

FOLIA FORESTALIA 152

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1972

KARI KEIPI

LANNOITUSKUSTANNUKSET JA TUOTTOJEN
KÄSITTELY METSÄN LANNOITUKSEN KAN-
NATTAVUUSLASKELMISSA NORJASSA, RUOT-
SISSA JA SUOMESSA

THE CONCEPT OF FOREST FERTILIZATION
RETURNS IN NORWAY, SWEDEN AND
FINLAND

- N:o: 1—18 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 1—41.
 Nos. 1—18 are listed in publications 1—41 of the Folia Forestalia series.
 N:o: 19—55 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 19—96.
 Nos. 19—55 are listed in publications 19—96 of the Folia Forestalia series.
 N:o: 56—98 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 56—133.
 Nos. 56—98 are listed in publications 56—133 of the Folia Forestalia series.
- 1971 No 99 Yrjö Vuokila: Harvennuskallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille.
 Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd i Finland.
 Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. 2,—
- No 100 Esko Leinonen — Kalevi Pullinen: Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa.
 Green density sampling in pulpwood scaling. 2,—
- No 101 IUFRO, Section 31, Working Group 4: Forecasting in forestry and timber economy.
 5,—
- No 102 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1969/70.
 Stumpage prices in private forests during cutting season 1969/70. 1,—
- No 103 Matti Ahonen: Tutkimuksia kanto- ja juuripuun korjuusta I. Kokeilu puiden kaatamisesta juurakkoineen.
 Studies on the harvesting of stumps and roots in Finland I. Experiment with the felling of trees with their rootstock. 2,—
- No 104 Ole Oskarsson: Plusmetsiköiden valintaero ja jalostusvoiton ennuste.
 Selection differential and the estimation of genetic gain in plus stands. 1,50
- No 105 Pertti Harstela: Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa.
 The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m. rough limbed spruce pulpwood. 2,50
- No 106 Hannu Vehviläinen: Metsätyömiesten moottorisahakustannukset 1969—1970
 Power-saw costs of forest workers in 1969—1970 3,—
- No 107 Olli Uusvaara: Vaneritehtaan jätetuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista
 On the properties of chips prepared from plywood plant waste 2,50
- No 108 Pentti Hakkila: Puutavaran vaurioitumisesta leikkuuterää korjuutyössä käytettäessä.
 On the wood damage caused by shear blade in logging work. 2,—
- No 109 Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö.
 Report of the committee on the costs of forest planting and seeding. 9,—
- No 110 Kullervo Kuusela ja Alli Salovaara: Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969—70.
 Forest resources in the Forestry Board Districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969—70 5,50
- No 111 Kauko Aho ja Klaus Rantapuu: Metsätraktorien veto- ja nousukyvyistä rinteessä.
 On slope-elevation performance for forest tractors. 2,—
- No 112 Erkki Ahii: Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometrillä.
 Use of tensiometer in measuring soil water tension. 1,—
- No 113 Olavi Huikari — Eero Paavilainen: Metsänparannustyöt ja luonnon moninaiskäyttö.
 Forest improvement works and multiple use of nature. 2,—
- No 114 Jouko Virta: Yksityismetsänomistajien puunmyyntialttius Länsi-Suomessa vuonna 1970.
 Timbers-sales propensity of private forest owners in western Finland in 1970. 6,—
- No 115 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Tukkien todellisen kiintomitan mittaamisessa käytettävät muunto- ja kuutioimisluvut. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimukseen 1970 perustuvat taulukot. 1,—
- No 116 Veijo Heiskanen: Tyvitukkien ja muiden tukkien koesahauksia Pohjois-Suomessa
 Test sawings of butt logs and top logs in Northern Finland. 2,50
- No 117 Paavo Tiitonen: Suomen pohjoispuoliskon mäntytukkipuusto v. 1969—70.
 Das Kiefernstarkholz der nördlichen Landeshälfte Finnlands i.J. 1969—70. 2,—
- No 118 Pertti Harstela: Moottorisahan värinän vaikutuksesta työntekijän käsiin.
 On the effect of motor saw vibration on the hands of forest worker. 1,50
- No 119 Lorenzo Runeberg: Plastics as a raw-material base for the paper industry in Finland
 Muovit paperiteollisuuden raaka-aineena Suomessa. 2,50
- No 120 Esko Salo ja Risto Seppälä: Kiinteistöjen polttoraakapuun käytön väli-inventointi vuosina 1969/70.
 Fuelwood consumption on farms and in buildings, intermediate inventory, 1969/70. 3,—
- No 121 Heikki J. Kunnas: Forestry in national accounts.
 Metsätalouden kansantulo-osuuden laskenta. 2,—
- No 122 Pentti Kuokkanen: Metsänviljelytaimien kasvatuskustannukset vuosina 1969 ja 1972.
 Costs of growing forest-tree seedlings in nurseries in 1969 and 1972. 2,50
- No 123 Juhani Numminen: Puulevyjen käyttö Uudenmaan talousalueella v. 1967 valmistuneissa rakennuksissa.
 The use of wood-based panels in buildings completed in 1967 in the Uusimaa Economic Region. 2,50
- No 124 Markku Simula: An econometric model of the sales of printing and writing paper. 3,—
- No 125 Risto Seppälä: Simulation of timber-harvesting systems.
 Puun korjuuketjujen simulointi. 4,—

Kari Keipi

LANNOITUSKUSTANNUKSET JA TUOTTOJEN KÄSITTELY METSÄN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUSLASKELMISSA NORJASSA, RUOTSISSA JA SUOMESSA

The concept of forest fertilization returns in Norway, Sweden and Finland

Summary in English see page 3

ESIPUHE

MMK KARI KEIPI tutustui vuosina 1969 ja 1970 Ruotsin ja Norjan metsän lannoituksen kannattavuutta koskevaan tutkimustoimintaan. Käsillä oleva julkaisu on raportti kyseisistä matkoista. Siinä pyritään antamaan käsitys tehdyistä lannoituksen kannattavuuslaskelmista ja erityisesti tarkastellaan tuoton määrittämisessä käytettyihin menetelmiin.

Kiitän Metsäntutkimuslaitoksen puolesta kaikkia niitä henkilöitä Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa, jotka ovat avustaneet tämän selvityksen aikaansaamisessa.

Helsinki 23.6.1972

Lauri Heikinheimo

ACKNOWLEDGEMENT

KARI KEIPI, M.F., was sent by the Finnish Forest Research Institute in 1969 and 1970 to Sweden and Norway to become acquainted with forest fertilization profitability research in these countries. This paper is a report of these tours. The purpose of the paper is, in particular, to discuss the methods used in calculating the gains from fertilization.

I would like to express my thanks to all the people in Norway, Sweden and Finland who have given their assistance in compiling this paper.

Helsinki, June 23, 1972

Lauri Heikinheimo

SISÄLLYSLUETTELO – CONTENTS

	sivu page
ESIPUHE	1
ACKNOWLEDGEMENT	1
SUMMARY	3
1. JOHDANTO	9
11. Kannattavuuslaskelmien tarve	9
12. Tehtävän asettelu	9
2. LANNOITUSKUSTANNUKSET	10
21. Yleistä	10
22. Levityskustannukset	11
23. Muut kustannukset	12
3. LANNOITUKSEN AIHEUTTAMAN KASVUNLISÄYKSEN ARVOSTAMINEN	14
4. TULO-ODOTUSTEN MUUTOS YKSITYISESSÄ METSIKÖSSÄ	18
41. ”Puhdas” lannoituksen kannattavuus	18
411. Hakkuiden lisääntyminen	18
412. Kiertoajan lyheneminen	21
42. Lannoitukseen ja puustoon sitoutuneen pääoman kannattavuus	22
5. TULO-ODOTUSTEN MUUTOS METSÄLÖSSÄ	24
51. Lannoitus ja hakkuiden sopeuttaminen	24
52. Kasvunlisäyksen ”realisointi” lannoittamattomista metsiköistä	28
6. YHTEENVETO	32
KIRJALLISUUSLUETTELO – BIBLIOGRAPHY	34
LIITE 1 – APPENDIX 1	36
LIITE 2	37

SUMMARY

Introduction

Forest fertilization is a relatively new silvicultural method in the Nordic countries. In the middle of the 1960s, the shortage of wood as a raw material for forest industries resulted in fertilization beginning to gain ground. The break-through year was 1966, when more than 300 000 ha of forest were fertilized in Norway, Sweden and Finland combined.¹⁾

Fertilization is expected to increase further. An example is the forest fertilization included in the Finnish MERA (forest-financing) programme, according to which the area fertilized in 1975 is planned to be 550 000 ha (MERA . . . 1969, pp. 44, 57). Plans to increase forest fertilization also exist in the other two countries. These plans owe their origin to calculations which have shown that fertilization is one of the most profitable means of improving yield in forests. Extension of the plans will require further calculations as the size of investments increases.

Profitability can be viewed from a number of angles. In this study, the view is that of the forest-industry company and of the private forest owner. The study discusses the effect of a single fertilization of timber nearing final cutting age on mineral soils. The profitability of alternative investments is assessed according to the extent to which they cause changes in the flows of positive and negative payments (STREYFFERT 1965, pp. 228–229; M. KELTIKANGAS 1970, p. 61). The most important components of investment calculations are costs and returns. This paper deals primarily with returns. Returns are considered to be the increase in income resulting from the sale of timber or the gain from receiving the income earlier than would be the case without the investment.

Evaluation of increment increase due to fertilization

Whatever calculation method is used should

aim to find out the effect of fertilization on:

- timber volume
- tree size distribution
- trunk form
- fibre quality.

The returns from an individual stand can be described in the way shown in Figure 2. In this particular case, the final cutting is expected to take place immediately after cessation of the increment increased due to fertilization. The graph depicts the effect of fertilization on timber volume and tree size.

In the Figure, the volume of the once-fertilized stand is indicated by the symbol V_0 and the stumpage price by R_0 , so the income from the final cutting is $V_0 \times R_0$. In the fertilized stand, the income would be $V_f \times R_f$. The gain from fertilization (ΔF) is $V_f \times R_f - R_0 R_0$. According to Norwegian and Finnish studies of stands nearing final cutting age on moderately productive mineral soils, volume, age and increment without fertilization show poor correlations with increment increase due to fertilization (BRANTSEG, et al. 1970, p. 601; KEIPI & KEKKONEN 1970), p. 10). The results of Swedish studies, however, show a positive correlation between increment increase due to fertilization and increment without fertilization. Figure 3 gives an idea of the pattern of this correlation. Although the results from different stands show considerable variation, Swedish research indicates an average increment increase of 1–2 m³/ha/year including bark when fertilized at the rate of 100 kg/ha N. Given stands in equal conditions, the average rate of increment increase according to Norwegian studies is about 2 m³/ha/year including bark at 150 kg/ha N. In Finland, corresponding results have been obtained. (FAHLROTH & FRIBERG 1970, p. 555; *Instilling*. . . 1969, p. 5; KEIPI & KEKKONEN 1970).

The effect of fertilization on tree size distribution will increase the stumpage price. Figure 4 shows that this increase is from the reduced costs of logging and the higher value of the timber at the mill. It is important to know

1) See Appendix 1

how the increment increase is distributed among trees of different sizes. Figures 5 and 6 show the distribution of the increase for trees of different sizes in pine and spruce stands in northern Sweden.

According to studies made in all three countries, the effect of fertilization on trunk form is slight (HAGBERG 1966, p. 60; KEKKONEN 1967; BRANDEL 1969; personal interview with ALF BRANTSEG and ARNE BREKKA). When calculating the returns from fertilization, the effects on fibre quality should be considered. The main effect is a reduction in wood density. Different studies have shown that this reduction is 5 % or less. (KLEM 1968, p. 1; ERICSON 1969, p. 1; HAKKILA 1970). The effects of fertilization on fibre quality are not significant for the use of the wood by sawmills (MÖLLER 1968a, p. 5).

The reduction of wood density has a certain effect in pulp and paper production, since the yield from sulphate and sulphite cooking is lowered. In Sweden, ERICSON has made theoretical calculations of the value of this lost yield (see Table 2). Normally in the Nordic countries, the effects of reduced fibre quality are not taken into account in calculations of the profitability of forest fertilization.

Calculation of forest-fertilization returns for a stand

The returns from fertilizing a stand nearing final cutting age can be calculated in two ways. The first is based on the increased income from fellings and the second on shortening the rotation.

The former method is depicted in Figure 7. HERMANSEN (1970, p. 68) has expressed this as the "gross increase in the value of the stand", as follows:

$$(4) \quad T_n = t_n \cdot P_n + M_n \cdot P'_n$$

T_n = gross increase in stand value", mk

t_n = increase in increment, m^3

P_n = average price of timber, mk/m^3

M_n = total volume of the stand, m^3

P'_n = increase in timber price due to improved tree size distribution resulting from fertilization, mk/m^3

The most difficult of the variables on the right-hand side of the formula is P'_n . The increase in dbh, which usually depicts the increase in tree size best, is often slight and hard to measure. Consequently, the gains from greater tree size have frequently not

Table 2. Calculation of the value of wood from fertilized and unfertilized pine stands after sulphate cooking (ERICSON 1969, p. 4).

		Unit	Stand I		Stand II	
			Unfertilized	Fertilized	Unfertilized	Fertilized
Relative volume increment		%	100	165	100	164
Relative wood density		%	100	93.8	100	95.1
Absolute wood density	before fertilization	g/cm^3	0.400	0.415	0.453	0.440
	after fertilization	g/cm^3	(0.432) ¹⁾	0.405	(0.431) ¹⁾	0.410
Yield from cooking (47 % dry weight)		kg/m^3	203	190	203	193
Value of wood as sulphate pulp (price 520 mk/tn)		mk/m^3	106,—	99,—	106,—	100,—
Difference in value of fertilized and unfertilized timber		mk/m^3	7,—		7,—	

1) The figure has been calculated by equalizing the density of the unfertilized and fertilized timber before fertilization.

been taken into account when calculating the returns. This, for example, is the case in the model used for Swedish State forests (Figure 9). Formulas which take increased tree size into account have been developed by EDLUND (1968, p. 232) and MÖLLER (1968 b, p. 2). When Möller's formula is applied to Figure 2, the gains through greater tree size in Swedish conditions are shown in Figure 8. According to the Swedish results, the gains from a proportional increment increase of 30 % due to fertilization are distributed as follows: gains due to volume increase 54–65 % and due to improved tree size distribution 35–46 % (ERKEN 1969, pp. 67–73). According to Finnish

studies, the gains due to improved tree size distribution are 15–45 % of the total gain in pine and spruce stands over 60 years old (KEIPI & KEKKONEN 1970, p. 12).

The method of calculating forest-fertilization returns based on shortening the rotation has been used in calculating the profitability of seedling stands in Norway (*Handbok. . . 1970*). KEIPI & KEKKONEN (1970, p. 71) used the method for older stands. The following formulas are derived from the latter publication and revised to cover a period of 50 years. The returns due to fertilization are obtained by subtracting T_0 from T_f .

$$(8.1) \quad T_0 = \frac{a - c + \sum_m^u d_y (1 + i)^{u-y}}{(1 + i)^{u-m}} + \frac{\sum_0^s d_z}{(1 + i)^{50}}$$

$$(8.2) \quad T_f = \frac{a-c + \sum_m^{u'} d_{y'} (1 + i)^{u'-y'}}{(1 + i)^{u-m-n}} + \frac{\sum_0^s d_z}{(1 + i)^{50-n}}$$

in which

T_0 = net value of an unfertilized stand, mk/ha

T_f = net value of a fertilized stand, mk/ha

a = income from final cutting, mk/ha

c = regeneration costs, mk/ha

m = age of stand at time of fertilization, years

n = shortening of rotation due to fertilization, years

u = rotation without fertilization, years

u' = rotation with fertilization, $u' = u - n$, years

d_y = net income from thinning at age y , mk/ha

$d_{y'}$ = net income from thinning at age y' , $y' = y - n$, mk/ha

s = age of new stand 50 years after fertilization of original stand, $s = (m + 50) - u$, years

d_z = net income from thinning in the new stand at age z , mk/ha

i = rate of interest

objective is to optimize fertilization and rotation at the same time. This will be considered in the following section.

Profitability of capital in fertilization and growing stock of a stand

An example is taken to illustrate the calculation of the profitability of capital in both the fertilization and the growing stock of a stand. The example concerns an older spruce stand, the volume of which is 150 m³/ha. By using 250 mk/ha as the cost of fertilization, the increment increase would be 2 m³/ha/year for six years. From Table 3, it can be seen that without fertilization the profitability of the total capital in growing stock gradually diminishes (column 3), but after fertilization it shows a marked increase (column 4). For as long as the fertilization has an effect on growth, the fertilized stand is less mature than the unfertilized stand. The profitability of the capital in fertilization is greater than the profitability of the total capital.

KEKKONEN (1968, p. 15) suggested that in the profitability calculation the rotation that maximizes the value of the stand at a certain rate of interest should be used. In this case, the pure profitability of forest fertilization is no longer under consideration, but the

Table 3. An example of the profitability of the capital in fertilization and growing stock (SVENDSRUD 1967, p. 5).

Years from fertilization	Internal rate of return of fertilization %	Rate of interest on total capital, %	
		without fertilization	with fertilization
1	2	3	4
4	••	2.6	1.8
5	••	2.5	2.5
6	7	2.5	2.9
7	7.4	2.5	2.9
8	6.9	2.4	2.8
9	6.1	2.4	2.7

In Figure 10, the maturity of the stand has been calculated on the basis of the percentage value growth (*Weizerprozent*), which is the value of the annual growth compared with the value of the volume of the stand (JÖRGENSEN, 1969, p. 59). Because fertilization has the effect of increasing the percentage value growth, the rotation is lengthened. The result is contrary to the result calculated on the basis of the "pure" profitability of fertilization. The difference comes from the fact that in the present calculation both rotation and fertilization are optimized, so that priority is given to the rotation.

Changes in income expectations from the woodlot

The formula used by SAARI (1942, p. 23) can be considered the general formula for calculating the profitability of fertilization for the whole woodlot:

$$(11) \quad -K + \sum_t \left(\frac{H_t}{(1+i)^t} - \frac{L_t}{(1+i)^t} \right) - \sum_t \left(\frac{H_t}{(1+i)^t} - \frac{L_t}{(1+i)^t} \right) \geq 0$$

in which

K = cost of fertilization, mk/ha

- H'_t = increment in the year t from felling after fertilization, mk/ha
- H_t = increment in the year t from felling without fertilization, mk/ha
- L'_t = woodlot-management costs in the year t after fertilization, mk/ha
- L_t = woodlot-management costs in the year t without fertilization, mk/ha
- i = rate of interest

When the whole woodlot is under consideration, the problem is to find (1) the priority order of silvicultural measures in an individual stand and (2) the priority of different stands for management (HÄLLSTEN 1969 a, p. 9). This pattern will be examined in the following examples.

The profitability of fertilizing a stand nearing final cutting can be expressed as follows (HÄLLSTEN 1969a p. 5):

$$(9) \quad -c + a_T P_T (1+i)^{-T} \geq 0$$

in which

- c = cost of fertilization
- a_T = increase due to fertilization, in final felling at the moment T
- P_T = marginal stumpage price of the timber cut in final felling
- i = rate of interest

Calculation of profitability changes when the forest owner puts quantitative restrictions on tree growing. He may aim to increase the amount of wood to be cut in the future. He may want to obtain in the year T an increase in fellings of the amount a_T . This he can attain by fertilizing or by improving cutting possibilities in other ways. One way is to change the felling plan (which allows for a cut of A_T) so that cuttings are delayed to year T. The loss of income due to this delay of cutting is indicated by $a_T \lambda_T$. The profitability formula is (HÄLLSTEN 1969a p. 5):

$$(10.1) \quad -c + a_T P_T (1+i)^{-t} \geq -a_T \lambda_T$$

in which λ_T indicates how expensive it is to delay the cutting of 1 m³ of timber. To find out the smallest λ_T , all possible changes in the cutting plan must be considered. There is a new positive payment $a_T \lambda_T$, the justification of which in this formula will be discussed later.

HÅLLSTEN (1967) has studied whether it is possible in a normal forest to obtain any gains besides the "pure" returns from fertilization. He measures extra gain by shortening the rotation. According to him, a change in rotation comes from (a) maintaining an artificial concept of a normal forest or (b) eliminating a stepwise increase in income from the cutting of the fertilized stands. By an artificial concept of a normal forest is meant the case in which certain, possibly very profitable, management measures have been excluded from the plan. Fertilization could be such a measure. As an example of the elimination of stepwise increase in income, Figure 12 shows one way of increasing cuttings gradually. Alternatively, cuttings can be increased at the moment of first fertilization so that an immediate increase in income will take place and will continue at an even level.

HÅLLSTEN (1967 pp. 5-6) showed in formulas (13) and (14) that in a normal forest the "pure" profitability of fertilization is decreased if final cuttings in other, unfertilized stands are increased between the moment of fertilization and felling the fertilized stand. If there is a majority of old stands in the forest, however, extra cuttings may take place before the effect of fertilization is realized from the fertilized stand, but this "extra" income obviously is not a result of fertilization. Thus it seems that any extra positive payment such as the term $a_T \lambda_T$ in formula (11.1) should not be taken into account.

If the annuity formula is used in capitalizing fertilization returns, there will be "extra" gains, such as were discussed above. This formula has been used by the large Swedish forest-industry firm, Svenska Cellulose Ab, to calculate the profitability of silvicultural measures. The formula is as follows (HAGNER 1968 p. 2):

$$(17) \quad \frac{c}{L} \frac{i(1+i)^{\bar{n}}}{(1+i)^{\bar{n}}-1} + (H + T_e + T_v) - E - M \leq 0$$

in which

c = fertilization costs, mk/ha

L = average annual increment increase due to fertilization, m^3 /ha/year

H, T_e, T_v = costs of cutting, hauling and transport to the mill in a stand nearing final

cutting age and corresponding to the stand fertilized, mk/m^3

E = increase in timber value at mill due to greater tree size after fertilization, mk/m^3

M = highest possible price of wood at the mill, mk/m^3

\bar{n} = time from fertilization to the final cutting of the stand

i = rate of interest

The formula contains the assumption that the average increment increase in a fertilized stand is realized in cuttings from other stands. According to von HEIDEKEN (1969 p. 682), the gain E through greater tree size in formula (17) can be used only once, when the stand is cut. The "volume effect", however, is obtained annually. It is unrealistic to separate these two effects of fertilization. The gains through increased volume are weighted too heavily in the calculation of the profitability of fertilization (LUNDELL 1970 p. 26). The measuring of volume effect through increased income from other stands is misleading because the annual volume increase of the trunk cannot have a separate value from the value of the whole tree. Although it would be possible to calculate a "right" value for the growth, it would be extremely difficult to find another stand from which exactly this calculated price could be obtained. Furthermore, this extra cutting would probably not be included in the optimal programme of the management plan since it was not included in the plan before fertilization became one of the management alternatives. The same weakness exists in measuring the values of H, T_e and T_v in formula (17) (cf. FRIES & HAGNER 1970 p. 26): it is not possible to find stands in which the logging and transport conditions correspond to those in the stand to be fertilized. Thus the average values for the whole woodlot must be used.

