

KÄYTÄNNÖN TYPPILANNOITUKSEN VAIKUTUS VARTTUNEIDEN KUUSIKOIDEN KASVUUN JA TUOTOKSEEN

CARL JOHAN WESTMAN, TAPIO NUMMI & MATTI LEIKOLA

Summary

*THE EFFECT OF LARGE SCALE NITROGEN FERTILIZATION ON GROWTH AND YIELD OF MATURE
NORWAY SPRUCE STANDS IN SOUTH-WESTERN FINLAND*

Saapunut toimitukselle 31. 7. 1985

Tutkimuksessa on selvitetty Lounais-Hämeessä sijaitsevassa Mustialan-Kutisen yhteismetsässä vuosina 1969-1972 tehtyjen varttuneiden kuusivaltaisten metsiköiden typpilannoitusten vaikutusta puuston kasvuun. Aineisto kerättiin 55 MT:llä ja OMT:llä kasvavasta metsiköstä, joihin kuhunkin sijoitettiin 2-7 kpl relaskoopikoealoja. Kultakin relaskoopikoealalta valittiin viisi koepuuta. Näistä mitattiin rinnankorkeusläpimitta, läpimitta 6 m:n korkeudelta, pituus sekä em. puustotunnusten kasvu lannoituksen jälkeen ja lannoitusta edeltäneenä 10-vuotiskautena. Aikaisemman kasvun perusteella arvioitiin samojen tunnusten kehitys, mikäli puuta ei olisi lannoitettu. Puut kuutiotiin eri-ikäisinä ja aikaisempi kasvu sekä lannoituksella saatu kasvunlisäys laskettiin erotusmenetelmällä.

Lannoitus oli lisännyt puuston kasvua v. 1977 mennessä keskimäärin 2,2 m³/ha/v., jolloin lannoitusvaikutus ei vielä ollut päättynyt. Kun lannoitusvaikutuksen kestoksi oletettiin kahdeksan vuotta, saatiin lannoituksen kokonaisvaikutukseksi 17,5 m³/runkopuuta/ha. Lannoitustoiminta oli rahassa arvioiden tuottanut 525-659 mk/ha valtion avustuksen määrästä ja käytetystä diskonntausprosentista riippuen.

1. JOHDANTO

Metsänlannoituksen vaikutusta puiden kasvuun ja tuotokseen on tutkittu lähes yksinomaan vakioituissa olosuhteissa seurattujen kenttäkokeiden avulla. Koealat on pyritty sijoittamaan mahdollisimman homogeenisiin metsiköihin ja lannoitteet on levitetty niin tasaisesti kuin mahdollista. Eri lannoiteyhdistelmien vaikutusta puuston kasvuun on seurattu mittaamalla koealoja säännöllisesti ja vertaamalla lannoitettuja metsiköitä lannoittamattomiin. Tällaisten kokeiden läpivieminen on kuitenkin työlästä ja vastaukset asetettuihin hypoteeseihin saadaan pitkän ajan kuluttua.

Käytännön lannoitusten puiden kasvua lisäävää vaikutusta on arvioitu kestokokeissa saatujen tulosten avulla (Lipas 1979), vaikka kasvunlisäys käytännön olosuhteissa on tunnetusti pienempi mm. lannoitelevityksen epä-

tasaisuuden vuoksi (Paavilainen & Virtanen 1977, Jonsson 1976, 1977a, b). Toistaiseksi on Suomessa tehty ainoastaan pari tutkimusta missä on pyritty suoraan mittaamaan käytännön lannoitusten antamia kasvunlisäyksiä (Keltikangas & Seppälä 1973, Silvennoinen 1976). Tarkoitukseen hyvin soveltuvia seurantamenetelmiä ei myöskään tällä hetkellä ole valmiiksi kehitettynä, joskin Kukkola ja Saramäki (1983) ovat esittäneet sangen pitkälle kehitetyn matemaattisen mallin lannoitusvaikutuksen ennustamiseksi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on toisaalta selvittää kertamittauksien käyttömahdollisuuksia suuren metsälön metsänlannoituksen tuloksellisuutta arvioitaessa sekä toisaalta arvioida typpilannoituksen vaikutusta tuoreiden ja lehtomaisten kankaiden kuusikoiden kasvuun ja tuotokseen.

Selvitys, joka on tehty Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksessa, sai alkunsa Mustialan-Kutisen yhteismetsän aloitteesta sen halutessa selvittää laajamittaisen lannoitusohjelmansa tuloksellisuutta. Työ on jakautunut tekijöiden kesken seuraavasti: yhteisesti laaditun tutkimussuunnitelman pohjalta Nummi on vastannut työn käytännön toteutuksesta, ja hän on myös laatinut alustavan raportin (Nummi 1980). Westman on täydentänyt tulosten laskentaa ja tarkastelua. Lopullisen

2. TUTKIMUSAINEISTO

Mustialan-Kutisen yhteismetsä sijaitsee Tammelan kunnan pohjoisosassa Lounais-Hämeessä (25°50'E, 60°55'N). Alueen korkeus merenpinnasta on noin 130 m. Yhteismetsän pinta-ala oli tutkimushetkellä 4 101 ha, josta metsämaata oli 3 570 ha. Mustialan-Kutisen alueelle leimaa antava yleispiirre on maaperän viljavuus. Yhteismetsälle oli ominaista hakkuukypsien ja runsaspuustoisten metsien suuri osuus. Niiden metsänhoidollinen tila oli hyvä; vuotuinen hakkuusuunnite oli tutkimuskaudella 18 700 m³.

Metsänlannoituksen ryhdyttiin Mustialan-Kutisen yhteismetsässä v. 1962. Aluksi vuotuiset lannoitusalat olivat vähäisiä ja toiminta kohdistui turvemaille. Vuonna 1969 alettiin lannoittaa myös kangasmaita ja samalla lannoitettu pinta-ala kasvoi huomattavasti:

Lannoitusvuodet	Turvemaita, ha	Kangasmaita, ha
1962	121	—
1969–72	258	502
1973–75	38	22
Yhteensä	417	524

Tutkimukseen sisällytettiin kaikki yhteismetsässä vv. 1969–1972 lannoitetut tuoret ja lehtomaiset kankaat. Kaikkiaan metsiköitä oli 55 kpl, yhteiseltä pinta-alaltaan 494 ha. Näistä oli OMT:llä 159 ha ja MT:llä 335 ha. Metsiköiden keskimääräinen pinta-ala oli 8,9 ha. Tutkimuskauten lannoitukset on kuvattu yksityiskohtaisesti taulukossa 1. Puusto oli kuusivaltaista; kuusen osuus tilavuudesta oli 79 %, männyn 18 % ja koivun 3 %. Keskimääräiset metsikkötunnukset on esitetty lan-

noituskäsitteilyttään ja koko aineistolle taulukossa 2. Tutkimusmetsiköihin sijoitettiin kaikkiaan 242 relaskooppikoalaa. Koalojen määrä vaihteli metsikön koon ja muodon mukaan kahdesta seitsemään ollen keskimäärin 4,4 kpl/metsikkö. Koalat sijoitettiin etukäteen kuviokartalle ja paikallistettiin maastossa bussolin ja askelmitan avulla. Maastossa määritettiin koestalalta metsätyyppi ja puulajisuhteet sekä luettiin kaikki puut läpimittaluokittain rinnankorkeudelta.

