

METSÄNLANNOITUKSELLE SAATAVAN KASVUNLISÄYKSEN ARVIOINTI

REIJO JOKINEN

SUMMARY:

ESTIMATION OF GROWTH RESPONSE ACHIEVED THROUGH FOREST FERTILIZATION

Saapunut toimitukselle 1980-02-15

Tutkimuksessa tarkasteltiin lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuutta erilaisista helposti mitattavista metsikkötunnuksista. Tavoitteena oli selvittää, missä määrin on mahdollista etukäteen arvioida kuutiokasvunlisäys kangasmetsien lannoituksessa, käytetyn lannoitemäärän ollessa 120 kg N/ha. Aineisto, joka muodostui 31 mänty- ja 23 kuusikoikeesta, käsitti pääosin varttuneita, hakkuukypsiä metsiköitä. — Erilaisten analyysien tuloksena syntyneiden, kolmelle lannoitelajille ja kontrollitasolle laskettujen regressioyhtälöiden parhaiksi ja tarkoituksenmukaisimmiksi kasvun selittäjiksi valikoituivat puuston pohjapinta-alan kasvu, pituusboniteettiluokka ja puuston pohjapinta-ala. Kasvunlisäyksen estimaatti lasketaan kyseisillä malleilla lannoitettua ja lannoittamatonta tasoa edustavien yhtälöiden erotuksena.

1. JOHDANTO

Lannoituksesta saatavaa hyötyä voidaan mitata monilla erilaisilla laskelmilla, riippuen siitä tarkastellaanko asiaa metsikön, metsälön vai näitä suuremman kokonaisuuden kannalta. Metsikkökohtaisen lannoitushyödyn on voitu todeta olevan suurimmillaan varttuneissa, hakkuukypsissä puustoissa, missä kasvunlisäys voidaan korjata talteen välittömästi lannoituksen vaikutuksen päätyttyä (KEIPI ja KEKKONEN 1970, VIRO 1972). Toisaalta suurin kasvunlisäys on saavutettavissa lähellä juoksevan vuotuisen kasvun maksimivaihetta, jolloin myös puuston ravinnetarve on suurimmillaan

(MÄLKÖNEN 1979). Tällöin parhaaseen metsälökohtaiseen tulokseen päästään lannoittamalla keski-ikäisiä puustoja, jolloin hakkuumahdollisuuksien lisäys voidaan realisoida iäkkäiden puustojen hakkuissa.

Lannoituksella saatavan hyödyn arvioimiseksi ja edullisimpien lannoituskohteiden valitsemiseksi metsänlannoittajan tulisi pystyä ennakoimaan lannoituksella saatava kasvunlisäys. Esillä olevassa työssä pyrittiin selvittämään, missä määrin lannoituksella saatavaa kasvunlisäystä voidaan estimoida helposti mitattavien metsikkötunusten avulla.

Tutkimus pohjautuu kirjoittajan metsänarvioimistieteen laudaturtyöhön, jonka ovat ohjanneet sekä tarkastaneet prof. Aarne Nyssönen Helsingin yliopistosta ja v. prof. Eino Mälkönen Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosastolta. Mainituista henkilöistä jälkimmäisellä on huomattava panos myös käsikirjoituksen nykyiseen asuun

saattamisessa. Maantutkimusosaston vs. erikoistutkija, MMT Erkki Lipaksen tekemät arvokkaat korjaukset olen ottanut huomioon.

Suurin osa aineiston kokeista on perustettu Kemira Oy:n (silloisen Typpi Oy:n) rahallisella tuella. Esitän kiitokseni edellä mainituille henkilöille sekä Kemira Oy:lle saadusta tuesta.

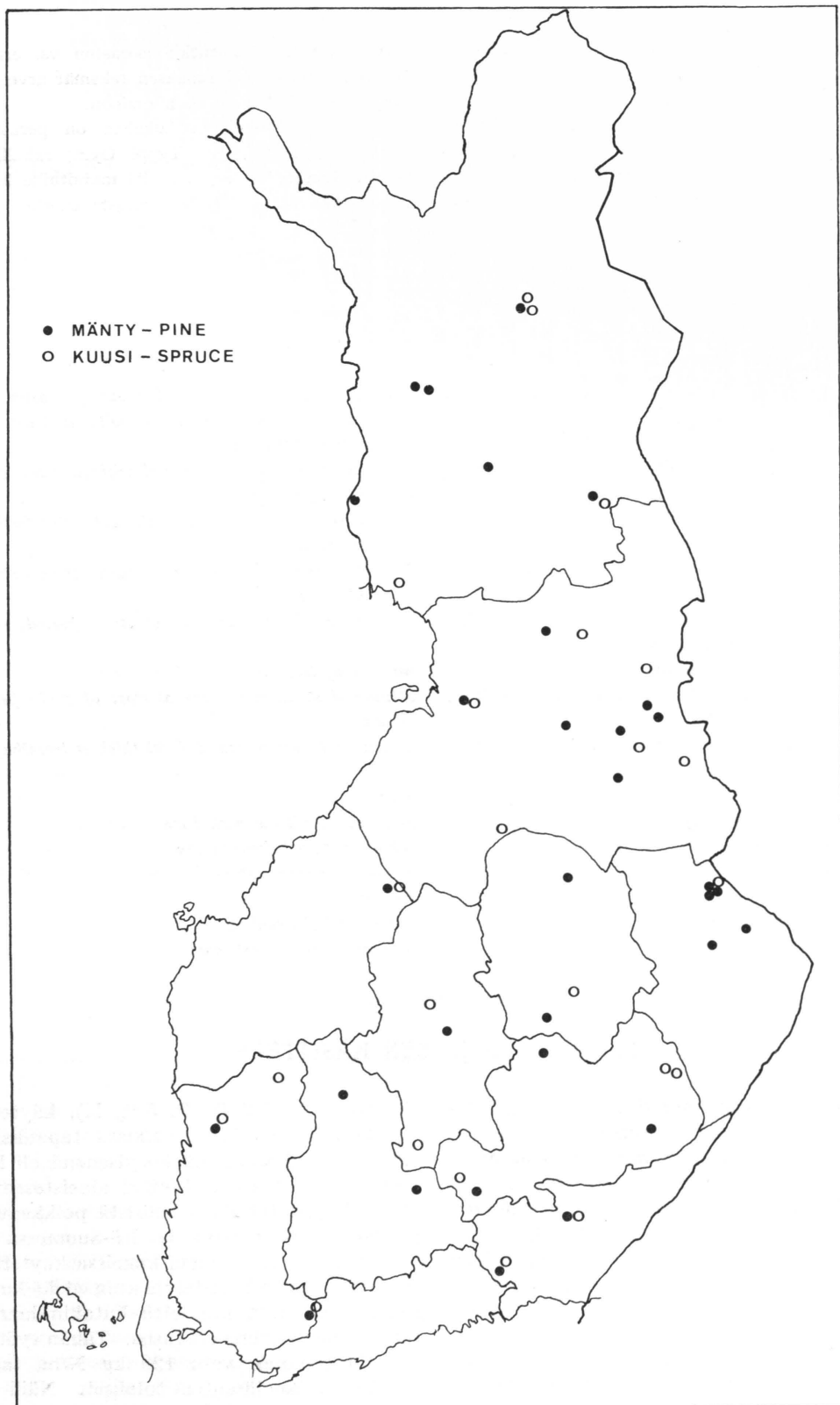
LYHENTEET JA YKSIKÖT — SYMBOLS AND UNITS