Formula (17) contains the assumption that there will be a shortage of wood after the effect of fertilization on tree growth has ceased; hence, the price of wood is assumed to be higher than today (HÅLLSTEN 1969b p. 784). Thus, in optimizing silvicultural measures there is a restriction on cuttings. If this was not the case, the forest owner would adjust cuttings and fertilization would not be considered. It has been shown that this method gives false results concerning the absolute advantages of

fertilization. This is also the case when using it for comparing the profitability of different silvicultural measures. LUNDELL (1970 p. 426) has shown, for example, that according to this method planting would in most cases be more advantageous than fertilization if there are enough mature stands from which the annual increment increase can be "realized". This comes from the fact that, in planting, the average increment increase is often greater and the period of investment longer than in fertilization. This is also caused by the fact that the method puts little emphasis on gain from greater tree size.

Conclusions

In all of these countries, the main emphasis has been put on calculating the profitability of fertilization for an individual stand (e.g. SVENDSRUD 1967; ERKEN 1969; KEIPI & KEKKONEN 1970). In Norway, SVENDSRUD (1967) in particular has made calculations concerning the effect of forest fertilization on the maturity of a stand. In Sweden, forest-

owning forest-industry firms have created models for calculating fertilization profitability for the whole woodlot and the whole enterprise (e.g. FRIES & HAGNER 1970). The best known of the both in the Nordic countries and abroad is that used by Svenska Cellulosa AB. The same kind of model has been used for example by the large American Weyerhaeuser Company. HÅLLSTEN (1967, 1969a, 1969b) has strongly criticized it because it is based on "realizing" the effect of fertilizing from stands not fertilized.

The chief difficulty in future calculations of the profitability of forest fertilization in Norway, Sweden and Finland is lack of knowledge concerning the increment increase and its distribution in the stand and tree. Close cooperation is needed with researchers in the fields of soil science and yield studies. The first problem is to create the best possible models for calculating fertilization profitability for a single stand. When this is done, the study results can be used to create calculating models for the woodlot and integrated enterprise: i.e. for real decision-making situations. This means making alternative management plans.

1. JOHDANTO

11. Kannattavuuslaskelmien tarve

Metsän lannoittaminen on Pohjoismaissa sangen nuori metsänhoidon menetelmä. Vasta erityisesti Suomessa 1960-luvulla ilmennyt puun niukkuus on aiheuttanut laajamittaisen lannoitustoiminnan syntyminen. Vuosi 1966 merkitsi varsinaista läpimurtoa metsän lannoituksessa. Kyseisenä vuonna lannoitettiin Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa yhteensä jo yli 300 000 ha metsää¹⁾.

Myöskin tulevaisuudessa lannoitustoiminta tulee näissä maissa lisääntymään. Tähän viittaavat erityisesti Ruotsissa ja Suomessa tehdyt ehdotukset ja suunnitelmat. Norjassa puolestaan pyritään lannoitustoimintaa lisäämään helpottamalla oikeutta käyttää ns. metsämaksuvaroja (skogavgift) kangasmetsien lannoitukseen²⁾. Siellä kangasmaiden lannoituksesta on annettu yksityiskohtaiset, lakisäätteiset ohjeet, jotka vastaavat Ruotsin ja Suomen lannoituksesta annettuja suosituksia³⁾.

CARBONNIERIN (1968 s. 287) tekemien laskelmien mukaan Ruotsissa olisi lannoittamalla v. 1969 5.4 milj. ha kangasmaiden vartuneita metsiköitä voitu saada lannoituksen vaikutusajana 9.8 milj. m³:n vuotuinen kasvunlisäys. Tästä aiheutuva hakkuumahdollisuuksien lisääntyminen olisi erityisen suuresta merkityksestä Pohjois-Ruotsissa, jossa jo rakennetun metsäteollisuuden kapasiteetti ei raaka-aineen niukkuuden vuoksi ole täydessä käytössä (vrt. Virkesbalanser . . . 1968 s. 99).

Karkeissa kannattavuuslaskelmissa lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys oletetaan yleensä realisoitavan heti lannoituksen vaikutuksen päätyttyä. Laskentatilanne muuttuu mutkikkaammaksi, jos lannoituksen aiheuttamien tulojen ja menojen ajalliset erot ovat suuret ja laskelmaan tulee monia maksueriä. Laskentakorko saa kannattavuutta määrittettäessä keskeisen aseman. Tällöin on laskentamenetelmänä käytetty

yleensä joko nykyarvomenetelmää tai sisäisen korkokannan menetelmää.

12. Tehtävän asettele

Metsän lannoitusta voidaan tarkastella useasta eri näkökulmasta: yhteiskunnan, teollisuusyrityksen ja metsänomistajan. Tässä selvityksessä tarkastellaan lannoitusta metsää omistavan teollisuusyrityksen tai yksityisen metsänomistajan kannalta.

Selvityksen kohteena on lähinnä kangasmaiden lannoitus päätehakkuuta lähestyvissä metsissä. Tähänastisessa lannoitustoiminnassa juuri tämän tyyppiset metsiköt ovat olleet erityisesti Ruotsissa ja Norjassa pääasiallisina lannoituksen kohteina. Suomessa, jossa soiden osuus koko maan pinta-alasta on yli 30 %, lannoitus keskittyi erityisesti 1960-luvun alkuvuosina suometsiin, mutta kangasmetsien lannoitus tulee lähivuosina lisääntymään voimakkaasti.

Seuraavassa oletetaan, että metsän lannoittamisen tarkoituksena on puun myynnin lisääminen tai hakkuiden toteuttamisen nopeuttaminen tulevaisuudessa. Siten *lannoitustuottoina* otetaan huomioon pelkästään puun myynnistä saatavat lisätulot tai puun myynnin nopeutumisesta saatava hyöty (vrt. KELTIKANGAS & TIILILÄ 1968 s. 14). Lannoitustuottojen määrittämisessä on runsaasti vaikeuksia. Tuottojen osalta on kannattavuuslaskelmia varten selvitetävä:

1. lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen suuruus
2. kasvunlisäyksestä johtuva hakkuumääräodotusten muutos
3. hakkuiden rakenne ja eri puutavaralajeista tarjottavien hintojen suuruus
4. hakkuutulojen lisäyksen ajankohta.

Lannoituskustannuksilla tarkoitetaan jäljempänä tuotannontekijöiden käytöstä maksettavaa korvausta: lannoitteen ostosta, kuljetuksesta ja levityksestä aiheutuvia menoja. Kustannukset ovat ajallisesti lähempänä kuin tuotot. Kustannukset muodostavat yleensä vain yhden maksu-

1) Ks. LIITE 1, kuvat 1 ja 2.

2) Lähde: OLE JERVEN, Lantbruksdepartementet, Oslo, haastattelu.

3) Ks. LIITE 2.

erän, sillä lannoitusvaikutuksen päättyessä ollaan uudessa valintatilanteessa, jossa tehdään uusi investointilaskelma. Koska kannattavuuslaskelmissa juuri tuottojen mittaaminen on yleensä ”pullonkaulana”, tämän selvityksen tavoitteena on luoda nimenomaan katsaus lyhytaikaisen lannoitusinvestoinnin tuottojen laskentamenetelmiin. Kangasmetsien lannoituksen kokemuseräisiä kustannuslukuja esitetään luvussa 2.

Vaikeudet tuottojen määrittämisessä muodostuvat sitä suuremmiksi, mitä enemmän luovutaan rajoitetusta ”ceteris paribus”-tarkastelusta. Puun kasvatusta koskevat laskelmat Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa ovat useimmiten olleet metsikkökohtaisia. Ne on sitäpaitsi yleensä tehty ottamatta huomioon muita metsikössä tehtäviä toimenpiteitä. Varttuneissa metsiköissä olisi lannoituksen ”puhtaan” kannattavuuden lisäksi kiinnitettävä huomiota myös lannoituksen ja puuston hakkuukypsyyden väliseen vuorovaikutukseen. Kyseiseen ongelma-kenttään otetaan tässä tutkimuksessa kantaa eräiden esimerkkien muodossa. Metsikkökohtainen tarkastelutapa sellaisenaan vastaa harvoin todellista yksilöllistä päätöksentekotilannetta olipa kysymyksessä sitten maatilametsälö tai metsäteollisuusyrityksen tai mahdollisesti val-

tion metsä. Mielenkiintoinen metsälökohtaista tarkastelua vaativa ongelma, johon tässä selvityksessä pyritään paneutumaan, on erityisesti kysymys siitä, voidaanko lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys ”realisoida” lisäämällä välittömästi lannoituksen vaikutuksen vielä kestäessä hakkuuta metsälön muissa osissa.

Lannoituksen ja muiden investointien vaihtoehtolaskelmissa on keskenään verrattavia mahdollisia toimenpideyhdistelmiä paljon. Laskelmille joudutaan asettamaan erittäin suuria vaatimuksia, sillä rajoituttaessa esim. puun kasvatuksen investointeihin olisi jokaisen toimenpidevaihtoehdon aiheuttamat kassasta maksut (kustannukset) ja kassaan maksut (tuotot) talousyksikössä tunnettava. Tässä tutkimuksessa ei näihin ongelmiin ole voitu käytettävissä olevan ajan lyhyiden vuoksi syventyä kovin perusteellisesti. Tutkimus on kirjoitettu niiden virikkeiden pohjalta, jotka tekijä sai työskennellessään Ruotsissa ja Norjassa vuonna 1969 sekä sen jälkeen Suomessa. Käsillä oleva tutkimus ei ole syvälinen analyysi, vaan pikemminkin em. Ruotsiin ja Norjaan suuntautuneiden matkojen innoittamana tehty raportti metsän lannoituksen kustannuksista ja tuottojen laskentamenetelmistä kyseisissä maissa.

2. LANNOITUSKUSTANNUKSET

2.1. Yleistä.

Puun kasvatuksen kustannukset voidaan määrittää useammalla kuin yhdellä tavalla. Ne voivat olla:

1. rahassa mitattava tuotannon tekijöiden käytöstä maksettava korvaus
2. rahassa mitattava puun kasvatukseen käytetty uhraus (vrt. JÖRGENSEN 1964, s. 353).

Ensin mainitun määritelmän mukaan kustannuksella tarkoitetaan käytettäväksi valitusta tuotannon tekijästä maksettavaa hintaa. Puhuttaessa tuotannon tekijöiden uhraamisesta tarkastellaan kustannuksia vaihtoehtoisperiaatteen mukaisesti: rahoituksen kustannus arvostetaan

yhtä suureksi kuin tuotantotekijän parhaassa vaihtoehtoisessa käytössä saatu tuotto.

Seuraavassa lannoituskustannuksilla tarkoitetaan edellä esitetyn määritelmän (1) mukaisia lannoitteen ostosta, kuljetuksesta ja levityksestä aiheutuvia kassasta maksuja. Metsänomistajan mahdollisesti itse suorittaman levityksen aiheuttaman implisiittisen kustannuksen ei oleteta poikkeavan vieraan työn hinnasta.

Lannoitusinvestoinnin kustannukset ovat huomattavasti helpommin määritettävissä kuin tuotot. Ne ovat ajallisesti lähempänä päätöksentekohetkeä. Kyseessä on yleensä vain yksi maksuerä, sillä lannoitusvaikutuksen päätyttyä ollaan uudessa valintatilanteessa ja edullisimman toimenpiteen selville saamiseksi on tehtävä jälleen investointilaskelma.

Lannoituksen kokonaiskustannusfunktio voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$(1) \quad c = l + m + h + k + v + s$$

jossa

- c = lannoituskustannukset
- l = levityskustannukset
- m = merkitsemiskustannukset
- h = lannoitteen hinta tukkuliikkeessä
- k = kuljetuskustannukset
- v = varastointikustannukset
- s = suunnittelu- ja valvontakustannukset

Kokonaiskustannukset syntyvät levityskustannuksista, lannoituskohteen merkitsemiskustannusten, lannoitekustannusten, kuljetuskustannusten ja varastointi- sekä suunnittelu- ja valvontakustannusten summana. Niistä toisten suuruus riippuu pelkästään käytetystä lannoitteen määrästä (lannoitekustannukset), toiset ovat myös lannoitekohteen sijainnista ja suuruudesta riippuvia (levitys-, merkitsemis-, kaukokuljetus ja varastointikustannukset), ja toiset ovat kiinteitä eriä (suunnittelu- ja valvontakustannukset). Hehtaaria kohden kangasmaille levitetty puhtaan typen määrät ovat Suomessa olleet 100–120 kg/ha ja Ruotsissa ja Norjassa n. 140 kg/ha. Yleisimmät lannoitteet ovat olleet urea (46 % N), ammoniumnitraattilannoitteet (32–34 % N) ja kalkkiammonsalpietari I. oulunsalpietari (26 % N).

22. Levityskustannukset

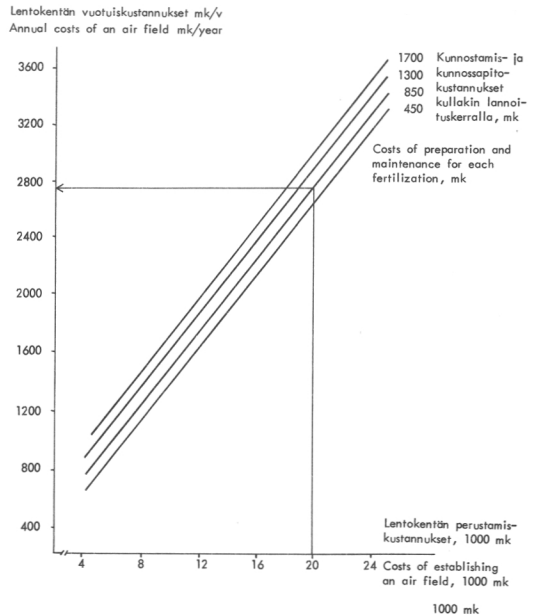
Norjassa ja Ruotsissa on lannoitteiden *levitys miesvoimin* osoittautunut edullisimmaksi menetelmäksi, kun lannoituskohte on kooltaan alle 20–30 ha. *Traktorilannoituksissa* kohteen koko on ollut 30–500 ha. Itse levitys tulee käsin tehtynä halvemmaksi kuin traktorilla tai lentokoneella, mutta lannoitesäkkien siirtely aiheuttaa lisäkustannuksia. Siten traktori- ja käsinlevityksen aiheuttamat kustannukset ovat olleet yhtä suuret. Varsinaisen käsin tai traktorilla tapahtuneen levityksen kustannukset, joihin on lisätty säkkien siirtelystä ja lannoitettavan alueen merkitsemisestä aiheutuvat kustannukset, ovat olleet Norjassa ja Ruotsissa keskimäärin 8–13 p/kg (Instilling... 1969 s. 26, Informationer... 1967 s. 255). Suomessa käsinlevitys on tullut v. 1971 maksamaan keskimäärin 9,2 p/kg ja traktorilevitys 8,5 p/kg (OLLIKAINEN 1972 s. 15).

Seuraavassa tarkastellaan *lentolevityksen kustannuksia* hieman lähemmin kuin käsin tai traktorilla tapahtuvan lannoituksen kustannuksia, koska se on Norjassa ja erityisesti Ruotsissa yleisin menetelmä.

Lentolevityksen kustannukset voidaan jakaa lentokenttäkustannuksiin, jotka metsänomistaja maksaa yleensä itse, ja varsinaisiin levityskustannuksiin, jotka urakoitsija useimmiten sitoutuu maksamaan sopimuksen tehdessään. *Lentokenttäkustannuksia* ovat (BENGTSSON *et al* 1967 s. 3–4):

1. rakentamiskustannukset
2. korkokustannukset
3. kunnossapitokustannukset
4. maapohjan vaihtoehtoisessa käytössä menetetty hyöty.

Lisäksi on lentokenttäkustannuksia laskettaessa otettava huomioon kentän käytöstä muihin kuin lannoitustarkoituksiin saatava hyöty. Maapohjan vaihtoehtoisessa käytössä menetetty hyöty on useimmiten sangen vähäinen. Tarkastelemmekin seuraavassa kolmea ensiksi mainittua kustannuserää. Kuvaan 1 on laskettu vuotuisen kuoletuserän suuruus rakentamiskustan-



Kuva 1. Vuotuiset lentokenttäkustannukset perustamiskustannusten ja kunnossapito- sekä kunnossapitokustannusten funktioina, kun lannoitus suoritetaan välittömästi, kuuden ja kahdeksantoista vuoden kuluttua. Laskentakorko 7 %. (Planläggning... 1967 s. 1:9)

Figure 1. Annual costs of an air field as a function of the costs of initial establishment and of periodic operational preparation and maintenance, when the fertilization is carried out immediately, after six years and after twelve years. Interest rate 7 %. (Planläggning... 1967 s. 1:9).

nusten ja kunnossapitokustannusten funktiona, kun kentältä suoritetaan lannoitus kolme kertaa: ensimmäinen välittömästi, toinen kuuden vuoden ja kolmas 12 vuoden kuluttua. Laskentakorko on 7 %. Kuvasta 1 nähdään, että jos esimerkiksi lentokentän perustamiskustannukset ovat 20000 mk ja kunkin lannoituskerran kunnostamis- ja kunnossapitokustannukset 850 mk, lentokentän vuotuis kustannuksiksi kahden toista vuoden aikana tulee hieman alle 2800 mk. Norjalaiset ovat arvioineet yksimoottorisen lentokoneen kiitoradan hinnaksi vähintään 3000–10000 mk¹). Vuotuisiksi lentokenttäkustannuksiksi arvioidaan siellä keskimäärin 1200–1900 mk, kun laskentakorko on n. 7 % (Innstilling. . . 1969 s. 26). Ruotsissa on eräinä ääriarvoina lentokentän rakentamiskustannuksiksi mainittu 8000–25000 mk (Planläggning . . . 1967 s. I:8).

Varsinaiset lentolevityskustannukset koostuvat ensinnäkin terminaalikustannuksista, joita ovat kiinteistä rakenteista aiheutuvat kustannukset ja lentokoneen kuormauksen muuttuvat kustannukset. Toisena ja tärkeämpänä kustannuslajina ovat lentokustannukset, jotka jakaantuvat kiinteisiin lennon kustannuksiin sekä kohteelle lennon ja levityksen kustannuksiin. Kohteelle ja kohteelta lennon kustannukset ovat Ruotsissa olleet 0.9–1.3 p/kg/km (Planläggning. . . 1967 s. I:9).

Lentoyhtiöiden levitystaksat jakaantuvat kahteen osaan, perushintaan ja lisämaksuun, joka vaaditaan, jos lentomatka ylittää tietyn rajan (yleensä 3–6 km). Perushinnan suuruus riippuu¹⁾

1. lentokentän laadusta
2. varastoalueen laadusta
3. levitettävästä lannoitemäärästä
4. lannoituskohteiden muodosta
5. kiitoradan ja lannoituskohteiden suurimmasta korkeuserosta.

Lisämaksun suuruus riippuu lentomatkan pituudesta ja lannoitemäärästä sekä lentokoneen lastitilavuudesta ja nopeudesta.

Lentolevityksen kustannusten suuruus vaihtelee luonnollisesti suuresti kohteesta riippuen, mutta keskimäärin varsinaiset levityskustannukset ovat sekä Ruotsissa että Norjassa olleet 8–12 p/kg ja Suomessa 8–10 p/kg. Lentolevitys on näissä maissa kokonaisuudessaan tullut maksamaan 11–14 p/kg.²⁾

1) *Lähde:* Kjell MYHRER, A/S Borregaard, Oslo, haastattelu.

23. Muut kustannukset

Lannoitteiden levityksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että lannoitettavat maastokohtat, ja käsin- tai traktorilevityksen kyseessä ollen myös lannoitteiden metsäkuljetusreitti merkitään huolellisesti. *Merkitsemiskustannusten* suuruus vaihtelee suuresti riippuen levitysmenetelmästä ja lannoituskohteen koosta maaston kaltevuudesta ja muodosta. Ruotsissa ja Norjassa on lentolevitystä varten tapahtunut merkitseminen tullut maksamaan n. 20 mk/merkki tai 0.5–1.0 p/kg riippumatta siitä, onko merkitseminen tapahtunut käsityönä tai helikoptereista. Traktori- tai käsinlevitystä varten suoritettu merkitseminen on ollut hieman kalliimpaa, n. 1–2 p/kg.³⁾

Lannoitteiden hankinnassa kauppatavat vaihtelevat maittain siten, että Norjassa ja Ruotsissa lannoitteet myydään tukkuliikkeen varastosta, tai myyjä toimittaa lannoitteet tienvarsivarastoon tai kiitoratavarastoon. Suomessa myynti tapahtuu yleensä vähittäiskaupan kautta. *Lannoitteiden hinnat* ovat 1950-luvun alusta lähtien pysyneet kyseisinä kolmessa maassa vakaina. Lannoitteiden ostohinta muodostaa kuitenkin edelleen ylivoimaisesti suurimman osan lannoituskustannuksista, keskimäärin n. 70 % (vrt. KEIPI 1972 s. 9). Keskimääräisistä lannoitteiden hinnoista on vaikeata antaa tarkkoja ja vertailukelpoisia lukuja. Taulukossa 1 esitetään Norjan ja Ruotsin keskimääräisiä typpilannoitteiden myyntihintoja tukkuliikkeen varastossa ja Suomen ohjevähittäishintoja. Esitetyistä luvuista voidaan tehdä se johtopäätös, että urea on näissä maissa ostohinnaltaan typpikiloa laskien 10–20 p halvempi kuin muut typpi-lannoitteet. Eri maita vertailtaessa havaitaan, että Ruotsissa hinnat ovat hieman korkeammat kuin Suomessa ja Norjassa.

