

FOLIA FORESTALIA 618

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1985

ERKKI LIPAS

KASVUPAIKAN PUUNTUOTOSKYVYN JA LAN-
NOITUSTARPEEN ARVIOINTI MAAN OMINAI-
SUUKSIEN AVULLA

ASSESSMENT OF SITE PRODUCTIVITY AND
FERTILIZER REQUIREMENT BY MEANS OF
SOIL PROPERTIES



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	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 yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen 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 nine 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.

FOLIA FORESTALIA 618

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Erkki Lipas

KASVUPAIKAN PUUNTUOTOSKYVYN JA LANNOITUSTARPEEN ARVIOINTI MAAN OMINAISUUKSIEN AVULLA

Assessment of site productivity and fertilizer requirement by
means of soil properties

Approved on 30.5.1985

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	5
21. Koealat	5
22. Maatunnukset	5
23. Puustotunnukset	7
3. PITUUSBONITEETIN RIIPPUVUUS KASVUPAIKASTA	7
31. Regressiomalli	7
32. Mallin yksinkertaistaminen	8
4. LANNOITUSTARPEEN ARVIOINTI	10
41. Aineiston rajoittaminen	10
42. Maan typpi ja kalsium selittäjinä	11
43. Maa-analyysitulosten tulkinta	13
5. TULOSTEN TARKASTELU	13
KIRJALLISUUS — REFERENCES	14
SUMMARY	16

LIPAS, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia For.* 618: 1—16.

Puuntuotoskyvyn riippuvuutta kasvupaikan ominaisuuksista tutkittiin valikoivan regressioanalyysin avulla käyttäen aineistona lannoituskokeiden 0-ruutuja eri puolilta Suomea. Koelajoja oli kaikkiaan 70. Saadun mallin antamalla pohjalta tutkittiin sitten typpilannoituksella saatavan kasvunlisäyksen arviointimahdollisuuksia.

Kivennäismaan (0—30 cm) vaihtuva kalsium ja humuskerroksen orgaanisen aineksen typpipitoisuus osoittautuivat puuntuotoskyvyn vahvimiksi selittäjiksi. Ilmaston vaikutus otettiin huomioon lämpösunnan avulla. Muusta aineistosta erottautuivat merkitsevästi karkeat hiekkamaat sekä kanervatyypin kasvupaikat, joilla puuntuotoskykyä rajoittaa veden puute. Muita merkitseviä selittäjiä olivat humuskerroksen pH, vaihtuva kalium ja helppoliukoinen fosfori. Näiden tunnussten selityskyky oli kuitenkin selvästi pienempi kuin kalsiumin ja typen.

Lannoitusvaikutuksen selitysmallin tutkimiseksi oli käytettävissä 25 koetta Etelä- ja Keski-Suomessa. Myös tässä vaiheessa kivennäismaan kalsium ja humuskerroksen tyyppi olivat parhaita selittäjiä, kun selitettävänä oli ensimmäisen 5-vuotiskauden suhteellinen kasvunlisäys. Osoittautui, että tiettyä Ca-tasoa vastaa aina tietty typen optimitaso, jolla kasvunlisäys on suurin. Tulosten perusteella on esitetty piirros Ca- ja N-arvojen tulkinnan helpottamiseksi. Menetelmä soveltuu erityisesti niiden kohteiden tunnistamiseen, joissa odotettavissa oleva kasvunlisäys on pieni.

The dependence of the timber production capacity (site index, H_{100}) on soil properties was studied by means of stepwise regression analysis. The material was composed of the control plots of fertilizer experiments in various parts of Finland. The total number of plots was 70. Assessment of the growth response to nitrogen fertilization was then studied on the basis of the productivity model.

Exchangeable calcium in mineral soil (0—30 cm) and the nitrogen content of the organic matter in humus layer proved to correlate best with productivity. The effect of climatic variation in the material was taken into account by using temperature sum as a covariate. Coarse sandy soils and dry sites in general appeared to have significantly lower productivity than fresh sites. Exchangeable potassium, soluble phosphorus, and pH of the humus layer were also significantly correlated with productivity, although their contribution to the coefficient of determination was clearly smaller than that of Ca and N.

The material for assessing the fertilizer response was comprised of 25 experiments in Southern and Central Finland. Contents of mineral soil Ca and N in humus layer also correlated best with the growth reaction, expressed as the relative growth increase during the first 5-year period. For a certain level of calcium, there was always an optimum content of humus nitrogen at which the growth increase reached its maximum. A graph for interpretation of Ca and N values is given. The model is especially suitable for screening out those cases where the growth increase due to N fertilization is expected to be small.

ODC 542 + 114.54
ISBN 951-40-0698-4
ISSN 0015-5543

Helsinki 1985. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Jos metsikön kasvua rajoittaa jonkin ravinteiden puute siinä määrin, että tätä lisäämällä kasvu paranee, sanotaan metsikössä olevan tämän lannoituksen tarvetta. Lannoitustarve on sitä suurempi, mitä voimakkaampi kasvunlisäys saadaan aikaan. Puutetta voi olla myös useammasta kuin yhdestä ravinteesta. Samoin lannoitustarve voi olla piilevä, jolloin se tulee esiin vasta sen jälkeen kun jokin suurempi kasvun este, esim. liika vesi, on poistettu.

Kun metsikön ravinteiden käyttö vaihtelee puulajien ja kehitysvaiheen mukaan, on lannoitustarvekin metsikkökohtaista. Jotta voitaisiin puhua yleisesti kasvupaikan lannoitustarpeesta, on sen vuoksi rajoitettava tietyn tyyppiin metsiköihin. Tavallisimpia lannoituskohteita ovat kasvatusikäiset tai vartuneet männiköt ja kuusikot. Tällaisia metsiköitä edustavat myös tässä tutkimuksessa käytetyt kokeet.

Lannoitustarpeen määrittäminen tarkoittaa toimenpiteitä, joilla ennakoidaan odotettavissa oleva kasvun lisäys. Pyrkimyksenä on siten löytää ne kasvupaikat, joilla lannoitus lisää parhaiten kasvua sekä osoittaa näille sopivat lannoitelajit ja -määrät.

Koska kyseessä on puuston kasvun ja ravinnetarjonnan välisten suhteiden tarkastelu, on luonnollista, että lähtökohtana on pidettävä kasvun ja ravinteisuuden välisiä yleisiä riippuvuuksia. Näitä kysymyksiä, joita mm. Aaltonen (1937) pitää metsämaatietien tärkeimpinä, onkin tutkittu jo metsämaatietien alkuajoista lähtien.

Paitsi maaperän ominaisuuksista, puuston kasvu riippuu myös ilmastosta, topografiasta sekä puuston ja muun kasvillisuuden laadusta ja tilasta (Wilde 1958, s. 259). Tästä syystä eri ominaisuudet voivat eri tapauksissa olla kasvun parhaita selittäjiä. Aaltonen (1937) toteaa vanhempia tutkimustuloksia tarkastellessaan puuntuotoskykyä selitetyn mm. maan raekoostumuksen, pohjaveden korkeuden ja liikkuvuuden, maan orgaanisten ja epäorgaanisten kolloidien, maan ilmatilan, mikro-

biologisten ja kemiallisten ominaisuuksien avulla. Pelkästään maatunnuksiin perustuvien tulosten yleistettävyyden on kuitenkin huono, sillä esimerkiksi eri ilmasto-oloissa voi samanlaiselle maalle syntyä täysin erilainen puusto (Wilde 1958, s. 247).

Suomessa varhaisimmat selvitykset maan kemiallisten ominaisuuksien ja puuntuotoskyvyn välisistä riippuvuuksista (Valmari 1921, Heikinheimo 1922, Ilvessalo 1923, Aaltonen 1937) osoittavat yhtäpitävästi, että maan kalkkimäärä korreloi säännönmukaisesti kasvupaikan viljavuuden kanssa. Myös humuspitoisuus ja kokonaistyyppi ovat hyviä selittäjiä Suomen eteläpuoliskossa, mutta ei Pohjois-Suomen kuusikoissa (Heikinheimo 1922). Näistä yleisistä suuntaviivoista huolimatta Aaltonen (1937) toteaa, ettei maa-analyysi anna riittävää varmuutta tehdä päätelmiä yksittäisen kasvupaikan puuntuotoskyvystä. Hän korostaa sen sijaan maan kosteusolojen merkitystä tässä suhteessa.

Viro (1947, 1951) on tutkinut sekä raekoostumuksen, kivisyyden että ravinteisuuden merkitystä kasvupaikan viljavuudelle. Raekoostumuksen ja kivisyyden lisäksi ainostaan kalsiumpitoisuus selitti Viron aineistossa merkitsevästi valtapuuston pituutta 60 vuoden iällä (Dahl ym. 1961).

Myöhemmin tehty tutkimus (Urvas ja Erviö 1974) maamme metsätyyppien ravinnepitoisuuksista vahvistaa aikaisemman tiedon kalkin ja metsätyypin välisestä korrelaatiosta. Lisäksi myös kaliumpitoisuudet sekä humuskerroksen tyyppipitoisuus lisääntyivät puuntuotoskyvyn lisääntyessä.

Huolimatta kalkin selvästä korrelaatiosta maan viljavuuden kanssa ei metsämaan kalkitus ole lisännyt puuston kasvua (Kukkola ja Saramäki 1983). Sen sijaan tyyppilannoitus on kangasmailla useimmiten ollut tuloksellista (Viro 1967). Tämän mukaan maan tyyppitila sopisi paremmin lannoitusreaktion ennustamiseen kuin kalkkipitoisuus.

Lannoitustarvetta voidaan arvioida useilla

eri tasoilla ja tarkkuuksilla. Yleispiirteet saadaan metsätyyppien avulla, tarkempi selvyys maa- tai neulasanalyysillä ja kasvupaikka-kohtainen varmistus lannoituskokeilla (Baule ja Fricker 1970, s. 66). Lisäksi voidaan joskus todeta ravinnetalouden häiriöitä myös puuston ulkonäön perusteella.

