

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

# SILVA FENNICA

117

ARBEITEN DER  
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN  
GESELLSCHAFT  
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE  
SOCIETY OF FORESTRY  
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA  
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE  
DE FINLANDE

HELSINKI 1966

**Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin yleensä käsittää useampia tutkimuksia.

SILVA FENNICA. Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta käsitteleviä kirjoitelmia ja pienehköjä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin.

**Finska Forstsamfundets publikationsserier:**

ACTA FORESTALIA FENNICA. Innehåller vetenskapliga undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland och dess grunder. Banden, vilka icke utkomma periodiskt, omfatta i allmänhet flere avhandlingar.

SILVA FENNICA. Omfattar uppsatser och mindre undersökningar rörande huvudsakligen skogshushållningen i Finland. Utkommer icke periodiskt.

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA — FINSKA FORSTSAMFUNDET

# SILVA FENNICA

117

ARBEITEN DER  
FORSTWISSENSCHAFTLICHEN  
GESELLSCHAFT  
IN FINNLAND

PUBLICATIONS OF THE  
SOCIETY OF FORESTRY  
IN FINLAND

PUBLICATIONS DE LA  
SOCIÉTÉ FORESTIÈRE  
DE FINLANDE

HELSINKI 1966

## Silva Fennica

N:o 117 (1966)

1. **Toivo Matilainen:** Kasvutappiosta ja sen määrittämisestä Etelä-Suomen talousmetsissä ..... 1—38  
Summary (The increment loss and its determination in economically exploited forests in South Finland) ..... 39—41
2. **Seppo Ervasti — Lauri Heikinheimo — Viljo Holopainen — Kullervo Kuusela — Gustaf Sirén:** The development of Finland's forests in 1964—2000 1—35
3. **Carl Olof Tamm:** Some experiences from forest fertilization trials in Sweden 1—24
4. **H. Lyr und G. Hoffmann:** Untersuchungen über das Wurzel- und Sprosswachstum einiger Gehölze ..... 1—19
5. **Erkki Pulliainen and Kalervo Salonen:** On eating pine-buds by the squirrel (*Sciurus vulgaris*) ..... 1—21  
Selostus (Orava männyn silmutuholaisena) ..... 22
6. **Yrjö Roitto:** Use of fuelwood in Europe in 1950—60 and possibilities of converting fuelwood to industrial uses by 1975 ..... 1—35  
Resume (L'utilisation du bois de chauffage en Europe pendant 1950—1960 et les possibilites de convertir le bois de chauffage en bois industriel d'ici 1975) ..... 36  
Zusammenfassung (Der brennholzverbrauch Europas in den Jahren 1950—1960 und die Möglichkeit der industriellen Nutzbarmachung von Brennholz bis 1975) ..... 37  
Samenvatting (Gebruik van brandhout in Europa van 1950—1960 en mogelijkheden tot aanwending van brandhout voor industriële doeleinden in 1975) ..... 38  
Резюме (Потребление древесного топлива в Европе 1950—1960 гг. и возможности увеличения выхода деловой древесины за счет сокращения выхода древесного топлива в 1975 г.) ..... 39—40  
Lyhennelmä (Polttopuun käyttö Euroopassa vv. 1950—1960 sekä mahdollisuudet polttopuun teolliseen käyttöön v. 1975) ..... 40

KASVUTAPPIOSTA JA SEN MÄÄRITTÄMISESTÄ  
Etelä-Suomen talousmetsissä

TOIVO MATILAINEN

*SUMMARY:*

*THE INCREMENT LOSS AND ITS DETERMINATION IN ECONOMICALLY  
EXPLOITED FORESTS IN SOUTH FINLAND*

HELSINKI 1965

### **Alkusanat**

Tämä työ pohjautuu laskelmiin, joita allekirjoittanut suoritti v. 1961 metsänhoitaja OIVA SUOMISEN puheenjohdolla toimivan myrskytuholautakunnan sihteerinä mainitun lautakunnan toimeksiannosta tarkoituksena selvittää luonnontuhon johdosta mahdollisesti annettavien veronhuojennusten perusteita metsäverotuksessa.

Mainitut laskelmat olen sittemmin tarkistanut professori AARNE NYSSÖSEN opastuksella. Hän on myös lukenut käsikirjoituksen ja tehnyt varteenotettuja huomautuksia. Esitän hänelle kunnioittavat kiitokseni.

Suomen Metsätieteellinen Seura on myöntänyt tutkielman julkaisukuntoon saattamista varten apurahan, josta olen syvästi kiitollinen.

Tapiolassa, maaliskuulla 1965

*Toivo Matilainen*

## Sisällysluettelo

	sivu
Johdanto .....	5
1. Kasvu .....	5
11. Puuyksilön kasvu .....	5
12. Metsikön kuutiokasvu .....	6
13. Kasvu- ja tuottotaulukot .....	7
2. Eräitä määritelmiä, symboleja ja lyhennyksiä .....	8
3. Tutkimusmenetelmä .....	9
31. Kuutiomäärän ja kasvun suhde .....	9
32. Kasvu- ja tuottotaulukoiden aineisto .....	11
33. Kasvutappion laskentametodi .....	12
4. Tulokset .....	17
41. Kasvutappio kasvatettavissa metsissä .....	17
42. Kasvutappio uudistettavissa metsissä .....	24
43. Tulosten luotettavuus .....	26
5. Kasvutappion suuruuteen vaikuttavat tekijät .....	31
6. Kasvutappion määrittämismenetelmistä .....	34
61. Menetelmien perusteista .....	34
62. Kaavamenetelmät .....	36
63. Taulukkomenetelmä .....	37
64. Menetelmien tarkastelu .....	37
Kirjallisuusluettelo — <i>References</i> .....	38
<i>Summary</i> .....	39

## Johdanto

Talousmetsiä käsitellään hakkuilla. Kasvatushakkuulla pyritään puun korjuun ohella jouduttamaan metsikön kehitystä. Uudistushakkuu taas suoritetaan metsikön saavutettua hakkuukypsyyden taikka milloin metsikön kasvu on muusta syystä vähäinen. Tällaisilla normaaliin metsänhoitoon kuuluvilla hakkuilla ei ole metsikön kokonaiskasvuun huomattavaa vaikutusta. Mutta myös sellaisia hakkuita suoritetaan, että metsikön kokonaiskasvu vähenee. Sellaisia ovat mm. liian voimakkaat harvennushakkuut ja epäonnistuneet, luontaiseen uudistamiseen tähdänneet uudistushakkuut. Ne aiheuttavat kasvun menetystä.

Vielä voimakkaamman puuston määrän äkillisen pienenemisen voivat aiheuttaa luonnontuhot. Tuhon syynä voivat olla ilmastolliset tekijät, metsäpalot, hyönteiset, sienet ym. Tuho voi vahingoittaa taikka sen johdosta joudutaan poistamaan puustoa siinä määrin, että metsikön perustuustoon syntyy vajausta, voidaanpa joiltakin alueilta joutua poistamaan koko puusto ennen hakkuukypsyyttä. Tällaisissa tapauksissa syntyy kasvutappiota metsikön normaaliin kehitykseen verrattuna. Sen määrän tunteminen on tärkeää mm. mahdollisten veronhuojennusten perusteiden selvittämiseksi.

Käsillä olevassa tutkielmassa pyritään selvittämään metsikön puuston äkillisestä vähenemisestä johtuvan kasvutappion suuruutta ja keinoja sen määrittämiseksi Etelä-Suomen talousmetsissä. Kasvutappiolla tarkoitetaan tällöin yksinomaan metsikön vajaapuustoisuudesta normaalimäärään nähden johtuvaa kasvun vähenemistä kiertoajan kuluessa. Hakkuun tai luonnontuhoon mahdollisesti aiheuttamaa metsikön kasvukunnon heikkenemistä ja siitä johtuvaa kasvun pienenemistä ei ole laskelmissa otettu huomioon.

## 1. Kasvu

### 11. Puuyksilön kasvu

Yksityisen puun kasvutapahtuma on biologis-fysiologinen ilmiö. Se ilmenee ensinnäkin pituuskasvuna siten, että puun runkoon kasvaa uusia latvakasvaimia. Kullakin puulajilla on oma pituuskasvurytminsä, joka riippuu mm. rodusta, kasvupaikasta, puun kasvutilasta ja iästä. Valoa vaativien puulajien pituus-

kasvu saavuttaa suurimman arvonsa aikaisemmin kuin varjoa sietävien puulajien pituuskasvu. Hyvä kasvupaikka jouduttaa pituuskasvu. Kasvutilan merkitys on eri puulajeilla erilainen. Toisissa tapauksissa kohtuullinen harvennus elvyttää pituuskasvu, toisissa tapauksissa kasvutilan paranemisella ei ole pituuskasvuun vaikutusta. Pituuskasvu saavuttaa tiettyä ikäjaksona maksimin, jonka jälkeen vuosittaisen pituuskasvun määrä vähenee (ASSMANN 1961, ss. 41—46).

Kasvutapahtuma ilmenee edelleen puun läpimitassa paksuuskasvuna sekä puun muodon muuttumisena. Samat tekijät, jotka vaikuttavat suotuisasti pituuskasvuun, jouduttavat myös paksuuskasvu. Kasvutilan merkitys on kuitenkin paksuuskasvussa erityisen huomattava. Kasvutilan suuretsa tiettyyn rajaan asti suurenee myös paksuuskasvu. Paksuuskasvu on rungon eri osissa suuruudeltaan erilainen siten, että se on yleensä suurin rungon alaosassa (ASSMANN 1961, ss. 53—57). Paksuuskasvun erilaisuus rungon eri osissa ja puun pituuskasvu aiheuttavat sen, että puun muoto muuttuu puun kasvaessa.

Näiden erilaisten tapahtumien yhteisvaikutuksena puun tilavuus suurenee. Tätä kuutiokasvu ei voida sellaisenaan puusta irroittaa, vaan puuaines, joka puuyksilössä syntyy, liittyy siihen kiinteästi latvakasvaimina ja vuosilustoina. Kuutiokasvu saavuttaa maksiminsa myöhemmin kuin sen tekijät. Suuri kasvutila vaikuttaa voimakkaasti kuutiokasvu edistävasti (ASSMANN 1961, ss. 79—80).

Sääsuhteilla on suuri merkitys puun kasvun määrään. Edellisen vuoden sää, erityisesti myöhäiskesän, vaikuttaa huomattavasti pituuskasvuun, sillä silloin muodostuvat ne reserviaineet, mistä seuraavan vuoden pituuskasvaimet saavat alkunsa (ASSMANN 1961, s. 41). Kuluva kasvukauden sääsuhteilla on puolestaan ratkaiseva merkitys sädekasvuun. Reaktiot ovat erilaisia eri puulajeilla ja eri iänkohtina (WECK 1955, ss. 89—90). Ilmastollisista seikoista johtuu myös, että kasvun ajottainen vaihtelu on niin suuri, että se on otettava kasvututkimuksissa huomioon, kuten mm. MIKOLA (1950) on osoittanut.

## 12. Metsikön kuutiokasvu

Yksityisten puiden kehitys on hyvin erilainen, kun ne muodostavat metsikön. Taimistometsien lukuisista puuyksilöistä vain harvat saavuttavat hakkuukypsyysikänsä toisten kuollessa luontaisen harvenemisen tietä taikka ne poistetaan harvennushakkauksissa. Nopeimmin kehittyvät puuyksilöt muodostavat vallitsevan puuston, valtapuut. Tasaikäisessä puhtaassa metsikössä ennen kaikkea valtapuut määräävät kokonaiskasvun. Tämä johtuu näiden puiden vallitsevasta asemasta myös metsikön kokonaiskuutiosta. LÖNNROTHIN (1925, kuv. 60) mukaan vallitsevien latvuserroksien kuutiomäärä on luonnontilaisissa metsissä noin 80 % puuston kokonaiskuutiomäärästä.

Yksityisen puun kasvuun suotuisasti vaikuttavat seikat eivät sinänsä vaikuta samalla tavalla metsikön kuutiokasvuun. Kasvutilan suurentaminen parantaa yksityisen puun kuutiokasvu, mutta samalla voi metsikön kuutiokasvu vähentyä. Keskieurooppalaisten tutkimusten mukaan metsiköstä voidaan poistaa puustoa harvennushakkauksissa tietyissä rajoissa kokonaiskasvun oleellisesti muuttumatta, metsikön rakenteen kylläkin muuttuessa (ks. esim. WECK 1955, ss. 38—58). Viimeaikaisten kotimaisten tutkimusten mukaan harvennushakkauksilla ei voida suurentaa metsikön kuutiokasvu, mutta ne voivat pienentää kiertoajan kokonaiskasvu (NYSSÖNEN 1954, s. 114, VUOKILA 1965).

Samanikäisten puiden kuutiokasvusadannes on metsikössä jotakuinkin yhtä suuri. Iän mukana kasvusadannes pienenee. Hakkuilla käsitellyissä männiköissä on rinnankorkeusläpimitaltaan keskikokoisten puiden kasvusadanneksen todettu olevan jonkin verran suuremman kuin pieni- ja suuriläpimittaisten puiden (NYSSÖNEN 1954, s. 123).

Metsikön kuutiokasvun täsmällinen määrittäminen on vaikeata. Tulos on yleensä vain likimääräinen suure. Keskivirhe kasvun määrittämisessä on suurempi kuin keskivirhe puuston mittaamisessa. Kasvun määrittämistapoja voidaan erottaa kaksi toisistaan poikkeavaa lajia. Toinen perustuu näytepuista tehtäviin mittauksiin ja toinen eri ajankohtiin kohdistuviin puuston inventointeihin ja niihin liittyviin puun käytön määrää valaiseviin laskelmiin. Näytepuiden kuutiokasvu lasketaan tavallisesti kuutiokasvusadanneksina, joista kuutiomäärän perusteella päätellään kasvun absoluuttinen määrä. Kasvusadannekset voidaan laskea käyttämällä vertailusuureina mittausjakson eri ajankohtien perussuureita. Sadannes voidaan myös laskea kaavana korkoa korolle (LIHTONEN 1959, ss. 192—194).

## 13. Kasvu- ja tuottotaulukot

Maassamme on tehty joukko kasvututkimuksia metsikön eri kehitysvaiheista taimikkoiältä hakkuukypsyysikänsä saakka. Tulokset on koottu kasvu- ja tuottotaulukoihin. Suurin osa tutkimuksista on kohdistunut tasaikäisten, puhtaiden metsiköiden kehitykseen. Kuvatuksi ovat tulleet sekä täystiheät luonnonmetsiköt sekä eräät Etelä-Suomen hakkuilla käsitellyt metsiköt.

