

TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUDESTA  
KANGASMAILLA  
PROFITABILITY OF REPEATED FERTILIZATION  
ON MINERAL SOILS

Jouko Hämäläinen, Olavi Laakkonen ja Mikko Kukkola

METSÄTUTKIMUSLAITOS  
Helsingin  
Jouko Hämäläinen  
P. Laakkonen

12.5.1989

## SISÄLLYS

1. Johdanto
2. Tutkimustehtävä ja -menetelmä
  - 2.1. Tutkimustehtävä
  - 2.2. Menetelmä
  - 2.3. Menetelmään liittyvät oletukset
3. Kasvunlisäys
  - 3.1. Koeaineisto
  - 3.2. Lannoitukset ja harvennukset
  - 3.3. Metsikkötunnusten ja kasvunlisäysten laskenta
4. Kantohinnat ja lannoituskustannukset
  - 4.1. Kantohinnat
  - 4.2. Lannoituskustannukset
    - 4.2.1. Lannoitekustannukset
    - 4.2.2. Muut lannoituskustannukset
5. Laskelmien tuotot
6. Toistuvan lannoituksen kannattavuus
  - 6.1. Laskentakaava
  - 6.2. Rahoitusvaihtoehdot
  - 6.3. Kannattavuus
    - 6.3.1. Omarahoitus
    - 6.3.2. Metsänparannusavustus
    - 6.3.3. Metsänparannuslaina
7. Yhteenveto



## 1. JOHDANTO

Kertalannoituksesta saatuja tuloksia ei sellaisinaan voida käyttää arvioitaessa toistuvan lannoituksen edullisuutta. Eri lannoituskertojen välillä on aivan ilmeisesti keskinäistä biologista ja tuotosopillista riippuvuutta, mikä heijastuu myös lannoitelajien ja -määrien valintaan ja siten lannoituskustannuksiin. Näin ollen myös edullisuuslaskelmien kannalta relevantti aikaperiodi voi saada toistuvan lannoituksen ja kertalannoituksen tapauksissa eri ratkaisun.

Tutkimuksen koeaineiston pohjalta on puuntuotoksen tutkimussuunnalla aiemmin julkaistu toistuvan lannoituksen aiheuttamaa kasvunlisäystä käsittelevä tutkimus (Kukkola ja Saramäki 1983). Tuo tutkimus nojautuu Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1955-65 perustamiin koealoihin, niin kuin tässä käsillä oleva tutkimuskin. Kysymys on siis viimekädessä Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston, puuntuotoksen tutkimussuunnan ja liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnan yhteistutkimuksesta. Tässä esitetään sen liiketaloudellisia tuloksia.

Tämän osatutkimuksen tutkimussuunnittelusta vastaavat Jouko Hämäläinen ja Olavi Laakkonen. Tutkimuksen pohjana olevat tuotostiedot perustuvat pääosin edellämainittuun Mikko Kukkolan ja Jussi Saramäen tutkimukseen (1983). Mikko Kukkola on käsillä olevaa tutkimusta varten laatinut ekonomisen tarkastelun edellyttämät puuston rakennetta ja järeyttä kuvaavat mallit sekä osallistunut tämän tutkimuksen vaatimiin tuotostietojen lisälaskelmiin. Alustavan käsikirjoituksen on laatinut Olavi Laakkonen. Jouko Hämäläinen on muokannut käsikirjoituksen lopulliseen muotoonsa. Tietojenkäsittelyn suunnittelusta ja toteutuksesta on vastannut ensisijaisesti Heikki Männikkö.

## 2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA -MENETELMÄ

### 2.1. Tutkimustehtävä

Tutkimuksen tehtävänä on selvittää toistuvan lannoituksen liiketaloudellista edullisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Aiempien kertalannoituskokeisiin perustuvien tutkimusten perusteella voidaan olettaa toistuvan lannoituksen edullisuuden riippuvan:

- 1) lannoitettavan metsän ominaisuuksista, kuten kasvupaikkatyypistä, puulajista, puuston iästä ja määrästä,
- 2) lannoitukseen liittyvistä tekijöistä, kuten lannoitelajista, lannoitemäärästä, lannoitusten aikavälistä ja lannoituskertojen lukumäärästä,
- 3) metsä- ja muun talouden tekijöiden tilasta, kuten raakapuun hintatasosta ja -suhteista, lannoitteiden ja työn hintatason ja tuottavuuden kehityksestä.

Pääasiassa edellä mainitut tekijät vaikuttavat siihen, millaisten luokkien puitteissa toistuvien lannoitusten edullisuutta lasketaan ja millaisia arvoja laskentamallien eri tekijät saavat kulloisissakin laskentatilanteissa.

### 2.2. Menetelmä

Toistuvan lannoituksen liiketaloudellista edullisuutta tutkitaan tässä lannoituskohteen erilliskannattavuutena. Kysymyksessä on näin ollen yleensä yhden metsikön erilliskannat-

tavuus. Tällöin selvitetään, millaisia taloudellisia erillisvaikutuksia toistuvilla lannoituksilla on tuon metsätalouden peruskäsittely-yksikön tasolla. Näin menetellään, vaikka metsätalouden harjoittajan olisikin periaatteessa arvioitava kaikkia toimenpiteitään koko metsälön ja viime kädessä koko yrityksen puitteissa. Kuitenkin metsiköittäiset edullisuuslaskelmat antavat mm. lukuisille metsätalouden päätöksentekijöille ja heidän avustajilleen hyödyllistä tietoa siitä, miten lannoitusmenot ja niillä aikaansaavat uudet rahalliset arvot suhtautuvat toisiinsa; pystytäänkö siis ja missä määrin tuottamaan lannoittamalla uusia (netto)arvoja.

Edullisuuden kriteerinä käytetään tässä tutkimuksessa lannoitusinvestointisarjan tuottamaa reaalista sisäistä korkoa. Sisäisen korkokannan menetelmällä saatetaan erilaisten metsiköiden toistuvien lannoitusten edullisuudet tietyillä edellytyksillä vertailukelpoisiksi toisaalta keskenään ja toisaalta metsänomistajalle tarjolla olevien muiden investointikohteiden kanssa. Tällaisia vaihtoehtoisia investointikohteita voivat olla esim. pankkitalletukset, obligaatit, debentuurit, osakkeet, optiot yms. Menetelmän käyttöön liittyy oletuksia, jotka on otettava huomioon tulosten tulkinnessa (ks. luku 2.3.).

Kunkin koealaluokan (ikäluokka, puulaji, lannoituskertojen lukumäärä) sisäiset korot laskettiin ko. luokkaan kuuluvien koealojen sisäisten korkojen keskiarvoina. Kunkin koealan sisäinen korko laskettiin koealan tulosarjan eli mahdollisten harvennustulojen ja tutkimusjakson loppuun mennessä lannoituksella aikaansaadun hakkuuarvon lisäyksen ja menoarjan eli lannoitusmenojen perusteella. Laskentamenettely esitetään kaavan muodossa luvussa 6.1.

### 2.3. Menetelmiin liittyvät oletukset

Sisäisen korkokannan käyttö toistuvan lannoituksen edullisuuslaskennassa ei ole ongelmallista, vaan saatujen tulosten tulkinnessa on otettava huomioon joukko oletuksia (ks. tarkemmin Hämäläinen 1973, s. 51-54, ja siinä viitattu kirjallisuus). Tällaisia ovat:

- 1) investointikohteille on pystyttävä kohdentamaan niiden erilliset tulo- ja menovirrat,
- 2) erisuuruisten alkuinvestointien erotusinvestoinnit ja investointikohteiden vuosittaiset alijäämät on pystyttävä kunakin vuotena rahoittamaan ja vastaavat ylijäämät sijoittamaan saadun sisäisen koron osoittamaan korkokantaan. Metsänomistajan on siis voitava periaatteessa rajoituksessa saada ja sijoittaa varoja em. laskentakorkokantaan.

Näillä oletuksilla pyritään keskenään vertailtavat investointiprojektit itsenäistämään eli eliminoimaan seuraavien tekijöiden vaikutukset:

- 1) vertailtavien lannoitusvaihtoehtojen erisuuret alkusijoitukset,
- 2) vaihtoehtojen erisuuret vuotuiset maksuvirrat,
- 3) vaihtoehtojen eripituiset pitoajat (tutkimusjaksot).

### 3. KASVUNLISÄYS

#### 3.1. Koeala-aineisto

Koeaineisto, joka koostuu Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1955-1965 perustamista kangasmetsien lannoituskokeista, on sama kuin Kukkolan ja Saramäen (1983) toistuvalla lannoituksella saatavaa kasvunlisäystä koskevassa tutkimuksessa. Aineiston kuvaus ja kasvunlisäyksen laskenta tilavuuskasvun osalta perustuvat heidän tutkimukseensa. Hakkuuarvojen laskennassa tarvittavat metsikkötunnukset on saatu Mikko Kukkolan ja Jussi Saramäen em. tutkimusta varten laatimien mallien avulla. Toistuvien lannoitusten kannattavuutta tutkittaessa Pohjois-Suomen osa-aineisto jätettiin pois sen pienuuden ja yksipuolisuuden takia. Sen lisäksi Etelä-Suomen aineistosta poistettiin yksi mänty- ja yksi kuusikoe viimeisten lannoituksen jälkeisten mittaustulosten puuttumisen takia. Aineistossa ei ollut yhtään ikäluokkaan 60-79 v. kuuluvaa kuusikoetta. Sen lisäksi Etelä-Suomen kuusiaineistosta poistettiin ikäluokka 40-59 vuotta. Siihen kuuluvat 3 koetta sijaitsivat yksinomaan rehevällä kasvualustalla, OMT ja OMaT. Todettakoon kuitenkin, että reaalin sisäinen korko tuli jokaisella noista koealoista negatiiviseksi. Muiden ikäluokkien kuusikokeilla metsätyyppi vaihteli välillä VT-OMaT. Todettakoon, että kuusella jätettiin sekä lannoitettujen että vertailukoealojen aineistosta pois kalkitut koealat, koska kalkituksen havaittiin jopa hidastavan kasvua. Kuusella aineisto koostui näin ollen kahdesta osasta: nuoresta ja hakkuukypsästä puustosta.

Kuusen aineistoa pienensi edelleen kalkittujen koealojen poisjättäminen. Näin meneteltiin siksi, että kalkituksen oli havaittu hidastavan kasvua.