Metsätyyppien soveltuvuus lannoitustarpeen määritykseen rajoittuu siihen, että erittäin karut ja toisaalta hyvin viljavat kasvupaikat voidaan todeta huonoiksi lannoituskohteiksi (Viro 1967). Jäljelle jäävät metsätyypit kuivahkoista lehtomaisiin kankaisiin sisältävät kuitenkin niin suuren vaihtelualueen sekä maan vesi- että ravinnetalouudessa, että metsätyypin voidaan katsoa olevan melko ylimalkaisesti lannoitustarvetta ennustava tunnus. Syynä lienee metsätyypin koko kasvupaikkaa kuvastava luonne: hyvinkin monenlaiset kasvutekijäin yhdistelmät voivat tuottaa saman metsätyypin (Urvas ja Erviö 1974).

Metsätyyppiä tarkemman kuvan saamiseksi maan ravinnetilasta voidaan käyttää neulas- tai maa-analyysiä. Neulasanalyysi perustuu siihen ajatukseen, että kasvusta mitattu ravinnepitoisuus kuvastaa kasvupaikan ravinnetilaa. Vaikka mielipiteet neulasanalyysin käyttökelpoisuudesta ovatkin vaihtelevia, ainakin suurimmat puutteen voidaan todeta neulasista (Puustjärvi 1965, Nömmik 1978). Neulasanalyysiä ei voida sen sijaan pitää hyvänä kasvupaikan puuntuotoskyvyn määrittäytapana (Aaltonen 1950).

Maa-analyysin käyttökelpoisuus lannoitustarpeen määrityksessä riippuu siitä, missä määrin näytteenottotekniikalla ja ravinteiden uuttomenetelmillä pystytään jäljittelemään puiden ravinteottoa. Keski-Euroopassa käytetyt analyysimenetelmät (Baule ja Fricker 1970, s. 66) poikkeavat jossakin määrin meillä käytetyistä (Halonen ym. 1983) ja annetut ohjeluvut kuvastava K-, P-, ja Mg-lannoituksen tarvetta. Kun Suomessa harvoin on kivennäismailla puutetta näistä ravinteista, eivät keskieuropallaiset tiedot ole meillä käyttökelpoisia.

Meille soveltuvat sen sijaan hyvin ne ruot-

salaiset tulokset, joilla lannoitusreaktioita on selitetty maan tyypianalyysien avulla (Malm ym. 1974). Kun selitysyhtälössä oli mukana puustotunnuksia, lannoitelaji ja -määrä, helposti mineralisoituva humuskerroksen ja pintaosaan (0—5 cm) tyyppi sekä humuksen kokonaistyyppi, saatiin selitysasteeksi yli 80 %. Mainitussa tutkimuksessa todettiin myös, että neulasten tyyppipitoisuus on hyvä lannoitusreaktion selittäjä, mutta maatunnusten ohella tarpeeton.

Myös pelkästään puustotunnuksia käyttäen on mahdollista selittää lannoitusreaktiota jossakin määrin. Selittäviä tunnuksia ovat esimerkiksi pituusboniteetti, metsikön ikä ja kasvu lannoitushekellä (Gustavsen ja Lipas 1975). Puustotunnusten, lannoiteannoksen ja kasvupaikkaluokan avulla on saavutettu noin 50 %:n selitysaste (Braastad ym. 1974). Jos selittäjiksi otetaan näiden lisäksi myös metsikön sijaintia ja korkeusasemaa kuvaavia tunnuksia, voidaan päästä yli 60 % selitysasteeseen (Rosvall 1980).

Edellä on kuvattu kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja toisaalta lannoitustarpeen riippuvuutta erilaisista kasvupaikkatekijöistä. Puuntuotoskyky ja lannoitustarve puolestaan ovat ilmeisesti yhteydessä toisiinsa. Tätä riippuvuutta voitaisiin analysoida tarkemmin, jos tunnettaisiin puuntuotoskyvyn riippuvuus erityisesti sellaisista kasvupaikkatekijöistä, joihin lannoituksella voidaan vaikuttaa. Kuten edellä todettiin, tällaisia tekijöitä olisivat erityisesti maan tyyppitilaa kuvaavat tunnuksat.

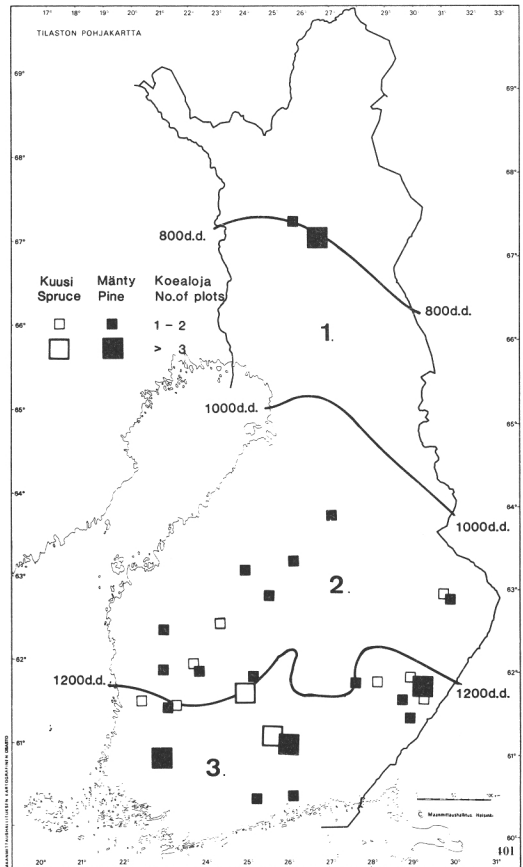
Mainitulla perusteella tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin ensinnä selvittää metsikön puuntuotoskyvyn riippuvuutta erilaisista kasvupaikkatekijöistä. Tältä pohjalta pyrittiin sitten kehittelemään menetelmää lannoitustarpeen määrittämiseksi kasvupaikkatekijäin avulla.

Professori Eino Mälkönen ja MMT Carl Johan Westman ovat tehneet käsikirjoitukseen varteenotettavia korjausehdotuksia. Englanninkielisen tekstin on tarkistanut Michael Starr, Ph.D. Esitän mainituille parhaat kiitokseni.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Koealat

Aineiston muodostivat Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston pitkäaikaiset lannoituskokeet siltä osin, kuin niistä oli käytettävissä tarvittavat puusto- ja maatunnukset. Samoja kokeita on käytetty myös useissa muissa tutkimuksissa, mm. selvittäessä toistuvasti lannoitettujen metsiköiden kehitystä (Kukkola ja Saramäki 1983). Typpilannoitus on kokeita perustettaessa tehty lähes poikkeuksetta ammoniumsulfaatilla (84 kg N/ha).



Kuva 1. Puuntuotoskyvyn arviointiin käytettyjen koealojen sijainti.

Figure 1. Location of the sample plots used for the assessment of site productivity.

Ensimmäisessä vaiheessa, jossa selvitettiin boniteetin riippuvuutta kasvupaikkatekijöistä, käytettiin ainoastaan kokeiden lannoittamattomia vertailukoealoja. Aineisto käsitti 70 koealaa, joista männikköjä oli 47 ja kuusikkoja 23. Koealat sijaitsivat pääosin Etelä- ja Keski-Suomessa (kuva 1). Lapista aineistossa oli mukana vain seitsemän koealaa. Jos alue jaetaan kuvan 1 mukaisesti lämpösomavyyöhykkeisiin saadaan seuraava jakaantuma:

800—1000 d.d.	7 koealaa
1050—1200	44 "
1250—1350	19 "

Kasvukauden tehoisa lämpösomma on tässä käsitetty paikkakunnan todellisten +5 °C ylittävien päivittäisten keskilämpötilojen vuosisummaksi vuosien 1941—70 keskiarvona (Heikurainen 1973).

Metsätyypeittäin aineisto jakaantui siten, että pääosa kokeista oli keskinkertaisilla kasvupaikoilla:

OMT	10	koealaa
MT	23	"
VT + EMT	23 + 6	"
CT + MCCIT	7 + 1	"

Pintamaan (0—30 cm) keskiraekoko oli yleisimmin karkeata hietaa. Savi-, hiesu- tai soraimita ei aineistossa ollut. Pääosin maat olivat moreenia, mitä osoittaa myös kivisyyden yleisyys. Yli puolella koealoista kiviä oli pintamaassa yli 30 % tilavuudesta. Moreenia ja lajitunutta maata ei eroteltu eri luokiksi, koska rajanveto on usein vaikeaa. Sen sijaan käytettiin raekokojakaantumasta määritettyä tunnusta, lajittuneisuusastetta $S = \sqrt{Q_3/Q_1}$, jossa Q_1 ja Q_3 ovat raekokojakaantuman alaja yläkvartiilit (Seppälä 1971). Tällä tunnuksesta mitattuna jonkin asteista lajittuneisuutta ($S < 3,0$) oli 29 koealalla. Kun myös kivisyys ja keskiraekoko otetaan huomioon, varsinaisesti lajittuneisiin maihin voidaan lukea 13 koealaa eli noin 18 % aineistosta.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa, jossa tarkasteltiin lannoituksella saatavaa kasvunlisäystä, aineisto jouduttiin rajoittamaan 25 kokeeseen. Rajoittamisperusteet on esitetty luvussa 41, ja tietoja mukaan otetuista kokeista on koottu taulukkoon 4.

22. Maatunnukset

Koealoilta määritettiin kivisyys mittaamalla kivisyys-rassin painuma koealalle merkityiltä linjoilta systemaattisesti siten, että linjaväli oli 10 m ja mittauspisteiden väli linjalla 5 m (Viro 1947). Kivisyys laskettiin keskimääräisestä painumasta siten, että painuma 0 vastaa 100 % ja painuma 30 cm 0 %. Täten kivisyystunnus koskee vain kivennäismaan 30 cm syvää kerrosta.

Samoilta kohdista kuin kivisyshavainnot, otettiin myös näytteet humuskerroksesta. Tähän käytettiin sisä-

halkaisijaltaan 5,5 cm suuruista terässylinteriä. Kunkin koealan osanäytteet yhdistettiin yleisnäytteeksi, joka laboratoriossa kuivattiin, punnittiin ja jauhettiin ennen analyysyjä. Näytteenottopinta-alan ja näytteen massan avulla laskettiin arvio humuskerroksen massasta koealalla.