Kasvukoepuiksi valittiin kultakin koestalalta viisi puuta seuraavasti: kaksi koestan suurinta puuta, kaksi koestan keskipistettä lähinnä olevaa, mediaanipuuta suurempaa puuta ja yksi keskipistettä lähinnä oleva mediaanipuuta pienempi puu. Koivuja ei hyväksytty koepuiksi. Koepuista mitattiin maastossa seuraavat tunnuks:

– Läpimitta 1,3 ja 6,0 metrin korkeudelta (1 mm)
 – Kuoren paksuus vastaavilta korkeuksilta (1 mm)
 – Puun pituus (0,5 m) sekä
 – Viiden viimeisen vuoden pituuskasvu (0,1 m).

Maastomittaukset tehtiin touko-kesäkuussa 1978. Koska puiden vuotuinen kasvu oli parhaimmillaan mittauksen aikana, otettiin kasvu huomioon ainoastaan vuoteen 1977 saakka. Koepuista määritettiin lisäksi puulaji ja puun latvuksen asema koestan valtapuihin nähden.

Lustomikroskoopilla mitattiin kaikista koepuista rinnankorkeudelta ja kuuden metrin korkeudelta kairatuista lastuista sekä lannoitusta edeltäneen 10-vuotiskauden että lannoit-

tusta seuranneen kauden läpimitan kasvu. Lisäksi mitattiin 125:stä satunnaisesti valitusta kairanlastusta koepuiden rinnankor-

Taulukko 1. Lannoitustoiminta Mustialan-Kutisen yhteismetsässä vuosina 1969–1972.
 Table 1. Forest fertilization in the Mustiala-Kutinen Forest in 1969–1972.

Lannoitusvuosi Year of fertilization	Metsätyyppi Forest site type according to Cajander (1949)	Lannoitettu pinta-ala, ha Area fertilized, ha	Lannoitemäärä, kg · ha ⁻¹ tyyppiä Fertilizer dosage, kg · ha ⁻¹ nitrogen	Lannoite Fertilizer ²	Lannoitusmenetelmä Fertilization method
1969	<i>Oxalis-Myrtillus</i>	16,3	93,6	Urea	Käsin
	<i>Myrtillus</i>	40,2	93,6	—”—	by hand
1970	<i>Oxalis-Myrtillus</i>	27,5	90,2	—”—	—”—
	<i>Myrtillus</i>	33,7	90,2	—”—	—”—
1971	<i>Oxalis-Myrtillus</i>	30,1	117,5	—”—	—”—
	” ”	7,0 ¹⁾	168,9	Oulun salp.	—”—
	<i>Myrtillus</i>	24,7	117,5	Urea	—”—
1972	” ”	3,6	122,2	Oulun salp.	—”—
	<i>Oxalis-Myrtillus</i>	41,9	156–159	—”—	Lento
	” ”	36,0	90,0	—”—	by aircraft
	<i>Myrtillus</i>	232,4	156–159	—”—	—”—
” ”	10,7	—”—	—”—	—”—	—”—

¹⁾ 18,4 ha kokoisien kuvion 7,0 ha suuruiselle osalle levitettiin 4300 kg oulunsalpietaria, kuvion loppuosalle levitettiin ureaa kuten muille lehtomaisille kankailla 1971. Mittauksessa ja laskennassa k.o. kuvio on käsitelty otantayksikkönä, joka on saanut keskimäärin 137 kg · ha⁻¹ tyyppiä.

²⁾ In 1971 a 7.0 ha area was separated from an 18.4 ha tree stand and treated with 4300 kilogramme of ammonium nitrate with lime (oulunsalpietari), the remaining part of the stand was fertilized with urea as others *Oxalis-Myrtillus* sites in 1971. In the calculations the stand has been treated as one unit which had obtained 137 kg · ha⁻¹ nitrogen as urea and ammonium nitrate with lime.

³⁾ See Table 2 for legend.

Taulukko 2. Tutkimusmetsiköiden puustotunnukset lannoituskäsitteilyttään ja keskimäärin koko aineistolle.
 Table 2. Tree stand data given for the seven site type – fertilizer treatments.

Käsittely- indeksi Index of treatment	Lannoitelaji ja -määrä ¹⁾ Fertilizer and dosage ¹⁾	Metsä- tyyppi Site type	Metsiköitä käsittelyssä Number of tree stands	Rinnankorkeus- ikä, a Age at breast height, a	Tilavuus Stand Volume m ³ · ha ⁻¹ X̄ ± S _x	Keskiläpimitta, cm Mean diameter at 1.3 m height, cm X̄ ± S _x	Kasvu lann. ed. 10-vuotiskaud. Mean growth 10 years prior to fertilization m ³ · ha ⁻¹ · ha ⁻¹ X̄ ± S _x
1	u 117 K	OMT	5	100.0067	244±55	29±0,9	5,3±0,3
2	os 156–160 K	OMT	11	108.0063	287± 9	31±0,9	4,6±0,3
3	u 90–93 K	OMT	6	89.0065	236±18	26±3,4	5,1±0,3
4	os 90 L	OMT	6	80.0061	252± 5	29±3,1	6,0±0,9
5	u-os 137 L	OMT	3	93.0063	248±23	25±1,2	4,6±0,6
6	os 156–160 L	MT	16	115.0062	263± 7	30±1,0	3,8±0,3
7	u 90–93 K	MT	8	106.0064	276±17	31±1,5	4,9±0,4
Kaikki kuviot All stands			55	103.0063	269± 5	30±0,5	4,7±0,2

¹⁾ u = urea, os = oulunsalpietari; numerot ilmaisevat levitettyä lannoitemäärää kilogrammana tyyppiä hehtaaria kohti; K = levitys käsin ja L = lentolevitys.

²⁾ u and os commercial fertilizers, u = urea and os = ammonium nitrate with lime; numbers indicate applied amounts of nitrogen in kilogramme per hectare; K = fertilizer spread by hand and L = by aircraft.

tusta seuranneen kauden läpimitan kasvu. Lisäksi mitattiin 125:stä satunnaisesti valitusta kairanlastusta koepuiden rinnankor-

keusläpimitan kasvu viisivuotiskausittain ytimeen asti. Kaikilta koepuilta määritettiin rinnankorkeusikä.

3. LANNOITUSVAIKUTUKSEN ARVIOINTI

Kuutioimalla lannoitettu puu ja vertailemalla tätä lannoittamattoman puun kuutiomäärään saadaan lannoituksen kasvua lisäävän vaikutuksen estimaatti em. kuutiomäärien erotuksena (esim. Lipas 1979). Koska tutkimuksen kohteena olevat metsiköt oli lannoitettu metsälön normaalin taloustoiminnan puitteissa, lannoittamatta jätettyjä vertailumetsiköitä ei ollut käytettävissä. Oli kehitettävä menettely jolla laskennallista tietä määritettäisiin tutkimusmetsiköiden kuutiomäärät mittaushetkellä (1978), mikäli niitä ei olisi lannoitettu.

Rinnankorkeusläpimitan estimaatti saatiin seuraavasti: satunnaisesti valituista 125:stä koepuusta laskettiin lannoitusta edeltäneen kauden pohjapinta-alan kasvuprosentti viisivuotiskausittain käyttäen kunkin jakson loppuarvoa vertaussuurena. Saadut kasvuprosentit tasoitettiin puulajeittain ja metsätyypeittäin rinnankorkeuslängön funktiona yhtälön muotoon.

Kuuden metrin korkeudelta tehty kairaus ei ulottunut ytimeen, joten täysin samanlainen menettely ei käynyt tässä päinsä. Sen sijaan laskettiin 367 puun lannoitusta edeltäneen kymmenvuotiskauden vuotuiset pintakasvuprosentit; arvot tasoitettiin rinnankorkeuslängön funktiona vastaavalla menettelyllä kuin edellä yhtälön muotoon.