Lannoitteiden *kaukokuljetuskustannukset* vaihtelevat kuljetettavan matkan ja ostettavan lannoite-erän koon mukaan. Norjassa olivat lannoitteiden tehtaalta tai tukkukaupan varas-

- 2) *Lähteet:* Göran MÖLLER, Institutet för Skogsförbättring, Tukholma, haastattelu.
Halvor NOER, Hedmark fylkes skogkontor, Elverum, haastattelu.
Raimo VANHALA, Keskusmetsälautakunta Tapio, Helsinki, Haastattelu.
- 3) *Lähteet:* Runar GUSTAVSSON, Skogshögskolan, Garpenberg, haastattelu.
Thor GREPPERUD, A/S Flygjødsling, Oslo, haastattelu.

Taulukko 1. Typpilannoitteiden keskihintoja v. 1969/70 Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa, p/kg. ¹⁾

Lannoite	Typeä %	Norja	Ruotsi tukkuliikkeessä	Suomi ovh.
urea	46	29.3 ⁷⁾	34.4 ⁴⁾	33.0 ⁵⁾
kalkkiammonsalp. ²⁾	26	22.0 ⁷⁾	• •	26.0 ⁵⁾
ammoniumnitrat	34.5	29.6 ⁷⁾	28.4 ⁴⁾	27.5 ⁶⁾
skogsnitrat ³⁾	32.5	• •	26.7 ⁴⁾	• •

tosta kuljetuksen kustannukset v. 1969 keskimäärin 1.2–4.5 p/kg. ⁷⁾ Svenska Cellulosa AB:llä, joka v. 1968 lannoitti metsää yli 20 000 ha, olivat keskimääräiset rahtikustannukset n. 1.6 p/kg. ⁸⁾

Lannoitteet on varastoitava kaukokuljetuksen päätepaikkaan. *Varastokustannuksia* ovat varaston perustamis- ja lannoituskohteen koosta ja sijainnista sekä käytetystä lannoitteesta, levitysmenetelmästä ja varastointiajan pituudesta.

Suunnittelu- ja valvontakustannusten osuus lannoituksen kokonaiskustannuksista on vähäinen. Lannoituksen onnistuneen toteuttamisen kannalta suunnittelun ja valvonnan merkitys on kuitenkin suuri. Käytännön metsämiehet korostavat suunnittelun suurta merkitystä mm. lannoituskohteiden, lannoitteiden ja levitysmenetelmien valinnassa.

Lannoituskohteiden valintaa käsitellään lähemmin tämän tutkimuksen tuottoja käsittelevässä osassa. Lannoitetta valittaessa tarvittavat lannoitteiden kustannustiedot ovat suhteellisen helposti määriteltävissä. Karkeasti voidaan sanoa, että Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa on typpilannoitteista lannoitekiloa kohti laskettuna kallein ja kalkkiammonsalpietari halvin lannoite. Hehtaaria kohden laskettaessa tilanne on päinvastainen (vrt. KEIPI 1972 s. 12). Eri lannoitteiden aiheuttamia kasvunlisäyksiä kos-

kevat tutkimukset ovat vielä puutteelliset. Urean on kuitenkin havaittu antavan eri olosuhteissa hyvin vaihtelevia kasvunlisäyksiä, joten sen käyttömahdollisuudet ovat rajoitetut. ⁹⁾

Eri *levitysmenetelmien vaihtoehtoislaskelma* voi mm. lentokone- ja traktorilevitystä verrattaessa olla oheisen asetelman mukainen (vrt. Planläggning. . . 1967 s. I:8). Kyseessä on esimerkki; luvut ovat keskimääräisiä. Laskelmaan eivät sisälly lainkaan lannoitteen ostosta aiheutuneet kustannukset, koska ne eivät vaikuta levitysmenetelmien keskinäiseen edullisuuteen.

<i>Lentolevitys</i>	<i>p/kg</i>
Levityksen perusmaksu (2 km)	9.0
Lisämaksu 2 km:n lentomatkan ylityksestä	1.1
Lentokentäkustannukset	1.4
(Levityskustannukset yhteensä)	11.5)
Merkitemiskustannukset	0.8
Kuljetuskustannukset	1.1
Varastoimiskustannukset	0.2
Suunnittelu ja valvonta	0.3
<u>Yhteensä</u>	<u>13.9</u>

Traktorilevitys

Traktorin ja kuljettajan aiheuttamat kustannukset	280 mk/vrk
Kuormauskustannukset	77 mk/vrk
Levittimen aiheuttamat kustannukset	105 mk/vrk
Levityskustannukset yhteensä	462 mk/vrk
Tuotos	7 tn/vrk
<i>p/kg</i>	
Levityskustannukset yhteensä	6.6
Merkitemiskustannukset	1.9
Kuljetuskustannukset	1.4
Varastoimiskustannukset	0.1
Suunnittelu ja valvonta	0.4
<u>Yhteensä</u>	<u>10.4</u>

9) vrt. LIITE 2.

1) helmikuun 1972 valuuttakurssien mukaan.

2) vastaa oulusalpietaria.

3) ammoniumnitrat- ja skognitrat -lannoitteiden koostumus sama, raekoko erilainen, valmistajina eri yhtiöt.

4) *Lähde:* Göran MÖLLER, Institutet för Skogsförbättring, Tukholma, haastattelu.

5) *Lähde:* Lannoitteiden ohjevähittäishinnat 1969/70. Rikkihappo Oy. Moniste. Helsinki.

6) *Lähde:* Ralph EHRNROOTH, Kasvuteho Oy, haastattelu.

7) *Lähde:* Thor GREPPERUD, A/S Flygjodsling, Oslo, haastattelu.

8) *Lähde:* Jussi SARASTE, Svenska Cellulosa AB, Sundsvall, haastattelu.

Lentolevitysvaihtoehdossa levityksen perusmaksu koskee alle 3 km:n päässä olevia kuvioita. Osa alueista sijaitsee tässä esimerkissä kauempana kuin 3 km:n säteellä. Tästä aiheutuu lisämaksu 1.1 p/kg. Kun lentokentän vuotuiskustannukset (mk/v) ja kentältä levitettävä lannoitemäärä ovat tiedossa, saadaan lentokenttäkustannukset (p/kg). Perusmaksun, lisämaksun ja lentokenttäkustannusten summa = lentolevityskustannukset.

Traktorilevityksen vuorokausikustannuksiksi arvioidaan 462 mk/vrk. Kun levitysyksikön tuotos on 7 tn/vrk, saadaan traktorilannoituksen levityskustannukset lasketuksi kiloa kohden. Merkitsemis- ja kuljetuskustannukset ovat traktorivaihtoehdossa suuremmat kuin lentolevityksessä. Sen sijaan varastoimiskustannukset ovat lentolevityksenä suuremmat. Suunnittelu- ja valvontakustannukset on traktorilannoituksessa arvioitu suuremmiksi kuin lentolannoituksessa. Käsinlannoituksessa merkitsemis-, kuljetus-, varastoimis- sekä suunnittelun ja valvonnan kus-

tannukset olisivat todennäköisesti samaa suuruusluokkaa kuin traktorilannoituksessa. Sen sijaan menetelmien levityskustannukset saataisivat esimerkkialueella poiketa toisistaan. Laskentaesimerkissä traktorilevitys osoittautuu lentolevitystä edullisemmaksi.

Eri levitysmenetelmiä verrattaessa on kustannusten lisäksi kiinnitettävä huomiota lannoitteen *leviämisen tasaisuuteen*, sillä se vaikuttaa kasvunlisäyksen suuruuteen. Traktorilevityksessä leviäminen on epätasaisempaa kuin käsin levitettäessä. Lentokoneella lannoitettaessa lannoitteet leviävät yleensä vielä epätasaisemmin kuin traktorilevityksessä. Eräässä ruotsalaisessa kokeessa puuston pohjapinta-alan kasvunlisäys oli sekä traktorilla että lentokoneella lannoitettaessa 11–47 % (keskimäärin 23 %) pienempi kuin käsin levityksessä. Pelkän traktorilevityksen jälkeen keskimääräinen kasvunlisäys oli vain 9 % pienempi kuin käsin levitetyillä koealoilla (ERKEN & FAHLROTH 1967 s. 627).

3. LANNOITUKSEN AIHEUTTAMAN KASVUNLISÄYKSEN ARVOSTAMINEN

Riippumatta siitä, millaista laskentamenetelmää lannoituksen kannattavuuden määrittämisessä käytetään, on tunnettava miten lannoitus vaikuttaa puiden

- kuutiomäärään
- järeyteen
- muotoon
- laatuun

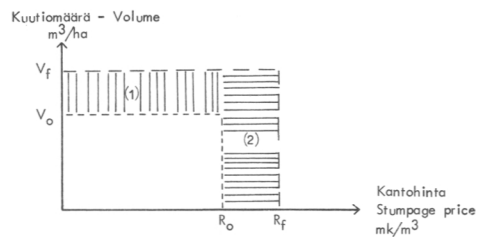
Metsikkökohtaisesti laskettujen lannoitus- tuottojen arvostamisperiaate voidaan kuvata esim. seuraavan kaavion (kuva 2) avulla. Kyseessä on erikoistapaus, jossa päätehakuun oletetaan tapahtuvan heti lannoitusvaikutuksen päätyttyä. Siinä on tarkasteltu em. neljästä komponentista vain kuutiomäärää ja järeyttä.

Kuvassa lannoittamattoman metsikön kuutiomäärä on V_0 ja kantohinta R_0 ; sen päätehakuussa saatu tulo on $V_0 \times R_0$. Lannoitettussa metsikössä hakkuutulot ovat $V_f \times R_f$. Lannoituksesta saatava hyöty ΔF saa muodon

$$(2.1) \quad \Delta F = V_f \cdot R_f - V_0 \cdot R_0$$

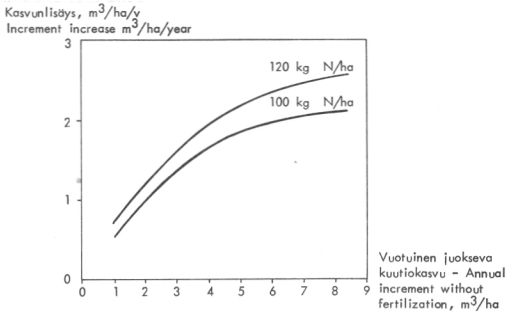
Tämä hyöty koostuu kahdesta osasta, niistä lannoituksen aiheuttaman kuutiomäärän lisäyksen arvoa osoittaa kuvassa 2 pinta-ala (1). Sen suuruus on $(V_f - V_0) \times R_0$. Pinta-ala (2) kuvaa puiden järeyden lisääntymisen arvoa $V_f \times (R_f - R_0)$. Yhdistämällä (1) ja (2) voidaan lannoituksesta saatu hyöty merkitä:

$$(2.2) \quad \Delta F = (V_f - V_0) \cdot R_0 + V_f \cdot (R_f - R_0)$$



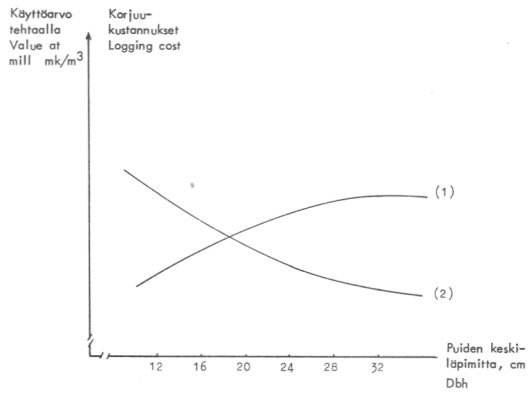
Kuva 2. Lannoitustuottojen mittaamisen periaate yksityisessä metsikössä ns. kuutio- ja järeysoikutuksina (ERKEN 1969 s. 66).

Figure 2. The principle of measuring the returns from fertilization of an individual stand - returns from increased volume (1) and increased dimensions (2) (ERKEN 1969, p. 66).



Kuva 3. Kasvunlisäyksen ja lannoitushetkellä vallinneen vuotuisen juoksevan kuutiokasvun välinen riippuvuus erään ruotsalaisen tutkimuksen mukaan (FAHLROTH 1970 s. 91).

Figure 3. The correlation between increment increase due to fertilization and increment without fertilization (adapted from FAHLROTH 1970, p. 91).



Kuva 4. Puiden käyttöarvo tehtaalla (1) ja korjuukustannusten suuruus (2) keskiläpimitan funktiona (vrt. ØDEGAARD & BERGSUND 1966 s. 117).

Figure 4. Value of timber at the mill (1) and logging cost (2) as a function of average dbh (ØDEGAARD & BERGSUND 1966, p. 117).

Yhtälön (2.1) ”kuutiovakiutus” -osan suuruus riippuu lannoituksen aiheuttaman kasvun lisäyksen suuruudesta ja lannoittamattoman metsikön kantohinnasta. Kantohinnan suuruutta ei tässä yhteydessä tarkastella. Lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen suuruutta on tutkittu Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa erityisesti 1960-luvulla. Kasvun lisäyksen on havaittu riippuvan eniten lannoitteen määrästä. Sen sijaan riikumetsävaiheen ohittaneissa kangasmetsissä on erityisesti puuston kuutiomäärällä, mutta myös puuston iällä ja lannoitusta edeltäneen kuutiokasvun suuruudella sangen pieni korrelaatio kasvunlisäyksen kanssa (BRANTSEG et al. 1970 s. 601; KEIPI & KEKKONEN 1970 s.10).

Ruotsissa on kuitenkin saatu edellisistä poikkeavia tuloksia. Lannoitushetkellä vallinneen vuotuisen juoksevan kuutiokasvun ja lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen välillä on havaittu jonkin verran riippuvuutta. Kuva 3 esittää, minkä suuntainen se on ollut.

Valitettavasti kyseisessä tutkimuksessa ei ole ilmoitettu selitysasteen suuruutta. Siinä todetaan vain, että tiedot perustuvat 40 koealaan eri puolilta Ruotsia. Hajonnan ilmoitetaan olevan suuri – . . .seikka, joka ei ihmetytä, koska koealojen välisissä olosuhteissa on suuria eroja (FAHLROTH 1970 s. 97).

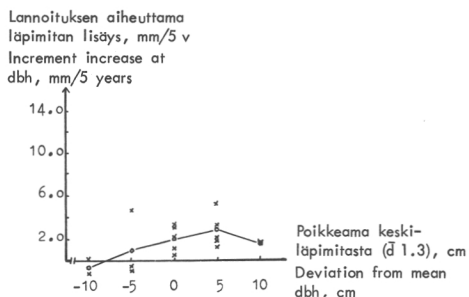
Ilmeisesti ilmasto- ja maaperäolot selittävät lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen suuruuden vaihtelusta suuren osan. Vaikka vaihtelua on runsaasti, voidaan vuotuisen kasvunlisäyksen sanoa ruotsalaisten tutkimusten mukaan keskimääräisellä boniteetilla olevan 1–2 m³/ha/v kuorineen, kun lannoitettaessa levitetään puhtaana typpenä 100 kg/ha (FAHLROTH

& FRIBERG 1970 s. 555). Samanlaisissa kohteissa typpimäärän ollessa 150 kg/ha on Norjassa tehtyjen selvitysten mukaan odotettavissa oleva keskimääräinen kasvunlisäys n. 2 m³/ha/v kuorineen (Innstilling. . . 1969 s. 5). Suomessa on saatu vastaavia tuloksia (vrt. VIRO 1972 s. 16, KEIPI & KEKKONEN 1970).

Lannoitetussa metsikössä puut ovat kooltaan suuremmat kuin lannoittamattomassa. Järeiden lisääntymisen ansiosta puiden kantoarvo kohoaa. Arvon nousu johtuu, kuten kuvasta 4 nähdään, puiden korjuun yksikkökustannusten alenemisesta ja niiden käyttöarvon lisäyksestä käyttöpaikalla.

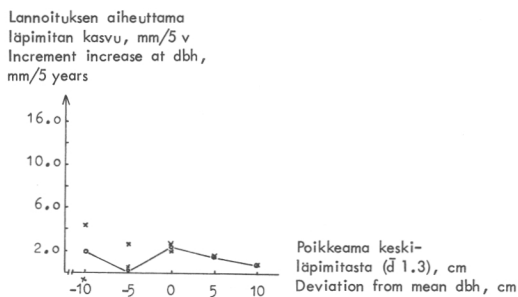
Lannoituksen kannattavuuden kannalta on tärkeätä tietää, miten kasvunlisäys jakaantuu metsikössä eri järeysluokkien puiden kesken. Asiaa on tutkittu Pohjoismaissa sangen vähän. Ruotsissa on tehty asiaa koskeva selvitys Institutet för skogsförbättringin toimesta. Kuvat 5 ja 6 osoittavat lannoituksen aiheuttaman läpimitan kasvun suuruuden Ruotsin pohjoispuoliskon varttuneissa kangasmaiden männiköissä ja kuusikoissa.

Kuvissa 5 ja 6 on tarkasteltu absoluuttisia kasvunlisäyksiä läpimitan funktiona. Läpimitan kasvunlisäys oli Etelä-Ruotsin havumetsissä merkittävästi sitä suurempi mitä järeämmistä puista oli kysymys. Sen sijaan saman tutkimuksen Pohjois-Ruotsia koskevassa aineistossa yhteys kasvunlisäyksen ja puun järeiden välillä ei osoittautunut tilastollisesti merkittäväksi. Tulosten luotettavuutta pienentää koneaineiston vähäisyys ja epähomogeenisuus. Eräissä läpimitta-



Kuva 5. Lannoituksen aiheuttaman läpimitakasvun lisäys eri suuruisissa Pohjois-Ruotsin koemänniköiden puissa (FAHLROTH 1969 s. 87).

Figure 5. Increment increase at dbh in pine trees of different sizes in northern Sweden (FAHLROTH 1969, p. 87).



Kuva 6. Lannoituksen aiheuttama läpimitakasvun lisäys eri suuruisissa Pohjois-Ruotsin koekuusikoiden puissa (FAHLROTH 1969 s. 90).

Figure 6. Increment increase at dbh in spruce trees of different sizes in northern Sweden (FAHLROTH 1969, p. 90).

luokissa oli kuutiokasvulla suuri hajonta. Tutkimuksen tuloksista voitaneen kuitenkin päätellä, että suurissa puissa pohjapinta-alan sekä suhteellinen että absoluuttinen kasvunlisäys lie-
nee suurempi kuin pienissä ja että kuutiokasvun lisäyksestä valtaosa kohdistuu järeihin ja keski-järeihin puihin.

Tarkastettaessa tehtyjä kannattavuustutkimuksia voi havaita sekä Norjassa, Ruotsissa että Suomessa lähdetyn oletuksesta, että lannoituksen aiheuttama kasvunlisä jakaantuu metsiköiden puiden kesken samassa suhteessa kuin vuotuinen kasvu samanlaisessa lannoittamattomassa metsikössä.

Edellä on tarkasteltu puuston järeyttä puiden rinnankorkeusläpimitan avulla. Lannoituksesta saatavan hyödyn kannalta on tärkeitä tietää, miten kasvunlisäys jakaantuu rungon eri osiin eli miten lannoitus vaikuttaa *puitten*

muotoon. Tätä koskevia tutkimuksia on tehty toistaiseksi sangen vähän. HAGBERG (1966 s. 60) toteaa Ruotsissa, että lannoituksella ei ollut juuri minkäänlaista vaikutusta varttuneiden havupuumetsiköiden runkomuotoon. KEKKONEN (1967) tutki Suomessa kasvun jakaantumista rungon osiin yli 100-vuotiaissa männiköissä. Tutkimuksen mukaan – sen aineisto oli tosin pieni – rungon kapenemisen ($d_{1.3m} - d_{6.0m}$) ei havaittu muuttuneen merkittävästi lannoituksen seurauksena. BRANDEL (1969) tutki lannoituksen vaikutusta runkomuotoon eräissä Ruotsin varttuneissa männiköissä ja mänty-kuusi-sekametsissä. Tulosten mukaan puiden muotosuhteessa tapahtuneet muutokset olivat vähäisiä. Norjan metsäntutkimuslaitoksessa on parhaillaan menossa puun muotoa koskevia lannoituskokeita. Tutkimuksen välitulosten mukaan runkomuoto ei lannoituksen vaikutuksesta ole ”ainakaan suuressa määrin huonontunut”¹⁾.

Lannoitustuottojen määrittämisessä on otettava huomioon myös lannoituksen vaikutus *puuaineen laatuun*. Useat tutkimukset osoittavat, että lannoitetussa puussa vuosiluston ja sen sisältämien solujen ominaisuudet eivät juuri poikkea vastaavista ominaisuuksista lannoittamattomassa puussa, jossa luston leveys on sama. (vrt. KLEM 1968 s. 1). Siten lannoituksen vaikutus puun ominaisuuksiin kytkeytyy lähinnä vuosiluston levenemiseen ja sen aiheuttamiin muutoksiin puuainessa. Tutkimusten mukaan Pohjoismaissa varttuneissa kangasmetsissä lannoitetun puuaineen tiheys on jonkin verran pienempi kuin lannoittamattoman. ERICSONIN (1969 s. 1) mukaan lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen ollessa 40–60 % kuutiokasvusta ennen lannoitusta puuaineen tiheys alenee keskimäärin 3–4 %. Norjan nykymetsissä lannoitetun puuaineen tilavuuspainon arvellaan olevan keskimäärin 5 % pienemmän kuin lannoittamattoman (KLEM 1968 s. 1). Suomessa puuaineen tiheys on varttuneita kangasmetsiä lannoitettaessa tehtyjen alustavien selvitysten mukaan alentunut n. 3–5 % (HAKKILA 1970). Tiheyden alenemisen seurauksena mm. massa-saanto selluloosan valmistuksessa pienenee. Lannoituksen avulla saatavan lisäpuun mittaaminen tilavuusmitoilla yliarvioi siis puuaineen määrän.