Kivennäismaanäytteet otettiin lapiolla 0–30 cm syvyydestä kerroksesta. Kullekin koealalle kaivettiin neljä kuoppaa koealan keskipeiteen ja kulmien kärkipisteiden puoliväliin, joista otetut näytteet yhdistettiin. Esikäsitteilynä laboratoriossa näytteet kuivattiin, seulottiin 2 mm seulalla ja määritettiin punnitsemalla soran osuus näytteestä.

Näytteet analysoitiin maantutkimusosaston tavantomaisilla menetelmillä (Halonen ym. 1983). Sekä humus- että kivennäismaanäytteistä määritettiin happamalla ammoniumasetaatilla uuttuva helpoliukoinen P, vaihtuvat kationit Ca, K ja Mg, vesilietes-pH ja kokonaistyyppi. Lisäksi humusnäytteistä määritettiin orgaaninen aines polttamalla. Kivennäismaanäytteistä puolestaan määritettiin raekoostumus ja tiheys.

Alustava tarkastelu maatunnusten metsikönsisäisestä hajonnasta ja korrelaatiosta puuston kasvuun osoitti, että eräät muunnokset paransivat tunnusten selitysky-

kyä. Sen vuoksi lopulliseen selittäjistöön otettiin eräitä muuttujia hiukan alkuperäisestä poikkeavassa muodossa.

Kivennäismaan ravinnepitoisuudet muunnettiin yksiköistä mg/100 g yksiköihin mg/l näytteen tiheyden avulla. Vaikka tämä poikkeakin luonnontilaisen maan tiheydestä, kuvastanee yksikkö mg/l kuitenkin paremmin ravinteiden tarjontaa maassa kuin mg/100 g. Tilavuusyksikköön perustuvaa ilmaisutapaa käytetään myös viljelysmaan ravinneanalyyseissä (Kurki ym. 1965).

Humuskerros sisältää vaihtelevia määriä kivennäismaata, joka aiheuttaa ylimääräistä vaihtelua ravinnearvoihin, jos ne ilmoitetaan yksikössä mg/100 g. Muunnoksena päädyttiin ilmoittamaan kaikki ravinteet orgaanista ainetta kohti, jolloin kivennäismaapitoisuuden vaikutus eliminoituu. Muunnon on looginen paitsi typen ja fosforin osalta, jotka esiintyvät orgaanisina yhdisteinä, myös vaihtuvien ravinteiden osalta, sillä vaihtopaikat sijaitsevat lähes yksinomaan humusaineksessa.

Raekokoomuksesta saatavaa tietoa tiivistettiin määrittämällä rakeisuuskäyrän avulla keskiraekoko sekä lajittuneisuusaste (Lipas 1983). Lisäksi otettiin mukaan hienomaa (<2 mm) sekä hienon hiedan, hiesun ja saven (<0,05 mm) osuus. Edellinen on Viron (1947)

Taulukko 1. Regressioanalyyseissä käytetyt muuttujat.
Table 1. The variables used in the regression analysis.

Muuttuja — Variable	Lyhenne Symbol	Yksikkö Unit	Vaihteluväli Range	Keskiarvo Mean	Vinous Skewness
Metsätyyppi — Site type	OMT	—	0—1	Valemuuttuja — Dummy variable	
” ”	MT	—	0—1	”	”
” ”	VT	—	0—1	”	”
” ”	CT	—	0—1	”	”
Puulaji — Tree species	mä	—	0—1	”	”
Lämpösumma — Temperature sum	ls	d.d.	800—1350	1156	—1,30
Kivisyys — Stoniness	kiv	% ¹⁾	0—89	35	0,19
Rakeisuustunnukset — Textural parameters					
Hienomaa — Fine earth <2 mm	hie	% ²⁾	51—99	81	—0,66
” ” <0,05 mm	hhie	% ²⁾	4—61	21	0,60
Keskiraekoko — Median grain size	md	mm	0,03—1,85	0,31	2,26
Alakvartiili — Lower quartile	Q ₁	”	0,006—0,521	0,097	2,30
Lajittuneisuus — Degree of stratification	S	— ³⁾	1,7—8,7	4,0	0,70
Humuskerroksen tunnukset — Properties of the humus layer					
pH — H ₂ O	hpH	—	3,0—4,8	3,9	0,70
Kokonais — Total N	hN	% ⁴⁾	1,0—2,7	1,6	1,02
Liukoinen — Soluble P	hP	‰ ⁴⁾	0,11—0,56	0,28	0,87
Vaihtuva — Exchangeable Ca	hCa	‰ ⁴⁾	1,2—12,2	3,8	1,96
” ” K	hK	‰ ⁴⁾	0,64—1,88	1,16	0,56
” ” Mg	hMg	‰ ⁴⁾	0,20—1,51	0,45	2,88
Org. aine — Organic matter	hoa	ton/ha	6,7—54,6	28,7	0,43
Kivennäismaan tunnukset — Properties of the mineral soil (0—30 cm)					
pH — H ₂ O	kpH	—	4,0—5,3	4,8	—0,92
Kokonais — Total N	kN	mg/l ⁵⁾	302—2525	827	1,24
Liukoinen — Soluble P	kP	mg/l ⁵⁾	1,4—22,6	6,9	1,22
Vaihtuva — Exchangeable Ca	kCa	mg/l ⁵⁾	21—979	123	3,70
” ” K	kK	mg/l ⁵⁾	13,9—75,4	36,3	0,56
” ” Mg	kMg	mg/l ⁵⁾	4,0—82,5	15,2	3,25
Hienomaa — Fine earth <2 mm	kha	m ³ /ha	210—2952	1622	0,04
Selitettävä muuttuja — Dependent variable					
Pituusboniteetti — Site index	H ₁₀₀	m	15,4—32,7	22,9	0,03

1) Tilavuudesta — Of volume

2) Näytteestä — Of sample <20 mm

3) $S = \sqrt{Q_3/Q_1}$

4) Orgaanisesta aineesta — Of organic matter

5) Litraa ilmakeivää näytettä kohti — Per liter of air dry sample

aiemmin käyttämä selittäjä, jälkimmäistä suosittelee mm. Wilde (1958, s. 177).

Näiden perusmuunnosten lisäksi eräiden tunnusten jakautumien todettiin olevan siinä määrin vinoja, että logaritimuunnos paransi selityskykyä. Tästä syystä käytettiin sekä humuksen että kivennäismaan N-, P-, Ca-, K- ja Mg-arvojen luonnollista logaritmia selittäjänä. Kalsium- ja fosforiarvojen osalta samaa muunnosta ovat käyttäneet Dahl ym. (1961).

Regressiotarkastelussa käytetyt muuttujat perusmuodossaan on esitetty taulukossa 1. Samalla esitetään myös eräitä lukuja tunnusten suuruusluokista ja jakautumista.

23. Puustotunnukset

Puuston kasvu ja tilavuus oli mitattu koetta perustettaessa ja sen jälkeen viiden vuoden välein. Tässä tutkimuksessa käytettiin kuitenkin vain ensimmäisen 5-vuotijakson kasvulukuja, joista laskettiin puuston ensireaktio typpilannoitukseen. Koalojen puuston luontaista vaihtelua pyrittiin eliminoimaan korjaamalla kasvuvuut kasvulla ennen lannoitusta (Lipas 1979). Korjauksesta huolimatta kokeen sisäiset toistot poikkesivat usein siinä määrin toisistaan, että lannoittamattoman koalan analyysitulosten selitysarvo koko kokeen keskimääräiselle lannoitusvaikutukselle tuntui kyseenalaiselta. Ratkaisuna päädyttiin siihen, että typen vaikutusarvona pidettiin vain pelkän typpilannoituksen saaneen ja lannoittamattoman koalan korjattujen kasvujen erotusta.

3. PITUUSBONITEETIN RIIPPUVUUS KASVUPAIKASTA

31. Regressiomalli

Pituusboniteettia (H_{100}) selittäviä muuttujia etsittiin valikoivan regressioanalyysin avulla. Alustavien kokeilujen jälkeen lähtökohdaksi otettiin 27 muuttujaa siinä muodossa kuin ne on esitetty taulukossa 1. Kun lisäksi eräistä selittäjistä todettiin logaritimuunnoksen lisäävän mallin selitysastetta, saatiin korkein selitysaste (81 %) taulukossa 2 esitetyllä yhtälöllä. Malliin hyväksyttiin vain sellaiset selittäjät, joiden F-arvo malliin lisättäessä oli yli 4,0.

Vahvin pituusboniteetin selittäjä oli kivennäismaan vaihtuva kalsium, joka yksinään selitti 49 % mallin vaihtelusta (kuva 2). Toiseksi tärkein tunnus oli humuksen orgaanisen aineen kokonaistyyppipitoisuus (kuva 3), joka yhdessä edellisen muuttujan kanssa nosti selitysasteen 60 prosenttiin.

Seuraavaksi selittäjäksi tuli humuserroksen pH (hpH). Selittäjän regressiokerroin

Typen vaikutuksen lisäksi tarkasteltiin mahdollisuuksia käsitellä myös NP-lannoituksen vaikutusta. Fosforilla saatava lisävaikutus osoittautui kuitenkin siinä määrin pieneksi ja satunnaiseksi, että aineisto ei antanut mahdollisuuksia NP-vaikutuksen tarkempaan analyysiin.

Kasvupaikan puuntuotoskyvyn mittana käytettiin lannoittamattomalta koevalta arvioitua valtipituutta 100 vuoden iällä (H_{100}), josta käytetään nimitystä pituusboniteetti (Vuokila 1971). Koska kyseinen tunnus on riippuvainen siitä metsiköstä, joka kasvupaikalla kulloinkin kasvaa, sen kyky osoittaa kasvupaikan todellista puuntuotoskykyä (kasvupaikan boniteettia) voi olla puutteellinen (Kuusela 1982). Pituusboniteetti on kuitenkin metsätyyppiä käyttökelpoisempi tunnus selittäjänä muuttujana, koska se voidaan ilmaista lukuarvona.

Pituusboniteetin määrittäminen tehtiin Gustavsenin (1980) käyrien avulla luontaisesti syntyneille ja Vuokilan ja Väliahon (1980) käyrien avulla viljelymetsiköille. Kokeesta riippuen käytettävissä oli 3–5 mitattua valtipituutta 10–20 vuoden ajanjaksolta. Kun puusto useimilla kokeilla oli jo perustettaessa keski-ikäistä tai vanhempaa voidaan saatuja H_{100} -arvoja pitää melko luotettavina (Gustavsen 1980).