(taulukko 1)

Taulukossa 1 on esitetty keskeisiä puustotunnuksia ikäluokittain kokeiden perustamishetkellä. Lannoittamattomien koealojen (0-koealat) aineistoon yhdistettiin sellaisen lannoituskäsittelyn saaneet koealat, joissa tuon käsittelyn ei todettu vaikuttaneen tilastollisesti merkitsevästi kasvuun. Jatkossa näitä koealoja yhdessä lannoittamattomien koealojen kanssa kutsutaan vertailukoealoiksi. Mainittuihin kahteen koealojen pääryhmään tuli siten seuraavanlaisen käsittelyn saaneita koealoja:

Mänty:

Vertailukoealat	0, Ca, CaP, CaK, CaPK, P, PK, K
Typpilannoitetut koealat	N, CaN, CaNP, CaNK, CaNPK, NP, NPK, NK

Kuusi:

Vertailukoealat	0, P, PK, K
Typpilannoitetut koealat	N, NP, NPK, NK

Kokeiden alkuvaiheessa käytettiin lannoitteita, joita ei enää sittemmin ollut kaupan. Ne korvattiin lannoitekustannuksen laskemista varten lähes vastaavilla nykylannoitteilla tai niiden seoksilla. Siten ammoniumsulfaatti korvattiin ekvivalentilla määrällä oulunsalpietaria, kotkafosfaatti vastaavasti superforsaatin ja raakafosfaatin seoksella ja hienofosfaatti raakafosfaatilla (ks. lähemmin luku 4.2.1.).

lt 3.2. Lannoitukset ja harvennukset Kokeiden perustamisaikaan typpilannoitteena käytettiin ammoniumsulfaattia. 1960-luvulla alettiin käyttää sen sijasta ureaa, koska silloin yleistyi käsitys urean soveltuvuudesta metsänlannoitukseen. Urealannoituksista tuolloin mm. kevätlevityksen

vuoksi saadut huonot kokemukset vaikuttivat kuitenkin siihen, että siirryttiin käyttämään oulunsalpietaria. Tutkimusaineisto edustaa siten toistuvia lannoituksia, joissa lannoittelajeina on käytetty ammoniumsulfaattia, ureaa ja oulunsalpietaria.

Tutkimusjakson alussa monilla kokeilla uusintalannoitus suoritettiin lyhyemmin aikaväleihin kuin sen loppupuolella. Tutkimusjaksolla tarkoitetaan tässä aikaa lannoituskokeen perustamishetkestä viimeisen lannoituskerran jälkeisen kahdeksannen vuoden loppuun. Valtion metsänparannusrahoituksen ehdoista aiheutuen tutkimusjakso ulotettiin nimenomaan kahdeksan vuoden päähän viimeisestä lannoituksesta. Aineistossa lannoituskertojen lukumäärä tutkimusjakson aikana vaihteli kahdesta neljään. Se oli keskimäärin mäntykoealoilla 3.0 ja kuusikoealoilla 2.8 (ks. taulukko 2). Tutkimusjakson alussa ensi- ja uusintalannoitusten typpimäärät olivat nykykäsitysten mukaan pieniä, alle 100 kg N/ha. Lisääntyneen tutkimustiedon ansiosta kerta-annokset kasvoivat myöhemmin niin, että ne olivat jakson loppupuolella 150 kg N/ha. Tutkimusjakson aikana annettu kokonaistyppimäärä oli keskimäärin noin 300 kg/ha. Aineisto edustaa voimassa olevia suosituksia selvästi lievempiä lannoituksia. Niinpä Metsähallituksen antamien ohjeiden (1988) mukaan metsänparannusvaroin toteutettavissa metsänlannoituksissa kangasmailla suositellaan levitettäväksi männiköissä joka toisella lannoituskerralla ureaa 325 kg/ha (150 kg N) tai oulunsalpietaria 550 kg/ha (150 kg N) ja joka toisella 600 kg/ha (150 kg N) NP-lannosta. Kuusikossa suositellaan käytettäväksi NP-lannosta 600 kg/ha (150 kg N) kaikilla lannoituskerroilla.

Niin kuin edellä todettiin, tämä tutkimus perustuu lannoituksen aikaansaamaan kasvunlisäyksen määrityksen osalta kokeisiin, jotka on perustettu v. 1955-65. Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa siihen, mitä esim. viime aikoina ta-

pahtunut typpilaskeuman lisääntyminen vaikuttaa lannoitus-  
tarpeeseen. Joka tapauksessa on muistettava, että tämän  
tutkimuksen perustana olleissa lannoituskokeissa lannoit-  
teiden määrät olivat tuotoksen ja kannattavuuden kannalta  
liian pieniä.

Koepuustojen harvennukset olivat vähäisiä ja ja epäsystemaattisia. Ne oli tehty vain pakottavista metsänhoidollisista syistä. Harvennushakkuut otettiin huomioon lannoitusvaikutusta määritettäessä tuonnempana esitettävällä tavalla.



Taulukko 2. Keskiarvotietoja typpi- ja fosforilannoituksista ikäluokittain (suluissa vaihteluväli)

Table 2. Mean values of nitrogen and phosphorus fertilizations in different age groups (variation in parenthesis).

MÄNTY - PINE						
	20-39	40-59	60-79	80-99	100	Kaikki All
Koealoja Number of plots	66	24	27	9	15	141
Typpilannoitusten lukumäärä Number of nitrogen fertilizations (2-3)	2.5	3.0	3.3	3.6	3.8	3.0
	(2-3)	(2-4)	(2-4)	(3-4)	(3-4)	(2-4)
Typpimäärä tutkimus- jaksona, kg N/ha Amount of nitro- gen during the investigated period, kg N/ha	227	288	314	345	377	278
	(133-324)	(174-416)	(164-444)	(266-462)	(222-416)	(133-462)
Typpilannoitus- väli, vuotta Time between nitrogen fertilizations, years	6.0	4.9	3.3	3.9	3.5	4.9
	(2-10)	(3-9)	(2-6)	(3-4)	(2-4)	(2-10)

Tutkimusjakso, vuotta	16.1	17.0	15.8	17.9	18.1	16.5
The investigated period, years	(13-20)	(14-20)	(10-20)	(16-20)	(13-20)	(10-20)

## KUUSI - SPUCE

	20-39	80-99	100	Kaikki All
Koealoja Number of plots	24	6	4	34
Typpilannoitus- tusten lukumäärä Number of nitrogen fertilizations	2.5 (2-3)	3.7 (3-4)	3.5 (3-4)	2.8 (2-4)
Typpimäärä tutkimus- jaksona, kg N/ha Amount of nitrogen during the investigated period, kg N/ha	288 (174-284)	399 (266-554)	410 (266-554)	279 (174-55)
Typpilannoitus- väli, vuotta Time between nitrogen fertilizations,	5.8	3.3	3.8	5.1

years	(3.10)	(2.4)	(3-4)	(2-10)
Fosforilannoitus-				
ten	0.8	0.7	0.8	0.8
lukumäärä				
Number of				
phosphorus				
fertilizations	(0-2)	(0-2)	(0-2)	(0-2)

Fosforimäärä	30	27	26	29
tutkimus-	(0-110)	(0-73)	(0-73)	(0-110)
jaksona,				
kg P/ha				
Amount of phosphorus				
during the investigated				
period, kg/ha				
Tutkimusjakso,				
vuotta				
The investigated				
period, years	16.1	17.0	17.5	16.4
	(13-18)	(13-19)	(16-19)	(13-19)

### 3.3. Metsikkötunnusten ja kasvunlisäysten laskenta

Metsikkötunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen peruslaskentaohjelmalla KPL (Heinonen 1981). Tukkipuun määrää laskettaessa KPL:ssa oli kutakin tukin pituutta vastaava minimilatvaläpimitta seuraava:

Tukin pituus, m	Tukin kuorellinen latvaläpimitta, cm	
	mänty	kuusi
3,1	20,5	
3,4	18,5	
3,7	18,5	19,5
4,0	16,5	17,5
4,3	14,5	16,5
4,6-6,1	14,5	15,5

Suurin sallittu tukin pituus oli 6,1 m. Kuitupölkyn kuorellinen minimilatvaläpimitta oli 5,5 cm ja pölkyn pituus 2 m. Puustotunnukset laskettiin sekä mittausajankohdille että jokaiselle niiden väliselle vuodelle. Peräkkäisten mittauksien tuloksista muodostettiin vuosittaiset puusto- ja kasvutiedot sisältävä aikasarja (ks. mittauksista Kukkola ja Saramäki 1983).

Lannoituksella aikaansaatu kasvunlisäys määritettiin kuten yleensäkin lannoitetun ja lannoittamattoman ja siihen rinnastetun (siis vertailukoealojen) puuston kasvun erotukseksi. Kasvunlisäys laskettiin vuosittain jokaiselle koealalle.

Lannoituksen aikaansaaman vuotuisen kasvunlisäyksen laskenta on selostettu Kukkolan ja Saramäen (1983) julkaisussa. Lyhyesti sanoen tilavuuskasvumallin, valtapituuden kasvumallin sekä kunkin kokeen vertailukoealojen avulla laskettiin, kuinka kukin lannoitettu koeala olisi kehittynyt vuodesta

toiseen ilman lannoituksia (estimoitu nollakehitys). Kasvunlisäys saatiin sen jälkeen lannoitetun koealan vuotuisen kasvun ja tuon estimoidun nollakehityksen mukaisen kasvun erotuksena.

Estimoidun nollakehityksen puutavaralajiosuuksien ja puutavarain hinnoitteluun vaikuttavien järeystunnusten laskennassa käytettiin liitteen 1 mukaisia malleja liitteessä 2 esitetyllä tavalla.

Tukkipuun osuutta ja tukkirunkojen käyttöosan keskitilavuutta kuvaavat mallit ovat perusteiltaan samat kuin Vuokilalla ja Väliaholla (1980). Tosin viimeksi mainittua mallia Vuokila ja Väliaho käyttivät kuvaamaan tukkirunkojen keskitilavuutta. Kaikkien mallien kertoimet on kuitenkin laskettu Kukkolan ja Saramäen (1983) tutkimuksen aineiston avulla. Kuitupuun osuus saatiin vähentämällä puuston kokonaistilavuudesta tukkipuun ja hukkapuun määrä.

Niin kuin edellä todettiin, tämän tutkimuksen laskelmia varten koealojen tarkastelu ulotettiin Kukkolan ja Saramäen menettelystä poiketen nimenomaan kahdeksan vuoden päähän viimeisestä lannoituksesta. Niillä koealoilla, joilla puuston kehitystä ei voitu määrittää suoritettujen koealaimittauksen perusteella ajallisesti noin kauas, puuttuvien vuosien havainnot arvioitiin Kukkolan ja Saramäen (1983) esittämällä kasvu- ja kasvunlisäysmalleilla sekä liitteessä 1 esitetyillä malleilla. Mallien käyttö edellytti, että viimeisen lannoituksen ja sitä seuraavan mittauksen välinen aika oli vähintään kolme vuotta eli lannoittamattoman ja lannoitetun puuston kehitystä ennustettiin mallien avulla enintään viiden vuoden ajalle. Muussa tapauksessa viimeistä lannoitusta ja sen jälkeistä aikaa ei otettu koeala tutkimusjaksoon kuuluvaksi. Sitä edeltänyt lannoitussarja sen sijaan hyväksyttiin aineistoon.

