ja haavan kesken. Puutteita yritettiin poistaa laskennallisesti regressioanalyysillä (taulukko 11) ja kovarianssianalyysillä (taulukko 14). Puulajien vaikutusten vertailua hankaloitti vielä se, että monet mitatut metsiköt olivat sekametsiä ja että metsiköiden puulajihistoriaa ja muuta taustaa ei selvitetty.

Puuttomat ja erityisesti lehtipuuvaltaiset alat näyttivät selvästi ravinteikkaammilta kuin havupuuvaltaiset alat (taulukot 11 ja 14). Männiköt ja kuusikot erosivat toisistaan seuraavien tunnusten suhteen: humuksen määrä, P_t, Mg_t, N_t, Mg_u ja pH (taulukko 14). Puulaji vaikutti

suhteellisesti eniten uuttuvaan magnesiumiin, humuskerroksen paksuuteen ja kokonaistyypeen. Aineisto tuki mm. Mikolan (1985) havaintoja lehtimetsän humuskerroksen korkeammasta pH:sta ja tyyppipitoisuudesta.

Taulukko 12. Maaperän fysikaaliset tunnuksot topografisen aseman suhteen.

Table 12. Soil physical characteristics in relation to topographic position.

Tunnus Characteristic	Rinne — Slope		F-arvo			
	Tasamaa Plane	Notko Hollow	Ala Lower	Ylä Upper	Mäenlaji Hill top	F- value
Humpak, mm	33	33	26	25	23	23
oa _h , t/ha	35	34	27	26	24	26
oa _k , t/ha	118	134	108	96	99	11
oa _k , %	5,0	6,4	5,9	5,5	5,8	5
Sa, %	3,1	3,0	3,5	2,3	2,3	6
Kivis, %	27	30	35	41	43	20
n	208	38	212	206	99	763

Maaperätunnukset ja metsätyyppi

Useiden maaperätunnusten on todettu korreloivan metsätyyppin kanssa (Valmari 1921, Aaltonen 1937, Viro 1969, Urvas & Erviö 1974, Kuusipalo 1985, Sepponen 1985, Westman 1990). Tässäkin aineistossa lähes kaikissa tutkituissa maaperätunnuksissa oli metsätyyppittäisiä eroja (taulukot 15 ja 16). Kivennäismaan tunnuksista erosivat metsätyyppittäin selvimmän kalsium-, magnesium- ja tyyppipitoisuudet (taulukko 15). Myös fysikaaliset tunnuksot, erityisesti hienojen lajitteiden osuus, vaihtelivat odotetun johdonmukaisesti (Aaltonen 1941, Urvas & Erviö 1974). Kalsium- ja kaliumarvot vastasivat melko hyvin Urvaksen & Erviön (1974) saamia tuloksia, samoin fosforipitoisuuden kasvu karrumpiin metsätyyppieihin siirryttäessä.

Humuskerroksen tunnuksissa oli metsätyyppittäin keskimäärin suurempia eroja kuin kivennäismaan tunnuksissa (taulukko 16). Selvimmin poikkesivat tyyppi-, magnesium- ja kalsiumpitoisuudet ja pH. Fosfori- ja kaliumpitoisuudet, erityisesti uuttuvat, korreloivat heikosti metsätyyppin kanssa. Mikään tutkituista ravintoesu-

Taulukko 13. Humuskerroksen tunnuksot kovarianssikorjatut keskiarvot männiköissä ja kuusikoissa kehitysluokit-
tain¹⁾. Kovariaatteina lämpösomma, metsätyyppi²⁾, puulaji³⁾ ja soistuneisuus⁴⁾.

Table 13. Covariate adjusted mean characteristics of humus layer in pine and spruce stands by development class¹⁾.
Covariates used were effective temperature sum, site type²⁾, tree species³⁾ and paludification⁴⁾.

Tunnus Characteristic	Kehitysluokka — Development class						F-arvo F-value
	0	1	2	3	4	5	
Humpak, mm	27	22	26	29	30	27	12
oa _h , t/ha	26	24	25	28	30	27	11
N _t , g/kg oa	19,9	20,6	18,8	17,4	16,8	19,2	53
P _t , “	1,48	1,47	1,33	1,30	1,24	1,30	15
K _t , “	1,43	1,47	1,42	1,30	1,25	1,32	6
Ca _t , “	7,72	7,46	5,86	5,58	5,47	6,11	23
Mg _t , “	1,68	1,58	1,27	1,02	0,87	1,10	16
P _u , “	0,24	0,27	0,27	0,27	0,30	0,28	8
K _u , “	1,04	1,11	1,17	1,08	1,10	1,11	4
Ca _u , “	5,62	5,31	4,12	3,75	3,72	4,31	32
Mg _u , “	0,62	0,64	0,53	0,47	0,46	0,55	35
pH	4,37	4,25	4,08	3,97	3,94	4,18	41
n	49	133	134	329	469	52	1166

1) Kehitysluokka: 0 = aukea tai siemenpuusto, 1 = taimikko, 2 = nuori ja 3 = varttunut kasvatusmetsä, 4 = uudistuskypsä, 5 = suojuospuusto — Development class: 0 = clear-cutting or seed-tree area, 1 = seedling stage, 2 = younger and 3 = older thinning stage, 4 = mature, 5 = mature, thinned for natural regeneration.

2) Metsätyyppi — Site type: 1 = lehto — grove, 2 = OMT, 3 = MT, 4 = VT, 5 = CT (See Cajander 1949).

3) Puulaji — Tree species: 0 = mänty — Scots pine, 1 = kuusi — Norway spruce.

4) Soistuneisuus — Paludification: 0 = soistumaton — non-paludified, 1 = soistunut — paludified (suokasveja — mire vegetation coverage >25 %).

Taulukko 14. Humuskerroksen tunnusten kovarianssikorjatut keskiarvot puulajin mukaan. Kovariaatteina lämpösumma, metsätyyppi¹⁾ ja kehitysluokka²⁾.

Table 14. Covariate adjusted mean characteristics of humus layer by tree species. Covariates used were effective temperature sum, site type¹⁾ and development class²⁾.

Tunnus Characteristic	Puulaji — Tree species				F-arvo F-value
	Puuton Treeless	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Lehtipuu Decid.	
Humpak, mm	25	25	31	29	17
oa _h , t/ha	25	26	30	29	10
N _t , g/kg oa	18,3	17,7	18,4	20,5	12
P _t , “	1,32	1,34	1,29	1,48	6
K _t , “	1,36	1,33	1,33	1,45	1
Ca _t , “	7,06	5,98	5,99	7,02	4
Mg _t , “	1,12	1,22	1,01	1,58	6
P _u , “	0,34	0,28	0,29	0,32	5
K _u , “	1,23	1,07	1,14	1,16	10
Ca _u , “	5,16	4,20	4,06	4,79	5
Mg _u , “	0,57	0,52	0,50	0,77	26
pH	4,20	4,06	4,02	4,19	6
n	27	601	565	35	1228

- 1) Katso taulukon 11 alaviite. — See the footnote of Table 11.
 2) Kehitysluokka valemuuuttujilla: aukea + taimikko ja varttunut + uudistuskypsä. — Development class with dummy variables: treeless + seedling stage, and older thinning stage + mature.

Taulukko 15. Kivennäismaan tunnusten kovarianssikorjatut keskiarvot metsätyypeittäin. Kovariaatteina lämpösumma, puulaji¹⁾ ja kehitysluokka²⁾.

Table 15. Covariate adjusted mean characteristics of mineral soil by site type. Covariates used were effective temperature sum, tree species¹⁾ and development class²⁾.

Tunnus Characteristic	Lehto Grove	Metsätyyppi — Site type				F-arvo F-value
		OMT	MT	VT	CT	
Sa, %	7,2	4,5	2,9	2,5	2,0	21
Hienot, %	46	36	29	25	14	33
“, t/ha	1342	984	793	680	422	21
d ₅₀ , μm ³⁾	0,09	0,14	0,23	0,30	0,42	25
Kivis, %	24	32	35	34	24	6
oa _k , %	6,1	5,8	5,5	5,0	3,7	8
“, t/ha	148	124	108	98	84	17
N _t , g/kg oa ³⁾	25,3	23,0	20,2	18,1	16,0	76
P _u , mg/l ³⁾	2,9	3,5	4,5	5,6	4,8	13
K _u , “ ³⁾	45	32	28	26	20	16
Ca _u , “ ³⁾	319	203	110	79	32	94
Mg _u , “ ³⁾	60	33	18	13	7	85
pH	4,46	4,42	4,43	4,48	4,44	2
n	39	263	641	258	47	1248

- 1) Puulaji valemuuuttujilla: kuusi ja lehtipuu. — Tree species with dummy variables: spruce and deciduous.
 2) Katso taulukon 14 alaviite. — See the footnote of Table 14.
 3) Ln-muunnoksen vuoksi arvo on geometrinen keskiarvo, joka vastaa likimain mediaania. — Because of ln transformation, the value is a geometric mean which is close to the median value.

teista ei paljastunut hyväksi viljavuusindikaattoriksi.

Aineisto vahvisti, että metsätyyppillä ilmaistun metsämaiden luontaisen viljavuuden kanssa korreloivat useat maaperätunnukset, tässä aineistossa erityisesti orgaanisen aineen tyyppipitoisuus sekä kalsium- ja magnesiumipitoisuudet.

Taulukoiden 15 ja 16 lisäksi yritettiin erotteluanalyysillä löytää metsätyyppejä parhaiten erottelevat maaperätunnusten yhdistelmät. Analyysiin otettiin mukaan koealat, jotka olivat soistumattomia, joilla kivien osuus oli alle 50 % ja joiden puuston kehitysluokka oli 2–4. Osalle muuttujista tehtiin logaritimuunnos jakauman normalisoimiseksi. Muuttujat tulivat mukaan järjestyksessä:

N _{th}	–	Mg _{uk}	–	N _{tk}	–	Humpak	–	Ca _{uk}	–
(11,8		10,2		20,2		18,0		6,4	
K _{uh}	–	Mg _{th}	–	pH _k	–	Ca _{uh}	–		
10,6		7,4		8,5		7,7)			

Viimeisen vaiheen F-arvot ovat suluissa. Paras yksittäinen erottelija oli N_{th}, sitten Mg_{uh}, Mg_{uk} ja Mg_{th}. Erotteluanalyysin mukaan olennaisin tieto metsätyyppien eroista sisältyi humuskerroksen osalta muuttujiin N_t ja Humpak ja kivennäismaan osalta muuttujiin Mg_u, N_t ja Ca_u. Maaperä-

Taulukko 16. Humuskerroksen tunnusten kovarianssikorjatut keskiarvot metsätyypeittäin. Kovariaatteina lämpösoma, soistuneisuus¹⁾, puulaji²⁾ ja kehitysluokka³⁾.

Table 16. Covariate adjusted mean characteristics of humus layer by site type. Covariates used were effective temperature sum, paludification¹⁾, tree species²⁾ and development class³⁾.

Tunnus Characteristic	Lehto Grove	OMT	Metsätyyppi — Site type		CT	F-arvo F-value
			MT	VT		
Humpak, mm	13	22	30	30	28	37
oa _h , %	66	69	76	79	78	27
„, t/ha	13	23	29	30	27	28
N _t , g/kg oa	24,1	21,5	17,8	15,6	14,1	156
P _t , “	1,69	1,50	1,27	1,12	1,00	64
K _t , “	1,88	1,43	1,25	1,13	1,13	28
Ca _t , “ ⁴⁾	9,00	7,42	5,40	4,57	3,35	94
Mg _t , “ ⁴⁾	2,65	1,42	0,83	0,64	0,57	101
P _u , “	0,29	0,28	0,30	0,27	0,25	5
K _u , “	1,29	1,16	1,13	1,00	1,00	16
Ca _u , “ ⁴⁾	6,44	5,18	3,74	3,05	2,28	104
Mg _u , “ ⁴⁾	0,90	0,65	0,48	0,37	0,30	139
pH	4,55	4,33	4,03	3,84	3,66	98
N _t /P _t	14,4	14,5	14,1	14,1	14,0	1
N _t /K _t	13,8	15,7	14,6	14,2	13,0	5
N _t /Ca _t	2,9	3,0	3,4	3,5	4,3	15
N _t /Mg _t	10,5	16,8	23,3	25,9	27,0	41
Ca _t /Mg _t	3,8	5,8	6,9	7,5	6,5	27
n	27	255	641	258	47	1228

1) Soistuneisuus valemuuttujalla — Paludification as a dummy variable.