Pituusboniteettia käytettiin tarkastelun ensimmäisessä vaiheessa selitettävänä muuttujana. Sille haettiin paras selitysmalli valikoivalla regressioanalyysillä. Tutkimuksen jatkovaiheessa etsittiin sitten selitystä erilaisiin lannoitusreaktioihin edellisen mallin parhaita selittäjiä käyttäen. Kaikissa tilastollisissa tarkasteluissa käytettiin BMDP-ohjelmopakettia (Dixon ja Brown 1979).

Taulukko 2. Pituusboniteettia (H_{100}) parhaiten selittävään regressiomalliin valikoituneet muuttujat tunnuslukuineen.

Table 2. The variables as well as their parameters chosen by stepwise regression analysis best describing site index (H_{100}).

Muuttuja ¹⁾	Regr. kerroin	F	Askel askeleelta — Step by step	
Variable ¹⁾	Regr. coeff.	F	R ²	s.e. ²⁾
Vakio — Constant	20,43			
ln (kCa)	2,193	65,9	0,49	3,39
ln (hN)	8,875	18,0	0,60	3,03
hpH	− 3,636	11,0	0,66	2,83
md	− 3,375	9,0	0,70	2,67
CT	− 3,433	6,6	0,73	2,56
ls	0,00741	11,0	0,77	2,38
ln (hK)	− 5,791	6,3	0,79	2,29
ln (hp)	2,568	6,9	0,81	2,19

1) Lyhenteet taulukossa 1 — See Table 1 for symbols

2) Estimaatin keskivirhe — Standard error of the estimate

(-3,636) kuitenkin osoittaa, että alhaisilla pH-arvoilla boniteetti olisi suurempi kuin korkeammilla. Tämä sinänsä epälooginen tulos johtuu selittäjien keskinäisestä korreloitumisesta. Humuskerroksen pH korreloi erityisesti kivennäismaan kalsiumin ($r = 0,38$) ja humuksen tyyden ($r = 0,64$) kanssa. Pituusboniteetin kanssa pH korreloi positiivisesti, mutta muiden selittäjien lisääminen malliin muutti riippuvuuden suunnan, kuten seuraavat osittaiskorrelaatiot osoittavat:

Mallissa mukana	—	$\ln(kCa)$	$\ln(hN)$
$r_{(hpH, H_{100})}$	0,25	-0,02	-0,38

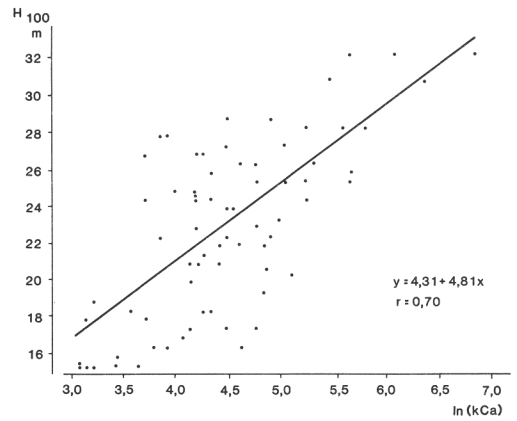
Maalajin vaikutus näkyy mallissa siten, että keskiraekoon (md) kasvaessa boniteetti pienenee. Tavallaan samaa asiaa kuvaa myös se, että kuivat kankaat (valemuuttuja CT) muodostivat merkittävästi muista poikkeavan ryhmän, jossa pituusboniteetti oli muita alhaisempaa tasoa.

Lämpösumma (ls) pienenee pohjoista kohti, joten on luonnollista, että tällöin myös pituusboniteetti pienenee. Lisäksi malliin tuli mukaan humuskerroksen vaihtuva kalium (hK) ja liukoinen fosfori (hP). Kaliumilla regressiokertoimen (-5,791) etumerkki on epälooginen, samoin kuin humuksen pH:llakin. Selitys löytyy tässäkin tapauksessa selittäjien keskinäisestä korreloitumisesta. Osittaiskorrelaatiokerroin muuttujien $\ln(hK)$ ja H_{100} välillä muuttui alunperin positiivisesta ($r = 0,17$) vaihteittain vahvasti negatiiviseksi ($r = -0,41$) regressioanalyysin edetessä.

Malliin tulleista selittäjistä puuttuu valtaosa tarjolla olleista muuttujista. Metsätyypeistä vain CT tuli mukaan, puulajit eivät eronneet merkittävästi toisistaan, rakeisuus-tunnuksista tuli mukaan vain keskiraekoko jne. Tämä johtuu muuttujien keskinäisistä riippuvuuksista. Esimerkiksi puulajin jääminen pois mallista voidaan selittää sillä, että aineiston männiköt kasvoivat karummilla kasvupaikoilla kuin kuusikot. Täten puulaji tuli peitetysti malliin muiden viljavuutta kuvastavien tekijöiden välityksellä.

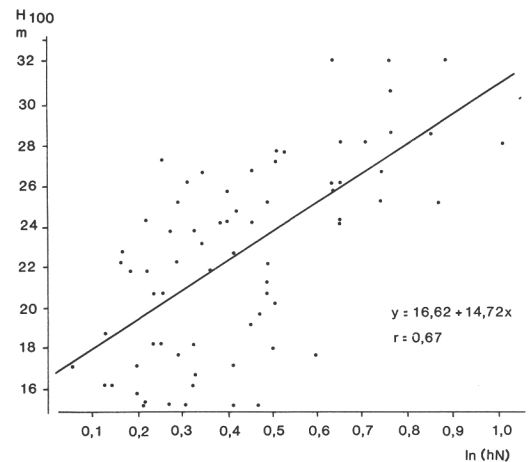
32. Mallin yksinkertaistaminen

Taulukossa 2 esitetyn mallin selittäjinä esiintyy kentällä hankalasti määriteltävä keskiraekoko sekä lämpösumma. Jotta yhtälön



Kuva 2. Pituusboniteetin (H_{100}) riippuvuus kivennäismaan vaihtuvasta kalsiumista (kCa , mg Ca/l).

Figure 2. The dependence of site index (H_{100}) on the exchangeable calcium in mineral soil (kCa , mg Ca/l).



Kuva 3. Pituusboniteetin (H_{100}) riippuvuus humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuudesta (hN , %).

Figure 3. The dependence of site index (H_{100}) on the nitrogen content of organic matter in the humus layer (hN , %).

käyttö olisi yksinkertaisempaa, kokeiltiin voitaisiinko nämä muuttujat ottaa selittäjiksi luokkamuuuttujina. Niinpä keskiraekoko korvattiin tavanomaisilla maalajiluokilla:

(HHt)	Hieno	hieta	0,02—0,06 mm	(n = 1)
(KHt)	Karkea	—"	0,06—0,2 "	(n = 45)
(HHk)	Hieno	hiekkä	0,2 —0,6 "	(n = 14)
(KHk)	Karkea	—"	0,6 —2,0 "	(n = 10)

Taulukko 3. Pituusboniteettia (H_{100}) selitettävä yksinkertaistettu regressiomalli.

Table 3. The simplified regression model for site index (H_{100}).

$R^2 = 0,76$ s.e. = 2,40

Muuttuja ¹⁾ Variable ¹⁾	Valem. (0/1) Dummy var. (0/1)	Regr. kerroin Regr. coeff.	F
Vakio — Constant		15,05	
ln (kCa)		1,608	10,2
ln (hN)		6,165	11,8
ls, 800—1000 d.d.	x	- 5,409	23,6
md, karkea hiekka — coarse sand	x	- 3,160	12,4
CT	x	- 3,914	14,0
ls, 1000—1200 d.d.	x	- 1,909	7,0

1) Lyhenteet taulukossa 1 — See Table 1 for symbols

R^2 = Selitysaste — Coefficient of determination
s.e. = Estimaatin keskilvirhe — Standard error of the estimate

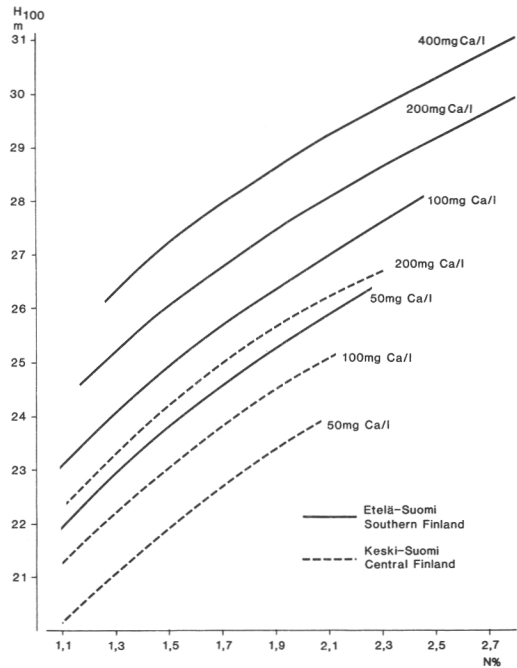
Kukin maalaji otettiin erillisenä valemuuttujana mukaan, jolloin se sai joko arvon 0 tai 1. Kuten aineiston kuvauksessa mainittiin, valtaosa koaloista oli keskiraakoltaan karkeata hietaa tai hienoa hiekkaa.

Lämpösunnan tilalle otettiin yksinkertainen jako kolmeen luokkaan. Näitä luokkia vastaavien alueiden rajat on piirretty aineiston sijaintia esittävään karttaan (kuva 1). Tästä saatiin selittäjistöön kolme uutta (0/1)-valemuuttujaa korvaamaan lämpösunmaa.

Valikoiva regressioanalyysi antoi periaatteessa samanlaisen tuloksen kuin taulukossa 2. Selitysaste ei pienentynyt lainkaan, mikä osoittaa, että luokkamuuttujilla voidaan korvata keskiraakoko ja lämpösunmaa. Kun lisäksi mallista poistettiin suhteellisen heikosti boniteetin kanssa korreloivat humuskerroksen pH, kalium ja fosfori, saatiin taulukon 3 mukainen yhtälö.