Taulukoissa kuvataan eräiden metsikön tunnusten iän mukana tapahtuvaa kehitystä lukusarjoina. Tärkeimmät sarjat ovat:

1. runkojen lukumäärä ja sen väheneminen iän mukana;
2. metsikön pohjapinta-alan kehitys;
3. metsikön keskiläpimitan kehitys;
4. metsikön keskipituuden kehitys;
5. metsikön valtapituuden kehitys;
6. luontaisen poistuman tai hakkuupoistuman kehitys;
7. säilyvän puuston kehitys;

8. metsikön kasvun kehitys keskimäärin ja jaksottain;
9. metsikön järeän puun osuuden lisääntyminen iän mukana;
10. kasvusadanneksen aleneminen jakso jaksolta.

Taulukoiden luvut ovat keskiarvoja suuresta aineistosta eivätkä sinänsä kuvaa minkään yksityisen metsikön kehitystä. Metsikön kasvun kehitys voi poiketa taulukon kuvaamasta esim. siten, että se on nuorena nopeampaa ja sitä seuraa varhainen kasvun tyrehtyminen, tai päinvastoin hidasta alkukehitystä voi seurata ripeän kasvun vaihe (LIHTONEN 1959, ss. 47—52, KOIVISTO 1949, ss. 5—8). Hakkuilla käsitellyistä Etelä-Suomen metsistä on käytettävissä mm. toistuvien harvennusten käsiteltyjen metsiköiden (hoidettujen metsiköiden), harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen männiköiden ja kuusiköiden sekä keskimääräisten nykymetsiköiden kehityssarjoja. Kahta viimeksi mainittua metsikkölajia käsittävät, III valtakunnan metsien inventoinnin aineistosta lasketut taulukot sisältävät vain osan täydellisten kasvu- ja tuottotaulukoiden sarjoista.

## 2. Eräitä määritelmiä, symboleja ja lyhennyksiä

Tutkimuksessa on käytetty seuraavia määritelmiä ja symboleja (ks. myös piirroksia 1 s. 13 ja 2 s. 16):

- $t_a$  = metsikön ikä puustovajauksen syntyessä;  
 $t_\delta$  = metsikön ikä puustovajauksen päättyessä;  
 $t_u$  = hakkuukypsyysikä: metsikön ikä uudistushakkauksen viimeisessä vaiheessa;  
 $t_{a-\delta}$  = alipuustoisuus aika: aika, joka kuluu puustovajauksen syntymisestä siihen hetkeen — enintään kuitenkin hakkuukypsyysikään —, jolloin jäävä puusto on kasvanut minimipuuston suuruisiksi;
- $V_E$  = metsikön puusto ennen puustovajauksen syntyä;  
 $V_P$  = poistuva puusto;  
 $V_J$  = jäävä puusto (säilyvä puusto);  
 $V_{Ma}$  = minimipuusto (kehitettävä puusto, tuottopuusto) ajankohtana a: metsikön puusto normaalin hakkauksen jälkeen;
- $V_K$  = puustovajaus: kasvutappiota aiheuttava osa poistuvasta puustosta;  
 $V_h$  = harvennuspoisto;  
 $V_T$  = puuston poistumisen jälkeen kasvavan uuden metsän puusto;  
 $V_Y$  = poistuvan puuston ja alipuustoisuusajan normaalien harvennuspoistojen alkuarvojen erotus;
- $I_{J5}$  = jäävän puuston kokonaiskasvu viideltä vuodelta;  
 $I_X$  = kasvutappio: puustovajauksesta johtuva kokonaiskasvun väheneminen kiertoajan kuluessa metsikön normaaliin kehitykseen verrattuna;
- $p_J$  = jäävän puuston kasvusadannes;  
 $p_E$  = ennen puustovajauksen syntyä olevan puuston kasvusadannes;  
 $q_J$  = jäävän puuston kuutiomäärän sadannesosuus minimipuustosta;  
 $q_P$  = poistosadannes: poistuvan puuston kuutiomäärän osuus puustosta ennen tuhoa;

- $q_K$  = vajuussadannes: puustovajauksen  $V_K$  kuutiomäärän osuus minimipuustosta;
- $\frac{1}{(1.op)^n}$  = alkuarvotekijä: koronkorkolaskussa se luku, millä kasvanut pääoma on kerrottava, jotta saataisiin sen alkuarvo  $n$  vuotta sitten;
- $(1.op)^n$  = loppuarvotekijä: koronkorkolaskussa se luku, millä alkupääoma on kerrottava, jotta saataisiin sen loppuarvo  $n$  vuoden kuluttua;
- $h_o$  = toistuvien harvennusten käsitelty metsikkö;  
 $ty$  = harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsitelty metsikkö III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan;
- $ke$  = metsiköt keskimäärin III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan;  
 $OMT$  = käenkaali-mustikkatyyppi;  
 $MT$  = mustikkatyyppi;  
 $VT$  = puolukkatyyppi;  
 $CT$  = kanervatyyppi.  
 $mä$  = mänty  
 $ku$  = kuusi  
 $ko$  = koivu

Edellä olevista määritelmistä johtuvat seuraavat kaavat:

$$\begin{aligned} (1) \quad V_E &= V_P + V_J; \\ (2) \quad V_K &= V_{Ma} - V_{Ja}; \\ (3) \quad q_J &= \frac{100 \times V_{Ja}}{V_{Ma}}; \\ (4) \quad q_P &= \frac{100 \times V_P}{V_{Ea}}; \\ (5) \quad q_K &= \frac{100 \times V_K}{V_{Ma}}; \\ (6) \quad (1.op)^{a-\delta} \times V_{Ja} &= V_{M\delta} \end{aligned}$$

## 3. Tutkimusmenetelmä

### 31. Kuutiomäärän ja kasvun suhde

Maassamme ei ole selvitetty kokeellisesti koko laajuudessaan kysymystä, millaisessa suhteessa metsikön kuutiokasvu vähenee kasvatettaessa määrältään optimipuustoa vähäisempää puustoa, joskin useita tutkimuksia asiasta on jo tehty. Tiedetään, että luonnonvaraisten, täystiheidien metsien kuutiokasvu voidaan saavuttaa kuutiomäärältään pienemmällä hoidettujen metsien puustoilla (NYYSÖNEN 1954, s. 10). Tiedetään myös, että toistuvilla harvennushakkuuksilla käsiteltyjen metsiköiden kuutiomäärään verrattuna puolta vähäisemmän toistuvasti harsitun puuston kuutiokasvu on keskimäärin 60—70 % ensiksi mainit-



tujen metsiköiden kuutiokasvusta (NYYSSÖNEN 1954, s. 118). Edelleen on NYYSÖNEN (1958, s. 32) todennut, että eräässä varttuneiden metsiköiden koealasarjassa oli männiköiden kuutiomäärä vähennetty uudistamishakkuilla keskimäärin 46 %:iin toistuvasti harvennettujen metsiköiden kuutiomäärästä, jolloin kuutiokasvu oli vastaavasti 58 % vertailumetsiköiden kuutiokasvusta. Kuusikoissa olivat vastaavat luvut 54 ja 64 %. NYYSSÖNEN (1954) männikköaineistosta ovat KUUSELA ja KILKKI laskeneet kasvun ( $k\text{-m}^3/\text{ha}$  kuoretta) kuutiomäärän ja iän funktiona (1963 taulukko 4, s. 28). Taulukosta on mahdollista määrittää kuutiokasvun väheneminen, kun puuston määrä pienenee. Niinikään VUOKILA (1965) on julkaissut alustavia tuloksia tutkimuksesta, jossa käsitellään kasvatushakkausten vaikutusta männiköiden kuutiotuottoon. Näiden tutkimusten mukaan kasvu vähenee kuutiomäärän alentuessa, mutta väheneminen on suhteellisesti pienempi kuin kuutiomäärän aleneminen. Puuston äkillisen vähenemisen aiheuttamaa kasvun pienenemistä ei erillisenä ilmiönä ole tutkittu.

Likimääräisesti asiaa voidaan kuitenkin selvittää lähtien siitä, että metsikön kuutiomäärällä on tietty minimiraja, jota määrää pienempänä puustoa ei voida kasvattaa ilman, että syntyy kasvutappiota metsikön normaaliin kehitykseen verrattuna. Lisäksi tiedetään, että ILVESSALON mukaan kuutiokasvusadannes on jonkin verran suurempi harvoissa kuin täystiheissä tai sitä lähellä olevissa metsissä. Kuutiokasvusadannekset on laskettu likimääräistä arviointia varten pääpuulajin, iän ja tiheyden perusteella (1948, ss. 126—129). Näiden taulukoiden mukaan puuston tiheyden pienenemisestä johtuva kasvusadanneksen lisäys on suurempi vanhoissa kuin nuorissa metsiköissä.

Ulkomaisista, aihetta koskevista tiedoista mainittakoon, että GEHRHARDT (1923, ss. 7—8) on esittänyt alipuustoisien metsikön kasvusadannekselle seuraavan kaavan:

$$p_1 = p \left( \frac{M - M_1}{M} + 1 \right), \text{ missä}$$

$M$  = metsikön normaali kuutiomäärä,

$M_1$  = metsikön alipuustoinen kuutiomäärä ja

$p$  = normaali kasvusadannes.

Kaavan mukaan kasvusadannes suurenee, kun puuston määrää vähennetään. Kaava sopii kuuselle, jalokuuselle ja pyökille. Samoille puulajeille hän on esittänyt alipuustoisien metsikön kokonaiskasvulle kaavan:

$$Z \text{ red.} = b \cdot Z (2 - b), \text{ missä}$$

$Z$  = metsikön normaali kokonaiskasvu ja

$b$  = puuston suhteellinen määrä.

Männille ja tammelle hän esittää samanmuotoisen kaavan.

DUERR on esittänyt tämän kaavan yleisessä muodossa (1938, ss. 600—604):

$$g = dG(1 + K - Kd), \text{ missä}$$

$g$  = alipuustoisien metsikön kymmenen vuoden kasvu,

$G$  = samanikäisen täyspuustoisien metsikön kasvu,

$d$  = alipuustoisien metsikön kuutiomäärän suhde täyspuustoisien metsikön kuutiomäärään ja

$K$  = puulajille ominainen vakio; arvot yleensä 0.6—1.1.

Näiden kaavojen mukaan kasvu vähenee puuston määrän pienetessä, mutta kasvun pieneneminen ei ole yhtä suuri kuin puuston väheneminen. Merkille pantavaa on, että kasvun pieneneminen on kaavojen mukaan riippumaton metsikön iästä. Kaavat ilmoittavat puuston määrän ja kasvun välisen suhteen yleisesti, puuston äkillisen vähenemisen aiheuttamia kasvureaktioita ei niissä ole erityisenä tapauksena käsitelty.

DAVIS (1954, s. 74) esittää eräiden tutkijoiden tuloksia, joiden mukaan mm. iällä on tietyissä tapauksissa huomattava merkitys kasvun vähenemiseen. Hän epäilee, voidaanko puuston määrän vähenemisen ja kasvun vähenemisen suhdetta lainkaan esittää yleispätevillä kaavoilla, toisin sanoen puuston määrän vähenemisen aiheuttama suhteellinen kasvun menetys on suuruudeltaan erilainen erilaisissa metsiköissä ja eri iänkohtina.

### 32. Kasvu- ja tuottotaulukoiden aineisto

Äkillisesti syntyvästä vajaapuustoisuudesta johtuvan kasvun menetyksen tutkimiseen tarjoavat hakkuilla käsiteltyjen metsien kasvu- ja tuottotaulukot hyvän kotimaisen aineiston. Tietojen on pohjaututtava kotimaisiin tutkimuksiin, sillä metsien käsittelytapojen moninaisuudesta, kasvupaikkaluokitusten erilaisuudesta ja monien tutkimusten keskenään ristiriitaisista tuloksista johtuen ulkomaisista tutkimuksista ei ole tämänkaltaisissa tapauksissa hyötyä (NYYSSÖNEN 1954, s. 10). Tässä tutkielmassa on käytetty kotimaisten kasvu- ja tuottotaulukoiden seuraavia kehityssarjoja:

1) KOIVISTON (1959) kokoomana toistuvien harvennuksien käsiteltyjen metsiköiden kasvu- ja tuottotaulukot Etelä-Suomesta<sup>1</sup> (ho). Ne käsittävät MT:n, VT:n ja CT:n männiköt, OMT:n ja MT:n kuusikot sekä OMT:n rauduskoivikot. Taulukot perustuvat NYYSSÖNEN, VUOKILAN ja MÄKISEN tutkimuksiin ja käsittävät puhtaita metsiköitä. Taulukoissa on kaikki tärkeimmät kasvu- ja tuottotaulukoiden kehityssarjat.

2) KOIVISTON (1959) kokoomana harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen metsiköiden kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskosta<sup>2</sup> (ty). Ne käsittävät MT:n, VT:n ja CT:n männiköt sekä OMT:n ja MT:n kuusikot. Taulukot perustuvat III valtakunnan metsien inventoinnin yhteydessä kerättyyn aineistoon. Siihen kuuluvat ne »puhtaat», so. kuutiomäärästä alle 20 %

<sup>1</sup> N. 62 leveysasteen eteläpuolelle jäävä maan osa.

<sup>2</sup> Alue, jonka pohjoisrajana on leveysaste 63,5, Pohjanmaa poisluettuna.

sekapuuta käsittävät koealat, joiden metsänhoidollinen tila oli arvosteltu hyväksi tai tyydyttäväksi, joiden tiheys oli vähintään 0.7 ja joiden kasvupaikalla ei esiintynyt soistuneisuutta tai sanottavaa kivisyyttä. Taulukoissa ei ole ilmoitettu kasvusadanneksia eikä harvennuspoistumaa.

3) ILVESSALON (1956) III valtakunnan metsien inventoinnin tulokset maan eteläpuoliskon kasvullisilta metsämaita (ke). Julkaisuun sisältyy mm. keskikuutiomäärä ikäluokittain eri metsätyyppien ja puulajien metsissä (taulukko 32), keskikasvu ikäluokittain eri metsätyyppien ja puulajien metsissä (taulukko 57) ja keskimääräinen kuutiokasvusadannes ikäluokittain (taulukko 67). Näiden taulukoiden aineistoon sisältyy myös sekametsiä ja soistumisen, kivisyyden tai muun syyn takia metsätyyppin puhtaasta muodosta poikkeavia metsiköitä.