2) Katso taulukon 15 alaviite. — See the footnote of Table 15.

3) Katso taulukon 14 alaviite. — See the footnote of Table 14.

4) Geometrinen keskiarvo, ks. taulukko 15 alaviite. — Geometric mean, see the footnote of Table 15.

Taulukko 17. Metsätyyppien luokitus erotteluanalyysillä maaperätunnusten perusteella.

Table 17. Classification of site types using discriminant analysis based on soil fertility properties.

Todellinen Actual	Lehto Grove	Arvioitu — Estimated				Yht. Tot.	Oikein Correct %
		OMT	MT	VT	CT		
Lehto Grove	10	3				13	76,9
OMT	25	102	22	2		151	67,5
MT	2	60	228	61	8	359	63,5
VT		5	17	85	19	126	67,5
CT				6	26	32	81,3
Yht. Total	37	170	267	154	53	681	66,2

tunnusten multikollineaarisuuden vuoksi ratkaisu lienee kuitenkin epävakaa muiden kuin tyyppitoisuuksien osalta.

Erottelu onnistui melko huonosti (taulukko 17). Keskimäärin vain 66 % koelohista osui oikeaan metsätyyppiin. Metsätyyppien jakauma muuttui voimakkaasti: lehtojen ja CT:n frekvenssit kasvoivat 2,8- ja 1,7-kertaisiksi ja MT:n frekvenssi aleni neljänneksen. Yksinomaan fyysikaalisilla maaperämuuttujilla erottelu onnistui vielä paljon huonommin, onnistumissadannes oli 47. Erotteluyhtälöihin valikoituivat tällöin muuttujat Humpak, Kivorg, Sa, Kivis ja Hienot.

35. Tutkimusalueiden viljavuuserot

Vaikka tutkimusalueet valittiin subjektiivisesti ja osaksi muiden näkökohtien kuin viljavuuden kartoittamisen kannalta, arveltiin eri alueiden

Taulukko 18. Kasvupaikkatyyppien jakaumat tutkimusalueilla (a) VMI-7:n¹⁾ ja (b) tämän tutkimuksen aineiston mukaan.

Table 18. Site type distributions in study areas according to (a) NFI-7¹⁾ and (b) this material.

Alue Area		Frekvenssi — Frequency, %				Yht. Tot.	Veroluokka ³⁾ Taxation class ³⁾	Koealoja No. of sample plots
		Kasvupaikkatyyppi ²⁾ — Site type ²⁾						
		1	2	3	4			
Luumäki	a	11	53	29	7	100	1,5	748
	b	14	55	27	4	100		215
Lappeenranta	a	24	41	30	5	100	1,4	410
	b	24	44	24	8	100		131
Lammi	a	44	42	14	0	100	1,0	680
	b	49	44	7	—	100		206
Mikkeli	a	30	48	19	3	100	1,1	721
	b	30	60	10	—	100		222
Kuhmoinen	a	22	52	22	4	100	1,4	572
	b	36	47	17	—	100		97
Kankaanpää	a	16	48	21	15	100	1,8	297
	b	9	49	31	11	100		35
Mänttä	a	21	53	24	2	100	1,3	756
	b	16	63	18	3	100		157
Parkano	a	15	45	32	8	100	1,6	308
	b	11	46	33	10	100		104
Pohjanmaa	a	4	46	42	8	100	2,0	347
	b	—	42	40	18	100		50
Kuhmo, Lentiira	a	1	34	63	2	100	1,9	159
	b	—	29	71	—	100		31

1) VMI-7 = Valtakunnan metsien 7. inventointi (1977–84) — NFI-7 = the 7th National Forest Inventory (1977–84).

2) Kasvupaikkatyyppi: 1 = Lehto + lehtomainen kangas, 2 = tuore kangas (MT), 3 = kuivahko kangas (VT), 4 = kuiva kangas + karukkokangas + kalliomaata — Site type: 1 = grove + grovish site, 2 = fresh site (MT), 3 = dryish site (VT), 4 = dry + barren + bedrock sites.

3) Veroluokkien keskiarvo: 0 = IA, 1 = IB, 2 = II, 3 = III, 4 = IV — Mean taxation class (productivity class): 0 = IA (highest), 1 = IB, 2 = II, 3 = III, 4 = IV (lowest).

kasvupaikka- ja maaperätunnusten tarkastelun valaisevan yleisemminkin eroja alueittaisessa viljavuudessa.

Tutkimusalueiden koko vaihteli suuresti, ja kaksi aluetta sijaitsi erillään, Pohjanmaa ja Kuhmo. Alueiden vertailussa voitiin kuitenkin käyttää hyväksi valtakunnan metsien 7. inventoinnin tietoja. Kullekin alueelle tai erilliselle karttalehdelle tai niiden vaipalle (<3 km) osuneiden VMI-lohkojen (Kuusela & Salminen 1980) perusteella laskettiin metsätyyppien ja puulajien frekvenssit (Salminen 1981).

Aineiston metsätyyppijakaumat olivat lähellä VMI-7:n jakaumia (taulukko 18), ts. aineisto näytti edustavan alueita melko hyvin viljavuustarkastelun kannalta. Tutkimusaineiston puulajijakauma vastasi myös melko hyvin VMI-7:n lukuja. Kuusivaltaisimpia olivat Lammin, Kuhmoisten ja Mäntän alueet, muut alueet olivat mäntyvaltaisia.

Alueiden välillä oli selviä eroja metsätyyppi- ja puulajijakaumissa. Alueiden välillä oli myös eroja humuskerroksen tunnuksissa sekä alkupe- räisten että taulukossa 19 esitettyjen kovarianssikorjattujen arvojen suhteen. Alueet erosivat toisistaan selvimmin tyyppipitoisuuden suhteen, mutta melko selvästi kaikkien humuskerroksen tunnusten suhteen. Myös kivennäismaatunnusten perusteella alueet erosivat toisistaan (taulukko 20). Erot näkyivät selvimmin kaliumin, orgaanisen aineen ja fosforin pitoisuuksissa, eivätkä niinkään viljavuutta indikoivissa tyyppi- ja kalsiumpitoisuuksissa.

Maalajiensa puolesta aineisto vastasi hyvin mm. Aaltosen (1941) arviota eteläisestä Suomesta. Esimerkiksi moreenien osuus oli nyt 79 % ja Aaltosella 77 %. Nyt tutkituista alueista moreenien osuus oli yli 90 % Mikkelin, Kuhmoisten ja Kankaanpään alueilla ja muillakin niiden osuus oli yli 50 %. Hiekkamoreeni oli

Taulukko 19. Humuskerroksen tunnusten kovarianssikorjatut keskiarvot alueittain. Kovariaatteina metsätyyppi¹⁾, puulaji²⁾ ja kehitysluokka³⁾.

Table 19. Covariate adjusted mean characteristics of the humus layer by study area. Covariates used were site type¹⁾, tree species²⁾ and development class³⁾.

Tunnus Characteristic	Tutkimusalue — Study area ⁴⁾										Kesk. Mean	F-arvo F-value
	Luu	Lap	Lam	Mik	Kuh	Kan	Män	Par	Poh	Len		
Humpak, mm	27	27	24	27	22	31	31	38	37	27	28	18
N _t , g/kg oa	19,2	19,8	20,1	17,2	18,3	15,6	17,2	16,3	15,7	15,2	18,1	44
P _w , “	0,25	0,23	0,26	0,31	0,30	0,27	0,33	0,26	0,41	0,32	0,28	24
K _w , “	1,05	1,05	1,22	1,02	1,22	1,13	1,15	1,13	1,21	0,84	1,11	18
Ca _w , “	3,70	5,46	5,31	3,68	4,24	3,50	3,90	3,39	3,71	3,82	4,17	28
Mg _w , “	0,42	0,54	0,63	0,53	0,52	0,53	0,46	0,49	0,61	0,55	0,52	23
pH	3,98	4,26	4,22	3,92	4,15	3,83	4,05	3,98	3,91	3,90	4,05	26
n	213	125	200	222	92	35	156	104	50	31	1228	

1) Katso taulukon 11 alaviite. — See the footnote of Table 11.

2) Katso taulukon 15 alaviite. — See the footnote of Table 15.

3) Katso taulukon 14 alaviite. — See the footnote of Table 14.

4) Lyhenteet taulukossa 1 ja alueiden sijainti kuvassa 1. — See Table 1 for abbreviations and Fig. 1 for locations.

Taulukko 20. Kivennäismaan tunnusten kovarianssikorjatut keskiarvot alueittain. Kovariaatteina metsätyyppi¹⁾, puulaji¹⁾ ja kehitysluokka¹⁾.

Table 20. Covariate adjusted mean characteristics of mineral soil by study area. The covariates used were site type¹⁾, tree species¹⁾ and development class¹⁾.

Tunnus Characteristic	Tutkimusalue — Study area ³⁾										Kesk. Mean	F-arvo F-value
	Luu	Lap	Lam	Mik	Kuh	Kan	Män	Par	Poh	Len		
d ₅₀ , µm ²⁾	320	163	165	161	328	455	169	336	207	316	218	17
oa _k , %	4,9	5,7	7,1	5,8	7,0	5,5	3,8	4,2	3,0	3,2	5,4	44
N _t , g/kg oa ²⁾	20,7	22,0	19,3	22,0	18,7	22,5	19,4	19,6	18,4	18,3	20,3	23
P _w , mg/l ²⁾	5,4	4,2	4,1	4,7	5,7	8,0	4,0	2,4	8,8	1,3	4,4	38
K _w , “ ²⁾	26	36	42	20	35	38	22	28	27	15	28	49
Ca _w , “ ²⁾	111	132	187	98	166	144	96	67	63	122	116	28
Mg _w , “ ²⁾	14	19	29	14	28	51	17	17	18	20	19	34
pH	4,35	4,54	4,39	4,45	4,54	4,23	4,50	4,53	4,17	4,56	4,44	20
n	215	131	206	222	97	35	157	104	50	31	1248	

1) Ks. taulukon 19 alaviitteet. — See the footnotes of Table 19.

2) Geometrinen keskiarvo, ks. taulukko 15 alaviite. — Geometric mean, see the footnote of Table 15.

3) Lyhenteet taulukossa 1. — See Table 1 for abbreviations.

yleisin moreeni, mutta toisaalta Mikkelin alueella hietamoreenia oli 75 % moreeneista.

Alueiden viljavuuden vertailemiseksi yleisemmin kuin taulukoiden 19 ja 20 avulla laadittiin kaksi viljavuusjärjestystä: VMI-metsätyyppien ja maanäytteiden ravinnepitoisuuksien perusteella. Edellinen laadittiin VMI-7:n lehtojen ja lehtomaisten kankaiden osuuksien perusteella ja jälkimmäinen laskemalla alueiden sijalukupisteet humuskerroksen ja kivennäismaan tyyppi- ja emäskationipitoisuuksien perusteella.

VMI-7:n lehtojen ja lehtomaisten kankaiden osuus:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lam	Mik	Lap	Kuh	Män	Kan	Par	Luu	Poh	Len

Ravinnepitoisuudet:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lam	Lap	Kuh	Mik	Luu	Män	Kan	Par	Len	Poh

Selvästi viljavain alue oli Lammi. Muita keskimääräistä viljavampia olivat Lappeenranta, Mikkelin ja Kuhmoinen. Viljavuudeltaan keskimääräisiä olivat Luumäki, Kankaanpää ja Mänttä.

Taulukko 21. Kokonaistypen ja uuttuvan kalsiumin pitoisuudet varttuneissa MT-männiköissä ja -kuusikoissa alueittain.

Table 21. Concentrations of total nitrogen and extractable calcium in mature or near mature pine and spruce stands in MT site type by study area.