Mallin selitysaste pieniä täydellisen mallin 0,81:stä 0,76:een, mutta samalla saatiin yhtälö, jossa on vain kaksi maatunnusta mukana, kivennäismaan kalsium ja humuskerroksen orgaanisen aineen tyyppi. Luokkamuuttujat ovat kaikki boniteettia alentavia tekijöitä, kuten niiden negatiiviset regressio-kertoimet osoittavat. Maalajeista vain karkea hiekka erottui omaksi ryhmäkseen, metsätyypeistä kuivat kankaat (CT tai vastaava).

Yksinkertaistetun mallin neljä luokittelumuuttujaa jakavat aineiston kaikkiaan 12 ositteeseen. Valtaosa ositteista jäi kuitenkin aineiston suppeuden tai yhdistelmän epävallisuuden vuoksi niin pieniksi, ettei niiden edustavuutta voi pitää tyydyttävänä. Tämän



Kuva 4. Pituusboniteetin (H_{100}) riippuvuus humuskerroksen orgaanisen aineen tyyppipitoisuudesta ja kivennäismaan kalsiumpitoisuudesta. Kuivahkot, tuoreet ja lehtomaiset kankaat, maan keskiraakoko karkeata hiekkaa hienompaa.

Figure 4. The dependence of site index (H_{100}) on the nitrogen content of organic matter in the humus layer and exchangeable calcium in mineral soil of fresh upland sites with finer than coarse sand texture.

vuoksi jatkotarkastelu tehtiin ainoastaan kahdella ositteella:

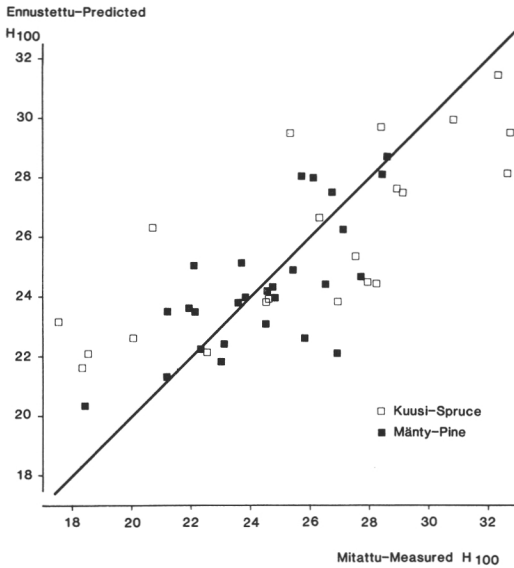
	CT	Alue	KHk	Havaintoja
Osite 1	Ei	2	Ei	15
Osite 2	Ei	3	Ei	34

Tarkasteltavat ositteet kattavat siten Suomen etelä- ja keskiosien kuivia kankaita tuoreimmat metsätyypit karkeata hiekkaa hienommilla mailla. Taulukon 3 yhtälö saa näille ositteille seuraavan muodon:

$$(1) H_{100} = 13,14 + 1,608 \ln (kCa) + 6,165 \ln (hN)$$

$$(2) H_{100} = 15,05 + 1,608 \ln (kCa) + 6,165 \ln (hN)$$

Näiden yhtälöiden avulla on piirretty kuvassa 4 esitetty käyrästä, jonka avulla voidaan arvioida tiettyä kalsium- ja tyyppitasoa vastaava keskimääräinen pituusboniteetti erikseen Keski- ja Etelä-Suomea varten (vastaavat alueita 2 ja 3 kuvassa 1). Luonnollisesti myös yhtälöillä 1 ja 2 saadaan vastaava tu-



los. Aineiston rajoittuneisuuden vuoksi yhtälöitä ja käyriä on kuitenkin pidettävä vain suuntaa antavina.

Yhtälöiden 1 ja 2 samoin kuin kuvan 4 käyrien tarkkuudesta saa käsityksen kuvan 5 avulla. Nähdään, että ennusteen poikkeavuus mitatusta pituusboniteetista saattaa yksittäistapauksissa olla jopa 4—5 m. Tavallisesti poikkeamat ovat kuitenkin olleet enintään 2 m. Männiköille malli on ollut tasapainoinen. Kuusikoissa sen sijaan näyttäisivät pienet boniteetit (alle 21 m) tulleen aliarvioituiksi, suuret (yli 30 m) taas yliarvioituiksi.

Kuva 5. Taulukossa 3 esitetyllä mallilla ennustetun pituusboniteetin (H_{100}) tarkkuus. Aineisto sama kuin kuvassa 4.

Figure 5. The accuracy of site index (H_{100}) predicted using the regression model described in Table 3. The material is the same as in Figure 4.

4. LANNOITUSTARPEEN ARVIOINTI

Pituusboniteetin selitysmallin käyttämistä lannoitustarpeen arviointiin kokeiltiin ensin siltä pohjalta, että boniteettiestimaatin ja todellisen boniteetin erotus kuvastaisi odotettavissa olevaa lannoitusreaktiota. Pituusboniteetti, sen estimaatti tai näiden erotus pysyivät kuitenkin selittämään vain 24 % lannoitusvaikutusten vaihtelusta. Tästä syystä päätettiin hakea erityistä selitysmallia lannoitusreaktiolle. Sen pohjana käytettiin edellä saatua tulosta, jonka mukaan tärkeimmät kyseeseen tulevat maatunnukset ovat kivennäismaan vaihtuva kalsium ja humuskerroksen kokonaistyppi.

4.1. Aineiston rajoittaminen

Lähtöaineistona olleista 48 kokeesta karsittiin ensin pohjoisen vyöhykkeen (vyöhyke 1, kuva 1) viisi koetta, joiden vertailukelpoisuus eteläisempien kokeiden kanssa on kyseenalainen ilmastoeroista johtuen.

Maan etelä- ja keskiosien kokeista jätettiin pois karuimmat maat, joissa metsätyppi on CT:tä tai keskiraekoko karkeata hiekkaa ($>0,6$ mm). Tämä siitä syystä, että nämä muodostivat jo viljavuustarkastelussa oman ryhmänsä (taulukko 3). Tällaisilla kokeilla, joita aineistossa oli 12, veden saanti rajoittaa kasvua siinä määrin, että lannoitusreaktio jää yleensä melko pieneksi (Kukkola ja Saramäki 1983).

Jäljelle jääneistä karsittiin edelleen neljä koetta siitä syystä, että kivennäismaan keskiraekoot 0- ja N-koealoilla poikkesivat liiaksi toisistaan. Rajana pidettiin 75 %:n poikkeamaa 0-ruudun keskiraekoosta. Tämän lisäksi aineistosta jätettiin pois kaksi koetta, joissa 0- ja N-ruuduille yhtälöllä (taulukko 3) laskeut H_{100} -arvot poikkesivat toisistaan enemmän kuin yhtälön keskivirhe (2,4 m).

Mainittujen toimenpiteiden seurauksena saatiin 25 kokeen aineisto, joka edustaa maan etelä- ja keskiosien CT:tä viljavampia kasvupaikkoja ja joilla maalaji on keskimäärin karkeata hiekkaa hienompaa. Karsinnan

seurauksena aineistosta saatiin melko tasainen, mutta suppea. Koska koemetsiköiden ikä vaihteli tässäkin aineistossa suuresti, otettiin selittäväksi muuttujaksi lannoituksella saatu suhteellinen kasvunlisäys (% kasvusta ilman lannoitusta) absoluuttisen vaikutuksen sijasta. Eräitä tietoja aineistosta on koottu taulukkoon 4.

42. Maan tyyppi ja kalsium selittäjinä

Kun suhteellista lannoitusvaikutusta (vaik. %) selitettiin erilaisilla puustotunnuksilla, todettiin, että kasvu ilman lannoitusta (i_v) oli voimakkain selittäjä. Parhaalla mallilla, jossa selittäjänä oli pelkästään $1/i_v$, päästiin 42 prosenttia selitysasteeseen. Kasvun lisäksi muilla selittäjillä oli vain vähän selitysvoimaa. Koska suhteellinen kasvunlisäys on laskeutu prosentteina i_v :stä, saatu tulos on loo-

ginen. Kasvun voimakkaasta selityskyvystä sekä sen korrelaatiosta kasvupaikkatekijöiden kanssa aiheutui kuitenkin se, ettei aineistossa ollut mahdollista yhdistää puusto- ja maatunnuksia samaan selitysmalliin.

Seuraavaksi kokeiltiin erilaisia mahdollisuuksia selittää suhteellista kasvunlisäystä kivennäismaan vaihtuvan kalsiumin (kCa) ja humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuuden (hN) avulla. Kun kasvunlisäys oli saatu N- ja O-koealan erotuksena, otettiin kalsiumarvo näiden koealojen keskiarvona ja tyyppi-arvo O-koealalta. Kalsium osoittautui selvästi tyyppiä vahvemmaksi selittäjäksi, mutta se ei kuitenkaan pystynyt syrjäyttämään tätä huolimatta näiden tunnusten voimakkaasta korreloimisesta ($r_{hN, kCa} = 0,60$). Niinpä parhaaksi todetussa mallissa ovatkin sekä tyyppi että kalsium mukana:

$$(3) \text{ vaik. } \% = 3,81927 - 74,2041 (hN) + 0,599809 (kCa) \\ - 1,86505 (kCa)/(hN) + 44,0112 \ln (kCa) \\ R = 0,61 \quad \text{s.e.} = 16,40$$

Taulukko 4. Lannoitustarpeen arviointiin käytetty aineisto.
Table 4. Material used for estimation of the fertilizer requirement.