#### 4. KANTOHINNAT JA LANNOITUSKUSTANNUKSET

##### 4.1. Kantohinnat

Tutkimuksessa käytetyt kantohinnat laskettiin Etelä-Suomen yksityismetsien trendihintoina eri puutavaralajeille hakkuuvuosilta 1978/79-1986/87 (Metsätilastotiedote 1988:3).

Nimelliset kantohinnat muutettiin reaalisiksi tukkuhintaindeksin kokonaisindeksillä hakkuuvuoden 1986/87 rahan arvoon laskemalla hakkuuvuosittaiset indeksiluvut kuukausittaisten indeksilukujen aritmeettisena keskiarvona. Reaalisten hintojen pohjalta lasketut havutukin sekä mänty- ja kuusikuitupuun trendiyhtälöt olivat:

$$\begin{array}{ll}
 \text{mäntytukkipuu} & Y_1 = 136.53 + 0.77733 X_1 \\
 \text{kuusitukkipuu} & Y_2 = 421.60 - 3.14970 X_2 \\
 \text{mäntykuitupuu} & Y_3 = 63.91 + 0.29050 X_3 \\
 \text{kuusikuitupuu} & Y_4 = 33.96 + 1.52050 X_4
 \end{array}$$

missä  $X_i$  tarkoittaa vuotta (esim. hakkuuvuodelle 1980/81  $X=80$ ) ja  $Y_i$ ,  $i=1...4$ , vastaavaa puutavaralajin reaalista kantohintaa  $\text{mk/m}^3$ .

Ajan kuluessa mäntykuitupuun hinta on lähestynyt kuusikuitupuun hintaa (Metsätilastollinen... 1987). Hakkuuvuoden 1982/83 hintasuositussopimuksessa sovellettiin jopa yhtenäishintaa molemmille kuitupuille, mistä sittemmin on kuitenkin luovuttu. Tutkimuksessa käytettiin edellä esitetyistä trendiyhtälöistä saatuja hakkuuvuoden 1986/87 trendihintoja, jotka olivat seuraavat (suluissa on esimerkinomaisesti ko. hakkuuvuoden hintasuositusten mukaisten Lounais-Suomen nimellisten kantohintojen vaihteluväli):

$$\begin{array}{ll}
 \text{mäntytukkipuu} & 203 \text{ mk/m}^3 \quad (187-197 \text{ mk/m}^3) \\
 \text{kuusitukkipuu} & 151 \text{ mk/m}^3 \quad (139-156 \text{ mk/m}^3) \\
 \text{mäntykuitupuu} & 89 \text{ mk/m}^3 \quad (81-85 \text{ mk/m}^3)
 \end{array}$$

kuusikuitupuu

97 mk/m<sup>3</sup> ( 93- 97 mk/m<sup>3</sup> )

Edellä laskettujen reaalisten kantohintojen oletettiin pysyvän vakioina (samoin kuin lannoituskustannustenkin) koko toistuvien lannoitusten tarkasteluajanjakson ajan, ts. ensimmäisestä lannoituksesta viimeisen lannoituksen jälkeiseen kahdeksanteen vuoteen saakka. Ottaen huomioon mänty- ja kuusitukin hintasuhteiden kehityksen viime aikoina on mahdollista, että kuusitukin hinta tulee laskelmien tuloksia tulevaisuuteen sovellettaessa jossakin määrin yliarvioiduksi.

Hintasuositussopimuksen mukaan perusleimikon kantohintoihin tehdään kulloinkin kysymykseen tulevat leimikon koon ja tiheyden sekä metsäkuljetusmatkan ja puuston järeyden mukaiset yksikköhinnan korjaukset. Leimikon koko ja metsäkuljetusmatka oletettiin tässä perusleimikon mukaisiksi. Järeyden ja tiheyden mukaiset yksikköhinnan korjaukset otettiin tukin yksikköhinnassa huomioon hakkuuvuoden 1986/87 hintasuositussopimuksen mukaisesti (Puun hintasuositussopimus... 1986). Tällöin järeyden suhteen korjatut mänty- ja kuusitukin kantohinnat saatiin lisäämällä korjaamattomaan kantohintaan runkolajin koko käyttöosan tilavuuteen perustuva järeytekijä Y (mk/m<sup>3</sup>), mikä näkyy seuraavasta asetelmasta:

Runkolajin koko käyttöosan tilavuus (m <sup>3</sup> /runko)	Yksikköhinnan korjaus Y (mk/m <sup>3</sup> )	
	mänty	kuusi
- 0.3	-4	-5
0.3 - 0.4	-3	-3
0.4 - 0.5	0	0
0.5 - 0.6	4	3
0.6 -	4	3



Myös kuitupuun kantohintaa korjattiin hintasuositussopimusten mukaisesti eli tämä korjaus perustui kuiturunkojen keskimääräiseen rinnankorkeusläpimittaan. Keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta laskettiin keskimääräisen kuiturungon tilavuuden ja rungon tilavuutta läpimitan funktiona kuvaavien yhtälöiden perusteella (Laasasenaho 1976). Kun tukki-  
puulle korjaustekijä otetaan huomioon runkokohtaisesti, niin kuitupuulla se koskee koko leimikkoa. Korjaus tehdään samansuuruisena männylle ja kuuselle seuraavan asetelman mukaisesti:

Keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta, cm	Yksikköhinnan korjaus Y (mk/m <sup>3</sup> )
- 9.9	-18
10.0 - 10.9	-11
11.0 - 11.9	- 7
12.0 - 13.9	0
14.0 -	7

#### 4.2. Lannoituskustannukset

##### 4.2.1. Lannoitekustannukset

Lannoituskustannuksiin luettiin mukaan lannoite-, suunnitelu- ja työnjohto-, kuljetus- ja levityskustannukset. Lannoituskustannuksia laskettaessa käytettiin lannoitteiden hakkuuvuoden 1987/88 joulukuun hintoja. Kokeiden alkuvaiheessa käytetyt typpi- ja fosforilannoitteet, jotka ovat sittemmin poistuneet myynnistä, hinnoitettiin nykyisten vastaavien lannoitteiden mukaisesti. Tällöin typen ja fosforin määrät pidettiin samoina kuin todellisissa lannoituksissa. Lannoituskokeiden perustamisen yhteydessä levitettyjen hieno- ja kotkafosfaatin valmistus lopetettiin 1960- ja 1970- luvuilla. Hienofosfaatti on itse asiassa raakafos-

faattia, mutta vain hienommin jauhettua, joten sille käytettiin raakafosfaatin hintaa. Kotkafosfaatti on seos hieno- ja superfosfaatista siten, että ko. lannoitteiden sisältämät fosforimäärät ovat yhtä suuret. Näin ollen kotkafosfaatti korvattiin hinnoituksessa raakafosfaatin (vastaa hienofosfaattia) ja superfosfaatin seoksella.

Typpilannoitteita hinnoitettaessa päädyttiin ammoniumsulfaatti korvaamaan oulunsalpietarilla, koska nykyisin ammoniumsulfaattia käytetään vain puutarhalannoitteena. Oulunsalpietarin ja ammoniumsulfaatin aikaansaama kasvunlisäys on likimain yhtä suuri edellyttäen, että levitetyt lannoitteet sisältävät saman määrän puhdasta typpeä (Mälkönen 1979).

Tutkimuksen hinnoituksissa käytettävien lannoitteiden hakuvuoden 1987/88 joulukuun hinnat olivat ilman valmisteveroa seuraavat:

urea	0.92 mk/kg
oulunsalpietari	0.85 mk/kg
kaksoissuperfosfaatti	1.48 mk/kg
raakafosfaatti	0.68 mk/kg

#### 4.2.2. Muut lannoituskustannukset

Lannoitusmenoihin kuuluviksi kauko- ja lähikuljetuskustannuksiksi oletettiin 15 p/kg (vrt. Hämäläinen ja Laakkonen 1983). Sekä mänty- että kuusikoealoille lannoitteet levitettiin käsin määrän vaihdellessa 199 kg:sta 545 kg:aan/ha. Koska lannoitemäärä oli keskimäärin alle 500 kg/ha, päädyttiin kiinteään levityskustannukseen, ts. kunkin lannoitteen levittämiseen katsottiin kuluvan aina puoli miestyöpäivää/ha (Metsän lannoitus- ja kasvinsuojeluopas 1981). Vuonna 1986/87 metsä- ja uittoalan työehtosopimuksen (Metsä- ja uittoalan...1986) mukaan metsänhoito- ja metsänparannus-

töissä Etelä-Suomessa päiväpalkka oli 221 mk, johon sisältyi ns. likaisen työn lisä (5.74 mk/ha). Laskemalla päiväpalkkaan 25 %:n urakkalisä saatiin urakkapalkaksi 277 mk. Miestyöpäivän hinnaksi tuli 387 mk lisäämällä urakkapalkkaan 40 %:n mukaiset sosiaalikustannukset. Lannoituksen suunnittelu- ja työnohtokustannuksiksi katsottiin 70 mk/ha. Näillä perusteilla tutkimusjakson aikana kaikkien lannoituskertojen yhteenlasketut kokonaiskustannukset/ha olivat typpilannoitetuilla mäntykoealoilla keskimäärin 1700 mk/ha, typpeä tai sekä typpeä että fosforia saaneilla kuusi- koealoilla 2100 mk/ha. Nämä luvut tarkoittavat kokonaan omalla rahoituksella suoritettavien lannoitusten aiheuttamia keskimääräisiä kustannuksia tutkimusjakson aikana.

## 5. LASKELMIEN TUOTOT

Toistuvilla lannoituksilla aikaansaadut markkamääräiset hakkuuarvon lisäykset laskettiin lannoitettujen koealojen jokaiselle tutkimusjaksoon kuuluvalla vuodelle. Kunkin koalan puuston lannoituksesta aiheutuva hakkuuarvon lisäys saatiin tällöin lannoitetun koalan puuston hakkuuarvon ja vastaavan kokeen vertailukoealojen hakkuuarvojen keskiarvon erotuksena. Näin muodostui jokaiselle lannoitetulle koealalle vuotuisten hakkuuarvon lisäysten eli arvokasvujen kumulatiivinen sarja; lopulta koko tutkimusjaksolle.