Varttuneiden kangasmaiden kertalannoituksen aiheuttamilla puuaineen ominaisuuksien

1) Lähde: Alf BRANTSEGG ja Arne BREKKA, haastattelu.

muutoksilla ei ole tutkimuksissa havaittu olevan pohjoismaisissa oloissa paperin valmistuksen kannalta kovinkaan suurta merkitystä. Lannoituksen aiheuttama lisäkasvu on yleensä siksi vähäinen – sulautuen usein normaaliksi katsottavaan kasvunvaihteluun – että sillä on tuskin suurta vaikutusta myöskään puun lujuuteen. Sen sijaan metsäisillä turvemaiilla sahapuun ominaisuudet saattavat heikentyä usein suuresta suhteellisesta kasvunlisäyksestä johtuen. (MÖLLER 1968 a s. 5). Turvemaiden lannoitus vaikuttanee selluloosan ja paperin valmistuksessa käytettävän puun laatuun huomontavasti lisätessään puuaineen epähomogeenisuutta (vrt. KLEM & HALVORSEN 1967 s. 5). Tämä olisi otettava huomioon erityisesti Suomessa tehtävissä kannattavuuslaskelmissa, sillä kyseisessä maassa valtaosa metsän lannoituksista on toistaiseksi tapahtunut turvemaiilla.

Toistaiseksi pohjoismaisissa lannoitusta koskevilla taloudellisilla laskelmissa ei ole voitu kiinnittää huomiota lannoituksen selluloosa- tai mekaanisen puunjalostusteollisuuden tuotteiden ominaisuuksissa aiheuttamiin muutoksiin. Sen sijaan on esitetty muutamia esimerkinomaisia

laskelmia lannoitetun puun pienemmän tiheyden taloudellisesta merkityksestä massasaannon kannalta. Ruotsissa tehdyssä laskelmassa (taulukossa 2) tarkastellaan kahta tyypellä lannoitettua kangasmaan varttunutta männikköä. Molemissa metsiköissä on lannoitettujen koeruutujen puiden selluloosasaanto tilavuusyksiköstä pienempi kuin lannoittamattomien.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Pohjoismaisissa kannattavuuslaskelmissa ei ole yleensä otettu huomioon lannoituksen vaikutusta puun laatuun. Metsäteollisuusyritykset ovat luonnollisesti kiinnostuneet eri metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksista käyttämänsä raaka-aineen laatuun. Erät niistä ovatkin omistamissaan metsissä tehtävistä toimenpiteistä päättäessään sijoittaneet laskentakaavioihinsa korjaustekijän myös kangasmaiden lannoituksesta saatavaa hyötyä mitatessaan (vrt. HAGNER 1967, s. 12, 13). Samoin kansantaloudellisissa laskelmissa kyseinen tekijä olisi otettava huomioon. Yksityisen metsänomistajan kannalta lannoituksen vaikutuksella puun laatuun ei ole lyhyellä tähtäyksellä merkitystä puun mittauksen tapauksessa tilavuusmitoilla.

Taulukko 2. Laskelma kahden tyypellä lannoitetun ja lannoittamattoman koemännikön puun arvosta sulfaattiselluloosan valmistuksessa (ERICSON 1969 s. 4).

Ominaisuus	Yksikkö	Metsikkö I		Metsikkö II		
		lannoittamaton ruutu	lannoitettu ruutu	lannoittamaton ruutu	lannoitettu ruutu	
Suhteellinen puuston kuutiokasvu	%	100	165	100	164	
Suhteellinen puuaineen tiheys	%	100	93.8	100	95.1	
Puun. absol. tiheys	ennen lannoitusta	g/cm ³	0.400	0.415	0.453	0.440
	lannoituksen jälkeen	g/cm ³	(0.432) ¹⁾	0.405	(0.431) ¹⁾	0.410
Sulfaattimassan saanto (47 % kuivapainosta)	kg/m ³	203	190	203	193	
Puun arvo sulfaattimassana (yksikköhinta 520 mk/tn)	mk/m ³	106,—	99,—	106,—	100,—	
Lannoitetun ja lannoittamattoman puuston arvojen ero	mk/m ³	7,—		6,—		

1) Luku saatu korjaamalla lannoitetun ja lannoittamattoman koeruudun tiheysluvut saman suuruisiksi ennen lannoitusta.

4. TULO-ODOTUSTEN MUUTOS YKSITYISESSÄ METSIKÖSSÄ

41. ”Puhdas” lannoituksen kannattavuus

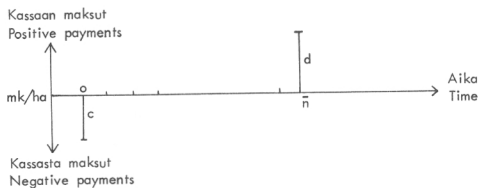
411. Hakkuiden lisääntyminen

Metsälökokonaisuudesta irroitettua metsikköä koskevilla pohjoismaisissa kannattavuuslaskelmissa on useimmiten verrattu lannoituksen aiheuttamia menoja ja puuston kasvun lisäyksen aiheuttamia lisätuloja olettaen, että lannoituksen toteuttaminen ei vaikuta muiden metsänhoitotoimenpiteiden edullisuuteen. Lannoitustuottojen laskennassa on yleensä käytetty kahta päämenetelmää, joista toinen perustuu hakkuiden lisääntymiseen eli tulo-odotusten lisäykseen ja toinen kiertoajan lyhenemiseen eli tulojen siirtymiseen odotettua aikaisempaan ajankohtaan. Useimmiten lannoitustuotot pyritään määrittämään hakkuutulojen suuruudessa tapahtuneina muutoksina. Tässä menetelmässä puustolle on määritetty tietty, lähinnä järeyteen perustuva kiertoaika. Kyseisen menetelmän mukaisen metsiköittäisen kannattavuuden määrittämisen periaate nähdään kuvasta 7.

Metsikkö lannoitetaan vuonna 0 ja lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys realisoidaan hakkuussa n vuoden kuluttua. Lannoituskustannukset ovat c ja hakkuutulojen lisäys d . Lannoitusta voidaan pitää kannattavana, jos seuraava ehto on voimassa:

$$(3) \quad -c + \frac{d}{(1+i)^n} \geq 0$$

Laskentakaava perustuu olettamukseen, että laskentakohde on yksityinen metsikkö normaalimetsässä, jossa vallitsee staattinen tasapaino. Jos koko puusto hakataan heti lannoituksen vaikutuksen päätyttyä, lannoituksen aiheuttama



Kuva 7. Lannoituksen päätehakkuuikää lähestyvässä metsikössä aiheuttamat lisäkustannukset ja -tuotot (HÄLLSTEN 1967 s. 2).

Figure 7. The additional costs (c) and returns (d) resulting n years after fertilizing a stand nearing final cutting age (HÄLLSTEN 1967, p. 2).

”arvokasvun bruttolisäys” eli lannoitustuotto voidaan ilmaista seuraavasti (HERMANSEN 1969 s. 68):

$$(4) \quad T_n = t_n \cdot P_n + M_n \cdot P'_n$$

jossa

T_n = ”arvokasvun bruttolisäys”, mk

t_n = kasvun lisäys, m^3

P_n = puuston keskimääräinen kuutiometrin hinta, mk/m^3

M_n = puuston koko kuutiomäärä, m^3

P'_n = järeyden lisääntymisestä aiheutuva yksikköhinnan nousu, mk/m^3

Muuttujista on hankalimmin määritettävissä P'_n . Puuston järeytymistä parhaiten kuvaava läpimitan kasvunlisäys on varttuneita kangasmetsiä lannoitettaessa hyvin vähäinen, usein pienempi kuin virherajat läpimittaa mitattaessa. Näistä vaikeuksista johtuen on puiden laatu- ja kasvusta koituva hyöty jätetty pohjoismaisissa laskelmissa lannoitustuottoja määritettäessä usein pois. Näin on tehty mm. Ruotsin valtionmetsiä koskevassa lannoitusmallissa¹⁾. Kuitenkin EDLUND (1968 s. 232) on käyttänyt varttuneiden metsiköiden lannoitustuottoja laskiessaan laatu- ja kasvun suuruuden määrittämiseen metsikön keskipuun arvon kehitystä läpimitan funktiona kuvaavaa taulukoita. Metsikön keskipuulla hän tarkoittaa pohjapinta-alalla painotettuun keskiläpimittaluokkaan kuuluvaa runkoa.

Kun päätehakkuu tapahtuu heti lannoitusvaikutuksen päätyttyä, saa EDLUNDIN esittämä tuottojen laskentakaava muodon:

$$(5) \quad I = D_g \cdot \Delta P \cdot V + E \cdot R \pm K$$

jossa

I = lannoituksen aikaansaama, diskonttaamaton puuston hakkuuarvon lisäys, mk/ha .

D_g = lannoituksen metsikön keskipuussa aiheuttama läpimitan kasvu, cm

$\Delta P = P t_2 - P t_1$, jossa

$P t_2$ = lannoitetun metsikön keskipuun läpimittaluokan kantoarvon päätehakkuussa, mk/m^3

$P t_1$ = keskipuun läpimittaa 1 cm pienemmän puun arvo, mk/m^3

1) Lähde: Sune JÖRN LIND, haastattelu.

- V = lannoitetun metsikön kuutiomäärä pääte-
hakkuuhetkellä, m³/ha
E = lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys, m³
/ha
R = puuston kantoarvo siinä läpimittaluokas-
sa, mikä keskipuulla olisi päätehakkuu-
ajankohtana ollut ilman lannoitusta, mk/
m³
K = puuaineen laadun muuttumisesta aiheutu-
va positiivinen tai negatiivinen korjaus-
tekijä

$$(6) \quad -G \frac{\overbrace{\left[T \frac{R \cdot L}{100} (B_o - A_o) \right]}^{(a)} + \overbrace{\left[(B_g - A_g) - (B_o - A_o) \right] \left[T \frac{R \cdot L}{100} + (V + T + L) \right]}^{(b)}}{(1 + i)^n} \geq 0$$

jossa

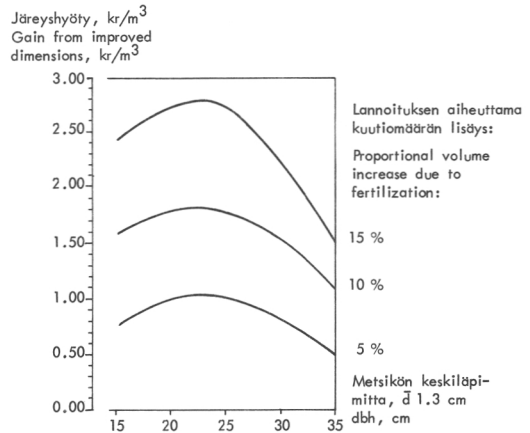
- G = lannoituskustannukset, mk/ha
T = lannoituksen ja päätehakkuun välinen aika, v
R = lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys, %
vuotuisesta juoksevasta kasvusta ilman
lannoitusta
L = juokseva vuotuinen kuutiokasvu keski-
määrin lannoituksen vaikutusaikana ilman
lannoitusta, m³/ha/v
B_o = puuston hankintahinta päätehakkuussa,
kun lannoitusta ei suoriteta, mk/m³
A_o = päätehakkuun korjuukustannukset, kun
lannoitusta ei suoriteta, mk/m³
B_g = puuston hankintahinta päätehakkuussa
lannoituksen jälkeen, mk/m³
A_g = päätehakkuun korjuukustannukset lannoit-
uksen jälkeen, mk/m³
V = puuston kuutiomäärä lannoitushetkellä,
m³/ha
i = laskentakorkokanta
n = aika lannoitushetkestä päätehakkuuseen, v

Kaavan tekijöistä V on helposti määritettä-
vissä maastossa suoritettavien mittauksin. L voi-
daan myös ennakoida mittauksien perusteella
melko hyvin. G:n, R:n ja T:n suuruus tiedetään
tietyllä luotettavuudella. Vaikeinta on arvioida
muuttujat A_o, A_g, B_o ja B_g. Niiden suuruus
vaihtelee suuresti metsiköittäin ja joissakin ta-
pauksissa myös metsänomistajan mukaan. Kaa-
van osa (a) ilmaisee kuutiokasvun lisäyksen
osuuden tulojen lisäyksestä ja osa (b) ”järey-
shyödyn” suuruuden. Edellinen on saatu kerto-
malla lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen
määrä lannoittamattoman metsikön kantoarvol-

Ruotsissa on Institutet för Skogsförbättringissä tutkittu teoreettisesti, kuviin 1 ja 2
liittyen, kertalannoituksen puuston arvossa ai-
heuttamia muutoksia. Koko puusto oletetaan
hakattavan pois heti lennoituksen vaikutuksen
päätyttyä.

Kannattavuuden laskentayhtälö sai muodon
(vrt. MÖLLER 1968 b s. 2):

la päätehakkuussa ja jälkimmäinen kertomalla
lannoitetun metsikön koko kuutiomäärä lan-
noituksen aiheuttamalla kantoarvon lisäyksellä.
Kuutiokasvun lisäys saadaan kaavaan aiemmin,
kuvasa 3 esitetyiltä käyryiltä. Lannoituksen
aiheuttaman järetyymisen tuottama hyöty saa-
daan Institutet för Skogsförbättringin mallissa
kuvan 8 kaltaisista diagrammoista. Siinä ovat
tarkastelun kohteina keskiläpimitaltaan 15–35
cm:n männiköt, joiden keskirungosta on 40 %
parhaan laatuluokan sahapuuta ja 10 % vaneri-
puuta.



Kuva 8. ”Järeys-hyödyn” arvo erään ruotsalaisen tutkimuksen mukaan (FAHLROTH 1970 s. 98).

Figure 8. Increased value of timber in pine stands due to improved dimensions resulting from fertilization according to Swedish research (FAHLROTH 1970, p. 98).

Päätehakuussa puuston järeytymisen aiheuttama hyöty on kuvan 7 mukaan 1 kr/m^3 männikössä, jossa keskipuun läpimitta on 20–25 cm, kun lannoitus lisää puuston määrää 5 %. Jos puuston kuutiomäärä on esim. $200 \text{ m}^3/\text{ha}$, ja kasvunlisäyksen määrä $10 \text{ m}^3/\text{ha}$, on saavutettava ”järeyshyöty” $210 \text{ kr}/\text{ha}$. Käyriin lienee syytä suhtautua tietyllä varauksella. Niiden arvot ovat keskiarvoja koko maalle. Metsiköittäin puiden muoto ja runkolukusarja läpimitan suhteen saattavat poiketa suurestikin niistä luvuista, joita on käytetty diagrammoja laadittaessa. Käyrät perustuvat Ruotsin valtion metsille laadittuihin keskimääräisiin metsikön keskipuun arvon määrittämisfunktioihin.

Tässä laskentamallissa lannoituksen aiheuttama absoluuttinen läpimitan kasvu oletetaan yhtä suureksi kaikissa läpimittaluokissa. Institutet för Skogsförbättringissä suoritettiin laskelmia tuotostaulukoiden avulla konstruoiduissa metsiköissä. ”Kuutiovaikutuksen” osuus lannoitustuotoista oli 54–65 % ja ”järeyshaikutuksen” osuus 35–46 %, kun lannoituksen aiheuttaman kasvun lisäyksen suuruudeksi oletettiin 30 % vuotuisesta juoksevasta kuutiokasvusta. Osuuksien suuruus oli melko vähän riippuvainen puuston järeystä, kun keskiläpimitta oli 14. . . 28 cm tai kuutiomäärästä puuston määrän ollessa 140. . . 270 m^3/ha . Osavaikutusten suuruuteen ei näyttänyt myöskään lannoituksen aiheuttamalla suhteellisella kasvunlisäyksellä (30, 50 tai 70 % vuotuisesta kuutiokasvusta) olevan merkitystä (ERKÉN 1969 s. 67, 73). Puuston laatukasvun suuruutta määrittäessään ovat KEIPI ja KEKKONEN (1970 s. 12) saaneet puiden kantoarvot iän ja kuutiomäärän funktiona piirretyiltä kuvaajilta. Puuston lannoituksen ”järeyshaikutuksen” osuus koko lannoituksen aiheuttamasta bruttohyödyistä oli heidän tutkimuksessaan yli 60-vuotiaissa männiköissä

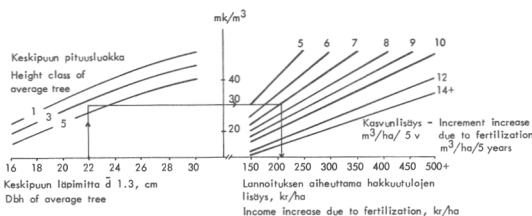
ja kuusikoissa n. 15. . . 45 %. Korkeimmillaan se oli n. 70 vuoden ikäisiä metsiä lannoitettaessa.

Ruotsin valtionmetsiä koskevassa lannoitettavien metsiköiden edullisuusjärjestyksen määrittämiseen käytetyssä mallissa ei laatukasvun lisäyksen aiheuttamaa ”järeyshyötyä” ole otettu huomioon. Hyvin samantapaista mallia on käytetty Institutet för Skogsförbättringissä ”kuutiohyödyn” laskemiseen (ERKÉN 1969). Kuvassa 9 on periaatteellinen esitys tästä mallista.

Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa on lannoitettaville metsiköille määritetty puuston hakkuuarvo, kr/m^3 metsikön keskipuun läpimitan ja pituuden funktiona. Kun tämä yksikköhinta kerrotaan lannoituksen aiheuttamaa kasvunlisäystä osoittavalla luvulla (oikeanpuoleinen käyrästä), saadaan karkea arvio siitä, kuinka paljon lannoitus lisää hakkuutuloja. Siten esim. lannoituksen aiheuttamien diskonttaamattomien hakkuutulojen lisäyksiä saadaan n. $200 \text{ kr}/\text{ha}$, kun keskipuun läpimitta rinnantasolla on 22 cm ja se kuuluu pituusluokkaan 4, sekä kun lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys on $7 \text{ m}^3/\text{ha}$. Puuston hakkuuarvon määrittämiseksi on lannoitetun metsikön pituus ja läpimitta päätehakuussa ennakoitava. Saatu arvo ei voi olla kovin tarkka, koska enempiä puuston runkomuotoa kuin runkolukusarjaakaan ei tunneta.

Laskelmia tehtäessä on hyvin vaikea ratkaista, missä vaiheessa nuoressa tai keski-ikäisessä metsässä saatu kasvun lisäys tullaan realisoimaan. Yleensä kasvunlisäys keskittyy pääasiassa järeisiin puihin, kun taas metsänhoidolliset harvennukset kohdistuvat Pohjoismaissa etupäässä keskimääräistä pienempiin puihin (vrt. VIRO 1967 s. 128). Useimmiten kasvunlisäystä ei voida realisoida kokonaan heti seuraavassa hakkuussa, koska kasvuaippaa ei voida ”nylkeä” puusta erikseen. Realisointi on mahdollinen vain, jos koko puu kaadetaan. Koko lannoituksen tuottaman ylimääräisen puumäärän hakkaaminen heti ensimmäisessä lannoitusta seuraavassa hakkuussa aiheuttaisi todennäköisesti sen, että puusto poikkeaisi tiheydeltään optimaalisesti (KEKKONEN 1968 s. 15). Edellä esitettyjä laskentakaavoja (2)–(4) voidaan siten käyttää vain sangen harvoin lannoitustuottojen määrittämiseen sellaisenaan. Useimmiten tuotot muodostuvat useissa hakkuissa saatavasta tulovirrasta.

Seuraava yksinkertainen esimerkki osoittaa, että tuottojen määrittäminen vaikeutuu, kun



Kuva 9. Ruotsin valtionmetsissä käytetyn päätehakuukäisten metsiköiden lannoituksen edullisuuden osoittaman laskentamallin periaate (JÖRN LIND 1969 s. 235).

Figure 9. Principle of calculating the profitability of stands to be fertilized in Swedish State forests (JÖRN LIND 1969, p. 235).

lisätulot saadaan useassa hakkuussa (vrt. SVENDSRUD 1967, s. 9–10). Lannoituksen vaikutusajan pituudeksi oletetaan 6 vuotta ja kasvunlisäykseksi 1.5 m³/ha/v eli yhteensä 9 m³/ha. Harvennushakkuun oletetaan tapahtuvan 6 vuotta ja avohakkuun 12 vuotta metsikön lannoittamisen jälkeen. Seuraavaa puusukupolvea ei oteta laskelmaan mukaan, koska sen vaiheisiin lannoitus ei vaikuta.

Perustaksi tuleville laskelmille esitetään, min-kälaiset olisivat metsiköstä saatavat tulot ilman lannoitusta:

	hakkuu- määrä m ³ /ha	hakkuutulot mk/m ³	mk/ha	disk.tulot (5 %) mk/ha
harvennus- hakkuu	40	25	1000	746.2
avohakkuu	160	40	6400	3563.5
				<u>4309.7</u>

(A) Jos kasvun lisäystä vastaava lisäpuumäärä hakataan kokonaan harvennushakkuussa, saadaan lannoituksen jälkeen seuraavat kantorahatulot:

	hakkuu- määrä m ³ /ha	hakkuutulot mk/m ³	mk/ha	disk.tulot (5 %) mk/ha
harvennus- hakkuu	49 ²⁾	25.2	1254.4	936.0
avohakkuu	160	40.2 ²⁾	6432.0	3581.3
			<u>7686.4</u>	<u>4517.3</u>

(B) Jos kasvunlisäystä vastaava lisäpuumäärä hakataan kokonaan avohakkuussa, ovat lannoitusta seuraavat hakkuutulot:

	hakkuu- määrä m ³ /ha	hakkuutulot mk/m ³ 1)	mk/ha	disk.tulot (5 %) mk/ha
harvennus- hakkuu	40	25.2	1008.0	752.2
avohakkuu	169 ²⁾	40.2 ²⁾	6793.8	3782.8
			<u>7801.8</u>	<u>4435.0</u>

Laskelmaan sisältyvät oletukset:

- 1) kantohinnan nousu on harvennus- ja avokakkuussa yhtä suuri, koska lisäkasvun ja harvennushakkuiden oletetaan jakautuvan tasaisesti kaikkien läpimittaluokkien runkojen kesken.
- 2) lannoituksen aiheuttama hakkuumäärän lisäys ja kantohinnan nousu oletetaan tapauksessa B yhtä suureksi kuin tapauksessa A huolimatta realisoinnin eriaikaisuudesta, sillä lisäkasvu on suhteellisen pieni ja hakkuiden välinen aika tässä tapauksessa lyhyt.

Asetelman ulkopuolella suoritetuissa laskelmissa todettiin, että jos laskentakorko on pieni, noin 5 % tai siitä alle, ovat lannoitushetkeen diskontatut hakkuutulot vaihtoehdossa (B) suuremmat kuin vaihtoehdossa (A). Korkovaatimuksen kasvaessa muuttuu vaihtoehto (A) yhä edullisemmaksi, ts. lisäkasvun ”realisointi” heti lannoitusvaikutuksen päätyttyä harvennushakkuussa on yhä kannattavampaa. Jos lannoituskustannukset ovat 150 mk/ha, on sisäinen korko tapauksessa (A) 10.4 % ja tapauksessa (B) 8.6 %. Näin on asian laita, jos esitetyt oletukset kasvunlisäyksen jakaantumisesta ja kumuloitumisesta pitävät paikkansa.