Tunnus Charac- teristic	Puulaji ¹⁾ Tree spec. ¹⁾	Luu	Lap	Lam	Tutkimusalue — Study area ³⁾						Kesk. Mean	F-arvo F-value	
					Mik	Kuh	Kan	Män	Par	Poh			Len
Humuskerros — Humus layer													
N _t ,	Mä	17,2	18,6	18,1	15,7	15,7	12,6	15,8	15,1	15,6	14,6	16,5	6,2
g/kg oa	Ku	19,4	19,2	19,6	16,7	17,8	14,6	16,9	14,9	13,8	14,9	17,4	15,0
Ca _u ,	Mä	3,37	4,77	4,16	3,58	3,55	2,25	3,40	2,61	2,68	2,84	3,66	4,1
g/kg oa	Ku	3,23	4,31	4,80	3,30	3,62	3,08	3,54	2,67	3,24	4,19	3,46	9,5
Kivennäismaa — Mineral soil													
N _t ,	Mä	19,4	21,9	16,7	21,5	17,2	22,2	19,5	19,7	17,2	18,2	20,2	7,3
g/kg oa ²⁾	Ku	21,4	22,6	19,8	22,5	18,7	20,0	20,0	19,8	17,8	10,5	20,5	9,7
Ca _u ,	Mä	113	121	142	110	203	129	95	54	43	65	109	2,9
mg/l ²⁾	Ku	96	69	202	80	120	109	78	51	70	150	90	8,6

¹⁾ Mä = mänty = Scots pine, Ku = kuusi = Norway spruce.

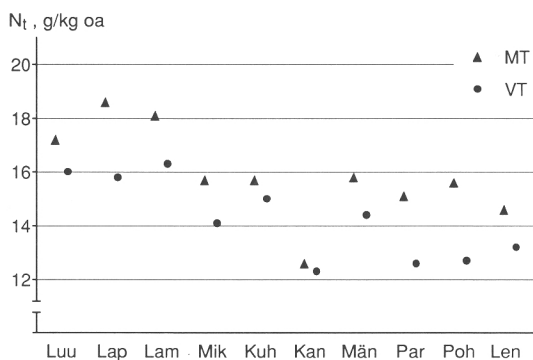
²⁾ Geometrisen keskiarvo, ks. taulukko 15 alaviite — Geometric mean, see the footnote of Table 15.

³⁾ Lyhenteet taulukossa 1. — See Table 1 for abbreviations.

Selvästi karuimpia olivat Parkano, Kuhmon Lentiira ja Pohjanmaan viisi karttalehteä. VMI-metsätyypijakauma ja maanäytteiden ravinteisuus vastasivat toisiaan suurin piirtein.

Ravinnepitoisuuksia kovarianssianalyysillä testattaessa todettiin, että alueiden välillä oli eroja, vaikka mm. metsätyyppi oli kovariaattina, ts. saman metsätyypin ravinteisuus vaihteli alueittain (taulukot 19 ja 20). Koska metsätyypijakaumat eri alueilla poikkesivat toisistaan, testattiin alueiden ravinteisuuseroja erikseen mustikka- ja puolukkatyypeillä (taulukko 21, kuva 3).

Ravinteisuuden alueellinen vaihtelu olikin mustikkatyyppin varttuneissa männiköissä ja kuusikoissa selvästi vähäisempää kuin kovariaateilla tasoitetussa koko aineistossa (ks. taulukoiden 19 ja 21 F-arvot). Humuskerroksen orgaanisen aineen tyyppipitoisuus oli esim. Parkanon männiköissä 81 % Lappeenrannan männiköiden vastaavasta. Uuttuvaa kalsiumia oli Parkanon männiköissä vain 55 % Lappeenrannan vastaavasta arvosta. Kuvan 3 mukaan humuskerroksen orgaanisen aineen tyyppipitoisuus oli eteläisimmil-



Kuva 3. Humuskerroksen kokonaistyyppipitoisuus MT- ja VT-männiköissä tutkimusalueittain.

Fig. 3. Total nitrogen concentration of the humus layer in MT and VT pine stands by study area.

lä alueilla — Luumäki, Lappeenranta ja Lammi — VT:lläkin korkeampi tai yhtäsuuri kuin muilla alueilla MT:llä. Kalsium ja magnesium käyttyivät lähes vastaavasti.

4. Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen aineisto kerättiin suppeahkolta alueelta käyttäen koealapaikkojen valinnassa osaksi harkintaa. Metsätyyppijakaumien perusteella aineistossa oli viljavia kasvupaikkoja enemmän kuin VMI-7:ssä. Puusto oli myös havupuuvälitaisempaa ja vanhempaa kuin VMI:ssä. Toisaalta aineiston kasvupaikkajakauma oli laajempi kuin esim. Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston lannoituskoealoilla (Lipas 1985b), ja koealat olivat yhtenäisempiä kuin VMI:ssä. Aineisto edusti lähinnä Järvi-Suomen havumetsiä, ja sopii paremmin riippuvuuksien tutkimiseen kuin yleistyksiin.

Saatuihin maaperätunnusten arvoihin on suhtauduttava varovasti. Koealoittaiset maaperämuuttajat voivat edellä käsiteltyjen viiden vaihtelututkimuksen koealan perusteella sisältää mitattavia otantavirheitä. Kun lisäksi otetaan huomioon muut virhekomponentit, esim. kasvukauden sisäisestä ja vuosien välisestä vaihtelusta, näytteenottajasta, näytteiden säilytyksestä ja käsittelystä sekä analyysimenetelmästä johtuvat virheet, on maaperämuuttujien arvoja pidettävä toisinaan vain suuruusluokkaa osoittavina. Hehtaarikohtaiset arvot ovat vielä epävarmempia, sillä kokonaisvirhe koostuu näissä pitoisuusvirheen lisäksi kokonaisuudessaan määritysvirheestä.

Suurehkon otantavirheen lisäksi erityisesti kemiallisiin tunnuksiin sisältyy hallitsematonta vaihtelua, joka aiheutuu mm. kasvukausien sisäisestä ja välisestä vaihtelusta (Falck 1973, Mälkönen 1974, Makkonen 1985, Lundell 1987). Kemiallisia maaperätunnuksia pitäisi tarkastella suppeissa luokissa, esim. tietyntyyppin, tietyntyyppin tai tietyntyyppin puuston puitteissa (Urvas & Erviö 1974). Tällöin tämänkin tutkimuksen keskiarvot lienevät parhaimmillaan (ks. liitteet 21–27 ja 31–34).

Ravinnepitoisuuksien ilmaiseminen ei ole täysin vakiintunut. Aineiston perusteella näyttivät mm. Lipaksen (1985b) käyttämät humuskerroksen ravinnepitoisuudet orgaanisesta aineesta parhailta (ks. luku 32). Sama koski myös kivennäismaan tyyppiä (vrt. Evers 1967). Kivennäismaan muiden ravinteiden kuin typen ilmaiseminen näyttää ongelmallisemmalta. Viro (1951) katsoi parhaaksi pitoisuudeksi kg/ha (0–30 cm). Westman ym. (1985) arvioivat aidon volumetrisen pitoisuuden perustelluimmaksi. Pelto- ja puu-

tarhamaiden viljavuusanalyysissä ravinnepitoisuudet ilmaistaan näennäisvolumetrisesti alle 2 mm:n fraktiosta (Kurki ym. 1965), mikä on ymmärrettävää viljelysmaiden hienorakeisuuden, huokoisuuden ja homogeenisuuden vuoksi. Metsämailla aito volumetrisen pitoisuus voisi olla perusteltu tavoite (vrt. taulukko 2), mutta sen saavuttaminen on vaikeaa, usein mahdotonta. Riittävän luotettavasti estimoitu volumetrisen pitoisuus saattaisi olla tavoitettavissa (Alexander 1989, Huntington ym. 1989). Se vaatisi näyttemaan tiheyden (<2 mm:n jae) ja karkeiden jakeiden (sora, kivet, lohkareet) osuuden arviointia. Tässä työssä käytetyt näennäisvolumetriset pitoisuudet, mg/l <2mm, mg/l <20 mm ja ravinne määrät, kg/ha (0–30 cm), näyttivät melko hyviltä (taulukko 5). Pinta-alayksikköä (ha, m²) kohden ilmaistut ravinne määrät voidaan lisäksi laskea humuskerroksen kanssa yhteen, mikä varsinaisten pitoisuuksien osalta ei ole mahdollista. Tämän työn perusteella kivennäismaan ravinnepitoisuuksien (Ca ja Mg) suositeltavuusjärjestys viljavuustarkastelussa olisi: kg/ha, mg/l <20 mm, mg/l <2 mm ja mg/kg. Vertailtavuus maatalouden laboratorioihin puoltaisi pitoisuutta mg/l < 2mm (myös Lipas 1985b).

Maaperätunnusten faktorianalyysien mukaan todellisia mittaustulotuvuuksia oli vain muutama (taulukko 7). Päädimension muodosti kationiravinteiden ja typen virittämä positiivinen ravinneisuusfaktori. Toinen pääfaktori oli kivennäismaan raekoostumus — orgaaninen ainefaktori (vrt. Sepponen 1985). Monet maaperätunnukset korreloivat keskenään voimakkaasti (Dahl ym. 1961, Westman 1981, 1983, Sepponen 1985). Riippuvuuksia voitaisiin käyttää hyväksi mm. analyysitulosten tarkastuksessa, puuttuvien tietojen täydennyksessä ja jopa analyysin korvaamisessa (Niskanen & Jaakkola 1985). Toisaalta maaperämuuttujien keskinäiset korrelaatiot vähentävät yksittäisten muuttujien antia.

Metsämaan tehoaineita ravinneisuuden kannalta ovat orgaaninen aine ja kivennäismaan hienot lajitteet (Aaltonen 1929, Urvas & Erviö 1974, Sepponen 1981, Westman 1983, Lipas 1985b, Niskanen & Mäntylähti 1987). Humuskerroksen ravinteet ovat sitoutuneet orgaaniseen aineeseen. Siksi pitoisuuksien laskennassa on syytä eliminoida häiritsevästi vaihteleva kiven-

näisaine laskemalla pitoisuudet orgaanisesta aineesta. Kivennäismaan osalta tilanne on toinen. Vaikka orgaanisen aineen ja hienojen lajitteiden osuudet korreloivat ravinnepitoisuuksien (K, Mg, Ca) kanssa (taulukko 8, Urvas & Erviö 1974, Niskanen & Jaakkola 1985, Sepponen 1985), on pitoisuuksia vaikea vakioida tiettyä fraktiota kohti kuten humuskerroksessa. Kivennäismaan kivisyyden, raekoostumuksen, kerroksellisuuden (maannos) ja orgaanisen aineen vaihtelu ja tasoltaan alhaiset gravimetriset ravinnepitoisuudet tekevät kivennäismaasta hankalan tutkimuskohteen viljavuusanalyysien kannalta.

Kivennäismaa muodostaa kasvupaikan ravinteisuuden perustan, mutta kivennäismaan vaikutusta viljavuuteen on vaikea mitata. Kivennäismaan ominaisuuksien ja viljavuuden riippuvuus on muuttunut ja heikentynyt, kun maan pinnalle on kehittynyt maannos. Samanlaisesta lähtötilanteesta on voinut syntyä viljavuudeltaan erilaisia kasvupaikkoja tai erilaisista lähtökohdista on syntynyt viljavuudeltaan samanarvoisia kasvupaikkoja (Urvas & Erviö 1974, Sepponen 1985). Vaikka kivennäismaan merkitys ei näyttäisi viljavuustarkastelussa ratkaisevalta, ovat kivennäismaan ominaisuudet tärkeitä esim. kasvupaikkojen tieteellisessä tai käytännön luokituksessa. Toisaalta kivennäismaan ominaisuuksien ja viljavuuden riippuvuus voi olla aineistokohtaisesti voimakaskin (Lipas 1985b, Westman 1990).