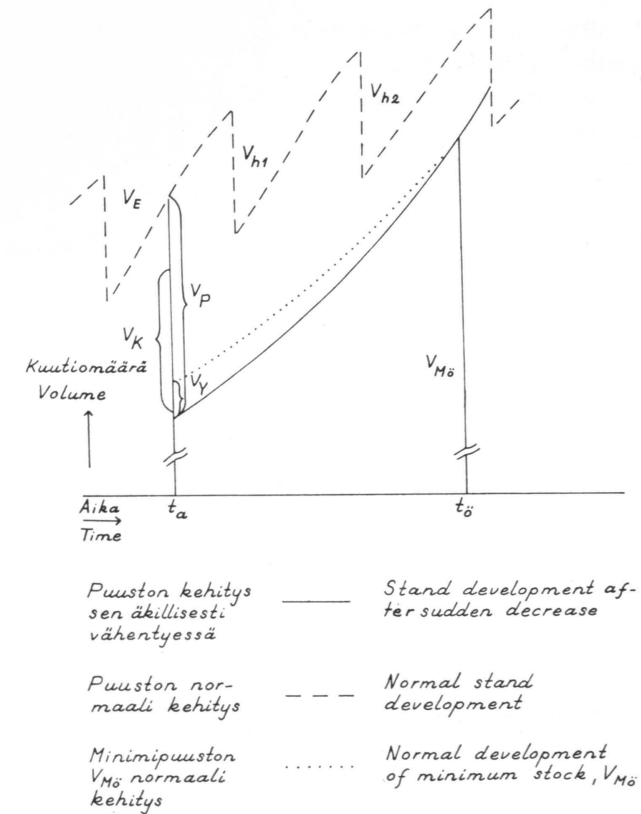
Mainittujen kehityssarjojen mukaan metsikön vuotuinen kuutiokasvu saavuttaa maksiminsa hoidetuissa koivikoissa 25—30, hoidetuissa männiköissä 35—45 ja hoidetuissa kuusikoissa 45—55 ikävuosien välillä. Nykymetsien keskimääräisillä kasvuluvuilla ei ole selvää maksimia, joskin 50 vuoden iänkohdalla ne ovat yleensä suurimmillaan.

### 33. Kasvutappion laskentametodi

Kasvu- ja tuottotaulukoiden aineistosta piirrettiin kunkin metsikkölajin kuutiomäärän kehitys millimetripaperille ruudustoon, jossa vaaka-akselina oli ikä ja pystyakselina puuston kuutiomäärä. Vastaavasti piirrettiin kuutiokasvun kehityksen kuvaaja. Näin oli mahdollista määrittää kuutiomäärä ja kuutiokasvu miltä iänkohdalta tahansa. Alkuvuosiin kehitys, josta ei kaikissa julkaisuissa sarjoissa ole tietoja, arvioitiin IIVESSALON julkaisemien (1920) luonnonmetsien kasvu- ja tuottotaulukoiden perusteella. Milloin kasvu- ja tuottotaulukoissa ei ole ilmoitettu kokonaiskasvua, laskettiin se kymmenvuotisjaksoina ajakson keskivälin kasvuluvon perusteella. Kuutiokasvuprosentti laskettiin myös puuston kuorellisesta kuutiomäärästä.

Metsikön kuutiomääränä ennen puustovajauksen syntyä ( $V_E$ ) pidettiin kasvu- ja tuottotaulukon puuston kuutiomäärää. Minimipuusto laskettiin tästä kuutiomäärästä vähentämällä siitä puolet hakkuukierron harvennuspoiston määrää. Harvennusaste arvioitiin 20—30 %:ksi puuston kuutiomäärästä, hoidetuissa metsissä suuremmaksi kuin keskimääräisissä, pitäen ohjeena kasvu- ja tuottotaulukoiden harvennuspoistojen määrää. Näin kootusta aineistosta laskettiin kasvun väheneminen metsikön normaaliin kehitykseen verrattuna kasvun yleisen lakien ja kuutiomäärän sekä kasvun välisten suhteiden perusteella seuraavalla tavalla.

Milloin minimipuuston äkillisesti syntyvä vajoaus on enintään 40 %, katsottiin metsikkö vielä kasvatuskelpoiseksi. Tällaisen kasvatuskelpoisen metsikön kehitys on kuvattu piirroksessa 1.



Piirros 1. Puuston äkillisen vähenemisen jälkeen vielä kasvatuskelpoisen metsikön kehitys.  
Figure 1. Development of remaining stand after reduction still capable for raising.

Jäävä puusto ( $V_Y$ ) kasvaa alipuustoisuusajana ( $t_a - t_0$ ) niin paljon, että metsikön kuutiomäärä saavuttaa normaalin kehityksen minimipuuston määrän ajankohtana  $t_0$ . Piirrokseseen on merkitty puustovajaus ( $V_K$ ), joka on minimipuuston ja jäävän puuston erotus ajankohdalla  $t_a$ , sekä erotus  $V_Y$ , joka on poistuvan puuston ja normaalin kehityksen mukaan alipuustoisuusajana hakattavaksi tulevien harvennuspoistojen alkuarvojen erotus ajankohtana  $t_a$ . Se on samalla ajankohdan  $t_0$  minimipuuston niiden alkuarvojen erotus, joista toinen on saatu käyttämällä alipuustoisuusajan puolivälin kasvusadanneksena metsikön normaalin kehityksen sadannesta ja toinen käyttämällä vastaavana sadanneksena edellistä suurempaa jäävän puuston sadannesta. Jäävän puuston suhteellinen kasvu suurenee normaaliin kehitykseen verrattuna. Tämä kasvun lisäys vastaa edellä mainittua puustoerotusta,  $V_Y$ .

Pyrittäessä vertaamaan metsikön kuutiomäärän ja kasvun kehitystä puuston äkillisen vähenemisen jälkeen saman metsikön normaaliin kehitykseen kasvu- ja tuottotaulukoiden aineiston perusteella, on ensiksi laskettava alipuus-

toisuus aika eli aika, jonka kuluessa jäävän puuston kuutiomäärä saavuttaa metsikön normaalin kehityksen tason. Se määritettiin siten, että ensin arvioitiin alipuustoisuusajaksi jokin todennäköiseltä tuntuva aikajakso ja jäävälle puustolle ( $V_{Ja}$ ) laskettiin loppuarvo tämän jakson päättyessä. Kasvusadanneksena käytettiin oletetun alipuustoisuusajan puolivälin sadannesta. Milloin minimipuuston vajaus on suurempi kuin 20 %, korotettiin kasvu- ja tuottotaulukoiden sadannesta ILVESSALON (1948, ss. 126—128) ilmoittamien, tiheydeltään erilaisten metsiköiden kasvusadannesten suhteessa. Mikäli laskelmassa saatu jäävän puuston loppuarvo oli taulukoista saatua saman ajankohdan normaalin kehityksen minimipuustoa pienempi, otettiin laskelman pohjaksi pitempi ajankoko, ja mikäli se oli suurempi, meneteltiin päinvastoin. Näin jatkettiin kunnes kuutiomäärän kehityksen graafisen kuvaajan ja koronkorkotaulukon avulla löydettiin sellainen alipuustoisuus aika, jonka kuluessa jäävä puusto saavuttaa normaalin kehityksen minimipuuston tason. — Alipuustoisuusajan laskennassa voidaan käyttää myös normaalin kehityksen kasvusadannesta, jolloin saadaan jäävän puuston normaalia kehitystä vastaava alipuustoisuus aika.

Kasvutappion laskennalle tarjoutuu tämän jälkeen useita mahdollisuuksia.

1) Kasvutappio voidaan ensiksikin laskea alipuustoisuusajan normaalin kehityksen harvennuspoistojen ja oletetun, äkillisesti poistuvan puuston erotuksena. Harvennuspoistoihin on otettava mukaan alipuustoisuusajan lopulla harvennettavissa oleva puusto (= minimipuuston ylittävä osa). Alipuustoisuus aika lasketaan joko puuston normaalin kehityksen kasvusadannesta taikka edellistä suurempaa, jäävän puuston tiheyden pienenemistä vastaavaa sadannesta käyttäen. Edellisessä tapauksessa on alipuustoisuus aika pitempi ja harvennuspoistojen määrä suurempi kuin jälkimmäisessä tapauksessa. Poistuva puusto vähennetään edellisessä tapauksessa kokonaisuudessaan harvennuspoistojen yhteisestä määrästä. Jälkimmäisessä tapauksessa vähennetään vain se osa poistuvasta puustosta, joka ylittää erotuksen  $V_Y$ . Tämä poistuvasta puustosta vähennettävä osa voidaan laskea joko harvennuspoistojen alkuarvojen avulla taikka alipuustoisuusajan lopun minimipuuston kahden alkuarvon erotuksena. Kaavan muodossa on kasvutappion suuruus seuraava:

$$(7) I_X = \sum (V_{h1} + V_{h2} + \dots + V_{h\delta}) - V_P,$$

missä  $V_{h1}$  on ajankohdan  $t_a$  jälkeen ensimmäinen harvennuspoisto,  $V_{h2}$  toinen jne.

2) Kasvutappio voidaan laskea myös koronkorkoperiaatteella siten, että ensin lasketaan kunkin alipuustoisuusajalle sattuvan harvennuspoiston alkuarvo ajankohtana  $t_a$  käyttäen kasvusadanneksena metsikön normaalin kehityksen sadannesta laskenta-ajanjaksona. Sitten lasketaan kunkin harvennuspoiston ja sen alkuarvon erotus. Näiden erotusten summa on kasvutappion määrä. Kaavan muodossa:

$$(8) I_X = V_{h1} - \frac{V_{h1}}{(1.0p_1)^{n1}} + V_{h2} - \frac{V_{h2}}{(1.0p_2)^{n2}} + \dots + V_{h\delta} - \frac{V_{h\delta}}{(1.0p_\delta)^{n\delta}}$$

Sama tulos saavutetaan, jos harvennuspoiston ja sen alkuarvon erotuksen asemesta kullekin harvennuspoistolle lasketaan sen alkuarvon koronkorko. Kummassakin tapauksessa laskenta kohdistuu niihin harvennuspoistoihin, joiden alkuarvojen summa ajankohtana  $t_a$  on  $V_P - V_Y$ .

3) Kasvutappio voidaan vihdoin laskea yksinkertaisena korkona lähtien siitä, että puuston äkillisessä vähentyessä puustovajaus  $V_K$  ei osallistu kasvutapahtumaan alipuustoisuusajana. Normaalisti kasvatettavan puuston kehityksessä minimipuuston kasvusta osa poistetaan harvennuksissa, osa jää kartuttamaan puustopääomaa. Nyt vain jäävän puuston kasvu kartuttaa puustoa korkoa korolle periaatteen mukaan, mutta puustovajasta vastaavan puustopääoman kasvu menetetään alipuustoisuusajalta. Metsikön normaalisti kehityksessä poistettaisiin tätä kasvua vastaava osa kokonaiskasvusta alipuustoisuusajan harvennuksissa. Se olisi — harvennusjakson pituudesta ja siitä riippuen, paljonko harvennusjakson kasvusta jää pysyvästi puuston määrää kartuttamaan — keskimäärin vain muutaman vuoden kartuttamassa kasvavaa puustopääomaa. Yksinkertainen korko sopii tässä tapauksessa kasvun kuvaajaksi paremmin kuin koronkorko. Minimipuuston ylittävä osa poistuvasta puustosta voidaan jättää huomiotta, sillä se olisi heti poistettavissa kasvutappiota — metsikön normaaliin kehitykseen verrattuna — aiheuttamatta. Kasvutappion suuruus saadaan siis laskemalla puustovajauksen yksinkertainen korko alipuustoisuusajalta, viimeksi mainittu laskettuna jäävän puuston normaalia kehitystä suuremman kasvusadanneksen mukaan. Puustovajauksen koron laskennassa käytetään sadanneksena metsikön normaalin kehityksen kasvusadannesta alipuustoisuusajan puolivälissä. Kaavan muodossa lausuttuna:

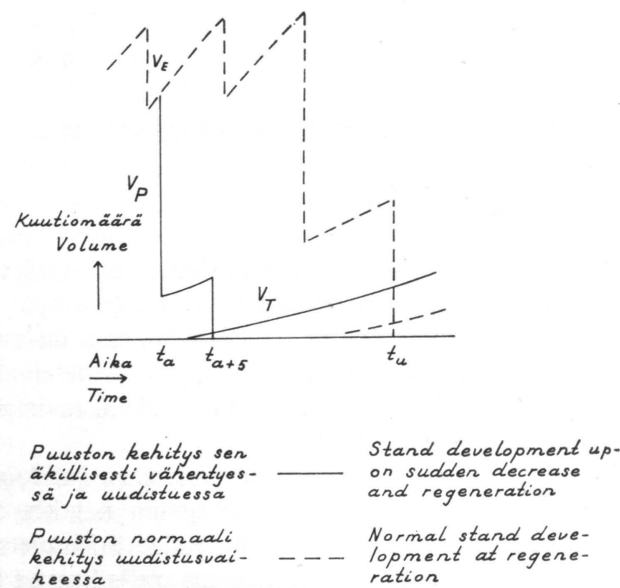
$$(9) I_X = \frac{p_E \times t_{a-\delta} \times V_K}{100}$$

Eri laskentatapoja keskenään verrattaessa havaitaan, että ensimmäinen ja toinen tapa perustuvat alipuustoisuusajan harvennuspoistojen määrän melko tarkkaan tuntemiseen. Kun kasvu- ja tuottotaulukoissa on vain hoidettujen metsien harvennuspoistot ilmoitettu, rajoittuu tämän menetelmän käyttäminen näihin kehityssarjoihin. Tosin harvennuspoistot voidaan muistakin kehityssarjoista arvioida, mutta tulos on epävarma.

Kolmas esitetystä menetelmästä on käyttökelpoinen kaikkiin käytettävissä oleviin kasvu- ja tuottotaulukoiden kehityssarjoihin nähden. Sen vuoksi on tässä tutkielmassa käytetty sitä eli kaavaa (9). Hoidettujen metsien kehityssarjoista on laskettu vertailun vuoksi eräitä tuloksia myös kaavaa (7) ja (8) käyttäen. Kaikki taulukoissa esitettävät tulokset on kuitenkin laskettu kaavalla (9). Se antaa nuoriin metsiin sovellettuina ilmeisesti hieman liian pieniä arvoja,

sillä harvennusjakson kasvusta jää tässä metsikön kehitysvaiheessa huomattava osa kartuttamaan puustoa ja tämän osan kasvulle olisi koronkorke sopivampi laskentatapa kuin yksinkertainen korko. Puustovajauksen jakaminen kahteen osaan korkolaskua silmällä pitäen on kuitenkin työläs tehtävä eikä siihen ole tämän tutkielman puitteissa ryhdytty.