Kaikille koepuille laskettiin rinnankorkeudelta ja kuuden metrin korkeudelta lannoitusta edeltäneen 10-vuotiskauden pintakasvuprosentti käyttäen vertaussuurena jakson loppuarvoa. Saadun kasvuprosentin oletettiin kehittyvän lannoitushetkestä eteenpäin vastaavan tasoitetun käyrän suuntaisesti, mikäli puuta ei olisi lannoitettu (kuva 1). Kyseinen pintakasvuprosentti, mikäli puuta ei olisi lannoitettu, saatiin ratkaisemalla seuraava yhtälö:

$$b_{t+n} = b_t - a_t + a_{t+n} \quad (1)$$

Puun läpimitat, mikäli sitä ei olisi lannoitettu, saatiin seuraavasta yhtälöstä:

$$d_{t+n} = \sqrt{\frac{100 \times d_t^2}{100 - n \times b_{t+n}}} \quad (2)$$

missä

a_t = tasoitusyhtälöstä saatu lannoittamattoman puun pohjapinta-alan kasvuprosentti iällä t (lannoitusajan-kohtaa vastaava ikä)

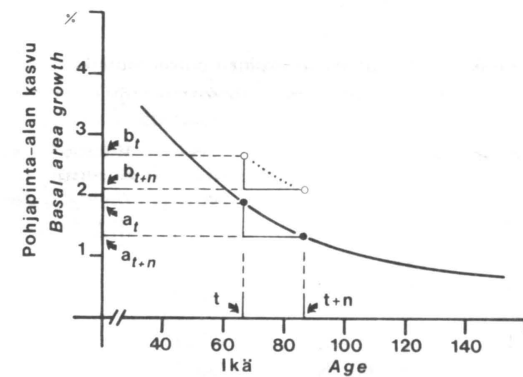
a_{t+n} = tasoitusyhtälöstä saatu lannoittamattoman pohjapinta-alan kasvuprosentti iällä $t+n$ (mittausajankohtaa vastaava ikä kun lannoituksesta on kulunut n vuotta).

b_t = koepuun todellinen pohjapinta-alan kasvuprosentti lannoitushetkellä.

b_{t+n} = estimoitu pohjapinta-alan kasvuprosentti mittaushetkellä.

d_t = estimoitu läpimitta hetkellä $t + n$.

Koepuiden pituusestimaatteja ei voitu laskea samalla tavalla kuin läpimittaestimaatteja, koska maastossa voitiin mitata vain viimeisten viiden vuoden pituuskasvu, johon lannoitus oli vaikuttanut ja tämäkin mitta-



Kuva 1. Periaatekaavio, joka havainnollistaa miten estimoitettiin vastaavia puutunnuksia olettaen, että metsikköä ei olisi lannoitettu. Muuttujien selitykset on esitetty yhtälön (1) yhteydessä. Esimerkissä käytetty iän ja pohjapinta-alan suhteellisen kasvun välinen funktio (ehjä käyräviiva), perustuu aineiston OMT kuusikoista saatuihin havaintoihin. Pilkkuviiva edustaa määrätyn koepuun merkitystä jaksona t .

Figure 1. The principles for estimating individual sample tree basal area for hypothetical "nonfertilized" conditions from stand data. Variables are defined in formula (1). The curvilinear function in the example describes the relationship between tree age and relative basal area growth for Norway spruce (*Picea abies*) sample trees on Oxalis-Myrtillus sites. The dotted line describes the corresponding relationship for any sample tree during the period t .

oli epätarkka. Näin ollen jouduttiin tukeutumaan keskimääräisiin pituutta kuvaaviin funktioihin. Tässä käytettiin Ilvessalon (1965 s. 119) valtakunnan metsien inventoinnin perusteella laskemia keskimääräisiä pituuskasvuja iän funktiona, puulajeittain ja metsätyypeittäin. OMT:n männyille käytettiin 8 % suurempia arvoja kuin MT:n männyille (Ilvessalo & Ilvessalo 1975).

Puun pituudesta mittaushetkellä vähennettiin lannoituksen jälkeisen ajan pituuskasvu, joka saatiin olettamalla koko jakson vuotuinen pituuskasvu yhtä suureksi kuin mitattu keskimääräinen viimeisen viiden vuoden pituuskasvu. Näin saatuun puun lannoitushetken pituuteen lisättiin funktiolla saatu pituuskasvu, jolloin päästiin puiden mittaushetkeä vastaavaan pituuteen mikäli näitä ei olisi lannoitettu. Vastaavasti vähentämällä lannoitushetken aikaisesta pituudesta funktiolla saadut viisivuotiskausien pituuskasvut päästiin lannoitusta edeltäneiden viisivuotiskausien alkupituuksiin.

Kaikille puiden tilavuuden määrittämisessä tarvittaville tunnuksille ($d_{1,3}$, d_6 , ja h) las-

kettiin arvot viisi ja kymmenen vuotta ennen lannoitusta, lannoitushetkellä, mittaushetkellä (lannoitettuna) sekä tilanteessa, että puuta ei olisi lannoitettu. Kunkin koepuun tilavuus määritettiin Laasasenahon (1983) julkaisemilla yhtälöillä ja saatujen tilavuuksien erotuksena laskettiin puiden kuoreton kasvu sekä lannoitetun ja lannoittamattoman tilavuuden erotuksena kasvunlisäys (kuoretta).

Koepuille laskettujen tilavuustunnuksien perusteella muodostettiin metsikkökohtaisia lannoitusreaktioita kuvaavia tasoituskuoria, joilta saatiin vastaavat läpimittaluokittaiset estimaatit. Muodostamalla relaskooppikoealoilta luettujen puiden perusteella metsikkökohtaiset runkolukusarjat voitiin laskea hehtaarikohtaiset kasvunlisäykset. Vastaavalla tavalla muunnettiin lannoitushetken ja sitä edeltäneiden kausien koepuukohtaiset tunnuksukset hehtaarikohtaisiksi. Runkolukusarjoissa mukana olevien sekapuuna kasvavien koivujen kasvu oletettiin yhtä suureksi kuin vastaavan läpimittaisten havupuiden (Viro 1974).

4. TULOKSET

Lannoituksen aiheuttama, pinta-alalla painotettu keskimääräinen kasvunlisäys oli $2,20 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1}$. Olettaen, että lannoituksen vaikutusaika oli sama kuin keskimääräinen lannoitusjakso (5,9 vuotta), kokonaiskasvun lisäys vuoteen 1977 mennessä oli $12,98 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1}$ mikä vastaa noin viidenkymmenen prosentin lisäystä lannoittamattomaan "normaalikasvuun" (taulukko 3). Vanhimpien, vuonna 1969 tehtyjen lannoitusten antamat tulokset viittaavat siihen, että käsittely lisäsi puiden kasvua vielä yhdeksäntenäkin lannoituksen jälkeisenä vuotena.

Eri lannoituskäsittelyjen antamat kasvunlisäykset vaihtelivat melkoisesti. Tämä onkin luonnollista jo sen vuoksi, että levitettyt typpimäärät vaihtelivat 90 ja $170 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ välillä (taulukko 3). Lisäksi lannoitteen levitysmenetelmällä oli oma vaikutuksensa kasvunlisäykseen.

Olettaen että typpilannoituksen aiheuttama kasvunlisäys on suoraan verrannollinen annettuun typpimäärään aina 200 typpiki- loon hehtaaria kohden (esim. Möller 1973, Gustavsen & Lipas 1975), laskettiin vastaavat 100 kilon typpimäärän aiheuttamat absoluuttiset ja suhteelliset keskimääräiset kasvunlisäykset. Korjauksen jälkeen eri käsitte- lyt yhdistettiin tarkasteltaessa kasvunlisäyksen ja metsikkötunnusten välisiä riippuvuuksia. Kuviissa 2-4 on esitetty korjattu kasvunlisäys rinnankorkeuslängön, keskilämpötilan ja lannoitusta edeltäneen kasvun funktiona. Niille tapauksille, joissa korrelatio oli merkitsevä vähintään 5 % riskitasolla laskettiin myös lineaariset tasoitusmallit (taulukko 4).