T	= puuston keski-ikä, a	age of stand, a
H 100	= pituusboniteetti, m	site index, m
D.D.	= kasvukauden tehoisa lämpösumma, d.d.	effective temperature sum of growing season, d.d.
Ig+	= puuston pohjapinta-alan kasvu kuoretta lannoituksen jälkeen, m ² /ha/a	basal area increment of stand without bark after fertilization, m ² /ha/a
Ig-	= puuston pohjapinta-alan kasvu kuoretta ennen lannoitusta, m ² /ha/a	basal area increment of stand without bark before fertilization, m ² /ha/a
Iv+	= puuston kuutiokasvu kuorineen lannoituksen jälkeen, m ³ /ha/a	volume increment of stand with bark after fertilization, m ³ /ha/a
Iv-	= puuston kuutiokasvu kuorineen ennen lannoitusta, m ³ /ha/a	volume increment of stand with bark before fertilization, m ³ /ha/a
G	= puuston pohjapinta-ala kuorineen kokeen alussa, m ² /ha	basal area of stand at start of study period, m ² /ha
N	= runkoluku, kpl/ha	number of trees/ha
V	= puuston kuutiomäärä kuorineen kokeen alussa, m ³ /ha	volume of stand with bark at start of study period, m ³ /ha
Hdom	= puuston valtapituus (100 paksuinta puuta/ha), m	dominant height of stand (100 thickest trees/ha), m
U	= urea	urea
Os	= oulunsalpietari	ammonium nitrate with lime
Y	= Y-lannos	NPK-combined fertilization
R ²	= selitysaste	degree of determination
F	= F-arvo	F-value
n	= havaintojen määrä	number of observation
s _e	= arvion keskivirhe	standard error of estimate

2. AINEISTO JA SEN KÄSITTELY

Tutkimusaineisto muodostui Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1968—69 perustamista kangasmetsien lannoituskokeista (22 mänty- ja 20 kuusikoikeesta). Kokeiden koejärjestely noudatti ns. arvottujen lohkojen menetelmää. Valtaosa kokeista sisälsi kaksi lohkoa, joiden muodostamisperusteena oli puuston pohjapinta-ala ja koemetsikön maaperälliset tekijät. Lannoituskäsittelyinä oli kolme erilaista tyypilannoitetta: urea (U; 46 % N), oulunsalpietari (Os; 26 % N) ja Y-lannos

(Y; 18 % N, 5,2 % P, 5 % K), käytetyn typpiannoksen ollessa kaikissa tapauksissa 120 kg/ha. Neljäntenä koejäsenenä oli lannoittamaton koeala. Lisäksi aineistossa oli 12 koejärjestelyltään edellisistä poikkeavaa, pääasiassa Kainuussa ja Itä-Suomessa sijaitsevaa koetta. Näissä kokeissa käytettiin samoja lannoituskäsittelyjä kuin edellä kuvatuissa, kuitenkin niin että kutakin lannoitetta esiintyi kolme eri tasoa. Tähän työhön otettiin mukaan vain 120 kg N/ha tasoa edustavien koejäsenten tulokset. Näin oli



Kuva 1. Kokeiden alueellinen sijainti.
Fig. 1. Location of fertilization experiments.

Taulukko 1. Aineiston jakautuminen ikä- ja pituusboniteetti luokkiin.
Table 1. Distribution of the material into age and site index classes.

Ikä-lk Age-class	Mänty - Pine							Kuusi - Spruce									
	12	15	18	21	24	27	30	yht. total	12	15	18	21	24	27	30	yht. total	
41-60						1	1	2								1	1
61-80				1	3	1		5				1	1	6		7	
81-100			2	3	1	1		7				1	1	1		3	
101-120		3	4	1	1			9		4		2	1			7	
121-140	1	1	1	2				5	1		1	1				3	
141-160			1					1		1						1	
161-180									1							1	
181-200	1	1						2									
Yht. Total	2	5	8	7	6	3		31	2	5	1	4	3	7	1	23	

käytettävissä yhteensä 52 mänty- ja 41 kuusikoelohkoa.

Kummankin pääpuulajin, männyn ja kuusen osalta kokeet jakautuivat melko tasaisesti maan eri osiin (kuva 1). -Kokeita perustettaessa oli tavoitteena sijoittaa kokeet hakkuukypsiin tai ainakin hyvin lähellä niitä oleviin metsiköihin. Koemetsiköiden ikä vaihteli 45-200 vuoteen (taulukko 1), painopisteen ollessa vanhoissa ikäluokissa (keski-ikä molemmilla puulajeilla n. 100 v.). Taulukkoon 2 on koottu eräitä aineistoa kuvaavia yleistietoja.