Osa maaperätunnuksista on pysyviä, mm. kivisyys ja raekoostumus, osa on taas muuttuvia, esim. humuksen määrä ja kemialliset tunnuksat. Myös osa ei-maaperällisistä kasvupaikan ominaisuuksista on pysyviä, mm. ilmasto ja topografia, osa taas muuttuvia, mm. puusto, pintakasvillisuus ja pohjaveden taso. Tässäkin työssä käsiteltiin maaperätunnuksen suhdetta topografiaan, lämpösummaan, puustoon ja metsätyyppiin. Topografian osalta tulokset noudattivat väljästi aikaisempia käsityksiä (Tamm 1931, Lundmark 1974), joiden mukaan notkot ja alarinteet ovat viljavimpia ja ravinteikkaimpia. Tutkimuskohteiden pienipiirteinen topografia ei suosinut em. suhteiden selvittämistä. Lämpösumma korreloi positiivisesti muiden ravinnemuuttujien paitsi magnesiumin kanssa (Viro 1962). Puuston osalta aineisto tuki myös aikaisempia havaintoja havupuiden ja puuston iän negatiivisesta vaikutuksesta ravinnepitoisuuksiin ja pH:hon (Viro 1969, Alban 1982, Mikola 1985, Snyder & Harter 1985). Metsätyyppiin yhteys hienojen lajitteiden osuuteen, sekä typpi-, kalsium- ja

magnesiumpitoisuuksiin (Valmari 1921, Ilvesalo 1933, Aaltonen 1941, Urvas & Erviö 1974) vahvistui myös tämän aineiston perusteella (taulukot 11, 15 ja 16). Metsätyyppiä ei pystytty kuitenkaan erottamaan luotettavasti mitattujen maaperätunnuksen avulla (taulukko 17, vrt. Aaltonen 1929). Metsätyyppiluokitus oli karkea tapa mitata kasvupaikan viljavuutta, mutta myös maaperän analysointi oli karkeaa ja staattista. Puuston pituusboniteetin vertaaminen maaperätunnuksiin saattaisi tuottaa selkeämmän kuvan maaperän merkityksestä viljavuuteen (ks. Carmean 1975), erityisesti, jos maaperästä voitaisiin mitata dynaamisempia tunnuksia, esim. epäorgaanisen tyyppien pitoisuuksia (vrt. Viro 1963, Mälkönen 1974, Melin 1986).

Maaperätunnuksen alueellista vaihtelua selvitettiin sekä koeala- että aluetasolla. Monien maaperätunnuksen vaihtelu tasaantui jo koealatasolla (kuva 2). Alueellisesti eniten vaihtelivat kivennäismaan ravinnepitoisuudet, erityisesti kalsium ja magnesium. Sen sijaan humuskerroksen ravinnepitoisuudet vaihtelivat selvästi vähemmän. Tämä johtunee aineiden syntyperäeroista. Humuskerros on kehittynyt paikalla kasvaneiden kasvien jäännöksistä, ja kasvien ravinnepitoisuudet määräytyvät suurelta osin niiden perinnöllisten fysiologisten järjestelmien säätelminä. Kasvinosien pääravinteiden pitoisuusjakaumat ovat melko normaaleja (Kähäri & Nissinen 1978, Paasikallio 1978, Wyttenbach ym. 1985, Landolt ym. 1989), vaikka kasvialustojen erot aiheuttavatkin tasoeroja. Sen sijaan kivennäismaan ravinnepitoisuuksien jakaumat ovat hyvin vinoja, kuten oheiset luvut osoittavat (myös Sippola & Tares 1978, Lipas 1985b).

	\bar{x}	md	vaihteluväli	vinous ¹⁾
N _t , % oa	2,07	2,04	0,63–3,70	0,5
P _u , mg/l	5,9	4,0	0,6–40,0	2,1
K _u , mg/l	33	28	3–281	3,8
Ca _u , mg/l	171	110	4–2489	4,7
Mg _u , mg/l	30	16	2–1200	10,2

¹⁾ Normaalijakauman vinous = 0, oikealle vino >0, vasemmalle vino <0.

Ravinteiden vapautumisen ja sitoutumisen kannalta olennaisen aineksen (humus, saves) osuus on humuskerroksessa suuri kokonaisuudessaan verrattuna (30...95 %), kun taas kivennäismaassa em. aineksen osuus on yleensä vähäinen (0...30 %), sen suhteellinen vaihtelu on hyvin suuri ja jakauma oikealle vino kuten ravinteillakin. Näin

selittyisi ravinnepitoisuuksien vaihtelun erot humuskerroksen ja kivennäismaan välillä. Tosin tässä aineistossa saveksen ja orgaanisen aineen osuudet selittivät melko heikosti ravinnepitoisuuksia (taulukko 8, vrt. Niskanen & Jaakkola 1985).

Arvioitaessa maaperätunnusten keskimääräisiä arvoja yksittäisillä kasvupaikoilla tai laajemmilla alueilla, voidaan nyt saatuja hajontatunnuksia käyttää apuna otantaa suunniteltaessa. Hankaluuksena on kuten otannassa yleensäkin monen muuttujan estimoinnin optimointi. Käytetyt osanäytelukumäärät: 16 humusnäytettä ja 4 kivennäismaanäytettä, ovat perusteltavissa tällaisessa viljavuustarkastelussa, sillä humuskerroksen tunnuksat, erityisesti typpi, tulivat estimoitua tarkimmin. Kivennäismaatunnuksat sisälsivät eniten epävarmuutta, mutta eivät toisaalta olleet hyviä viljavuusindikaattoreitakaan

(taulukko 5, vrt. Lipas 1985b).

Maaperätunnuksilla on selvästi merkitystä arvioitaessa metsäkasvupaikkojen viljavuutta, vaikkakaan ei ehkä samassa suhteessa kuin viljelysmailla. Toisaalta maaperätunnuksen suuri vaihtelu metsämailla suosii ominaisuuksiltaan toisistaan selvästi poikkeavien luokkien muodostamista. Maaperätunnuksen merkitystä on arvioitava myös muista kuin viljavuusnäkökohdista. Esimerkiksi puunkorjuussa, metsän uudistamisessa, metsänhoidossa, ojituksessa, lannoituksessa ja ympäristömuutosten arvioinnissa on maaperän tuntemuksesta hyötyä tai se on välttämätöntä. Pitäisi selvittää, mitkä maaperätunnuksat soveltuvat mihinkin tarpeeseen, sillä viljavuudenkin kannalta nyt mitatuista muuttujista tuntui osa olevan vähämerkityksisiä ja toisaalta dynaamisempia muuttujia tuntui puuttuvan.

Kirjallisuus — References

- Aaltonen, V.T. 1929. Über die Möglichkeit einer Bonitierung der Waldstandorte mit Hilfe von Bodenuntersuchungen. *Acta For. Fenn.* 34(28). 10 s.
- 1937. Über die bodenkundliche Bonitierung der Waldstandorte. *Selostus: Metsäkasvupaikkojen bonitoinnista maan ominaisuuksien perusteella.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 25(1). 90 s.
- 1941. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin tulosten valossa. Referat: Die finnischen Waldböden nach der Erhebung der zweiten Reichswaldschätzung. *Commun. Inst. For. Fenn.* 29(5). 62 s.
- Alban, D.H. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46(4): 853–860.
- Alexander, E.B. 1989. Bulk density equations for southern Alaska soils. *Can. J. Soil Sci.* 69: 177–180.
- Cajander, A.K. 1925. Metsätyyppiteoria. *Acta For. Fenn.* 29(2). 84 s.
- 1949. Forest types and their significance. *Acta For. Fenn.* 56(5). 71 s.
- Carmean, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy* 27: 209–269.
- Dahl, E., Selmer-Andersen, C. & Saether, R. 1961. Soil factors and the growth of Scots pine: A statistical reinterpretation of data presented by Viro (1955). *Soil Sci.* 92(6): 367–371.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1–122.
- Evers, F.H. 1967. Kohlenstoffbezogene Nährelementverhältnisse (C/N, C/P, C/K, C/Ca) zur Charakterisierung der Ernährungssituation in Waldböden. *Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde Forstpfl. Zücht.* 17: 69–76.
- Falck, J. 1973. En metod för bestämning av humuskkittets innehåll av växtnäringsämnen. *Rapp. Uppsats. Instn. Skogssköts. Skogshögsk.* 1. 129 s.
- Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454. 31 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121. 28 s.
- Heikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. *Acta For. Fenn.* 131. 35 s.
- Huntington, T.G., Johnson, C.E., Johnson, A.H., Siccamma, T.G. & Ryan, D.F. 1989. Carbon, organic matter, and bulk density relationships in a forested spodosol. *Soil Sci.* 148(5): 380–386.
- Hägglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts* 42. Review Article 11: 515–527.
- Ilvessalo, Y. 1933. Metsätyyppien esiintyminen eri maalajeilla. Summary: Occurrence of forest types on different soils. *Commun. Inst. For. Fenn.* 18(5). 36 s.
- 1960. Suomen metsät kartakkeiden valossa. Summary: The forests of Finland in the light of maps. Referat: Die Wälder Finnlands im Licht von Karten. *Commun. Inst. For. Fenn.* 52(2). 70 s. + 30 kartaketta.
- Koivisto, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. *Seloste: Metsän kasvun alueellisuus Suomessa.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 71(2). 76 s.
- Korpela, K. & Niemelä, O. 1985. *Maaperäkartat* 1:

- 20 000, 1:50 000. Resumé: Jordartskarta 1:20 000, 1:50 000. Summary: Quarternary Deposits Map 1: 20 000, 1:50 000. Maankäyttö 1985(2): 79–94.
- 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. Viljavuuspalvelu OY. Helsinki. 181 s.
- , Lakanen, E., Mäkitie, O., Sillanpää & Vuorinen, J. 1965. Viljavuusanalyysin tulosten ilmoitustapa ja tulkinta. Summary: Interpretation of soil testing results. *Ann. Agric. Fenn.* 4: 145–153.
- Kuusela, K. 1977. Suomen metsien kasvu ja puutavara-lajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970–1976. Summary: Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970–1976. *Folia For.* 320. 31 s.
- & Salminen, S. 1980. Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977–1979. Summary: Forest resources in the province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977–1979. *Folia For.* 446. 90 s.
- Kuusipalo, J. 1985. An ecological study of upland forest site classification in southern Finland. Seloste: Ekologinen tutkimus Etelä-Suomen kangasmetsien kasvupaikkaluokituksesta. *Acta For. Fenn.* 192. 77 s.
- Kähäri, J. & Nissinen, H. 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. I. Calcium, magnesium, phosphorus, potassium, cobalt, copper, iron, manganese, sodium and zinc. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20: 26–39.
- Lakanen, E. & Hyvärinen, S. 1971. The effect of some soil characteristics on the extractability of macronutrients. Seloste: Maaperän ominaisuuksien vaikutuksesta pääravinteiden uuttumiseen. *Ann. Agric. Fenn.* 10: 135–143.
- Landolt, W., Guecheva, M. & Bucher, J.B. 1989. The spatial distribution of different elements in and on the foliage of Norway spruce growing in Switzerland. *Environ. Pollut.* 56: 155–167.
- Lipas 1985a. Karujen kangasmaiden lannoitus. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 184: 35–43.
- 1985b. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitus-tarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia For.* 618. 16 s.
- Lundell, Y. 1987. Nutrient variation in forest soil samples due to time of sampling and method of storage. *Plant Soil* 98(3): 363–375.
- Lundmark, J.-E. 1974. Ståndortsegenskaperna som bonitetsindikatorer i bestånd med tall och gran. Summary: Use of site properties for assessing site index in stands of Scots pine and Norway spruce. Rapp. Uppsats. *Instn. Växtekol. o. Marklära Skogshösk.* 16. 298 s.
- Låg, J. 1980. Some reflections on the problems of soil rating. *Ann. Agric. Fenn.* 19: 65–70.
- Makkonen, K. 1985. Metsämaan kasvukautinen ravinteisuuden vaihtelu. Erikoistyö. Joensuun yliopiston biologian laitos. 46 s.
- Melin, J. 1986. Omsättning och fördelning av gödselkväve i tre barrskogsekosystem i mellansverige. Summary: Turnover and distribution of fertilizer nitrogen in three coniferous ecosystem in central Sweden. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig marklära. Rapport 55.
- Mikola, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeen hajoamisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. *Commun. Inst. For. Fenn.* 43(1). 50 s.
- 1985. The effect of tree species on the biological properties of forest soil. *Naturvårdsverket. Rapport* 3017. 27 s.
- Mäkitie, O. 1958. Viljavuusanalyysin tarkkuudesta. Summary: On the accuracy of routine soil testing analysis. *J. Agric. Sci. Finl.* 30: 73–77.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84(5). 87 s.
- Niska, K. 1986. Kivennäismaan ravinnemäärien ilmailutapa. Summary: Expressing the nutrient concentrations of mineral soils. *Silva Fenn.* 20(2): 129–138.
- Niskanen, R. & Jaakkola, A. 1985. Comparison of analytical methods in testing soil fertility. *J. Agric. Sci. Finl.* 57: 183–194.
- & Mäntylähti, V. 1987. Determination of soil specific surface area by water vapor adsorption. II Dependence of soil specific surface area on clay and organic carbon content. *J. Agric. Sci. Finl.* 59: 67–72.
- Nykvist, N. & Skyllberg, U. 1989. The spatial variation of pH in the mor layer of some coniferous forest stands in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 4(1): 3–11.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittastiedoista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by Finnish Meteorological Office. *Silva Fenn.* 17(2): 143–160.
- Paasikallio, A. 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. II. Aluminium, boron, molybdenum, strontium, lead and nickel. *Acta Agr. Scand. Suppl.* 20: 40–52.
- Paavilainen, E. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämenmännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. *Commun. Inst. For. Fenn.* 61(1). 10 s.
- Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. Summary: Basic features of forest inventory by compartments. *Silva Fenn.* 17(4): 313–349.
- & Kujala, M. 1973. The effect of topography on the volume of forest growing stock. Seloste: Topografi-an vaikutus puuston kuutiomäärään. *Commun. Inst. For. Fenn.* 78(2). 29 s.
- Roiko-Jokela, P. 1980. Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of altitude on the forest yield in