Laskemalla kunkin metsikön puuston keskipituus ja -läpimitta lannoitettuna ja lannoittamatta määritettiin puutavaralajijakau- mat kummassakin tapauksessa. Nämä hin-

Taulukko 3. Lannoituksen antama kasvunlisäys käsittelyittäin. Absoluuttiset ja suhteelliset kasvuluvut on esitetty sekä todellisina kasvulukuina että vakioituna sadan typpikilogramman lannoitemäärälle.

Table 3. Mean volume growth increase absolute and relative in the fertilizer treatments.

Käsittely- indeksi ¹⁾ Index of treatment ¹⁾	Lannoitelaji, - määrä ja levitysmenetelmä Fertilizer, dosage and spraying method		Todellinen kasvunlisäys Measured growth increase		Vakioitu kasvunlisäys (100 kg N · ha ⁻¹) Standardised growth increase (100 kg N · ha ⁻¹)		
			m ³ · ha ⁻¹ · a ^{-1 2)} $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Suht. rel. $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	m ³ · ha ⁻¹ · a ^{-1 2)} $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Suht. rel. $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	
1	u	117	K	1,8±0,2	0,34±0,03	1,5±0,2	0,30±0,03
2	os	156-160	K	2,6±0,2	0,58±0,49	1,6±0,1	0,36±0,03
3	u	90-93	K	1,9±0,3	0,39±0,06	2,1±0,3	0,43±0,07
4	os	90	L	1,9±0,3	0,38±0,09	2,1±0,3	0,42±0,10
5	u-os	117-137	L	2,2±0,1	0,51±0,08	1,8±0,1	0,41±0,07
6	os	156-160	L	2,5±0,6	0,64±0,13	1,6±0,1	0,41±0,04
7	u	90-93	K	2,1±0,2	0,42±0,02	2,3±0,3	0,46±0,03
Kaikki All				2,2±0,1	0,51±0,03	1,8±0,1	0,40±0,02

¹⁾ ks. taulukko 2.

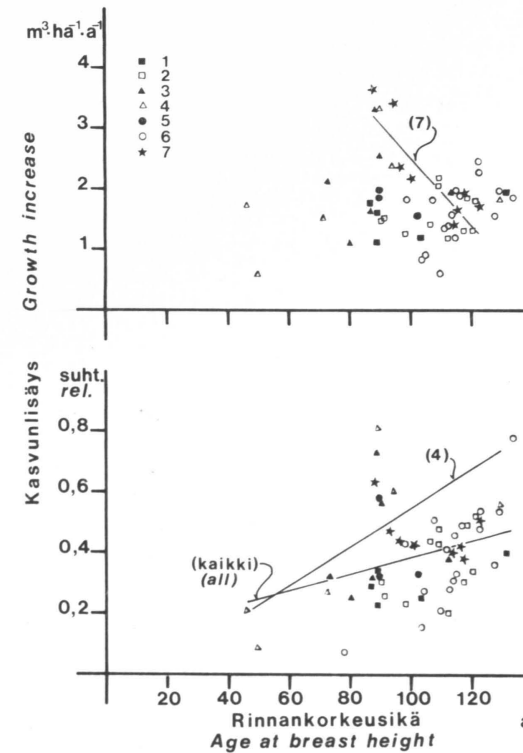
¹⁾ see table 2.

²⁾ Mean annual growth increase

Taulukko 4. Absoluuttisen sekä suhteellisen kasvunlisäyksen ja joidenkin metsikkötunnusten väliset lineaariset regressiot (kuva 2-4).

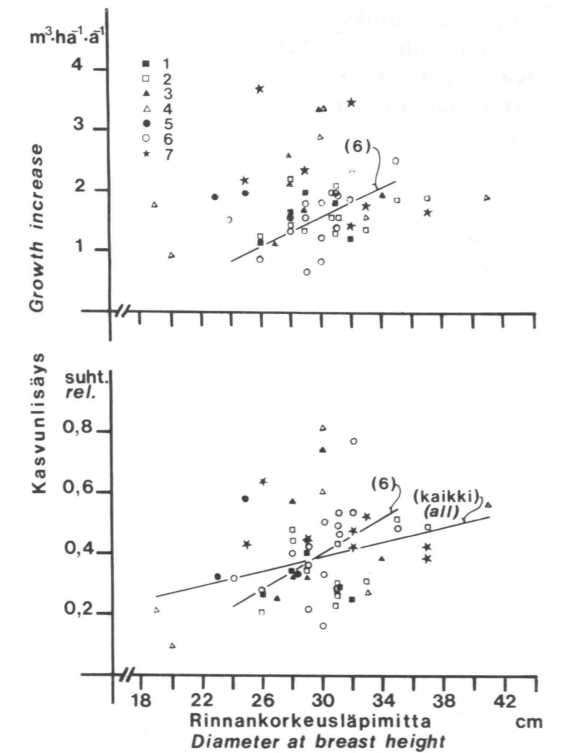
Table 4. Linear regressions describing the relationship between volumetric growth increase and some stand characteristics.

Selitettävä muuttuja ja osite Dependent variable and group	Vakio Constant	Regressiokerroin Regression coefficient	Selitysaste Coefficient of determination	n
Rinnankorkeusikä Age at breast height				
Suht. - Relat. 4	-0,03	0,006	52	6
Suht. - Relat. 6	-0,74	0,010	43	16
Abs. - Abs. 7	8,27	-0,057	71	8
Suht. - Relat. 1-7	0,12	0,003	11	55
Keskiläpimitta Mean diameter at breast height				
Abs. - Abs. 6	-2,09	0,12	36	16
Suht. - Relat. 6	-0,48	0,03	25	16
Suht. - Relat. 1-7	0,03	0,012	11	55
Lannoitusta edeltänyt kasvu Growth prior to fertilization				
Suht. - Relat. 2	0,79	-0,093	61	11
Suht. - Relat. 4	1,04	-0,01	77	6
Abs. - Abs. 7	-0,3	0,539	75	8
Suht. - Relat. 1-7	0,66	-0,054	21	55



Kuva 2. Metsikön rinnankorkeusian ja keskimääräisen lannoituksen aiheuttaman vuotuisen kasvunlisäyksen välinen riippuvuus aineiston eri ositteissa. Ositteet on kuvattu taulukossa 2 ja lineaariset regressiot taulukossa 5.

Figure 2. Scatterplots describing the relationship between stand age at breast height and mean annual growth increase after fertilization. Description of groups (1-7) given in Table 2 and regression equations in Table 5.



Kuva 3. Metsikön rinnankorkeusläpimitan ja keskimääräisen lannoituksen aiheuttaman vuotuisen kasvunlisäyksen välinen riippuvuus aineiston eri ositteissa. Ositteet on kuvattu taulukossa 2 ja lineaariset regressiot taulukossa 5.

Figure 3. Scatterplots describing the relationship between stand breast height diameter and mean annual growth increase after fertilization. Description of groups (1-7) given in Table 2 and regression equations in Table 5.