Monet käytettävissä olleet puustotunnukset perustuivat viiden vuoden kuluttua lannoituksesta suoritettuun mittaukseen. Koska tarkastelu edellytti kuitenkin perustamishetken tunnusten käyttöä, oli valta- ja keskipituuden, pohjapinta-alan, kuutiomäärän jne. arvoista vähennettävä viimeisen viisivuotisjakson vastaavat kasvut. Kasvu- paikkaa kuvattiin pituusboniteetilla käyttäen puuston perustamisajankohdan valtapituutta (HÄGGLUND 1972, 1973 ja 1974, VUOKILA 1971). Koska ko. boniteetti luokkien määrittäminen perustuu rinnankorkeusikä, jouduttiin koepuustojen määrittäminen d_0 -ikä korjaamaan $d_{1,3}$ -ikäksi noudattaen valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyöohjetta (Valtakunnan ... 1977). Ilmastoa kuvaavaksi tunnuksiksi otettiin kasvukauden tehoisa lämpösusma paikallisella korkeusgra-

dientilla korjattuna (HEIKURAINEN 1973).

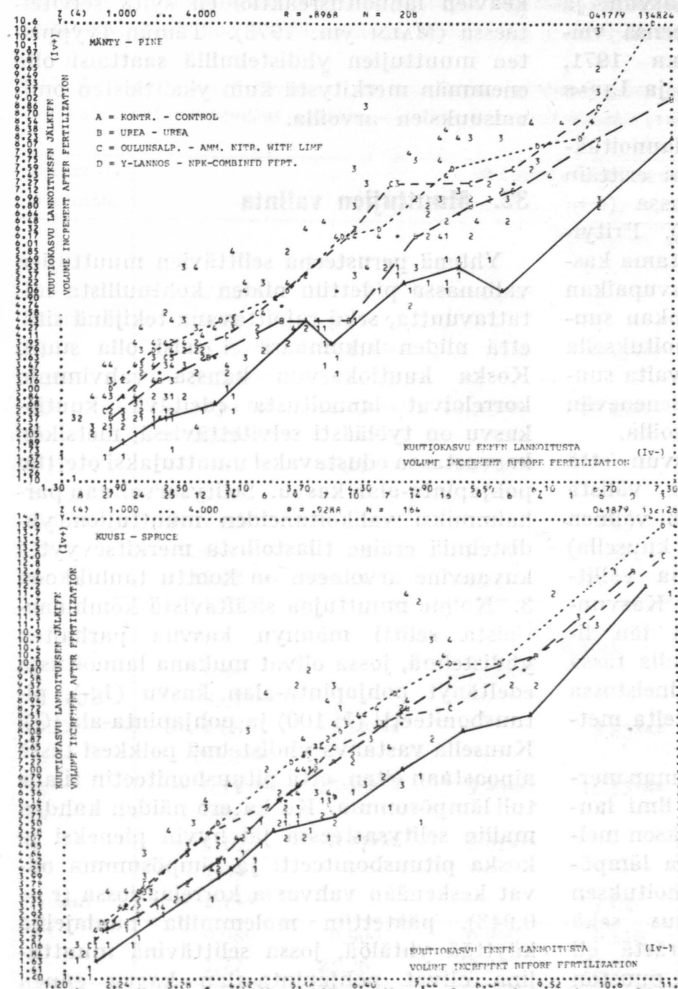
Aineiston käsittely muodostui kolmesta erillisestä vaiheesta: graafisesta tarkastelusta sekä kovariassi- ja regressioanalyysistä. Tavoitteena oli kuvata lannoitusta seuraavan 5-vuotiskauden kuutiokasvua muutaman puustotunnuksen avulla, joiden oletettiin vaikuttavan metsikön kasvuun ja lannoitusreaktioon. Valintaperusteena oli hyvän selitysarvon lisäksi myös muuttujien kohtuullisen helppo mitattavuus.

Graafisen tarkastelun (esimerkkinä kuva 2) pohjalta, jossa eri selittävien ja selitettävän muuttuja välisiä riippuvuuksia kuvattiin korrelaatiodiagramma-piirroksin, voitiin tehdä eräitä alustavia päätelmiä selittävien muuttujien valinnassa. Lopullinen valinta tapahtui kovarianssianalyysillä, jolla saadussa mallissa eri lannoituskäsittelyjen kuvaajat poikkesivat toisistaan vain luokkamuuuttujan suhteen. Malleihin tulleitten selittävien ja selitettävän muuttujan välisten korrelaatiodiagrammojen antaminen viitteiden perusteella oli kuitenkin pääteltävissä, etteivät kuvaajat kaikilta osin olisi yhden-suuntaisia. Tästä syystä pidettiin perusteltuna tarkastella erikseen jokaista lannoitelajia. Näin menetellen havaintojen määrä kuitenkin väheni neljanteen osaan alkuperästä. Toisaalta männyn ja kuusen samankaltaisesta lannoitusreaktiosta johtuen (vrt. GUSTAVSEN ja LIPAS 1975) ne voitiin yh-

Taulukko 2. Yleistietoja aineistosta.

Table 2. General data of material.