Koe Exp.	Sijainti Location	Puulaji ¹⁾ Species	H ₁₀₀ m	hN ²⁾	kCa ³⁾	Typen vaikutus ⁴⁾ Effect of N m ³ /ha/a	i_v ⁴⁾ m ³ /ha/a	Ikä ⁵⁾ Age	
25	Punkaharju	mä	28	1,29	133	0,2	2	8,6	30
55	Sääminki	"	26	1,88	222	0,7	22	3,4	15
115	Heinolan mlk	"	27	1,89	151	1,5	19	7,9	45
156	"	"	27	2,00	148	1,6	22	7,3	50
224	Kerimäki	"	24	1,30	81	2,9	45	6,4	85
34	Sulkava	ku	26	1,91	123	1,4	50	2,9	22
49	Punkaharju	"	25	2,38	243	0,6	19	3,4	25
112	Heinola	"	29	2,33	76	3,1	20	15,9	33
147	Mouhijärvi	"	21	1,65	185	1,1	15	7,5	90
153	Heinola	"	32	2,41	678	-1,4	-9	14,7	50
154	"	"	31	2,13	406	0,8	4	17,4	35
182	Längelmäki	"	28	1,67	48	2,6	23	11,2	70
183	"	"	26	1,54	48	2,8	27	10,3	80
83	Pihtipudas	mä	21	1,28	46	1,5	58	2,6	90
99	Kuru	"	23	1,18	103	1,6	35	4,4	31
104	Perho	"	18	1,28	28	0,6	26	2,2	130
129	Kuorevesi	"	26	1,52	89	0,6	9	6,3	70
131	Eno	"	25	1,90	70	0,9	9	9,4	45
139	Vieremä	"	25	1,49	147	1,4	19	7,7	30
86	Kuru	ku	18	1,27	55	1,2	36	3,3	105
87	"	"	18	1,50	81	1,9	66	2,8	95
120	Ähtäri	"	22	1,34	82	0,8	15	4,9	90
130	Eno	"	25	1,92	5,8	-0,2	-2	10,9	45
202	Längelmäki	"	20	1,60	49	2,7	42	6,4	90
203	"	"	18	1,39	106	-0,1	-1	8,4	100

1) mä = mänty (*Pinus silvestris* L.) ku = kuusi (*Picea abies* Karst).

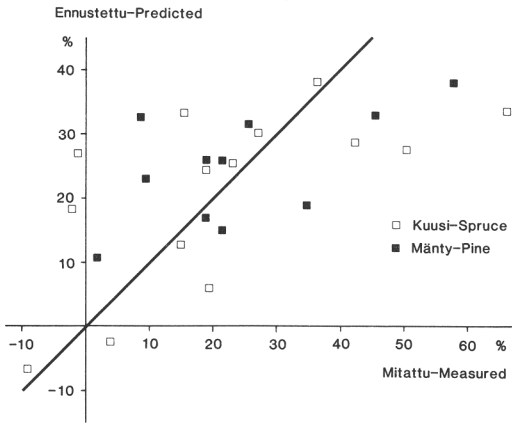
2) Humuksen kokonaistyyppi, % org.aineesta — Total nitrogen in the humus layer, % of organic matter.

3) Kivimaan (0–30 cm) vaihtuva Ca, mg/l — Exchangeable Ca in the mineral soil (0–30 cm), mg/l.

4) Ensimmäisten 5 vuoden aikana — During the first 5 years.

5) Kokeen alussa — At the beginning of the experiment.

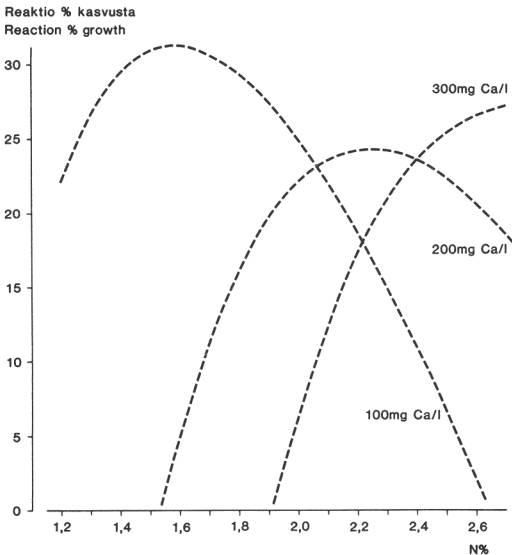
Yhtälön ennustuskkyä voidaan tarkastella kuvan 6 avulla. Nähdään, että suuret (yli 20 %) kasvunlisäykset tulivat myös yhtälön



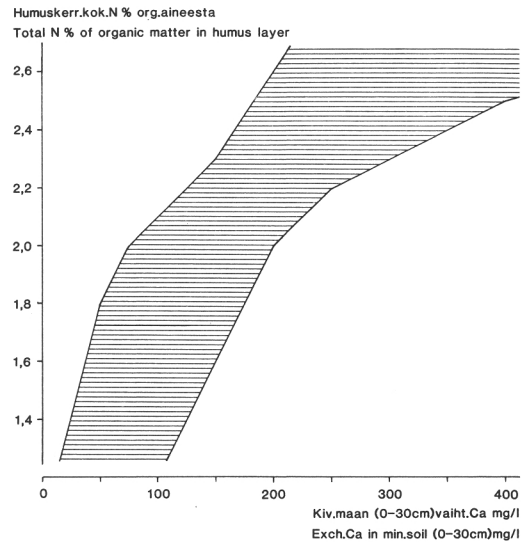
Kuva 6. Mitatun ja maatunnuksilla ennustetun suhteellisen kasvunlisäyksen välinen riippuvuus.
Kuva 6. The relationship between the measured and predicted (using soil factors) relative growth responses.

(3) mukaan suuriksi. Sen sijaan pienillä kasvunlisäyksillä ennuste oli vaihtelevampi. Kääntäen tulos voidaan tulkita siten, että jos ennuste antaa voimakkaan reaktion, on epävarmaa saadaanko silti käytännössä suurta kasvunlisäystä. Toisaalta, jos ennuste on pieni (alle 20 %) tämä yleensä myös toteutuu. Ennusteyhtälön merkitys olisi tämän mukaan siinä, että sillä voidaan erottaa huonot lannoituskohteet muista erilleen.

Mallin toiminnan havainnollistamiseksi on kuvaan 7 laskettu, miten lannoitusreaktio muuttuu typen funktiona eri Ca-tasoilla. Tunnusomaista mallille on, että tyypellä on tietty optimitasonsa, jolla reaktio on suurin. Kun Ca-pitoisuus lisääntyy, tämä optimitypipitoisuus kasvaa myös. Ilmiö voidaan tulkita siten, että humuksen typen tulee olla tietyssä suhteessa kivennäismaan kalsiumiin. Jos tyyppiä on kalsiumiin nähden liian vähän, se kuvastaa epäsuotuisia kasvuolosuhteita, jotka voivat johtua esimerkiksi veden puutteesta. Tällaisessa tapauksessa lannoitus ei paljon pysty vaikuttamaan kasvuun. Optimitalon yläpuolella taas typen lisääntyessä reaktio vähenee, kuten on odotettavissakin.



Kuva 7. Suhteellisen kasvunlisäyksen riippuvuus humuskerroksen orgaanisen aineen kokonaistyyppipitoisuudesta ja kivennäismaan vaihtuvasta kalsiumista.
Figure 7. The dependence of relative growth response on the total nitrogen of organic matter in the humus layer and on the exchangeable calcium in mineral soil.



Kuva 8. Varjostettu alue osoittaa ne kalsiumin ja typen pitoisuuksien yhdistelmät, joilla odotettavissa oleva kasvunlisäys on yli 20 % kasvusta ilman lannoitusta.
Figure 8. The shaded area indicates the combinations of soil calcium and nitrogen contents with which the expected growth response is more than 20 % of the growth without fertilization.

43. Maa-analyysitulosten tulkinta

Koska yhtälön (3) selityskyky on melko alhainen, sen suoranainen käyttö kasvunliäsäyksen ennusteen laskemiseen voi olla harhaanjohtavaa. Niinpä olisikin suositeltavampaa soveltaa sitä vain kohteiden karkeaan jakamiseen ”hyviin” ja ”huonoihin” lannoitusmetsiköihin.

Jos huonon ja hyvän reaktion rajaksi otetaan 20 % kasvusta ilman lannoitusta, voidaan kohteiden arvostelussa käyttää hyväksi kuvaa 8. Kun tunnetaan kivennäismaan pintakerroksen (0—30 cm) vaihtuva kalsium ja

humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus, voidaan kuvasta katsoa, osuuko arvopari hyvän vai huonon reaktion alueelle. Kuten edellä todettiin, tällä tavoin huonoksi osoittautunut kohde ei todennäköisesti reagoi hyvin. Sen sijaan hyväksi todetun kohteen todellinen reagointi on epävarmempaa.

On syytä kuitenkin muistuttaa, että esitetty menetelmä on vain eräs lisätarkistus kohteen valinnassa. Puuston ja kasvupaikan lannoituskelppoisuus ovat ne edellytykset, jotka kohteiden valinnassa tulisi aina ensisijaisesti ottaa huomioon.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Kasvupaikan puuntuotoskyvyn riippuvuutta eri tekijöistä on tutkittu eri puolilla maailmaa varsin runsaasti (Hägglund 1981). Useissa tutkimuksissa kasvupaikan fysikaaliset ominaisuudet ovat osoittautuneet vahvimiksi selittäjiksi. Shrivastava ja Ulrich (1978) totesivat vesitalouden yksin selittävän 57 %, mikroilmaston 9 % ja maan ilmavuuden 2 % kuusikoiden pituusboniteetista Länsi-Saksassa. Ravinnetarjonta puolestaan selitti vain 15 %. Moosmayer (1978) on saanut pelkällä karttatiedolla ja maastokuvauksella selityksi si noin 75 % kasvun vaihtelusta. Tärkein syy maan kemiallisten tunnusten huonoon selityskykyyn lienee niiden suuri luontainen vaihtelu (Blyth ja MacLeod 1981 b).

Maan kemiallisilla ominaisuuksilla ei edellämämainitusta syystä ole mahdollista kuvata kasvupaikkojen välisiä eroja muuta kuin ilmastoltaan ja vesitaloudeltaan samankaltaisilla kasvupaikoilla (Evers ja Moosmayer 1980). Tässä tutkimuksessa rajaus vesitalouden suuntaan ilmeni siten, että hiekkamaat erosivat selvästi muusta aineistosta. Ilmaston merkitystä puolestaan osoitti lämpösumman merkitsevä selityskyky. Tarkastelu maan kemiallisten ominaisuuksien vaikutuksesta pituusboniteettiin ja lannoitusreaktioon on siten rajattu vain Etelä- ja Keski-Suomen kuivahkoille, tuoreille ja lehtomaisille kankailla.