- northern Finland. *Folia For.* 452. 21 s.
- Salminen, S. 1973. Tulosten luotettavuus ja karttatulos-
 tus valtakunnan metsien V inventoinnissa. Summary:
 Reliability of the results from the fifth national
 forest inventory and a presentation of an output-
 mapping technique. *Commun. Inst. For. Fenn.* 78(6):
 64 s.
- 1981. Vuosien 1971–75 valtakunnallisia metsävara-
 tietoja karttamuodossa. Summary: A cartographic
 presentation of forest resources in Finland 1971–75.
Folia For. 483. 42 s.
- Sepponen, P. 1981. Kivennäismaan raekoon tunnuksista
 ja niiden käyttökelpoisuudesta eräiden maan omi-
 naisuuksien kuvaamiseen. Summary: Particle size
 distribution characteristics of mineral soil and their
 applicability for describing some soil properties. *Silva
 Fenn.* 15(2): 228–238.
- 1985. The ecological classification of sorted forest
 soils of varying genesis in northern Finland. Seloste:
 Syntyavaltaan erilaisten lajittuneiden kangasmetsä-
 maiden ekologinen luokittelu Pohjois-Suomessa.
Commun. Inst. For. Fenn. 129. 77 s.
- , Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. Metsäkasvilli-
 suuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien väli-
 sestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relation-
 ship between the forest vegetation and the soil phy-
 sical properties in Finnish Lapland. *Folia For.* 402.
 31 s.
- Seppälä, M. 1971. Evolution of eolian relief of the Kaa-
 masjoki–Kiellajoki river basin in Finnish Lapland.
Fennia 104. 88 s. + 2 karttaa.
- Sippola, J. & Tares, T. 1978. The soluble content of
 mineral elements in cultivated Finnish soils. *Acta
 Agr. Scand. Suppl.* 20: 11–25.
- Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw
 humus sites in northern Finland and its ecology.
 Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankai-
 den kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta.
Acta For. Fenn. 62(4). 408 s.
- Snyder, K.E. & Harter, R.D. 1985. Changes in solum
 chemistry following clearcutting of northern hard-
 wood stands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(1): 223–228.
- Stage, A.R. 1976. An expression for the effect of aspect,
 slope and habitat type on tree growth. *For. Sci.*
 22(4): 457–460.
- Tamm, O. 1931. Studier över jordmänstyper och deras
 förhållande till markens hydrologi i nordsvenska
 skogsterränger. *Medd. Statens Skogsförsöksanstalt*
 26: 163–408.
- Troedsson, T. 1966. Skoglig markartering som grund
 för bedömning av bördigheten. *Svensk Lantmäteri-
 tidskrift* 58(1): 60–71.
- & Tamm, C.O. 1969. Small-scale spatial variation
 in forest soil properties and its implications for samp-
 ling procedures. Sammanfattning: Variabiliteten i
 några av skogsmarkens egenskaper inom små ytor
 och dess betydelse för markprovtagningstekniken.
Stud. For. Suec. 74. 30 s.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määrätymi-
 nen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien
 perusteella. Abstract: Influence of the soil type
 and the chemical properties of soil on the determi-
 ning of the forest type. *J. Agric. Sci. Finl.* 46: 307–
 319.
- Valmari, J. 1921. Beiträge zur chemischen Bodenanaly-
 se. *Acta For. Fenn.* 20(4). 67 s.
- Valmari, A. 1957. Soiden boniteetin ja jyväluvun väli-
 sestä suhteesta. *Suo* 1957(2): 9–15.
- Viro, P. 1947. Metsämaan raekoostumus ja viljavuus
 varsinkin maan kivisyyttä silmällä pitäen. Summary:
 The mechanical composition and fertility of
 forest soil taking into consideration especially the
 stoniness of the soil. *Commun. Inst. For. Fenn.* 35(2):
 115 s.
- 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I.
 Pine stands. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja
 viljavuus. I. Männiköt. *Commun. Inst. For. Fenn.*
 39(4). 54 s.
- 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On
 the determination of stoniness. *Commun. Inst. For.
 Fenn.* 40(3). 23 s.
- 1955. Investigations on forest litter. Seloste: Metsä-
 kariketutkimuksia. *Commun. Inst. For. Fenn.* 45(6):
 65 s.
- 1958. Suomen metsämaiden kivisyydestä. Summa-
 ry: Stoniness of forest soil in Finland. *Commun.
 Inst. For. Fenn.* 49(4). 45 s.
- 1961. Evaluation of site fertility. *Unasylva* 15(2): 2–
 8.
- 1962. Forest site evaluation in Lapland. *Commun.
 Inst. For. Fenn.* 55(9). 14 s.
- 1963. Factorial experiments on forest humus de-
 composition. *Soil Sci.* 95(1): 24–30.
- 1969. Prescribed burning in forestry. *Commun. Inst.
 For. Fenn.* 67(7). 49 s.
- Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation
 to the site type and potential stand growth. Seloste:
 Pintaturpeen viljavuustunnuksien suhteessa kasvu-
 paikkatyypin ja puuston kasvupotentiaaliin. *Acta
 For. Fenn.* 172. 77 s.
- 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia
 ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineen
 määrään. Summary: Physical and physico-chemical
 properties of forest tree nursery soils and their relation
 to organic matter content. *Acta For. Fenn.* 184.
 34 s.
- 1990. Metsämaan fysikaaliset ja fysikaalis-kemialli-
 set ominaisuudet CT-OMaT kasvupaikkasarjassa.
 Summary: Soil physical and physico-chemical prop-
 erties of Finnish upland forest sites. *Silva Fenn.*
 24(1): 141–158.
- , Starr, M.R. & Laine, J. 1985. A comparison of
 gravimetric and volumetric soil properties in peat-
 land and upland sites. Seloste: Gravimetrisesti ja
 volumetrisesti ilmaistujen maan ominaisuuksien vuo-
 rosuhteita turve- ja kangasmailla. *Silva Fenn.* 19(1):
 73–80.
- Wytenbach, A., Bajo, S., Tobler, L. & Keller Th. 1985.
 Major and trace element concentrations in needles
 of *Picea abies*: levels, distribution functions, corre-
 lations and environmental influences. *Plant Soil*
 85(3): 313–325.

Total of 80 references

Summary

Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland

Introduction

In forestry, the term site fertility is defined as the capacity of a site to produce tree stem biomass. The term soil fertility refers to the productivity of a soil, independent of climate.

Tree growth in Finland is mainly restricted by low temperatures and a short growing season, but poor drainage or a shortage of plant available nitrogen are also often limiting. Stand productivity has been observed to correlate with various soil properties, including organic matter, fine earth fraction, and nitrogen and calcium contents. The use of soil properties to estimate site productivity is, however, often hindered by the high degree of variation and skewed distributions shown by most soil properties, and by the degree of intercorrelation between soil and site properties.

The aims of the research were: to evaluate ways in which to express soil nutrient status in relation to site fertility, to describe the variation in soil properties and to identify any regional differences in soil fertility in southern Finland, and, finally, to provide some basic data on the fertility of forested mineral soils.

Material and methods

Soil samples were taken during 1980–85 at 1248 sample plots (16×16 m) located in southern Finland (Fig. 1). Volumetric subsamples (16) were taken from the humus layer with a cylinder ($d = 58$ mm) and non-volumetric subsamples (4) from the surface soil (0–30) with a spade. pH (in water), total nitrogen and acid ammonium acetate (pH 4.65) extractable P, K, Ca and Mg were determined from a composited humus layer sample and from a composited surface (0–30 cm) soil sample from each plot. Total concentrations of P, K, Ca and Mg in the humus samples were also determined. Texture was determined from the surface (0–30 cm) and subsoil (65–75 cm) samples.

Within-plot variation in soil properties was studied at five of the sample plots by determining nutrient concentrations for 49 humus and 9 surface soil samples per plot

individually. Tree stand characteristics were measured from a relascope sample plot. Site index (H_{100}) was determined only in the case of the older conifer stands.

Results

Mineral soil characteristics showed more variation than humus layer characteristics (Tables 2–4). The largest increases in variation tended to occur already within the plot, although for some properties, e.g. mineral soil calcium, variation strongly increased as the study area size increased (Fig. 2). Data from the five plots in which the samples were taken and analysed individually indicated that soil parameter values contained appreciable sampling error ($d = cv/\sqrt{n}$); being 7–10 % for nutrients in the humus layer and 17–25 % for nutrients in the mineral soil.

Correlations between site index and different nutrient expressions were used to determine the most useful way to express soil nutrient concentrations (Table 5). Nutrient contents of the humus layer, especially in the case of nitrogen, were best correlated with site index when expressed on an organic matter basis. For the mineral soil, nitrogen concentration on an organic matter basis, and calcium and magnesium amounts per hectare had the highest correlations with site index. The nutrient concentrations of the humus layer and the nitrogen concentration of the mineral soil are therefore mainly expressed per unit mass of organic matter content, and the extractable nutrient concentrations of the mineral soil expressed volumetrically, i.e. mg/l <2 mm air-dry soil — as is the practice in agricultural soil testing.

The dependence of nutrient concentrations on soil physical properties was weak, especially in the case of extractable phosphorus. The unpredictable behaviour of extractable phosphorus was also indicated when the extractable phosphorus concentrations were expressed as a proportion of total concentrations (Tables 9–10).

The relationships between soil characteristics and site and stand variables were also studied. The effective temperature sum correlated positively with nitrogen and calcium concentrations and weakly negatively with mag-

nesium concentration (Table 11). Differences in soil parameters between various topographic positions were not very clear. Level sites and lower slopes had the highest amount of organic matter and also the highest nitrogen contents. Hill tops and upper slopes had more stones, coarser texture and more phosphorus than lower positions (Table 12). The stage of development of the coniferous stands correlated best with humus layer nitrogen but was also well correlated with humus layer calcium and magnesium. Nutrient status was best under young stands (Tables 11 and 13). The effect of dominant tree species on soil nutrient status was quite low. However, stands with broadleaved species had, on average, higher pH and higher nitrogen, calcium and magnesium concentrations in the humus layer (Table 14).

The Cajanderian forest site type was found to be strongly correlated with many soil parameters also in this material, especially nitrogen, calcium and magnesium (Tables 15 and 16). Classification of site types with the help of discriminant analysis was not very successful, with only 66 % of sample plots being correctly classified (Table 17).

There were clear differences between the study areas as to their site fertility. Differences were found both in the distribution of site types and in nutrient status (Tab-

les 18–21). Site fertility appeared to decrease to the north. In this material, site type appeared to have only relative value in terms of describing nutrient concentrations, especially that of nitrogen (Table 21, Fig. 3).

Discussion

Although one purpose of this study was to describe the average level of some basic indicators of soil fertility in southern Finland (see Appendices), the shortcomings of this material must not be ignored. Soil characteristics were found to be highly variable. In addition to a spatial component, variation in nutrient concentrations, for example, may also contain an appreciable amount of variation due to varying sampling times and differences during the handling and analysis of the samples. The values of soil fertility characteristics in many cases should therefore be considered as only indicating the order of magnitude.

There are many obstacles in the way of estimating site fertility with help of soil characteristics. In Finnish conditions, the humus layer, in general, appears to be more reliable than mineral soil in estimating site fertility.

Liite 1. Maaperämuuttujien keskinäiset korrelaatiot.

Appendix 1. Correlation coefficients of soil parameters.