Kokeen numero Number of experiment	Paikkakunta Location	Ikä - Age		D.D.	Iv -	G	N	V	Hdom	Koejäs. lukumäärä Number of sample plots	Lohkoja Number of blocks
		H 100	D.D.								
MÄNTY Pine	Suomusjärvi	60	27	1 260	4.4	15.5	401	134	19.3	8	2
	Pomarkku	115	18	1 200	2.3	15.7	351	129	19.7	8	2
	Elimäki	130	21	1 310	5.3	24.1	485	237	22.6	8	2
	Savitaipale	75	27	1 310	5.2	20.1	450	197	23.5	8	2
	Padasjoki	85	24	1 170	4.6	14.6	259	138	21.6	8	2
	Ruovesi	115	24	1 120	5.1	19.8	223	216	25.5	8	2
	Sääminki	65	24	1 210	6.4	18.7	560	164	19.8	8	2
	Äänekoski	80	24	1 110	5.0	18.6	380	171	22.1	8	2
	Lestijärvi	120	15	1 030	2.8	16.7	716	122	16.6	8	2
	Suonenjoki	90	27	1 200	5.5	19.3	330	215	24.4	8	2
	Sonkajärvi	95	21	1 080	3.5	15.9	308	156	21.0	8	2
	Pielisjärvi	150	18	1 030	1.7	9.6	188	85	20.7	8	2
	Oulu	100	18	1 000	4.3	16.0	415	135	18.7	8	2
	Suomussalmi	115	18	880	2.8	15.0	398	147	19.6	8	2
	Salla	140	15	840	1.8	13.2	290	108	17.9	8	2
	Rovaniemi	190	15	800	1.9	14.9	339	121	17.8	8	2
	Sodankylä	120	15	750	2.0	14.2	408	103	16.9	8	2
	Ylitornio	110	18	880	2.7	14.0	335	115	18.0	8	2
	Heinola	80	24	1 260	4.7	17.1	394	157	21.3	8	2
	Pudasjärvi	120	15	940	2.3	12.4	318	85	15.9	8	2
	Kittilä	200	12	770	1.8	12.3	323	97	16.2	8	2
	»	140	12	770	2.6	13.1	664	86	14.9	4	1
	Suomussalmi	95	21	920	2.5	17.1	617	150	18.7	4	1
	Pielisjärvi	120	21	1 040	2.9	15.5	318	153	22.3	4	1
»	130	18	1 030	2.3	16.0	385	148	20.5	4	1	
Ristijärvi	100	18	960	2.4	13.8	473	108	18.2	4	1	
Hyrnsalmi	95	21	960	2.1	16.4	513	144	19.6	4	1	
Pielisjärvi	60	24	1 030	4.0	13.4	1 648	55	15.2	4	1	
»	140	21	990	2.8	18.4	290	175	22.3	4	1	
Puolanka	105	18	960	2.0	13.6	328	117	18.6	4	1	
Pieksämäki	80	21	1 170	4.3	16.8	470	144	19.0	4	1	
KUUSI Spruce	Suomusjärvi	45	30	1 270	10.9	24.3	1 029	211	19.3	8	2
	Pomarkku	80	27	1 200	4.8	14.0	251	137	22.9	8	3
	Parkano	65	27	1 250	6.3	22.9	747	191	20.2	8	2
	Elimäki	90	27	1 310	6.0	24.3	486	258	23.9	8	2
	Savitaipale	75	27	1 290	7.0	22.3	540	235	23.5	8	2
	Kuhmoinen	65	27	1 240	6.0	19.2	724	164	20.6	8	2
	Sysmä	80	24	1 240	4.9	19.0	523	187	22.2	8	2
	Savonranta	75	27	1 190	8.1	22.6	495	212	22.3	8	2
	»	75	27	1 170	7.4	23.4	618	225	22.6	8	2
	Saarijärvi	110	24	1 060	5.0	22.7	455	239	25.0	8	2
	Lestijärvi	110	21	1 030	4.8	16.3	540	144	21.0	8	2
	Kuopio	85	24	1 180	5.6	17.5	403	167	21.4	8	2
	Pyhäntä	100	21	1 000	4.9	22.6	713	192	20.3	12	3
	Oulu	130	21	1 020	2.7	19.8	420	193	22.4	8	2
	Suomussalmi	150	15	860	2.5	19.7	591	154	19.1	8	2
	Posio	140	12	810	1.8	14.9	593	92	15.8	8	2
	Kemi	115	15	970	2.4	15.8	721	101	15.3	8	2
	Sodankylä	110	15	750	1.6	11.1	608	56	13.8	4	1
	»	170	12	730	1.8	13.1	426	79	16.1	4	1
	Taivalkoski	120	15	910	2.6	15.1	655	101	17.0	8	2
	Hyrnsalmi	120	15	920	2.1	15.9	896	107	17.1	4	1
	Kuhmo	125	18	910	2.7	17.6	725	136	17.9	4	1
	Pielisjärvi	120	21	1 010	4.1	20.0	473	194	23.5	4	1



Kuva 2. Lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun riippuvuus lannoitusta edeltävästä kuutiokasvusta.

Fig. 2. Correlation between the volume increment after fertilization and that before fertilization.

distää käsittelyttään, jolloin havaintojen määrä väheni noin puoleen. Laskennassa eri puulajit erotettiin kuitenkin toisistaan käyttäen puulajia ns. »dummy»-muuttujana,

minkä seurauksena männyn ja kuusen regressiomallit poikkesivat toisistaan vain vakiotermin suhteen (DRAPER ja SMITH 1966).

3. TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

31. Eräiden tunnusmerkkien merkitys

Keskeisimpien muuttujien välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin korrelatiodiagrammien avulla, millä perusteella voitiin tehdä joitakin suuntaa antavia havaintoja muuttujien välisistä suhteista.

Lannoituksen jälkeinen kuutiokasvu korreloi odotetusti voimakkaimmin lannoitusta edeltäneen kuutiokasvun kanssa ($r = 0,897$ männyllä ja $0,929$ kuusella; kuva 2). Vastava korrelatio lannoitusta edeltäneen pohjapinta-alan kasvun kanssa oli lähes yhtä kiinteä ($r = 0,815$ männyllä ja $0,874$ ku-

sella), koska pohjapinta-alan kasvun ja kuutiokasvun välillä vallitsee yleensä voimakas riippuvuus (vrt. MÖLLER 1971, BRAASTAD ym. 1973, GUSTAVSEN ja LIPAS 1975).

Selittävänä muuttujana oleva lannoituksen jälkeinen kuutiokasvu korreloi erittäin hyvin pituusboniteetti luokan kanssa ($r = 0,757$ männyllä ja $0,820$ kuusella). Erityisesti männyllä lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys näytti lisääntyvän kasvupaikan viljavuutta kuvaavan boniteetti luokan suuressa. Kuusella puolestaan lannoituksella saadun kasvunlisäyksen voitiin havaita suuremman samalla tavalla, mutta pienenevän kaikkein viljavimmilla kasvupaikoilla.

Tarkasteltaessa sekä kuutiokasvun että lannoitusreaktion ja puuston iän välistä riippuvuutta (kuutiokasvun ja iän välinen $r = -0,631$ männyllä ja $-0,818$ kuusella) havaittiin molemmissa tapauksissa vallitsevan negatiivisen korrelaation. Kasvunlisäyksen heikkeneminen puuston iän lisääntyessä ei kuitenkaan voinut tulla tässä tapauksessa selvästi esiin, koska aineistossa oli edustettuna ainoastaan varttuneita metsiköitä.