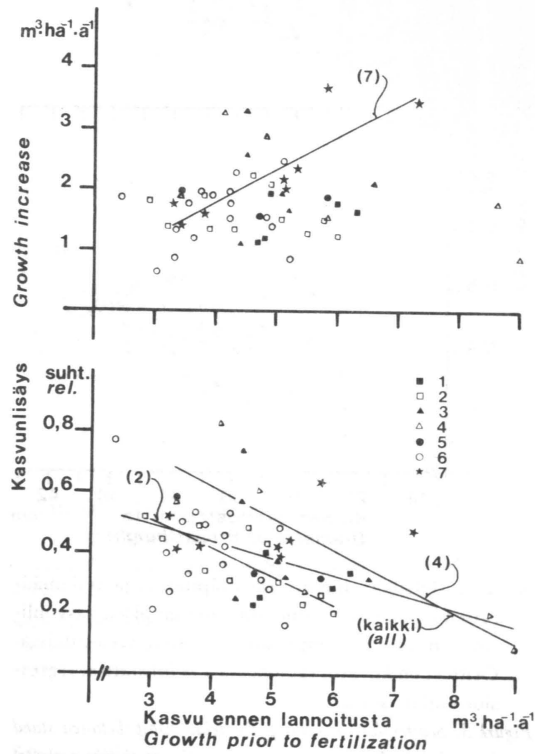
noitettiin sekä yhteismetsän hakkuuvuonna 1977/1978 saamalla keskimääräisillä kanto-hinnoilla että lannoitusvuoden rahassa ilmaistuilla kanto-hinnoilla. Nämä saatiin puhdistamalla hakkuuvuoden 1977/1978 kanto-hinnat lannoituskauden inflaatiosta käyttämällä tukkuhintaindeksiä:

Hakkuuvuosi	Kantohinnat, mk/m ³	
	Hakkuusahapuu	Havukuitupuu
1977/1978	134:50	49:51
1969	73:68	15:09

Näistä edellinen vaihtoehto kuvaa tilannetta jossa investoidut rahat olisi sijoitettu siten, että niiden reaaliarvo säilyy. Jälkimmäinen vaihtoehto taas kuvaa tilannetta, jossa inflaatiota ei olisi, mikä oli laskentakauden aikana tosiojien vastaista.

Hinnoittamalla kukin metsikkö em. hinnoilla lannoitettuna ja lannoittamatta saatiin näiden metsiköiden arvojen erotuksena lannoituksen aikaansaama metsikön arvonlisäys. Saadut arvonlisäykset diskontattiin lannoitushetken käyttäen korkoprosentteja 7 ja 5. Korkoprosenttien valinnassa otettiin huomioon Maailmanpankin Suomelle metsänpa-

rannustarkoituksiin myöntämän lainan korko, joka oli 7,25 (MERA-lainan... 1972). Kasvatustalouteen myönnetyn metsänparannuslainan korko on taas tätä pienempi, vain 5 %.



Kuva 4. Lannoituksen aiheuttama keskimääräinen vuotuinen kasvunlisäys suhteessa lannoitusta edeltäneeseen 10-vuotiskauden vuotuisen kasvuun aineiston eri ositteissa. Ositteet on kuvattu taulukossa 2 ja lineaariset regressiot taulukossa 5.

Figure 4. Scatterplots describing the mean annual growth increase after fertilization in relations to mean annual growth during the decade prior to fertilization. Description of groups (1-7) given in Table 2 and regression equations in Table 5.

Lannoitushetken diskontatuista arvokasvuista vähennettiin lannoituskustannukset, joihin käytettiin sekä yleisiä (asetelma) että yhteismetsän maksamia lannoituskustannuksia, jotka olivat suhdannepidätysvaroista saadun avustuksen vuoksi 25 % todellisia pienemmät:

Vuosi	mk/ha	Lannoite ja Lannoitustapa
1969	78	Urea käsin
1970	79	Urea käsin
1971	107	Urea tai käsin
1972	180	oulunsalpietari lento

Lannoituksen hehtaarikohtainen nettotuotto eri laskentatapoja käyttäen on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Metsikön hakkuuarvon lisäys diskontattuna lannoitushetken. Lannoituskustannukset on vähennetty tuotosta.

Table 5. Increase of the logging value of a stand discounted to the year of fertilization. Costs of fertilization have been subtracted from the profit.

Diskonttausprosentti	Kantohinta 1977-78	Kantohinta 1969
Discount per cent	Stumpage price 1977-78	Stumpage price 1969
	Nettotuotto, mk/ha ⁻¹ - Profit, Fmk/ha ⁻¹	
	Ilman valtion myönt. avustuksia	
	Without State subsidies	
5	1183	628
7	1022	525
	Valtion myöntämin avustuksin	
	With State subsidies	
5	1217	659
7	1054	567

5. TULOSTEN TARKASTELU

51. Aineisto ja laskentamenetelmän luotettavuus

Metsänlannoituksen tuloksellisuutta arvioidessa käytettiin kiinteän koejärjestelyn tai ennustemallien (Kukkola ja Saramäki 1983) asemasta kertakoealoja, joiden avulla pyritään arvioimaan lannoitetun puuston kehitystä mikäli sitä ei olisi lannoitettu. Menetelmä perustuu oletukseen, että puuston kehitys jatkuu lannoitushetkeä edeltäneen jakson kehityksen mukaisesti myös lannoitusjakson aikana. Tässä suhteessa käsillä olevan tutkimuksen laskentamenetelmä eroaa Silvennoisen (1976) saman tyyppisessä tutkimuksessa käyttämästä laskentakaaviosta. Silvennoinen oli muodostanut rinnankorkeusikäsarjoja ja estimoinut lannoituksen antaman kasvunlisäyksen vertailemalla samankäisten lannoitettujen ja lannoittamattomien koepuiden pohjapinta-alan kasvuprosentteja.

Lämpimittatunnusten arviointi perustui pohjapinta-alan suhteellisen kasvun ja iän väliin regressioyhtälöihin, joita muodostettiin mitatun koepuuaineiston avulla. Tasoitussyhtälöihin liittyy tässä tapauksessa jäännösvarianssi, jonka yhtenä olennaisena syynä on ilmaston vuotuinen vaihtelu. Tämän vaihtelun huomioonottaminen mallin laadinnassa edellyttää koepuiden eri-ikäisyyden takia, että jokainen havainto korjataan erikseen ennen ikäsarjoiksi yhdistämistä. Paikallisia sääsuhteita on myös jälkikäteen vaikea selvittää riittävän luotettavasti. Vuosilustoindeksinä ilmaistu ilmasto on kuitenkin vaihdellut melko tasaisesti keskitason molemmin puolin 1960-luvulla sekä 1970-luvun alkupuoliskolla (Tiuhonen 1979), joten kovin suurta virhettä ilmastotekijän poisjättämisestä ei liene aiheutunut. On kuitenkin pidettävä mielessä, että tasoitettaessa pohjapinta-alan kasvuprosentteja tasoituskauden alkuun tai loppuun sattuva pienehkökin poikkeava trendi saattaa suunnata ennustavaa mallia kulkemaan luonnottomalla tavalla.

Pohjapinta-alan ja iän väliset regressiot muodostettiin puulajeittain ja metsätyypeittäin. Erityisesti metsätyyppi on saattanut olla tähän tarkoitukseen riittämätön luokitteleva tekijä. Parempaan tulokseen olisi ehkä päästy käyttämällä iän lisäksi lannoitushetken kas-

vua riippumattomana muuttujana tai luokitelijana mallissa.

Koepuiden lannoittamattoman pituuskehityksen selvittämiseksi käytettiin k.o. ilmastoalueelle soveltuvia keskimääräisiä puiden iän ja pituuden regressioita (Ilvessalo 1965). Tausta-aineiston laajuuden ansiosta virhetehtäjä on pieni, mutta regressiomalli on varsin ylimalkainen tutkimuksen tavoitteisiin nähden. Erityisesti Mustialan-Kutisen yhteismetsän hyvä metsänhoidollinen tila on saattanut johtaa systemaattisiin virheisiin pituuskasvun arvioinnissa; käytetty laskenta-algoritmi on saattanut yliarvioida lannoituksen positiivista vaikutusta. Pituuskasvun arvioinnissa tehty virhe vaikuttaa tosin vain noin viidenneksellä tilavuuskasvuun.