Itse asiassa kasvunlisäys lisää harvennushakkuun määrää juuri sen verran kuin lannoitus on lisännyt kaadettavien puiden kuutiomäärää ja avohakkuussa lisäys on yhtä suuri kuin siinä poistettavien puiden kavun lisä.

Ilmeisesti realistisin vaihtoehto on jossain tapauksen (A) ja (B) välillä. Esimerkistä havaitaan, miten tärkeätä on kasvu- ja rakennetutkimuksin selvittää lannoituksen aiheuttaman lisäkasvun jakautuminen metsikön puihin. Erittäin tärkeitä se on lannoituksen aiheuttaman ”järeyshyödyn” selvittämiseksi. Lannoituksen järeyshyödyn syntyy puiden koon suurenemisesta: lannoitus aiheuttaa puuston kehityksen nopeutumisen. Siten järeyshyödyt voidaan kuvata myös lannoituksen aiheuttamana ajansäästönä. Tällainen tulkinta tulee kyseeseen erityisesti silloin, kun lannoitusta seuraava hakkuu ei ole avohakkuu. Harvennushakkuussa otetaan talteen osa lannoituksen aiheuttamasta kasvunlisäystä ja lisäksi kiertoaika lyhenee puiden järeytymisen ansiosta.

412. Kiertoajan lyheneminen

Kiertoajan lyhenemiseen perustuvan menetelmän lannoitustuottojen määrittämiseksi esitti ensi kerran Pohjoismaissa CARBONNIER (1962). Norjalaiset ovat tehneet kuusen lannoituksen kannattavuuslaskelmia olettaen lannoituksella voitavan vähentää timingin juromista tietyntä ikäkautena (Handbok. . . 1970).

Menetelmä on käyttökelpoinen erityisesti niissä nuorehkoissa metsiköissä, joissa lannoitustuotot saadaan useista hakkuista tulosarjana, koska tuottojen mittaaminen hakkuiden lisääntymiseen perustuvalla menetelmällä tuottaa vaikeuksia. Siinä oletetaan lannoitetun metsikön

puiden nopean järeytymisen ansiosta hakkuiden tapahtuvan aikaisemmin kuin lannoittamattomassa metsikössä Lannoitustuotot syntyvät hakkuutulojen diskonttausajan lyhenemisen seurauksena saatavana korkokustannusten säästönä.

KEIPI ja KEKKONEN (1970, s. 7) ilmaisivat kiertoajan lyhenemisen kaavalla

$$(7) \quad n = \frac{k}{i}$$

jossa

n = kiertoajan lyheneminen, v.

k = lannoituksen aiheuttama kasvu- ja vaikutusaikana

i = vuotuinen juokseva kuutiokasvu, lannoituksen kasvua lisäävän vaikutuksen päättyessä.

Menettely on hyvin likimääräinen. Siinä oletetaan lannoituksen vaikutusajan pituudeksi tietty vuosimäärä ja verrataan koko tuona "vaikutusaikana" saatua kasvu- ja vaikutusta keskimääräisen kasvun määrään.

Em. tutkijat käyttivät laskelmissa ikuisuuteen ulottuvaa aikahorisonttia. Metsänomistajan aikahorisontti ulottuu kuitenkin tuskin koskaan ikuisuuteen saakka. Laskentajakson pituus vaihtelee suuresti metsänomistajasta riippuen. Seuraavassa esitetään, millaisiksi KEIPIIN ja KEKKONEN käyttämät katetuottokaavat muodostuvat, kun laskentajakson pituus on 50 vuotta¹⁾:

$$(8.1) \quad T_o = \frac{a - c + \sum_{y=1}^u d_y (1+i)^{u-y}}{(1+i)^{u-m}} + \frac{\sum_{z=0}^s d_z}{(1+i)^{50}}$$

$$(8.2) \quad T_f = \frac{a-c + \sum_{y=1}^u d'_y (1+i)^{u'-y'}}{(1+i)^{u-m-n}} + \frac{\sum_{z=0}^s d_z}{(1+i)^{50-n}}$$

1) Oletukset: lannoitushetkellä kiertoaika jäljellä 50 v.; tulevan kiertoajan pituus 50 v.

joissa

T_o = metsikön katetuottoarvo ilman lannoitusta

T_f = metsikön katetuottoarvo lannoitettuna

a = pätehakkuutulo

c = uudistuskustannukset

m = metsikön ikä lannoitushetkellä

n = lannoituksen aiheuttama kiertoajan lyheneminen

u = kiertoajan pituus ilman lannoitusta

u' = kiertoajan pituus lannoitettaessa, $u' = u - n$

d_y = nettotulo ennen pätehakkuuta iällä y tehtävästä harvennushakkuusta

d'_y = nettotulo iällä y' tehtävästä harvennushakkuusta, kun $y' = y - n$

s = pätehakkuun jälkeen aikaansaattavan uuden metsikön ikä laskentajakson päättyessä, $s = (m + 50) - u$

d_z = uudesta metsiköstä iällä z saatava harvennushakkuun nettotulo

i = laskentakorkokanta

Laskentajakson ollessa pitkä lienee laskelmissa syytä käyttää samaa korkoprosenttia kuin metsän arvoa määritettäessä. Eräillä tahoilla on esitetty, että laskentakorko määrättäisiin myös lannoitettavien metsiköiden kiertoajan pituuden (vrt. KEKKONEN 1968, s. 15). Laskelmissa olisi käytettävä sitä kiertoaika joka maksimoi tiettyä laskentakorkoa käytettäessä metsikön arvon (T_o tai T_f). Tällöin ei kuitenkaan tarkastella enää "puhdasta" lannoituksen kannattavuutta vaan laskelman kohteena on lannoituksen ja kiertoajan pituuden samanaikainen optimoiminen. Jos sen sijaan oletetaan lannoittamattoman metsikön kiertoaika tunnetuksi, määritetyksi jo ennen laskentatilannetta "optimaalisen" pituiseksi, on kyseessä ns. puhtas lannoituksen kannattavuus.

42. Lannoituksen ja puustoon sitoutuneen pääoman kannattavuus

Edellisessä luvussa vertailtiin hakkuutulojen lisäyksiä tai korkokustannusten säästöinä saatua lannoitustuottoja lannoituksen aiheuttamiin kustannuksiin. Yhtälössä (3) nimitettiin pätehakkuuikäisen, heti lannoitusvaikutuksen jälkeen kokonaan hakattavan metsikön lannoitustuottoja "arvokasvun bruttolisäykseksi". Lannoitukseen ja puustoon sitoutuneen pääoman kannattavuuden ongelmaa tarkastellaan seuraavassa erään norjalaisen esimerkin valossa.

Taulukko 3. Esimerkki lannoitukseen ja puustoon sitoutuneelle pääomalle lasketusta kannattavuudesta (SVENDSRUD 1967 s. 5).

Lannoituksesta kulunut, v	Lannoitusinvestoinnin sisäinen korko, %	Koko sitoutuneen pääoman tuotto prosentti	
		ilman lannoitusta	lannoitettuna
4	••	2.6	1.8
5	••	2.5	2.5
6	7	2.5	2.9
7	7.4	2.5	2.9
8	6.9	2.4	2.8
9	6.1	2.4	2.7

Kyseessä on kuusikko, jonka kuutiomäärä on 150 m³/ha/v. Käyttämällä lannoitukseen 250 mk/ha oletetaan saatavan kasvunlisää 2 m³/ha/v kuuden vuoden aikana. Metsikön kantoarvo on lannoitushetkellä 4700 mk/ha ja vuotuinen arvokasvu 11.6 mk/ha.

Taulukosta 3 havaitaan, että lannoitetussa metsikössä lannoitukseen ja puustoon sitoutuneen pääoman tuotto prosentti on aluksi pienempi kuin lannoittamattoman metsikön arvokasvu. Kun lannoitus on lisännyt puuston kasvua 6–7 vuotta, on tuotto prosentti maksimissaan, ja suurempi kuin lannoittamattomassa metsikössä. Se jää kuitenkin huomattavasti pienemmäksi kuin ”puhdas” lannoituksen tuotto prosentti. Lannoitetun ja lannoittamattoman metsikön arvokasvun vertailusta on helppo siirtyä tarkastelemaan lannoituksen vaikutusta puuston hakkuukypsyyteen. Puusto on JÖRGENSENIN (1969 s. 55) mukaan päätehakuukypsää, kun

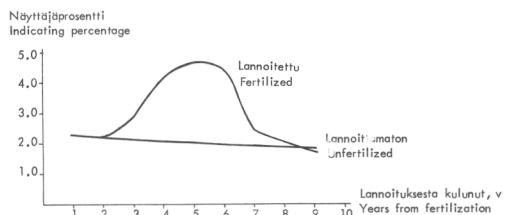
1. sen nykyarvo on maksimissaan
2. V-arvo = 0
3. näyttäjäprosentti = diskonttoprosentti

Tällainen absoluuttinen hakkuukypsäys on hyvin epävarma käsite, mutta se antaa joka tapauksessa tärkeitä tietoja metsikön käsittelyä suunniteltaessa. Seuraavassa tarkastellaan äskeisen esimerkkimetsikön näyttäjäprosenttia lannoitettuna ja ilman lannoitusta. Näyttäjäprosentti lasketaan puuston arvokasvun ja hakkuuarvon (johon on lisätty maan arvo) osamääränä. Tarkoituksena on perehtyä lannoituksen ja hakkuukypsyyden vuorovaikutukseen periaatteelliselta kannalta, joten emme jää kiistele-

mään, onko laskelmaan sisältyvä 20 mk:n vuotuinen maankorko oikeutettu vai ei.

Kuvasta 10 nähdään, että ilman lannoitusta näyttäjäprosentti pienenee vähitellen 2.2:sta 1.8:aan, kun taas lannoitetussa metsikössä se kohoaa nopeasti 4.6 %:iin ja laskee sen jälkeen jyrkästi. Niin kauan kuin lannoituksen vaikutus kestää, on lannoitettu metsikkö vähemmän hakkuukypsä kuin lannoittamaton. Ellei lannoitusta uusita, muuttuu lannoitetun metsikön näyttäjäprosentti pienemmäksi kuin lannoittamattoman. Tämä suuntaus saattaa vielä vahvistua, jos lannoitetun metsikön kasvu alenee lannoituksen vaikutuksen päätyttyä pienemmäksi kuin vastaavassa lannoittamattomassa metsikössä.

Mitä suurempi on arvokasvu ennen lannoitusta, sitä suuremmat lannoituskustannukset ja sitä pienemmän arvokasvun lisäyksen puusto ”sietää” tulematta hakkuukypsäksi. Jos lannoituksella aikaansaadun kasvunlisäyksen päättymisen jälkeen metsikön näyttäjäprosentti on



Kuva 10. Esimerkki lannoituksen vaikutuksesta hakkuukypsyyteen (SVENDSRUD 1967, s. 6).
Figure 10. An example of the effect of fertilization on the maturity of a stand (SVENDSRUD 1967, p. 6).

kyllin korkea, sen kasvatusta jatketaan. Samalla tehdään päätös siitä, suoritetaanko uusi lannoitus. (JERVEN & GRAM 1968 s. 58). Koska lannoitus aiheuttaa näyttäjäprosentin suurenmisen, voidaan lannoittamalla *pidentää* kiertoaikaa. Päädytään siis päinvastaiseen tapaukseen kuin aikaisemmin, ”puhdasta” lannoituksen kannattavuutta laskettaessa. Ero aiheutuu siitä, että nyt optimoitavina ovat sekä kiertoaika että lannoituksen tulos siten, että kiertoaikalle annetaan prioriteetti. Laskettaessa ”puhdasta” metsiköittäistä kannattavuutta kiertoaika oli joko vakio (tapaus ”lisääntyvät hakkuut”) tai se oli annettu rajoituksena ’korkeintaan’ (tapaus ”kiertoajan lyheneminen”).

Kun laskelmat kohdistuvat koko metsälöön, lannoituksen havaitaan vaikuttavan metsiköiden hakkuujärjestykseen. Hakkuukypsyden kehittymistä on tarkasteltava tällöin vuosittain lannoitusvaikutuksen kestäessä. Tarpeen mukaan voidaan hakkuuta suunnata myös juuri lannoitettuihin metsiköihin eikä ole lähdeittävä kategorisesti siitä, että metsikköä saa hakata lannoituksen vaikutuksen aikana. Toisaalta ylinormaalisen ikäluokkarakenteen metsälössä ai-

heutuu tappioita siitä, että osalla metsiköitä tulojen tasaisuusvaatimuksen vuoksi hakkuuta joudutaan lykkäämään. Näitä tappioita voidaan vähentää lannoittamalla niitä metsiköitä, joissa näyttäjäprosentti nopeimmin kohoaa yli ”uudistusrajan” (JERVEN & GRAM 1968 s. 59). Lannoituksen edullisuutta koko metsälön puitteissa käsitellään edelleen seuraavissa luvuissa.

Edellä on näyttäjäprosentti ollut kriteerinä hakkuukypsyttä määritettäessä. Tilanne muuttuu, jos kriteeriksi tulee esim. hehtaaria kohden laskettu arvokasvu. Tällöin kannattavan lannoituksen kohteeksi saattavat joutua myös ne kasvatettavat hyväkasvuiset metsiköt, joissa on runsaasti puustoa. Metsäteollisuusyrityksen omassa metsässä kiertoaika saattaa poiketa huomattavasti maatilametsälössä käytetystä. Teollisuuden tarvitsema marginaalipuuta saattaa ajoittain saada hyvinkin huomattavan ”hinnan korotuksen”, joka lyhentää kiertoaikaa pituuden. Oli kiertoaikaa määrittelytapa mikä tahansa, on poikkeama ”taloudellisesta” kiertoaikasta lannoituksesta saatavaa hyötyä laskettaessa otettava huomioon kustannuksena (STREYFFERT 1965 s. 325).

5. TULO-ODOTUSTEN MUUTOS METSÄLÖSSÄ

51. Lannoitus ja hakkuiden sopeuttaminen

Edellisessä luvussa tarkasteltiin lannoituksen ja puuston hakkuukypsyden välistä suhdetta metsikössä. Hakkuukypsyden kriteerinä oli näyttäjäprosentti ja arvokasvun absoluuttinen määrä. Metsänomistajalla on myös erityisiä metsälökohtaisia päätöksentekokirjeiteitä. Hänen tavoitteenaan saattaa olla esimerkiksi puuston rakenteen epänormaalisuuden poistaminen, tasaiset hakkuutulot jne. Hakkuutulosten tasoitamispyrkimykseen viitattiin jo edellisessä luvussa. Integroituneessa yrityksessä ei metsälökohtainenaan tarkastelukulma vielä riitä. Esimerkiksi metsää omistava metsäteollisuusyritys kiinnittää puun kasvatuksessa huomiota paitsi kantohintatasolla saatavaan kannattavuuteen myös lisätuotoksen suuruuteen ja arvoon koko integroituneen yrityksen puitteissa. Yrityksen omassa metsässä pyritään normaalisti, tosin ei

aina selvästi tiedostaen, toteuttamaan sellaista hoito-ohjelmaa, että rajakustannukset omassa metsässä kasvatettavalle puulle ovat samaa suuruusluokkaa kuin ostopuulle. Yksityinen metsänomistaja sen sijaan useinkin kiinnittää huomiota paitsi saatavien kantorahatulosten nykyarvoon myös omalle työpanokselle (STREYFFERT 1965 s. 240).

Korjuukustannusten lisääntyessä ja koneelliseen korjuuseen siirryttäessä syntyy pyrkimys suurentaa käsittely-yksiköitä. Joissain tapauksissa joudutaan hakkuu suorittamaan sellaisessa metsikössä, joka ei ole vielä hakkuukypsä. Lannoittamisella voidaan hakkuukypsyttä nopeuttaa, mikäli hakkuukypsyden kriteerinä on puuston järeys, ja pienentää siten menetetyistä kasvusta aiheutuvia tappioita (NERSTEN 1967 s. 8).

Usein yritys tai muu talousyksikkö säätelee metsälössä tapahtuvaa metsänhoitoa vain mää-

räämällä vuotuisen metsänhoitoon osoitettavan kokonaissumman. Metsälön puitteissa on sitten päätettävä, miten budjetti jaetaan (vrt. HÄLLSTEN 1969 a s. 10). Edullisuuden ilmentymäksi tulevat koko talouteen sopeutettu hakkuusuunnite ja metsänhoitosuunnitelma, jotka ovat tulosta metsän käsittelytoimenpiteiden keskinäisestä suhteuttamisesta parhaaksi katsotulla tavalla. Lannoituksen kannattavuuden määrittämisessä tulee erityisen tärkeäksi kysymys hakkuiden sopeuttamisesta lannoitettavassa metsikössä ja muissa metsiköissä.

Kun koko metsälö on tarkasteltavana, on tehtävänä löytää (1) kussakin metsikössä toteutettavien toimenpiteiden edullisuusjärjestys ja (2) eri metsiköiden käsittelyn edullisuus, sekä sen vaikutus kunkin metsikön käsittelyn edullisuusjärjestykseen (vrt. HÄLLSTEN 1969 a s. 9). Tehtävä on hyvin vaikea. Jäljempänä metsälökohtaisten kannattavuuden ongelmakenttää pyritään selventämään eräin yksinkertaisin esimerkein.

Seuraavassa esimerkissä tarkastellaan päätehakkuuikää lähestyvän metsikön lannoittamista. Lannoituksen vaikutusajan pituudeksi oletetaan T vuotta, jonka jälkeen suoritetaan päätehakkuu. Tavanomainen lannoituksen metsikkökohtainen kannattavuus on muotoa (vrt. HÄLLSTEN 1969 a s. 5)

$$(9) \quad -c + a_T P_T (1 + i)^{-T} \geq 0$$

jossa

- c = lannoituskustannus, mk/ha
 a_T = lannoituksen aiheuttama hakkuumäärän lisäys päätehakkuussa hetkellä T, m³/ha
 P_T = päätehakkuussa korjattavan puun marginaalikantohinta, mk/ha
 i = laskentakorkokanta

Metsiköittäinen kannattavuuslaskelma muuttuu, kun metsänomistaja asettaa puun kasvatukselle määrällisiä rajoituksia. Hän saattaa pyrkiä lisäämään metsälöstä tulevaisuudessa saatavia hakkuumääriä. Hetkellä T, esimerkiksi kuuden vuoden kuluttua hakattavia määriä koskeva rajoitus voi sisältää vaatimuksen määrää a_T suunniteltua suuremmasta hakkuusta. Suunnitelman mukaista hakkuumäärää merkitään A_T . Lisäys a_T voidaan saada joko lannoittamalla tai parantamalla hakkuumahdollisuuksia muulla tavoin. Eräs keino on muuttaa metsätaloussuunnitelmaa siten, että *pidättäydytään* tarpeellisessa määrin *hakkuista* ensimmäisen 6

vuoden aikana. Verrattaviksi tulevat vaihtoehdot:

- a) lannoitetaan ja hakataan hetkellä T määrä ($A_T + a_T$)
 b) muutetaan hakkuusuunnitelmaa siten, että voidaan hakata hetkellä T määrää $A_T + a_T$
 Hakkuusuunnitelman muuttamisesta aiheutuvia tulonmenetyksiä merkitään $a_T \lambda_T$. Lannoituksen kannattavuus saa muodon:

$$(10.1) \quad -c + a_T P_T (1 + i)^{-t} \geq a_T \lambda_T$$

$$(10.2) \quad -c + a_T P_T (1 + i)^{-t} + a_T \lambda_T \geq 0$$

jossa λ_T ilmaisee kuinka kalliiksi yhden lisäkuutiometrin hakkaaminen hetkellä T tulee aiempaa hakkuusuunnitelmaa muuttamalla. Pienemmän mahdollisen λ_T :n löytämiseksi on tutkittava kaikki mahdolliset muutokset taloussuunnitelmassa. Tällainen analyysi vaatii luonnollisesti koko metsälön ottamista laskelmaan mukaan. Lausekkeeseen (10.2) on tullut (7):een verrattuna positiivinen maksuerä $a_T \lambda_T$, jonka kaavaan sisällyttämisen oikeutetusta ja tulkintaa tarkastellaan seuraavassa. Metsälökohtaisen lannoituksen kannattavuuden määrittämiseksi voidaan sanoa olevan kaksi menetelmää:

- 1) tuotoiksi lasketaan ainoastaan lannoitettujen metsiköiden hakkuutulojen lisäykset
- 2) tuotoiksi lasketaan lannoituksen välillisesti "aiheuttama" hakkuusuunnitteen muutos, jonka ansiosta hakkuut lisääntyvät myös lannoittamattomissa metsiköissä

Ensiksi mainitussa tapauksessa lannoituksen kannattavuus ei poikkea paljon metsikkökohtaisesta kannattavuudesta. Lannoituksen vaikutus näkyy lähinnä sen metsänhoitotoimenpiteiden edullisuusjärjestykseen mahdollisesti aiheuttamina muutoksina. Lannoituksen kannattavuuden laskemisen yleismenetelmää voitaneen pitää SAAREN (1942 s. 23) metsän tuottoarvon ajatuksen pohjalta esittämää laskentakaavaa:

$$(11) \quad -K + \sum_t \left(\frac{H'_t}{(1+i)^t} - \frac{L'_t}{(1+i)^t} \right) - \sum_t \left(\frac{H_t}{(1+i)^t} - \frac{L_t}{(1+i)^t} \right) \geq 0$$

jossa

- K = lannoituksen aiheuttamat kustannukset, mk/ha

- H'_t = metsälön hakkuutulo lannoituksen jälkeen vuonna t , mk/ha
 H_t = metsälön hakkuutulo ilman lannoitusta vuonna t , mk/ha
 L'_t = metsälön liikekustannukset lannoituksen jälkeen vuonna t , mk/ha
 L_T = metsälön liikekustannukset ilman lannoitusta vuonna t , mk/ha
 i = laskentakorkokanta

Samaa lauseketta voidaan käyttää myös metsiköittäistä kannattavuutta laskettaessa.