Perustana kunkin vuoden hakkuuarvon määrittämiselle olivat luvussa 3.3. esitetyt kasvu- ja tuotosopilliset kasvun- ja puutavaralajiosuuksien laskentamenettelyt ja luvussa 4.1. esitetyt kantohinnat. Puuston järeytyminen otettiin hinnoituksessa huomioon. Pääasiallinen lannoituksen aikaansaama tuotto on edullisuuslaskelmassa lannoituksen aikaansaama puuston hakkuuarvon lisäys tutkimusjakson aikana. Lisäksi otettiin huomioon luvussa 3.2. mainittujen tutkimusjakson aikana suoritettujen vähäisten harvennusten antamat tulot.

Lannoituksen aiheuttama tilavuuden lisäys ajatellaan siis käytetyssä menetelmässä kokonaisuudessaan reaalisoitavaksi valtaosin juuri tutkimusjakson lopussa tapahtuvissa kasvatustai päätehakkuissa. Etenkin sellaisessa tilanteessa, missä lannoitukset aloitetaan verraten nuorella iällä ja jatkuvat varttuneeseen ikään saakka, ei kaikkea esim. tämän tutkimuksen 15-20 vuoden tutkimusjakson aikana lannoituksen avulla saatua puuston lisäystä yleensä kuitenkaan liene tarkoituksenmukaista hakata tuon jakson lopussa. Jatkuvasti, siis tutkimuksen edellyttämän jakson jälkeenkin lannoitettavissa metsiköissä kasvatustuuston tilavuus pidetään käytännössä jonkin verran suurempana kuin lannoittamattomissa metsiköissä. On kuitenkin huomattava, että todellisuudessa suuri osa kasvunlisäystä vastaavasta puumää-

rästä kuitenkin hakattaisiin jo tarkasteltavana olevan 15-20 vuoden tutkimusjakso aikana, päinvastoin kuin tässä käytettävänä olleessa koeala-aineistossa oli yleensä menetelty. Jos kohta siis hakkuuarvon lisäysten realisointioletus etenkin nuorehkoissa ikäluokissa jonkin verran liioittelee kannattavuutta, niin päinvastaiseen suuntaan vaikuttaa se, ettei tutkimusaineistossa tarkateluajaksi aikana juurikaan hakata lannoituksella aikaansaatu puuta.

Lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen vähäisten harvennuspoistumien keskimääräinen kantoraha-arvo oli likimain yhtäsuuri. Lannoitetuilla mäntykoealoilla tuo kantoraha-arvo oli koko tutkimusjaksona keskimäärin 280 mk/ha suurempi kuin vastaavilla vertailukoealoilla. Sen sijaan kuusella lannoitettujen koealojen harvennuspoistuman kantoraha-arvo oli keskimäärin 90 mk/ha pienempi kuin vertailukoealojen vastaava arvo. Koko tutkimusjakson aikana toistuvilla lannoituksilla aikaansaadut hakkuuarvojen lisäykset olivat mäntykoealoilla keskimäärin 4800 mk/ha, josta harvennuksen osuus oli n. 1530 mk/ha ja kuusikoealoilla n. 4700 mk/ha, josta harvennusten osuus oli vastaavasti n. 830 mk/ha. Hakkuuarvonlisäykset kasvavat yleensä siirryttäessä nuorimmasta ikäluokasta vanhempiin aina ikäluokkaan 80-99 asti. Tämän luokan jälkeen nuo hakkuuarvon lisäykset alkavat laskea. Tämä selittyy mm. sillä, että nuoremmissa ikäluokassa yleensä koko tilavuuskasvu tapahtuu kuitupuumittaisissa rungoissa kun taas sitä vanhemmissa ikäluokissa tapahtuu tilavuuskasvun lisäksi sekä siirtymää kuitupuusta sitä arvokkaampaan tukkipuuhun että tukkipuuston järeytymistä. Tukkirunkojen järeytyessä yksikköhinta kohoaa niiden koko tukin vaatimukset täyttävän tilavuuden osalta. Kaikkein vanhimmissa ikäluokissa siirtymä on enää vähäistä. Arvokasvu aiheutuu tällöin miltei yksinomaan tilavuuskasvusta ja järeytymisestä.

Kuusen lannoituskoealojen määrä on verraten pieni. Sen

vuoksi tutkimuksessa lannoituksen avulla saatuja hakkuuarvon  
lisäyksiä on pidettävä kuusella epävarmempina kuin männyllä.

## 6. TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS

## 6.1. Laskentakaava

Kannattavuuden kriteerinä käytetty sisäinen korkokanta ( $i$ ) määritettiin kunkin lannoitetun koealan lannoitusinvestoinnille iteroimalla seuraavasti kaavasta:

$$(1+i)^{-n} E_f + \sum_{t=1}^{n-1} H_{t_f} (1+i)^{-t} - \left[ (1+i)^{-n} E_o + \sum_{t=1}^{n-1} H_{t_o} (1+i)^{-t} \right] \\ = \sum_{t=1}^{n-8} (1+i)^{-t} C_t, \text{ missä}$$

- $i$  = haettava sisäinen korkokanta  
real internal rate of interest to be solved
- $n$  = tutkimusjakson pituus (lannoitusinvestoinnin pitoaika), v  
length of the investigated period, yr;
- $E_f$  = lannoitetun puuston pystykaupan mukainen hakkuuarvo tutkimusjakson lopussa; mk/ha;  
stumpage value/ha of repeatedly fertilized stand at the end of the investigated period, FIM/ha;
- $H_{t_f}$  = Lannoitetun puuston pystykaupan mukainen harvennushakkuutulo tutkimusjakson  $t$ :ntenä vuotena, mk/ha;  
stumpage value of the trees harvested from fertilized stand during the year  $t$ , FIM/ha;
- $E_o$  = lannoittamattoman puuston pystykaupan mukainen hakkuuarvo tutkimusjakson lopussa, mk/ha;  
stumpage value of unfertilized stands at the end of investigated period, FIM/ha;
- $H_{t_o}$  = lannoittamattoman pystykaupan mukainen harvennushakkuutulo tutkimusjakson  $t$ :ntenä vuotena, mk/ha;  
stumpage value of the trees harvested from unfertilized stands during the year  $t$ , FJM/ha;
- $C_t$  = lannoitusmeno tutkimusjakson  $t$ :ntenä vuotena, mk/ha.  
Tässä  $t \leq n-8$ . Tutkimuksessa näet lähdetään

siitä, että viimeisen lannoituksen jälkeen jätetään 8 vuoden vaikutusaika, jona siis ei lannoiteta; total cost due to fertilization in the year  $t$ , FIM/ha. In this study  $t \leq n-8$ , so the time between the last fertilization and the end of the investigated period is 8 years.

Silloin, kun lannoitusmeno rahoitetaan metsänparannusavustuksella,  $C$  pienenee avustuksen verran. Käytettäessä metsänparannuslainaa  $C$  jakaantuu tuleville vuosille ikäänkuin vähittäismaksulla suoritettavaksi. Vuotuiserät muodostuvat tällöin reaalisiksi muunnetuista lainan lyhennys- ja korkoeristä. Lainojen pitkästä maksuajasta johtuen tutkimusjakso ulottuu viimeisestä lannoituskerrasta kahdeksan vuotta eteenpäin.

## 6.2. Rahoitusvaihtoehdot

Yksityismetsänomistajalla on mahdollisuus saada valtiolta metsänparannuslainaa ja/tai -avustusta metsänlannoitukseen. Metsänparannusrahoituksen saantiin vaikuttavat tilan koko ja maantieteellinen sijainti sekä metsänomistajan varallisuus. Tutkimuksessa metsänparannusrahoitus oletetaan myönnettävän aina täysimääräisenä. Tämän tutkimuksen koealat sijaisevat pääasiassa metsänparannuslain mukaisissa rahoitusvyöhykkeissä 1, 2 ja 3. Tällä alueella metsänparannusrahoituksen ehdot täyttävä metsänomistaja voi joko saada lannoituskustannuksia vastaavan metsänparannuslainan tai rahoitusvyöhykkeestä riippuen 0-10 % avustuksena ja loput lainana tai luopuessaan kokonaan lainasta 30-50 % avustuksena. Jälkimmäisessä tapauksessa avustuksen suuruus riippuu paitsi sijainnista niin myös siitä lainan määrästä, josta metsänomistaja luopuu.



Rahoitettaessa lannoitusinvestointi valtion metsänparannusvaroilla ovat suunnittelu- ja työnjohtokustannukset metsänomistajalle aina maksuttomia. Ne eivät siis näissä rahoitusvaihtoehdoissa ole lainkaan mukana. Myös omarahoituksella tapahtuvissa lannoituksissa yksityismetsänomistajan on mahdollista saada maksutta lannoituksen suunnittelu ja työnjohto. Tässä kuitenkin katsottiin, että metsänomistaja itse vastaa näistä kustannuksista, koska lannoituksia ilman metsänparannusrahoitusta suorittavat pääasiassa muut kuin yksityismetsänomistajat. Kasvatyslannoitukseen myönnettävän metsänparannuslainan vuotuis korko on 5 % ja takaisinmaksuaika 8 vuotta, josta ensimmäinen on koron maksun ja lyhennyksen suhteen vapaavuosi. Kasvatyslannoitusta varten myönnetty laina on maksettava takaisin 18 % vuotuismaksuina, joista luetaan koroksi em. 5 % ja muu osa pääoman lyhennykseksi. Metsänomistaja voi ansiotoimintaan kohdistuvina ottaa lainan korot rajoituksetta verotuksessa tulon vähennyksinä huomioon.

Myös verotuksen vaikutus metsänparannuslainalla suoritettavan lannoituksen kannattavuuteen otettiin huomioon lainan korkojen ja lannoitemenojen verovähennysoikeuksien muodossa. Veroprosenttina käytettiin tällöin 45 % marginaaliprosenttia (Hämäläinen ja Laakkonen 1983, Laakkonen ym. 1983). Edullisuuslaskelmat tehtiin reaalisina. Inflaation vaikutus lainarahoitukseen otettiin tällöin huomioon siten, että rahan arvon vuotuiseksi huononemiseksi katsottiin 4 %.

Metsähallituksen antamat ohjeet (1988), jotka koskevat metsänparannuslainsäädännön mukaista lannoitusta, edellyttävät, että jatkolannoitus voidaan suorittaa kangasmetsissä aikaisintaan 6 kasvukauden kuluttua edellisen lannoituksen suorittamisesta. Tämän tutkimuksen koeala-aineisto ei kuitenkaan täytä tätä ehtoa, vaan lannoitus on tosiasiasa tapahtunut keskimäärin tiheämmin aikaväleihin. Samoin kerralla annetut lannoitemäärät ovat usein metsänparannussäännösten

edellyttämien alapuolella. Kuitenkin oletetaan, että tästä huolimatta metsänparannusrahoitus myönnettäisiin aineiston mukaisesti lannoituksiin täysimääräisenä. Edelleen laskelmissa on oletettu, että metsänomistaja käyttää kaikkien metsänparannusrahoituksen piiriin kuuluvien lannoituskertojen yhteydessä johdonmukaisesti aina samaa rahoitusvaihtoehtoa, joko avustusta tai lainaa.