Kasvukauden tehoisan lämpösumman merkitys selittävänä muuttujana tuli ilmi lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen melko johdonmukaisena suurenemisena lämpösumman kasvaessa. Sitä vastoin lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun riippuvuus sekä pohjapinta-alasta että kuutiomäärästä oli edellisistä löyhempi. Toisaalta näillä puuston määrää kuvaavilla tunnuksilla on katsottu olevan suuri merkitys monissa kasvumalleissa (GUSTAVSEN 1977, NYSSÖNEN ja MIELIKÄINEN 1978). — Ongelmallisinta muuttujien valinnassa kokonaisuudessaan oli, että useimmat niistä korreloivat vahvasti keskenään, jolloin yksityisen muuttujan selitysarvon mittaaminen on vaikeaa.

Osa-aineistossa voitiin käyttää selittävinä muuttujina myös sademääriä välittömästi lannoitusta seuraavalta sekä 14 että 30 vrk:n ajanjaksolta ja lisäksi maanäytteistä määritettyjä kemiallisia ja fysikaalisia tunnuksia. Aikaisemmin mainittuihin muuttujiin verrattuna nämä kuitenkin osoittautuivat hyvin huonoiksi selittäjiksi, joten niitä ei enää jatkossa voida ottaa mukaan. Sää- ja maaperätekijöiden selitysarvo tulee ilmeisesti merkitseväksi vasta erittäin poik-

keavien lannoitusreaktioiden syitä selvitetäessä (MALM ym. 1973). Tämän tyyppisten muuttujien yhdistelmillä saattaisi olla enemmän merkitystä kuin yksittäisten ominaisuuksien arvoilla.

32. Muuttujien valinta

Yhtenä perusteena selittävien muuttujien valinnassa pidettiin niiden kohtuullista mitattavuutta, sekä rajoittavana tekijänä sitä, että niiden lukumäärä ei saisi olla suuri. Koska kuutiokasvun kanssa vahvimmin korreloivat lannoitusta edeltävä kuutiokasvu on työläästi selvitettävissä, metsikön kasvustasoa edustavaksi muuttujaksi otettiin pohjapinta-alan kasvu. Selitysarvoltaan parhaimmiksi valikoituneiden muuttujien yhdistelmiä eräine tilastollista merkitsevyyttä kuvaavine arvoineen on koottu taulukkoon 3. Kolme muuttujaa sisältävistä kombinaatioista selitti männyn kasvua parhaiten yhdistelmä, jossa olivat mukana lannoitusta edeltänyt pohjapinta-alan kasvu (Ig-), pituusboniteetti (H 100) ja pohjapinta-ala (G). Kuusella vastaava yhdistelmä poikkesi tästä ainoastaan siten, että pituusboniteetin tilalle tuli lämpösumma. Koska ero näiden kahden mallin selitysasteessa jäi hyvin pieneksi ja koska pituusboniteetti ja lämpösumma olivat keskenään vahvassa korrelaatioissa ($r = 0,943$), päätettiin molemmilla puulajeilla käyttää yhtälöä, jossa selittävinä muuttujina olivat pohjapinta-alan kasvu ennen lannoitusta edustamassa kasvun tasoa, pituusboniteetti luokka kasvupaikan laatua kuvaavassa ja pohjapinta-ala puuston määrää mittaamassa.

33. Lannoituskäsittelyille saadut yhtälöt

Taulukkoon 4 on laskettu edellä mainitut selittävät muuttujat sisältävillä kovarianssimalleilla keskimääräiset kuutiokasvut ja kasvunlisäykset käsitteilyttain. Ne todettiin Tukey'n testeillä kaikissa tapauksissa merkitseväksi 5 %:n merkitsevyytensä. Saatua kasvunlisäyksiä voidaan verrata GUSTAVSENIN ja LIPAKSEN (1975) tuloksiin, missä vastaavat lannoituskäsittelyt antoivat lukemiksi (kuusen ja männyn tulokset yhdistettyinä): urea 0,8, oulunsalpietari 1,4

Taulukko 3. Kovarianssianalyysissä saatujen regressiokertoimien merkitsevyydet (t-arvoja) erilaisilla selittävien muuttujien kombinaatioilla, selitettävän muuttujan ollessa kuutiokasvu lannoituksen jälkeen (Iv+).

Table 3. Significances (t-values) for regression coefficients given by analysis of covarians using alternative combinations of independent variables when the dependent variable is volume increment after fertilization (Iv+).

Muuttuja Variable	Muuttujakombinaatiot Combinations of independent variables							
	Mänty — Pine							
T	2,68 ^{xx}							-3,35 ^{xxx}
H 100	0,82				9,16 ^{xxx}	4,51 ^{xxx}		
D.D.	5,40 ^{xxx}	8,61 ^{xxx}		6,15 ^{xxx}				
Ig+	38,24 ^{xxx}							
Ig-	-17,61 ^{xxx}	16,42 ^{xxx}	13,38 ^{xxx}	18,45 ^{xxx}	14,68 ^{xxx}	15,99 ^{xxx}	17,25 ^{xxx}	
Iv-	22,20 ^{xxx}							
G	0,92	7,25 ^{xxx}	10,32 ^{xxx}			8,81 ^{xxx}		
V	-0,72							
Hdom	-2,26 ^x			5,43 ^{xxx}			4,01 ^{xxx}	10,12 ^{xxx}
R ²	0,991	0,883	0,857	0,871	0,887	0,861	0,855	
F	19,22	58,25	47,52	53,98	60,50	49,94	48,40	
Kuusi — Spruce								
T	0,84							-5,02 ^{xxx}
H 100	3,67 ^{xxx}				7,47 ^{xxx}	5,70 ^{xxx}		
D.D.	-2,05 ^x	7,77 ^{xxx}		5,83 ^{xxx}				
Ig+	29,62 ^{xxx}							
Ig-	-8,71 ^{xxx}	15,56 ^{xxx}	9,40 ^{xxx}	16,15 ^{xxx}	13,39 ^{xxx}	12,03 ^{xxx}	12,02 ^{xxx}	
Iv-	9,68 ^{xxx}							
G	-1,10	6,37 ^{xxx}	8,91 ^{xxx}		5,91 ^{xxx}			
V	1,69							
Hdom	-2,14 ^x			1,62		0,29	5,16 ^{xxx}	
R ²	0,989	0,900	0,899	0,876	0,898	0,876	0,871	
F	1,77	25,26	25,00	22,01	25,04	22,16	21,14	

t-arvojen kynnysarvot: $t_{0,05} = 2,00$ (x), $t_{0,01} = 2,66$ (xx) ja $t_{0,001} = 3,46$ (xxx), vapausasteilla 60.