Jos metsänomistajan tavoitteisiin kuuluu hakuiden lisääminen hetkellä T tietyllä tasolle, on tehtävänä löytää ne toimenpiteet, joilla tavoite edullisimmin saavutetaan. Tämä tavoite merkitsee rajoitusta, jota taloussuunnitelman toteuttamisessa on noudatettava. Yrityksen tai talouden metsänhoitotiemenpiteitä varten myöntämä budjetti muodostaa toisen rajoituksen (vrt. HÄLLSTEN 1969 a s. 9, 10). Kun budjetti-rajoituksen oletetaan koskevan pelkästään lannoitettavia metsiköitä, saattaa edullisuusjärjestyksen osoittava tavoitefunktio saada esimerkiksi muodon¹⁾

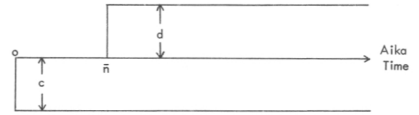
$$(12) \quad \text{Max} \quad \frac{-K + a_t P_t (1+i)^{-t}}{a_t}$$

Edullisuusjärjestys määräytyy tulojen nettolisäyksen ja hakkuumäärän lisäyksen osamääränä. Se on saatu maksimoimalla tulojen lisäys, kun hetkeä t koskee tietty vähimmäishakkuumäärärajoitus. Laskelma on mahdollista suorittaa myös siinä tapauksessa että rajoituksena ovat hakkuumäärien sijasta hakkuutulot. Mikäli budjettirajoitus ei ole efektiivinen, tulevat lannoituksen kohteiksi kaikki halutut metsiköt. (HÄLLSTEN 1969 a s. 11).

Lannoituksen ansiosta saadaan paitsi nostetuksi hakkuusuunnitteen tasoa myös tarpeen niin vaatiessa tasoitetuksi eri vuosina hakattavia määriä. Useissa tapauksissa lannoitus on verrattomasti edullisempi toimenpide hakuiden pitämiseksi jatkuvasti tasaisina tai niiden kohottamiseksi kuin esim. istutus.

HÄLLSTEN (1967) on osoittanut, että *normaalimetsästä* ei ole mahdollista saada "puhtaan" lannoituksen tuottaman tulonlisäyksen ohella muuta hyötyä. Hän mittaa "lisähyötyä" hakkuutulosten suurenemisen lisäksi tapahtuvana kiertoajan lyhenemisenä. Jos kiertoajan pituutta muutetaan, se johtuu:

1) muuttujien selitys, vrt. kaava (8).



Kuva 11. Jatkuvasti päätehakkuihin lähestyvien metsiköiden lannoituksesta saadut lisätulot (d) ja lisäkustannukset (c) (HÄLLSTEN 1967 s. 3).

Figure 11. Additional income (d) and costs (c) from fertilizing all stands nearing final cutting age (HÄLLSTEN 1967 p. 3).

- a) *keinotekoisien* normaalimetsätalouden ylläpitämisestä
 b) pyrkimyksestä *poistaa hyppäyksenomainen tulojen lisääntyminen* ensimmäisessä lannoitettujen metsiköiden päätehakkua.

Keinotekoisella normaalimetsätaloudella hän tarkoittaa tapausta, jossa tietyt, itse asiassa hyvin edulliset toimenpidevaihtoehdot on jätetty metsän käsittelyvaihtoehdona taloussuunnitelman ulkopuolelle. Tällainen voi olla esim. lannoitus eräissä tapauksissa. Lannoitustuottoja laskettaessa "ylimääräisen" hyödyn syntyminen voi aiheutua myös siitä, että puuston hakkuukypsyuden määrittämiseen käytetään pienempää korkokantaa kuin lannoituksen kannattavuutta laskettaessa. Kuvasta 11 nähdään kustannusten ja tuottojen syntyminen periaate, jos $v = 0$ aloitetaan \bar{n} vuoden kuluttua päätehakkuun kohteeksi joutuvien metsiköiden lannoitus (vrt. kuva 7).

Jos sen sijaan hakkuuta halutaan lisätä jo hetkellä 0 siten, että hakkuutulot ovat jatkuvasti yhtä suuret, joudutaan lannoittamattomia metsiköitä rasittamaan lisääntyneillä hakkuilla. Jos kyseiset lisähakkuut ovat päätehakkuita, oletetaan uudistusalan vuosina $0 \dots \bar{n}$ lisääntyvän vuosittain määrällä L . Vuonna 0 suoritettun lannoituksen kannattavuus saa muodon (vrt. HÄLLSTEN 1967 s. 5):

$$(13) \quad -c + d \left(1 + \frac{r}{100}\right)^{-\bar{n}} +$$

$$-L f i^{-1} \left[1 - (1+i)^{-\bar{n}}\right] \geq 0$$

jossa

- c = lannoituskustannukset, mk/ha
 d = lannoituksen päätehakkua aiheuttama tulonlisäys, mk/ha
 r = metsikön keskimääräinen arvokasvu lannoittamattomana, %
 \bar{n} = aika metsiköiden lannoituksesta niiden päätehakkuuseen, v

- L = vuosina $0 \dots \bar{n}$ lisääntyvä vuotuinen pääte-
hakkuiden ala, ha
f = uudistamiskustannukset, mk/ha
i = laskentakorkokanta

Verrattaessa tätä kaavaa metsiköittäisen kannattavuuden kaavaan (3) havaitaan, että lannoituksen aiheuttama tulonlisäys diskontataan tässä tapauksessa lannoittamattoman metsikön arvokasvuprosenttia käyttäen eikä laskentakorkokannalla. Lannoituskustannukset ovat kaavassa pysyneet muuttumattomina, mutta siihen sisältyy lisäksi aivan uusi, uudistuskustannusten aikaisempaan ajankohtaan siirtymisestä aiheutuva negatiivinen erä. Metsälökohtainen, hakkuiden sopeuttamisen seurauksena saatu lannoituksen kannattavuus on siten pienempi kuin metsikkökohtainen kannattavuus. Syynä on paitsi edellä mainittu uudistuskustannusten siirtyminen aikaisempaan ajankohtaan myös mahdollisesti laskentakorkoa suuremman, vastaavan lannoittamattoman metsikön arvokasvuprosentin käyttö lannoitustuottojen diskonttaamiseen. Perustettavista uusista metsiköistä suunniteltua aiemmin saatavat hakkuutulot on jätetty laskelman ulkopuolelle, koska ne ovat hyvin pienet siirtymän lyhydestä ja niiden syntymisen ajallisesta kaukaisuudesta johtuen.

Metsänomistajan tavoitteena voi olla myös vähittäinen hakkuutulojen lisääminen ensimmäisestä lannoitusvuodesta alkaen siten, että tulojen lisäys vähitellen saavuttaa tason d. Kuva 11 osoittaa kyseisen tilanteen tulojen lisäyksen ollessa suoraviivainen.

Lannoitus- ja hakkuuohjelman toteuttaminen on kannattavaa, jos seuraava ehto täytetään (HÄLLSTEN 1967 s. 10):

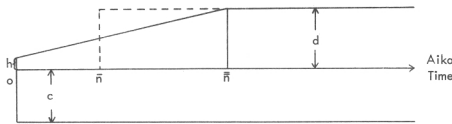
$$14 \quad \underbrace{\sum_{n=0}^{\bar{n}-1} h (n+1)(1+i)^{-n}}_1 + \underbrace{\frac{d}{i} (1+i)^{-\bar{n}}}_2 - \underbrace{\frac{c}{i}}_3 - \underbrace{f \sum_{n=0}^{\bar{n}-1} (R_n - R_{n-1})(1+i)^{-n}}_4 \geq 0$$

jossa

- \bar{n} = aika ensimmäisistä lannoituksista siihen hetkeen, jolloin vuotuinen hakkuutulojen lisäys d saavutetaan, v
(\bar{n} = normaali aika metsikön lannoituksesta niiden päätehakkuuseen, v)
h = vuotuinen päätehakkutulojen kasvu aikana $0 \dots \bar{n}$, mk/ha
c = lannoituskustannukset, mk/ha
d = lannoituksen päätehakkuussa aiheuttama tulojen lisäys, mk/ha
f = uudistuskustannukset, mk/ha
 R_n = niiden metsiköiden pinta-ala, joiden päätehakkuu tapahtuu suunniteltua aikaisemmin, ha
i = laskentakorkokanta

Lausekkeen osa (1) ilmaisee lisääntyneiden hakkuiden arvon ajanjaksona $0 \dots \bar{n}-1$ ja osa (2) hetkestä \bar{n} eteenpäin. Negatiivisia maksueriä ovat lannoituskustannukset, osa (3), ja uudistusalan muutoksista aiheutuvat maksujen muutokset, osa (4). Jotta kaava olisi täydellinen, tulisi osaan (4) sisällyttää lisäksi liian aikaisesta päätehakkuusta aiheutuvat arvokasvun menetykset. Erä on kuitenkin niin pieni, että se on jätetty kaavan ulkopuolelle.

Yllä olevat kaksi esimerkkitapausta koskevat normaalimetsää. Ne ovat sinänsä mielenkiintoisia tyyppitapauksia äärettömästä määrästä mahdollisuuksia lannoituksen ja hakkuiden keskinäiseksi sopeuttamiseksi. Ne osoittavat, että väite "lannoituksen ansiosta" voidaan hakkuita lisätä jo lannoituksen vaikutusaikana ja tämä lisäys voidaan lukea lannoituksen "tuotoiksi" ei pidä paikkaansa normaalimetsässä, jos normaalimetsäperiaatetta halutaan edelleen jatkaa. Hakkuita voidaan kyllä lisätä, vaikkei lannoitetuista metsiköitä realisoitakaan, mutta lannoituksen erikseen laskettu kannattavuus on tällöin huonompi kuin lannoituksen kannattavuus ilman "ennakkohakkuita". Tilanne on toinen, jos metsälön puusto on ylinormaali. Hakkuiden lisääminen lannoittamattomissa metsiköissä on



Kuva 12. Päätehakkuiden vähittäinen sopeuttaminen siten, että hakkuutulot kasvavat lineaarisesti jatkuvien päätehakkupuuston kohdistuvien lannoitusten antaman tulo lisäyksen tasolle (HÄLLSTEN 1967 p. 7).

Figure 12. Adaption of cuttings so that income increases linearly to the level of the income increase obtained from the fertilization of all stands nearing the final cutting age (HÄLLSTEN 1967 p. 7).

- c = cost of fertilization, mk/ha
d = additional income from fertilization from final cuttings, mk/ha
h = annual increase in final cutting income during $0 \dots \bar{n}$, mk/ha.
 \bar{n} = normal period from fertilization of a stand to final cutting, years
 n = period from first fertilization to the moment when the total additional income d is gained, years

Taulukko 4. Tärkeimpiä tietoja NERSTENIN (1967 s. 3) mallimetsälöistä.

Metsälö	Keskiboniteetin kasvukyky m ³ /ha/v	Kehitysluokkajak., %				Puuston keskikuutiomäärä m ³ /ha	Hakkuusuunnitteen muk. vuotuinen tasainen hakkuumäärä ennen lannoitusta, m ³
		I-II	III	IV	V		
7	7	30	10	50	10	100	453.5
19	5	30	10	50	10	54	245.0
33	3	30	10	50	10	60	208.0

mahdollista, koska hakkuukierron nopeuttaminen aiheuttaa vain vähäisiä arvokasvun menetyksiä. (JERVEN & GRAM 1968 s. 70). Kyseisiä tuloeria ei kuitenkaan pitäisi nimittää lannoituksen aiheuttamiksi, vaan ne ovat lannoituksen ja muuttuneen hakkuuohjelman yhteistä seurausta.

Lopuksi tarkastellaan esimerkkinä päätehakkuikäisten metsiköiden lannoittamisen vaikutuksesta hakkuusuunnitteeseen NERSTENIN (1967 s. 3, 4) laatimien teoreettisten "metsälöiden" pohjalta. Lannoituksen vaikutusajaksi oletetaan 5 vuotta ja kasvun lisäyksen suuruudeksi 30 % vuotuisesta juoksevasta kuutiokasvusta. Lannoitusohjelman optimaalisuuden vaatimus oletetaan tulevan täytetyksi, kun lannoitettaviksi otetaan ainoastaan kaikki ne metsiköt, joiden juokseva kuutiokasvu on 3 m³/ha/v tai suurempi. Kaikkien esimerkkimetsälöiden pinta-ala on 100 ha.

Taulukkoon 4 on merkitty eräitä tietoja NERSTENIN mallimetsälöistä lannoitushetkellä ja taulukkoon 5 lannoituksen aiheuttaman hakkuusuunnitteen lisäyksen suuruus, kun lannoitus tapahtuu 1, 2 tai 3 kertaa ennen päätehak-

kuuta. Taulukosta 5 nähdään, että näissä hypoteettisissa metsälöissä yhden lannoituskerran aiheuttama hakkuusuunnitteen lisäys on ollut n. 1–2 %. NERSTEN arvioi, että lannoituksen vaikutuksen kestäessä 5, 10 ja 15 vuotta – 1, 2 tai 3 lannoituskerran jälkeen – on keskimääräinen hakkuumäärien lisääntyminen likimäärin 1.5, 2.5 ja 4.5 %, kun metsämaan boniteetti on keskimääräinen. Vastaavasti kaksi kertaa suoritettu lannoitus lisää laskelmien mukaan hakkuusuunnitetta keskimäärin 1.3 % ja 4 %, kun suhteellinen kasvunlisäys on 15 % tai 45 % vuotuisesta juoksevasta kuutiokasvusta.

Lannoituksen ja muiden puun kasvatuksen investointien edullisuuden selvittämiseksi on tehtävä yllä olevan kaltaisia vaihtoehtoisia hakkuulaskelmia. Jokaisen toimenpidevaihtoehdon aiheuttama kasvunlisäys ja sen vaikutus hakkuiden määriin ja hakkuutuloihin olisi tunnettava. Laskelmien teknisessä toteuttamisessa voidaan käyttää mm. matemaattisen ohjelmoinnin ja simuloinnin sovellutuksia (vrt. KILKKI 1968).

52. Kasvunlisän "realisointi" lannoittamattomista metsiköistä

Lannoituksen kannattavuuden laskentamalli muuttaa huomattavasti sisältöään, jos siinä sovelletaan tuottojen pääomittamiseen diskonttaustekijän asemasta annuiteettitekijää, jolloin "lannoitustuotot" saadaan metsälöstä vuotuisina yhtäsuurina hakkuutulojen lisäyksinä. Päätehakkuuta lähestyvän puuston yhden lannoituskerran kannattavuus saa muodon (vrt. EDLUND 1968 s. 232):

$$(15) \quad -c + (d - K) \frac{(1 + i)^{\bar{n}} - 1}{(1 + i)^{\bar{n}}} \geq 0$$

Taulukko 5. Ennen päätehakkuuta suoritettujen lannoituksen aiheuttama tasoitettujen hakkuusuunnitteen (balansekvantum) lisäys mallimetsälöissä, % (NERSTEN 1967 s. 4).

Lannoituskertojen lukumäärä	Metsälö		
	7	19	33
1	1.8	1.3	1.0
2	3.1	2.3	1.8
3	5.2	3.9	3.0

jossa

d = lannoituksen aiheuttama arvokasvun lisäys aikana $0 \dots \bar{n}$, mk/ha

K = lannoittamattomien metsiköiden päätehakkuiden nopeuttamisen aiheuttama uudistuskustannusten kasvu, mk/ha

c = lannoituskustannukset, mk/ha

\bar{n} = aika lannoitushetkestä päätehakkuuseen, v

i = laskentakorkokanta

Laskentatilanne muistuttaa kaavan (13) tilannetta normaalimetsässä, jossa heti lannoitushetkestä lähtien pyrittiin lisäämään vuotuisia hakkuutuloja yhtä suurella vuotuisella määrällä. Kaavan (13) tapauksessa kyseessä oli kuitenkin päätehakkua lähestyvien puustojen lannoitus. Yhtymäkohtia on niinkään kaavaan (10.2), jossa esiintyy ”ylimääräinen tuloerä” $a_T \lambda_T$.

Tämä erä ilmaisee sen rahallisen menetyksen, joka aiheutuu aikaisemman taloussuunnitelman muuttamisesta. Muutoksen syynä on vaatimus lisätä hakkuuta hetkellä T määrällä a_T . Lannoituksen sijasta tämä tavoite voidaan toteuttaa esim. lykkäämällä suunniteltuja päätehakkuita hetkeen T . HÄLLSTEN (1969 a s. 6) osoitti, että jos puutavaran yksikköhinta P_T säilyy laskenta-aikana vakiona ja jos päätehakkuun lykkäämisen kohteeksi joutuvien metsiköiden kasvua ei oteta huomioon, kaavan (10.2) termi $a_T \lambda_T$ on kirjoitettavissa yhtä suurten vuotuiserien (annuiteettien) diskonttausarvojen summana:

$$16 \quad a_T \lambda_T = \sum_{t=1}^{T-1} \frac{a_T P_T \cdot L}{(1+i)^{-t}}$$

jossa

a_T = lannoituksen aiheuttama hakkuumäärän lisäys päätehakkuussa hetkellä T , m^3 /ha

λ_T = se rahallinen menetys, joka syntyy aikana $1 \dots T-1$ suoritetusta suunniteltua määrää a_T suuremmasta päätehakkuusta, mk/m^3

P_T = päätehakattavan puuston kantohinta, mk/m^3

$L = \frac{1}{T-1}$ = se osuus määrästä a_T joka hakataan suunniteltua aiemmin päätehakkuissa vuosina $1 \dots T-1$

T = ajanjakso lannoituksesta metsikön päätehakkuuseen, v

i = laskentakorkokanta

Metsää omistavien metsäteollisuusyritysten käyttämistä lannoituksen kannattavuuden las-

kentamenetelmistä lienee Pohjoismaissa tunnetuin ruotsalaisen Svenska Cellulosa AB:n käyttämä. SCA:n mallin perusajatuksena on hakkuiden lisääminen lannoittamattomissa metsiköissä siten, että lannoituksen vaikutusajana oletetaan hakattavan vuosittain keskimääräistä kasvunlisäystä vastaava yhtä suuri puumäärä. HAGNERIN (1969 s. 687) ja HEIDKENIN (1969 s. 677) mukaan malli pätee seuraavin edellytyksin:

1) metsänhoitotoimenpiteen intensiteetissä tapahtuva muutos vaikuttaa välittömästi hakkuisiin,

2) laskelmissa käytetään samaa korkokantaa kuin yrityksen muissa investoinneissa

3) toimenpiteet jaetaan normaaleihin metsänhoitotoimenpiteisiin ja ”ylimääräisiin”; normaalien toimeenpano kuuluu metsänhoitoon ”luonnostaan”, investointilaskelmat koskevat vain ”ylimääräisiä” toimenpiteitä

4) hakkuiden määrä pidetään pitkällä tähtäimellä vähintään tasaisina tai mieluummin niiden on kohottava.

SCA:n päätehakkuikea lähestyvien metsiköiden lannoituksen kannattavuuskaava on muotoa (HAGNER 1968 s. 2):

$$17 \quad \frac{c}{L} \frac{i(1+i)^{\bar{n}}}{(1+i)^{\bar{n}-1}} + (H + T_e + T_v) - E - M \leq 0$$

jossa

c = lannoituskustannukset, mk/ha

L = keskimääräinen vuotuinen lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys, m^3 /ha

H, T_e, T_v = lannoitettavaa metsikköä vastaavan puuston korjuun, lähikuljetuksen ja kaukokuljetuksen kustannukset

E = puun järeytymisestä aiheutuva puun käyttöarvon lisäys, mk/m^3

M = suurin hinta, joka lannoitettavasta puusta ollaan valmiita tehtaalle toimitettuna maksamaan, mk/m^3

\bar{n} = aika metsikön lannoituksesta sen päätehakkuuseen, v

i = laskentakorkokanta

Kaavasta nähdään, että pyrkimyksenä on ollut liittää lannoituksen edullisuuden laskenta koko metsäosaston puun hankinnan optimointiin. Koko integroitu yritys on haluttu ottaa huomioon käyttämällä laskelmissa muilla osas-

toilla sovellettua korkokantaa. Suunnittelu on pyritty toteuttamaan pitkällä tähtäimellä: mm. tällä samalla kaavalla laskettua istutuksen kannattavuutta verrataan lannoituksen kannattavuuteen. Laskentakaavaan sisältyy oletus, että metsänhoitotoimenpiteen vaikutuksen päätyttyä vallitsee puutetta puusta, hintojen oletetaan olevan nykyhintoja korkeammat (HÄLLSTEN 1969 b s. 784). Toimenpiteen optimointiin sisältyy siten hakkuumääriä koskeva rajoitus (vrt. kaava 12). Jos näin ei olisi, tyydyttäisiin hakkuiden sopeuttamiseen, eikä metsänhoitotoimenpiteeseen ryhdyttäisi. Toisaalta kaavassa (17) oletetaan hintojen pysyvän vakiona koko toimenpiteen vaikutusajan (HEIDEKEN 1969 s. 682). Hintaoletuksissa on siten epäjohtonmukaisuutta. Tämä nähdään mm. seuraavasta lannoituksen kannattavuutta koskevasta esimerkistä (vrt. HÄLLSTEN 1969 b s. 783):

	diskontoitu arvo (10 %), mk/ha
(a) lannoitetun metsikön päätehakkuu 6 vuoden kuluttua lannoituksesta, 179 m ³ a 37:00	+ 3738
(b) lannoittamattoman metsikön päätehakkuu 6 vuoden kuluttua, 170 m ³ a 36:75	- 3527
<hr/>	
(c) lannoituksen metsikössä aiheuttama hakkuutulojen lisäys = (a) - (b)	+ 211
(d) lannoittamattomista metsiköistä hakataan 6 vuoden aikana 1.5 m ³ /v á 30:--	+ 216

Luku (c) ilmaisee lannoituksen kannattavuuden metsikkökohtaisella menetelmällä laskettuna; luku (d) osoittaa sen suuruuden SCA:n menetelmällä laskettuna lukuunottamatta laatukasvun lisäystä E, joka on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Havaitaan, että tässä esimerkissä SCA-mallin mukainen laskelma ilmaisee lannoituksen 5 mk/ha kannattavammaksi kuin metsikkölaskelma. Kohdan (d) laskemisessa on käytetty vakiohintoja lannoitushetkestä aina päätehakkuuseen saakka, kun taas kohdassa (b), tavannaista lannoituksen kannattavuutta määritettäessä, on käytetty todellisia hintoja. Jos SCA-laskelma viedään loppuun saakka, on siihen lisättävä vielä kohdat (e) ja (f):

(e) hakkuiden vähentyminen lan-

noittamattomista metsiköistä

6 vuoden kuluttua

1.5 m³/v á 30:--

- 152

(f) lannoituksen aiheuttama hakkuutulojen lisäys täydennetyt SCA-mallin mukaan (c)+(d)+(e) + 275

”Täydennetyt” SCA laskelman mukainen kannattavuus kohoaa siten 275 mk:aan, josta 211 mk voidaan sanoa olevan peräisin lannoitetusta metsiköstä ja 64 mk muiden metsiköiden hakkuiden sopeuttamisesta. Kyseessä ei enää ole pelkkä lannoituksen kannattavuuslaskelma, vaan lannoituksen ja hakkuiden ”kannattavuuden” määrittäminen, jossa päätehakkuiden sopeuttamisen aiheuttamaa uudistuskustannusten lisäystä ei kuitenkaan ole otettu huomioon. Summa (d)+(e) on yhtä lailla ”ylimääräinen” tulo kuin kaavan (10.2) positiivinen maksuerä $a_T \lambda_T$. Edellinen syntyy suunniteltua aikaisemmista hakkuista ylinormaalissa metsässä jo lannoituksen vaikutusaikana. Luku $a_T \lambda_T$ ilmaisee tulomenetykset, jotka aiheutuvat normaalimetsän hakkuiden lykkäämisestä suunniteltua myöhemmäs, mikäli lannoitukseen ei ryhdytä. Molemmassa tapauksissa toimenpiteiden kannattavuuden laskentaan liittyy rajoitus, jonka mukaan hakkuiden on lisäännettävä tietyllä määrällä hetkellä T eli lannoituksen vaikutuksen päättyessä. Summa (d)+(e) vastaa siten kaavan (10.2) erää $a_T \lambda_T$. HÄLLSTEN (1969 a s. 7) osoitti, ettei SCA:n laskentamallissa, kuten ei myöskään kaavassa (10.2) λ_T :n arvoa laskettaessa, oteta huomioon lannoituksen kanssa vaihtoehtoisena olleen päätehakkuiden myöhemmäksi siirtämisen seurauksena lannoittamattomista metsiköistä saatavaa kasvunlisäystä.