Milloin äkillisesti syntyvä minimipuuston vajuus on suurempi kuin 40 %, katsottiin metsikkö uudistettavaksi. Tällaisessa uudistettavassa metsässä jäävä puusto ei saavuta kiertoaikana minimipuuston kuutiomäärää. Alipuustoisuusajan ja minimipuuston vajuuden kasvun määrittämiseen perustuva kasvutappion laskeminen soveltuu tällaisiin tapauksiin huonosti eritoten, kun kaavassa (9) ei oteta huomioon syntyvän uuden metsän kasvua. Tämän vuoksi laskettiin kasvutappio näissä tapauksissa erotusmenetelmää käyttäen (piirros 2). Ensiksi laskettiin tutkittavan metsikön ( $V_E$ ) normaali kokonaiskasvu puustovajauksen syntymishetkestä kiertoajan loppuun ( $t_{a-u}$ ) kasvu- ja tuottotaulukoista. Näin saadusta jakson kokonaiskasvusta vähennettiin vastaavalla tavalla lasketut jäävän puuston ja uuden metsän kokonaiskasvut samalta ajanjaksolta. Jäävän puuston kasvussa otettiin puiden kasvutilan paranemisesta johtuva kasvusadanneksen suureneminen huomioon. Uuden metsän kasvuna käytettiin luontaisesti syntyvän puheena olevan metsikkölajin ja kehityssarjan kasvukuja. Uudistamisaikana käytettiin viittä vuotta. Oletettiin, että viiden vuoden kuluessa alueelle syntyy luontaisesti riittävä taimisto, jonka jälkeen jäävä puusto poistetaan välittömästi.



Piirros 2. Puuston äkillisen vähenemisen johdosta uudistettavan metsikön kehitys.

Figure 2. Development of stand to be regenerated due to sudden decrease in the stock.

Selostettu laskentatapa on kaavan muodossa lausuttuna:

$$(10) I_X = I_{Ea-u} - (I_{J5} + I_{Ta+5-u})$$

Laskelmat suoritettiin sellaista tapausta koskevana, missä minimipuuston vajuus on 50 sadannesta. Puustovajauksen syntymisen ajankohdat ovat samat kuin kasvatettavien metsien kasvutappiolaskelmissa. Kiertoaikoina käytettiin männiköissä ja kuusikoissa 80 vuotta, koivikoissa 70 vuotta, mutta vertailun aikaansaamiseksi myös 10 vuotta pitempää aikaa.

Tulokset ilmoitetaan yhden kiintokuutiometrin tarkkuudella, vaikka käytetyt laskentamenetelmät eivät johda näin suureen numeeriseen tarkkuuteen kaikissa tapauksissa.

## 4. Tulokset

### 41. Kasvutappio kasvatettavissa metsissä

Tulokset selostetulla tavalla suoritetuista laskelmista esitetään kasvatettavien metsien osalta taulukoituina seuraavista metsikkölajeista ja kehityssarjoista:

Metsätyyppi	OMT			MT			VT			CT		
	ho	ty	ke	ho	ty	ke	ho	ty	ke	ho	ty	ke
Männiköt	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kuusikot	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—
Koivikot	1	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—

Taulukoissa esitetään kunkin metsikkölajin puuston määrä ennen puustovajauksen syntyä, minimipuuston arvioitu määrä, laskettu kasvutappio ja alipuustoisuus aika hehtaaria kohden laskettuna.

Tulosten mukaan kasvutappio on hyvillä metsätyypeillä ja hoidetuissa metsiköissä suurempi kuin karuilla metsätyypeillä ja hoitamattomissa metsissä. Puustovajauksen suhteellisen määrän suuretessa kasvutappio kasvaa voimakkaasti. Suurimmat taulukoissa olevat kasvutappioluvut ovat noin 50 k-m<sup>3</sup>/ha. Näin suuriin määriin laskelmissa päädytään OMT:n hoidetuissa kuusikoissa minimipuuston vajuuden ollessa 40 %. Pienimmät kasvutappioluvut ovat CT:n keskimääräisissä männiköissä, missä kasvutappio on 3—4 k-m<sup>3</sup>/ha puustovajauksen ollessa 20 %.

Tulokset esitetään taulukoissa 1—6 (ss. 18—23).

Edellä mainittujen metsikkölajien lisäksi suoritettiin laskelmia myös VT:n keskimääräisistä kuusikoista, mutta kun tällaiset metsiköt uudistetaan tavallisesti männylle, ei tuloksia esitetä taulukoiden yhteydessä. Laskelmien mukaan olisi tällaisen, vielä kasvatettavan 50 vuotiaan metsikön kasvutappio eri puus-

Taulukko 1. Minimipuusto ja kasvatappio hehtaaria kohden sekä alipuustoisuusaika kasvatettavissa männiköissä laskettuna eri puustovajaussadanneksien ja iänkohtien mukaan, MT.

Table 1. Minimum stock and increment loss per hectare, and period of stock deficiency in pine stands presented according to different stock deficiency per cents and ages on MT.

Metsikön — Stand ikä $V_E$ $V_M$ age kuorineen incl. bark v k-m <sup>3</sup> k-m <sup>3</sup> years cu.m. cu.m.	Minimipuuston vajaus, sadannesta (qK) Deficiency below minimum stock, per cent													
	20				30				40					
	$V_K^1$	$V_J$	$I_X$	$t_{a-\delta}$	$V_K$	$V_J$	$I_X$	$t_{a-\delta}$	$V_K$	$V_J$	$I_X$	$t_{a-\delta}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Toistuvien harvennuksien käsittely

Stands treated with repeated thinnings

30	115	100	20	80	11	7	30	70	21	9	40	60	36	13
40	165	140	28	112	12	8	42	98	24	10	56	84	41	15
50	208	178	36	142	12	8	53	125	26	12	71	107	43	18
60	240	214	43	171	12	10	64	150	27	15	86	128	43	22
70	263	240	48	192	12	11	72	168	28	20	96	144	44	25

Harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsittely

Satisfactorily or well-managed stands

30	96	85	17	68	12	9	26	59	24	18	34	51	41	27
40	140	120	24	96	12	11	36	84	24	17	48	72	43	28
50	182	160	32	128	12	11	48	112	24	16	64	96	44	24
60	215	190	38	152	11	11	57	133	21	14	76	114	37	18
70	222	200	40	160	8	8	60	140	18	12	80	120	25	13

III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan keskimäärin

Average according to the Third National Forest Inventory

30	76	67	13	54	6	7	20	47	14	12	27	40	27	18
40	100	88	17	71	6	8	26	62	15	13	35	53	28	19
50	116	103	21	82	6	8	31	72	16	14	41	62	28	20
60	126	112	22	90	6	8	34	78	15	14	45	67	26	21
70	135	121	24	97	6	9	36	85	13	14	49	72	24	21

<sup>1</sup>  $V_K$  ja  $V_J$  kuorineen,  $I_X$  kuoretta.  
 $V_K$  and  $V_J$  incl. bark,  $I_X$  excl. bark.

Taulukko 2. Minimipuusto ja kasvatappio hehtaaria kohden sekä alipuustoisuusaika kasvatettavissa männiköissä laskettuna eri puustovajaussadanneksien ja iänkohtien mukaan, VT.

Table 2. Minimum stock and increment loss per hectare, and period of stock deficiency in pine stands presented according to different stock deficiency per cents and ages on VT.

Metsikön — Stand ikä $V_E$ $V_M$ age kuorineen incl. bark v k-m <sup>3</sup> k-m <sup>3</sup> years cu.m. cu.m.	Minimipuuston vajaus, sadannesta (qK) Deficiency below minimum stock, per cent													
	20				30				40					
	$V_K^1$	$V_J$	$I_X$	$t_{a-\delta}$	$V_K$	$V_J$	$I_X$	$t_{a-\delta}$	$V_K$	$V_J$	$I_X$	$t_{a-\delta}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Toistuvien harvennuksien käsittely

Stands treated with repeated thinnings

30	80	72	14	58	7	6	21	51	13	8	29	43	22	10
40	118	103	21	82	8	7	31	72	16	9	41	62	28	12
50	154	134	27	107	9	7	40	94	18	10	54	80	32	14
60	185	161	32	129	9	8	48	113	19	13	64	97	34	18
70	208	185	37	148	9	9	56	129	20	16	74	111	37	23

Harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsittely

Satisfactorily or well-managed stands

30	71	59	12	47	8	9	18	41	17	15	24	35	30	20
40	110	94	18	79	9	10	28	66	18	16	38	56	30	20
50	145	125	25	100	9	10	38	87	19	15	50	75	33	21
60	170	150	30	120	9	11	45	105	18	15	60	90	33	21
70	186	168	33	125	10	13	50	118	17	14	68	100	31	20

III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan keskimäärin

Average according to the Third National Forest Inventory

30	60	54	11	43	5	8	16	38	10	12	22	32	19	15
40	80	72	14	56	6	9	22	50	10	11	29	43	19	16
50	98	88	18	70	6	8	26	62	10	10	35	53	19	16
60	106	96	19	77	5	8	29	67	9	10	38	58	16	16
70	108	98	20	78	4	8	29	69	9	12	39	59	14	17

<sup>1</sup>  $V_K$  ja  $V_J$  kuorineen,  $I_X$  kuoretta.  
 $V_K$  and  $V_J$  incl. bark,  $I_X$  excl. bark.

Taulukko 3. Minimipuusto ja kasvatappio hehtaaria kohden sekä alipuustoisuus aika kasvatettavissa männiköissä laskettuna eri puustovajaussadanneksien ja iänkohtien mukaan, CT.

Table 3. Minimum stock and increment loss per hectare, and period of stock deficiency in pine stands presented according to different stock deficiency per cents and ages on CT.

Metsikön — Stand ikä age	$V_E$ kuorineen incl. bark	$V_M$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	Minimipuuston vajeus, sadannesta (qK) Deficiency below minimum stock, per cent											
			20				30				40			
			$V_K^1$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

#### Toistuvien harvennuksien käsittely

##### Stands treated with repeated thinnings

30	30	25	5	20	4	5	8	17	7	7	10	15	13	12
40	47	42	8	34	4	6	13	29	9	8	17	25	15	13
50	64	56	11	45	5	7	17	39	10	10	22	34	17	13
60	79	70	14	56	5	8	21	49	10	10	28	42	17	15
70	100	90	18	72	6	9	27	63	10	11	36	54	18	17

#### Harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsitelty

##### Satisfactorily or well-managed stands

30	25	20	4	16	3	14	6	14	6	16	8	12	11	22
40	40	35	7	28	5	14	10	25	8	16	14	21	14	21
50	56	50	10	40	5	13	15	35	9	15	20	30	15	20
60	72	65	13	52	5	13	20	45	10	16	26	39	18	23
70	86	77	15	62	6	14	23	54	11	17	31	46	20	26

#### III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan keskimäärin

##### Average according to the Third National Forest Inventory

30	39	34	7	27	3	5	10	24	7	9	14	20	10	15
40	47	41	8	33	4	9	12	29	8	14	16	25	11	18
50	58	53	11	42	4	10	16	37	8	14	21	32	12	19
60	68	63	13	50	4	8	19	44	7	12	26	37	12	19
70	73	68	14	54	3	8	20	48	6	11	27	41	11	19

<sup>1</sup>  $V_K$  ja  $V_J$  kuorineen,  $I_X$  kuoretta.  
 $V_K$  and  $V_J$  incl. bark,  $I_X$  excl. bark.

Taulukko 4. Minimipuusto ja kasvatappio hehtaaria kohden sekä alipuustoisuus aika kasvatettavissa kuusikoissa laskettuna eri puustovajaussadanneksien ja iänkohtien mukaan, OMT.

Table 4. Minimum stock and increment loss per hectare, and period of stock deficiency in spruce stands presented according to different stock deficiency per cents and ages on OMT.

Metsikön — Stand ikä age	$V_E$ kuorineen incl. bark	$V_M$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	Minimipuuston vajeus, sadannesta (qK) Deficiency below minimum stock, per cent											
			20				30				40			
			$V_K^1$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

#### Toistuvien harvennuksien käsittely

##### Stands treated with repeated thinnings

30	83	70	14	56	11	8	21	49	16	8	28	42	28	10
40	140	120	24	96	13	8	36	84	27	10	48	72	47	14
50	193	165	33	132	15	8	50	115	31	12	66	99	49	15
60	243	215	43	172	15	9	65	150	29	12	86	129	48	16
70	292	265	53	212	15	10	80	185	24	13	106	159	50	17

#### Harvennushakkuun tyydyttävästi tai hyvin käsitelty

##### Satisfactorily or well-managed stands

30	80	72	14	58	9	8	21	51	15	11	29	43	26	16
40	126	116	23	93	10	8	35	81	20	12	46	70	35	17
50	164	150	30	120	10	8	45	105	22	12	60	90	41	17
60	194	180	36	144	11	9	54	126	22	12	72	108	39	17
70	214	200	40	160	12	10	60	140	21	13	80	120	39	18

#### III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan keskimäärin

##### Average according to the Third National Forest Inventory

30	71	64	12	52	7	10	19	45	14	13	26	38	26	18
40	99	90	18	72	7	9	27	63	14	12	36	54	26	16
50	121	112	22	90	7	8	34	78	14	11	45	67	26	14
60	138	128	26	102	7	9	38	90	14	12	51	77	26	16
70	151	140	28	112	7	9	42	98	14	13	56	84	26	17

<sup>1</sup>  $V_K$  ja  $V_J$  kuorineen,  $I_X$  kuoretta.  
 $V_K$  and  $V_J$  incl. bark,  $I_X$  excl. bark.

Taulukko 5. Minimipuusto ja kasvatappio hehtaaria kohden sekä alipuustoisuus aika kasvatettavissa kuusikoissa laskettuna eri puustovajaussadanneksien ja iänkohtien mukaan, MT.

Table 4. Minimum stock and increment loss per hectare, and period of stock deficiency in spruce stands presented according to different stock deficiency cents and ages on MT.

Metsikön — Stand ikä age	$V_E$ kuorineen incl. bark	$V_M$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	Minimipuuston vajuus, sadannesta (qK) Deficiency below minimum stock, per cent											
			20				30				40			
			$V_K^1$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Toistuvien harvennuksin käsitelty

Stands treated with repeated thinnings

30	50	44	9	35	9	9	13	31	15	11	17	27	22	13
40	100	83	17	66	12	9	25	58	22	12	33	50	33	15
50	153	130	26	104	14	10	39	91	24	12	52	78	38	16
60	203	180	36	144	13	11	54	126	25	13	72	108	37	15
70	242	217	43	174	12	10	65	152	24	13	85	132	36	15

Harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsitelty

Satisfactorily or well-managed stands

30	42	37	7	30	8	17	11	26	16	24	15	22	24	33
40	82	75	15	60	10	14	23	52	20	19	30	45	31	25
50	130	114	23	91	11	12	34	80	22	17	46	68	37	22
60	162	140	28	112	11	12	42	98	22	16	56	84	36	21
70	181	160	32	128	11	12	48	112	22	16	64	96	35	20

III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan keskimäärin

Average according to the Third National Forest Inventory

30	69	64	12	52	5	6	19	45	11	9	26	38	20	13
40	90	80	16	64	6	7	24	56	11	9	32	48	22	14
50	107	95	19	76	7	8	29	66	12	10	38	47	23	16
60	117	105	21	84	7	8	32	73	12	11	42	63	23	16
70	123	110	22	88	6	9	33	77	10	11	44	66	20	16

<sup>1</sup>  $V_K$  ja  $V_J$  kuorineen,  $I_X$  kuoretta.  
 $V_K$  and  $V_J$  incl. bark,  $I_X$  excl. bark.