Ottaen huomioon myös kasvatuslannoitusta koskevat muut metsänparannusehdot Etelä-Suomessa, tässä tutkimuksessa tarkasteltiin seuraavilla vaihtoehtoisilla tavoilla rahoitettujen toistuvien kasvatuslannoitusten edullisuutta (tarkastelut suoritettiin keskimääräisinä, koska vaihtoehtoja olisi muuten tullut kovin monta):

1. Kokonaan omarahoitus, siis myös suunnittelun ja työnjohdon osalta.
2. Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat maksuttomia ja niillä vähennetyistä lannoituskustannuksista valtio maksaa 40 % metsänparannusavustuksena. Lannoitekustannukset otetaan verotuksessa vähennyksinä huomioon.
3. Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat maksuttomia ja lopuille kustannuksille myönnetään metsänparannuslaina. Lannoitekustannukset ja lainan korkokustannukset otetaan verotuksessa huomioon.
4. Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat maksuttomia ja lopuille kustannuksille myönnetään 5 % metsänparannusavustuksena ja 95 % metsänparannuslainana. Lannoitekustannukset ja lainan korkokustannukset otetaan verotuksessa huomioon.

Metsänparannusvaroilla metsikköä voidaan lannoittaa vain

kaksi kertaa. Tarkkaan ottaen tämän tutkimuksen n. kolmen lannoituskerran "lannoitusketjut" eivät siis sopisi koko ajalliselta pituudeltaan metsänparannusvaroilla rahoitettaviksi.

Edelleen metsänparannusrahoituksen saannin edellytyksenä on, että sen turvin lannoitettua metsikköä ei saa hakata ennen kuin viimeisestä lannoituksesta on kulunut kahdeksan vuotta. Niin kuin eri yhteyksissä on käynyt ilmi, tästä ehdosta ei tutkimuksen laskelmissa ole luovuttu, vaan tarkastelu ulottuu aina kahdeksan vuoden päähän viimeisestä lannoituksesta. Aiempien tutkimusten mukaan (Keipi ja Laakkonen 1980) toki tiedetään, että yksityisen metsänomistajan on tästä viimeksi mainitusta ehdosta johtuen joskus edullisempaa luopua metsänparannusrahoituksesta ja suorittaa lannoitus omalla rahoituksellaan pyrkiessään mahdollisimman suureen reaaliseseen sisäiseen korkoon.

### 6.3. Kannattavuus

#### 6.3.1. Omarahoitus

Rahoitettaessa lannoitusmenot kokonaisuudessaan omalla rahoituksella saatiin mäntykoealoilla keskimäärin 7.3 %:n ja kuusikoealoilla 4.6 %:n reaalin sisäinen korko koko tutkimusjaksolta. Niin kuin taulukosta 2 näkyy, jakson kokonaispituus vaihtelee kokeittain. Viimeisen lannoituksen jälkeen lannoitusreaktio on joka tapauksessa kussakin kokeessa määritetty kahdeksan vuoden päähän.

Kuvassa 1 on esitetty reaalin sisäinen korko ikäluokittain. Männyllä kannattavuus on ollut nuorissa ja keski-ikäisissä kasvatusmetsiköissäkin huomattavan korkea. Kuusikokeista puuttuvat juuri ne ikäluokat, joissa männyllä on saavutettu paras kannattavuus. Toistuvan lannoituksen kannattavuus on siis ainakin männyllä ollut paras varttuneissa

kasvatusmetsiköissä. Se heikkenee jossakin määrin siirryttäessä toisaalta ensilannoitusten aloittamisajankohtana jo likimain uudistuskypsyysien saavuttaneisiin metsiin tai hyvin nuoriin kuitupuuvaltaisiin metsiin.

(kuva 1)

Eri ikäluokkia edustavissa metsiköissä on tutkimuksen mukaan männyn ja kuusen toistuvan lannoituksen kannattavuusluvussa selvä ero männyn hyväksi. Erityisesti kuusen aineisto on kuitenkin pieni, joten arvioon liittyy huomattavasti epävarmuutta.

Aiemmissä tutkimuksissa (mm. Laakkonen ym. 1983, Möller 1986, Pettersson 1987) on päätehakkuikäisen metsikön kertalannoituksissa saavutettu melkoisesti korkeammat reaaliset sisäiset korot. Tämä johtuu paitsi hieman erilaisista laskentatilanteista ja -perusteista, myös ja ensinnäkin siitä, että tämän tutkimuksen koealojen toistuvien lannoitusten kannattavutta rasittavat etenkin tutkimusjaksojen alkupuolen lannoituskertojen liian pienet typpimäärät. Laskentatilanteen puolesta toistuvat lannoitukset ja varttuneiden metsiköiden kertalannoitukset eroavat toisistaan siten, että kertalannoitusten kasvunlisäys on todellisuutta vastaavasti oletettu saatavan realisoiduksi tulona tämän tutkimuksen ajanjaksoon nähden vajaan puolen pituisen ajanjakson kulluttua. Koronkorkoperaate vaikuttaa tällöin laskenta-ajanjakson pidentyessä voimakkaasti sekä sisäisen koron suuruuteen että diskonttausmenetelmällä saatavaan nettotulojen nykyarvoon.

Nimenomaan se, että tämän tutkimuksen koealoilla pidättäytyttiin lähes kokonaan tutkimusjakson aikana harvennushakuista on alentanut tuntuvasti toistuvien lannoitusten kannattavuusprosenttia. Suoritetut harvennuksetkin olivat ol-

leet erittäin lieviä ja siten "järkeviin" harvennuksiin verrattuina epätaloudellisia. Sekä lannoitteiden kerta-annosten pienuuden että harvennuksiin liittyvän epätarkoituksenmukaisuuden vaikutuksen suuruusluokasta sisäisen koron tasoon saadaan käsitys liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla valmistumassa olevasta hyvän CT:n männikön toistuvan lannoittamisen kannattavuutta koskevasta tutkimuksesta. Tuossa tutkimuksessa on ennustettu erilaisilla ohjelmilla lannoitettujen ja eri tavoin harvennettujen puustojen kehitystä. Sen perusteella voidaan arvioida, että suoritettaessa lannoitukset suuremmilla kerta-annoksilla kuin tämän tutkimuksen koealoilla ja harvennettaessa metsikkö ajoissa, kuitenkin korjuutaloudelliset näkökohdat huomioon ottaen, lannoitusinvestoinnin reaalin sisäinen korkokanta saataisiin nousemaan tässä tutkimuksessa omarhoituksella saadusta männyllä (7.3 %) ainakin 5 %-yksikköä ja kuusella (4.6 %) ainakin 3 %-yksikköä.

Tämän tutkimuksen kuvista ja seuraavasta tekstistä ilmenevät tulokset tarkoittavat joka tapauksessa tämän tutkimuksen aineiston perusteella saatuja, siis systemaattisesti liian matalia lukuja. On ilmeistä, että poikkeaminen "oikeista" lannoitus- ja harvennusohjelmista ei kuitenkaan olennaisesti vaikuta esim. eri puulajien keskinäiseen edullisuuteen lannoituskohteissa, lannoituskertojen lukumäärän vaikutukseen lannoituksen kannattavuuteen jne. Männiköissä on saatu selvä sisäisellä korolla mitattu kannattavuuden lisäys kun lannoituskertoja on enemmän kuin kaksi eli kolme tai neljä lannoitusta (kuva 2). Sillä, onko lannoitetta annettu kolme tai neljä kertaa ei sen sijaan näytä juurikaan olevan merkitystä. Myös kuusella selvästi paras tulos saavutettiin neljä kertaa lannoitettaessa ja selvästi huonoin tulos kaksi kertaa lannoitettaessa. Johtopäätösten teko kuusen osalta ei kuitenkaan ole viisasta aineiston suppeuden vuoksi kuten edellä todettiin. Kummallakin puulajilla kannattavuus näyttää kuitenkin paranevan lannoituskertojen ja samalla

siis myös lannoitemäärän lisääntyessä. On kuitenkin syytä muistaa, että lannoitemäärät ovat olleet pieniä nykysuosi-  
tuksiin verrattuina.

kuva 2.

Myös Ruotsissa tehdyssä toistuvan lannoituksen edullisuutta koskevassa tutkimuksessa on männyn osalta päästy samantapai-  
siin tuloksiin. Ko. tutkimuksen mukaan kannattavuus parani  
typen kerta-annoksen kohotessa aina 360 kg/ha tasolle asti  
(Möller, 1986).

#### 6.3.2. Metsänparannusavustus

Etelä-Suomessa täysimääräinen avustus kasvatuslannoitukseen vaihtelee 30 % ja 50 % välillä. Tutkimuksessa laskelmissa on yksinkertaisuuden vuoksi käytetty keskimääräistä 40 % avustusta. Tämän ohella ei myönnetä enää lainaa, vaan lainasta luopuminen on avustuksen saannin edellytys. Loput 60 % kustannuksista suoritetaan tässä tapauksessa omalla rahoituksella. Avustusta myönnettäessä on lannoituskustannuksista ensin vähennetty suunnittelun ja työnjohdon osuus, jotka yksityiselle metsänomistajalle ovat osittaitakin metsänparannusrahoitusta myönnettäessä aina maksuttomia. Edelleen yhteiskunta rahoittaa hanketta lannoitekustannusten verovähennysoikeuden muodossa. Siten avustus on käytännössä yli 40 % lannoitushankkeen kokonaiskustannuksista.

Rahoitettaessa lannoitukset täyden metsänparannusavustuksen turvin on reaalin sisäinen korko tutkimusaineiston männiköissä keskimäärin 15.3 % ja kuusikoissa keskimäärin 11.7 %. Näihin kannattavuusprosentteihin voidaan todennäköisesti vielä lisätä männyllä n. 5 %-yksiköä ja kuusella n. 3 %-yksiköä luvussa 6.3.1. esitetyistä, tämän tutkimuksen

kokeisiin liittyvistä syistä. Metsänparannusavustus paransi siis kannattavuutta männiköiden osalta 8.0 prosenttiyksikköä ja kuusikokeiden osalta 7.1 prosenttiyksikköä. Metsänparannusrahoituksella aikaansaataviin sisäisen koron lisäykseen ei lannoitusohjelman ja metsiköiden harvennusten poikkeamisella "oikeasti" ole havaittavaa vaikutusta.