HEIDEKENIN (1969 s. 682) mukaan lannoituksen aiheuttama puiden järeytymisestä saatava hyöty voidaan SCA-mallissa käyttää hyväksi vasta kun metsikkö hakataan. Sen sijaan kuutiomäärän lisäyksestä aiheutuva hyöty saadaan vuosittain lannoituksen vaikutusaikana. Sen arvo lasketaan kertomalla vuotuinen keskimääräinen lisäkasvu päätehakkuiden keskimääräisillä kantohinnoilla (FRIES 1970 s. 26). Laskentamenetelmä antaa siten suuremman painon kuutiokasvusta kuin järeytymisestä saatavalle hyödyille (LUNDELL 1970 s. 422).

Puuston järeytymisestä saatava hyöty, sen laatukasvu, aiheutuu eläviin puihin syntyvästä kasvuvaipeasta. Näitä vaipeoja ei voida puista

irroittaa, eikä erillisinä myydä, vaan laatukasvuhyöty saadaan vasta toimenpiteen kohteena olevan metsikön hakkuussa. SCA:n mallissa puun käyttöarvon kohoaminen muuttujassa E näyttää siten tulevan laskelmassa oikein huomioon otetuksi. Ristiriitaiselta tuntuu kuutiokasvun erottaminen laatukasvusta ja sen ”realisointi” kokonaan käsittelyn ulkopuolella olevista metsiköistä. ”Realisoinnin” ajoituskin on aivan toinen kuin laatukasvun kyseessä ollen. Tällainen kasvunlisäyksen arvon määrittäminen on harhaanjohtavaa: kasvulla ei ole omaa puustosta irrallista arvoa. Vaikka kasvulle olisi jokin arvo laskettukin, on tavattoman vaikeata löytää metsälöstä juuri sellainen metsikkö, jossa lisätuottoa ”realisoitaessa” saatava hinta olisi täsmälleen sama kuin tuo laskettu arvo. Ja vaikka kyseinen metsikkö löydetäisiinkin, ei ole lainkaan varmaa, että ”realisointihakkuu” olisi siinä metsänhoidollisesti ja taloudellisesti oikea ratkaisu, vielä epätodennäköisempää on, että hakkuu metsälökohtaisesti on suositeltavaa, koska taloussuunnitelman mukaisen käsittelyn oletetaan olleen optimaalinen, ennenkuin lannoitus otettiin yhdeksi metsiköiden toimenpidevaihtoehdoksi. Viimeksi mainittu heikkous on erittäin merkityksellinen, koska SCA-mallin tarkoituksena on ottaa koko metsälö huomioon edullisuuksia määritettäessä.

Sama heikkous esiintyy korjuu- ja kaukukuljetuskustannusten suuruuden määrittelyssä. Jokaista lannoitusta varten ei voida etsiä päteviä metsiköitä, jotka sijaitsisivat samalla menekialueella kuin lannoitettava metsikkö. Kaavassa (17) ovat siis H , T_1 ja T_v keskimääräisiä arvoja. Näitä muuttujia ei nykyisen SCA-mallin kannattavuuskaavassa välttämättä tarvittaisi, koska kyseiset arvot ovat kaikille verrattaville metsänhoitovaihtoehdoille samat.

Tarkastelun alaisena olevan metsänhoitomenetelmien edullisuuden laskentamenetelmän ilmoitetaan olevan pitkän tähtäimen mallin. Periaatteena on, että hakkuumahdollisuudet eivät kauas ulottuvan aikahorisontin sisällä ainakaan alene laskentahetken tasosta. Tähtäimen pituuteen vedoten puhutaan ”välttämättömästä” tai normaalista metsänhoidosta, joka ei kuulu kannattavuuslaskennan piiriin sekä ”ylimääräisistä” toimenpiteistä, joille kannattavuus on laskettava (HEIDEKEN 1969 s. 677). Niinkin korkean laskentakoron käyttö kuin SCA:n soveltama 10 % on metsätaloudellisissa laskelmissa hyvin epätavallista. Puunkasvatuksen investoinnit eivät

kestä näin korkeata korkovaatimusta, kun kannattavuutta mitataan tavanomaisin liiketaloudessa käytetyin laskentamenetelmin. Tämän toteaa myöskin HEIDEKEN 1969 s. 679). Annuiteettimallia tarkastellessa herää kysymys, onko se luotu siksi, että tavanomaisin investointilaskelmin ei puun kasvatuksessa voida saavuttaa integroituneen yrityksen korkovaatimusta.

Laskentamallin käytön ehdoton edellytys on, että metsälö on puustoltaan ylinormaalinen. On oltava sellaisia metsiköitä, joista ”ylimääräinen hyöty” on mahdollista hakata aiheuttamatta arvokasvumenetyksiä hakkuun kohteena olevissa metsiköissä. Svenska Cellulosa AB:n metsät ovat juuri tällaisia. Samoin on useiden Pohjois-Amerikan metsäteollisuusyritysten, kuten esimerkiksi Weyerhaeuser-yhtiön laita, jotka käyttävät metsänhoitotoimenpiteiden edullisuuslaskelmissa mallin (17) mukaisia menetelmiä. HAGNER (1969 s. 616) joutuu toteamaan, että SCA:n mallilla on rajoituksensa: jos lannoituksella koko metsälön kasvu saadaan kaksinkertaiseksi, ei olisi kuitenkaan mahdollista välittömästi lisätä hakkuuta 100 % niiden tasaisuuden vaarantumatta.

Edellä esitetty SCA-malliin liittyvä arvostelu on osoittanut lähinnä sen käytön lannoituksen absoluuttisen kannattavuuden määrittämiseen aiheuttavan vääriä tuloksia metsälöissä, joissa ikäluokajakautuma on tasainen. Koska laskentamenetelmän lähtökohta on virheellinen, ei se voi myöskään antaa oikeaa kuvaa metsänhoitotoimenpiteiden keskinäisestä edullisuudesta. LUNDELLIN (1970 s. 426) mukaan esimerkiksi istutus tulee useimmiten tällä menetelmällä laskettuna lannoitusta edullisemmaksi, mikäli hakkuukypsiä metsiköitä on kylliksi koko keskimääräisen kasvunlisäyksen realisoinniseksi käsittelemättömistä metsiköistä. Tämä johtuu siitä, että keskimääräinen kasvu on istutusvaihtoehdossa suurempi ja ajanjakso, jolta kasvunlisäys saadaan pitempi. Samaan suuntaan vaikuttaa myös se, että mallissa puun järeytymisestä saatavalle hyödylle annetaan suhteellisesti vähemmän painoa kuin metsikkölaskelmassa.

Lyhytaikaisen lannoitusinvestoinnin ja pitkän aikavälin istutuksen edullisuuden vertailu ei annuiteettikaavaa käytettäessä anna oikeata tulosta. Istutuksen kannattavuuslaskelmaan sisältyy ehto hakkuumäärien tai -tulojen noususta tietylle tasolle esim. 50–70 vuoden kuluttua päätöksentekohetkestä, kun sama ehto lannoituksen ollessa kyseessä koskee alle 100 vuoden

aikaa. Kaava antaa sitä virheellisempiä tuloksia, mitä suuremmat ovat toimenpiteen aikaansaamat kasvunlisäyksen vaihtelut investointiajan-

jakson aikana ja mitä pitempi tämä ajanjakso on.

6. YHTEENVETO

Metsän lannoitus tulee edelleenkin lisääntymään Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Tähän viittaavat tehdyt valtakunnalliset metsänhoito-ohjelmat ja alueittaiset suunnitelmat. Lannoituksen kannattavuuslaskelmilla on saatava selville, mikä on eri lannoituskohteiden keskinäinen edullisuusjärjestys, sekä kannattavimpien lannoitusten ja muiden metsänhoitotoimenpiteiden keskinäinen edullisuus. Lannoituskustannuksia koskevassa katsauksessa (luku 2) todetaan, että tarkasteltavina olevasta kolmesta maasta lannoitus on halvinta Suomessa ja kalleinta Ruotsissa. Tässä selvityksessä on esitetty joitakin laskentamenetelmiä, joita on käytetty varttuneiden kangasmetsien lannoituksen kannattavuuden määrittämisessä. Tarkasteltavina ovat lähinnä päätehakkuikäiset metsiköt, koska niiden lannoittamisen on havaittu olevan kannattavinta (vrt. SVENDSRUD 1967; KEIPI & KEKKONEN 1970). Pohjoismaista erityisesti Ruotsissa on laadittu pitkälle vietyjä malleja metsiköittäisen lannoituksen kannattavuuden määrittämiseksi. Tähän on ollut hyviä mahdollisuuksia, koska käytettävissä on ollut jo liikeluodellisten laskelmien laadintaan vakiintuneita puun arvon määrittämismalleja. Puustotunnusten käsittely ja menekkialueihin jako eivät näytä niissä kuitenkaan usein olevan kyllin yksityiskohtaisia. Esimerkiksi Institutet för Skogsförbättringissä kehitettyyn malliin sisältyy seuraavia heikkouksia (ERKEN 1969 s. 67):

- 1) lannoituksen ansiosta tapahtuvaa pituuskasvun lisäystä ei oteta huomioon
- 2) lannoituksella saatava läpimitan lisäys on otettu samaksi kaikissa läpimitaluokissa
- 3) mallissa ei ole rungon kapenemista otettu huomioon
- 4) kantohinnat lasketaan suurten alueiden keskiarvoina

Myös lannoitettavaksi suunnitellun metsikön kasvun lisäyksen ennakkointiin liittyy runsaasti epävarmuutta. Ruotsissa tehdyissä kannatta-

vuuslaskelmissa on oletettu, että lannoitusvaikutuksen ja juoksevan vuotuisen kuutiokasvun välillä on voimakas positiivinen korrelaatio (vrt. FAHLROTH 1970 s. 91). Suomessa ja Norjassa on tultu aivan toisenlaisiin tuloksiin: varttuneiden kangasmaiden männiköiden ja kuusikoiden kuutiokasvun, kuutiomäärän tai iän on havaittu selittävän lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen suuruutta erittäin vähän (BRANTSEG et. al. 1970 s. 601; KEIPI & KEKKONEN 1970 s. 10). Olennaisempaan vaikeutena niin metsikkö- kuin metsälökohtaistenkin kannattavuuslaskelmien laatimiselle on lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen määrittäminen. Vasta seuraavaksi suurimpana, arvokasvulaskelmien vähäisyydestä johtuvana hankaluutena on puun arvon kehittymisen mittaaminen, mikä tekee erityisesti puun järeytymisestä aiheutuvan hyödyn laskemisen vaikeaksi.

Yhteistoiminnassa tuotostutkijoiden kanssa olisi metsäekonomistien pyrittävä selvittämään, millainen on lannoituksen ja harvennushakkuiden vuorovaikutus, milloin kasvunlisäys tulee realisoida, kun lannoituksen kohteena on kasvatettava metsikkö. Tätä ongelmaa on käsitelty erityisesti Norjassa (vrt. SVENDSRUD 1967). Luvussa 42. kosketellaan lannoituksen ja päätehakkuun välistä vuorovaikutusta. Todetaan, ettei ole syytä puhua lannoituksen vaikutusajasta absoluuttisena arvona. Kasvun lisäyksen suuruuden vaihdellessa muuttuu myös arvokasvun suuruus. Kun vuotuinen arvokasvu alenee tietylle tasolle, on metsikkö uudistettava. Samassa yhteydessä viitataan myös siihen hyötyyn, mikä lannoitettaessa voidaan saada pyrittäessä tulevaisuudessa tasaisiin hakkuutuloihin.

Edelleen kosketellaan lyhyesti korjuun käsittely-yksiköiden koon suurentamisesta mahdollisesti saatavaa hyötyä. Näitä kysymyksiä on pohjoismaista pohdittu eniten Norjassa (SVENDSRUD 1967; JERVEN & GRAM 1968).

Koko tämän esityksen loppuosa on käytetty eräiden metsälökohtaisen kannattavuuden yksittäistapausten tarkasteluun lähtien SAAREN (1942 s. 23) tuottohakkuiden ajatukseen liittyvästä laskentamallista. Lannoituksen metsälökohtaista edullisuutta tutkitaan hakkuumääriin ja hakkuiden arvoon liittyvien rajoitusten valitessa. Todetaan, että metsänomistajan metsänhoitotoimenpiteitä varten myöntämä budjetti muodostaa oleellisen rajoituksen. HÄLLSTENIN (1967) Ruotsissa esittämien esimerkkien avulla osoitetaan, että normaalimetsän ”puhdas” lannoituksen kannattavuus heikkenee, jos lannoittamattomissa metsiköissä aletaan sopeuttaa hakkuita jo lannoituksen vaikutusaikana. Sen sijaan lannoituksen ja hakkuiden yhteinen kannattavuus saattaa lisääntyä asetettujen rajoitusten puitteissa. Rajoitusten olemassaolosta kuitenkin seuraa, että kysymys ei enää ole normaalimetsästä.

Luvussa 52. tarkastellaan sitä, missä määrin annuiteettikaavan käyttö on oikeutettua tuottojen pääomittamiseen lannoituksen kannattavuuslaskelmissa. Samalla tutkitaan lähemmin Svenska Cellulosa AB:n menetelmää metsänhoitotoimenpiteiden kannattavuuden laskemiseksi. Sen käyttöön sisältyy tulevaisuudessa hakattavia puumääriä ja puun hintoja koskeva rajoitus, joka on ristiriidassa kaavan itse asiassa sisältyvän oletuksen kanssa, jonka mukaan hinnat pysyvät muuttumattomina koko toimenpiteen vaikutusajan.

Laskentamenetelmässä määritetään kasvunlisän raha-arvo harhaanjohtavasti: keskimääräiselle kasvulle ei voida laskea omaa puustosta irrallista arvoa. Kaavassa (17) oletetaan lannoituksen ”kuutiocyöty” realisoitavan lannoittamattomista metsiköistä lannoituksen vaikutusaikana, kun taas järeytymisen lisääntymisestä aiheutuva hyöty lasketaan erikseen. Se voidaan käyttää hyväksi vasta kun lannoitettu metsikkö hakataan. Kaava antaa siten epäjohtonmukaisuudessaan suuremman painon kuutiokasvusta kuin järeytymisestä saatavalle hyödyille. (HÄLLSTEN 1969 b; LUNDELL 1970)

Laskentamallin käytön ehdottomana edellytyksenä on puuston ylinormaalisuus. Puuston epänormaalin rakenteen ansiosta lannoituk-

selle kohdistetaan ”ylimääräisiä” tuottoja ilman, että virhe paljastuu. Kyseiset lannoituksen ulkopuolelle jääviksi ehdotettujen metsiköiden hakkuut voidaan kuitenkin toteuttaa siitä riippumatta, suoritetaanko lannoitus vai ei. Siten näiden ylimääräisten tuloerien sisällyttäminen kannattavuuden laskentakaavaan ei ole ilman muuta oikeutettua. Sen käyttöön liittyy välttämättä oletus hakkuumäärien nostamisesta tietulle tasolle lannoituksen vaikutuksen päättymishetkellä.

HÄLLSTEN (1969 a) on osoittanut, että puheena olevassa laskentamallissa itse asiassa oletetaan, että hakkuumäärien lisääminen lannoituksen vaikutusaikana on vaihtoehtoinen toimenpide päätehakkuikeisten metsiköiden hakkuiden siirtämiselle tulevaisuuteen. Jos metsälössä on, kuten mallissa (vrt. HAGNER 1969) oletetaan, ylinormaalin puusto, ei hakkuiden lykkäämistä voida pitää realistisena vaihtoehtona. Erityisen silmiinpistäväksi tulee tämä laskentamenetelmän heikkous pitkän ajan investoinneissa, kuten esim. istutuksissa.

Tämän tutkimuksen tuloksien mukaan metsän lannoituksen kannattavuuslaskelmien pääpainon tulisi tulevaisuudessakin olla mahdollisimman käyttökelpoisten metsiköittäisten kannattavuuslaskelmien aikaansaaminen erityisesti varttuneille puustoille. Yhteistoiminnan metsämaatieteilijöiden ja tuotostutkijoiden kanssa tulisi olla saumatonta, jotta uusimmat lannoituksen aiheuttamia kasvunlisäyksiä ja niiden jakautumisesta metsikön puihin koskevat tutkimustulokset voitaisiin edullisuuslaskelmien välityksellä käyttää hyväksi.

Metsälökohtainen lannoituksen edullisuus saattaa poiketa huomattavastikin metsikkökohtaisesta edullisuudesta. Toisaalta integroidussa yrityksessä metsälökohtainenkin tarkastelu on liian suppea. ”Puhtaan” lannoituksen kannattavuuden ohella on metsänomistajan erittäin tärkeää tuntea lannoituksen edullisuus tai lannoituksen ja muiden metsänhoitotoimenpiteiden yhteinen edullisuus, kun tavoitefunktioita koskevat erilaiset metsälö- tai yrityskohdaiset rajoitukset. Tällaisia ovat mm. rahoitusta ja tulevaisuudessa saatavia hakkuutuloloja koskevat ehdot.