Taulukko 6. Minimipuusto ja kasvatappio hentaaria kohden sekä alipuustoisuus aika kasvatettavissa koivikoissa laskettuna eri puustovajaussadanneksien ja iänkohtien mukaan, OMT ja MT.

Table 6. Minimum stock and increment loss per hectare, and period of stock deficiency in birch stands presented according to different stock deficiency per cents and ages on OMT and MT.

Metsikön — Stand ikä age	$V_E$ kuorineen incl. bark	$V_M$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	Minimipuuston vajuus, sadannesta (qK) Deficiency below minimum stock, per cent											
			20				30				40			
			$V_K^1$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years	$V_K$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$V_J$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$I_X$ k-m <sup>3</sup> cu.m.	$t_{a-\delta}$ v years
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

OMT, toistuvien harvennuksin käsitelty rauduskoivikko

OMT, Betula verrucosa stand, treated with repeated thinnings

30	99	72	14	58	8	8	22	50	17	11	29	43	28	15
40	137	113	23	90	8	8	34	79	17	11	45	68	29	15
50	169	145	29	116	8	8	44	101	17	11	58	87	29	15
60	187	164	33	131	8	9	49	115	17	13	65	99	29	18
70	195	174	35	139	8	10	52	122	18	15	69	105	30	21

OMT, III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan, koivuvalt. keskimäärin

OMT, according to the Third National Forest Inventory, birch dominated in average

30	69	56	11	45	4	6	17	39	10	10	22	34	15	13
40	88	75	15	60	5	7	23	52	11	10	30	45	19	14
50	107	92	18	74	6	7	28	64	11	10	37	55	20	15
60	117	103	21	82	6	7	31	72	12	12	41	62	21	17
70	123	112	22	90	6	8	34	78	12	13	45	67	22	19

MT, III valtakunnan metsien inventoinnin mukaan, koivuvalt. keskimäärin

MT, according to the Third National Forest Inventory, birch dominated in average

30	64	52	10	42	4	7	15	37	8	9	20	32	15	13
40	84	71	14	57	5	7	21	50	9	9	28	43	17	13
50	103	88	17	71	5	7	26	62	9	9	35	53	18	14
60	109	95	19	76	5	7	29	66	9	10	38	57	19	16
70	115	102	20	82	5	8	31	71	10	12	41	61	20	18

<sup>1</sup>  $V_K$  ja  $V_J$  kuorineen,  $I_X$  kuoretta.  
 $V_K$  and  $V_J$  incl. bark,  $I_X$  excl. bark.

toivajaussadanneksilla seuraava: 20 %, 5 k-m<sup>3</sup>; 30 %, 9 k-m<sup>3</sup> ja 40 %, 18 k-m<sup>3</sup>. Saman suuruinen on kasvutappio kasvullisilla korvilla, kun taas kasvullisten rämeiden kasvutappiot ovat CT:n keskimääräisten männiköiden vastaavien lukujen suuruisia.

Laskelmia suoritettiin kaavaa (9) käyttäen myös tapauksille, missä puustovajaus on 50 %. Kun tällaisissa tapauksissa metsä yleensä uudistetaan, ei tuloksia tässä yhteydessä esitetä. Mainittakoon kuitenkin, että kasvutappioiksi saatiin yleensä noin kaksi kertaa niin suuret arvot kuin 40 %:n puustovajauksille.

#### 42. Kasvutappio uudistettavissa metsissä

Laskelmat kasvutappion suuruudesta uudistettavissa metsissä tapauksissa, missä puustovajaus on viisikymmentä sadannesta, on tehty samoille metsikkölajeille, kehityssarjoille ja ajankohdille kuin kasvatettavissa metsissäkin. Vertailukiertoaika koskevissa laskelmissa on kuitenkin tyydytty vain kolmeen iänkohtaan, nimittäin 30, 50 ja 60 vuoteen. Kasvutappion lisäksi taulukoissa on ilmoitettu jäävän puuston kasvu viidessä vuodessa eri iänkohtiin kohdistuvien arvioiden ääriarvoina.

Tulosten mukaan kasvutappion maksimi on suurempi kuin kasvatettavissa metsissä, hoidetuissa nuorissa ja keski-ikäisissä kuusikoissa jopa neljä tai viisi kertaa niin suuri, mutta toisissa tapauksissa vain vähän suurempi kuin taulukoissa 1—6 esitetty 40 %:n puustovajauksen kasvutappio.

Tulokset esitetään taulukoissa 7, 8 ja 9 (ss. 25—26).

Kasvutappion suuruus muuttuu, jos puustoa jää enemmän tai vähemmän kuin 50 % minimipuustosta. Nämä muutokset voidaan arvioida ilmoitettua jäävän puuston kasvua muuttamalla. Samoin muuttuu kasvutappio, jos uudistuminen tapahtuu nopeammin taikka hitaammin kuin viidessä vuodessa. Edellisessä tapauksessa kasvutappio pienenee, jälkimmäisessä se suurenee. Edelleen saadaan toisenlaiset kasvutappion lukuarvot, jos luontaisen uudistamisen sijasta suoritetaan metsän viljely. Viljelyä käyttäen syntyneistä metsiköistä on kehityssarjoja käytettävissä toistaiseksi vain kuusikoista. Niiden mukaan on OMT:n viljelykuusikon kuutiokasvu 20—40 ikävuosien välillä 20—40 k-m<sup>3</sup> suurempi kuin luontaisesti syntyneen hoidetun kuusikon. MT:llä on vastaava ero 10—25 k-m<sup>3</sup>. Mikäli siis uudistaminen suoritetaan kuusen istutusta käyttäen, pienenee kasvutappio. Lisäksi tulee aikaisemmasta uudistumisesta koitua kasvun lisäys. Jos istutus tapahtuu neljän vuoden vanhoilla taimilla välittömästi puuston poistumisen jälkeen, voi tämä lisäys nousta kymmeneen kiintokuutiometreihin. Milloin metsä uudistetaan viljelyn avulla, on kasvutappio siis huomattavasti pienempi kuin taulukoista ilmenee. Vajaatuottoisissa metsissä voi kasvutappion asemesta ilmetä suorastaan kasvun lisäystä.

Taulukko 7. Kasvutappio uudistettavissa männiköissä laskettuna 50 prosentin puustovajauksen ja eri iänkohtien mukaan, metsätyyppittäin.

Table 7. Increment loss in regenerated birch stands calculated for 50 per cent stock deficiency, different ages, and forest site types.

Metsikön		Kiertoaika 80 v Rotation 80 years					Kiertoaika 90 v Rotation 90 years			Jäävän puuston kasvu kuoretta 5 v:ssa, k-m <sup>3</sup> /ha Increment of remaining stand excl. bark in 5 years, cu.m./ha	
metsätyyppi forest site type	puuston käsittely treatment in stand	Iänkohta, milloin puustovajaus syntyy, v Age of stand at beginning of stock deficiency, years									
		30	40	50	60	70	30	50	60		
		Kasvutappio kuoretta, k-m <sup>3</sup> /ha Increment loss excl. bark, cu.m./ha									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
MT	ho	103	100	92	88	35	64	67	71	30...20	
»	ty	78	81	81	64	25	56	68	71	22...18	
»	ke	87	86	80	68	34	84	83	74	13...12	
VT	ho	128	136	119	82	33	99	107	87	22...17	
»	ty	72	95	95	68	28	60	71	74	17...15	
»	ke	32	36	34	29	18	24	20	26	14...12	
CT	ho	73	74	70	70	20	77	81	93	13...12	
»	ty	63	65	49	34	15	55	57	48	7... 8	
»	ke	39	42	40	24	12	35	38	35	6	

Taulukko 8. Kasvutappio uudistettavissa kuusikoissa laskettuna 50 prosentin puustovajauksen ja eri iänkohtien mukaan, metsätyyppittäin.

Table 8. Increment loss in regenerated spruce stands calculated for 50 per cent stock deficiency, different ages and forest site types.

Metsikön		Kiertoaika 80 v Rotation 80 yers					Kiertoaika 90 v Rotation 90 years			Jäävän puuston kasvu kuoretta 5 v:ssa, k-m <sup>3</sup> /ha Increment of remaining stand excl. bark in 5 years, cu.m./ha	
metsätyyppi forest site type	puuston käsittely treatment in stand	Iänkohta, milloin puustovajaus syntyy, v Age of stand at beginning of stock deficiency, years									
		30	40	50	60	70	30	50	60		
		Kasvutappio kuoretta, k-m <sup>3</sup> /ha Increment loss excl. bark, cu.m./ha									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
OMT	ho	231	233	210	122	60	195	217	170	32...25	
OMT	ty	137	140	123	86	39	119	125	100	15...19	
OMT	ke	89	87	78	66	32	86	82	72	11...14	
MT	ho	233	236	217	135	54	210	213	202	19...24	
MT	ty	151	157	145	87	36	145	163	128	10...13	
MT	ke	66	70	63	43	23	62	71	56	11...12	
VT	ke	64	60	54	37	17	65	56	49	7	



Taulukko 9. Kasvutappio uudistettavissa koivikoissa laskettuna 50 prosentin puustovajauksen ja eri iänkohtien mukaan, metsätyypeittäin.

Table 9. Increment loss in regenerated birch stands calculated for 50 per cent stock deficiency, different ages, and forest site types.

Metsikön		Kiertoaika 80 v Rotation 80 years					Kiertoaika 90 v Rotation 90 years			Jäävän puuston kasvu kuoretta 5 v:ssa, k-m <sup>3</sup> /ha Increment of remaining stand excl. bark in 5 years, cu.m./ha
metsätyyppi forest site type	puuston käsittely treatment in stand	Iänkohta, milloin puustovajaus syntyy, v Age of stand at beginning of stock deficiency, years								
		30	40	50	60	70	30	50	60	
		Kasvutappio kuoretta, k-m <sup>3</sup> /ha Increment loss excl. bark, cu.m./ha								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OMT	ho <sup>1</sup>	41	30	36	48	21	21	0	20	24...23
OMT	ke	38	38	38	33	31	36	30	38	11...13
MT	ke	59	62	70	45	18*	46	70	53	10...12

Joka tapauksessa voidaan todeta, että eri metsikkölajit ja eri asteiset puustovajaukset huomioonottaen suurin absoluuttinen kasvutappio näyttää syntyvän silloin, kun OMT:n ja MT:n hoidetussa kuusikossa puustoa poistuu 20—50 ikävuosien välissä siinä määrin, että metsikkö joudutaan uudistamaan.

### 43. Tulosten luotettavuus

Tulosten luotettavuuden tarkastamiseksi suoritettiin käytettyyn laskentamenetelmään mahdollisesti sisältyvien virheiden analysointi sekä tulosten vertailu muiden tutkimustulosten kanssa.

Käytetystä laskentamenetelmästä on ensiksikin todettava, että laskelmien pohjana olevat kehityssarjat eivät ole perusteiltaan täysin samanlaisia. Hoidettujen metsiköiden kasvu- ja tuottotaulukoiden aineistoon sisältyy vain puhtaita metsätyyppisiä ja metsikkömuotoja, kun taas muiden, erityisesti keskimääräisten metsien aineisto on epäyhtenäinen sekä puulajinsa että boniteettinsa puolesta. Tietyn metsätyyppin ja puulajin eri tavoin käsiteltyjen puustojen kasvutappioluvut eivät siis ole täysin vertailukelpoisia.

Harvennusvoimakkuus ja sen avulla määritetty minimipuuston määrä arvioidaan osittain harkinnan varaisesti. On mahdollista, että arviointi ei ole osunut kohdalleen. Mikäli minimipuuston määrä on arvioitu liian suureksi, on myös puustovajaus tullut arvioiduksi liian suureksi ja alipuustoisuus aika liian pitkä, mutta kasvusadannes liian pieneksi. Tämä selviää tarkastelemalla piir-

<sup>1</sup> Rauduskoivikko. Muut kehityssarjat käsittävät sekä raudus- että hieskoivikot. *Betula verrucosa* stand. The other series include both *B. verrucosa* and *B. pubescens*.

rosta 1. Tällaisessa tapauksessa on tutkimuksessa kasvutappio tullut määritetyksi liian suureksi. Päinvastaisessa tapauksessa taas, jolloin siis tutkimuksessa ao. metsikkölajin minimipuusto on arvioitu liian pieneksi, on myös kasvutappio tullut määritetyksi liian pieneksi. Mitenkä minimipuuston määrän valinta vaikuttaa laskettuun kasvutappioon, kun puuston määrä ennen puustovajauksen syntymistä ja poistuvan puuston määrä pysyvät muuttumattomana, ilmenee seuraavasta asetelmasta. Siinä on laskettu kahden 50 vuotiaan metsikön kasvutappio lähtien kahdesta minimipuuston määrästä, taulukoissa esitetyistä (1.) ja olettaen, että jakson harvennuspoisto olisi 50 % suurempi kuin taulukoissa edellytetty (2.), jolloin minimipuusto on vastaavasti pienempi.

Metsikkölaji	$V_E$ k-m <sup>3</sup> /ha	$V_{Ma}$ k-m <sup>3</sup> /ha	$q_K$ %	$V_K$ k-m <sup>3</sup> /ha	$V_J$ k-m <sup>3</sup> /ha	$p_E$ %	$p_J$ %	$I_X$ k-m <sup>3</sup> /ha	$t_{a-5}$ v
MT ku ho (1.)	153	130	30	39	91	5.1	6.4	24	12
→ (2.)	153	118	21	27	91	5.5	6.8	11	7
VT mä ke (1.)	98	88	40	35	53	3.4	4.4	19	16
→ (2.)	98	80	33	27	53	3.7	4.9	11	11

Kuten havaitaan, pienenevät kasvutappioluvut huomattavasti, kun minimipuuston määrää pienennetään.

Esimerkit osoittavat, että minimipuuston määrän arvioinnilla on varsin keskeinen asema käytetyn laskentamenetelmän antamiin tuloksiin. Onhan esimerkeissä saatu tapauksessa, missä tietty puumäärä poistuu metsiköstä, mutta minimipuusto on arvioitu määrältään erisuuruiseksi, kaksi kasvutappiolukua, joiden ero on yhtä suuri kuin arvioidujen minimipuustojen kuutiomäärien ero.