Threshold limits for t-values are: $t_{0,05} = 2,00$ (x), $t_{0,01} = 2,66$ (xx) and $t_{0,001} = 3,46$ (xxx), degree of freedom 60.

Taulukko 4. Keskimääräiset kuutiokasvut ja kuutiokasvujen lisäykset aineistossa, (m³/ha/a kuorineen).
Table 4. Average volume increment and increment increase, m³/ha/a (with bark).

Lannoite Fertilizer	Mänty — Pine		Kuusi — Spruce	
	Kuutiokasvu Volume increment	Kasvunlisäys Increase of increment	Kuutiokasvu Volume increment	Kasvunlisäys Increase of increment
U	4,52	0,96	5,89	0,98
Os	5,05	1,49	6,19	1,28
Y	5,24	1,68	6,69	1,78

ja Y-lannos 1,7 m³/ha/a. Vertailu osoittaa kasvunlisäykset varsin yhdenmukaisiksi. Ennen lannoitelajeittaista regressioyhtälöiden laskemista aineistoa rajoitettiin lähinnä kuvallisen tarkastelun perusteella. Valtaosa männyn pohjapinta-alan kasvulukemista (m³/ha/a) sijoittui välille 0,100–0,400 ja kuusella 0,100–0,550. Koska mainitut ylärajat ylittävien havaintojen suhteellisen pieni määrä aiheutti suuren poikkeavuutensa ansiosta selviä epäjohtonmukaisuuksia yhtälöihin, pidettiin perusteltuna rajata nämä poikkeavat arvot pois. Karsintaa, joskin hieman toisessa muodossa, on suorittanut mm. MÖLLER (1971) lannoitustutkimusaineistonsa heterogeenisuuden poistamiseksi.

Tämän jälkeen laskettiin lannoitelajeittain yhtälöt lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun arvioimiseksi käyttämällä aikaisemmassa vaiheessa valittuja selittäviä muuttujia (taulukko 5). Jos yhtälöissä vakioitaan kaksi selittävää muuttujaa näiden keskiarvoilla, voidaan yhtälöt kuvata myös piirroksin. Näin on tehty kuvassa 3, missä eri muuttujien vaikutus selitettävään muuttujaan tulee esille kiinnittämällä aina kaksi muuttujaa keskiarvoonsa. Puulajit on yhdistetty laskemalla näiden keskiarvot kaikille muuttujille.

Eri lannoitelajien antamien kasvunlisäysten erot olivat melko selvät. Kuten aikai-

semmissä vastaavissa selvityksissä, urean tuottamat kasvunlisäykset ovat pienempiä kuin muilla lannoitteilla aikaansaadut. Eräänä syynä tähän on ilmeisesti se todettu seikka, että urean reaktio on muita lannoitelajeja hitaampi (BRANTSEG 1967, MALM ja MÖLLER 1974). Siten ero urean ja muiden lannoitteiden välillä oletettavasti pienenee, jos tarkastelujakson pituutena on vaikutuksen koko kesto aika, eikä vain viisi vuotta, kuten tässä tapauksessa. Reaktiohi-tautta tärkeämpi syy urean keskimääräistä pienempi reaktioihin lienee kuitenkin urean Y-lannoitetta ja oulunsalpietaria suurempi sääherkkyys. Epäedullisissa kosteusolosuhteissa levityksen jälkeen saattaa ureatypestä haihtua huomattava osa (LIPAS ja LEVULA 1980).

34. Yhtälöiden luotettavuuden tarkastelu

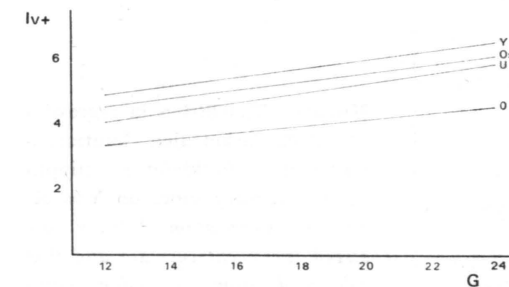
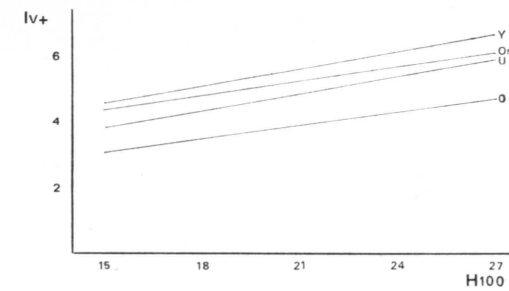
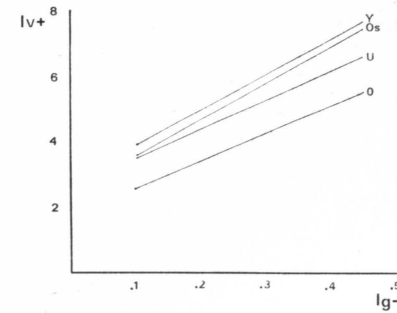
Lannoituskokeiden tuloksille on luonteenomaista niiden suuri vaihtelu. Suuresta hajonnasta johtuen lannoituksella aikaansaatu kasvunlisäysten kuvaaminen matemaattisilla malleilla on osoittautunut vaikeaksi. Selitysasteet kyseisissä malleissa ovat olleet yleensä 50 %:n tasoa (MÖLLER 1971, BRAASTAD ym. 1973).