KIRJALLISUUSLUETTELO – BIBLIOGRAPHY

- Analys av möjligheterna till ökad virkesproduktion genom intensifierad skogsvård inom industriområde I. Promemoria för skogsbrukets fämjande på industriområde I. Moniste. Stockholm. 1970.
- BENGTSON, GÖTE; GUSTAVSSON, RUNAR; ROSQVIST, GUNNAR & STRÖMQVIST, LEIF 1967. Skogsgödsling med flygplan och helikopter. *Institutionen för skogsteknik II. Skogshögskolan*. Moniste. Stockholm.
- BRANDEL, GUNNAR 1969. *Studier över gödslingens inverkan på trädens tillväxt och form*. Moniste. Stockholm.
- BRANTSEG, ALF; BREKKA, ARNE & BRAASTAD, HELGE 1970. Gödslingsförsök i gran- og furuskog. Fertilizer experiments in stands of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsöksvesen* Nr 100. Vollebekk.
- CARBONNIER, CHARLES 1962. Några resultat av gödslingsförsök i rena tall- och granbestånd. *SST* 1962:3. Norrtälje.
- CARBONNIER, CHARLES 1968. Möjligheterna att genom gödsling öka virkesproduktionen på fastmark. Virkesbalans 1967. *Statens offentliga utredningar* 1968:9. Stockholm.
- EDLUND, LARS-ÅKE 1968. Volym-Dimension-Intensitet. Några reflexioner kring fastmarksgödslingens ekonomi och möjligheter byggda på kalkyfall. *Skogen* 1968:9. Uppsala.
- ERICSON, BÖRJE 1969. Gödslingens inverkan på virkets kvalitet. *Skogsmarksgödsling*; kurs i Stockholm den 8–9 maj 1969. Moniste. Stockholm.
- ERKÉN, TORE 1969. Några teoretiska beräkningar av skogsgödslingens ekonomiska effekt. *Föreningen Skogsförädling, Institutet för skogsförbättring. Årsbok* 1968. Uppsala.
- ERKÉN, TORE & FAHLROTH, SIGGARDT 1967. Gödslingsförsök på fastmark. *Skogen* 1967:24. Uppsala.
- FAHLROTH, SIGGARDT 1969. Diameterökningens storlek och fördelning på diameterklasser i gödslade bestånd. *Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring. Årsbok* 1968. Uppsala.
- FAHLROTH, SIGGARDT 1970. Skogsgödslingens ekonomi. *Nordiskt skogsbruk av i dag*. Helsinki.
- FAHLROTH, SIGGARDT & RAGNAR FRIBERG 1970. Skogsförbättring informerar. *Skogen* 1970:22. Uppsala.
- FRIES, JÖRAN & STIG HAGNER 1970. Proceedings. Silvicultural decision models. *American Pulpwood Association*. Moniste. New York.
- HAGBERG, NILS 1966. Gödslingsförsök i barrskog. Tillväxtreaktionerna efter gödsling på några av Skogshögskolans fasta försöksytor i mellersta och södra Sverige. Summary: Fertilization experiments in Swedish conifer stands. Department of forest field research. *Royal College of Forestry Research Notes*. Stockholm.
- HAGNER, STIG 1967. Fertilization as a production factor in industrial forestry. *Svenska Cellulosa AB*. Moniste. Stockholm.
- HAGNER, STIG 1968. Kalkylmodell för beräkning av olika skogsvårdsåtgärders lönsamhet. *Svenska Cellulosa AB*. Moniste. Sundsvall.
- HAGNER, STIG 1969. Styrmedel för val av ekonomiskt optimal insatsnivå i olika skogsvårdsarbeten samt några nya hjälpmedel för beslutsfattandet, SSF:s Norrlandsexkursionen september 1969. *SST* 1969:8. Vesterås.
- HAKKILA, PENTTI 1970. Lannoituksen vaikutus puun laatuun. *Metsäntutkimuslaitos*. Moniste. Helsinki.
- Handbok för planläggning i skogbruken*. 1970. Vollebekk.
- von HEIDEKEN, FOLKE 1969. Inledningsanförande för SSF:s Norrlandsexkursionen 1969. *SST* 1969:8. Vesterås.
- HERMANSEN, NILS 1969. New Aspects of classical problems. *Readings in forest economics*. Oslo.
- HÅLLSTEN, BERTIL 1967. Några synpunkter på skogsgödsling. *Institutionen för skogsökonomi. Skogshögskolan*. Moniste. Stockholm.
- HÅLLSTEN, BERTIL 1969a. Beståndsekonomi

- skogsekonomi-företagsekonomi. Analys av föryngringsalternativ. *Institutionen för skogsekonomi. Skogshögskolan*. Moniste. Stockholm.
- HÅLLSTEN, BERTIL 1969b. Diskussionsinlägg under SSF:s Norrlandsexkursion 1969. Exkursionspunkt 4. SST 1969:8. Vesterås.
- Informationer om skogsgödsling 1967. *Skogen* 1967:9. Uppsala.
- Instilling fra utvalget 1969 til å utrede visse spørsmål i forbindelse med gjødsling av skog på fastmark*. 1969. Moniste. Vollebakk.
- JERVEN, OLE & TRULS GRAM 1968. *Gjødsling i skogen*. Oslo.
- JØRGENSEN 1964. Kostnader og kostnadsfordeling. *Skogsbruksboka* Bd. 3. Oslo.
- JØRGENSEN, FRITS 1969. Traditional calculations for economic planning of forest management. *Readings in forest economics*. Oslo.
- JÖRNLIND, SUNE 1969. Verket gödselar. *Skogen* 1969:8. Uppsala.
- KEIPI, KARI 1972. Kangasmetsien lannoitus halvinta Suomessa – kalleinta Ruotsissa. *Metsä ja puu* 1972: 6–7. Hämeenlinna.
- KEIPI, KARI, & OTTO KEKKONEN 1970. Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. *Folia Forestalia* 84. Helsinki.
- KEKKONEN, OTTO 1967. Lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen jakaantumisesta rungon eri osille. *Helsingin Yliopisto*. Laudaturtyö. Helsinki.
- KEKKONEN, OTTO 1968. Metsän lannoitus investointikohteena. Moniste. Helsinki.
- KELTIKANGAS, MATTI 1970. Puun kasvatuksen investointilaskelman teoreettisten perusteiden tarkastelua. Moniste.
- KILKKI, PEKKA 1968. Income oriented cutting budget. Tulotavoitteeseen perustuva hakkuulaskelma. *AFF* 91. Helsinki.
- KLEM, GUSTAV & BIRGER HALVORSEN 1967. Virkningen av sterk tilvekstökning på endel styrkeegenskaper til virke fra vanlig furu. Summary: The effect of a rapid increase in growth rate on some strength properties of wood from scots pine (*Pinus sylvestris* L) *Norsk Skogindustri* 1967:4. Eripainos. Oslo.
- KLEM, GUSTAV 1968. Quality of wood from fertilized forests. *Tappi* 1968:11. Eripainos. New York.
- LUNDELL, SVEN 1970. Några synpunkter på en kalkylmodell för skogsvårdsinvesteringar. SST 1970:5. Norrtälje.
- MERA – metsätalouden rahoitusohjelma III. Summary: Forest Financing Committee MERA III. Helsinki 1969.
- MÖLLER, GÖRAN 1968a. Den praktiska skogsmarksgödslingens inverkan på virkets kvalitet. *Institutet för Skogsförbättring. Information* 1968/69:1. Uppsala.
- MÖLLER, GÖRAN 1968b. P.M. beträffande kalkylmodell för skogsgödsling. *Institutet för Skogsförbättring*. Moniste.
- NERSTEN, SVEINUNG 1967. Gjødslingens virkning på hogstkvantumet fra en skog. *Landbrukets årsbok. Skogsbruk* 1967. Eripainos.
- OLLIKAINEN, TATU 1972. Metsänlannoitteen levitys moottorikelkalla edullisinta. *Metsä ja puu* 1972:6–7. Hämeenlinna.
- Planläggning och byggande av skogsflygplatser. *Kungliga skogsstyrelsen*. Åseda 1967.
- SAARI, EINO 1942. Metsäojitusten yksityistaloudellisen edullisuuden määrittäminen. Referat: Die Abschätzung der privatwirtschaftlichen Einträglichkeit der forstlichen Entwässerungen. *AFF* 50. Helsinki.
- STREYFFERT, THORSTEN 1965. *Handbok i skogsekonomi*. Uppsala.
- SVENDSRUD, ASBJÖRN 1967. Om lönsomhetsberegninger i forbindelse med gjødsling av skog. *Landbrukets årsbok. Skogsbruk* 1967. Eripainos. Vollebakk.
- Virkesbalanser 1967. *Statens offentliga utredningar* 1968:9. Stockholm.
- VIRO, PENTTI 1972. Die Walddüngung auf finnischen Mineralböden. *Folia Forestalia* 138. Helsinki.
- VIRO, PENTTI 1968. Metsän lannoitus, *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 1968:4. Helsinki.
- ØDEGAARD, ARNULF & JOHAN BERGSUND 1965. Et forsök på lønsomhetsberegning med gjødsling av eldre skog på fastmark. *Norsk skogbruk* 1965:4. Oslo.

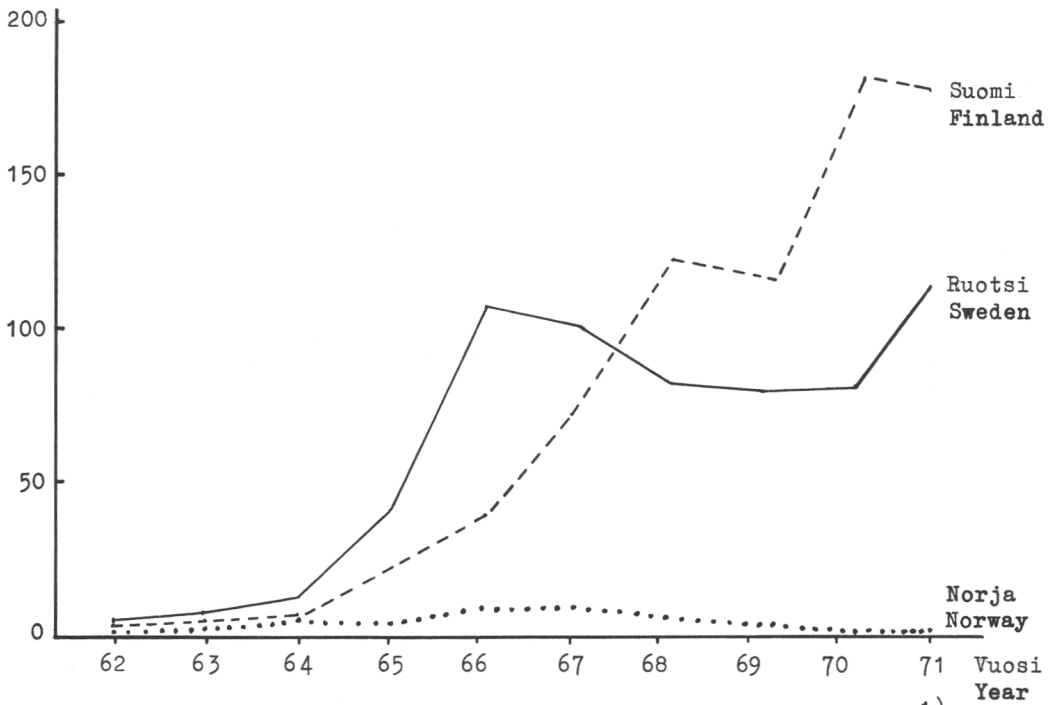
Käytetyt lyhenteet – *Abbreviations used:*

AFF = Acta Forestalia Fennica

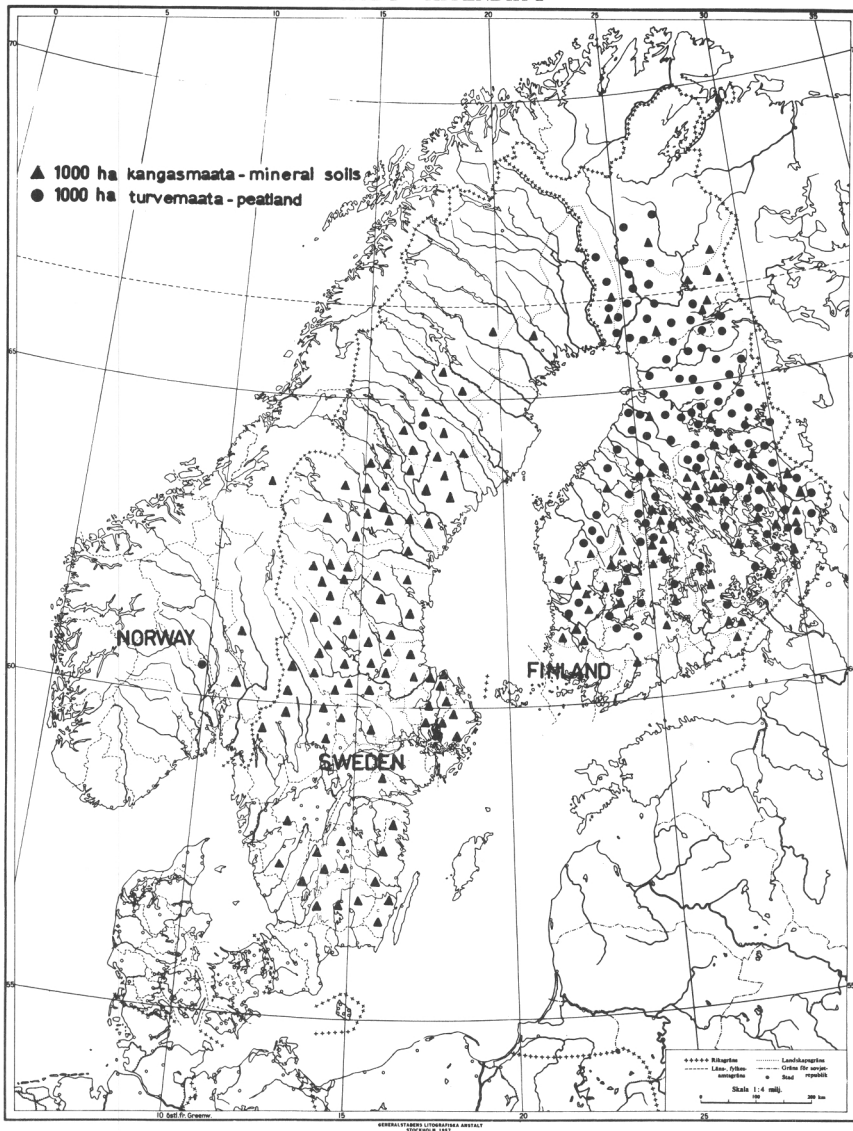
SST = Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift

Vuotuinen lannoitusala, 1000 ha
Annual area fertilized, 1000 ha

LIITE 1 – APPENDIX 1



Kuva 1. Metsän lannoitusala Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa 1962-71.¹⁾
Figure 1. Total forest area fertilized in Norway, Sweden and Finland in 1962-71.¹⁾



Kuva 2. Metsän lannoituksen alueellinen jakautuminen v. 1970 Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa.¹⁾

Figure 2. Regional distribution of forest fertilization on mineral soils and peatland in 1970 in Norway, Sweden and Finland.¹⁾

¹⁾Lähteet - Sources:

GREPPERUD, T. Felleskjøpet, Oslo. Haastattelu. (Personal interview.)

HOLMEN, H. 1970. Skogsgödsling i Sverige, Skogshögskolan. Moniste. Stockholm.

LAGERROTH, S. Kema Nord AB. Tukholma. Haastattelu. (Personal interview.)

Metsätilastollinen vuosikirja. Yearbook of forest statistics 1970. 1971. Folia Forestalia 130. Helsinki.

UUSITALO, M. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. Haastattelu. (Personal interview.)

Ohjeet metsämaksuvarojen (skogavgift) käytöstä kangasmaiden kuusikoiden ja männiköiden lannoitukseen. Lantbruksdepartementin 12 helmikuuta 1970 asettamat Norjan säännökset.¹⁾

1. Lannoitus on suoritettava ensi sijassa hakkuukypsissä tai 10-15 v:n kuluessa hakkuukypsyyden saavuttavissa männiköissä ja kuusikoissa. Lannoitetuissa metsiköissä ei saa suorittaa hakkuuta ennen kuin 7 vuotta on kulunut mäntymetsän ja 8-9 vuotta kuusimetsän lannoittamisesta.
2. Jotta kasvunlisäyksen tuleminen arvokkaimpien puiden osalle taattaisiin, suoritetaan lannoitus metsikössä, josta vähäarvoisimmat puut on poistettu.
3. Lannoitettavassa metsikössä puuston kuutiomäärän on oltava vähintään 120-150 m³/ha ja pohjapinta-alan 15 m²/ha. Lannoituksen ehdottomana edellytyksenä on, että metsikössä on riittävästi puita, joissa on kehityskelpoinen latvus.
4. Lannoitus on suoritettava ensi sijassa paksuhumuksisilla mailla. Sekä kuusi- että mäntymetsissä lannoitus suositellaan toteutettavaksi pääasiassa keskinkertaisilla maaboniteeteilla. Ensi sijassa lannoitetaan metsiköitä, joiden kantoarvo on suuri.
5. Lannoitemäärän on oltava n. 150 kg typpeä hehtaarille. Lannoitteena käytetään kalkkiammonsalpietaria ja ureaa, viimeksi mainittua vain paksuhumuksisilla mailla. Lannoituksen vaikutus kestää kuusikossa n. 8 vuotta ja männikössä n. 6 vuotta.
6. Toista tai useampaa kertaa lannoitettaessa käytetään lannoitemääriä jotka vastaavat 120 kg/ha puhdasta typpeä. Viimeinen lannoitus suoritetaan 7-8 v. ennen päätehakkuuta.
7. Lannoitus on parasta suorittaa keväällä tai kesällä - puiden kasvuaikana.
8. Useat eläimet syövät mielellään myös useimpia lannoitelajeja, eivätkä siedä suuria määriä kuolematta. Lannoitteita on käsiteltävä siten, että eläimet eivät pääse niihin käsiksi.

¹⁾ Lähde: HEJE, K & J. NYGAARD: Norsk Skoghåndbok 1972. Oslo 1972.

- No 126 Matti Palo: Valtion metsäteollisuus- ja metsätalousyriyten koordinointi.
Coordination of State-owned forestry and forest-industry firms in Finland. 4,—
- No 127 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1969—71
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1969—71. 5,—
- No 128 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Havusahatukkien todellisen kiintomitan määrittäminen latvaläpimitan perusteella.
Determination of the true volume of coniferous saw logs on the basis of ton diameter. 5,—
- No 129 Bo Långström: Insektisidien käyttö havupuiden taimien suojaukseen tukkimiehentäin (Hylobius abietis L.) tuhoilta.
The use of insecticides for protection of coniferous planting stock against the large pine weevil (Hylobius abietis L.) 1,—
- No 130 Metsätilastollinen vuosikirja 1970.
Yearbook of forest statistics 1970. 10,—
- No 131 Pertti Harstela: Puunkorjuumenetelmien ergonominen kehitys ja erät työntekijään kohdistuvat fyysiset vaikutukset.
The ergonomic development of the forest work methods and some physic effects on workers. 2,50
- No 132 Simo Poso ja Matti Kujala: Ryhmitetty ilmakuva- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa.
Groupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. 4,—
- No 133 Matti Palo: Metsällisten projektien verkkosuunnittelu.
Planning forestry projects by means of network analysis. 5,—
- 1972 No 134 Aarne Reunala — Ilpo Tikkanen: Metsätilanomistajat metsätalouden edistämistoiminnan kohteena Keski-Suomessa.
Non-farmer forest owners and promotion of private forestry. 4,—
- No 135 Pentti Hakkila ja Olavi Saikku: Kuoriprosentin määrittäminen sahanhakkeesta.
Measurement of bark percentage in saw mill chips. 1,50
- No 136 Ukko Rummukainen: Vesakontorjunta-aineiden ja rikkakasvinhävitteiden käytöstä metsänviljelyaloilla Suomessa vuosina 1969—1970.
On the use of brush and weed killers on forest regeneration sites in Finland in 1969—70. 4,—
- No 137 Eino Mälkönen: Näkökohtia metsämaan muokkauksesta.
Some aspects concerning cultivation of forest soil. 1,50
- No 138 P. J. Viro: Die Walddüngung auf finnischen Mineralböden. 2,50
- No 139 Seppo Kaunisto: Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä.
Effect of fertilization on successful planting and the number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field. 1,50
- No 140 Matti Ahonen ja Markku Mäkelä: Juurakoiden irrottaminen maasta pyöräkuormaajilla.
Extraction of stump-root systems by wheel loaders. 2,50
- No 141 Yrjö Vuokila: Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta.
Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. 4,—
- No 142 Pentti Koivisto: Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä.
On the development of Scots pine stands in central Finland. 2,—
- No 143 Matti Huovinen, Soini Silander, Paavo Tiihonen ja Juho Yli-Hukkala: Hakkuumiehen määrittämään runkolukuun perustuva leimikon pystymittaus.
Stichprobenweise Massenermittlung am stehenden Holz eines ausgezeichneten Bestandes auf Grund von Stammzahlaufnahme durch den Holzfäller. 2,—
- No 144 Esko Leinonen: Puutavaran mittaus kuorma- ja otantamenetelmillä.
Measurement of timber by the load and sampling methods. 4,—
- No 145 Esko Leinonen: Tilavuuspaino-otanta sahatukkien mittauksessa.
Green density sampling in sawlog scaling. 1,50
- No 146 Markku Mäkelä: Kanto- ja juuripuun kuljetus.
Transport of stump and root wood. 2,50
- No 147 Pentti Hakkila, Jouko Laasasenaho ja Kari Oittinen: Korjuuteknisiä oksatietoja.
Branch data for logging work. 2,—
- No 148 Pertti Mikkola: Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta Suomessa.
Proportion of waste wood in the total cut in Finland. 2,—
- No 149 N. A. Osara: Some trends in world forestry with respect to Finland.
Eräitä metsä- ja puutalouden kehitysilmiöitä maailmassa ja Suomessa. 1,—
- No 150 Ole Oskarsson: Suomalaiset plusmännyn ja pluskuuset.
Finnish plus trees of Scots pine and Norway spruce. 14,—
- No 151 Pertti Harstela ja Paavo Valonen: Työn tuotos, työntekijän fyysinen kuormittuminen ja tärinäaltistus pelkässä kaadossa.
Work output, physical load of the worker and exposure to vibration in felling. 5,—
- No 152 Kari Keipi: Lannoituskustannukset ja tuottojen käsittely metsän lannoituksen kannattavuuslaskelmissa Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa.
The concept of forest fertilization returns in Norway, Sweden and Finland. 4,—

- No 153 Hannu Vehviläinen: Palkkaus ja työolot metsäkonetöissä syksyllä 1971.
The working conditions and earnings of forest-machine operators in autumn 1971 in Finland. 9,—
- No 154 Paavo Tiihonen: Kiintokuutiometrin käyttöön perustuvat männyn, kuusen ja koivun kuitupuutaulukot.
Massentafeln mit dem Festmeter als Masseinheit für Kiefern-, Fichten- und Birkenfaserholz. 7,—
- No 155 Paavo Tiihonen: Kiintokuutiometrin käyttöön perustuvat männyn ja kuusen tukkipuutaulukot.
Massentafeln mit dem Festmeter als Masseinheit für Kiefern- und Fichtenblochholz. 2,50
- No 156 Eljas Pohtila: Tulokset Perä-Pohjolan valtionmailla vuosina 1930—45 tehdyistä kuusiviljelmistä.
Results of spruce cultivation from 1930—45 on State-owned in Perä-Pohjola.
- No 157 Eino Mälkönen: Hakkuutähteiden talteenoton vaikutus männikön ravinnevaroihin.
Effect of harvesting logging residues on the nutrient status of Scotch pine stands. 1,50
- No 158 Kaarlo Kinnunen ja Erkki Lähde: Kylvöajankohdan vaikutus kennotaimien kehitykseen ensimmäisen kasvukauden aikana.
The effect of sowing time on development during the first growing season of seedlings grown in paper containers. 2,50
- No 159 Pentti Hakkila: Oksaraaka-aineen korjuumahdollisuudet Suomessa.
Possibilities of harvesting branch raw material in Finland. 2,—
- No 160 Etholén Kullervo: Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä.
The succes of artificial regeneration of Scots pine in Northern Finland and origin of seed.
Состояние культур сосны в Северной Финляндии и происхождение семян. 3,—
- No 161 Olavi Huuri: Eräiden kloorattujen hiilivetyjen vaikutuksesta männyn taimien alkukehitykseen.
The effect of some chlorinated hydrocarbons on the initial development of planted pine seedlings. 2,50
- No 162 Veijo Heiskanen, Antero Kuronen ja Paavo Tiihonen: Rinnankorkeusläpimitaan ja tukkilukuun perustuvat sahapuiden kuutioimistaulukot.
Volume tables for saw timber stems based on the breast height diameter and the number of log per stem. 1,50
- No 163 Ilkka Kohmo: Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen pohjoispuoliskossa vuosina 1969—70. 1,50
- No 164 Jouko Laasasenaho ja Yrjö Sevola: Havutukkien latvamuotolukujen vaihtelu.
The variation in top form quotients of the coniferous logs. 2,—
- No 165 Metsätilastollinen vuosikirja 1971.
Yearbook of forest statistics 1971.
- No 166 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1970—72.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1970—72. 5,—