Eri ikäluokissa avustus paransi männiköiden lannoituksen kannattavuutta 6.7 - 9.8 prosenttiyksikköä ja kuusiköiden 6.7 - 7.4 prosenttiyksikköä. Kummassakaan tapauksessa ei siis eri luokkien välinen absoluuttinen kannattavuusero muuttunut. Metsänparannusavustuksella vain saatiin aikaan edellä mainittujen suuruiset reaalisen sisäisen koron tason nousut.

### 6.3.3 Metsänparannuslaina

Lannoitusohjelmaa voidaan rahoittaa myös kokonaisuudessaan halpakorkeisella metsänparannuslainalla. Aiemmissa tutkimuksissa (mm. Keipi ja Laakkonen 1980, Hämäläinen ja Laakkonen 1983, Laakkonen ym. 1983) on todettu, että laina on yksityistaloudellisesti usein osittaista avustusta edullisempi vaihtoehto. Tämä johtuu metsänparannuslainan edullisista ehdoista sekä noissa laskelmissa oletetusta 7 %:n vuotuisesta inflaatiosta. Inflaatio on noista ajoista saatu eri toimenpiteiden yhteisvaikutuksena laskemaan jonkin verran matalammalle tasolle.

Rahoitettaessa toistuvat lannoitukset kokonaan metsänparannuslainalla saavutettiin tutkimuksen mäntykoealoilla keskimäärin 18.5 %:n ja kuusikoealoilla vastaavasti 12.6 %:n reaalinen sisäinen korko ennen veroja. Lainan nosti siis kannattavuutta männiköiden osalta peräti 11.2 prosenttiyksikköä ja kuusen osalta 8.0 prosenttiyksikköä verrattaessa kokonaan omalla rahoituksella suoritettuihin vastaaviin lannoitus-

hankkeisiin. Muistettakoon, että asiaan on vaikuttanut olennaisesti oletettu 4 % vuotuinen inflaatio.

Kuvassa 3 on esitetty reaaliset sisäiset korot eri ikäluokissa kun lannoitus rahoitetaan kokonaan metsänparannuslainalla. Verrattaessa kuvia 1 ja 3 voidaan todeta, että molemmilla puulajeilla eri ikäluokkien sisäisten korkojen erot ovat kasvaneet mutta niiden kannattavuusjärjestys ei ole muuttunut oleellisesti käytettäessä omarahoituksen sijasta metsänparannuslainaa. Vain männyllä kahden nuorimman ikäluokan järjestys on vaihtunut. Rahoitettaessa lannoitus-hanke omalla rahoituksella oli eri ikäluokkien välinen kannattavuusero suurimmillaan tutkimuksen mäntykoealoilla vain 3.7 prosenttiyksikköä ja kuusikoealoilla vastaavasti 4.5 prosenttiyksikköä. Metsänparannuslainaa käytettäessä vastaavat erot olivat 13.0 ja 5.9 prosenttiyksikköä.

Kuvan 3 mukaan suurin reaalin sisäinen korko 27.5 % saavutettiin varttuneissa kasvatusmänniköissä ikäluokassa 60-79. Kuusikokeillakin päästiin suurimmillaan 16.1 %:n reaaliseseen sisäiseen korkoon (ikäluokka 80-99 v.).

(kuva 3)

Tarkasteltaessa kannattavuutta lannoituskertojen lukumäärän suhteen (kuva 4) huomataan, että suhteelliset kannattavuuserot eri luokkien välillä ovat jonkin verran tasoittuneet täydelliseen omarahoitukseen verrattuina (kuva 2). Edullinen laina tukee suhteellisesti eniten muutoin heikommin kannattavia lannoituksia.

(kuva 4)

Niin kuin edellä todettiin, laskelmissa on otettu huomioon, että metsänomistaja voi ottaa metsänparannuslainan korot sekä lannoitusmenot verotuksessa vähennyksinä huomioon.



Tämä nostaa lannoitusten kannattavuutta metsänomistajan marginaaliveroprosentista riippuen. Tässä lähdettiin siitä, että metsänparannuslainan korko sekä lannoitemenot vähennetään verotuksessa metsänomistajan marginaalituloista. Kun marginaaliveroprosenttina käytettiin tutkimuksessa 45 % niin yhteiskunta tukee lannoituksia paitsi myöntämällä halpakorjoista lainaa myös "maksamalla" 45 % tuon lainan koroista. Tutkimuksen männiköissä tämä aiheutti eri luokissa kannattavuudessa keskimäärin 5.3 prosenttiyksikön nousun ja kuusikoissa vastaavasti 4.2 prosenttiyksikön nousun aiemmin esitettyihin kannattavuuslukuihin.

Rahoitettaessa lannoituskustannukset 95 %:sti lainalla ja 5 %:n avustuksella parani kannattavuus vielä noin puoli prosenttiyksikköä verrattuna kokonaan metsänparannuslainalla rahoitettuun vaihtoehtoon.

## 7. Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin lannoituskokeisiin perustuen toistuvan lannoituksen kannattavuutta Etelä-Suomen kangasmailla. Koeala-aineisto on sama kuin Kukkolan ja Saramäen (1983) tutkimuksessa. Samaten kasvunlisäyksen laskenta perustuu mainittujen tutkijoiden kehittämiin menetelmiin. Muiden edullisuuslaskelmissa tarvittujen muuttujien relevantit arvot selvitettiin käsillä olevassa tutkimuksessa.

Toistuvan lannoituksen tuotoksi kullakin lannoitetulla koealalla katsottiin lannoitetun ja lannoittamattoman koealan hakkuuarvojen erotus tutkimusjakson lopussa sekä harvennuk-sissa poistetun puuston arvojen erotus. Reaalisina kanto-hintoina käytettiin hakkuuvuoden 1986/87 reaalisia trendi-hintoja, jotka laskettiin hakkuuvuosien 1978/79-1986/87 ni-mellisten kantohintojen ja vastaavien vuosien tukkuhintojen kokonaisindeksin avulla. Kantohintoihin tehtiin myös puuston järeyden mukaiset korjaukset hakkuuvuotta 1986/87 koskevan hintasuositussopimuksen mukaisina. Näin laskien saatiin toistuvan lannoituksen tuotoksi tutkimusjakson kulu-essa männiköissä keskimäärin 4 800 mk/ha ja kuusikoissa 4 700 mk/ha.

Lannoituskustannuksina otettiin huomioon lannoite-, suunnit-telu- ja työnjohto-, kuljetus- ja levitys- kustannukset hak-kuuvuoden 1987/88 joulukuun tilannetta vastaavina. Männi-köissä lannoituskustannusten summa tutkimusjakson aikana oli siten 1 700 mk/ha ja kuusikoissa 2 100 mk/ha.

Lannoituksen kannattavuutta mitattiin reaalisella sisäisellä korolla. Tällöin laskelmat tehtiin sekä olettaen lannoi-tuksen tapahtuvan kokonaan omalla rahoituksella että valtion metsänparannusrahoituksen eri muotoja käyttäen. Myös vero-tuksen vaikutus lannoituksen kannattavuuteen otettiin las-kelmissa huomioon.

Tämän tutkimuksen tulokset on tiivistetysti esitetty kuvissa 1-4. Niiden perusteella voidaan esittää luettelomaisesti tutkimuksen päätulokset seuraavasti:

- reaalisella sisäisellä korolla mitaten toistuvan lannoituksen erilliskannattavuus oli männiköissä 7.3 % ja kuusikoissa 4.6 % ilman metsänparannusrahoitustakin
- metsänparannuslaina on yksityistaloudellisesti edullisempi vaihtoehto kuin 40 %:n avustus
- metsänparannuslaina parantaa toistuvan lannoituksen yksityistaloudellista kannattavuutta oleellisesti. Kannattavuus paranee männiköiden osalta em. 7.3 %:sta 18.5 %:iin ja kuusikoiden osalta em. 4.6 %:sta 12.6. %:iin; siis kummallakin puulajilla melkein kolminkertaiseksi
- lainakorkojen ja lannoitekustannusten vähennysoikeus verotuksessa parantaa lannoituksen yksityistaloudellista kannattavuutta marginaaliveroprosentista riippuen. Tässä tutkimuksessa 45 %:n marginaaliveroprosentti nosti kannattavuutta 4-5 prosenttiyksikköä
- männiköiden toistuva lannoittaminen on keskimäärin kuusikoiden lannoittamista edullisempää kaikilla rahoitusmuodoilla.

Kuvan 2 perusteella voidaan todeta:

- toistuva lannoitus on kannattavinta varttuneissa kasvatusmetsiköissä ja kannattavuus heikkenee siirryttäessä lannoittamaan tätä nuorempia tai vanhempia ikäluokkia. Paras kannattavuus saavutettiin männiköissä ikäluokassa 60-79 v. ja kuusikoissa ikäluokassa 80-99 v. Kuusikokeista tosin puuttuivat kokonaan ikäluokat 40-59 ja 60-79 v.

## KIRJALLISUUS

- Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. 32 s.
- Hämäläinen, J. 1973. Profitability Comparisons in Timber Growing: Underlying Models and Empirical Applications. Commun. Inst.For.Fenn. 77: 178 s.
- Hämäläinen, J. & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus. Summary: Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peat land. Folia For. 570:32 s.
- Keipi, K. & Laakkonen, O. 1980. Päätehakkuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja. Summary: Profitability comparisons of urea fertilization in old stands. Folia For. 420:35 s.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaidien männiköissä ja kuusikoissa. Commun. Inst. For. Fenn. 114:55 s.
- Laakkonen, O., Keipi, K. & Lipas, E. 1983. Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä. Summary: Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils. Folia For. 577:20 s.
- Laasasenaho, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisytälöt. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Helsinki. 89 s.

Metsähallituksen ohjeet keskusmetsälautakunnille metsänparannuslainsäädännön mukaisesta lannoituksesta. 1988.  
Helsinki.

Metsä- ja uittoalan työehtosopimus ja sen mukaiset m -perusteiset metsätyöpalkkojen taulukot 1.3.1986 - 28.2.1988. Palkkausalue 4. Kouvola 1986.

Metsänlannoitus- ja kasvinsuojeluopas. 1981. Kemira Oy.

Metsätilastollinen vuosikirja 1987. Suomen virallinen tilasto XVII A:19. Folia For. 715:245 s.

Metsätilastotiedote 1988. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. N:o 67, 23.2.1987 8 s.

Mälkönen, E. 1979. Kangasmaiden lannoitustutkimus. Summary: Research on forest fertilization on mineral soils. Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Teoksessa: Metsäntutkimuslaitoksen metsänlannoituksen seminaari. 15.1.1979. Folia For. 400:20-28.

Möller, G. 1986. Ståndortsanpassad gödsling ökar lönsamheten. Summary: Increased profitability from site adjusted forest fertilization. Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1986:59-81.