Muodostettujen yhtälöiden luotettavuuden

Taulukko 5. Kullekin lannoituskäsittelylle laskettujen yhtälöiden vakiot, regressiokertoimet, selitysaste, havaintojen määrä ja keskiarvo.

Table 5. Constants, regression coefficients, coefficient of determination, number of observations and standard error of the equations for each fertilization treatment.

Muuttujat Variables	Käsittely — Treatment			
	Kontr. Control	U	Os	Y
Vakio, mänty Constant, pine	— 2,7635	— 3,3966	— 2,3977	— 2,8614
Vakio, kuusi Constant, spruce	— 2,9714	— 3,8698	— 3,0308	— 3,2888
H 100	0,1423	0,1785	0,1431	0,1764
Ig—	8,5183	9,0179	11,3477	10,8175
G	0,0995	0,1507	0,1298	0,1376
R ²	0,925	0,854	0,863	0,890
n	89	88	87	88
S _e %	13	18	16	14

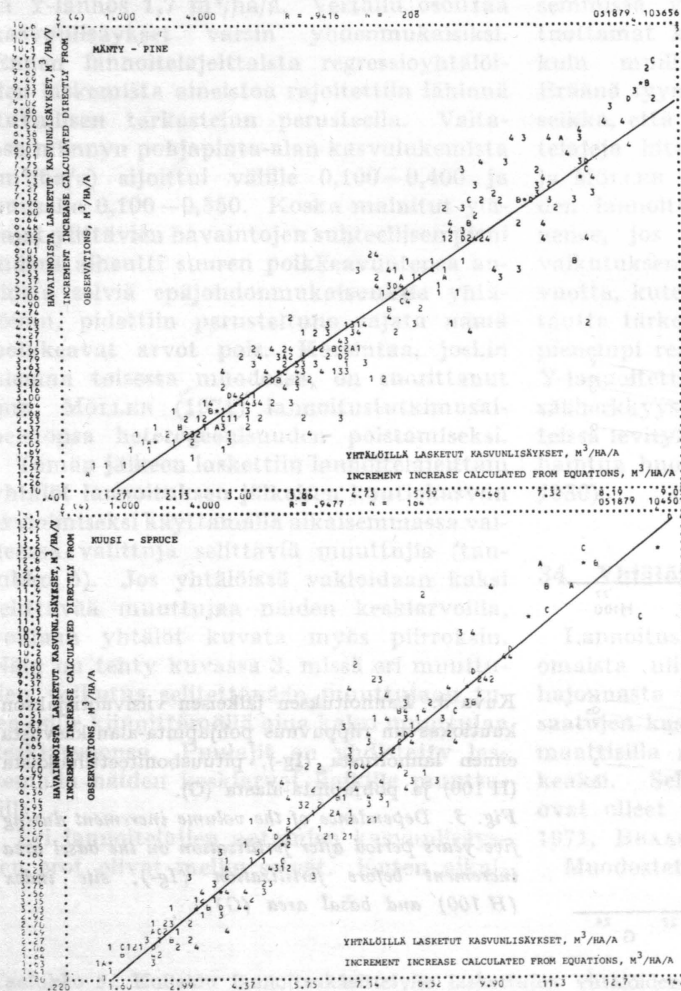


Kuva 3. Lannoituksen jälkeisen viisivuotijakson kuutiokasvun riippuvuus pohjapinta-alan kasvusta ennen lannoitusta (Ig-), pituusboniteettiluokasta (H 100) ja pohjapinta-alasta (G).
Fig. 3. Dependence of the volume increment during five years period after fertilization on the basal area increment before fertilization (Ig-), site index (H 100) and basal area (G).

tarkastelua varten yhtälöt testattiin vertaamalla yhtälöillä laskettuja kasvunlisäyksiä todellisiin, havaintoaineistosta laskettuihin lisäyksiin (kuva 4). Vertailun perusteella voitiin päätellä, ettei yhtälöissä ollut havaittavissa mitään suurta systemaattista harhaa. Korrelaatiokertoimet laskettujen ja havaittujen kasvunlisäysten välillä olivat: 0,942 männyllä ja 0,948 kuusella. Mallien jäännösvaihtelun tarkastelu eri muuttujien suhteen osoitti selvästi aineiston heterogeenisuuden ja suuren hajonnan. Mallien luotettavuutta kuvaa myös jäännöshajonnan avulla laskettu suhteellisen keskiarvon estimaatti (s_e). Tämän avulla laskettu absoluuttinen virhe on esim. urean yhtälön mukaan — keskiarvokasvua käyttäen — 4,86 m³ ± 18 %, mikä merkitsee että todellinen

kasvu on välillä 4,00...5,73 m³/ha todennäköisyydellä 0,683. Erittäin tärkeä huomioon otettava seikka s_e:n tulkinna on, että vaikka kasvuennusteet saadaan yhtälöistä suhteellisen luotettavasti, suhteellinen virhe erotuksena saatavassa kasvunlisäyksessä voi silti olla varsin suuri.

Tässä yhteydessä on korostettava myös sitä, että käytetty aineisto asettaa luonnollisesti omat rajoituksensa mallien käytölle. Ensinnäkin on syytä mainita, että lannoituskokeissa oli käytetty 120 kg N/ha. Jos metsikkötunnuksissa esiintyy suurta poikkeavuutta tämän aineiston vastaaviin lukuihin nähden, voidaan olettaa kasvun estimoinnin luotettavuuden heikenevän siinä määrin, että eri käsittelyjä edustavien mallien ja kontrollikasvutason mallin erotuksena



Kuva 4. Todellisten ja regressioyhtälöllä laskettujen kuutiokasvulisäysten keskinäinen riippuvuus. Piirretty suora on $Y = X$.
Fig. 4. Correlation between observed increment increase and that calculated from regression equations. The line is $Y = X$.

saatavan kasvulisäyksen arvio käy kovin epäluotettavaksi. Kolmantena varauksena voidaan mainita seikka, joka olisi syytä ottaa huomioon kaikissa metsikkökoealoihin perustuvien kasvututkimustulosten käytän-

töön soveltamisessa. Nimittäin se, että metsikkökoealat edustavat useimmiten keskimääräistä parempia metsiä ja lisäksi koealat sijaitsevat metsikössä sen puuston parhaassa osassa.