Otantamenettely, jonka mukaan koepuiksi tuli kaksi suurinta puuta, kaksi mediaanipuuta ja yksi medianipuuta pienempi puu, on saattanut aiheuttaa arviointivirhettä erityisesti laskettaessa pienten, vallittuihin latvuserroksiin kuuluvien puiden kasvuestimaatteja. Tutkittavat metsiköt olivat kuitenkin toistuvasti metsänhoidollisin hakkuin käsiteltyjä, uudistuskypsiä metsiköitä joiden puuston rakenne oli tasainen. Käytettyä valintamenettelyä puoltaa myös se seikka, että runkolukusarjan järeiden puiden lannoitusreaktion virhe-estimointi johtaa suurempaan kokonaisvirheeseen kuin pienten koepuiden kuutioiden syntynä virhe.

52. Tulosten luotettavuus

Tässä tutkimuksessa saadut kasvunlisäykset olivat keskimäärin suurempia kuin aikaisemmissa tutkimuksissa vastaavilla kasvupaikoilla on saatu (esim. Viro 1967, Gustavsen & Lipas 1975, Jokinen 1979, 1980), vaikka suurempiakin kasvunlisäyksiä on todettu (Möller 1971 ja Saramäki 1978). Toisaalta Möllerin (1973) mukaan lannoitusta edeltäneen kasvun pohjalta ennustettu kasvunlisäys on pienempi kuin tässä saadut tulokset. On kuitenkin otettava huomioon, että taulukossa esitetyt keskimääräiset kasvunlisäykset on laskettu olettaen, että lannoituksen vaikutus näkyy kasvussa vasta lannoitusta seuranneena kasvukautena (esim. Jonsson 1970c). Jos

lannoitusvuosi otetaan mukaan laskelmiin saadaan keskimääräiseksi kasvunlisäykseksi koko aineistossa $1,8 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{a}^{-1}$, joka on varsin hyvässä sopusoinnussa esim. Kukkolan ja Saramäen (1983) eteläsuomalaisille kuusikoille saamien tulosten kanssa. Silvennoinen (1976) on taas arvioidessaan käytännön metsänlannoitusten antamia tuloksia Tehdaspuu Oy:n metsissä mitannut $1,75 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{a}^{-1}$ suuruisia kasvunlisäyksiä lähes samanikäisissä ja tilavuuksissa tuoreiden kankaiden kuusikoissa. Nuoremmissa (40–60 v) kuusikoissa kasvunlisäys oli jopa $2,35 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{a}^{-1}$.

Erään selityksen tässä tarkasteltujen käytännön lannoitusten antamiin poikkeuksellisen hyviin tuloksiin tarjoaa lannoituskohteiden hyvä metsänhoidollinen tila ja puuston suuri tilavuus. Lannoitettaessa puut olivat hyvässä kasvukunnossa ja niiden latvukset kyllin elinvoimaisia voidakseen hyötyä annetuista ravinteista.

Lannoitukseen vaikutus puuston kasvuun ei ollut päättynyt edes v. 1969 lannoitetuissa metsissä vuoteen 1977 mennessä. Kuusivaltaisissa metsissä lannoitus saatta vaikuttaa kymmenen vuotta, jopa kauemminkin (Hausser ja Wittich 1969, Möller ja Rytterstedt 1974, Kukkola 1978). Tärkein selitys typpilannoituksen pitkäaikaiselle vaikutukselle kuusikossa lienee kuuselle ominainen pitkä neulaskierto; lannoituksen jälkeisinä kasvukausina muodostunut neulasmassa on pitkään toimintakuntoinen. Oleellinen, mutta puiden kasvun kannalta vaikeammin mitattava tekijä on lisäksi ravinteiden pitkäaikainen vaikutus näiden kemialliseen ja biologiseen kiertoon maassa. Tuoret ja lehtomaiset kankaat ovat maalajiltaan yleensä hienojakoisia (esim. Urvas & Erviö 1974), joten lannoitteina annetut ravinteet eivät huuhtoudu helposti puiden juurten ulottuvilta. Lisäksi tuttuissa metsiköissä oli suhteellisen runsas, pääasiallisesti ruohojen ja heinien muodostama pintakasvillisuus, joka on auttanut ravinteiden pidättymistä metsikössä puiden ulottuvilla.

Tutkitut metsiköt olivat lannoitteena saaneet ainoastaan tyypeä. Tätä oli kuitenkin annettu kahtena hyvin erilaisena lannoitteena, ureana ja oulunsalpietarina. Lisäksi levitetty määrät vaihtelivat 90 ja 170 kg N \times ha⁻¹ välillä ja levitys oli suoritettu ilmasta tai vaihtoehtoisesti maasta käsin. Eri levitystapojen

tai lannoitelajienkaan välillä ei kuitenkaan ollut johdonmukaisia eroja (vrt. Brantseg y.m. 1970, Malm & Möller 1974, Erken & Fahlroth 1967, Paavilainen & Virtanen 1977). Toisaalta mahdolliset yhdysvaikutukset saattavat peittää käsittelyjen välisiä eroja. Esim. käsittelyissä 3 ja 4 (taulukko 3) käsin levitetty urea oli johtanut likimain yhtä suureen kasvunlisäykseen kuin ilmasta levitetty samansuuruinen määrä oulunsalpietaria. Suurimmat absoluuttiset kasvunlisäykset oli saatu käsittelyillä, joissa oli levitetty 156–160 kg N ha⁻¹ oulunsalpietaria, mutta erityisesti mustikkatyyppin kasvupaikoilla urea oli paljon tätä pienempinä määrinä johtanut melko hyvään kasvunlisäykseen. Parhaat tulokset typpikiloa kohden saavutettiin 90 kilogrammalla tyypeä hehtaaria kohden. Käyttäen perustana absoluuttista ja suhteellista kasvunlisäystä 100 typpikiloa kohti näyttää siltä, että 90–93 kg N \times ha⁻¹ ureaa antaisi suurimman kasvunlisäyksen ja suurimmat käytetyt typpimäärät sen sijaan huonoimman.

Tulos on jossain määrin yllättävä kun otetaan huomioon, että kasvunlisäyksen ja typpilannoitemäärän välinen riippuvuus yleensä on jokseenkin lineaarinen aina 150–200 typpikiloon saakka (esim. Brantseg y.m. 1970, Eriksson y.m. 1971) Tutkitut metsiköt olivat kuitenkin parhaita tuoreita ja lehtomaisia kankaita, joiden maaperän typpipitoisuus alkaa lähestyä optimitasoa männyn ja kuusen luontaista kasvua ajatellen. Näin ollen lannoitemäärien lineaarinen vakioiminen 100 kg N \times ha⁻¹ tasolle ei välttämättä anna parasta mahdollista kuvaa lannoitemäärien vaikutuksesta. Taulukossa 3 esitettyjen korjattujen kasvunlisäyksen välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Jos arvioidaan lannoituksen nettotuotto kahdeksan vuoden vaikutusajalle olettaen kantohintojen pysyvän reaaliarvoltaan vuoden 1978 tasolla, saadaan 5 % kokokannalla noin 25 % ja 7 % korkokannalla n. 20 % suuremmat tuotot kuin taulukossa 5. Lannoituksen nettotuotto on ollut mittaushetken mennessä noin nelinkertainen ja koko vaikutusaikana lähes seitsemänkertainen lannoituskustannuksiin verrattuna käytettäessä reaalisia kantohintoja, 5 %:n korkokantaa ja yleisiä lannoituskustannuksia. Edellytyksenä on tällöin tietenkin, että puusto realisoidaan välittömästi laskentakauden lopussa.