Käsillä olevassa tutkimuksessa on hoidettujen metsien minimipuuston arvion lähtökohtana kasvu- ja tuottotaulukoiden ilmoittama kymmenen vuoden harvennuspoisto. Kun Etelä-Suomessa hoidettujen metsien harvennuskierron väli on yleisesti pienempi kuin kymmenen vuotta, laskettiin harvennuspoistoksi ilmoitettua kymmenen vuoden poistoa vähän pienempi määrä. Keskimääräisissä metsissä, joiden kehityssarjan aineistoon sisältyy myös vajaapuustoisia metsiä, on käytetty 20—25 %:n harvennuspoistoa, mitä lienee pidettävä riittävän suurena käytännössä hyväksyttävän harvennuksen määränä tämänlaatuisissa metsissä. Voitaneen näin ollen olettaa, että minimipuuston valinta on tehty käytännön metsänhoidon mukaisesti. Vielä on huomattava, että milloin metsikön minimipuuston määrä ja siis myös puustovajaus arvioidaan eri suuriksi, myöskin puustovajauksen sadanneksella on kaksi arvoa, kuten asetelman osoittamassa esimerkissä on laita. Jos kasvutappio määritetään pelkästään puustovajauksen sadanneksen perusteella, saadaan kasvutappioiksi lukuarvoja, jotka ovat huomattavasti lähempänä toisiaan kuin asetelmassa on esitetty.

Myös kasvusadanneksen valinnassa voidaan päätyä erilaisiin tuloksiin. Mitä suurempaa jäävän puuston kasvusadannesta käytetään, sitä lyhyemmäksi tulee

alipuustoisuusaika. Tämä pienentää laskelmassa saatavaa kasvutappion määrää. Päinvastainen vaikutus on sillä, että puustovajaukselle laskettava kasvusadannes samalla suurenee. Nämä vastakkain vaikuttavat tekijät eliminoivat suureksi osaksi toistensa vaikutuksen. Tämä ilmenee seuraavasta asetelmasta, missä kahdelle 50 vuotiaalle metsikölle on laskettu kasvutappio kolmea eri kasvusadannesta käyttäen.

	MT ku, ho $q_K = 30$			VT mä, ke $q_K = 40$		
Normaalin kehityksen kasvu, % ..	4.5	5.1	6.0	3.0	3.4	4.0
Jäävän puuston kasvu, % .....	5.2	6.4	7.5	3.9	4.4	5.2
Kasvutappio, k-m <sup>3</sup> /ha .....	26	24	23	20	19	20
Alipuustoisuusaika, v .....	15	12	10	19	16	14

Kasvusadanneksen valinnassa mahdollisesti tehdyt virheet eivät liene käsiteltävissä olevassa tutkimuksessa suurempia kuin asetelmassa on esitetty. Pohjautuvathan sadannekset kasvu- ja tuottotaulukoiden ilmoittamiin taikka niistä laskettuihin kasvusadanneksen arvoihin. — Tässä yhteydessä huomauttetaan vielä, että  $p_E$ :nä käytettiin sadannesta, jonka avulla lasketaan kuorellisesta puumäärästä kuoreton kasvu, ja  $p_J$ :nä sadannesta, joka antaa kuorellisesta alkuarvosta kuorellisen loppuarvon, taikka kuorettomasta kuorettoman.

Uudistettavien metsien kasvutappion laskennassa ei esiinny samoja virhelähteitä kuin edellä on esitetty kasvatettavien metsien tulosten suhteen, tai ne esiintyvät lievempinä. Taulukoidut numerosarjat ovat vain esimerkkejä lukuisista esiintyvistä tapauksista. Kasvutappion määrä vaihtelee yleensä jonkin verran eri kiertoaikoja käytettäessä. Kuitenkin esitetyt tulokset osoittavat, että tietyissä tapauksissa laskelmien osoittamalla kasvutappion määrällä ei ole oleellista eroa käytettiin 80 tai 90 vuoden kiertoaikaa. Näin on laita 50 vuoden iänkohdalla kuusikoissa ja samoin männiköissä laskelmien kohdistuessa 60 vuoden ikäisiin metsiköihin. Esitetyt vertailuluvut antavat mahdollisuuden käyttää tarkoitukseen sopivaa kiertoaikaa.

Laskentamenetelmän tarkastelun yhteydessä on kiinnitettävä huomiota myös siihen, kuinka suurella tarkkuudella tulokset voidaan ilmoittaa ottaen huomioon niiden osatekijöiden laskennallisen tarkkuuden. Tähän nähden on todettava, että puuston määrät on ilmoitettu laskelmien pohjana olevissa kehitys-sarjoissa yhden kuutiometrin tarkkuudella. Myös puustovajauksen määrä on laskettu samalla tarkkuudella. Sensijaan alipuustoisuusaajan määrityksessä tarvittavaa loppuarvotekijää ei voida pitkien alipuustoisuusaikojen yhteydessä laskea kovin tarkasti. Esim. alipuustoisuusaajan ollessa 20 v ja kasvusadanneksen ollessa 5, on mainitun tekijän arvo 1.65, mutta 21 vuoden kohdalla on sen arvo 1.79. Eroa on siis 8 %. Kun kasvusadanneksen valinta vaikuttaa myös tulokseen, ei alipuustoisuusaajan määrittäminen yhden vuoden tarkkuudella ole mahdollista paitsi silloin, kun se on lyhyt, vain muutaman vuoden pituinen. Milloin kasvutappio lasketaan yksinkertaisena korkolaskuna, vaikuttaa alipuustoisuus-

ajan määrittämisessä tehty virhe suhteellisesti yhtä suurena kasvutappion määrään. Tulosten numeerinen tarkkuus jää tästä syystä tiettyjen, suurissa kasvutappioluvuissa usean yksikön suuruisten virherajojen sisään.

Puustovajauksen syntymisen jälkeen vielä kasvatuskelpoisiksi arvioitujen metsiköiden kasvutappioluvut laskettiin yksinkertaisena korkona kaavaa (9) käyttäen. Hoidettujen metsien kehityssarjoista on kasvutappio mahdollista laskea myös erotusmenetelmällä (kaava 7) ja koronkorkolaskuna (kaava 8). Seuraavassa asetelmassa esitetään tulokset eri tavoin lasketuista kasvutappioista VT:n männiköissä.

	Puustovajaus, % .....			Kasvutappio, k-m <sup>3</sup> /ha kuoretta					
	20	30	40	30	50	70			
Metsikön ikä, v .....	30	50	70	30	50	70			
Erotusmenetelmä, kaava (7) .....	16	18	6	20	24	16	26	33	31
Koronkorkolasku, kaava (8) .....	10	13	11	16	20	21	22	34	30
Yksinkertainen korko, kaava (9) ..	9	9	9	13	18	20	22	32	37

Asetelmasta havaitaan, että eri menetelmien mukaan lasketut tulokset eroavat toisistaan, näin etenkin nuorten metsien osalta ja puustovajauksen ollessa suhteellisen pieni. Tuloksia verrattaessa on otettava huomioon, että erotusmenetelmässä alipuustoisuusaikaa vastaavan harvennuspoiston määritys muuttaman kuutiometrin tarkkuudella on erittäin vaikea metsikön nuorella iällä, jolloin jakson harvennuspoiston määrä on eri iänkohdilla suuruudeltaan hyvin erilainen. Koronkorko- ja yksinkertaisen korkolaskun antamat tulokset ovat verraten lähellä toisiaan. Viimeksi mainitusta menetelmästä on huomattava, että osa poistuvasta puustosta osallistuu metsikön normaalissa kehityksessä jonkin aikaa koronkorkoluontoiseen kasvutapahtumaan metsikön nuorella iällä, jolloin puuston kuutiomäärä on voimakkaassa kasvussa ja kasvusadannes on suhteellisen suuri. Tätä ei kaava (9) eli puustovajauksen yksinkertainen korko ota riittävästi huomioon.

On näin ollen ilmeistä, ja esitetyt vertailut muiden menetelmien antamiin tuloksiin tukevat tätä käsitystä, että taulukoissa 1—6 esitetyt kasvutappiot ovat nuorten metsiköiden osalta hieman liian pienet.

Tulosten vertailua muihin tutkimustuloksiin vaikeuttaa se, että absoluuttisia kasvutappiolukuja ei ole muitten tutkimusten yhteydessä esitetty. Lähinnä vertailukelpoisia ovat tiedot kuutiomäärän ja kasvun suhteista puuston kuutiomäärän muuttuessa. Jotta käsillä olevan tutkielman tuloksista saataisiin vastaavat tiedot, on alipuustoisuuden metsikön keskimääräinen kuutiomäärä ja keski-kasvu laskettava tietyltä ajanjaksolta ja verrattava näitä lukuja saman metsikkölajin ja jakson normaaliin kehitykseen. Sopiva jakso on taulukoissa ilmoitettu alipuustoisuusaika lisättynä puolella harvennuskierron ajalla, sillä tämän ajanjakson alussa ja lopussa metsikön kuutiomäärä vastaa normaalin kehityk-

sen keskimääräistä kuutiomäärää. Alipuustoisien metsikön kokonaiskasvu tältä jaksolta saadaan vähentämällä saman jakson normaalin kehityksen kokonaiskasvusta kasvutappio. Tästä saadaan edelleen vuotta kohden laskettu keskimääräinen kasvu. Keskimääräinen kuutiomäärä voidaan laskea jakson alku- ja loppuarvojen keskiarvona. Näin saatu kuutiomäärä on kuitenkin hieman liian suuri, sillä jäävän puuston kehitys on koveron käyrän kaltainen eikä suoraviivainen.

Seuraavassa asetelmassa esitetään selostetulla tavalla laskettuna kahden hoidetun metsikön kuutiomäärän ja kasvun suhteellinen väheneminen normaaliin kehityksen verrattuna puuston äkillisesti vähentyessä.

VT männikkö, hoidettu									
Puustovajaus, ( $q_K$ ) %	20			30			40		
Ikä, v	30	50	70	30	50	70	30	50	70
Kuutiomäärän väheneminen, %	12	14	15	16	18	19	18	23	23
Kasvun väheneminen, %	8	11	13	13	16	19	18	23	27

MT kuusikko, hoidettu									
Puustovajaus, ( $q_K$ )	20			30			40		
Ikä, v	30	50	70	30	50	70	30	50	70
Kuutiomäärän väheneminen, %	9	14	14	10	17	19	11	20	23
Kasvun väheneminen, %	8	10	11	12	15	17	14	20	23

Kuten havaitaan, on kasvun väheneminen yleensä muutaman sadannesyksen pienempi kuin kuutiomäärän väheneminen. Poikkeuksen muodostavat 30 vuotiaat kuusikot, kun minimipuuston vajoisuus on 30 ja 40 %, sekä tapaukset, milloin alipuustoisuus aika on pitkä, kuten on laita erityisesti minimipuuston vajoituksen ollessa 40 %. Näille poikkeuksille ei voida antaa kuitenkaan kovin suurta merkitystä, sillä kuutiomäärän väheneminen on esimerkissä ilmoitettu hieman liian pienenä, kuten edellä on todettu.

KUUSELAN ja KILKIN (1963, s. 28) taulukon mukaan kasvun suhteellinen väheneminen on männiköissä nuoria metsiköitä lukuunottamatta hieman pienempi kuin edellä olevassa asetelmassa on esitetty. Laskentatavassa olevat erot huomioonottaen tulokset ovat kuitenkin varsin yhdenmukaiset. Esitetyt tulokset ovat niinkään samansuuntaiset NYSSÖSEN (ks. s. 10) ja VUOKILAN (1965, kuva 5) tulosten kanssa, vaikka suoranainen numeerinen vertailu ei näissä tapauksissa ole mahdollista. Samoin antavat GEHRHARDTIN ja DAVISIN esittämät kaavat, mihin on aikaisemmin viitattu, samansuuntaisia tuloksia kuin asetelmassa on esitetty. Tarkkoja vertailuja ei ole mahdollista suorittaa laskentatapojen erilaisuuden vuoksi ja myös sen tähden, että käsillä olevassa tutkimuksessa on puhe äkillisestä puuston vähenemisestä ja muissa tutkimuksissa sellaisista tapauksista, missä metsikköä kasvatetaan pitkähkön aikaa normaaliin kehityksen verrattuna alipuustoisena.

Uudistettavien metsiköiden kasvutappiolukuja ei ole mahdollista verrata muihin tutkimustuloksiin.

Esitettyjen tulosten yleispätevyyttä arvosteltaessa on vielä otettava huomioon, että mitä enemmän jonkin metsikön puusto poikkeaa määränsä, käsittelynsä ja rakenteensa puolesta niistä kehityssarjoista, joihin tämä tutkimus perustuu, sitä enemmän myös puustovajauksesta johtuva kasvutappio saattaa poiketa esitetyistä tuloksista. Kasvu- ja tuottotaulukoiden kehityssarjat ovat suuren aineiston keskiarvolukuja, ei minkään yksityisen metsikön kehitystä kuvaavia suureita.

Yhteenvetona tulosten luotettavuuden tarkastelusta voitaneen todeta, että esitetyt kasvutappioluvut ovat suuruusluokkaa ilmaisevia likiarvoja. Nuorissa kasvatettavissa metsissä ja milloin minimipuuston vajoisuus on vähäinen, ovat todelliset kasvutappiot todennäköisesti hieman ilmoitettuja suuremmat.

## 5. Kasvutappion suuruuteen vaikuttavat tekijät

Esitetyt tulokset kasvutappion suuruudesta antavat aihetta mm. seuraaviin päätelmiin.

Puustovajauksesta johtuvan kasvutappion luonteesta johtuu, että kasvutappio saavuttaa suurimmat arvonsa sellaisissa metsiköissä, joiden kasvu on suuri, kun taas hidaskasvuissa metsiköissä ei kasvutappio muodostu absoluutisesti suureksi. Milloin puustovajaus on yhtä suuri eri *metsätyyppien* metsiköissä, hyvillä tyypeillä kasvutappioluvut ovat suurempia kuin huonoilla. Milloin taas samalla metsätyypillä kasvaa eri *puulajeja*, kasvutappio on suurin sillä, jonka kasvukin on suurin ao. metsätyypillä.

*Metsikön hoitotapa ja aikaisempi käsittely* vaikuttavat kasvuun ja siten myös kasvutappioon. Hoidetuissa metsiköissä kasvun menetys on suurempi kuin keskimääräisissä metsissä, milloin puustovajaus on suhteellisesti yhtä suuri. Myös tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen metsien kehityssarjoista lasketut kasvutappioluvut ovat yleensä pienemmät kuin hoidettujen, joskin — tähän metsikkölajiin kuuluvan aineiston epäyhtenäisyydestä ehkä johtuen — eräitä poikkeuksia tästä säännöstä on.