KIRJALLISUUSVIITTEET

BRAASTAD, H., GUSTAVSEN, H. & FRIBERG, R. 1973. The volume growth increase after fertilization. Sammanfattning: Volymtillväxtökningen efter gödslingen. För Skogssträdsförädl., Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1973: 124–138.

BRANTSEG, A. 1967. Skogsgödsling på fastmark. Skogsgödsling. Nya Vetenskapl. Rön 9.
DRAPER, N. & SMITH, H. 1966. Applied regression analysis. New York—London—Sydney, John Wiley & Sons, Inc. S. 134–142.
GUSTAVSEN, H. 1977. Valtakunnalliset kuutio-

kasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. Folia For. 331.

- » — & LIPAS, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvulisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. Folia For. 246.
- HEIKURAINEN, L. 1973. Soiden metsäkasvutuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. Acta For. Fenn. 131.
- HÄGGLUND, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Summary in English. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 21.
- » — 1973. Om övre höjdens utveckling för gran i södra Sverige. Summary in English. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 31.
- » — 1974. Övre höjdens utveckling i tallbestånd. Summary in English. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 31.
- KEIPI, K. & KEKKONEN, O. 1970. Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Seloste: Metsänlannoituksen edullisuudesta. Folia For. 84.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Ilmatiet. laitos. 1967–1969.
- LIPAS, E. & LEVULA, T. 1980. Urealannoitus eri vuodenaikoina. Abstract: Urea fertilization at different times of the year. (julkaisun n:o saadaan myöhemmin).

- MALM, O., MÖLLER, G. & NÖMMINK, H. 1973. Gödslingseffektens samband med växt-näringsinnehåll i mark och barr. Summary: Relation between growth response to nitrogen application and nutrient content in soil and needles. För Skogssträdsförädl. Inst. Skogsförbättr. Årsb. 1973: 48–75.
- » — & MÖLLER, G. 1974. Skillnader i volumtillväxtökning efter gödsling med urea resp ammoniumnitrat. Summary: Differences in volume growth increase after fertilization with urea and ammonium nitrate fertilizer. För skogsförädl. o Inst. För Skogsförbättr. Årsbok.
- MÄLKÖNEN, E. 1979. Tutkimuksen neuvot kangas-metsien lannoittajille. Metsälehti n:o 8.
- MÖLLER, G. 1971. Tillväxtökning genom gödsling. Analys av äldre gödslingförsök. Summary in English. För Skogssträdsförädl. Årsb. 1973: 50–81.
- NYSSÖNEN, A & MIELIKÄINEN, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta For. Fenn. 163.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätöohjeet. 1977. Moniste. Metsätutkimuslaitoksen metsänarvioinnin tutkimusosasto.
- VIRO, P. J. 1972. Die Walddüngung auf finnischen Mineralböden. Folia For. 138.
- VUOKILA, Y. 1971. Harvennussmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. Folia For. 99.

SUMMARY:

ESTIMATION OF GROWTH RESPONSE ACHIEVED THROUGH FOREST FERTILIZATION

The type of situation is often likely to arise in practical forest fertilization activities in which a decision has to be made about which type of stand will gain the most benefit from fertilization. In order to facilitate such decision-making, an attempt has been made in this study to determine, on the basis of the available material, whether the fertilization response is dependent on some easily measurable stand characteristics. The aim was to develop models, based on a number of variables, which could be used to estimate the growth increase given by fertilization, especially in mature stand.

The material consisted of most of the fertilization experiments (altogether 31 pine and 23 spruce experiments), established in 1968 in which urea, ammonium nitrate with lime and NPK fertilizer, each at a level equivalent to 120 kg N/ha, were used. The growing stock, on most of the experi-

ments were ready for cutting or at least very close to it.

The sample plots were inventoried five growing seasons after they had been established and the growth data was calculated for the two successive five-year periods preceding inventory. Information was also collected about the soil properties and the weather conditions following fertilization.

The data was examined graphically as well as being subjected to covariance and regression analysis. The mean volume growth with bark during the five-year period following fertilization was chosen as the dependent variable for the model. The basal-area growth, height quality class and basal-area during the period preceding fertilization best explained the growth and growth increase.

The field data was divided in the main stage of the data handling into four groups by fertilizer

type and the tree species combined into groups. An equation was then calculated, using regression analysis, for each treatment since the growth increase given by fertilization could be calculated as the difference between the equations for the treatment level and the control level.

The results of this study can be considered to support the current opinion that the best growth response is obtained by fertilizing well-stocked

stands with a good level of growth, on sites which are not too fertile or infertile for the tree species in question. Owing to the large variation in the size of the fertilizer response the growth increase to be obtained through fertilization can be only approximately estimated in advance, but if no high degree of certainty is required, then the results can to some extent be predicted.

Abstract: The growth response of well-stocked stands to fertilization was studied in a 5-year experiment. The stands were divided into three groups according to their growth level. The results showed that the best growth response was obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth. The growth increase was calculated as the difference between the equations for the treatment level and the control level. The results support the current opinion that the best growth response is obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth.

Summary: The growth response of well-stocked stands to fertilization was studied in a 5-year experiment. The stands were divided into three groups according to their growth level. The results showed that the best growth response was obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth. The growth increase was calculated as the difference between the equations for the treatment level and the control level. The results support the current opinion that the best growth response is obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth.

ABSTRACT

The growth response of well-stocked stands to fertilization was studied in a 5-year experiment. The stands were divided into three groups according to their growth level. The results showed that the best growth response was obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth. The growth increase was calculated as the difference between the equations for the treatment level and the control level. The results support the current opinion that the best growth response is obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth.

SUMMARY

The growth response of well-stocked stands to fertilization was studied in a 5-year experiment. The stands were divided into three groups according to their growth level. The results showed that the best growth response was obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth. The growth increase was calculated as the difference between the equations for the treatment level and the control level. The results support the current opinion that the best growth response is obtained by fertilizing well-stocked stands with a good level of growth.