Humpak	1	-																	
Sa	2	-0,01	-																
<0,06	3	-0,03	0,72	-															
d ₅₀	4	-0,03	-0,63	-0,86	-														
Sort	5	-0,11	0,09	0,08	0,23	-													
P _{uk}	6	-0,19	-0,15	-0,17	0,21	0,12	-												
Ca _{uk}	7	-0,32	0,33	0,30	-0,15	0,27	0,01	-											
K _{uk}	8	-0,13	0,33	0,23	-0,06	0,32	0,14	0,57	-										
Mg _{uk}	9	-0,13	0,53	0,42	-0,27	0,24	-0,09	0,80	0,63	-									
N _{tk}	10	-0,11	0,13	0,27	-0,23	0,04	-0,19	0,29	0,09	0,29	-								
pH _k	11	-0,23	0,08	0,03	-0,07	-0,12	0,01	0,07	-0,04	-0,11	-0,22	-							
oa _k	12	-0,02	0,10	0,19	-0,05	0,26	0,05	0,32	0,50	0,35	0,15	-0,27	-						
P _{th}	13	-0,39	0,20	0,25	-0,17	0,13	0,20	0,47	0,29	0,38	0,31	0,13	0,12	-					
Ca _{th}	14	-0,42	0,19	0,23	-0,16	0,12	-0,07	0,67	0,36	0,50	0,29	0,12	0,14	0,62	-				
K _{th}	15	-0,39	0,23	0,15	-0,05	0,18	0,13	0,44	0,37	0,42	0,13	0,13	0,09	0,70	0,52	-			
Mg _{th}	16	-0,43	0,27	0,25	-0,21	0,08	-0,02	0,58	0,41	0,56	0,30	0,14	0,17	0,75	0,74	0,77			
N _{th}	17	-0,29	0,18	0,27	-0,20	0,13	-0,19	0,47	0,29	0,42	0,52	-0,16	0,26	0,55	0,57	0,36			
P _{uh}	18	-0,23	-0,04	-0,05	0,01	-0,04	0,25	0,01	-0,06	-0,01	-0,06	0,05	-0,17	0,08	0,15	0,11			
Ca _{uh}	19	-0,46	0,19	0,23	-0,16	0,10	-0,08	0,66	0,37	0,49	0,28	0,16	0,11	0,61	0,96	0,51			
K _{uh}	20	-0,27	0,17	0,13	-0,07	0,11	0,13	0,28	0,28	0,31	0,06	0,09	0,05	0,45	0,35	0,69			
Mg _{uh}	21	-0,27	0,27	0,27	-0,27	0,01	-0,18	0,56	0,34	0,60	0,35	0,06	0,16	0,59	0,73	0,52			
pH _h	22	-0,42	0,21	0,26	-0,18	0,11	-0,10	0,59	0,37	0,45	0,31	0,17	0,11	0,67	0,82	0,56			
oa _h	23	0,44	0,03	-0,06	0,04	-0,02	-0,05	-0,35	-0,16	-0,17	-0,22	-0,24	0,06	-0,66	-0,54	-0,60			
Kivis	24	-0,15	-0,19	-0,24	0,40	0,34	0,25	0,21	0,28	0,19	-0,09	-0,03	0,30	0,07	0,06	0,12			
Hienot	25	0,03	0,64	0,89	-0,82	-0,09	-0,24	0,16	0,03	0,24	0,25	0,09	-0,08	0,17	0,16	0,07			
Kivorg	26	0,11	0,24	0,44	-0,51	-0,20	-0,21	0,10	0,14	0,12	0,28	-0,20	0,50	-0,09	0,11	-0,03			
Humorg	27	0,91	-0,04	-0,03	-0,04	-0,12	-0,18	-0,28	-0,14	-0,14	-0,07	-0,30	0,04	-0,41	-0,39	-0,47			
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27						
Mg _{th}	16	-																	
N _{th}	17	0,57	-																
P _{uh}	18	-0,04	-0,11	-															
Ca _{uh}	19	0,73	0,58	0,15	-														
K _{uh}	20	0,40	0,22	0,38	0,38	-													
Mg _{uh}	21	0,79	0,56	0,14	0,74	0,42	-												
pH _h	22	0,73	0,60	0,03	0,86	0,43	0,72	-											
oa _h	23	0,74	-0,42	0,08	-0,57	-0,25	-0,45	-0,55	-										
Kivis	24	0,03	-0,10	0,18	0,06	0,17	0,08	0,04	0,09	-									
Hienot	25	0,17	0,22	-0,10	0,16	0,03	0,17	0,19	-0,09	-0,59	-								
Kivorg	26	0,16	0,33	-0,26	0,10	-0,09	0,14	0,11	-0,06	-0,56	0,51	-							
Humorg	27	-0,43	-0,23	-0,23	-0,45	-0,36	-0,25	-0,45	0,43	-0,16	0,03	0,17	-						

Liite 21. Humuskerroksen fysikaaliset ominaisuudet metsätyypeittäin ja puulajeittain.
Appendix 21. Humus layer physical characteristics by site type and tree species.

Luokka - Category	Paksuus - Thickness mm	Orgaanista ainetta - Organic matter %	t/ha	Kuiva-tuore tiheys - Bulk density kg/dm ³	Koealoja - No. of sample plots	
Lehto-Grove						
Mänty- Pine	x R	17 1-30	62 34-82	16,0 0,5-34	0,136 0,11-0,16	5
Kuusi- Spruce	x R	13 2-28	69 39-83	14,2 2,7-34	0,172 0,11-0,29	22
Lehtipuu- Deciduous	x R	14 1-25	56 26-71	13,6 1,6-24	0,228 0,11-0,43	12
OMT						
Puuton- Treeles	x R	21 7-34	72 39-83	20,6 8,8-33	0,148 0,07-0,21	8
Mänty- Pine	x R	18 6-39	63 29-93	21,1 5,3-53	0,201 0,12-0,64	48
Kuusi- Spruce	x R	25 5-78	72 32-90	24,5 6,5-73	0,145 0,08-0,31	188
Lehtipuu- Deciduous	x R	23 5-40	63 27-86	24,0 4,4-42	0,199 0,09-0,56	19
MT						
Puuton- Treeles	x R	20 8-29	67 45-82	21,2 7,4-31	0,170 0,10-0,28	14
Mänty- Pine	x R	28 8-85	74 27-93	27,5 9,3-97	0,143 0,06-0,43	266
Kuusi- Spruce	x R	34 11-102	79 44-95	32,2 12-121	0,125 0,06-0,26	348
Lehtipuu- Deciduous	x R	31 11-53	69 57-85	30,7 12-50	0,149 0,10-0,20	13
VT						
Puuton- Treeles	x R	26 16-38	76 51-88	25,6 16-31	0,140 0,09-0,20	5
Mänty- Pine	x R	28 9-85	77 34-93	27,9 12-91	0,137 0,08-0,31	236
Kuusi- Spruce	x R	31 18-55	78 62-90	26,1 15-41	0,112 0,08-0,18	16
Lehtipuu- Deciduous	x R	23 23	74 74	18,5 18,5	0,108 0,108	1
CT						
Mänty- Pine	x R	25 4-45	76 16-90	24,4 3,1-40	0,141 0,06-0,47	47
					1 248	

x = Keskiarvo - Mean

Liite 22. Humuskerroksen kokonaisravinnepitoisuudet orgaanisesta aineesta metsätyypeittäin ja puulajeittain.

Appendix 22. Humus layer total nutrient concentrations on an organic matter basis by site type and tree species.

		N _t	P _t	K _t g/kg oa	Ca _t	Mg _t
Lehto-Grove						
Mänty-	x	23	2,0	2,7	9,8	3,8
Pine	R	19-29	1,1-3,0	1,0-5,1	5,3-15,4	1,1-7,4
Kuusi-	x	26	1,6	1,9	9,8	3,0
Spruce	R	23-32	1,3-2,1	0,8-4,2	3,0-16,2	0,9-9,3
Lehtipuu-	x	25	2,1	2,5	10,9	4,4
Deciduous	R	22-29	1,7-2,6	1,2-4,1	8,5-13,9	1,6-7,1
OMT						
Puuton-	x	27	1,7	1,7	11,9	2,1
Treeless	R	22-33	1,1-2,8	1,1-2,5	5,9-20,9	1,1-3,9
Mänty-	x	21	1,6	1,5	7,5	1,9
Pine	R	15-32	1,0-2,5	0,8-3,3	4,3-14,5	0,6-6,0
Kuusi-	x	22	1,5	1,5	8,0	1,7
Spruce	R	14-32	0,9-3,3	0,7-5,9	2,9-19,6	0,4-11,9
Lehtipuu-	x	26	1,8	1,6	8,9	2,0
Deciduous	R	7-34	1,2-3,4	0,8-4,7	3,5-27,5	0,9-10,0
MT						
Puuton-	x	20	1,5	1,6	8,2	1,7
Treeless	R	15-28	1,0-2,1	0,8-2,8	5,2-11,0	0,7-4,8
Mänty-	x	17	1,3	1,3	5,7	1,0
Pine	R	11-27	0,8-2,9	0,7-3,2	2,0-15,8	0,3-6,2
Kuusi-	x	18	1,3	1,3	5,5	0,8
Spruce	R	11-38	0,7-3,1	0,7-3,5	1,8-14,8	0,3-4,0
Lehtipuu-	x	22	1,4	1,4	7,5	1,5
Deciduous	R	18-29	1,0-1,9	1,0-2,1	4,0-10,6	0,6-2,6
VT						
Puuton-	x	15	1,2	1,1	5,5	0,8
Treeless	R	13-16	1,0-1,6	0,8-1,5	4,2-7,6	0,6-1,1
Mänty-	x	15	1,2	1,2	4,9	0,8
Pine	R	10-22	0,8-2,7	0,5-4,1	2,3-34,2	0,3-5,9
Kuusi-	x	14	1,3	1,4	4,7	0,9
Spruce	R	10-20	0,9-2,1	0,9-2,4	2,9-10,1	0,5-3,0
Lehtipuu-	x	19	1,3	0,9	7,1	0,7
Deciduous	R	19	1,3	0,9	7,1	0,7
CT						
Mänty-	x	13,7	1,04	1,3	3,4	0,9
Pine	R	7,8-20	0,71-2,2	0,7-7,7	1,9-8,4	0,3-13,6

x = Keskiarvo - Mean

Liite 23. Humuskerroksen uuttuvat ravinnepitoisuudet orgaanisesta aineesta ja pH metsätyypeittäin ja puulajeittain.

Appendix 23. Humus layer extractable nutrient concentrations on an organic matter basis and pH by site type and tree species.

		P _u	K _u	Ca _u g/kg oa	Mg _u	pH
Lehto-Grove						
Mänty-	x	0,30	1,4	6,5	0,94	4,56
Pine	R	0,21-0,47	0,8-2,5	4,0-11,4	0,62-1,4	4,2-5,0
Kuusi	x	0,26	1,2	7,2	0,94	4,55
Spruce	R	0,13-0,42	0,6-1,9	2,1-12,3	0,48-2,2	3,8-5,7
Lehtipuu-	x	0,32	1,5	7,7	1,45	4,79
Deciduous	R	0,07-0,42	0,8-2,0	4,6-10,4	0,62-2,1	4,2-5,2
OMT						
Puuton-	x	0,36	1,5	9,1	0,95	4,81
Treeless	R	0,19-0,43	1,0-2,0	4,7-17,0	0,43-1,5	4,2-5,7
Mänty-	x	0,27	1,1	5,2	0,67	4,31
Pine	R	0,10-0,54	0,7-1,7	2,6-10,8	0,37-1,3	3,8-5,4
Kuusi-	x	0,28	1,2	5,5	0,65	4,30
Spruce	R	0,03-0,70	0,7-2,3	2,3-14,1	0,31-1,7	3,6-5,4
Lehtipuu-	x	0,26	1,1	6,2	0,82	4,48
Deciduous	R	0,07-0,54	0,8-2,4	1,7-20,5	0,39-1,6	4,0-5,6
MT						
Puuton-	x	0,32	1,2	6,0	0,65	4,41
Treeless	R	0,19-0,80	0,7-2,0	3,9-8,5	0,44-0,92	4,1-4,7
Mänty-	x	0,29	1,1	4,1	0,50	4,05
Pine	R	0,04-0,70	0,5-1,8	1,3-12,6	0,24-1,3	3,3-5,3
Kuusi-	x	0,30	1,2	3,7	0,47	3,96
Spruce	R	0,04-0,94	0,6-1,8	1,0-10,7	0,21-1,3	3,3-5,1
Lehtipuu-	x	0,35	1,2	5,1	0,83	4,34
Deciduous	R	0,11-0,75	0,9-1,6	2,8-7,8	0,45-1,2	3,9-4,7
VT						
Puuton-	x	0,29	0,9	4,1	0,52	4,06
Treeless	R	0,21-0,43	0,4-1,5	2,8-5,6	0,40-0,62	3,8-4,5
Mänty-	x	0,27	1,0	3,4	0,40	3,86
Pine	R	0,08-0,63	0,3-1,6	1,4-23,8	0,19-1,1	3,4-6,2
Kuusi-	x	0,31	1,2	3,1	0,44	3,89
Spruce	R	0,07-0,57	0,6-1,5	2,0-6,9	0,25-0,77	3,6-4,6
Lehtipuu-	x	0,29	0,9	5,6	0,41	4,18
Deciduous	R	0,29	0,9	5,6	0,41	4,18
CT						
Mänty-	x	0,26	1,0	2,4	0,32	3,69
Pine	R	0,07-0,55	0,4-1,5	1,4-8,0	0,22-0,58	3,4-4,5

x = Keskiarvo - Mean

Liite 24. Humuskerroksen kokonaisravinnepitoisuudet kuiva-aineesta
metsätyypeittäin ja puulajeittain.
Appendix 24. Humus layer total nutrient concentrations on a dry matter
basis by site type and tree species.