Maan kemiallisista ominaisuuksista tärkeimmiksi osoittautuivat kivennäismaan kalsium ja humuskerroksen tyyppi. Paitsi joh-

dannossa mainittuja vanhempia kotimaisia tutkimuksia tulos on yhtäpitävä myös useiden vastaavissa oloissa saatujen ulkomaisten tulosten kanssa. Typen tunnuksena on useimmiten käytetty C/N-suhdetta, jonka vahva korrelaatio metsikön kasvuun on todettu mm. Saksassa (Hofmann 1976, Rehfuess ja Baum 1980) ja Yhdysvaltain kaakkoisosissa (Lea ja Ballard 1982). Skotlannissa humuskerroksen kokonaistyyppi osoittautui vahvimaksi yksittäiseksi kasvun selittäjäksi ($r = 0,42$) (Blyth ja MacLeod 1981 a).

Tässä tutkimuksessa käytettiin typpitunnuksena humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuutta. Koska orgaanisen aineen hiilipitoisuus vaihtelee varsin vähän (Aaltonen 1940, s. 286), tunnusta voidaan pitää samanarvoisena C/N-tunnuksen kanssa. Kummassakin on näytteen tuhkapitoisuuden vaihtelu eliminoitu. Kun orgaanisen aineen pitoisuus voidaan saada yksinkertaisesti kuivapoltolla, on käytetty typpiarvo helpompi määrittää kuin C/N-arvo. Humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuuden ja boniteetin välisen riippuvuuden osoitti jo Aaltonen (1925).

Maan kalsiumpitoisuuden ja viljavuuden välistä riippuvuutta on korostettu viime aikoina erityisesti itäksalalaisissa tutkimuksissa (Fiedler ym. 1978, Fiedler ym. 1981, Nebe ja Hofmann 1982). Tunnuksena on käytetty fluorivetyhappoon liukenevaa kalsiumia A_1 -horisontissa. Suomessa käytettävä hapan

ammoniumasetaatti uutaa vain vaihtuvan kalsiumin, kun taas saksalaiset luvut osoittavat kokonaiskalsiumia. Tästä erosta huolimatta taustalla oleva ilmiö lienee sama, sillä myös vaihtuvan kalsiumin ja maan viljavuuden välinen riippuvuus on havaittu toistuvasti (Viro 1951, Urvas ja Erviö 1974). Käytännöllisistä syistä tässä tutkimuksessa Ca-arvot on ilmoitettu yksikössä mg/l maata, jotta vertailtavuus edellä mainittuun Urvaksen ja Erviön sekä myös maataloudellisen viljavuustutkimuksen tuloksiin olisi mahdollista (Kurki ym. 1965).

Koska maan typpi ja kalsium korreloivat vahvimmin kasvupaikan viljavuuden kanssa, näiden selityskyky typpilannoituksella saatavalle kasvunlisäykselle tuntuu myös loogiselta. Kalsiumin osalta tulos on samankaltainen kuin Fiedlerin ym. (1978) tutkimuksissa.

Mainittu julkaisu antaa raja-arvoksi kokonaiskalsiumpitoisuudelle A₁- ja B-horison-teissa 0,18 %. Typpilannoituksella on odotettavissa kasvunlisäystä vain tätä alhaisemmilla pitoisuuksilla. Vastaavasti tässä tutkimuksessa saatiin vaihtuvan kalsiumin raja-arvoksi 300 mg Ca/l.

Kalsiumpitoisuuden lisäksi asiaan vaikuttaa kuitenkin myös humuksen tyyppi. Saksalaisissa tutkimuksissa tämä on otettu huomioon vain epäsuorasti toteamalla, että kalsiumpitoisuus osoittaa typen mineralisaation tasoa (Nebe ja Hofmann 1982). Ruotsissa taas on kiinnitetty huomiota erityisesti typen tarjontaa osoittaviin tunnuslukuihin (Nömmik 1978). Tässä työssä esitety tulos on siten eräänlainen yhdistelmä yllämainituista näkökohdista.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Aaltonen, V.T. 1925. Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Waldboden. Summary: The decomposition of nitrogenous compounds in woodland soils. *Commun. Inst. Quaest. For. Finl.* 10(6): 1—61.
- 1937. Über die bodenkundliche Bonitierung der Waldstandorte. I. Selostus: Metsäkasvupaikkojen bonitoinnista maan ominaisuuksien perusteella. *Commun. Inst. For. Fenn.* 25(1): 1—90.
- 1940. Metsämaa. 615 p. Porvoo-Helsinki. WSOY.
- 1950. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens. Selostus: Lehtianalyysi metsämaan hyvyyssuokituksen perusteena. *Commun. Inst. For. Fenn.* 37(8): 1—41.
- Baule, H. & Fricker, C. 1970. The Fertilizer Treatment of Forest Trees. 259 p. München. BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Blyth, J.F. & MacLeod, D.A. 1981a. Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in North-East Scotland: I. Relationships between site factors and growth. *Forestry* 54(1): 41—62.
- & MacLeod, D.A. 1981b. Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in North-East Scotland: II. Yield prediction by regression analysis. *Forestry* 54(1): 63—73.
- Braastad, H., Friberg, R. & Gustavsen, H.G. 1974. The volume growth increase after fertilization. *Fören. Skogsträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb.* 1973: 124—138.
- Cajander, A.K. 1949. Forest types and their significance. *Acta For. Fenn.* 56(5): 1—71.
- Dahl, E., Selmer-Anderssen, C. & Saether, R. 1961. Soil factors and the growth of Scotch pine: A statistical re-interpretation of data presented by Viro (1955). *Soil Sci.* 92(6): 367—371.
- Dixon, W.J. & Brown, M.B. (ed.) 1979. BMDP-79. Biomedical Computer Programs. P-series. 880 p. Berkeley-Los Angeles-London. Univ. of California Press.
- Evers, F.H. & Moosmayer, H.U. 1980. Zusammenhänge zwischen Standortseinheiten, Nährstoffverhältnissen des Bodens und Wachstum von Fichtenbeständen im Regionalen Vergleich. *Forstwiss. Cbl.* 99(3): 137—146.
- Fiedler, H.J., Nebe, W., Hofmann, W. & Hunger, W. 1978. Intensivierung der Holzerzeugung durch Stickstoffdüngung in älteren Fichtensbeständen auf grund- und stauwasserfreien Standorten. *Beitr. f.d. Forstwirtschaft.* 12(1): 16—24.
- , Nebe, W., Hofmann, W., Krüger, P., Dreger, K. & Röllig, H. 1981. Beziehungen zwischen Standort und Fichtenwachstum im ostseehenen Bereich. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 25(4): 245—255.
- Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia For.* 454: 1—31.
- & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. *Folia For.* 246: 1—20.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutk.l. Tiedonantoja* 121: 1—28. The Finnish Forest Research Institute.
- Heikinheimo, O. 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinlands. *Commun. Inst. Quaest. For. Finl.* 5(2): 1—132.
- Heikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for

- calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. *Acta For. Fenn.* 131: 1—35.
- Hofmann, G. 1976. Modelle der ökofaktorenabhängigen Zuwachsleistung von Waldbeständen — ein prinzipiell neuer Weg zur Erfassung der forstlichen Standorts-Ertragbeziehungen und zur Aufdeckung natürlicher Produktionsressourcen des Standortes. *Beitr. f.d. Forstwirtschaft.* 10(1): 1—7.
- Hägglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. Review Article. *Forestry Abstracts* 42(11): 515—527.
- Ilvessalo, Y. 1923. Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes. *Acta For. Fenn.* 25(10): 1—31.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 114: 1—55.
- Kurki, M., Lakanen, E., Mäkitie, O., Sillanpää, M. & Vuorinen, J. 1965. Viljavuusanalyysin tulosten ilmoitustapa ja tulkinta. Summary: Interpretation of soil testing results. *Ann. Agric. Fenn.* 4: 145—153.
- Kuusela, K. 1982. Maan bonitointi metsätaloudellisena käsitteenä. *Metsä ja Puu* 1982(3): 4—7.
- Lea, R. & Ballard, R. 1982. Predicting loblolly pine growth response from N fertilizer, using soil-N availability indices. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46(5): 1096—1099.
- Lipas, E. 1979. Alternative methods for calculating growth response to fertilization. *Seloste: Vaihtoehtoisia menetelmiä lannoitusreaktion laskemiseksi.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 97(7): 1—56.
- 1981. Faktoriaalisen lannoituskokeen tulosten tulkinta. Summary: Interpretation of the results from factorial fertilization experiments. *Folia For.* 48: 1—15.
- 1983. Effect of fine material fractions on the results for soil textural parameters. *Seloste: Hienon aineksen vaikutus maan rakeisuustunnuksiin.* *Silva Fenn.* 17(1): 71—76.
- Malm, D., Möller, G. & Nömmik, H. 1974. Gödslings-effektens samband med växtnäringsinnehåll i mark och barr. Summary: Relation between growth response to nitrogen application and nutrient content in soil and needles. *Fören. Skogsträdsfördl., Inst. Skogsförbättr. Årsb.* 1973: 48—75.
- Moosmayer, H.-U. 1978. Die standortskundlich-ertragskundliche Forschung in Baden-Württemberg und ihr Einfluss auf Bonitierung und waldbauliche Planung. *Forstwiss. Cbl.* 97(5): 243—251.
- Nebe, W. & Hofmann, W. 1982. Der Gesamt-Ca-Gehalt des Bodens als wesentliche Fruchtbarkeitskennziffer forstlicher Standorte. *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch.* 22(1): 19—25.
- Nömmik, H. 1978. Kemisk växtnäringsforskning som vägledare för skogsgödslingsrådgivning. Summary: Chemical research on plant nutrition as a guide to forest fertilization. *Kungl. Skogs- o. Lantbr.-akad. Tidskr. Suppl.* 12: 50—59.
- Puustjärvi, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitus-tarpeen ilmentäjänä. *Metsätal. Aikak.l.* 82(1): 26—28.
- Rehfuess, K.E. & Baum, U. 1980. Beziehungen zwischen dem Wachstum von Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.) und chemischen Kennwerten für ihre Stickstoffversorgung. *Forstwiss. Cbl.* 99(3): 146—154.
- Rosvall, O. 1980. Prognosfunktioner för beräkning av gödslings effekter. Summary: Functions for the prediction of fertilizer responses in Sweden. *Fören. Skogsträdsfördl., Inst. Skogsförbättr. Årsb.* 1979: 70—130.
- Seppälä, M. 1971. Evolution of eolian relief of the Kaamasjoki-Kiellajoki river basin in Finnish Lapland. *Fennia* 104: 1—88.
- Shrivastava, M.B. & Ulrich, B. 1978. Quantitative assessment of forest site productivity. *Indian Forester* 104(2): 79—89.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytymisen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Abstract: Influence of the soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. *J. Sci. Agric. Soc. Finl.* 3: 307—319.
- Valmari, J. 1921. Beiträge zur chemischen Bodenanalyse. *Acta For. Fenn.* 20(4): 1—67.
- Viro, P.J. 1947. Metsämaan raekokoomus 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): 1—115.
- 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. Pine stands. *Seloste: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus. I. Männiköt.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 39(4): 1—54.
- 1967. Forest manuring on mineral soils. *Medd. Norske Skogsforsøksv.* 85(23): 111—136.
- Vuokila, Y. 1971. Harvennussmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. *Folia For.* 99: 1—18.
- & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 99(2): 1—271.
- Wilde, S.A. 1958. *Forest Soils.* 537 p. New York. Ronald Press.