Pettersson, F. 1987. Förlängt gödslingsomdrev minskar kubikmeterkostnaden. Summary: Decreased cubic metre cost by increasing the application interval. Institutet för skogsförbättring. Information, Gödsling 1986/87 (3):6 s.

Puun hintasuositussopimus 15.4.1986-31.3.1987. 1986.

Vuokila, Y. & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for

conifer cultures in Finland. Commun. Inst. For. Fenn.  
99(2): 271 s.

## Summary

In this study the profitability of repeated fertilizations on mineral soils in Southern Finland was examined. The empirical material is the same as Kukkola and Saramäki (1983) used in their study. The mean values of the stand characteristics describing the sample plots at the time when the plots were established are shown in table 1. The calculation of the volume growth responses to fertilization is based on the models developed by Kukkola and Saramäki. All other stand variables needed in the economical calculations were produced for this study. (see appendix 1). The procedure how the development of unfertilized and fertilized tree stands were obtained is explained in appendix 2.

The additional money values obtained by fertilization for each fertilized plot was the sum of two components: 1) the difference between the stumpage values of fertilized and unfertilized tree stands at the end of the investigated period; 2) the difference between the stumpage revenues, from thinnings in fertilized and unfertilized tree stands (see formula in chapter 6.1.). The trend prices of the year 1986/87 were used as the real stumpage prices. The trend prices were calculated according to on the stumpage prices of the years from 1978/79 to the year 1986/87 and the corresponding wholesale price indexes. These stumpage prices were corrected by the commercial volume of the stems.

The average additional stumpage value by the repeated fertilizations during the investigated period was in pine stands 4800 FIM/ha and in spruce stands 4700 FIM/ha.

The fertilization costs were calculated as the sum of the price of the fertilizers and the costs caused by planning, supervision of work, transportation and spreading, all

according to the price level of December 1987. The fertilization cost were in pine stands during the investigated period (see table 2) 1700 FIM/ha and in spruce stands 2100 FIM/ha.

The incremental profitability of fertilization was measured by the real internal rate of interest. The mathematical formula of the real internal rate of interest is expressed in chapter 6.1 with the list of symbols used in that formula. The profitability calculations were carried out in two ways. On the other hand the costs were totally paid by a forest owner and on the other hand different subsidies given by the state in the form of partial subsidy or low interest loan was assumed. Also the effect of taxation were studied.

The main results of this study are presented in figures 1-4. According to them we can conclude that

- without the subsidies given by the state the real internal rate of interest was in pine stands 7.3 % and in spruce stands 4.6 %.

An investigation to be published later indicates, that the internal rates of interest increase considerably (perhaps are 1,7 fold) if the amount of nitrogen given in a single dose is greater than that used in this investigation and if the tree stands are thinned "normally" with respect to time and intensity.

On the sample plots used here, the thinnings have been both occasional and slight.

- from the standpoint of private forest owner low interest loan given by the state is better alternative than partial (40 %) subsidy



- a low interest loan improves the real profitability of fertilization in pine stands from 7.3 % to 18.5 % and in spruce stands from 4.6 % to 12.6 % respectively.  
So the subsidies given by the state make the profitability almost three times as good as without subsidies
- The possibility to take loans interests and fertilizer costs as depreciations in taxation also improves the profitability of fertilization.  
When a 45 % marginal taxation percentage was assumed then 4 to 5 percentage units better internal rates of interest were obtained
- in the average fertilization of pine stands was more profitable than fertilization of spruce stands with and without the subsidies given by the state

According to the figure 2 it can be concluded that

- Repeated fertilizations were most profitable in rather mature stands and the profitability decreases towards younger or older age groups.  
The highest profitability in the pine stands was obtained at the age group of 60-79 years and in the spruce stands at the age group of 80-99 years. However, it must be noticed that there were no observations from 40-79 years old spruce stands.

## Kuvatekstit

Kuva 1. Reaalinen sisäinen korko eri ikäluokissa kun lannoitukset on rahoitettu kokonaan omalla rahoituksella.

Figure 1. Real internal interest in different age groups without states support.

Kuva 2. Reaalisen sisäisen koron ja lannoituskertojen lukumäärän välinen riippuvuus kun lannoitukset on rahoitettu kokonaan omalla rahoituksella.

Figure 2. Correlation between real internal interest and number of fertilizations without states support.

Kuva 3. Reaalinen sisäinen korko eri ikäluokissa kun kaikki lannoitukset on rahoitettu kokonaan metsänparannuslainalla.

Figure 3. Real internal interest in different age groups with states loan granted to forest improvement purposes.

Kuva 4. Reaalisen sisäisen koron ja lannoituskertojen lukumäärän välinen riippuvuus kun lannoitukset on rahoitettu kokonaan metsänparannuslainalla.

Figure 4. Correlation between real internal interest and number of fertilizations with states loan granted to forest improvement purposes.

Taulukko 1. Eräiden keskeisten puustotunnusten keskiarvot ikäluokittain lannoittamattomilla ja lannoitetuilla koealoilla kokeiden perustamishetkellä. Sulussa puustotunnusten keskihajonnat. (0=lannoittamaton, L=lannoitettu).

The mean values of some important stand variables in different age groups in control plots and in fertilized plots at the time the experiments were established. Standard deviations of the characteristics are given in parantheses. (0=control plot, L=fertilized plot).

Puusto-tunnus	20 - 39		40 - 59		60 - 79		80 - 99		≥ 100		Kaikki, all	
	0	L	0	L	0	L	0	L	0	L	0	L
Runkoluku, kpl/ha	1797	1768	860	882	721	711	424	375	350	332	1182	1173
Stem number, no/ha	(624)	(582)	(409)	(399)	(216)	(245)	(149)	(98)	(102)	(95)	(751)	(732)
Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha	39.2	36.8	110.2	109.7	132.0	120.9	136.1	115.5	106.9	98.9	83.1	77.0
Volume, m <sup>3</sup> /ha	(21.6)	(20.1)	(53.0)	(51.8)	(71.6)	(53.3)	(33.9)	(20.6)	(26.5)	(24.2)	(59.0)	(52.0)
Tukki-%	0.9	1.0	42.2	38.2	43.1	42.3	74.1	73.4	74.8	73.0	29.0	27.5
Percentage of sawtimber	(2.3)	(3.0)	(22.6)	(24.2)	(28.0)	(26.3)	(14.5)	(13.9)	(13.4)	(11.8)	(32.6)	(31.7)
Kuitu-%	70.2	68.3	51.5	53.7	55.0	55.8	25.2	25.9	24.5	26.3	56.1	56.3
Percentage of pulpwood	(24.4)	(24.2)	(15.3)	(17.0)	(26.7)	(25.1)	(14.3)	(13.7)	(13.1)	(11.5)	(27.1)	(26.2)
Koealoja no of plots	63	66	25	24	25	27	10	9	14	15	137	141
KUUSI SPRUCE												
Puusto-tunnus	20 - 39		40 - 59		60 - 79		80 - 99		100		Kaikki, all	
Stand variable	0	L	0	L	0	L	0	L	0	L	0	L
Runkoluku, kpl/ha	1921	1790	..	..	..	..	624	655	459	434	1543	1431
Stem number, no/ha	(693)	(518)	..	..	..	..	(293)	(297)	(164)	(173)	(862)	(726)
Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha	43,9	36,4	..	..	..	..	111,3	118,4	162,6	146,9	68,3	63,9
Volume, m <sup>3</sup> /ha	(51.1)	(45.0)	..	..	..	..	(27.3)	(14.5)	(27.6)	(11.7)	(61.7)	(58.1)
Tukki-%	1.9	1.2	..	..	..	..	46.1	46.8	70.7	71.6	17.0	17.5
Percentage of sawtimber	(5.7)	(4.3)	..	..	..	..	(23.7)	(21.6)	(20.1)	(15.6)	(28.0)	(28.4)
Kuitu-%	49.1	44.2	..	..	..	..	52.2	51.7	28.6	27.7	47.3	43.6
Percentage of pulpwood	(35.6)	(39.3)	..	..	..	..	(22.8)	(20.7)	(19.7)	(15.2)	(32.6)	(34.7)
Koealoja no of plots	26	24	..	..	..	..	6	6	4	4	36	34

Liite 1

Appendix 1.

HAKKUARVOJEN LASKENNASSA KÄYTETYT PUUSTOA KUVAAVAT MALLIT

TREE STAND MODELS USED IN TIMBER VALUE CALCULATIONS

Merkinnät liitteissä 1 ja 2 - Symbols in Appendix 1 and 2

T	metsikön ikä, v age of the stand, yr
N	runkoluku, kpl/ha number of stems, no/ha
$N_r$	harvennuksessa poistuva runkoluku, kpl/ha number of stems removed in thinning, no/ha
$H_{dom}$	valtapituus; hehtaaria kohti 100 paksuimman puun keskipituus, m dominant height; the mean height of the 100 thickest trees per hectar, m
$H_{100}$	pituusboniteetti; valtapituus 100 vuoden iällä, m site index; dominant height at the age of 100 years, m
V	kuorellinen tilavuus, $m^3/ha$ stem volume incl. bark. $m^3/ha$
$\bar{v}$	metsikön puiden keskitilavuus, $m^3$ mean volume of all trees, $m^3$
$v_{r\%}$	harvennuspoistuman osuus tilavuudesta, % percentage of volume removed in thinning
$v_s$	tukkipuun kuorellinen tilavuus, $m^3/ha$ volume of saw timber incl. bark, $m^3/ha$
$S_{\%}$	tukkipuun osuus tilavuudesta, % sawtimber, per cent of volume
$\bar{v}_s$	tukkirunkojen käyttöosan (tukkiosa + kuituosa) keskitilavuus, $m^3$ mean commercial volume (sawtimber + pulpwood) of sawtimber stems, $m^3$
$V_p$	kuitupuun kuorellinen tilavuus, $m^3/ha$ volume of pulpwood incl. bark, $m^3/ha$
$\bar{v}_p$	kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuus, $m^3$ mean commercial volume of pulpwood stems, $m^3$
$\bar{d}_p$	tilavuudella painotettu kuiturunkojen keskiläpimitta rinnankorkeudella, cm mean diameter of pulpwood stems at breastheight; weighted with stem volume, cm
$V_w$	hukkapuun kuorellinen tilavuus, $m^3/ha$ volume of waste incl. bark, $m^3/ha$
$W_{\%}$	hukkapuun osuus tilavuudesta, % waste, per cent of cubic volume

$I_v$	vuotuinen kuorellinen tilavuuskasvu, $m^3/ha/v$ annual volume increament incl. bark. $m^3/ha/yr$
$\Delta I_v$	lannoituksen aiheuttama vuotuinen kasvureaktio, $m^3/ha/v$ annual growth response to fertilization, $m^3/ha/yr$
IND	lustoindeksi, normaalivuoden sädekasvun taso=100 radial growth index, the normal level=100

A L K U - S T A R T

Luetaan ensilannoitusajankohdan puustotunnuksia lannoitetulta koealalta ja vertailukoealalta sekä kasvukauden lustoindexiksi.