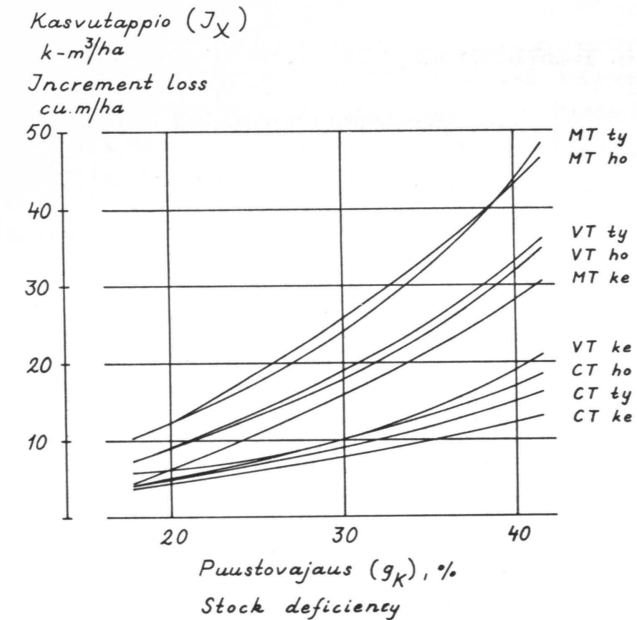
*Metsikön iällä* ei näytä olevan huomattavaa merkitystä kasvutappion suuruuteen. Yleensä kasvutappio on kuitenkin pienempi nuorella iällä kuin vanhalla, jos minimipuuston suhteellinen vajoisuus on sama. Oman ryhmänsä muodostavat tapaukset, jolloin puustovajaus syntyy lähellä metsikön hakkuukypsyyssikää. Tällöin jää kiertoajan kokonaiskasvuun syntyvä vajoisuus luonnollisesti pieneksi, vaikka puustovajaus olisi huomattavan suuri. Milloin puustovajauksesta esiintyy ajanjaksona, jolloin metsikön juokseva kuutiokasvu on suurimmillaan, on myös kasvutappiossa havaittavissa lievä maksimikohta, joskaan ei kaikkien metsikkölajien osalta.

Puuston kuutiomäärän ja kasvutappion välisistä suhteista on todettava, että minimipuuston ylittävällä osalla puustosta, vaikka se olisi suurikin, ei ole tässä tutkimuksessa tarkoitettun kasvutappion määrään nähden merkitystä. Edelleen voidaan tuloksista todeta, että kehityssarjassa eri iänkohdilta ja siis kuutiomäärältään eri suuruista minimipuustoista lasketut kasvutappiot ovat määrältään yleensä samaa suuruusluokkaa, milloin puustovajauksen sadannes on sama. Saman metsätyyppin ja puulajin eri tavoin käsitellyissä metsissä on kuutiomäärä suurin hoidetuissa metsissä, missä myös estimoitu kasvutappio on suurin suhteellisen puustovajauksen ollessa sama. Puuston kuutiomäärän ja kasvutappion välinen suhde on siis monitahoinen kysymys.

Tuloksista käy selvästi ilmi, että kasvutappio on ensisijaisesti riippuvainen minimipuuston vajauksen suhteellisesta määrästä. Mitä suurempi puustovajaus on, sitä suurempi on kasvutappio. Tämä on kasvutapahtuman ja sen laskennan matemaattisen luonteen huomioonottaen — pääoman yksinkertainen korko tai koronkorko — ennakolta pääteltävissä. Laskelmat osoittavat lisäksi, että puustovajauksen absoluuttinen määrä ei vaikuta sanottavasti kasvutappion suuruuteen. Tämä johtuu siitä, että nuorella iällä, jolloin absoluuttinen puustovajaus jää pieneksi, kasvusadannes on korkea. Vanhoissa metsiköissä tilanne on taas päinvastainen. Laskelmat osoittavat myös, että puustovajauksen sadanneksen suuretessa kasvutappio kasvaa suhteellisesti vielä enemmän. Kymmentä vajuus-sadanneksen yksikköä kohden se kasvaa yleensä kaksinkertaiseksi. Tämä ilmenee myös piirroksista 3 ja 4, missä esitetään kasvutappion suuruus 50 vuoden iänkohdalla hoidetuista ja keskimääräistä metsiköistä eri puustovajauksen sadannesmäärille laskettuna.

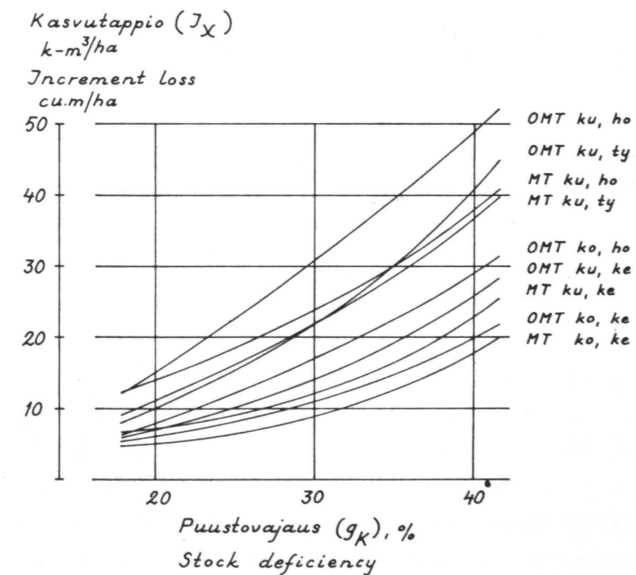
Edellä olevat huomautukset tarkoittavat ensisijaisesti kasvatettavien metsien kasvutappiolukuja, mutta soveltuvat ne myös uudistettavien metsien kasvutappiolukujen selittämiseen. Lisäksi uudistettavien metsien osalta on eräitä erikoispiirteitä. Niinpä kasvutappioluvut ovat suurempia silloin, kun puusto vähenee äkillisesti kiertoajan alkupuoliskolla kuin silloin, kun puustovajaus syntyy kiertoajan loppupuoliskolla. Päinvastoin kuin kasvatettavissa metsissä, joissa saman metsätyyppin eri puulajien välillä ei ole sanottavia eroja kasvutappioissa, näyttävät laskelmat uudistettavissa metsissä kuuselle selvästi suurempia kasvutappioita kuin männylle. Tämä johtuu kuusen hitaasta alkukehityksestä.

Yhteenvedon kasvutappion suuruuteen vaikuttavista tekijöistä voidaan todeta, että kullakin metsikkölajilla ja kehityssarjalla on omalaatuinen kasvutappion määrän vaihtelu, joka määräytyy pääasiassa yhdestä tekijästä, nimittäin puustovajauksen suhteellisesta määrästä.



Piirros 3. Kasvutappion suuruus 50 vuotiaassa männikössä.

Figure 3. Increment loss in pine stand 50 years old.



Piirros 4. Kasvutappion suuruus 50 vuotiaassa kuusikossa ja koivikossa.

Figure 4. Increment loss in spruce and birch stands 50 years old.

## 6. Kasvutappion määrittämismenetelmistä

### 61. Menetelmien perusteista

Metsikön tilapäisestä alipuustoisuudesta johtuvan kasvutappion suuruutta laskettaessa kasvu- ja tuottotaulukoiden aineistosta on vaikeutena mm. minimipuuston suuruuden määrittäminen. Samoin tuottaa alipuustoisuuden pituuden laskenta vaikeuksia silloin, kun puustovajaus on suuri. Lisäksi on ratkaistava kiertoajan valintaan liittyvät kysymykset, samoin kiertoajan lopussa syntyvän kasvutappion määrittäminen eräissä tapauksissa.

Milloin kasvutappio joudutaan laskemaan metsikössä konkreettisenä tapauksena — eikä tiedossa olevaan aineistoon perustuvana teoreettisena kysymyksenä, kuten käsillä olevassa tutkielmassa on laita — on lisävaikeutena puuston kuurionmäärän ja kasvusadanneksen arviointi. Seuraavassa tarkastellaan näitä kysymyksiä lähemmin.

Minimipuuston määrittäminen helpottaa se, että käytännön metsätaloudessa on viime vuosina paljon käsitelty harvennushakkuitten voimakkuutta koskevaa kysymystä ja siinä yhteydessä on normeerattu minimipuuston määrä. Minimipuuston määrä arvioidaan puuston pituuden ja rinnankorkeudelta mitatun pohjapinta-alan funktiona. Viimeksi mainittu arvio suoritetaan relaskoopin avulla. Kullekin metsikkölajille on annettu ohjeeksi tietty minimipohjapinta-ala, josta olosuhteiden mukaan voidaan jossakin määrin poiketa (NYSSÖNEN 1960). Yksityismetsätalouden edistämisyjärjestöissä on otettu ohjeeksi Etelä-Suomen tavallisimpiin metsikkölajeihin taulukossa 10 olevat pohjapinta-alan arvot (METSÄLEHTI 47/1960).

Taulukko 10. Metsikön minimipohjapinta-ala valtapituuden mukaan ryhmitettynä.

Table 10. Minimum basal area according to the dominant height.

Metsikkölaji Stand	Valtapituus, m — Dominant height										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 ja +
	Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha — Basal area, sq.m/ha										
VT, mä	15	16	17	18	19	20	20	20	20	20	21
CT, mä	12	13	14	15	16	17	17	17	17	17	17
MT, ku	15	16	17	18	19	20	21	22	22	22	22

Hyväksyttävänä tiheytenä voidaan pitää näistä jonkin verran — ei kuitenkaan enemmän kuin 20 % — poikkeavia arvoja. Näin määritelty minimipuusto vastaa käytännön metsänhoitoa. Se poikkeaa jonkin verran VUOKILAN esittämästä harvennusasteen määrittämisestä.

Kasvu- ja tuottotaulukoiden aineiston, ohjeesta saatujen minimipohjapinta-alojen ja tutkittavasta metsiköstä tehtyjen pituus- ja pohjapinta-alahavaintojen avulla voidaan minimipuuston kuutiomäärä määrittää. Huomattava on, että muutaman kuutiometrin eroavaisuus minimipuuston arvioinnissa vaikuttaa vain vähän puustovajauksen suhteelliseen määrään, jos vajauksen absoluuttinen määrä pysyy muuttumattomana. Puustovajauksen absoluuttinen määrä voidaan laskea kaavan (2) avulla, jos jäävän puuston määrä tunnetaan tai se voidaan arvioida. Milloin tutkittavasta metsiköstä tunnetaan puuston määrä ennen puustovajauksen syntyä ja poistuvan puuston määrä, voidaan puustovajaus niinkään laskea kaavoista (1) ja (2). Poistuvan puuston määrä saadaan usein selville suoritettavan hakkuun yhteydessä. Jäävän puuston arviointiin tarjoavat käytännön metsänarvioimismenetelmät useitakin mahdollisuuksia. Kaikkiin näihin arvioihin sisältyy tietty virhemahdollisuus, mikä minimipuuston arvioinnissa on tuskin sen suurempi kuin muidenkaan metsikön kuutiomäärään liittyvien suureiden arvioinnissa. Voitaneen näin ollen todeta, että minimipuuston määrä voidaan arvioida yhtä suurella tarkkuudella kuin muutkin kasvutappion laskennassa tarvittavat kuutiomäärät. Tämä kysymys ei ole voittamaton este kasvutappion määrittämisessä.

Kasvusadanneksen arviointi on käytännön metsänarvioinnissa usein esiin nouseva kysymys. Se voidaan suorittaa joko taulukoiden tai kasvukoealojen perusteella. Kasvutappion määrittämiseen liittyvänä ei tehtävä ole sen ongelmallisempi kuin kasvun määrittämisessä, joten kysymystä ei tässä yhteydessä lähemmin käsitellä.

Kiertoajan määrittämiseen on tutkimus ja metsätalouden suunnittelu tuoneet viime aikoina paljon valaistusta. NYSSÖNEN mukaan (1958, s. 51) voidaan rajakannattavuuteen perustuvina kiertoaikoina käyttää olosuhteista riippuen eripituisia aikoja. Metsätalouden suunnittelukomitean valtakunnallisen hakkuusuunnitteen laskennassa käyttämät kiertoajat ovat tulleet metsätalouden järjestelyssä yleisesti käyttöön. Ne ovat Etelä-Suomessa seuraavat (Komiteamietinto 1—1961, s. 127):

Männiköt, MT 85 v, VT 95 v, CT 125 v  
Kuusikot, OMT 75 v, MT 85 v

Koivikoissa voitaneen käyttää edellisiä 5—10 v lyhyempiä kiertoaikoja. Esitetyt, metsätalouden suunnittelussa käytettävät kiertoajat sopinevat myös kasvutappion määrittämisessä käytettäväksi. Poikkeustapauksessa, milloin metsikön taloudellinen ikä huomattavasti poikkeaa sen biologisesta iästä (esim. kauan alikasvoksena olleet kuusikot), voitaneen käyttää taloudellista ikää biologisen iän asemesta.

## 62. Kaavamenetelmät

Suoritetussa tarkastelussa on tultu siihen tulokseen, että äkillisestä puuston vähenemisestä aiheutuvan kasvutappion laskennassa voidaan tarvittavat perusteet määrittää samalla tarkkuudella kuin puuston ja kasvun arvoinnissa yleensä. Näin ollen ovat kaavat (7), (8), (9) ja (10) käyttökelpoisia kaavutappion laskentaan. Kiertoaikana käytettävään metsätalouden suunnittelussa käytettyjä arvoja, mikä on otettava huomioon alipuustoisuusajan määrityksessä.

Kaavoja käytettäessä joudutaan arvioimaan myös metsikön tulevaa kehitystä, joko jo olemassa olevan puuston tai uuden metsän kasvuna. Tämä tehtävä voidaan suorittaa kasvu- ja tuottotaulukoiden perusteella. Ensin tutkitaan, mitä kehityssarjaa (hoidetut, tyydyttävät, keskimääräiset) metsikkö lähinnä edustaa ja tämän vertailumetsikön kehityksen perusteella arvioidaan — tarvittaessa interpolatiota käyttäen — tutkittavan metsikön kuutiomäärän ja kuutiokasvun kehitys. Metsikön normaalin kehityksen harvennuspoistojen määrä voitaneen arvioida tarpeellisella tarkkuudella vain silloin kun on kysymys hoidetuista metsistä. Tästä syystä kaavojen (7) ja (8) käyttö rajoittunee lähinnä tällaisiin tapauksiin. Kaava (9) sen sijaan soveltunee yleisesti käytettäväksi, milloin metsikköä puustovajauksen syntymisestä huolimatta vielä kasvatetaan.

Puuston äkillisen poistumisen johdosta uudistettavaksi tulevan metsikön kasvutappion laskentaan käytetään kaavaa (10). Kaava edellyttää kasvu- ja tuottotaulukoiden käyttöä. Tehtävän suorituksessa ei esiintyne sen suurempia vaikeuksia kuin tutkimusmenetelmän selostuksen yhteydessä on mainittu ja mistä myös edellisessä kappaleessa on huomautettu.