Kahdeksan vuoden vaikutusajan käyttö on

perusteltu, koska vuotuinen kasvunlisäys oli mittaavuonna jo taantunut varsin selvästi lähestyessä lannoitusta edeltäneen kasvun tasoa. Mittauskauden keskiarvona lasketun vuotuisen kasvunlisäyksen oletettiin jatkuvan samansuuruusena kahdeksanteen vuoteen saakka. Näin laskelmat yliarvioivat lannoitusvaikutuksen vuoden 1977 jälkeisenä aikana aina lannoitusta seuranneeseen kahdeksanteen vuoteen asti ja jättävät huomiotta sen jälkeisen tuoton.

Laskelmissa ei ole otettu huomioon saha-puun järeytymisestä mahdollisesti saatavaa lisähintaa eikä puun korjuun ja kiinteiden kustannusten alenemista tuotettua yksikköä kohti. Lannoituksen vaikutukset puun laatuun ja vikaisuuteen on niin ikään sivuutettu. On kuitenkin syytä mainita, että kairatuista koepuista ainoastaan 4,5 % oli lahovikaisia.

Lannoituksen kannattavuutta voidaan arvioida kahdella eri menetelmällä. Lannoituksesta koituva hyöty saadaan toisaalta suuren-

tuneina hakkuutuloina normaalin hakkuuohjelman mukaisesti ajoitettuna. Toisaalta lannoitettujen metsiköiden voidaan ajatella saavuttavan uudistuskypsyteen vaadittavat vähimmäismitat aikaisemmin kuin lannoittamattomien metsiköiden. Laskelmissa on käytetty edellistä, ns. hakkuiden lisääntymismetelmää (Keipi 1972). Koska Mustialan-Kutisen yhteismetsässä on runsaasti uudistuskypsiä metsiä, voidaan myös ajatella hakkuusuunnitteen lisäämistä lannoittamattomissa, uudistuskypsissä metsissä jo ennen kuin lannoitusvaikutus on loppunut. Investoidut rahat saataisiin tällöin takaisin aikaisemmin ja lannoituksen edullisuus lisääntyisi. Tätä mahdollisuutta samoin kuin ikäluokkajakauman vinouden aiheuttamien haittojen vähentämistä lannoituksella on kuitenkin tarkasteltava myös pitkän ajan hakkuusuunnitteen ja yhteismetsän tulojen tasaisuuden vaatimusten kannalta, mihin tässä työssä ei ole ryhdytty.

KIRJALLISUUS

- Brantseg, A., Brekka, A. & Braastad, H. 1970. Gjødslingsforsøk i gran- og furuskog. Summary: Fertilizer experiments in stands of *Picea abies* and *Pinus silvestris*. Medd. Norske Skogforsøgsv. 100: 537–607.
- Cajander, A. K. (†) 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 53(5): 1–72.
- Eriksson, B., Friberg, R. & Nömmik, H. 1971. Ett doseringsförsök i tall. För. Skogsträdförel. och Inst. för Skogförbättr. Årsbok 1971: 87–110.
- Erken, T. & Fahlroth, S. 1967. Gjødslingsförsök på fastmark. Skogen 24: 626–628.
- Gustavsen, H. & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. Folia Forest 246: 1–20.
- Hausser, K. & Wittich, W. 1969. Ergebnisse eines düngungsversuchs zu 66-jährigen Fichten auf einem typischen Standort des Oberen Bundsandsteines im Württ. Schwarzwald. Allg. Forst-u. Jagdz. 140: 25–34, 49–62, 88–99.
- Ilvessalo, Y. 1965. Metsänarvioiminen. Werner Söderström Oy. Porvoo-Helsinki. 400 siv.
- & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotto-kyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144: 1–101.
- Jokinen, R. 1979. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus metsikkötunnuksista varttuneissa metsiköissä. Konekirjoite Hgin yliop. metsänarvioimistiet.lait. 68 siv.
- 1980. Metsänlannoituksella saatavan kasvunlisäyksen arviointi. Summary: Estimation of growth response achieved through forest fertilization. Silva Fenn. 14(3): 264–276.
- Johnsson, S. 1976. Resultat av några praktiska gödslingar. Inst. för Skogsförbättr. Information 5, 1976/77.
- 1977a. Resultat av några praktiska gödslingar II. Inst. för skogsförbättr. Information 7, 1976/1977.
- 1977b. Resultat av några praktiska gödslingar III. Inst. för Skogsförbättr. Information 3, 1977/78.
- 1977c. Tioåriga effekter av varierande kvävegivor. Inst. för Skogsförbättr. Information 3, 1977/78.
- Keipi, K. 1972. Lannoituskustannukset ja tuottojen käsittely metsän lannoituksen kannattavuuslaskelmissa Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa. Summary: The concept of forest fertilization returns in Norway, Sweden and Finland. Folia For. 152: 1–38.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1973. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Summary: Variations in the profitability of forest fertilization. Silva Fenn. 7: 192–235.
- Kukkola, M. 1978. Lannoituksen vaikutus eri latvuserosten puiden kasvuun mustikkatyyppin kuusikossa. Summary: Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site. Folia For. 362: 1–15.

- & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saata-va kasvuunlisäys kivennäismaiden männikoissä ja kuusikoissa. Commun. Inst. For. Fenn. 114: 1–55.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Commun. Inst. For. Fenn. 108: 1–74.
- Lipas, E. 1979. Alternative methods for calculating growth response to fertilization. Seloste: Vaihtoehtoisia menetelmiä lannoitusreaktion laskemiseksi. Commun. Inst. For. Fenn. 97 (7): 1–55.
- Malm, D. & Möller, G. 1947. Skillnader i volumtillväxt-ökning efter gödning med urea resp. ammonium-nitrat. För. Skogsträdsförädl. och Inst. för Skogsförbättr. Årsbok 1973: 46–74.
- Mera-lainan selvitystoimikunnan muistio. 1972. Moniste, 222s.
- Möller, G. 1971. Resultat från en tioårig försöksrie. Inst. för Skogsförbättr. Information 2, 1972/73.
- 1973. Prognoskurvot för gödningseffekter i tall och gran. Inst. för Skogsförbättr. Information 2, 1972/73.
- & Rytterstedt, P. 1974. Gödningseffektens varaktighet och förlopp hos tall och gran. För. för Skogsträdsförädl. och Inst. för Skogsförbättr. Årsbok 1974: 75–97.
- Nummi, T. 1980. Typpilannoitusten vaikutus varttuneiden kangasmetsien kasvuun Mustialan-Kutisen yhteismetsässä. Konekirjoite Helsingin yliopiston metsänhoit.lait. 57 siv.
- Paavilainen, E. & Virtanen, J. 1977. Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä. Summary: Effect of spreading method on forest fertilization results. Folia For. 297: 1–15.
- Saramäki, J. 1978. Kainuun vajapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus. Summary: Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland. Folia For. 352: 1–14.
- Silvennoinen, S. 1976. Tuloksia käytännön metsänlannoituksista Tehdaspuu Oy:n osakkaiden kangasmailla. Konekirjoite Helsingin yliop. metsänhoit.lait. 72 siv.
- Tiihonen, P. 1979. Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventinnin aineiston perusteella. Summary: Variation in tree growth in Finland based on the results of the 6th National Forest Inventory. Folia For. 407: 1–12.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytymisen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Summary: Influence of the soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. J. Sci. Agr. Soc. Finl. 46: 307–319.
- Viro, P. J. 1967. Forest manuring on mineral soils. Medd. Norske Skogförsöksv. 23: 111–136.
- 1974. Fertilization of birch. Seloste: Koivun lannoitus. Commun. Inst. For. Fenn. 81 (4): 1–38.