LUE - READ  
 $T, N, H_{100}, V, I_v$  IND  
 $T_0, H_{100_0}, V_0, I_{v0}, V_{r\%}, N_{r0}$   
 $V_{s0}, V_{w0}, \bar{v}_{s0}, \bar{v}_{p0}$

Read the stand characteristics at the time of primary fertilization on the fertilized plot and control plot as well as the radial growth index of the growing season in question.

Estimoidun nollakehityksen alkukurunkoluvuksi otetaan lannoitetun koealan runkoluku ja alkutilavuudeksi koealan tilavuus.

$$N' = N$$

$$V' = V$$

The initial stem number of estimated zero development is the stem number of the fertilized plot, and the initial volume the plot volume

Kun vertailukoealaa on harvennettu, vähenee estimoidun nollakehityksen runkoluku ja tilavuus vertailukoealalta tehdyn poistuman mukaan

$$N' = N' - N_{r0}$$

$$V' = V' - \frac{V_{r\%} \cdot V'}{100}$$

When the control plot has been thinned, the stem number and volume of the estimated zero development decreases according to the removal from control plot.

Lasketaan valtapituusestimaatti lannoitetulle koealalle ja vertailukoealalle Vuokilan ja Väli-ahon (1980) esittämällä mallilla.

$$H_{dom}' = f(T, H_{100})$$

$$H_{dom0}' = f(T_0, H_{100_0})$$

Calculate the estimate of dominant height for the estimated zero development and control plot using the model introduced by Vuokila and Väli-aho (1980).

Lasketaan korjaus vertailukoealan kasvulle vähentämällä estimoidun nollakehityksen kasvuennusteesta vertailukoealan kasvuennuste.

$$c = f(V', H_{dom}', T, H_{100}, IND) - f(V_0, H_{dom0}', T_0, H_{100_0}, IND)$$

Calculate the correction for the growth of the control plot by subtracting the growth prediction of the control plot from that of estimated zero development.

Lasketaan lannoitusreaktio lannoitetun koealan kasvun ja vertailukoealan korjatun kasvun erotuksena. Korjattu vertailukoealan kasvu on samalla estimoidun nollakehityksen kasvuennuste.

$$\Delta I_v = I_v - (I_{v0} + c)$$

Calculate the response to fertilization as the difference between the growth of fertilized plot and corrected growth of control plot. The corrected growth of control plot is at the same time the predicted growth of the estimated zero development.

KIRJOITA - WRITE  $\Delta I_v$

$N', V', H_{dom}'$   
 $V_s', V_p', \bar{v}_s', \bar{d}_p'$

LASKE - CALCULATE (ks. liite 2b see App. 2b)  
 $V_s', V_p', \bar{v}_s', \bar{d}_p'$

kyllä - yes

KOEAIKAA  
 JÄLJELLÄ?  
 EXPERIMENTAL  
 TIME LEFT?

$$V' = V' + (I_{v0} + c)$$

Lisätään estimoidun nollakehityksen tilavuuteen sen kasvuennuste. Add the predicted growth to the volume of estimated zero development.

LUE SEURAAVAN VUODEN -  
 READ THE NEXT YEAR'S

$T, N, H_{100}, V, I_v$  IND  
 $T_0, H_{100_0}, V_0, I_{v0}, V_{r\%}, N_{r0}$   
 $V_{s0}, V_{w0}, \bar{v}_{s0}, \bar{v}_{p0}$

Luetaan seuraavan kasvukauden alun puustotunnuksia. Read the stand characteristics at the start of the following growing season

kyllä - yes

KOEALOJA  
 JÄLJELLÄ?  
 SAMPLE PLOTS  
 LEFT?

L O P P U - E N D

Lasketaan estimoidun nollakehityksen ja vertailukoealan puiden keskitilavuus

... sekä vertailukoealan tukkipuuprosentti

... ja hukkapuuprosentti

Lasketaan korjaus (=estimaattien erotus) vertailukoealan

... tukkipuuprosentille

... hukkapuuprosentille

... tukkirunkojen käyttöosan keskitilavuudelle

... sekä kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuudelle

Lasketaan estimoidun nollakehityksen

... tukkipuun määrä

... hukkapuun määrä

... kuitupuun määrä

... tukkirunkojen käyttöosan keskitilavuus

... kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuus

... sekä kuiturunkojen keskiläpimitta rinnankorkeudella

$$\bar{v}' = \frac{V'}{N'}$$

$$\bar{v}_0 = \frac{V_0}{N_0}$$

$$S_{\%0} = \frac{V_{s0} \cdot 100}{V_0}$$

$$W_{\%0} = \frac{V_{w0} \cdot 100}{V_0}$$

Calculate the mean volume of stems for the estimated zero development and control plot,

... and the percentage of saw timber for control plot

... and the percentage of pulpwood for control plot

$$c_{s\%} = f_{s\%}(T', \bar{v}', H_{dom}') - f_{s\%}(T_0, \bar{v}_0, H_{dom0}')$$

$$c_{w\%} = f_{w\%}(\bar{v}') - f_{w\%}(\bar{v}_0)$$

$$c_{\bar{v}s} = f_{\bar{v}s}(T', \bar{v}', H_{100}) - f_{\bar{v}s}(T_0, \bar{v}_0, H_{100_0})$$

$$c_{\bar{v}p} = f_{\bar{v}p}(H_{dom}') - f_{\bar{v}p}(H_{dom0}')$$

Calculate the correction for the control plot (=the difference between estimates)

... for the saw timber percentage

... for the waste percentage

... for the mean commercial volume of saw timber stems

... and for the mean commercial volume of pulpwood stems

$$V_s' = \frac{(S_{\%0} + c_{s\%}) \cdot V'}{100}$$

$$V_w' = \frac{(W_{\%0} + c_{w\%}) \cdot V'}{100}$$

$$V_p' = V' - V_s' - V_w'$$

$$\bar{v}_s' = \bar{v}_{s0} + c_{\bar{v}s}$$

$$\bar{v}_p' = \bar{v}_{p0} + c_{\bar{v}p}$$

$$\bar{d}_p' = f(\bar{v}_p')$$

Calculate for the estimated zero development

... the volume of saw timber

... the volume of waste

... the volume of pulpwood

... the mean commercial volume of saw timber stems

... the mean commercial volume of pulpwood stems

... and the mean diameter of pulpwood stems at breastheight

Liite 2a  
Appendix 2a

Kaavio estimoidun nollakehityksen laskennasta kokeen tyypellä lannoitetuille koealoille. Estimoitu nollakehitys tarkoittaa ennustetta siitä, kuinka ko. koealan puusto olisi kehittynyt ilman lannoitusta. Lannoitetun koealan puustotunnusten merkinnät ovat alaindeksittömiä ja vertailukoealan tunnusten alaindeksinä on 0. Kun kokeella on useita vertailukoealoja, käytetään tunnusten keskiarvoja:

$$\bar{f}(V_0, H_{dom0}, T_0, H_{100_0}, IND), \bar{I}_{v0}, \bar{H}_{100_0}, \bar{V}_{r\%0}, \bar{N}_{r0}, \bar{V}_{s0},$$

$$\bar{V}_{p0}, \bar{V}_{w0}, \bar{V}_{s0}, \bar{V}_{p0}$$

Flowchart of the calculation of the estimated zero development for the nitrogen fertilized plots of one experiment. The estimated zero development refers to the predicted value for unfertilized stand development. The stand characteristics of the fertilized plots are not marked with subindexes and the subindex of the control plot is 0. If there are several control plots in the experiment, mean values of the characteristics are used.



Liite 2 b  
Appendix 2 b

Estimoidun nollakehityksen tukki- ja kuitupuumäärien  
sekä järeystunnusten laskenta.

The calculation of the volume of sawtimber and pulpwood  
as well as the mean commercial volume of sawtimber stems  
and the mean diameter of pulpwood stems for the  
estimated zero development.

Puulaji Tree species	Selitettävä muuttuja Dependent variable	Selittävä muuttuja Independent variable	Kerroin Coefficient	t-arvo t-value
Mänty Pine	$\ln(1-S\%/96)$	havaintoja 2129, $R^2 = 0,975$ observations		
		Vakio - constant	0,502460	60,00
		$\bar{v}$	-5,23056	-167,68
		T	-0,00451611	-26,60
Kuusi Spruce	$\ln(1-S\%/95)$	havaintoja 685, $R^2 = 0,958$ observations		
		Vakio - constant	0,646951	4,48
		$\bar{v}$	-5,18886	-37,11
		$H_{\text{dom}}$	-0,0673720	-3,84
		$H_{\text{dom}}^2$	0,00259522	4,39
Mänty Pine	100-W%,	havaintoja 2803, $R^2 = 0,979$ observations		
		$\bar{v} (540\bar{v})^{-1,2}$	99,6588	2938,21
Kuusi Spruce	100-W%,	havaintoja 1027, $R^2 = 0,988$ observations		
		$\bar{v} (560\bar{v})^{-1,2}$	99,6393	1368,83
Mänty Pine	$\ln\bar{v}_s$	havaintoja 2129, $R^2 = 0,945$ observations		
		Vakio - constant	-1,93188	-201,15
		$\bar{v}$	2,63507	44,71
		$\bar{v}^2$	-1,11295	-16,13
		$TH_{100}$	0,000108511	9,47
Kuusi Spruce	$\bar{v}_s$	havaintoja 685, $R^2 = 0,927$ observations		
		Vakio - constant	0,210789	105,78
		$\bar{v}^{1,3}$	0,787442	92,91
Mänty Pine	$\bar{v}_p$	havaintoja 2654, $R^2 = 0,877$ observations		
		$c^{-c}$	424,638	295,14
		$c = 0,1241 \sqrt{H_{\text{dom}}}$		
Kuusi Spruce	$\bar{v}_p$	havaintoja 989, $R^2 = 0,887$ observations		
		$c^{-c}$	363,314	169,45
		$c = 0,1265 \sqrt{H_{\text{dom}}}$		
Mänty Pine	$\bar{d}_p = e^{(\ln\bar{v}_p + 2,2945)/2,57025}$			
Kuusi Spruce	$\bar{d}_p = e^{(\ln\bar{v}_p + 2,41218)/2,62463}$			

Esimerkiksi männyn tukkipuun osuus tilavuudesta (%) saadaan ratkaisemalla S% yhtälöstä  
For example, the percentage of sawtimber is obtained by solving S% from the equation

$$\ln(1-S\%/96) = 0,502460 - 5,23056\bar{v} - 0,00451611T$$