Suhteellisen paljon työtä ja vaikeuksia liittyy kasvatettavien metsien alipuustoisuusajan määritykseen. Herää näin ollen kysymys, voidaanko laskennan tämä vaihe eliminoida käyttämällä jotakin muuta tapaa kasvutappion määrittämiseksi puustovajauksen perusteella. Kysymyksessä on sen kertoimen laskeminen, millä kaavaa (9) käytettäessä puustovajauksen määrä on kerrottava, jotta saataisiin kasvutappio. Kasvu- ja tuottotaulukoiden aineiston perusteella lasketuista kasvutappio- ja puustovajausmääristä onkin tämä kerroin laskettavissa. Kasvutappio saa tällöin seuraavan kaavan muodon:

$$(11) \quad I_X = c \times V_K,$$

missä  $c$  on kullekin metsikkölajille ja iänkohdalle ominainen kerroin. Kuten mainittiin, voidaan kerroin laskea. Samoin voidaan kasvutappio laskea puustovajaussadanneksen funktiona. Kummassakin näissä tapauksissa tarvitaan korjauskertoimia, jotka pitäisi laskea ja taulukoida. Tällaisilla taulukoilla ei olisi kuitenkaan käytännöllistä merkitystä, koska ilmoitetut kasvutappioluvut ovat sinänsä käytettävissä. Milloin äkillinen puustovajaus syntyy kiertoajan loppupuolella, olisi kaavan avulla saatavia tuloksia vielä korjattava. Näistä syistä ei mainittuja kertoimia ole käsillä olevaan tutkielmaan laskettu.

## 63. Taulukkomenetelmä

Kasvu- ja tuottotaulukoiden perusteella lasketut kasvutappion määrät (taulukot 1—9) soveltuvat sinänsä ohjeena käytettäväksi huomioonottaen tulosten esittelyn ja niiden luotettavuuden tarkastelun yhteydessä tehdyt huomautukset. Tutkittavan metsikön aikaisemman käsittelyn, kuutiomäärän, iän ja muiden tunnusten mukaan arvioidaan, mitä kehityssarjaa lähinnä tutkittava metsikkö on. Sen jälkeen määritetään puustovajauksen sadannes ja tutkitaan taulukoista — tarvittaessa interpolatiota käyttäen — mikä on ko. tapauksessa kasvutappion suuruus. Hakkuukypsyysikää lähenevissä kasvatettavissa metsissä on suoritettava korjauslaskelma, milloin alipuustoisuus aika on lyhyempi kuin taulukoissa ilmoitettu. Esim. jos metsikön kiertoaika on 85 v ja taulukon ilmoittama kasvutappio 70 vuoden iällä on  $45 \text{ k-m}^3$  sekä alipuustoisuus aika 25 v, saadaan redusoiduksi kasvutappioksi  $(15:25) \times 45 \text{ k-m}^3$  eli  $27 \text{ k-m}^3$ .

Uudistettavien metsien taulukoista (6—9) selviää kasvutappion suuruus tavallisimpia kiertoaikoja käytettäessä. CT:n männiköissä käytetään 90 vuoden kiertoajalle laskettua tasoa aina iänkohtaan 110 v, jonka jälkeen suoritetaan suoraviivainen tasoitus siten, että kasvutappio on iänkohdalla  $125 \text{ v} = 0$ .

Taulukot voidaan esittää myös graafisesti, kuten tämän kirjoituksen yhteydessä osittain on tehtykin (piirroset 3 ja 4). Nämä ovat käytännöllisempiä kuin numeeriset taulukot.

## 64. Menetelmien tarkastelu

Kaikki esitetyt laskentamenetelmät antavat tulokseksi vain likimääräisiä arvoja. Tulosten luotettavuuden perusteella ei voida esittää ehdottomasti suositeltavaa menetelmää. Käytännön tarpeita ajatellen näyttäisi taulukkomenetelmä käyttökelpoisimmalta, varsinkin kun metsätalouden suunnittelussa ja erilaisissa metsän arvioimistehtävissä on totuttu käyttämään taulukoita. Hakkuukypsyyttä lähenevissä metsissä on taulukoiden antamia arvoja korjattava siten kuin edellä on selostettu. Taulukoiden käyttö edellyttää metsissä tehtyjä havaintoja ja relaskoopin avulla tai muulla tavalla suoritettuja arviointeja. Kasvutappio lasketaan metsikkökuvioittain.

Kaavamenetelmät sopivat käytettäväksi esim. silloin, kun vastikään suoritettun harvennushakkuun jälkeen metsässä sattuu luonnontuho, jonka johdosta joudutaan osa puustoa poistamaan. Ellei metsä ole yli-ikäinen, voidaan minimipuuston vajaus arvioida hakatun puutavaramäärän avulla. Talouskirjoja, kasvunlaskenta- ja korkotaulukoita sekä tämän tutkielman tuloksia hyväksikäyttäen voidaan keskimääräinen alipuustoisuus aika määrittää ja kasvutappio laskea koko alueelle kaavaa (9) käyttäen.

Yksinkertaisin keino kasvutappion laskemiseksi kasvatettavissa metsissä on määrittää minimipuuston vajaus ja käyttää kasvutappiona 50 vuoden iänkohdalle laskettuja taulukoiden 1—6 arvoja, jotka ovat hakkuukypsyysikää läheneviä metsiköitä lukuunottamatta yleispäteviä suuruusluokkaa ilmaisevia lukuja.

## Kirjallisuusluettelo — References

- ASSMANN, ERNST. Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München 1961.
- DAVIS, KENNETH P. American forest management. New York-Toronto-London 1954.
- DUERR, W. A. Comments on the general application of Gehrhardt's formula for approach toward normality. *Journal of Forestry* 36 — 1938, ss. 600—604.
- GEHRHARDT, E. Ertragstafeln für Eiche, Buche, Tanne, Fichte und Kiefer. Berlin 1923.
- ILVESSALO, YRJÖ. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Helsinki 1920.
- Pystypuiden kuutioimis- ja kasvulaskentataulukot. Helsinki 1948.
- Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. *Communicationes instituti forestalis Fenniae* 47. i. Helsinki 1956.
- KUUSELA, KULLERVO and KILKKI, PEKKA. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in scotch-pine stands. *Acta forestalia fennica* 75. Helsinki 1963.
- KOIVISTO, PENTTI. Kasvu- ja tuottotaulukoita. *Communicationes instituti forestalis Fenniae* 51.8. Helsinki 1959.
- Komiteanmietintö 1 — 1961. Metsätalouden suunnittelukomitean mietintö.
- LIHTONEN, V. Metsätalouden suunnittelu ja järjestely. Helsinki 1958.
- LÖNNROTH, ERIK. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände, basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. *Acta forestalia fennica* 30. Helsinki 1925.
- MIKOLA, PEITSA. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. *Communicationes instituti forestalis Fenniae* 38. Helsinki 1950.
- NYSSÖNEN, AARNE. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. *Acta forestalia fennica* 60. Helsinki 1954.
- Kiertoaika ja sen määrittäminen. *Communicationes instituti forestalis Fenniae* 49.6. Helsinki 1958.
- Harvennushakkuiden voimakkuus. *Metsälehti* 8 — 1960.
- WECK, J. Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde. Radebeul und Berlin. II Aufl. 1955.
- VUOKILA, YRJÖ. Kasvatushakkauksista ja niiden vaikutuksesta kuutiotuottoon. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 1 — 1965 ss. 8—12.

## SUMMARY:

### THE INCREMENT LOSS AND ITS DETERMINATION IN ECONOMICALLY EXPLOITED FORESTS IN SOUTH FINLAND

The present study is an attempt to clarify the decrease in growth, or the increment loss, caused by sudden reduction of the growing stock below a certain level, and to find a method for its determination. In this connection increment loss means a decrease in growth during the rotation due to a deficient stock volume. The eventual decrease in the increment which results from reduced physiological capacity for growth has not been taken into consideration. The investigation concerns economically exploited forests in Southern Finland.

The symbols and abbreviations used are explained in p. 42.

The material consists of KOIVISTO's yield tables for repeatedly thinned stands and satisfactorily or well-managed stands in Southern Finland, and the results of the Third National Forest Inventory concerning the mean volume and increment in the productive forest sites in Southern Finland as published by ILVESSALO (1956).

The investigation is based on the assumption that for each stand there is a volume level below which in practice the stand is not maintained. As the stand volume drops below this limit, increment losses ensue. The limit which is called the minimum stock volume was determined so that one half of the estimated removal during the thinning cycle was subtracted from the stand volume given in the yield tables. In addition it was assumed that when the stock deficit does not exceed 40 % of the minimum stock volume, the stand is still qualified for development, but when it grows greater, the stand must be regenerated.

Figure 1 (p. 13) shows the development of stands to be grown. The growing stock remaining after thinnings attains the level of the normally developed minimum stock during a certain time, the period of deficient stock. In the investigation the deficient stock period was determined by the graph of the volume and with compound interest tables. The increment of the remaining stock was determined by compound interest calculation taking the increment rate for the middle of the period of deficient stock from the yield tables. This was revised to agree with the change in stand density according to principles presented by ILVESSALO (1948).

For the calculation of the increment loss three formulae were constructed. According to the first, formula (7), p. 14, the increment loss is calculated as the difference between the removal by thinnings in normally developed stands during a time equal with the period of deficient stock and the suddenly removed stock. By the second, formula (8), p. 15, the increment loss is calculated according to the compound interest calculation principle as the sum of the differences which are obtained by subtracting from the removal in each thinning during the period of deficient stock its initial value. In accordance with the third, formula (9), p. 15, the increment loss is calculated as the straight interest of the stock deficiency during the period of deficient stock. The results presented in this study have been calculated by means of formula (9). However, some comparative calculations have been carried out according to formulae (7) and (8). Tables 1-6 (pp. 18-23) present the period of deficient stock and the increment loss for different stands, certain periods of age, and different rates of deficiency below the minimum stock.

Figure 2 (p. 16) shows the development of stands to be regenerated. The increment loss in such cases has been calculated as follows: From the total increment of normally developed stands during the time from the beginning of the period of deficient stock to the end of the rotation the increment of the remaining stock and the regeneration have been subtracted. The calculations have been carried out for a case in which the deficiency below the minimum stock has been 50 % and the remaining stock is to be cut after five years. It is assumed that natural regeneration in the area is completed in that time. The formula (10) for calculating this can be found on page 17. Tables 7-9 (pp. 25-26) reveal the increment loss for different types of stand at several ages and with 80 and 90 year rotations. In addition the tables show the estimated increment of the remaining stock used in the calculation.

The methods of calculation which have been used give as results approximate quantities. These have been compared with the results of other investigations. Though it is not possible to carry out direct numerical comparison, the investigation enables one to draw the conclusion that the results are along the same lines as reported by DAVIS, GEHRHARDT, KUUSELA and KILKKI, NYSSÖNEN (1954, 1958), and VUOKILA (1965) concerning the relationships between stand volume and increment. The increment losses in Tables 1-6 are, however, probably somewhat too small when the deficiency below the minimum stock is 20 % or when the stand is young.

According to the calculations the increment loss is greatest in stands to be grown, viz. 50 cu.m. solid measure excluding bark per hectare in tended spruce stands on OMT at 40 % deficiency below minimum stock. In stands to be regenerated, too, the increment loss is greatest in stands of similar kind as above and in tended spruce stands on MT. It exceeds, in this case, 200 cu.m./ha when stands younger than 50 years must be regenerated and the removal amounts

to 50 % of the stock. In stands to be regenerated the increment loss for spruce, due to the slow initial development by this species, is greater than for pine and birch. In stands to be developed there are no great differences in the increment loss by different tree species when they grow on similar sites and the deficiency rate below the minimum stock is the same. Similarly, the increment loss is the same at different periods of age if the relative deficiency of the stock is of equal size. In stands which are approaching regeneration maturity the increment loss naturally grows smaller due to the shortening of the period of deficient stock. This decrease in the increment loss has not been taken into account in Tables 1-6.

According to the investigation each stand has a characteristic variation in the increment loss which depends mainly upon one factor, viz. the relative degree of deficiency from the minimum stock. The greater this deficiency is, the greater is the increment loss. This becomes apparent in Figures 3 and 4 (p. 33), where the increment loss has been presented for different stands at the age of 50 years, calculated for different percentages when the stands are still considered worth developing.

The formulae and methods of calculation presented can be used to determine the increment loss in all average and better stands in Southern Finland when the stock suddenly decreases. It is, of course, necessary that all the quantities of the formulae are known. Their determination is based upon common methods of forest mensuration. In determining the minimum stock the same basal areas can be used as in estimating the strength of thinnings (Table 10, p. 34). Recommended for rotation lengths are the values used in forest management in Southern Finland. For stands to be regenerated, increment figures for cultivated stands and the actual time of regeneration are used.

Tables 1-9 set forth practical methods for determining the increment loss. They can be used as a guide, with inter- or extrapolation as required. In addition, it ought to be noted that the increment losses in Tables 1-6 with stands 30 years of age and with 20 % stock deficiency probably are slightly too small. Furthermore, the increment loss figures given in the tables must be reduced in the same proportion as the period of deficient stock, with approaching maturity, grows shorter than the periods indicated in the tables. In stands to be developed the increment losses calculated for 50-year old stands (Figures 3 and 4) can be regarded as a general guide for the determination of the increment loss, making the necessary reduction for stands approaching the age of regeneration maturity.



### Some Definitions, Symbols, and Abbreviations

In the investigation the following definitions and symbols have been used (cf. Figures 1, p. 13, and 2, p. 16):

$t_a$	= age of stand at the beginning of stock deficiency
$t_{\delta}$	= age of stand at the end of stock deficiency
$t_u$	= age of stand at the last cutting in the regeneration phase
$t_{a-\delta}$	= period of deficient stock; time from the beginning of stock deficiency until the moment when the remaining stand catches up with the minimum stock volume or until the stand reaches maturity
$V_E$	= stock before the reduction
$V_P$	= removed stock
$V_J$	= remaining stock
$V_{Ma}$	= minimum stock (to be developed) at the moment «a»; stock after normal cutting
$V_K$	= stock deficiency; the part of the removal causing increment loss
$V_h$	= removal by thinning
$V_T$	= volume of new stand after removing stock
$V_Y$	= difference between removed stock and initial values of normal thinnings during a period equal to the period of deficient stock
$I_{J5}$	= total increment of the remaining stock during a 5 year period
$I_X$	= increment loss; decrease in total increment during the rotation depending upon stock deficiency in comparison with normal stand development
$p_J$	= increment per cent of remaining stock
$p_E$	= increment per cent of stock before the reduction
$q_J$	= remaining stock volume in per cent of minimum stock
$q_P$	= volume of removal in per cent of stock before the reduction
$q_K$	= deficiency per cent; stock deficiency ( $V_K$ ) in per cent of the minimum stock
$\frac{1}{(1.0p)^n}$	= compound interest factor which, by multiplication with the increased capital, gives initial value $n$ years ago
$(1.0p)^n$	= compound interest factor which, by multiplication with the initial capital, gives final value after $n$ years
$ho$	= stand which has been treated with repeated thinnings
$ty$	= satisfactorily or well-managed stands according to the Third National Forest Inventory
$ke$	= average for all stands according to the Third National Forest Inventory
$OMT$	= Oxalis-Myrtillus site
$MT$	= Myrtillus site
$VT$	= Vaccinium site
$CT$	= Calluna site
$m\ddot{a}$	= pine
$ku$	= spruce
$ko$	= birch