		N _t	P _t	K _t g/kg ka	Ca _t	Mg _t
Lehto-Grove						
Mänty-	x	14	1,12	1,45	5,7	2,06
Pine	R	8,6-20	0,94-1,7	0,84-2,4	3,4-8,7	0,72-4,0
Kuusi-	x	18	1,09	1,20	6,6	1,84
Spruce	R	12-23	0,81-1,3	0,63-1,7	2,2-12	0,73-3,9
Lehtipuu-	x	14	1,13	1,39	6,1	2,32
Deciduous	R	6,5-20	0,68-1,5	0,76-2,7	2,7-9,9	1,1-4,7
OMT						
Puuton-	x	19	1,17	1,19	8,1	1,39
Treeless	R	9,0-24	0,88-1,5	0,88-1,8	4,9-11	0,89-2,43
Mänty-	x	13	0,99	0,89	4,6	1,07
Pine	R	5,7-26	0,60-1,3	0,53-1,4	2,3-8,6	0,50-2,64
Kuusi-	x	15	1,04	1,06	5,6	1,07
Spruce	R	6,0-28	0,66-2,6	0,50-2,4	1,9-16	0,36-4,3
Lehtipuu-	x	16	1,11	0,95	5,5	1,08
Deciduous	R	5,5-27	0,64-2,2	0,59-2,2	1,9-16	0,57-2,7
MT						
Puuton-	x	13	0,98	1,00	5,4	1,07
Treeless	R	8,3-17	0,75-1,2	0,63-1,3	3,5-6,7	0,47-2,2
Mänty-	x	13	0,96	0,92	4,0	0,69
Pine	R	5,4-19	0,55-1,9	0,51-1,9	1,7-9,5	0,28-2,7
Kuusi-	x	14	0,97	0,99	4,2	0,62
Spruce	R	7,7-30	0,48-1,9	0,54-1,8	1,1-11	0,25-2,3
Lehtipuu-	x	15	0,98	0,95	5,2	0,98
Deciduous	R	11-19	0,67-1,2	0,68-1,3	3,2-8,0	0,48-1,6
VT						
Puuton-	x	11	0,87	0,80	4,1	0,55
Treeless	R	7,6-13	0,67-1,1	0,50-0,96	2,2-5,0	0,42-0,72
Mänty-	x	12	0,88	0,87	3,7	0,56
Pine	R	6,2-17	0,54-1,6	0,44-1,6	1,8-16	0,26-2,3
Kuusi-	x	1,1	1,00	1,05	3,6	0,64
Spruce	R	8,0-16	0,67-1,3	0,70-1,5	2,4-6,2	0,40-1,9
Lehtipuu-	x	14	0,95	0,68	5,3	0,49
Deciduous	R	14	0,95	0,68	5,3	0,49
CT						
Mänty-	x	10	0,76	0,85	2,6	0,49
Pine	R	3,4-15	0,37-1,1	0,58-1,3	0,7-4,5	0,26-2,3

x = Keskiarvo - Mean

Liite 25. Humuskerroksen uuttuvat ravinnepitoisuudet kuiva-aineesta metsätyypeittäin ja puulajeittain.

Appendix 25. Humus layer extractable nutrient concentrations on a dry matter basis by site type and tree species.

		P _u	K _u g/kg	Ca _u ka	Mg _u
Lehto-Grove					
Mänty-	x	0,18	0,78	3,7	0,55
Pine	R	0,15-0,20	0,55-0,97	2,5-5,9	0,39-0,80
Kuusi-	x	0,18	0,82	4,8	0,62
Spruce	R	0,05-0,34	0,49-1,3	1,6-8,1	0,36-1,2
Lehtipuu-	x	0,20	0,87	4,3	0,82
Deciduous	R	0,02-0,29	0,30-1,3	1,9-7,1	0,32-1,5
OMT					
Puuton-	x	0,25	1,05	6,1	0,67
Treeless	R	0,16-0,33	0,72-1,4	3,8-8,0	0,32-1,0
Mänty-	x	0,17	0,66	3,2	0,41
Pine	R	0,03-0,39	0,31-1,1	1,6-5,7	0,21-0,6
Kuusi-	x	0,20	0,85	3,8	0,46
Spruce	R	0,02-0,52	0,32-1,5	1,8-9,7	0,20-1,1
Lehtipuu-	x	0,17	0,73	3,8	0,53
Deciduous	R	0,04-0,41	0,22-1,9	1,3-12	0,14-1,2
MT					
Puuton-	x	0,22	0,80	4,0	0,43
Treeless	R	0,09-0,58	0,51-1,3	2,7-5,3	0,30-0,59
Mänty-	x	0,21	0,80	2,9	0,36
Pine	R	0,03-0,62	0,30-1,4	1,0-7,2	0,16-0,80
Kuusi-	x	0,23	0,90	2,9	0,36
Spruce	R	0,03-0,64	0,47-1,5	0,6-6,6	0,18-0,83
Lehtipuu-	x	0,24	0,86	3,5	0,57
Deciduous	R	0,08-0,53	0,54-1,2	2,2-5,3	0,36-0,88
VT					
Puuton-	x	0,22	0,73	3,0	0,39
Treeless	R	0,14-0,38	0,21-0,96	2,1-3,7	0,32-0,47
Mänty-	x	0,21	0,75	2,5	0,31
Pine	R	0,05-0,50	0,19-1,3	1,2-11	0,15-0,55
Kuusi-	x	0,24	0,92	2,4	0,34
Spruce	R	0,06-0,49	0,44-1,2	1,6-4,3	0,18-0,47
Lehtipuu-	x	0,21	0,68	4,2	0,31
Deciduous	R	0,21	0,68	4,2	0,31
CT					
Mänty-	x	0,20	0,76	1,8	0,25
Pine	R	0,02-0,46	0,18-1,2	0,5-3,1	0,07-0,45

x = Keskiarvo – Mean

Liite 26. Humuskerroksen kokonaisravinnemäärät metsätyypeittäin ja puulajeittain.
Appendix 26. Total nutrient amounts for the humus layer by site type and tree species.

		N _t	P _t	K _t kg/ha	Ca _t	Mg _t
Lehto-Grove						
Mänty-	x	360	23	25	127	32
Pine	R	13-700	2-39	3-35	8-240	4-61
Kuusi-	x	260	16	17	90	27
Spruce	R	0-830	0-46	0-52	0-280	0-110
Lehtipuu-	x	170	14	15	67	26
Deciduous	R	0-710	0-52	0-48	0-200	0-95
OMT						
Puuton-	x	540	35	34	246	43
Treeless	R	260-810	12-80	11-64	84-590	12-110
Mänty-	x	450	32	29	149	35
Pine	R	0-1520	0-72	0-75	0-370	0-130
Kuusi-	x	510	34	34	179	33
Spruce	R	0-1810	0-110	0-87	0-540	0-120
Lehtipuu-	x	490	33	30	171	43
Deciduous	R	0-1440	0-120	0-170	0-880	0-360
MT						
Puuton-	x	420	30	31	170	32
Treeless	R	210-750	16-44	13-51	70-310	13-62
Mänty-	x	470	35	33	146	25
Pine	R	170-1880	14-150	11-87	47-390	6-150
Kuusi-	x	570	39	40	169	25
Spruce	R	220-2430	15-280	16-130	52-530	8-120
Lehtipuu-	x	680	43	41	223	45
Deciduous	R	270-1250	24-70	26-75	101-330	15-100
VT						
Puuton-	x	370	29	27	140	19
Treeless	R	250-430	21-38	16-34	71-180	14-26
Mänty-	x	420	32	31	130	20
Pine	R	180-1700	14-180	12-86	45-450	6-86
Kuusi-	x	370	34	35	122	22
Spruce	R	220-590	17-61	21-62	59-260	10-79
Lehtipuu-	x	350	24	17	132	12
Deciduous	R	350	24	17	132	12
CT						
Mänty-	x	330	24	27	82	16
Pine	R	60-720	7-41	13-42	26-170	5-16

x = Keskiarvo – Mean

Liite 27. Humuskerroksen uuttuvat ravinnemäärät metsä-
tyypeittäin ja puulajeittain.
Appendix 27. Extractable nutrient amounts of the humus
layer by site type and tree species.

		P _u	K _u kg/ha	Ca _u	Mg _u
Lehto-Grove					
Mänty-	x	3,9	17	85	13
Pine	R	0,2-7,2	1-32	6-160	1-23
Kuusi-	x	2,4	12	65	9
Spruce	R	0-5,7	0-33	0-180	0-28
Lehtipuu-	x	2,2	9	46	9
Deciduous	R	0-9,7	0-30	0-120	0-23
OMT					
Puuton-	x	7,1	30	188	19
Treeless	R	3,1-12	11-52	62-480	7-36
Mänty-	x	5,5	21	103	14
Pine	R	0-11	0-39	0-240	0-37
Kuusi-	x	6,4	28	121	15
Spruce	R	0-33	0-73	0-320	0-53
Lehtipuu-	x	4,4	19	120	15
Deciduous	R	0-17	0-37	0-660	0-40
MT					
Puuton-	x	6,5	24	121	13
Treeless	R	1,5-13	8-48	57-200	6-21
Mänty-	x	7,5	29	103	13
Pine	R	2,0-32	11-84	35-250	3-67
Kuusi-	x	9,1	36	113	15
Spruce	R	1,3-29	16-110	35-330	4-81
Lehtipuu-	x	10,0	37	152	26
Deciduous	R	4,6-24	19-61	71-240	10-43
VT					
Puuton-	x	7,5	25	101	13
Treeless	R	4,5-14	7-34	69-130	10-16
Mänty-	x	7,4	27	88	11
Pine	R	1,3-24	7-80	32-320	3-38
Kuusi-	x	7,6	31	81	11
Spruce	R	3,0-18	13-47	39-180	7-20
Lehtipuu-	x	5,3	17	104	8
Deciduous	R	5,3	17	104	8
CT					
Mänty-	x	6,5	24	57	8
Pine	R	0,3-16	4-42	19-110	2-18

x = Keskiarvo – Mean

Liite 31. Kivennäismaan fysikaaliset ominaisuudet metsätyypeittäin ja puulajeittain.

Appendix 31. Mineral soil physical characteristics by site type and tree species.