Total of 33 references

SUMMARY

THE EFFECT OF LARGE SCALE NITROGEN FERTILIZATION ON GROWTH AND YIELD OF MATURE SPRUCE STANDS IN SOUTH-WESTERN FINLAND

The aim of this study is to estimate the growth increment and the economic value of nitrogen fertilization in mature Norway spruce dominated stands on *Myrtillus* and *Oxalis-Myrtillus* sites (Cajander 1949) in South-western Finland.

The material was collected in a jointly owned cooperative forest, the Mustiala-Kutinen Forest (25°50'E, 60°55'N 130 m a.s.l.). The productive forest land consisted of 3570 hectare relatively fertile podsol soils developed on moraine material. Fully-stocked and mature stands in good silvicultural condition were typical to the Forest; the annual cut during the research period 1969–1978 was some 18 700 m³.

Forest fertilization in the Mustiala-Kutinen Forest started in 1962, and by 1975 some 25 per cent of the area had been fertilized at least once. The present study was limited to nitrogen fertilization. All the mesic and more

fertile upland sites fertilized during the period 1968–1972 were included. The fertilizers were two basically different nitrogen forms, urea and ammonium nitrate with lime. Also the amounts spread varied between 90 to 170 kg N × ha⁻¹ and the application was performed partly from the air and partly as surface spreading.

The growth response to fertilization is normally expressed as growth rate differences between fertilized and non-fertilized trees or stands. Growth prior to fertilization is also frequently used as an independent variable in explaining the growth increment. Thus variables necessary for calculating sample tree volume (i.e. diameters at 1.3 m and 6.0 m and height, Laasasenaho 1983). have to be obtained for two different occasions: 1) at a given time prior to fertilization, 2) at the end of the research period. As, in this case, no stands were left unfertilized the variables necessary for the calculation of the stand volu-

me at the end of the research period if there had been no fertilization had to be estimated. Fifty-five tree stands with an average area of 8.9 hectares were included which together represented 14 per cent of the total forest land area (Tables 1 and 2). In total, 242 sample plots covering the 55 tree stands were systematically located on maps. The sample plots were then measured by using relascope, and forest site type, the tree species composition, and the number of trees in each DBH-class were recorded. From five sample trees at each plot the following variables were measured: diameter at 1.3 m and 6.0 m (1 mm), bark thickness at corresponding heights (1 mm), tree height (0.5 m) and height growth during the last five years (0.1 m). Sample cores were also bored at 1.3 m height to the pith to obtain tree age and diameter growth series. At 6.0 m height cores were bored to obtain growth data from the 10-year period prior to fertilization.

The following procedure were used in estimating the growth response to fertilization: From diameter growth series measured, the relative basal area growth for each five year period was calculated. Non-linear regressions were formed by site type separately for Norway spruce and Scots pine with the corresponding age as independent variable. Since at 6.0 m height the borings were not extended through to the pith, relative basal area growth during a 10 year period prior to fertilization were used as the dependent variable in the regressions.

Assuming that the basal area growth of each individual sample tree during the study period would develop in accordance with the age-basal area growth regressions the "unfertilized" basal area at the time for field measurements was estimated. The procedure is presented schematically in Figure 1 and formulae (1) and (2) where:

- a_t = relative basal area growth at the age t obtained from respective regression (t corresponds to the time for fertilization).
- a_{t+n} = relative basal area growth at the age $t + n$ (n gives the length of the research period in years).
- b_t = the measured relative basal area growth of the sample tree at the time of fertilization.
- b_{t+n} = the estimated relative basal area growth of the sample tree at the end of the research period.
- d_{t+n} = the estimated respective diameter at the time $t + n$.
- d_t = the diameter at the time of fertilization.

Tree height development during the research period could not be estimated in the corresponding manner. From the height growth during the period prior to field measurement height at the time of fertilization was calculated. By relating the height data to the average height age series for Norway spruce and Scots pine on corresponding sites in South-Finland (Ilvessalo 1965) estima-

tes for tree height prior to fertilization and also for the case if there had been no fertilization were obtained using a similar procedure as described above.

The weakness in the method used is related to the degree of fitness that is achieved by the regressions used. In the case of the tree age-height growth regressions, the residual variance is reduced to a minimum as the material is very large, but, on the other hand, these regression equations are averages for a large climatic region.

In the case of the age-basal area growth regressions the residual variance was substantially high. One possible reason for the lower degree of fitness is long term climatic variation, which could not be taken into account when the regression equations were formed. However, during 1960's and the first half of 1970's the climate, expressed as annual growth ring indices, has varied fairly regularly to both sides of the long term average. It is also possible that the grouping of the material according to site type was insufficient and that additional information could have been gained by incorporating stand growth as an independent variable in the regressions.

The growth increments showing the effect of the fertilization, obtained in this study were, on average, greater than values obtained earlier from experiments on comparable sites (Brantseg et al. 1970, Gustavsen & Lipas 1975, Jokinen 1979), although even higher response values have been reported (Möller 1971, Saramäki 1978). Assuming that the mean duration of the fertilization effect was approx. six years the mean volumetric growth increment weighed by stand area was $2.2 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{a}^{-1}$, which corresponds to a relative growth increment of some fifty per cent. Values are given by site type and treatment in Table 3.

However, the data in Table 3 are acquired assuming that the tree response to fertilizer treatment is not measurable until the year after the application. By extending the response period to also include the year of fertilization the mean growth response decreases to $1.8 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{a}^{-1}$.

The volumetric growth increments varied from one treatment group to another. The reasons for this are obvious: the varying site types included and the different amounts of nitrogen applied ($90\text{--}170 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$) as well as two different methods for application. No systematic differences between the responses of the tree stands could however, be distinguished. The reasons for this might be interactive effects contradicting each other. In treatments 3 and 4 (Table 3), urea spread by hand has resulted in an almost equal growth response as obtained by using calcium ammonium nitrate spread from air in the same amount. The greatest absolute growth increments were obtained with the highest dosages of calcium ammonium nitrate. However, on *Myrtillus* sites also urea gave rise to fairly good increments.

To eliminate the variation caused by different amounts of the fertilizer the data in figures were standardized to a $100 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ basis. The transformation is based on the assumption that for nitrogen doses up to $200 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ there is a linear regression between the growth increment of the trees and the amount of applied nitrogen.

Calculated on 100 kilogramme-nutrient bases and based on as well absolute as relative values the best results were obtained with 90 and $93 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$, and the weakest responses with the highest amounts of nitrogen.

The scatter plots showing the relationship between the volume growth increment and age, breast height diameter and growth prior to fertilization are given in Figures 2-4. The cases with significant correlations ($p \geq 5\%$) are described by linear regressions in Table 4. The relationships between the stand data (mean breast height, age, and diameter, and current annual volumetric growth prior to fertilization) and the volumetric growth increment data for the entire material were signi-

ficant only when standardised relative values were used, however, correlations were few and even contradictory. This is partly due to the low number of cases in some groups. Nevertheless, there is a general trend for a better growth response with increasing stand volume / age while the response diminishes with increasing current growth prior to fertilization.

To assess the economic value of the fertilization, the proportion of saw timber and pulpwood in each tree stand was calculated for the actual situation at the time of the survey and estimated for the "nonfertilized" situation. By using real stumpage obtained during the cutting season 1977-78 as well as a calculated stumpage representing the situation in 1969, the value of the fertilized and "nonfertilized" tree stock were calculated. The difference between the two values represents the additional gross yield due to fertilization treatments. The gross yield was discounted to the time for fertilizing and the fertilization costs were eliminated. The net yield of alternative cases (5% and 7% interest rates) are given in Table 5.