Total of 46 references

SUMMARY

Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties

Aims of the study

If the growth of a forest stand can be increased by the application of some nutrient, there is said to be a fertilizer requirement. Accordingly, the detection of a fertilizer requirement necessitates a means of predicting the growth of the stand if it had been fertilized.

A need for fertilization is related to the general relationship between stand growth and nutrient supply of the soil. Hence the first aim of the study was to establish which site factors would correlate best with the wood production of the site. Special attention was given to chemical properties, which can be affected by fertilization. The second aim was to use the knowledge obtained in the first stage to find the best indicators for the fertilizer requirement.

Material and methods

The material used were long-term fertilizer experiments of the Department of Soil Science, Finnish Forest Research Institute. The control plots were used to form the general model for site index prediction, whereas the differences between the N-fertilized and control plots were used to indicate the fertilizer response. Only the reaction during the first five years following fertilization was used.

The location of the experiments is given in Figure 1. Altogether, 70 plots were used, of which 47 were pine stands (*Pinus silvestris* L.) and 23 spruce stands (*Picea abies* (L.) Karst.). Pine was growing on *Myrtillus*-, *Vaccinium*- and *Calluna*-site types (MT, VT and CT), spruce on *Myrtillus*- and *Oxalis-Myrtillus*-site types (MT and OMT, see Cajander (1949) for description of site types). Soils were mostly podsoils developed on fine sandy till. Stratified fluvioglacial soils were found in 18 % of the sample plots.

Soil properties were determined from humus and mineral soil samples using the routine methods of the Soil Science Department (Halonen et al. 1983). The soil data are given in Table 1. The volume and growth of the trees were measured at the time of establishing the experiment in question and after five years. The methods used are described by Lipas (1979). The initial variation of the sample plots within an experiment was taken into account by using covariance correction (Lipas 1981). The dominant height at 100 years age was used as the site index. It was determined using the height growth curves of Gustavsen (1980) and Vuokila and Väliaho (1980). The site index was based on 3–5 measurements of dominant height during a period of 10–20 years.

The dependence of the site index on soil properties

Of the 27 site variables (Table 1) used in a stepwise regression analysis to describe the site index, eight were found to be significant. The regression model is given in Table 2. Logarithmic transformations were used for nutrient contents of Ca, N, K and P.

The exchangeable Ca of the mineral soil had the strongest correlation with site index (Figure 2), the total N of the organic matter in the humus layer being the next strongest variable (Figure 3). Two of the independent variables, pH and exchangeable K in the humus layer, had negative coefficients. This is probably

due to intercorrelation with the other independent variables in the model.

In order to avoid such illogical features in the model, and to make it easier for practical use, the model was simplified to the form given in Table 3. Mineral soil Ca and humus N were kept in the model as dependent soil variables. Temperature sum and median grain size were used as covariates to correct for differences in climate and texture between sites. A dummy variable, the site type CT, was also retained in the model to indicate that these dry sites are more dependent on water supply than fresher sites. Site index can be estimated using the graph in Figure 4, which is based on the simplified model. Figure 5 is meant to visualize the accuracy of the model. It should be noted that the graph in Figure 4 can be used only for a rough approximation of the site index.

Assessment of the fertilizer requirement

Since the site index model proved not to be an effective tool to predict the fertilizer response, a specific model for fertilizer requirement was developed. It was based, however, on the previous finding that the main fertility factors determining site productivity are mineral soil Ca and humus N contents.

Of the 48 experiments available for this study, only 25 were used in the final analysis. The rest were rejected for several reasons. The remaining material (Table 4) thus represents the fresher sites with medium sand or finer soil textures in Southern and Central Finland. Even within this group some experiments had to be rejected due to too large between sample plot variation.

The measure of fertilizer response used was the relative increase in growth during the first 5-year period following fertilization in comparison to the growth on control plots. This was then used as the dependent variable in a stepwise regression analysis. At first it was attempted to use both stand characteristics and soil factors in the same model, but because of the dominance of the stand characteristics only soil factors were used in the final model, which is described by equation (3) on page 11. The accuracy of this model is illustrated in Figure 6, which shows that the main application of the model would be in detecting sites with an expected poor response.

Figure 7 describes a specific feature of the model. It indicates that, for a certain level of calcium, there is always an optimum level of nitrogen. The more Ca there is in the soil the bigger is the optimum content of N. Figure 8 is given to facilitate the interpretation of soil analysis results.

Discussion

The importance of soil Ca and N in determining the productivity of a site has been found also in many earlier Finnish studies (e.g. Valmari 1921, Aaltonen 1937, Viro 1951). The present paper's main contribution to the subject is to formalise this relationship using present-day methods and units.

As to the N fertilizer requirement, the importance of calcium has been emphasized in several German papers (e.g. Fiedler et al. 1978, Nebe and Hofmann 1982), and nitrogen analysis for this purpose has been studied in Sweden (Nömmik 1978). This paper can be considered as a synthesis of the both aspects.

ODC 542 + 114.54
ISBN 951-40-0698-4
ISSN 0015-5543

LIPAS, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. Folia For. 618: 1—16.

The dependence of site index (H_{100}) on soil properties was studied. Assessment of the growth response to nitrogen fertilization was then studied on the basis of the productivity model. Both the productivity and the fertilizer response was best predicted using exchangeable Ca of the mineral soil and the N content of the organic matter of the humus layer. It is proposed that these factors could be used to screen out sites with an expected poor N fertilization response.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Soil Science, PL 18, SF-01301 Vantaa 30, Finland.

ODC 542 + 114.54
ISBN 951-40-0698-4
ISSN 0015-5543

LIPAS, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. Folia For. 618: 1—16.

The dependence of site index (H_{100}) on soil properties was studied. Assessment of the growth response to nitrogen fertilization was then studied on the basis of the productivity model. Both the productivity and the fertilizer response was best predicted using exchangeable Ca of the mineral soil and the N content of the organic matter of the humus layer. It is proposed that these factors could be used to screen out sites with an expected poor N fertilization response.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Soil Science, PL 18, SF-01301 Vantaa 30, Finland.

Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

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

Metsäekonomin 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) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental 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:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 603 Palmgren, Kristina: Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming.
- No 604 Pelkonen, Paavo: Temperature response of electrical impedance in poplar cuttings: A preliminary concept. Poppelipistokkaiden impedanssin riippuvuus lämpötilasta: Alustava malli.
- No 605 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1982—84. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1982—84.
- No 606 Arbetsorganisation i skogsbruket. Slutrapport för ett projekt vid Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd under perioden 1981—1983. The organization of work in forestry. Metsätalouden työorganisaatio.
- No 607 Jokinen, Katriina: Männyn tyvitervastaudin leviäminen ja torjunta harmaorvakalla (*Phlebiopsis gigantea*) männyn taimikoiden harvennuksessa. The spread of *Heterobasidion annosum* and its control using *Phlebiopsis gigantea* during thinnings in the young stands of Scots pine.
- No 608 Savonen, Eira-Maija & Lähde, Erkki: Paakun taimimäärän vaikutus männyntaimien kehitykseen. Effects of seedling density on the development of containerised Scots pine seedlings.
- No 609 Lehto, Tarja: Kalkituksen vaikutus männyn mycorrhizae of Scots pine. The effects of liming on the mycorrhizae of Scots pine.
- No 610 Repo, Tapani, Mela, Martti & Valtanen, Jukka: Männynversosyövälle alttiiden ja vastustuskykyisten taimi-alkuperien erottaminen neulasten ominaisimpedanssin mittauksella. Separation of susceptible and resistant provenances of Scots pine to *Gremmeniella abietina* by specific needle impedance.

1985

- No 611 Raitio, Hannu: Yksivuotiaiden avomaalla kasvatettujen paljasjuuristen männyntaimien kasvuhäiriön oireet ja esiintyminen. Symptoms and occurrence of a growth disturbance in one-year-old, bare-rooted Scots pine seedlings raised in the open.
- No 612 Långström, Bo: Tukkimiehintäin aiheuttamat tuhot Suomessa vuosina 1970—1971. Yhteispohjoismaisen tutkimuksen Suomea koskevat tulokset. Damage caused by *Hylobius abietis* in Finland in the years 1970—1971. Results from the Finnish part of a joint Nordic study.
- No 613 Ferm, Ari & Markkola, Annamari: Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season.
- No 614 Hytönen, Jyrki: Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos. Leafless above-ground biomass production of *Salix 'Aquatika'* fertilized with industrial sludge.
- No 615 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory.
- No 616 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen, ilman lämpösunnan ja eräiden kasvualustan ominaisuuksien vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun turvemailla. Effect of fertilization, temperature sum and some peat properties on the height growth of young pine sapling stands on peatlands.
- No 617 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun suometsät vuosina 1951—1983. Peatland forests in Keski-Pohjanmaa, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1951—1983.
- No 618 Lipas, Erkki: Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties.
- No 619 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemailla. Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on peatlands.
- No 620 Metsätalastollinen vuosikirja 1984. Yearbook of Forest Statistics, 1984.
- No 621 Salo, Kauko: Luonnonmarjojen ja sienten poiminta Suomussalmella ja eräissä Pohjois-Karjalan kunnissa. Wild-berry and edible-mushroom picking in Suomussalmi and in some North Karelian communes, Eastern Finland.
- No 622 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyaihoiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista. Skogsforskningsinstitutets beslut gällande enhetsvolymtal för användning vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och slipertimmer.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341