	Saves- ¹⁾ Clay %	Hienot ¹⁾ %	d ₅₀ ¹⁾ µm	Orgaanista ainetta- Organic matter %	Kiviä- Stones t/ha	Tiheys- ²⁾ Density kg/dm ³
Lehto-Grove						
Mänty- Pine	x 6,1	34	95	3,7	103	15
Kuusi- Spruce	R 2,2-24	13-85	5-1310	2,4-5,3	57-160	0-31
Lehtipuu- Deciduous	x 4,4	40	102	6,6	142	26
	R 1,6-12	14-91	13-1210	3,6-12,3	38-280	0-67
	x 7,6	51	48	6,8	170	19
	R 1,5-43	17-100	3-351	3,3-11,2	62-360	0-53
						1,36
						1,2-1,5
						1,19
						1,0-1,5
						1,21
						1,0-1,5
OMT						
Puuton- Treeless	x 3,5	33	91	6,2	160	20
Mänty- Pine	R 0,7-25	12-100	5-269	3,7-11,3	113-190	3-34
Kuusi- Spruce	x 2,9	28	174	5,5	113	34
Lehtipuu- Deciduous	R 0-21	2-82	7-764	1,7-15,8	34-240	0-72
	x 3,7	34	135	5,5	116	31
	R 1,0-43	12-100	4-2520	2,2-12,9	33-320	0-78
	x 3,7	36	122	6,6	142	28
	R 0,6-17	19-66	17-439	3,0-12,4	76-350	0-58
						1,24
						1,0-1,4
						1,33
						1,0-1,7
						1,29
						1,0-1,6
						1,25
						1,1-1,5
MT						
Puuton- Treeless	x 2,5	29	228	5,8	99	41
Mänty- Pine	R 1,0-5	18-51	58-827	2,7-9,1	49-220	20-72
Kuusi- Spruce	x 2,3	27	229	4,8	98	34
Lehtipuu- Deciduous	R 0-15	3-93	11-2840	1,2-28,4	22-440	0-78
	x 2,6	26	227	5,1	100	35
	R 0-26	2-100	9-2560	1,0-25,3	24-480	0-72
	x 2,5	27	194	4,8	106	28
	R 0,8-11	7-49	64-1930	2,7-12,6	30-190	6-75
						1,32
						1,1-1,6
						1,36
						0,8-1,8
						1,34
						0,8-1,8
						1,34
						1,1-1,6
VT						
Puuton- Treeless	x 1,8	22	324	4,1	75	42
Mänty- Pine	R 0,9-2,6	15-48	68-672	1,8-8,6	27-200	25-58
Kuusi- Spruce	x 1,8	20	321	4,2	86	34
Lehtipuu- Deciduous	R 0-8,6	2-60	35-3650	1,4-15,9	25-200	0-72
	x 2,8	29	236	4,9	90	36
	R 1,4-21	11-75	11-1080	3,0-10,4	42-190	3-64
	x 3,2	21	404	6,4	80	58
	R 3,2	21	404	6,4	80	58
						1,45
						1,2-1,7
						1,42
						0,9-1,7
						1,34
						1,1-1,5
						1,35
						1,35
CT						
Mänty- Pine	x 1,3	10	452	3,0	74	25
	R 0-5,2	1-27	108-2030	1,0-9,3	22-150	0-75
						1,49
						1,2-1,7

1) Geometrinen keskiarvo - Geometric mean.

2) Alle 2mm:n näytteen laboratoriotiheys - Apparent bulk density of <2mm fraction.

x = Keskiarvo - Mean

Liite 32. Kivennäismaan kokonaistyyppipitoisuus orgaanisesta aineesta, volumetriset uuttuvien ravinteiden pitoisuudet ja pH metsätyypeittäin ja puulajeittain.

Appendix 32. Mineral soil total nitrogen concentration on an organic matter basis, volumetrically expressed extractable nutrient concentrations and pH by site type and tree species.

		N _t g/kg oa	P _u ¹⁾	K _u ¹⁾	Ca _u ¹⁾ mg/l	Mg _u ¹⁾	pH	n
Lehto-Grove								
Mänty-	x	24,0	2,7	40	469	123	4,74	5
Pine	R	19,2-32,7	1,6-4,5	26-62	160-1470	41-452	4,6-5,0	
Kuusi-	x	27,2	2,8	48	321	55	4,34	22
Spruce	R	20,6-37,0	1,8-5,9	20-117	122-943	25-215	3,8-4,7	
Lehtipuu-	x	27,2	2,9	65	392	78	4,46	12
Deciduous	R	22,5-36,6	1,1-4,5	23-281	128-1780	19-409	3,8-5,0	
OMT								
Puuton-	x	24,0	3,2	36	260	43	4,31	8
Treeless	R	16,1-30,7	1,5-8,3	6,8-60	180-327	19-152	4,0-4,6	
Mänty-	x	24,5	4,1	31	216	30	4,43	48
Pine	R	14,0-35,1	1,3-19,9	8,6-145	50-722	8,7-213	3,5-5,2	
Kuusi-	x	23,3	3,3	34	194	36	4,36	188
Spruce	R	10,6-35,9	0,6-39,3	3,3-260	44-2490	5,8-1200	3,6-5,3	
Lehtipuu-	x	25,4	3,1	38	259	36	4,43	19
Deciduous	R	20,2-30,3	1,1-15,4	14-96	55-1710	10-292	3,8-5,0	
MT								
Puuton-	x	18,0	5,8	42	166	24	4,32	14
Treeless	R	12,1-21,6	2,0-17,7	21-83	46-292	8,8-67	3,9-4,8	
Mänty-	x	20,2	5,2	27	116	16	4,52	266
Pine	R	12,0-30,5	0,7-40,0	6,7-98	28-781	5,1-146	3,7-5,3	
Kuusi-	x	20,8	4,0	28	99	18	4,33	348
Spruce	R	10,5-30,8	0,7-31,1	5,5-169	20-1170	4,6-285	3,8-5,0	
Lehtipuu-	x	23,4	3,0	27	126	24	4,46	13
Deciduous	R	18,2-30,3	1,2-20,1	13-106	32-351	7,2-129	4,2-5,5	
VT								
Puuton-	x	18,0	2,8	39	99	18	4,61	5
Treeless	R	17,3-18,9	1,0-10,8	22-79	45-276	11-31	4,3-4,8	
Mänty-	x	17,9	5,7	24	81	12	4,56	236
Pine	R	10,1-32,7	0,6-34,8	5,6-80	11-764	3,1-62	3,7-5,2	
Kuusi-	x	19,1	6,3	26	91	22	4,31	16
Spruce	R	15,1-23,8	0,8-19,5	7,2-60	40-599	7,8-272	3,8-4,7	
Lehtipuu-	x	15,8	12,6	34	213	23	4,38	1
Deciduous	R	15,8	12,6	34	213	23	4,38	
CT								
Mänty-	x	16,2	5,0	19	33	7,1		47
Pine	R	6,3-25,1	1,1-17,9	4,2-46	4,2-133	2,0-59		1248

1) Geometrinen keskiarvo - Geometric mean.

x = Keskiarvo - Mean

Liite 33. Kivennäismaan ravinnepitoisuudet ilma-kuivasta näytteestä metsätyypeittäin ja puulajeittain.
Appendix 33. Mineral soil nutrient concentrations on an air-dry matter basis by site type and tree species.

		N _t ¹⁾ g/kg ilmakuiva - air-dry	P _u ¹⁾ mg/kg	K _u ¹⁾ ilmakuivaa - air-dry	Ca _u ¹⁾	Mg _u ¹⁾
Lehto-Grove						
Mänty-	x	0,87	2,0	30	346	90
Pine	R	0,53-1,4	1,3-3,1	18-50	108-1170	29-362
Kuusi-	x	1,76	2,3	40	270	46
Spruce	R	0,81-3,4	1,3-6,1	16-93	102-963	22-180
Lehtipuu-	x	1,80	2,4	54	326	65
Deciduous	R	0,81-4,0	0,94-3,9	17-228	129-1560	13-359
OMT						
Puuton-	x	1,44	2,6	29	211	34
Treeless	R	0,59-3,4	1,3-6,5	5,6-59	139-315	15-133
Mänty-	x	1,31	3,1	24	163	22
Pine	R	0,27-4,5	0,84-13	5,4-113	40-592	6,1-176
Kuusi-	x	1,26	2,6	26	151	28
Spruce	R	0,44-3,8	0,43-27	2,6-185	32-1840	4,5-851
Lehtipuu-	x	1,65	2,5	30	207	29
Deciduous	R	0,71-2,9	1,1-13	9,5-89	48-1580	7,0-270
MT						
Puuton-	x	1,03	4,4	32	127	18
Treeless	R	0,50-1,7	1,8-13	15-75	32-246	6,1-61
Mänty-	x	0,96	3,8	20	86	12
Pine	R	0,20-3,8	0,45-34	4,6-77	17-640	3,4-118
Kuusi-	x	1,04	3,0	21	75	14
Spruce	R	0,24-5,3	0,52-26	3,6-220	13-1500	3,1-292
Lehtipuu-	x	1,10	2,2	21	95	18
Deciduous	R	0,49-2,4	0,87-18	11-93	20-256	4,5-101
VT						
Puuton-	x	0,73	2,0	27	69	12
Treeless	R	0,31-1,6	0,62-9,1	13-67	28-232	6,7-21
Mänty-	x	0,74	4,1	17	58	8,3
Pine	R	0,20-3,6	0,41-26	3,6-86	7,3-490	2,0-42
Kuusi-	x	0,91	4,8	19	68	16
Spruce	R	0,50-1,9	0,57-13	4,9-56	33-565	5,3-256
Lehtipuu-	x	1,00	9,3	25	157	17
Deciduous	R	1,00	9,3	25	157	17
CT						
Mänty-	x	0,46	3,4	13	22	4,7
Pine	R	0,10-1,4	0,77-12	2,6-39	2,5-101	1,2-45

1) Geometrinen keskiarvo - Geometric mean.

x = Keskiarvo - Mean

Liite 34. Kivennäismaan ravinnemäärät metsätyypeittäin ja puulajeittain.

Appendix 34. Amounts of nutrients in the mineral soil by site type and tree species.

		N _t	P _u	K _u kg/ha	Ca _u	Mg _u
Lehto-Grove						
Mänty-	x	2450	5,8	84	980	257
Pine	R	1300-5340	3,1-12	51-185	317-4370	80-1350
Kuusi-	x	3800	5,1	87	582	100
SpruceR		790-9870	2,5-10	20-218	218-2510	34-624
Lehtipuu-	x	4590	6,2	137	831	166
Deciduous	R	1440-9980	2,4-13	27-798	205-3990	26-918
OMT						
Puuton-	x	3770	7,0	76	554	91
Treeless	R	1970-5970	3,4-14	15-158	319-856	28-443
Mänty-	x	2720	6,6	50	340	47
Pine	R	760-6540	2,2-45	9,2-248	87-2150	13-640
Kuusi-	x	2670	5,7	56	320	59
Spruce	R	530-8330	0,7-38	4,9-777	60-7430	9,3-3580
Lehtipuu-	x	3590	5,6	66	453	63
Deciduous	R	1690-7140	2,0-19	25-171	138-3040	21-519
MT						
Puuton-	x	1770	7,8	55	219	32
Treeless	R	750-4710	2,5-28	21-112	69-415	13-83
Mänty-	x	1940	8,0	40	175	24
Pine	R	490-6180	1,4-46	12-176	25-1620	7,8-404
Kuusi-	x	2050	6,2	41	148	28
Spruce	R	540-10200	1,1-50	11-216	23-1300	6,9-461
Lehtipuu-	x	2450	5,2	46	212	41
Deciduous	R	870-4400	1,2-15	16-90	74-686	16-281
VT						
Puuton-	x	1350	4,1	51	128	23
Treeless	R	473-3700	0,9-21	20-157	42-546	10-44
Mänty-	x	1510	8,7	35	118	17
Pine	R	420-4180	1,1-48	7,2-125	12-1890	6,1-124
Kuusi-	x	1700	9,2	36	127	31
Spruce	R	770-4180	1,3-30	12-130	67-1310	11-593
Lehtipuu-	x	1260	11,8	32	199	22
Deciduous	R	1260	11,8	32	199	22
CT						
Mänty-	x	1160	8,9	33	56	12
Pine	R	340-2950	1,7-42	11-95	13-280	5,4-75

x = Keskiarvo - Mean

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) 1381

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

Joensuu 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 jalostuskoasema
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 tuhonaltiuteen tukkimiehentäille.
Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis*.
- No 772 Sirén, Matti (red.) 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.: Sekamallitekniikalla laadittujen runkokäyrämallien käyttö metsäninventoinnissa.
Using taper curve models based on mixed linear models in forest inventory.
- No 775 Oja, Seppo & Salonen, Tommi (toim.): Metsäntutkimuslaitoksen 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 erällä Alkkian metsitetyillä suopelloilla.
Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia.