

FOLIA FORESTALIA 557

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1983

ANTTI ISOMÄKI ja PENTTI NIEMISTÖ

KOEALAPUUSTON HARVENNUSVALINTA
TIETOKONEOHJELMAN AVULLA

THE SELECTION OF TREES IN THINNING
EXPERIMENTS: A COMPUTER METHOD



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeesemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 557

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1983

Antti Isomäki ja Pentti Niemistö

KOEALAPUUSTON HARVENNUSVALINTA TIETOKONEOHJELMAN
AVULLA

The selection of trees in thinning experiments:
A computer method

ISOMÄKI, A. & NIEMISTÖ, P. 1983. Koealapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. Abstract: The selection of trees in thinning experiments: A computer method. *Folia For.* 557: 1—32.

Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosastolla on kehitetty tietokoneohjelma koealapuustojen harvennusvalintaa varten. Ohjelmalla pyritään mahdollisimman objektiiviseen puuvalintaan harvennusleimuksissa. Sen avulla voidaan noudattaa erilaisia harvennustapoja ottamalla systemaattisesti huomioon kunkin harvennustavan edellyttämät puuvallinnan perusteet. Tämän työn tarkoituksena on esitellä leimausohjelma sekä testata sen ominaisuuksia ja käytännöllisyyksiä.

Leimausohjelmassa jaetaan koealan pinta-ala sillä kasvavien puiden kesken. Jakoperusteena on mahdollista käyttää mitä tahansa puutunnusta tai puutunnusten yhdistelmää. Puukohtaiset kasvutilat oletetaan ympyröiksi, joiden keskipisteinä ovat puiden sijaintipisteet. Tällöin naapuripuiden kasvutilat peittävät eri asteisesti toisiaan. Näin syntyneen päällekkäisyyden suhdetta puun laskennalliseen kasvutilaan käytetään puuston tilajärjestyksestä koskevana valintaperusteena. Puiden väliseen leimausjärjestykseen vaikutetaan lisäksi valintakertoimella, jonka määrittämisessä voidaan ottaa huomioon halutulla tavalla mitä tahansa puukohtaisia tunnuksia ja niiden yhdistelmiä.

Esimerkkileimuksissa puiden välisenä tilanjakotunnusksena käytettiin yksinomaan pohjapinta-alaa. Leimausjärjestykseen vaikuttavan valintakertoimen osatekijöinä käytettiin vaihtelevissa suhteissa puulajia, puun kasvuisuutta, teknistä laatua sekä terveydentilaa. Tilajärjestyksen tasaisuutta korostavaa harvennustapaa kutsutaan tämän työn yhteydessä tilaharvennuksiksi, puiden teknistä laatua korostavaa vaihtoehtoa laatuharvennuksiksi sekä puiden kasvuisuutta korostavaa vaihtoehtoa alaharvennuksiksi. Kasvuisuus määritetään tällöin puun koon ja terveydentilan perusteella.

Esimerkkileimaukset osoittivat, että leimausohjelma toimii johdonmukaisesti ja että sen avulla saadaan systemaattisesti toisistaan poikkeavia harvennusvalinnan vaihtoehtoja. Vertailemalla ohjelman tuottamia leimuksia käytännössä toteutettuihin koealapuustojen harvennuksiin voitiin todeta, että ohjelma toimii ainakin alaharvennustapauksissa moitteettomasti.

Leimausohjelmaa voidaan käyttää myös harvennusvallinnan analysointiin ja harvennustapojen vertailuun. Lisäksi se tarjoaa keinon puiden välisen tilajärjestyksen kuvaamiseen ja tutkimiseen.

The paper presents a computer programme for the selection of trees in thinning experiments. A high degree of objectiveness is stressed in the choice of trees. The programme is applicable to different thinning schemes by using various tree selection criteria and by defining the dynamic relations between them. The aim of the paper is to describe the programme and to test its efficiency.

The programme divides the area of the sample plot between the existent trees. The spatial allocation can be made on the basis of any tree characteristic, or a combination of characteristics. The growing space of a tree individual is represented by a circle with the tree in its centerpoint. The circles of the neighboring trees understandably overlap to a variable degree. The amount of overlapping, as compared to a calculated growing space for the tree, is used as a selection criterion when deciding upon the spatial evenness of the trees. The selection order is further affected by a selection coefficient, which can be defined by any tree-wise characteristics specified by any reaction relations.

In the test thinnings, the basal area was used exclusively as the spatial allocation criterion. The tree species, the tree's growing potential, its technical quality, and its state of health were varyingly used as components for the selection coefficient, which affects the selection order. The alternative stressing spatial evenness is here called spatial thinning, and the alternative stressing the technical quality, quality thinning.

The growth potential of a tree was assessed by means of its size and state of health. The alternative, which emphasizes these factors, is similar to the presently generally applied thinning-from-below.

The test thinnings have shown that the programme works logically, and gives systematically various alternatives for the thinning selection. When compared to the practical thinnings carried out on permanent experimental plots, the programme was revealed to work correctly, at least in the cases of thinning-from-below.

The programme can also be used for the analysing of thinning selection, and for the comparing of thinning schemes. In addition, it offers a technique for the describing of the spatial evenness within an experimental stand.

ODC 242+624.3+63
ISBN 951-40-0617-8
ISSN 0015-5543

Helsinki 1983. Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. LEIMAUSOHJELMAN KUVAUS	6
21. Toimintaperiaate	6
22. Koalatiedosto	7
23. Kasvutilan jako	8
24. Valintakerroin	8
25. Ohjelman rakenne ja tulostus	9
3. HARVENNUSVALINNAN PERIAATTEET JA NIIDEN MUKAISET LEIMAUSVAIHTOEHDOT	10
31. Harvennuksen tavoitteet ja puuvalinnan perusteet tasaikäisessä metsikössä	10
32. Leimausvaihtoehtojen rajat	11
33. Leimausohjelman soveltaminen	12
34. Leimausvaihtoehdot ja niiden vertailu	13
35. Johtopäätöksiä esimerkkileimauksista	18
4. PUUSTON TILAJÄRJESTYS	20
5. LEIMAUSOHJELMAN OMINAISUUKSIEN ARVIOINTI	23
51. Puista kerättävät tiedot	23
52. Kasvutilan jako	24
53. Leimausjärjestys	26
54. Vertailu käytännön leimauksiin	27
6. TULOSTEN TARKASTELU	28
KIRJALLISUUS	31
LIITE	32

MERKINNÄT — SYMBOLS

Puutunnukset — Tree characteristics

d	läpimitta 1,3 m:n korkeudella maasta, mitattu kuoren päältä, cm <i>diameter over bark at a height of 1,3 m above ground level i.e. diameter at breast height (DBH), cm</i>
d ₆	läpimitta 6 m:n korkeudella maasta, mitattu kuoren päältä, cm <i>diameter over bark at a height of 6 m above ground level, cm</i>
h	pituus, dm <i>height, dm</i>
g	$= \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$ pohjapinta-ala eli rungon poikkileikkauspinta-ala 1,3 m:n korkeudella maasta, mitattu kuoren päältä, cm ² <i>basal area i.e. cross sectional area of tree at a height of 1,3 m above ground level, with bark, cm²</i>
v	rungon tilavuus kuorellisena, dm ³ <i>volume of stemwood with bark, dm³</i>
v _t	rungon tukkiosan tilavuus kuorellisena, dm ³ <i>volume of saw timber portion with bark, dm³</i>
v _k	rungon kuitupuuosan tilavuus kuorellisena, dm ³ <i>volume of pulp wood portion with bark, dm³</i>
v _h	rungon hukkapuuosan tilavuus kuorellisena, dm ³ <i>volume of waste wood portion with bark, dm³</i>
m	rungon raha-arvo, mk <i>value of stem, FMK</i>
x;y	puun sijaintikoordinaatit, cm <i>coordinates defining the situation of a tree in the experimental plot, cm</i>

Puustotunnukset — Stand characteristics

N	runkoluku, kpl/ha <i>number of stems, nr/ha</i>
G	pohjapinta-ala (ppa), m ² /ha <i>basal area i.e. sum of cross sectional areas of trees with bark (b.a.), m²/ha</i>
V	kuorellinen runkotilavuus, m ³ /ha <i>volume of stem wood with bark, m³/ha</i>

Kasvutilan jako ja leimausjärjestys — Spacing and the order of selection

A _{tot}	koetalan pinta-ala, m ² <i>area of an experimental plot, m²</i>
u	tilanjakotunnus <i>tree character used for spatial allocation</i>
a _r	$= \frac{u}{\sum u_i} \times A_{tot}$ puun laskennallisen, ympyrän muotoisen kasvutilan pinta-ala, m ² <i>calculated, circular growing area for a tree, m²</i>
r	$= \sqrt{\frac{a_r}{\pi}}$ laskennallisen ympyrän muotoisen kasvutilan säde <i>radius of the calculated circular growing area for a tree</i>
a _y	puun yhteinen kasvutila kaikkien naapuripuiden kanssa <i>overlap of calculated circular growing areas (spaces), counted for each tree</i>
A _y	$= \frac{\sum a_{yi}}{2}$ puiden yhteisten kasvutilojen koetalasumma <i>total sum of the overlapped growing areas</i>
F	$= \frac{A_{tot} - A_y}{A_{tot}} \times 100$ Tilajärjestysindeksi, joka ilmaisee prosentteina kuinka suuri osuus koetalan koko pinta-alasta on puiden laskennallisten kasvutilojen peitossa <i>Spacing index showing the proportion, expressed in percentage, of the total area of an experimental plot covered by the calculated growing areas of the individual trees</i>
c _x , c _y , c _z puutunnuksille (x, y, z ...) annetut painokerroimet <i>weight coefficients for the tree characteristics</i>
c	$= c_x \cdot c_y \cdot c_z \dots$ puulle laskettu valintakerroin <i>selection coefficient, calculated for each individual tree</i>
s	$= \frac{a_y}{c \cdot a_r}$ puulle laskettu valintasuhde <i>selection ratio, calculated for each individual tree</i>

1. JOHDANTO

Harvennus on kasvatusmetsän tärkein hoitokeino, jolla vaikutetaan sekä tuotettavan puusadon määrään että laatuun. Harvennushakkuiden metsänhoidollisen luonteen korostamiseksi niitä on ruvettu kutsumaan myös kasvatushakkuiksi.

Kasvatushakkuun luonteisten harvennusten tarpeellisuudesta vallitsee yleinen yksimielisyys metsäalan ammattimiesten ja metsänomistajien keskuudessa. Myös niiden ajoituksesta ja voimakkuudesta on saatu pitkäaikaisiin kasvatuskokeisiin perustuvaa tutkimustietoa (Vuokila 1975, 1980a ja b, Vuokila ja Väliaho 1980), jota sovelletaan yleisesti käytännön metsätaloudessa (Keskusmetsälautakunta Tapio 1981, Metsähallitus 1981).

Harvennukseen ryhdyttäessä tulee harvennusvoimakkuuden lisäksi ratkaista harvennustapa eli harvennuksessa noudatettavat puuvalinnan periaatteet. Harvennustavalla on merkittävä vaikutus kasvatettavan puuston rakenteeseen ja puuntuotannollisiin ominaisuuksiin. Lisäksi sillä säädellään harvennuskertymän jakautumista eri puutavaralajien ja järeysluokkien kesken (Isomäki ja Väisänen 1980).

Harvennustavalla lienee nykyisin aikaisempaa suurempi merkitys, sillä harvennukset toteutetaan puunkorjuun rationalisoinniseksi entistä harvemmin ja samalla entistä voimakkaampina. Näin ollen tiettyyn harvennukseen liittyvällä puuvalinnalla on syvämpi vaikutus metsikön myöhempään tuotokseen kuin mitä sillä olisi käytettäessä lieviä harvennuksia. Lievissä harvennuksissa voidaan aina epävarmoja valintoja siirtää seuraaviin harvennuskertoihin ja näin antaa puille tilaisuus omalla kehityksellään ohjata lopullista valintapäätöstä.

Käytännön metsätaloudessa noudatetaan nykyisin lähes yksinomaisesti ns. valikoivan alaharvennuksen periaatteita. Näin ollen harvennustavan vaihtelun tarjoamaa puuntuotannon ohjausmahdollisuutta ei juuri käytetä tietoisesti hyväksi. Valikoivassa alaharvennuksessa huomio keskitetään kasva-

maan jätettävään puustoon. Pää tarkoituksena on ns. perustuon kasvattaminen mahdollisimman arvokkaaksi hakkuukypsäksi metsiköksi. Perustuolla tässä yhteydessä tarkoitetaan ”hakkuukypsän metsikön puita metsikön aikaisemmassa kehitysvaiheessa” (Sarvas 1948).

Suomen metsätieteellisen tutkimuslaitoksen eli nykyisen Metsäntutkimuslaitoksen aikoinaan noudattamassa harvennusasteikossa (Ilvessalo L. 1929, Sarvas 1948) jo lieväkin alaharvennus edellytti ”kuolleiden ja pahemmin sairaiden tai vioittuneiden, vallitsevaan latvuserrokseen kuuluvien puiden sekä kehoimpien huonomuotoisten, olletikin haitallisimpien susipuiden poistamista”. Nämä periaatteet sisältyvät myös nykyisiin kasvatushakuohjeisiin. Näin ollen ”alaharvennus” käsitteenä ei ole niin yksipuolisesti vallitsevia puita suosiva kuin sen nimi suppeasti tulkituna edellyttäisi.

Kasvatushakkuun luonteisissa harvennuksissa pidetään puuvalinnan tärkeimpinä perusteina kunkin puun kokoa, terveydentilaa ja teknistä laatua sekä sijaintia naapuripuihin nähden. Valintaa on pyritty systematisoimaan biologisen puuluokituksen avulla (Ilvessalo, L. 1929, Yli-Vakkuri 1949). Kehitetyn puuluokituksen ja sen perusteella laadittujen harvennusohjeiden kaavamainen noudattaminen on osoittautunut vaikeaksi jopa opetus- ja tutkimussovellutuksissa. Alunperin luontaisesti syntyneisiin ja kehitettyneisiin metsiin tarkoitettu luokitus ei täysin sovellu nykytyyppisiin, harvennuksin ja perkauksin käsiteltyihin metsiin. Lisäksi ohjeiden kaavamainenkin noudattaminen johtaa aina subjektiiviseen lopputulokseen, koska puuluokat määritetään silmävaraisesti. Näin ollen myös biologiseen puuluokituksen perustuva harvennusvalinta tapahtuu aina subjektiivisesti, leimaajan harkinnan varassa.

Vaikka Suomessa noudatetaankin yleisesti valikoivan alaharvennuksen periaatteita, ei näitä ole voitu harvennusohjeissa täysin yksiselitteisesti määrittellä. Nykyisin ei edes py-

ritä kaavamaisiin ja yksityiskohtaisiin ohjeisiin, vaan valinta perustuu ammattitaitoisen leimaajan kokemukseen ja harkintaan. Leimaajasta ja metsikön rakenteesta riippuen eri valintaperusteiden painotus saattaa vaihdella huomattavasti. Esimerkkinä ohjeiden tulkinnanvaraisuudesta voidaan pitää puukohtaisten leimausehdotusten kirjavuutta metsäammattimiesten välisissä leimauskilpailuissa.

Systemaattisiksi harvennuksiksi on tähän saakka kutsuttu harvennustapoja, joissa poistettavat puut valitaan ainoastaan sijaintinsa perusteella, esimerkkeinä käytävä- ja riviharvennukset. Systemaattisuus voidaan kuitenkin käsitteenä laajentaa koskemaan myös muita valintaperusteita. Esimerkiksi tiettyä läpimittaa pienempien puiden poistaminen merkitsee systemaattisuutta läpimitan suhteen.

Tietokoneiden käyttö on avannut uudet mahdollisuudet systematisoida puuvalinta samanaikaisesti useiden valintaperusteiden suhteen. Matemaattiseen malliin voidaan ottaa mukaan erilaisia puiden kokoa, terveydentilaa, teknistä laatua tai sijaintia kuvaavia tunnuksia. Muuttamalla valintaperusteiden painotuksia saadaan lopputulos muistutamaan mitä tahansa valikoivan harvennuksen tavoitepuustoa.

Täysin objektiiviseen valintaan pyrittäessä on luonnollisesti käytettävä ainoastaan objektiivisesti määritettyjä lähtötietoja. Tällöin voidaan puhua systemaattisesta harvennuksesta vaikka lopputulos onkin valikoivan harvennuksen kaltainen.

Tämän työn tarkoituksena on esitellä harvennusvalinnan systematisointiin kehitetty leimausohjelma, jossa valintaperusteina voidaan käyttää mitä tahansa puukohtaisia tunnuksia tai niiden yhdistelmiä. Tavoitteena on myös selvittää ohjelman tarjoamia mahdollisuuksia metsikön ja harvennusvalinnan

analysointiin sekä harvennustapojen vertailuun. Leimausohjelmalla pyritään kuvaamaan erilaisia harvennusvalinnan vaihtoehtoja ottamatta lainkaan kantaa niiden hyväksyttävyyteen tai paremmuuteen puuntuotannolliselta kannalta.

Nyt esiteltävä leimausohjelma lienee ensimmäinen yritys systematisoida harvennusvalinta tietokonetta hyväksikäyttäen. Valittu menetelmä on periaatteiltaan selkeä ja toiminnoltaan joustava. Tästä huolimatta ohjelmaa ei ole syytä pitää joka suhteessa täydellisenä. Sen toivotaan kuitenkin antavan pohjaa harvennusvalinnan tavoitteiden ja perusteiden aikaisempaa objektiivisemmalle tarkastelulle. Ohjelma sopii sellaiseen myös metsikön sisäisen tiheysvaihtelun eli puiden välisen tilajärjestyksen kuvaukseen. Lisäksi sitä voidaan käyttää pysyvien metsikkökokeiden harvennuksissa, jotka yleensä halutaan toteuttaa mahdollisimman objektiivisesti. Ohjelman uskotaan soveltuvan myös opetustarkoituksiin. Sen avulla voidaan tuottaa mallileimauksia harvennusvalinnan opetusta ja ehkä myös leimauskilpailuja varten.

Leimausohjelman suunnittelu käynnistettiin puuntuotoksen tutkimussuunnalla MMK Antti Isomäen johdolla vuonna 1976. Ohjelmoinnista vastasi DI Reino Ruotsalainen maanmittaushallituksesta. Ohjelman ominaisuuksia ja soveltuvuutta koelapuustojen leimaukseen selvitteli MH Pentti Niemistö, joka vuosien 1980—81 aikana laati aiheesta metsänarvioimistieteen opinnäytetyönä tutkielman ”Koealan leimauksen systematisointi tietokoneohjelman avulla”. Kevästä 1982 alkaen Niemistö jatkoi ohjelman ominaisuuksien testausta käyttäen sitä hyväksi myös ns. laatuharvennuskokeiden leimauksissa. Ohjelman viimeistelystä ja jatkokehittelystä vastasi FK Pirkko Luoma.

Metsäntutkimuslaitosta varten käsikirjoituksen lukivat professorit Yrjö Vuokila ja Kullervo Kuusela. Piirrookset julkaisua varten teki Marja-Liisa Herno ja konekirjoituksen Anja Sanaslahti. Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

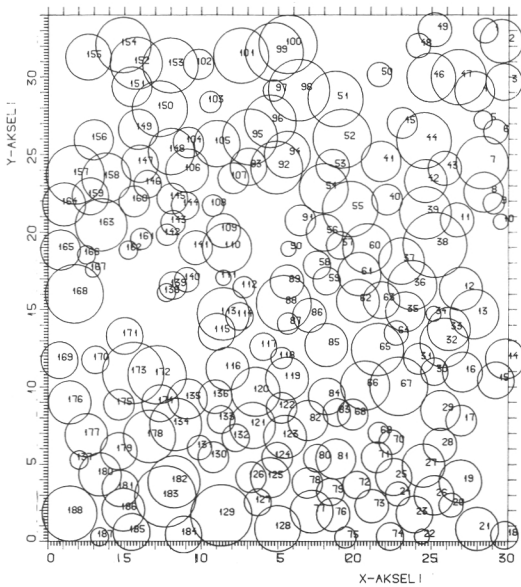
2. LEIMAUSSOHJELMAN KUVAUS

21. Toimintaperiaate

Leimausohjelman avulla koealan puut asetetaan poistamisjärjestykseen tärkeimpien harvennusvalintaan vaikuttavien tunnusten perusteella. Leimauksessa edetään puu ker-

rallaan, kunnes saavutetaan haluttu harvennusaste. Leimausjärjestykseen voidaan vaikuttaa valintaperusteita ja niiden keskinäisiä painotuksia vaihtelemalla.

Puille annetaan ympyrän muotoinen kasvutila (a_p) jakamalla koealan pinta-ala pui-



Kuva 1. Esimerkki kasvutilan jakamisesta leimausohjelman avulla. Tilanjakotunnukseksi (u) on käytetty pohjapinta-alaa, joten ympyränmuotoisten kasvutilojen pinta-alat ovat verrannollisia ko. puiden pohjapinta-alojen kanssa. Kasvutilojen summa on aina yhtä suuri kuin koealan koko pinta-ala.

Fig. 1. Illustration of the spatial allocation in the thinning programme. The basal area has been used as the spacing criterion (u) so that the circular growing spaces are proportional to the basal areas of the standing trees, and their sum is equal to the area of the sample plot.

den kesken jonkin puuta kuvaavan tunnuksen suhteessa (kuva 1). Leimausjärjestys määräytyy jokaiselle puulle laskettavan valintasuhteen (s) perusteella:

$$s = \frac{a_y}{c \cdot a_r}, \text{ jossa}$$

s = valintasuhde

a_y = naapuripuun kanssa päällekkäisten kasvutilojen osien summa

c = valintakerroin, jonka osatekijöinä voidaan käyttää mitä tahansa puutunnuksia, joiden halutaan vaikuttavan leimausjärjestykseen

a_r = laskennallisen kasvutilan pinta-ala

Mitä suuremman osuuden naapuripuut peittävät laskennallisesta kasvutilasta, sitä todennäköisempää on puun poistaminen. Samoin vaikuttaa puulle annetun valintakertoimen (c) pienentäminen. Kun valintasuhdeetaan suurin puu on "leimattu", vähennetään sen aiheuttama päällekkäisyys naapuripuulta ja poistamisjärjestys lasketaan uudelleen.

Leimausohjelman ohjausparametrien avulla valitaan tilanjakotunnus (u) ja määrätään

valintakertoimeen (c) vaikuttavat tekijät sekä niiden painotukset. Puiden numerot ja tärkeimmät tunnuksot tulostetaan leimausjärjestyksessä. Poistetun ja jäljelle jäävän puuston määrät ja keskitunnukset tulostetaan väliraporteissa ja leimausohjelman lopputulossa.

22. Koealatiiedosto

Harvennusvalintaan vaikuttavat ennen kaikkea puiden koko, laatu ja sijainti naapuripuuhin nähden. Leimausohjelmaa varten kerätään ja lasketaan ainakin seuraavat tiedot:

Puun kokoa kuvaavat mitatut tunnuksot:

- rinnankorkeusläpimita (d)
- yläläpimita (d_g)
- pituus (h)

Puun kokoa kuvaavat johdetut tunnuksot:

- pohjapinta-ala (g)
- runkotilavuus (v)
- tukkiosan tilavuus (vt)
- kuituosan tilavuus (vk)
- latvuskerros (lk)

Puun laatua kuvattaessa on tyydyttävä olemassa oleviin silmävaraisiin luokituksiin tai kehitettävä uusia, ensisijaisesti mittauksiin perustuvia tunnuksia. Tärkeimpiä laatuominaisuuksia ovat:

- puulaji
- rungon vikaisuus
- oksikkuus
- terveydentila
- kasvuisuus
- latvuksen rakenne
- puuaineen tiheys

Puiden sijainnin määrittäminen edellyttää koealan kartoitusta. Tämä tapahtuu helpoiten suuntakehän ja mittanauhan avulla. Suunta ja etäisyysmittauksista lasketaan koordinaattipisteet kartoitusohjelman avulla (Met-sikkökokeiden maastotyöohjeet 1982).

Tietojen keruussa tulee pyrkiä siihen, että jokaisesta puusta erikseen määritetään leimausohjelman edellyttämät tunnuksot. Puun sijainti- ja laatuominaisuuksien osalta vaatimus on ehdoton, mutta rungon koon ja muodon osalta voidaan tyytyä pelkän läpimitan (d) mittaukseen ja estimoida muut tunnuksot koepuiden avulla. Tämä edellyttää kuitenkin, että koepuuaineisto riittävän hyvin edustaa ko. puutyyppiä.

23. Kasvutilan jako

Leimausohjelmassa puun kasvutilan pinta-ala lasketaan kaavalla:

$$a_r = \frac{u}{\sum u_i} \cdot A_{\text{tot}}, \text{ jossa}$$

a_r = laskennallisen kasvutilan pinta-ala
 u = tilanjakotunnus
 $\sum u_i$ = tilanjakotunnuksen koelasuma
 A_{tot} = koealan pinta-ala

Ympyränmuotoiset kasvutilat sijoitetaan koealalle puiden sijaintipisteet keskipisteinä. Nykyisellään ohjelmassa tilanjakotunnukseksi voidaan valita jokin seuraavista puutunnuksista:

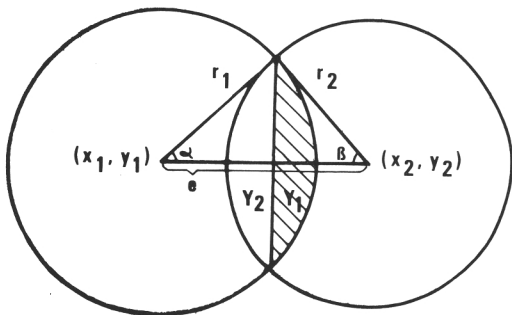
- rinnankorkeusläpimitta (d)
- yläläpimitta (d_0)
- pituus (h)
- pohjapinta-ala (g)
- runkotilavuus (v)
- tukkiosan tilavuus (vt)
- kuituosan tilavuus (vk)
- hukkapuun tilavuus (vh)
- rungon arvo (mk)

Tilanjako voidaan tehdä myös monen tunnuksen funktiona. Tässä vaiheessa ei ole käytettävissä tutkimustuloksia tällaisen funktion määrittämiseksi. Tilanjakovaihtoehtojen lisäämiseksi ohjelmassa on tällä hetkellä mahdollisuus kahden muuttujan funktion käyttöön. Se on muotoa

$$u = (o_1 + p_1 \cdot u_1 + q_1 \cdot u_1^2) + (o_2 + p_2 \cdot u_2 + q_2 \cdot u_2^2)$$

Kertoimet o , p ja q voidaan valita vapaasti ja muuttujat u_1 ja u_2 edellä olevista tilanjakotunnuksista.

Tässä tutkimuksessa puun kasvutilalla tarkoitetaan esitetyllä tavalla laskettua ympyrää. Koska kasvutilojen summa on yhtä suuri kuin koealan pinta-ala, menevät ympyrät osittain päällekkäin (kuva 1). Jokaisen puun



Kuva 2. Kasvutilojen päällekkäisyys.
 Fig. 2. Overlap of the growing spaces.

kohdalla summataan naapuripuiden kanssa päällekkäiset kasvutilan osat tunnukseksi a_y . Päällekkäisyyden matemaattinen ratkaisu on seuraava (kuva 2):

Kahden puun sijaintipisteiden välinen etäisyys

$$e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

1. Jos $e \geq r_1 + r_2$, puilla ei ole yhteistä aluetta.
2. Jos $e \leq |r_1 - r_2|$, pienempi ympyrä on kokonaan isomman sisällä, jolloin yhteinen alue on pienemmän ympyrän pinta-ala, $Y_{1,2} = \pi \min(r_1^2, r_2^2)$.

3. Jos $|r_1 - r_2| < e < (r_1 + r_2)$, yhteinen alue $Y_{1,2} = Y_1 + Y_2$ (segmenttien summa)

$$Y_1 = r_1^2 (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha)$$

$$Y_2 = r_2^2 (\beta - \sin \beta \cos \beta)$$

$$\cos \alpha = (r_1^2 + e^2 - r_2^2) / (2r_1 e)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$$

$$\cos \beta = (r_2^2 + e^2 - r_1^2) / (2r_2 e)$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$$

Kasvutilojen päällekkäisyyksien summa on yhtä suuri kuin niiden väleihin jäävien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala. Tämän osuutta koealan koko pinta-alasta voidaan käyttää puuston tasaisuustunnuksena.

24. Valintakerroin

Esitetyllä tavalla laskettu kasvutilojen päällekkäisyys kuvaa puun asemaa naapuripihiin nähden. Muut harvennusvalintaan vaikuttavat tekijät otetaan huomioon valintakerroimessa (c). Valintakerroimen osatekijät sekä niiden väliset vaikutussuhteet voidaan valita vapaasti. Mitä suuremman arvon tunnus saa, sitä todennäköisemmin puu jätetään kasvamaan.

Leimausohjelman nykyisessä muodossa valintakerroin lasketaan painokerrointen tulona. Epäjatkuvien muuttujien osalta painokerroimet voidaan antaa kullekin luokalle erikseen. Tällöin luokkia voi olla korkeintaan yhdeksän kutakin muuttujaa kohden. Mitattujen tunnusten osalta painokerroimet voidaan määrätä myös funktioiden avulla.

Leimausohjelman testauksissa on käytetty seuraavia neljää painokerrointa:

- puulajikerroin (c_{pl})
- latvuseroskerroin (c_{lk})
- teknisen laadun kerroin (c_{tl})
- terveydentilakerroin (c_{tl})

Painokerroimien minimiarvoksi on sovittu 0 ja maksimiarvoksi 1 riippumatta siitä, onko kyseessä luokittainen vai funktiolla il-

maistava liukuva painotus. Muodostettaessa valintakerroin yksittäisten painokerrointen tulona on myös sen minimiarvo 0 ja maksimiarvo 1.

25. Ohjelman rakenne ja tulostus

Leimausohjelman rakenne on esitetty kuvassa 3. Koealalta kerätyt tiedot ja niistä johdetut tunnuksat yhdistetään leimausohjelman edellyttämään muotoon koealatielodostoksi. Ohjelman toimintaa ohjataan parametritielodostolla, jossa määrätään valintaan vaikuttavat tunnuksat ja niiden painotukset.

Kasvutilan (a_r), päällekkäisyyden (a_y) ja valintakerroimen (c) laskennan jälkeen jokaiselle puulle muodostetaan valintasuhde (s):

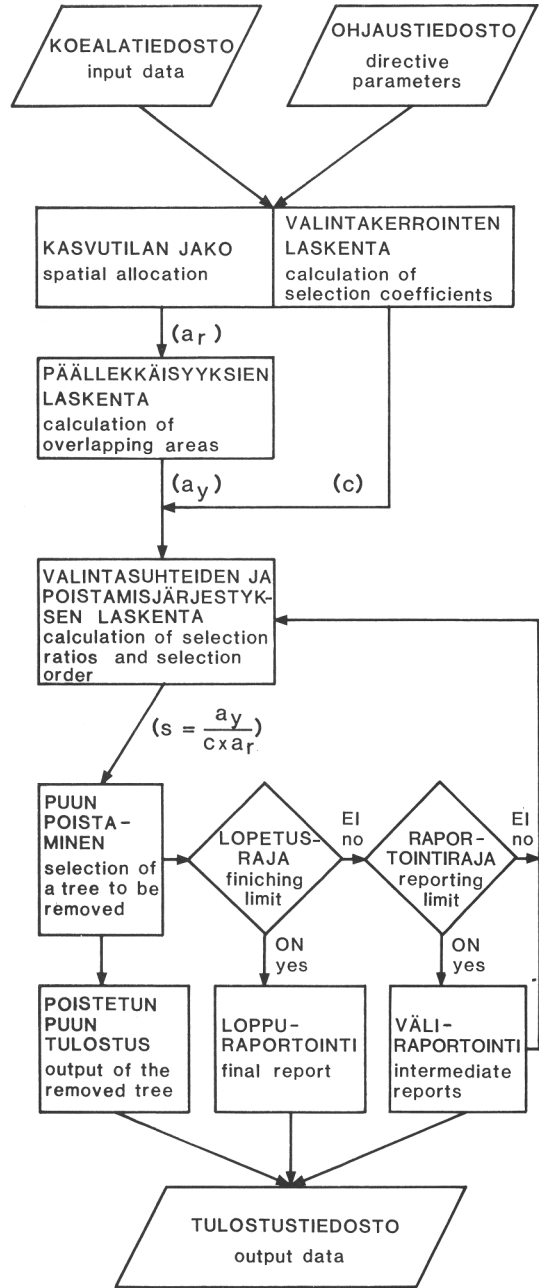
$$s = \frac{a_y}{c \cdot a_r}$$

Puut, joiden valintakerroin saa arvon $c < 10^{-6}$, poistetaan ensiksi riippumatta muista tekijöistä. Nämä puut katsotaan kokonsa tai laatunsa puolesta ehdottomasti poistettaviksi. Loput puut asetetaan poistamisjärjestykseen siten, että valintasuhteen arvoltaan suurin puu poistetaan ensimmäisenä. Poistetun puun aiheuttama kasvutilan päällekkäisyys vähennetään naapuripuilta ja poistamisjärjestys lasketaan uudelleen. Näin edetään ensimmäiselle raportointirajalle. Väliraportin jälkeen edetään seuraavaan raporttiin ja niin edelleen kunnes saavutetaan tavoitteeksi asetettu harvennusaste.

Leimauksen edessä tulostetaan poistettujen puiden tunnuksat: puun numero, sijaintikoordinaatit, d , d_6 , g , h , v , v_t , v_k , v_h sekä rungon raha-arvo. Lisäksi tulostetaan valintakerroin (c), kasvutilan säde (r), päällekkäisyys (a_y) ja valintasuhde (s). Raportointia ja leimauksen voimakkuutta ohjataan kolmella parametrilla: seurantatunnus, raportointiväli ja lopetusraja.

Seurantatunnus on muuttuja, jonka mukaan määritetään harvennuksen voimakkuus sekä väli- ja loppuraporttien paikat. Seurantatunnuksena voi olla joko runkoluku, pohjapinta-ala, tilavuus tai raha-arvo.

Raportointiväli osoittaa leimauksen edessä kohdat, joissa tulostetaan väliraportit. Lopetusrajalle tultaessa leimaus päättyy ja tulostetaan loppuraportti sekä luettelo



Kuva 3. Leimausohjelman toimintakaavio.
Fig. 3. Chart of the programme.

jäljelle jäävistä puista puutunnuksineen. Raporteissa on puutunnusten summat ja aritmeettiset keskiarvot sekä poistetuille että jäljellä oleville puille.

Raportointiväli ja lopetusraja voidaan antaa seurantatunnuksen suhteen joko abso-

luuttisena (≥ 1) tai suhteellisenä (< 1). Jos esimerkiksi seurantatunnukseksi käytetään pohjapinta-alaa ja raportointiväliksi valitaan 0,1 sekä lopetusrajaksi 0,6, tapahtuu tulostus seuraavasti:

Kun leimattujen puiden ppa-summa ylittää 10 %:n rajan laskettuna koelan koko puuston pohjapinta-alasta, tulostuu ensimmäinen väliraportti. Seuraavat väliraportit saadaan 20 %:n ja 30 %:n kohdalla. Laskenta päättyy kun pohjapinta-alasta on jäljellä 60 %.

3. HARVENNUSVALINNAN PERIAATTEET JA NIIDEN MUKAISET LEIMAUSVAIHTOEHDOT

31. Harvennuksen tavoitteet ja puuvalinnan perusteet tasaikäisessä metsikössä

Kasvatushakkuilla pyritään ohjaamaan puuston kehitystä taimikkovaiheen jälkeen siten, että kasvupaikan tarjoamat kasvutekijät käytettäisiin määrältään ja laadultaan optimaalisen puusadon tuottamiseen. Kasvutekijöiden täysimääräinen hyväksikäyttö edellyttää oikeaa puulajia, riittävää puustopääomaa, puiden hyvää kasvukykyä sekä niiden riittävän tasaista sijaintia. Harvennaminen vähentää puustopääomaa, eikä se useimpien tutkimusten mukaan lisää kokonaiskasvua. Sen sijaan puuston arvoa ja korjuukelpoisuutta lisätään sopivalla kasvatusihydyllä ja puuvalinnalla.

Kalelan (1945) mukaan harvennushakkuiden päämäärä on mahdollisimman tasainen metsikkö, jossa puut ovat kehitysasteeltaan ja elinvoimaisuudeltaan mahdollisimman samanlaisia ja sijaitsevat tasaisesti. Keskittämällä metsikön kasvu harvoin, laadullisesti parhaimpiin valtapuihin, joudutetaan puuston kehitystä vaarantamatta sen teknistä laatua. Harvennushakkuun tavoitteet ovat Kalelan mukaan seuraavat:

- luontaisen harventumisen jouduttaminen
- puulajisuhteiden järjestely
- metsikön rodullinen parantaminen
- puuston teknisen laadun parantaminen
- tuhojen ehkäisy
- latvusten hoito
- maan kunnosta huolehtiminen
- luontaisen uudistumisen helpottaminen
- luonnonpoistuman talteenotto.

Vuokila (1970) painottaa edellisten lisäksi välittömiä harvennustuloja, joilla on huomattava merkitys käytännössä hakkuupäätöksiä tehtäessä.

Tämän jälkeen tulostuu loppuraportti, joka sisältää summa- ja keskiarvotunnusten lisäksi luettelon kasvamaan jäävistä puista.

Kuten edellä on todettu, tarvitaan leimausohjelman ohjaamiseen parametrit raportointia, tilanjakoa ja painokertoimia varten. Lisäksi parametritiedostossa annetaan yksikköhinnat puutavaralajeille arvonnaskentaa varten.

Vaikka harvennuksen tärkeimmät tavoitteet koskevatkin kasvamaan jätettävää puustoa, kiinnitetään harvennussuunnitelmassa yleensä päähuomio puuston heikoimpaan osaan eli poistettaviin puihin. Näin ollen metsikön peruspuusto, jota kasvatetaan kiertoajan loppuun saakka, valikoituu passiivisesti luontaisen kilpailun sanelemassa järjestyksessä. Käytännössä peruspuusto valitaan etukäteen ainoastaan pystykarsinnan yhteydessä.

Harventamalla voidaan vain pelkistää sitä puustoa, joka on käytettävissä aikaisemman kehityksen tuloksena. Harvennuksen edullisuus perustuu siihen, että jäävät puut pystyvät käyttämään vapautuvat kasvutekijät hyväkseen. Näin kasvu voidaan keskittää haluttuihin puuyksilöihin. Ensin poistetaan kuolleet, sairait ja puulajiltaan kasvupaikalle sopimattomat sekä kilpailussa selvästi tappiolle joutuneet puut. Nykyisen harvennuskäytännön mukaisesti poistetaan myös kohtuuttomasti naapuripuita haittaavat ns. susipuut sekä muut teknisesti huonolaatuiset puuyksilöt. Jos puustopääoma sallii, voidaan poistaa myös kasvatuskelpoisia puita.

Valintaan vaikuttavat pääasiassa puun kasvuisuus, tekninen laatu sekä asema naapuripuihin nähden. Korjuunäkökohtien takia näistä valintaperusteista joudutaan tinkimään. Esimerkiksi ajourilta poistetaan kaikki puut vain sijaintinsa perusteella.

Tasaikäisessä metsikössä kasvuisuutta kuvaa hyvin puun tähänastinen kehitys eli sen suhteellinen koko naapuripuihin verrattuna. Sairailta ja latvuksiltaan huonoilla puilla tulee kasvun taantuminen luonnollisesti ottaa huomioon. Latvuserrosta käytetään ylei-

sesti puun kilpailuaseman ja kasvuisuuden kuvaamiseen.

Teknisen laadun kannalta ovat tärkeitä puulaji, rungon vikaisuus ja oksaisuus sekä runkomooto. Kasvatusvaiheessa on oleellista laadun tuleva kehitys ja sen vaikutus puun arvoon. Laadun kehitys on ennakoitava nykyisten ominaisuuksien perusteella.

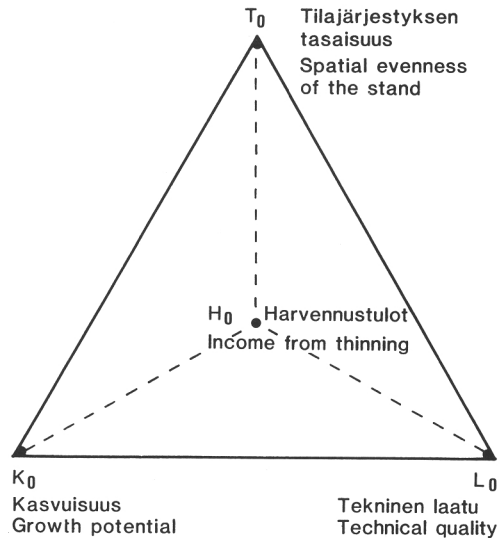
Olemassa oleva kasvutila tulisi saada puuston käyttöön mahdollisimman tehokkaasti. Tutkimustulosten puuttuessa ei tasaisuuden vaatimusta voida tarkasti määrätä. Puiden ryhmittäinen sijainti ei ole välttämättä haitallista, varsinkin jos syynä on maan viljavuuden vaihtelu. Aukot parantavat myös metsikön mikroilmastoa. Turhia aukkoja on vältettävä, koska puiden kyky käyttää hyväkseen vapaata tilaa on rajallinen.

Nykyisten metsänkäsittelyohjeiden mukaan kasvamaan jätetään harvennusmallien osoittama määrä kasvupaikalle sopivien puulajien kasvu- ja laatuominaisuuksiltaan parhaita puuyksilöitä. Lisäksi kiinnitetään huomiota järeytymisen kannalta riittävään kasvutilaan ja aukkojen välttämiseen. Yksityiskohtaisempia ohjeita biologiseen puuluo- kituksen tai muuhun harvennusvalinnan systematisointiin ei esitetä. Näin ollen leimaajan ammattitaidon edellytetään korvaavan tarkemmat valintaohjeet käytännön metsänhoidossa.

Tutkimuksessa ja opetuksessa sen sijaan kaivataan täsmällisyyttä ja objektiivisuutta. Tietokoneet ovat lisänneet ratkaisevasti tietojenkäsittelyn mahdollisuuksia. Niiden avulla voidaan myös puuvalinta systematisoida aivan uudella tavalla. Jäljempänä tässä luvussa tarkastellaan leimausohjelman mahdollisuuksia harvennusvalinnan systematisoimiseksi. Samalla vertaillaan toisistaan johdonmukaisesti poikkeavia leimausvaihtoehtoja.

32. Leimausvaihtoehtojen rajat

Tärkeimmät valintaperusteet ja niistä johdetut leimausvaihtoehdot voidaan esittää kuvan 4 avulla. Kolmio (ehyt viiva) esittää leimausvaihtoehtoja, joissa painotetaan jäljelle jäävien puiden kasvuisuutta, teknistä laatua ja tilajärjestyksen tasaisuutta. Äärimmäisissä tapauksissa vain yksi kolmesta tekijästä määrää puuvalinnan. Nämä leimaukset



Kuva 4. Tärkeimmät valintaperusteet ja niitä eri tavoin painottavien leimausvaihtoehtojen rajat. Äärimmäisinä vain yhteen tekijään perustuvat leimaukset K_0 , L_0 , T_0 ja H_0 .

Fig. 4. The most important selection criteria and corresponding thinning alternatives. The useable combinations are limited by the edges of the pyramid. Only one criterion is stressed at the endmost points K_0 , L_0 , T_0 and H_0 .

sijaitsevat kolmion K_0 , L_0 ja T_0 kärjissä. Kahta tekijää painottavat vaihtoehdot sijaitsevat kolmion sivuilla. Kaikki kolme valintaperustetta huomioon ottavat leimaukset sijoittuvat kolmion sisälle. Mitä lähempänä kulmapistettä ollaan, sitä suurempi paino on kyseisellä valintaperusteella.

Jos välittömät harvennustulot ja korjuukustannusten minimointi hyväksytään harvennusvalinnan tavoitteiksi, tulee kaavioon vielä neljäs ulottuvuus. Käytännössä ainakin ajouran puut poistetaan tällä perusteella. Ääritapauksena voidaan pitää käytävä- tai riviharvennusta tai määrämittaharsintaa. Tällöin kaavio on pyramidi, jonka neljännessä kulmassa on pelkästään välittömiä tuloja korostava vaihtoehto. Leimausohjelman sovellutus esimerkeissä jätetään tämä ulottuvuus pois tarkastelusta, koska sitä ei voida pitää metsikön kasvatustavoitteena. Esimerkeissä keskitytään kasvuisuuden, teknisen laadun ja tilajärjestyksen valintavaikutuksiin.

Pelkästään puiden kasvuisuutta painotettaessa leimausvaihtoehdossa poistetaan kuolleiden, sairaiden ja kasvupaikalle sopimattomien lisäksi vain metsikön pienimpiä

puita suuruusjärjestyksessä kunnes saavutetaan haluttu harvennusaste.

Vain tilajärjestyksen tasaisuutta korostavan leimauksen tavoitteena on jäävän puuston jakautuminen mahdollisimman tasaisesti metsikköön. Tällöin harvennuksessa vapautuvan tilan käyttöönoton voidaan olettaa tapahtuvan mahdollisimman nopeasti ja täydellisesti.

Jos ainoa valintaperuste on tekninen laatu, asetetaan puut sen mukaisesti paremmuusjärjestykseen. Ensimmäisenä poistetaan käyttöarvoltaan vähäiset puulajit ja pahasti vikaiset puut. Sen jälkeen poistetaan lievemmin vikaisia ja oksikkaita puita kunnes saavutetaan haluttu harvennusaste. Tavoitteena on, että jäljelle jätetyt puut tuottavat teknisiltä ominaisuuksiltaan mahdollisimman arvokasta puuta.

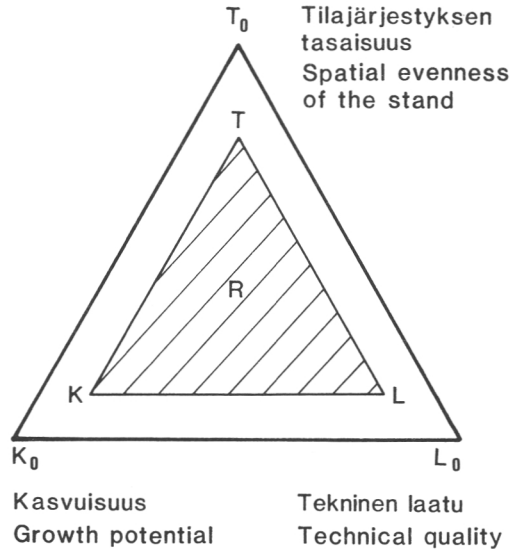
Äärimmäiset, vain yhteen tekijään perustuvat leimaukset eivät tietenkään ole järkeviä, mutta ne osoittavat ehdottomat rajat ajateltavissa oleville valintavaihtoehdoille. Osa puista on kasvukyvyltään tai teknisiltä ominaisuuksiltaan niin huonoja, ettei niitä kannata missään tapauksessa jättää kasvamaan. Toisaalta jäävien puiden sijainnille on asetettava tietty tasaisuuden vaatimus.

Edellisen perusteella leimausvaihtoehtoja on rajoitettava siten, että jäävä puusto täyttää tietyt minimivaatimukset kasvuisuuden, teknisen laadun ja tasaisuuden suhteen. Kuvassa 5 viivoitettu alue R esittää niitä valintavaihtoehtoja, jotka täyttävät nämä minimivaatimukset. Sitä voidaan nimittää rationaalisten leimausvaihtoehtojen alueeksi.

Näin määritellyt rationaaliset leimausvaihtoehdot eivät vielä kaikki ole puuntuotannollisesti suositeltavia. Minimivaatimusten avulla rajataan vain ehdottomasti kelvottomat vaihtoehdot pois. Leimausohjelmassa jokaisen valintaperusteen minimivaatimus voidaan määritellä niin tiukaksi kuin halutaan.

33. Leimausohjelman soveltaminen

Leimausjärjestykseen voidaan vaikuttaa tilanjakotunnusta vaihtamalla ja puiden valintakertoimiin vaikuttavia painokertoimia muuttamalla. Jäljempänä olevissa leimaus-esimerkeissä tilanjako tehdään yksinomaan puiden pohjapinta-alojen suhteessa. Tällöin leimausohjelma tavoittelee jatkuvasti puus-



Kuva 5. Rationaalisten leimausvaihtoehtojen alue R, jota rajoittavat kasvuisuutta korostava alaharvennus K, teknistä laatua korostava laatuharvennus L ja tilajärjestyksen tasaisuutta korostava tilaharvennus T.

Fig. 5. The domain (R) of rational thinning alternatives, surrounded by the thinning-from-below (K) stressing the tree's growing potential, by the quality thinning (L) stressing the tree's technical quality, and by the spatial thinning (T) stressing the spatial evenness of the stand.

ton pohjapinta-alan tasaista jakautumista koko metsikössä. Mitä enemmän muita valintaperusteita painotetaan, sitä vähemmän tilajärjestys vaikuttaa valintaan. Tilanjakovaihtoehtojen vaikutusta puuvalintaan selvitetään tarkemmin luvussa 4.

Koska tilanjakoa ei leimaus-esimerkeissä vaihdella, ohjataan puuvalintaa vain painokertoimien avulla. Erilaisia leimausvaihtoehtoja aikaansaadaan muuttamalla kasvuisuuden ja teknisen laadun painotusta valinnassa.

Esimerkeissä painokertoimet annetaan latvuserroksille, koska näin säilytetään yhteys niiden avulla määritelyihin harvennustapoihin. Valinta olisi objektiivisempää, jos painokertoimet laskettaisiin esimerkiksi pituuden tai tilavuuden funktiona. Kasvuisuuteen vaikuttavat lisäksi terveydentila ja puulaji.

Puun tekninen laatu on sidoksissa käytötarkoitukseen, joten sen merkitys ei ole yksiselitteinen. Yleensä havupuurungon laatua pidetään sitä parempana mitä suurempi osuus sen tilavuudesta on tukkia ja mitä arvokkaampaa sahatavaraa siitä saadaan.

Kaikkein heikkolaatuisimmallakin puulla on arvoa ainakin polttopuuna.

Leimausesimerkeissä rungon tekniseen laatuun vaikuttavat vikojen vakavuus ja sijainti sekä oksien paksuus tyvitukin osuudella. Sovellettu laatuluokitus on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 1. Suurin merkitys on tyvitukin laatuennusteella. Laatuluokituksessa vikaisuus ja oksikkuus on yhdistetty, mutta niitä voitaisiin painottaa myös erikseen.

Leimausohjelman sovellutusesimerkkeinä käytetään kolmea 1000 m²:n koealaa, jotka sijaitsevat Metsäntutkimuslaitoksen Punkaharjun kokeilualueessa. Koealat on perustettu kesällä 1982 puolukkatyyppin männikköön ja ne kuuluvat samanaikaisesti aloitettuun laatuharvennuskokeeseen. Niiden mitauksessa on otettu huomioon leimausohjelman vaatimukset. Kaikista puista on mitattu:

- sijaintikoordinaatit
- rinnakorkeusläpimitta
- yläläpimitta
- pituus
- tyvitukin osuuden paksuimman oksan läpimitta
- alimman vian etäisyys maanpinnan tasosta

Näiden mitattujen tunnusten lisäksi sovellutusesimerkeissä käytetään harvennusvalinnan perusteina silmävaraista latvuserrosluokitusta sekä rungossa esiintyvien vikojen haitta-asteen määrittystä.

Koealoilta on mitattu myös puiden pituuskasvu, vihreän latvuksen alarajan etäisyys maasta ja oksakiehkuroiden lukumäärä 3—5 m:n korkeudella sekä arvioitu useita silmävaraisia laatutunnuksia. Näitä tunnuksia ei kuitenkaan käytetä valintaperusteina nyt esitettävissä leimausesimerkeissä.

Koealat sijaitsevat männikössä, jonka ikä on 45 vuotta. Tärkeimmät puustotunnukset on esitetty seuraavassa asetelmassa:

		koeala 1	koeala 2	koeala 3
runkoluku	kpl/ha	1880	2000	2650
ppa	m ² /ha	26,3	25,8	29,0
tilavuus	m ³ /ha	175	150	173
valtapituus	m	14,9	14,3	15,2
keskipituus (aritm.)	m	12,1	10,9	11,0
keskiläpimitta (aritm.)	cm	12,9	12,1	11,0

Leimausesimerkit esitetään koealalta 1. Luvussa 4 käytetään esimerkkeinä myös koealoja 2 ja 3. Esimerkeissä käytetään seuraavia puulaji- ja latvuserrosluokituksia:

Puulaji (pl)	Latvuserros (lk)
1 = mänty	1 = päävaltapuu
2 = kuusi	2 = lisävaltapuu
3 = rauduskoivu	3 = välipuu
4 = hieskoivu	4 = aluspuu
5 = haapa tai leppä	5 = alikasvospuu
6 = muu lehtipuu	6 = ylispuu

Terveydentila ja viat on luokiteltu seuraavasti:

Terveydentila (tt)	Viat
1 = terve	1 = mutka
2 = kuollut	2 = haara
3 = sairas	3 = lenkous
4 = kuivalatvainen	4 = avokoro tai vaurio
5 = kuivalatvainen + sairas	5 = poikaoksa
6 = kuoleva	6 = puu kaatunut tai runko poikki

Laatuluokituksessa otetaan huomioon em. vikojen lisäksi oksikkuus. Laatuluokan 1 puut ovat virheettömiä ja hento-oksaisia. Seuraavissa luokissa rungon tekninen laatu heikkenee siten, ettei luokan 6 puista pahojen vikojen tai oksien takia saada koskaan tukkia (liite). Koealan 1 puut jakautuvat puulaji-, latvuserros-, terveydentila- ja laatuluokkiin taulukon 1 mukaisesti.

34. Leimausvaihtoehdot ja niiden vertailu

Ensimmäinen tehtävä on määrittellä minimivaatimukset kasvatettavalle puustolle. Leimausesimerkeissä poistetaan huonon kasvuvyvyn takia kaikki aluspuut sekä kuolleet ja sairaat puuyksilöt. Teknisesti huonolaatuisina poistetaan sellaiset puut, joista vikojen takia ei saada tukkia. Puulajeista poistetaan rauduskoivuja lukuunottamatta

Taulukko 1. Runkoluvun jakautuminen puulaji-, latvuserros-, terveydentila- ja laatuluokkiin koealalla 1. *Table 1. Distribution of the stem numbers into the classes of tree species, canopy stores, state of health and quality in the sample plot 1.*

Tunnus — Characteristic		Luokka — Class					
		1	2	3	4	5	6
Puulaji <i>Tree species</i>	kpl/ha nr/ha %	1880	—	—	—	—	—
Latvuserros <i>Canopy storey</i>	kpl/ha nr/ha %	500	610	530	240	—	—
Terveydentila <i>State of health</i>	kpl/ha nr/ha %	1790	10	80	—	—	—
Laatuluokka <i>Class of health</i>	kpl/ha nr/ha %	1330	310	130	40	60	10
		71	16,5	7	2	3	0,5

Taulukko 2. Tilaharvennusta T vastaavat painokertoimet. Jos kerroin on nolla, ei kyseistä ominaisuutta hyväksyttyä jätettäville puille.

Table 2. The weighted coefficients corresponding to the spatial thinning (T). If the coefficient is zero, the property in question cannot be accepted for the remaining trees.

Tunnus — Characteristic		Luokka — Class					
		1	2	3	4	5	6
		Painokertoimet — Coefficients					
Latvuskerros Canopy storey	c_{lk}	1,0	1,0	1,0	0	0	0
Terveydentila State of health	c_{tt}	1,0	0	0	0	0	0
Puulaji Tree species	c_{pl}	1,0	0,5	0,5	0	0	0
Laatuluokka Class of quality	c_{tl}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0

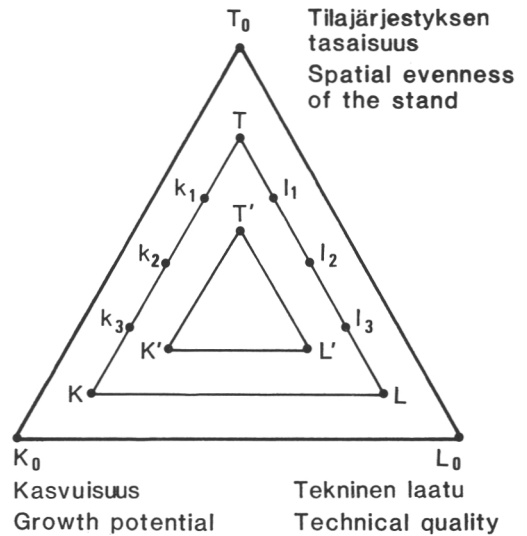
kaikki lehtipuut. Leimausohjelmassa minimivaatimukset toteutetaan siten, että ko. painokertoimille annetaan arvo nolla (taulukko 2).

Leimausohjelmassa varsinaiset valintäsäännöt koskevat minimivaatimukset täyttävää puustoa. Esimerkeissä valintaa ohjataan latvuskerrosten ja laatuluokkien painotusta muuttamalla. Puulajikertoimet pidetään vakiona siten, että mäntyjen jättämistä suositetaan antamalla kuuselle ja rauduskoivulle painokertoimeksi 0,5 (männyllä 1,0).

Taulukossa 2 on esitetty painokertoimet, joilla jäävän puuston minimivaatimukset toteutuvat ja latvuskerrosten ja laatuluokkien vaikutus puuvalitintaan on pienin mahdollinen. Näillä valintaperusteilla tilajärjestyksen tasaisuus saa suurimman mahdollisen painotuksen. Kyseistä leimausvaihtoehtoa nimitetään tässä tilaharvennuksiksi ja sitä vastaa piste T kuvassa 6.

Tässä esimerkissä tilaharvennuksella pyritään jäävän puuston pohjapinta-alan mahdollisimman tasaiseen jakautumiseen koelalalla. Ainoat rajoitukset ovat edellä esitetyt minimivaatimukset ja mäntyjen suosiminen kuuseen ja rauduskoivuun verrattuna.

Pienentämällä lisävaltapuiden ja varsinkin välipuiden painokertoimia lisätään alaharvennusvaatimusta tilajärjestyksen kustannuksella. Laatuvaatimus pidetään edelleen minimissä. Latvuskerrosten painotuseroja lisätään kunnes leimausjärjestys ei enää muutu. Tällöin leimausohjelmassa on tultu vaiheeseen, jossa tilajärjestyksen tasaisuudesta ei enää voida tinkiä (piste K kuvassa 6). Tila-



Kuva 6. Harvennuserusteet ja niiden painottuminen esimerkkileimuksissa.

Fig. 6. The selection criteria and their respective prominencies in the thinning examples.

harvennuksen T ja alaharvennuksen K väliltä etsitään suurin piirtein tasavälein leimausvaihtoehdot k_1 , k_2 ja k_3 (kuva 6). Kaikki viisi vaihtoehtoa latvuskerroskertoimeen on esitetty kuvassa 7a.

Harvennusten vertailussa on tärkeää havainnollistaa vaihtoehtojen kohdistumista erikokoisiin puihin. Eräs keino on tarkastella poistettavan puuston tilavuus- ja runkolukuosuusien suhdetta (Ullen, 1940). Koska harvennusten voimakkuutta mitataan pohjapinta-alalla, on käytännöllisempää seurata poistettavan puuston pohjapinta-ala- ja runkolukuosuusien suhdetta.

Kun tällainen vertailusuhte, $P =$ poistoprosentti ppa:sta/poistoprosentti runkoluvusta, saa arvon 1, kohdistuu harvennus yhtä voimakkaana ppa-mediaanipuuta suuriin puuihin kuin sitä pienikokoisempaan puustoon. Kun vertailusuhteen arvo ylittää yhden, on kyseessä ehdottomasti yläharvennuksen luonteinen harvennus. Mitä enemmän vertailusuhteen arvo on ykköistä pienempi, sitä selväpiirteisemmästä alaharvennuksesta vastaavasti on kysymys.

Kuvassa 7a on esitetty vertailusuhteen P arvot 5—50 %:n harvennusasteille noudatettaessa leimausvaihtoehtoja T, k_1 , k_2 , k_3 ja K (kuva 6). Vertailusuhte on mahdollinen harvennustapojen vertailuun myös käytännössä, koska se perustuu helposti mitattaviin tun-

nuksiin ja kuvaa hyvin harvennuksen vaikutusta runkolukuun ja puustopääomaan. Lisäksi sen avulla on helppo kuvata puuvalinnan luonteen muuttumista harvennusvoimakkuuden kasvaessa.

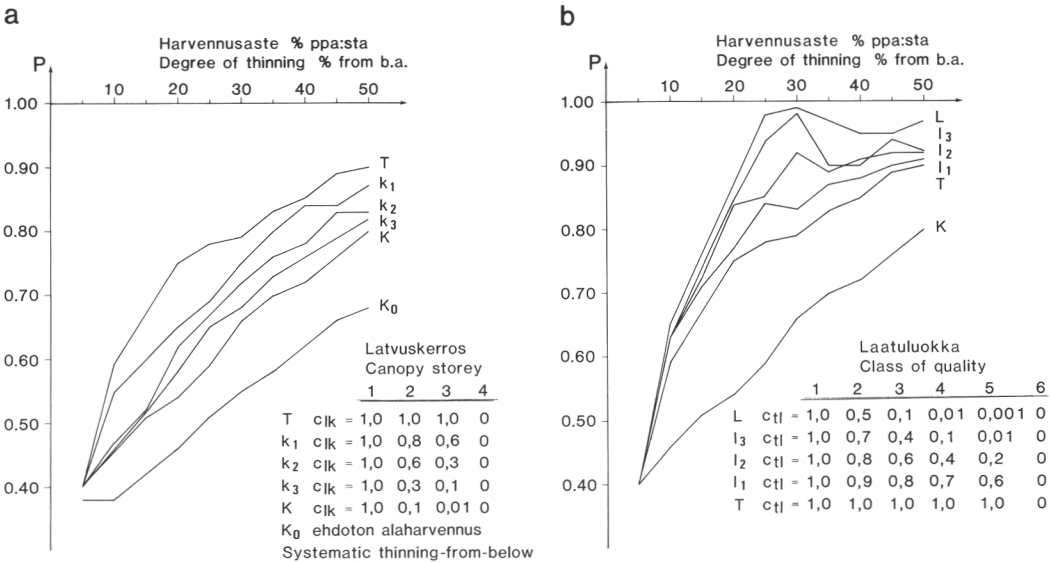
Kuvasta 7a nähdään, että vaihtoehdot ovat samanlaisia vielä siinä vaiheessa, kun ppa:sta on leimattu 5 %. Tähän mennessä on leimattu vain ehdottomasti poistettavia puita. Leimauksen edetessä 10—15 %:n tasolle eroavat T ja k_1 selvästi muista. Vaihtoehdossa k_1 välipuulle annettu kerroin 0,6 ei vielä jouduta niiden poistamista. Sitä vastoin kerroin 0,3 (vaihtoehdossa k_2) aiheuttaa jo tässä vaiheessa välipuiden poistamisen lähes kokonaan. Leimausten väliset erot tasoittuvat 30 %:n harvennusasteella.

Merkillepantavaa on painokerrointen johdonmukainen vaikutus leimausjärjestykseen. Vertailusuhteen arvoja kuvaavat käyrät eivät mene ristiin ja pysyvät 25 %:n harvennuksen jälkeen jokseenkin yhtä etäällä toisistaan. Suurimmat erot vertailusuhteissa ovat 15—25 %:n kohdalla. Voimakkaimmissa harvennuksissa vaihtoehdot muuttuvat yhä enemmän toistensa kaltaisiksi. Kuvaan 7a

on piirretty myös käyrä K_0 , joka osoittaa vertailusuhteen kehityksen ehdottomassa alaharvennuksessa. Siinä ei aseteta puuston tasaisuudelle, terveydentilalle eikä tekniselle laadulle mitään vaatimuksia.

Seuraavaksi laatuluokkien painotuseroja lisätään parempilaatuisten hyväksi kunnes leimausjärjestys ei enää muutu. Latvuserosten painokertoimet pidetään minimivaatimusten mukaisina. Tällöin toteutuu asetettujen rajoitusten vallitessa jäävän puuston laatua mahdollisimman voimakkaasti korostava leimausvaihtoehto L (kuva 6). Sitä nimitetään tässä laatuharvennukseksi. Leimausten T ja L väliltä etsitään vaihtoehdot l_1 , l_2 ja l_3 tasavälein.

Kuvasta 7b nähdään, että laadun painottaminen valinnassa johtaa suurempien puiden poistamiseen verrattuna edellä kuvattuun tilaharvennuksen. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että vikojen takia leimataan myös suuria puita. Lisäksi kookkaimmat puut ovat keskimääräistä oksikkaampia, mikä tässä esimerkissä korostuu, koska siinä on käytetty ainoana oksikkuustunnuksena paksuimman oksan absoluuttista läpimittaa.



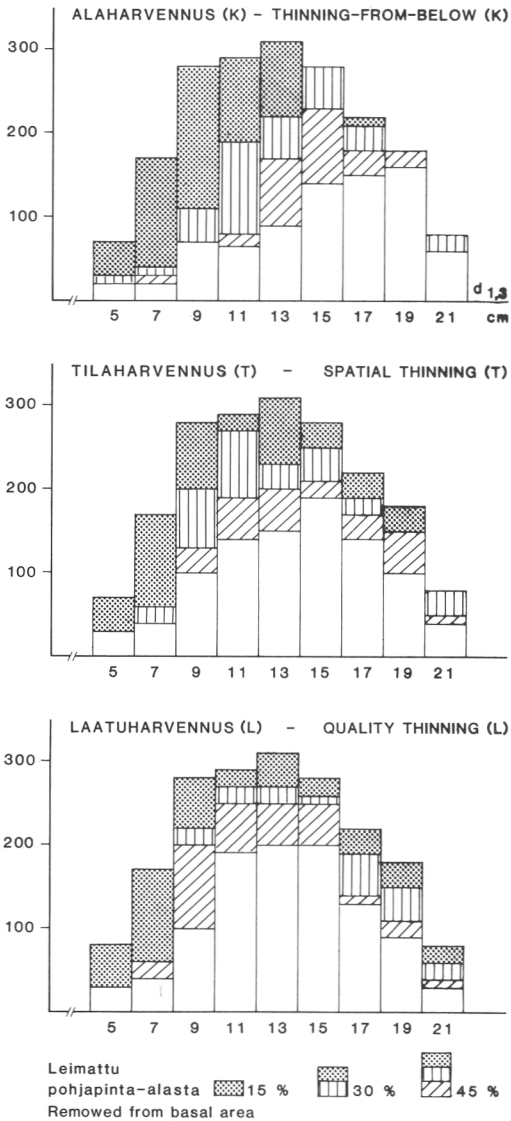
Kuva 7. Vertailusuhteen $P = \frac{\text{leimattu \% ppa:sta}}{\text{leimattu \% runkoluvusta}}$ arvot 5—50 %:n harvennusasteilla.

- a: Tilaharvennus T ja alaharvennus K sekä vaihtoehdot k_1 , k_2 ja k_3 niiden väliltä.
b: Tilaharvennus T ja laatuharvennus L sekä vaihtoehdot l_1 , l_2 ja l_3 niiden väliltä.

Fig. 7. Values of the quotient $P = \frac{\text{selected \% from basal area}}{\text{selected \% from number of stems}}$ when applying a 5—50 percent thinning intensity.

- a: The spatial thinning (T) and the thinning-from-below (K), and the intermediary alternatives k_1 , k_2 and k_3 .
b: The spatial thinning (T) and the quality thinning (L), and the intermediary alternatives l_1 , l_2 and l_3 .

Runkoluku kpl/ha
Number of stems nr/ha



Kuva 8. Alaharvennuksen K, tilaharvennuksen T ja laatuharvennuksen L vaikutukset koelan I runkolukusarjaan 15, 30 ja 45 %:n harvennusasteilla.

Fig. 8. The effects of the thinning-from-below (K), spatial thinning (T), and quality thinning (L) on the stem number series of the sample plot 1 with the thinning intensities of 15, 30 and 45 percent according to the basal area.

Myös kuvasta 7b voidaan havaita vaihtoehtojen samankaltaistuminen 30 % vahvemmissa harvennuksissa. Suurimmillaan erot ovat 25–30 %:n kohdalla. Vertailusuhteen jyrkkä nousu 5–20 %:n välillä merkitsee todella suurten puiden leimausta tässä vaiheessa, koska runkoluvussa ovat mukana

alussa poistetut pienet puut.

Vertailusuhteen heikkous on siinä, että se on keskiarvotunnus. Poistettavien puiden jakautuminen läpimittaluokkiin saattaa muuttua, vaikka vertailusuhte pysyy yhtä suurena. Tällöin muutokset kompensoivat toisensa ppa-mediaanipuun suhteen.

Kuvassa 8 tarkastellaan leimausvaihtoehtojen vaikutuksia runkolukusarjaan 15, 30 ja 45 %:n harvennusasteilla. Lievässä alaharvennuksessa (15 % ppa:sta) leimataan vain keskikokoa pienempiä puita. Keskivahvassa harvennuksessa (30 %) leimataan jo suuria-kin puita, mutta pääasiassa keskikokoisia tai pienempiä. Puut, jotka leimataan 30 %:n jälkeen, ovat keskikokoisia tai suurempia.

Tilaharvennuksessa T ja laatuharvennuksessa L leimataan aluksi (15 % ppa:sta) melko tasaisesti kaiken kokoisia puita. Näiden vaihtoehtojen välillä ei tässä vaiheessa ole suurta eroa. Tilaharvennuksessa leimataan 15 % ja 30 %:n välillä pääasiassa keskikokoa pienempiä puita. Sitä vastoin laatuharvennuksessa poistetaan keskikokoa kookkaampia puita. Vahvoissa (45 %) harvennuksissa T:n ja L:n erot ovat taas selvästi pienemmät, mikä näkyy myös kuvassa 7b.

Alaharvennuksessa K jäävän puuston runkoluku painottuu selvästi suuriin puihin. Tilavuuden osalta tällainen painottuminen on vielä selvempää. Aivan pieniäkin puita on 15 %:n harvennusasteella vielä jäljellä. Leimausohjelma ei poista niitä kaikkia vielä vahvassakaan (45 %) alaharvennusvaihtoehdossa. Tämä johtuu siitä, että pienet puut ovat jääneet aukkoihin, joissa niiden laskennallisilla kasvutiloilla ei ole päällekkäisyyttä naapuripuiden kanssa. Haluttaessa ne voidaan poistaa tiukentamalla kasvamaan jätettävien puiden minimivaatimuksia.

Leimausvaihtoehtojen välillä voi olla myös läpimittaluokkien sisäisiä eroja. Ne eivät tule esiin runkolukusarjassa. Vasta puukohtaisesti voidaan laskea tarkasti, kuinka suurta osaa puustosta vaihtoehtojen erot todella koskevat. Samalla puusto voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- ryhmä 1 = puut, jotka jätetään kasvamaan jokaisessa vaihtoehdossa
- ryhmä 2 = vaihtoehtoisesti käsiteltävä puusto, johon kuuluvat ne puut, jotka leimataan tai jätetään kasvamaan vaihtoehdosta riippuen
- ryhmä 3 = puut, jotka leimataan jokaisessa vaihtoehdossa

Taulukossa 3 on esitetty näiden ryhmien osuudet runkoluvusta ja pohjapinta-alasta

Taulukko 3. Koealan 1 runkoluvun ja pohjapinta-alan jakautuminen vaihtoehdoissa K, L ja T:

ryhmä 1 = kaikissa vaihtoehdoissa jätettävä puusto
ryhmä 2 = vaihtoehtoisesti käsiteltävä puusto
ryhmä 3 = kaikissa vaihtoehdoissa poistettava puusto

Table 3. The division of the stem numbers and basal areas when applying the alternatives K, L and T to the sample plot 1:

Group 1 = growing stock "unconditionally left"
Group 2 = growing stock alternatively removed
Group 3 = growing stock "unconditionally removed"

Ryhmä — Group	Harvennusaste % ppa:sta Degree of thinning, % from b.a.					
	15 %		30 %		45 %	
1 kpl/ha, nr/ha	1080	(58 %)	680	(36 %)	410	(22 %)
	m ² /ha	17,7	(66 %)	10,7	(40 %)	6,4
2 kpl/ha, nr/ha	570	(30 %)	900	(48 %)	900	(48 %)
	m ² /ha	7,8	(29 %)	14,2	(53 %)	15,4
3 kpl/ha, nr/ha	230	(12 %)	300	(16 %)	570	(30 %)
	m ² /ha	1,4	(5 %)	2,0	(7 %)	5,2
yht. kpl/ha, nr/ha	1880	(100 %)	1880	(100 %)	1880	(100 %)
all m ² /ha	26,9	(100 %)	26,9	(100 %)	26,9	(100 %)

koelalla 1. Tulokset on laskettu ottamalla huomioon kolme leimausvalinnan ääri vaihtoehtoa K, L ja T (kuva 6). Koska kaikki muut ns. rationaaliset leimausvaihtoehdot ovat edellisten eriaistaisia kompromisseja, ei niiden huomioonottaminen ilmeisesti muuttaisi taulukon lukuja.

Taulukosta 3 voidaan havaita, että näissä esimerkeissä voidaan leimausohjelman avulla operoida vaihtoehdoilla, jotka koskevat varsinaisesti noin 50 %:a runkoluvusta (ryhmä 2). Loput puut joko leimataan tai jätetään kasvamaan leimausvaihtoehdosta riippumatta. Kun harvennusaste jää alle 30 %:n, koskevat vaihtoehdot ratkaisut enää alle puolta runkoluvusta. Ehdottomasti leimattavat puut ovat selvästi keskimääräistä pienempiä. Ehdottomasti jätettävät puut ovat vastaavasti keskimääräistä suurempia, mutta vain vähän, koska laatuharvennuksessa poistetaan osa metsikön suurimmista puista.

Jos verrataan vain kahta ääri vaihtoehtoa K ja L, voidaan noin joka kolmannen puun kohdalla päätyä vaihtoehtoihin ratkaisuihin. Vertaamalla alaharvennusta K ja tilaharvennusta T suljetaan laadun vaikutus pois. Tällöin päädytään vaihtoehtoihin ratkaisuihin noin joka neljännen puun kohdalla.

Edellä esitettyjen leimausten pääasiallinen tarkoitus on olla esimerkkinä leimausohjelman soveltamisesta. Kymmen- ja satakermaisilla painotuseroilla on haluttu löytää äärimmäisiä leimausvaihtoehtoja. Samanaikaisesti jäävälle puustolle on asetettu mahdollisimman alhaiset vähimmäisvaatimukset.

Taulukko 4. Leimausvaihtoehtoja T', K' ja L' vastaavat painokertoimet latvuseroksille ja laatuluokille.

Table 4. The weighted coefficients for the canopy storeys and quality classes corresponding to the thinning alternatives K', L' and T'.

Leimausvaihtoehto Thinning alternative	Tunnus Characteristic	Luokka — Class					
		1	2	3	4	5	6
T'	latvuserros canopy storey	1,0	0,8	0,6	0	0	0
	laatuluokka class of quality	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0
K'	latvuserros canopy storey	1,0	0,3	0,1	0	0	0
	laatuluokka class of quality	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0
L'	latvuserros canopy storey	1,0	0,8	0,6	0	0	0
	laatuluokka class of quality	1,0	0,7	0,4	0,1	0,01	0

Näin on osoitettu, miten suuria eroja leimausohjelmalla pystytään saamaan aikaan ko. koelalla.

Lopuksi vertaillaan kolmea leimausvaihtoehtoa K', L' ja T' (kuva 6), joissa puun kasvuisuus ja laatu sekä puuston tilajärjestys vaikuttavat valintaan samanaikaisesti. Pyrkimyksenä on esittää vaihtoehdot, jotka ovat kaikilta osin tyydyttäviä, mutta kuitenkin selvästi korostavat kutakin valintaperustetta vuorollaan. Puulaji- ja terveydentila otetaan huomioon kuten edellä, mutta latvuseroksia ja laatuluokkia painotetaan taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 5. Koealan 1 runkoluvun ja pohjapinta-alan jakautuminen vaihtoehdoissa K', L' ja T':

ryhmä 1 = kaikissa vaihtoehdoissa jätettävä puusto
ryhmä 2 = vaihtoehtoisesti käsiteltävä puusto
ryhmä 3 = kaikissa vaihtoehdoissa poistettava puusto

Table 5. The division of the stem numbers and basal areas when applying the alternatives K', L' and T' to the sample plot 1:

Group 1 = growing stock "unconditionally left"
Group 2 = growing stock alternatively removed
Group 3 = growing stock "unconditionally removed".

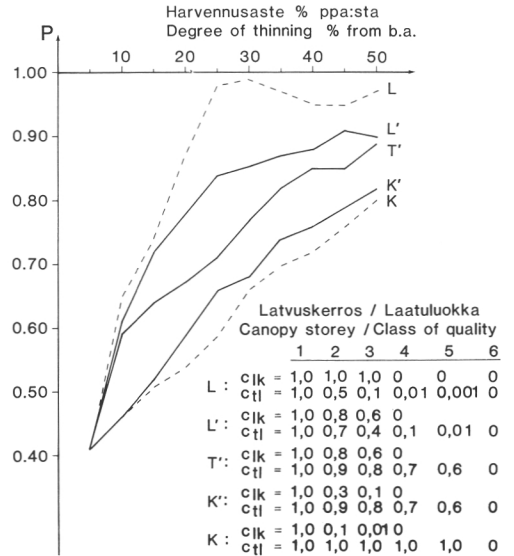
Ryhmä — Group	Harvennusaste % ppa:sta Degree of thinning, % form b.a.					
	15 %		30 %		45 %	
1 kpl/ha, nr/ha	1230	(66 %)	860	(46 %)	530	(28 %)
m ² /ha	20,4	(76 %)	14,8	(55 %)	8,5	(31 %)
2 kpl/ha, nr/ha	380	(20 %)	530	(28 %)	640	(34 %)
m ² /ha	4,8	(18 %)	7,8	(29 %)	10,7	(40 %)
3 kpl/ha, nr/ha	270	(14 %)	490	(26 %)	710	(38 %)
m ² /ha	1,7	(6 %)	4,3	(16 %)	7,7	(29 %)
yht. kpl/ha, nr/ha	1880	(100 %)	1880	(100 %)	1880	(100 %)
all m ² /ha	26,9	(100 %)	26,9	(100 %)	26,9	(100 %)

Kuvassa 9 on esitetty leimausvaihtoehdot K', L' ja T' vertailusuhteiden avulla. Leimauksiin K, L ja T nähden erot ovat supistuneet selvästi. Laatuluokkien painotuksen muutos näyttää vaikuttavan valintaan tehokkaammin kuin vastaava muutos latvuserosluokissa. Taulukossa 5 on esitetty runkoluku- ja pohjapinta-alaosuudet ehdottomasti jätettävälle, ehdottomasti poistettavalle ja vaihtoehtoisesti käsiteltävälle puustolle.

Myös vaihtoehtojen K', L' ja T' erot ovat selvät. Keskivahvoissa (30 %) ja vahvoissa (45 %) harvennuksissa noin joka kolmas puu voidaan vaihtoehtoisesti poistaa tai jättää kasvamaan. Ääri vaihtoehtoihin K, L ja T (taulukko 3) verrattuna vaihtoehtoisesti käsiteltävän puuston (ryhmä 2) osuus on supistunut selvästi. Muutos on 30 ja 45 %:n leimauksissa 14—20 prosenttiyksikköä. Vastaavasti ehdottomasti jätettävien ja ehdottomasti poistettavien puiden osuudet ovat lisääntyneet 6—10 prosenttiyksikköä kumpikin.

35. Johtopäätöksiä esimerkileimauksista

Edelliset esimerkit osoittavat, että leimausohjelmalla aikaansaadaan johdonmukaisesti toisistaan poikkeavia harvennusvaihtoehtoja. Jääville puille voidaan asettaa vähimmäisvaatimuksia, joiden avulla leimataan puuston heikoin osa ensimmäisenä. Näin rajoitetaan sitä puujoukkoa, johon lei-



Kuva 9. Vertailusuhteen $P = \frac{\text{leimattu \% ppa:sta}}{\text{leimattu \% runkoluvusta}}$ arvot 5—50 %:n harvennusasteilla vaihtoehdoissa L', T' ja K' (katkoviivalla leimaukset L ja K).

Fig. 9. Values of the quotient

$P = \frac{\text{selected \% from basal area}}{\text{selected \% from number of stems}}$ with the thinning intensity of 5—50 percent, the alternatives L', T' and K' (dashed line: thinnings L and K).

mausohjelman varsinaisia valintasääntöjä sovelletaan. Leimauksessa voidaan painottaa halutulla tavalla puuston tilajärjestystä, puiden kokoa, terveydentilaa, puulajia, teknistä laatua ja tarvittaessa muitakin ominaisuuksia.

Vaihtoehtojen erojen suuruutta voidaan vapaasti säädellä tiettyihin äärivaihtoehtoihin saakka. Jätettävien puiden on täytettävä asetetut vähimmäisvaatimukset ja toisaalta tilajärjestys asettaa ääriajat muiden valintaperusteiden korostamiselle. Tämä johtuu siitä, ettei vähimmäisvaatimukset täyttävää puuta voida leimata, jos sillä ei ole päällekkäistä kasvutilaa naapuripuiden kanssa.

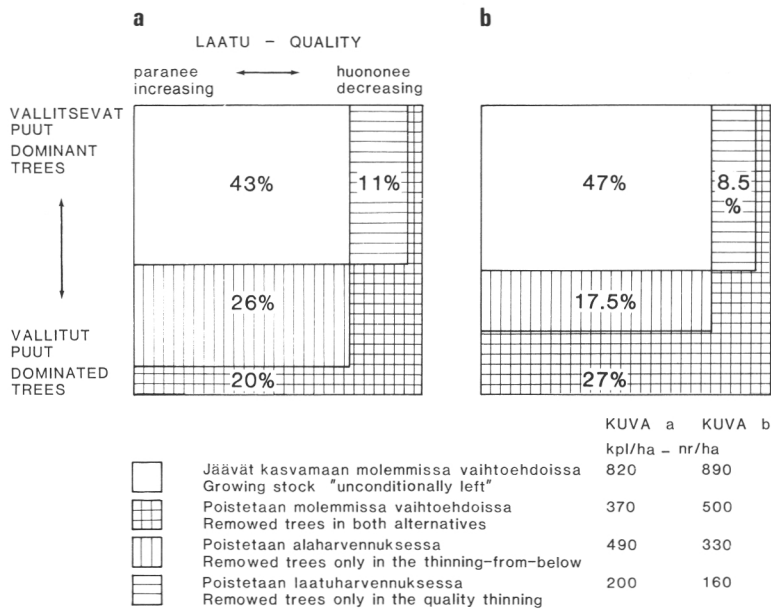
Esimerkkileimuksissa on muutettu tilajärjestyksen, latvuserrosten ja laatuluokkien painotusta. Puuvalinnan muutosten suunta ja suuruus riippuvat johdonmukaisesti vastaavista valintaperusteiden muutoksista. Esimerkeissä on jääville puille asetettu mahdollisimman alhaiset rationaaliset vähimmäisvaatimukset. Tästä syystä vuorolaan puun kasvuisuutta, teknistä laatua tai puuston tilajärjestyksestä äärimmillään korostavat leimausvaihtoehdot K, L ja T poikkeavat mahdollisimman paljon toisistaan.

Vaihtoehtojen erot korostuvat 15–30 %:n harvennussasteella (kuva 7). Vahvemmissa harvennuksissa vaihtoehdot samankaltaistuvat. Verrattaessa esimerkkileimaus-

ten läpimittaluokittaisia tai puukohtaisia eroja osoittautuivat alaharvennus K ja laatuharvennus L eniten toisistaan poikkeaviksi vaihtoehdoiksi. Kuvassa 10a havainnollistetaan näiden leimausten erilaisuutta ja yhtäläisyyttä.

Ääri vaihtoehtoja K, L ja T toteuttamiskelpoisempiin leimauksiin päästään vaihtoehdoilla K', L' ja T', joissa otetaan edellisiä tiukemmin huomioon kaikki kolme valintaperustetta. Vuorollaan niissä painotetaan kasvuisuutta (K'), teknistä laatua (L') ja tilajärjestyksen tasaisuutta (T') siten, että ne harvennustapoina eroavat selvästi toisistaan. Kuvasta 10b nähdään, miten paljon alaharvennuksen ja laatuharvennuksen ero on pienentynyt. Vaihtoehtoisesti käsiteltävän puuston osuus runkoluvusta on supistunut 37 %:sta leimauksissa K ja L 26 %:iin leimauksissa K' ja L'.

Tavanomaisella harvennussasteella (30 % ppa:sta) leimataan noin joka kuudes puu riippumatta siitä, mikä kolmesta ääri vaihtoehdosta K, L ja T on kyseessä. Samoin jätetään joka kolmas puu kasvamaan, joten



Kuva 10. Poistettavan ja jätettävän puuston runkolukuosuudet ala- ja laatuharvennuksessa koealalla 1.

a: Rationaaliset ääri vaihtoehdot K ja L.

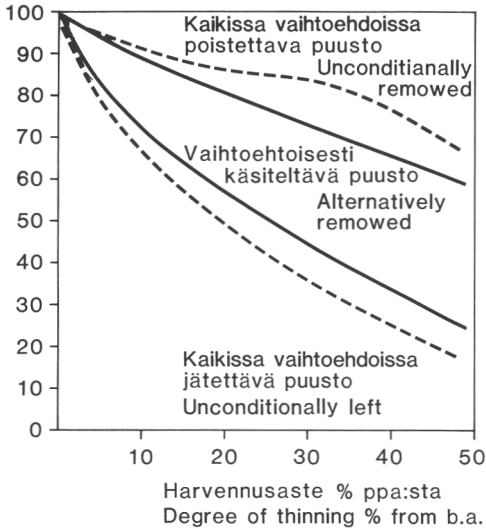
b: Vaihtoehdot K' ja L'.

Fig. 10. The proportions of removed and left trees in the thinning-from-below and the quality thinning when applying a 30 percent thinning intensity. Sample plot 1.

a: The extreme rational alternatives K and L.

b: The alternatives K' and L'.

Osuus (%) runkoluvusta
Stemnumber proportion (%)



Kuva 11. Kaikissa vaihtoehdoissa jätettävän, vaihtoehdoisesti käsiteltävän ja kaikissa vaihtoehdoissa poistettavan puuston runkolukuosuudet koelalalla 1 verrattaessa leimauksia K, L ja T (---) sekä leimauksia K', L' ja T' (—).

Fig. 11. The stem number proportions of the growing stock: unconditionally left, alternatively removed, and unconditionally removed. Sample plot 1. A comparison between the thinnings K, L and T (---) and the thinnings K', L' and T' (—).

noin puolet runkoluvusta on vaihtoehdoisesti käsiteltävää puustoa. Kuvassa 11 on esitetty näiden kolmen puuryhmän runkolukuosuuksien muutokset 45 %:n harvennusasteeseen saakka. Samasta kuvasta nähdään kuinka paljon vaihtoehdoisesti käsiteltävän puuston osuus supistuu, kun ääri vaihtoehtojen sijasta käytetään leimauksia K', L' ja T'.

Esimerkit koskevat ensiharvennusmännikköä, jonka runkoluku on 1880 kpl/ha. Vaihtoehdoissa K, L ja T ehdottomasti jätettä-

vien puiden lukumäärä on 30 %:n harvennusasteella 680 kpl/ha ja vielä 45 %:n harvennusasteella 410 kpl/ha. Tämä osoittaa, ettei näissä ääri vaihtoehtoissakaan puututa metsikön parhaaseen osaan (= peruspuusto). Esitetyt leimaukset koskevat siten vain sellaisia puita, jotka todennäköisesti poistetaan ennen pätehakkuuta.

Esimerkeistä saadut tulokset koskevat tietenkin vain kyseistä koalaa. Leimausten vertailu koalojen kesken selvittäisi samanaikaisesti sekä puustojen että leimausvaihtoehtojen eroja, joten tuloksia muilta koaloilta ei ole tässä esitetty. Leimausohjelmaa on testattu ja sovellettu useilla koaloilla. Tulokset osoittavat, että ohjelma toimii johdonmukaisesti ainakin tavanomaisissa yksijaksoisissa metsiköissä. Valintaperusteiden vaihtuessa puuvalinnan muutoksen suunta ei riipu puuston ominaisuuksista. Sen sijaan muutoksen suuruus voi vaihdella koalojen välillä.

Samantyyppisillä valintaperusteilla laskettuja leimauksia voidaan pitää vertailukelpoisina ainakin sellaisilla koaloilla, jotka ovat riittävän homogeenisia ja samantyyppisiä soveltuakseen muutenkin vertailtaviksi keskenään. Harvennusvaihtoehtojen välille aikaansaavat erot ovat niin merkittäviä ja johdonmukaisia, että leimausohjelmaa voidaan soveltaa harvennuskokeissa, joiden tavoitteena on selvittää harvennusvalinnan puuntuotannollisia vaikutuksia.

Leimausohjelman ensimmäinen sovellutus on tehty laatu harvennuskokeita perustettaessa. Tavoitteena on selväpiirteisen alaharvennuksen ja laatu harvennuksen vertailu. Alaharvennusvaihtoehtoissa on leimausohjelmalla päästy täysin tyydyttäviin tuloksiin. Sen sijaan laatua korostavissa leimauksissa ei ole kaikilta osin voitu hyväksyä ohjelman ratkaisuja. Suurin syy lienee karkeassa ja osittain puutteellisessa laatuluokituksessa.

4. PUUSTON TILAJÄRJESTYS

Leimausohjelmassa sovellettava tilanjako tarjoaa hyvät mahdollisuudet puuston tilajärjestyksen tutkimiseen. Ympyränmuotoiset kasvutilat peittävät sitä suuremman osuuden pinta-alasta, mitä tasaisemmin puusto jakautuu tarkasteltavalle alueelle. Peitetyn alueen

osuutta kokonaispinta-alasta käytetään tässä työssä tilajärjestyksindeksinä F, joka kuvaa puuston sijainnin tasaisuutta.

Ympyränmuotoisten kasvutilojen summa on yhtä suuri kuin alueen pinta-ala, joten peittämättä jäävä alue on yhtä suuri kuin

kasvutilojen keskinäisten päällekkäisyyksien summa. Tilajärjestysindeksin arvo saadaan tällöin kaavasta:

$$F = \frac{A_{\text{tot}} - A_y}{A_{\text{tot}}}, \text{ jossa}$$

A_{tot} = alueen pinta-ala

$A_y = \sum a_i \sqrt{2} =$ kasvutilojen päällekkäisyyksien summa (= peittämättä jäävä alue koealalla)

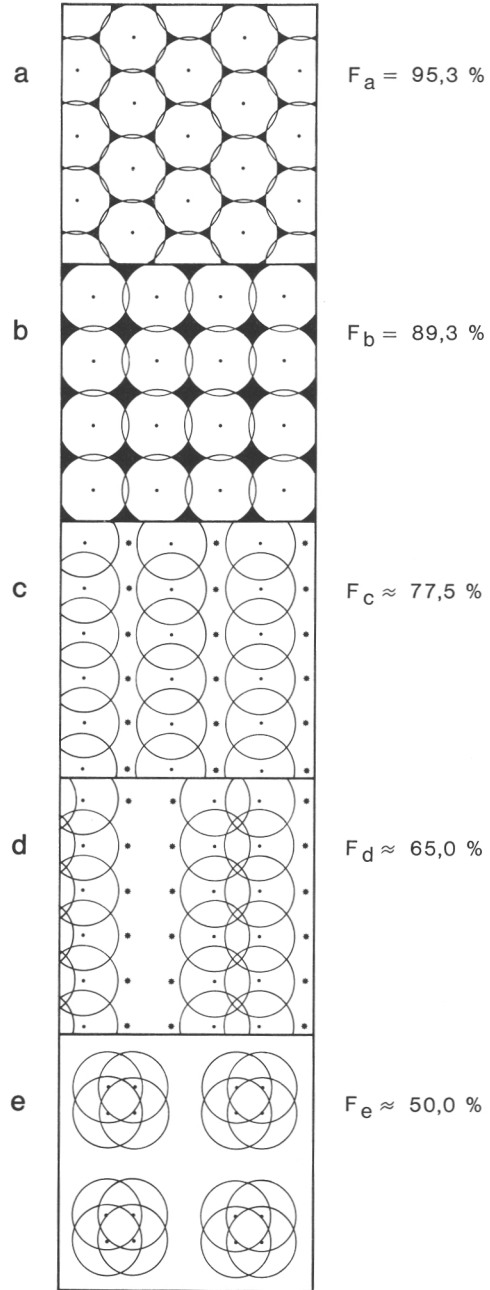
Tilajärjestysindeksi on riippumaton puuston määrästä, koska alueen pinta-ala on jaettu olemassa olevien puiden kesken. Indeksiiin vaikuttavat puiden keskinäiset etäisyydet ja suuruussuhteet. Tilajärjestysindeksiä pienentää yksittäisten puiden epätasainen sijainti ja toisaalta puuston määrän epätasainen jakautuminen alueelle.

Kuvassa 12 on esitetty tilajärjestysindeksin arvot muutamille puiden sijoittumista kuvaaville teoreettisille malleille. Käytettävissä kasvutilan muotona ympyrää ei indeksin arvoa 100 voida saavuttaa edes teoreettisesti. Assmann (1961) on esittänyt puiden sijainnin teoreettista optimia kuvaavan mallin (kuva 12a), jossa samankokoiset puut sijaitsevat tasasivuisten kolmioiden kärjissä. Leimausohjelman mukainen tilanjako johtaa tässä optimitalanteessa tilajärjestysindeksin arvoon 95,3.

Kohtisuoriin riveihin täysin tasavälein istutetussa taimikossa tilajärjestysindeksi on alkutilanteessa 89,3 (kuva 12b). Jos puut pysyisivät kasvaessaan keskenään yhtä suurina, merkitsisi joka toisen rivin poistaminen harvennuksessa indeksin laskemista arvoon 77,5 (kuva 12c) ja joka kolmannen rivin poistaminen johtaisi arvoon 75. Kuvassa 12d on vaihtoehto, jossa vuorollaan on poistettu ja jätetty kaksi vierekkäistä riviä. Tilajärjestysindeksi on tässä tapauksessa noin 65. Käytännössä puut ovat eri kokoisia, joten indeksin todelliset arvot ovat esitettyjä pienempiä. Kuvassa 12e on esitetty ryhmittäistä sijaintia kuvaava malli, jonka tilajärjestysindeksi on noin 50.

Todellisten puustojen tilajärjestyksestä ovat esimerkkinä koealat 1, 2 ja 3. Kuvassa 13 on esitetty leimausohjelman tekemä tilanjako ja vastaava tilajärjestysindeksi ennen harvennusta ja 30 %:n alaharvennuksen jälkeen. Tilanjakotunnukseksi on käytetty pohjapinta-alaa.

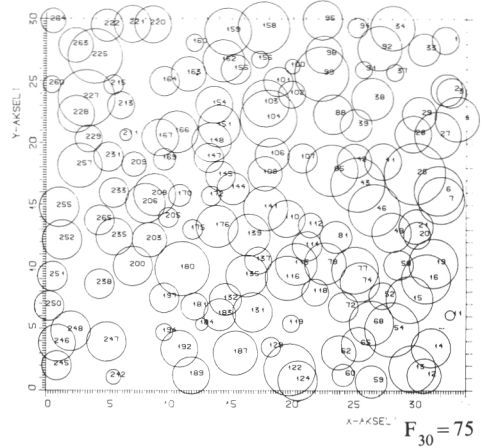
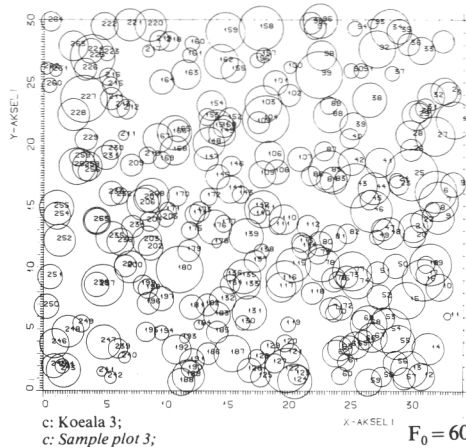
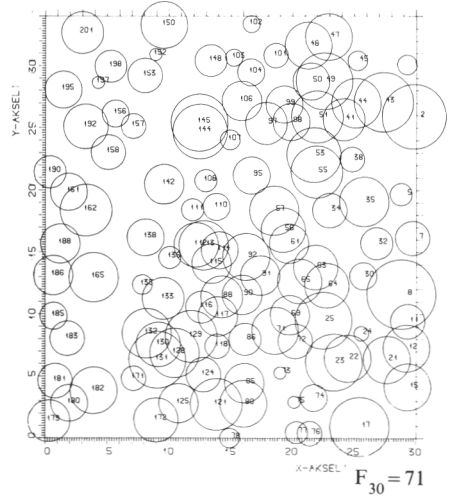
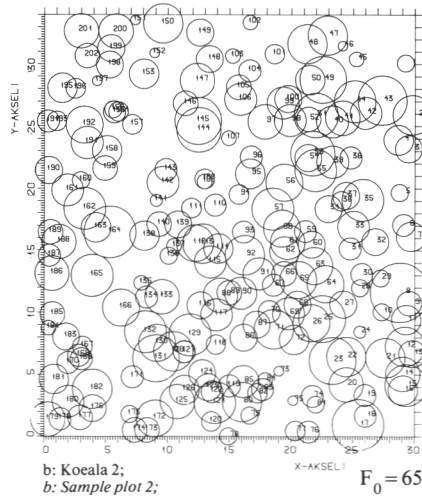
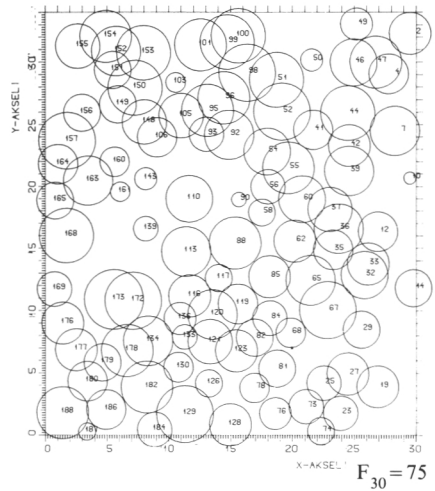
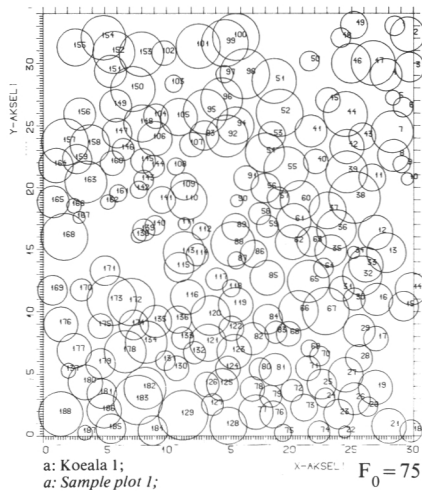
Samassa metsikössä sijaitsevien koealojen tilajärjestys vaihtelee yllättävän paljon. Koe-



Kuva 12. Erilaisia puuston sijoittumista kuvaavia teoreettisia malleja ja niitä vastaavat tilajärjestysindeksin F arvot.

Fig. 12. Different theoretical models of spacing and the corresponding F values of the spacing index.

ala 1 on ylivoimaisesti tasaisempi ($F_1 = 75$) kuin koealat 2 ja 3 ($F_2 = 65$ ja $F_3 = 60$). Vertailu kuvan 12 malleihin osoittaa, että tasaisuudeltaan normaalin näköinen ensihar-



Kuva 13. Pohjapinta-alojen mukainen tilanjako ja vastaavat tilajärjestysindeksit ennen harvennusta (F_0) ja 30 %:n alaharvennuksen (K) jälkeen (F_{30}).

Fig. 13. The spatial allocation according to the basal area and the corresponding spacing indices before the thinning (F_0) and after the 30 percent thinning-from-below (K) (F_{30}).

Taulukko 6. Tilaharvennuksen T, alaharvennuksen K ja laatuharvennuksen L vaikutukset pohjapinta-alan jakautumisen tasaisuuteen koaloilla 1, 2 ja 3 esitettyinä tilajärjestysindeksin F (%) avulla.

Table 6. The effects of the spatial thinning (T), thinning-from-below (K) and quality thinning (L) on the distributional evenness of the basal area in the sample plots 1, 2 and 3 as presented with the aid of the spacing index F (%).

Koala nro Number of sampling plot	Leimaus- vaihto- ehto- Thinning alternative	Harvennusaste % ppa:sta Degree of thinning % from b.a.			
		0 %	15 %	30 %	45 %
		Tilajärjestysindeksi F (%) Spacing index			
1	T	75	78	82	83
	K	75	72	75	72
	L	75	74	78	81
2	T	65	68	75	82
	K	65	67	71	76
	L	65	65	64	67
3	T	60	70	76	79
	K	60	70	75	77
	L	60	62	63	68

vennuspuusto jakautuu metsikössä epätasaisemmin kuin sellainen istutuspuusto, jossa samankokoiset puut sijaitsevat tasavälein riveissä ja rivinväli on kaksinkertainen puuväleihin verrattuna (kuva 12c).

Taulukossa 6 on esitetty luvun 3 esimerkkien mukaisten leimausvaihtoehtojen vaikutuksia puuston sijainnin tasaisuuteen eri harvennusasteilla. Puuston tasaista sijaintia korostava tilaharvennus T parantaa selvästi tilajärjestystä kaikilla koaloilla. Koalojen väliset erot ($F = 60-75$) tasoittuvat siten, että 30 %:n harvennusasteella indeksin arvot vaihtelevat välillä 75—82 ja 45 %:n harvennusasteella välillä 79—83.

5. LEIMAUSSOHJELMAN OMINAISUUKSIEN ARVIOINTI

51. Puista kerättävät tiedot

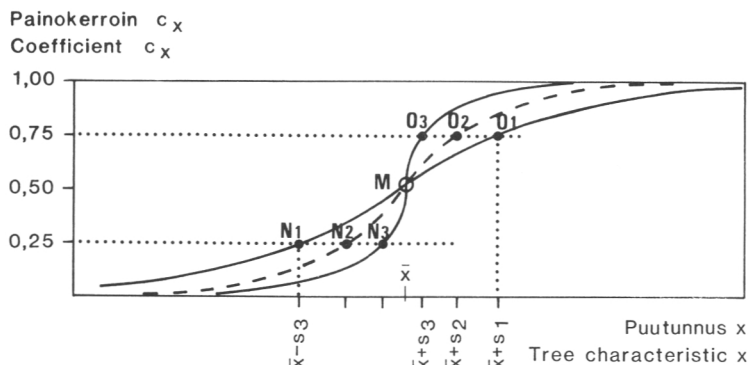
Objektiivisuuden takia on pyrittävä käyttämään valintaperusteina vain mitattuja puutunnuksia. Puun sijainnin ja koon kohdalla tämä ei tuota vaikeuksia. Sen sijaan puun tekniseen laatuun ja kasvukykyyn vaikuttavat monet vaikeasti mitattavat tekijät. Lisäksi valinnassa on olennaista puun tuleva kehitys, jota ennustetaan nykyisten ominaisuuksien avulla. Silmävaraisista luokituksista päästään tuskin kokonaan eroon, mutta ne olisi saatava mahdollisimman vähin.

Alun perin epätasaisilla koaloilla 2 ja 3 alaharvennukset johtavat tilajärjestyksen selvään tasoittumiseen. Sitä vastoin koalalla 1 alaharvennus johtaa alkuperäistä lievästi epätasaisemmin jakautuvaan puustoon. Myös alaharvennuksessa koalojen väliset erot supistuvat siten, että 30 %:n harvennuksen jälkeen indeksin arvot ovat 71—75 ja 45 %:n kohdalla 72—77.

Lieviissä harvennuksissa laadun korostaminen ei paranna tilajärjestystä. Vahvoissa harvennuksissa sitä vastoin päädytään jonkin verran alkuperäistä suurempaan tasaisuuteen. Koala 1 poikkeaa toisista myös siten, että sillä toteutettu laatuharvennus johtaa tasaisempaan lopputulokseen kuin alaharvennus. Eräänä syynä on se, että tällä koalalla puusto on parempilaatuista verrattuna kahteen muuhun koalaan, joten laatuharvennus poikkeaa suhteellisen vähän tilaharvennuksesta.

Puuston jakautumista on edellä tarkasteltu pohjapinta-alan suhteen. Tilajärjestysindeksi kuvaa puuston sijainnin tasaisuutta sen tunnuksen suhteen, joka valitaan tilanjakoperusteeksi. Tästä syystä puuston määrän (esim. ppa, runkotilavuus tai biomassa) lisäksi voidaan laskea indeksejä esimerkiksi kasvun, neulasmassan ym. jakautumiselle. Puuston jakautumista eri tunnusten suhteen voidaan havainnollistaa piirtämällä vastaavat kuvat koaloista (kuva 13). Tietokoneen avulla tämä tapahtuu vaivattomasti. Indeksejä ja vastaavia kuvia voidaan laatia myös erikseen puuston ositteille kuten eri puulajeille, latvuskerroksille jne.

Leimausohjelman sovellutuksissa on oletettu, että tasaikäisessä metsikössä puun koko kuvaa kasvuisuutta riittävän hyvin terveillä puilla. Sairaata ja kuolleita erotettu silmävaraisesti. Puiden kasvua ei ole käytetty valintaperusteena, koska kasvukairaukset rikkovat puita ja aiheuttavat paljon lisätyötä. Pituuskasvua voitaisiin käyttää yhtenä valintaperusteena, koska sen avulla voidaan kuvata puun kasvua, elinvoimaisuutta ja kilpailuasemaa. Myös latvuksen rakennetta kuvaavalla tunnuksella voidaan ilmaista puun elinvoimaisuutta.



Kuva 14. Mitatun tunnuksen x keskiarvoon (\bar{x}) ja keskihajontaan (s) perustuvan painokerroimen laskentatapa. Painotus muuttuu keskiarvon molemmin puolin sitä jyrkemmin mitä pienempi on tunnuksen x keskihajonta. Painokerroin c_x lasketaan kahdesta hyperbelistä, jotka lähestyvät suoria $c_x = 0$ ja $c_x = 1$ ja kulkevat pisteiden M , N ja O kautta. Painotukseen voidaan vaikuttaa antamalla pisteille N , M ja O haluttuja c_x -arvoja.

Fig. 14. The algorithm of the weighted coefficient based on the mean (\bar{x}) and standard deviation (s) of the measured variable (x). On both sides of the mean, the rate of weighting changes more rapidly, the smaller is the standard deviation of the argument x . The weighted coefficient c_x is defined from two hyperbolas, which approach the asymptotical lines $c_x = 0$ and $c_x = 1$ and pass by the points M , N and O . The weighting can be affected by giving the points M , N and O desirable c_x -values.

Subjektiiiviset luokitukset on pyrittävä korvaamaan mitatuilla tunnuksilla, joiden painotus voi tapahtua esimerkiksi kuvan 14 mukaisesti. Siinä tunnuksen keskiarvon ja keskihajonnan avulla määrätään automaattisesti kyseisen tunnuksen painotus. Esimerkiksi latvuskerros voidaan tällä tavoin korvata mitatuilla kokotunnuksilla.

Sopivien laatutunnusten löytäminen on vaikea tehtävä. Yksinkertaistaen voidaan tehdä kuten luvussa 3, jossa laatuluokitus perustui paksuimman oksan läpimittaan ja osittain silmävaraisiin vikaisuustunnuksiin. Muiden oksista johdettujen tunnusten (esim. karsiutumiskorkeus, latvussuhde, oksakiehkuroiden lukumäärä ym.) lisäksi laatua voidaan kuvata runkomuodosta johdetuilla tunnuksilla. Laasasenahon (1982) mukaan rungon poikkileikkauspinta-alalla ja mittauskohdan yläpuolisten oksien yhteenlasketulla poikkipinta-alalla on selvä yhteys rungon eri korkeuksilla. Esimerkiksi solakkuus (h/d) on käyttökelpoinen oksikkuuden mittari, varsinkin nuorilla, voimakkaan pituuskasvun vaiheessa olevilla puilla. Viosta voidaan mitata vain niiden sijainti, muilta osin on tyydyttävä silmävaraisiin luokituksiin.

Subjektiiivisesti määritettävien tunnusten lisäksi on vältettävä turhaa luokittelua. Todellisuudessa liukuvasti muuttuvia ominaisuuksia esim. oksikkuutta, on pyrittävä

myös painottamaan liukuvasti. Tällöin leimauksessa otetaan huomioon pienetkin erot puiden välillä. Lisäksi yleispätevien luokitusten aikaansaaminen voi olla vaikeaa, koska puita verrataan hyvin supeaan naapuripuiden joukkoon. Pienten puuryhmien homogeenisuus voi vaihdella suuresti, eikä luokitukselta ole hyötyä, jollei sen avulla saada esiin puiden välistä erilaisuutta.

52. Kasvutilan jako

Puuston varttuessa taimikosta uudistus- kypsäksi metsiköksi sen sisäinen tilajärjestys muuttuu jatkuvasti. Kilpailu pitää yllä tätä muutosta, jossa kasvuissimmat puut valtaavat yhä suuremman tilan väistyvien kustannuksella. Harvennusten avulla kehitystä voidaan ohjata ja nopeuttaa, mutta sen oleellinen muuttaminen ei onnistu ilman kasvutappioita.

Tiheänä syntyneessä taimikossa kilpailu alkaa jo varhaisessa vaiheessa, istutetuissa ja harvennetuissa metsiköissä vasta taimikkovaiheen lopulla. Kilpailu käydään maassa vedestä ja ravinteista, ilmassa valosta ja latvuksen fyysisestä tilasta. Jos tilaa on riittävästi, voidaan tilantarve olettaa joka suuntaan yhtä suureksi, joten kasvutila laajenee ympyrän muotoisena.

Kilpailutilanteessa puiden kasvutilat kohtaavat ja tilankäyttö suuntautuu vielä vapaille alueille. Mitä tiheämpänä ja epätasaisempaan puusto on kasvanut, sitä enemmän kasvutilat poikkeavat ympyrän muodosta. Vastavasti tasaisena ja harvana kasvatetussa puustossa kasvutilojen muoto on lähellä ympyrää. Suurimmat puut hallitsevat kilpailua, joten valtapuiden kasvutilat voidaan olettaa enemmän ympyrän muotoisiksi kuin kilpailussa tappiolla jääneiden. Väistyvät puut joutuvat tyytymään siihen tilaan, joka niille isoilta puilta jää.

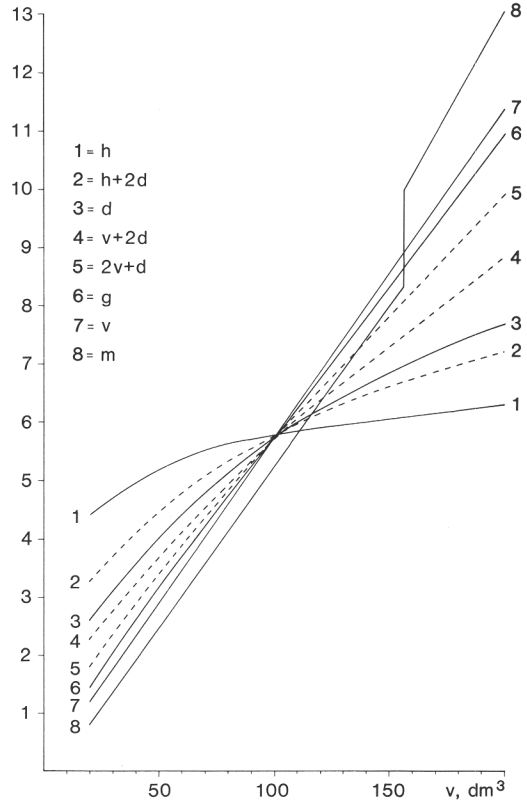
Leimausohjelmassa koealan pinta-ala jaetaan ympyränmuotoisiin kasvutiloihin. Ohjelman kannalta on tärkeintä, että kasvutilat ovat suhteellisesti mahdollisimman oikean kokoisia ja ulottuvat riittävästi päällekkäin. Absoluuttisesti oikean kokoiset kasvutilat eivät ole leimausjärjestyksen kannalta välttämättömiä. Kasvutilojen päällekkäisyys riittää leimausjärjestyksen määräämiseen, koska niiden pinta-alojen summa on yhtä suuri kuin koealan pinta-ala.

Kuten edellä on todettu, vastaa ympyrä kasvutilan todellista muotoa parhaiten tasaisissa ja hyvin hoidetuissa metsiköissä. Kasvupaikan laadusta tai muusta syystä johtuva ryhmittäisyys vähentää ympyränmuotoisen kasvutilan käyttökelpoisuutta. Samoin vaikuttaa kilpailun aiheuttama puiden erilaistuminen.

Leimausohjelmassa tilanjako tapahtuu jonkin puun kokoa kuvaavan tunnuksen suhteessa. Kuvassa 15 on esitetty kasvutilan pinta-ala rungon tilavuuden funktiona koealalla 1. Tilanjakoperusteina on käytetty puun pituutta, rinnankorkeusläpimittää, pohjapinta-alaa, runkotilavuutta ja raha-arvoa (tukki 180 mk/m³, kuitupuu 130 mk/m³). Lisäksi on käytetty muutamia edellisten yhdistelmiä. Puiden pituuksiin suhteutetut pinta-alat vaihtelevat vähiten. Seuraavaksi vähiten vaihtelua aiheuttaa läpimitan ja sitten pohjapinta-alan käyttö jakoperusteena. Suurin vaihtelu aikaansaadaan tilanjaolla, joka perustuu puiden runkotilavuuksiin tai raha-arvoihin. Jälkimmäinen riippuu tietenkin puutavaralajien hintasuhteista.

Leimausohjelmassa laskettavan kasvutilan pinta-ala riippuu puun koon lisäksi myös metsikön puustoisuudesta. Jos rungon tilavuutta käytetään tilanjakotunnukseksi, vaihtelee kasvutilan pinta-ala puustotilavuuden funktiona kuvan 16 mukaisesti. Erikokois-

Kasvutilan pinta-ala a_r
The area of circular growing space a_r
 $m^2/puu - m^2/tree$



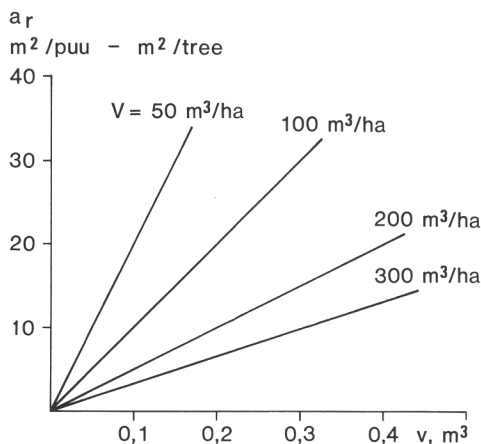
Kuva 15. Laskennallisen kasvutilan pinta-ala puun runkotilavuuden funktiona käytettäessä tilanjakotunnuksia 1—8.

Fig. 15. The area of the calculated growing space as a function of the stem volume of tree when using the spatial allocation characteristics 1—8.

ten puiden kasvutilojen pinta-alaerot pienenevät puustotilavuuden lisääntyessä. Suhteellisesti erot pysyvät yhtä suurina puuston määrästä riippumatta.

Kun kasvutilan pinta-alaa tarkastellaan rungon tilavuuden funktiona, kuvaa tilavuuksiin perustuvaa tilanjakoa suora, jonka suunta riippuu ainoastaan puuston kokonaistilavuudesta. Muiden tilanjakotunnusten kohdalla kokonaistilavuuden lisäksi kasvutilan kokoon vaikuttaa puuston rakenne. Tällöin pienenevä runkoluku aiheuttaa jyrkemmät erot suurten ja pienten puiden välille.

Kuten leimausohjelman kuvauksessa on todettu, voidaan tilanjako uusien jokaisen leimatun puun jälkeen tai halutuina välein (esim. väliraportin yhteydessä). Kasvutilan uudelleenjakaminen korostaa jäävän puus-



Kuva 16. Laskennallisen kasvutilan pinta-ala puun runkotilavuuden funktiona metsiköissä, joissa puuston tilavuus on joko 50, 100, 200 tai 300 m³/ha. Tilanjakotunnukseksi rungon tilavuus.

Fig. 16. The area of the calculated growing space as a function of the stem volume of tree in stands where the stand volume is either 50, 100, 200 or 300 m³/ha.

ton tasaista jakautumista koelalle. Toisaalta ilman päällekkäisyyttä jäävien puiden määrä vähenee, joten valintakertoimen vaikutusmahdollisuudet lisääntyvät. Näistä syistä johtuen tilanjaon uusiminen antaa entistä suuremmat mahdollisuudet korostaa mitä tahansa valintaperustetta.

Luvussa 3 esitettyjä ääri vaihtoehtoja K, L ja T on verrattu vastaaviin leimauksiin, joissa tilanjako on tehty uudelleen. Alle 30 %:n harvennusasteella erot ovat pienet (2—3 % runkoluvusta), mutta lisääntyvät selvästi vahvemmissa harvennuksissa. Tilanjaon uusiminen ei aiheuta oleellisia muutoksia leimauksiin, joten laskennan keventämiseksi voidaan tyytyä alkuperäiseen tilanjakoon. Yli 30 %:n harvennusasteissa on tilanjaon uusimista harkittava.

53. Leimausjärjestys

Leimausjärjestys määräytyy valintasuhteen $s = \frac{a_y}{c \times a_r}$ avulla. Naapuripuiden aiheutta-

man päällekkäisyyden suhde puun oman kasvutilan pinta-alaan (a_y/a_r) kuvaa puun asemaa. Sen avulla määräytyy leimausjärjestys, jossa pyritään pelkästään tilanjakoperusteena käytetyn tunnuksen tasaiseen jakautumiseen metsikössä. Tämä järjestys on jatkuvasti leimauksen pohjana, mutta sitä

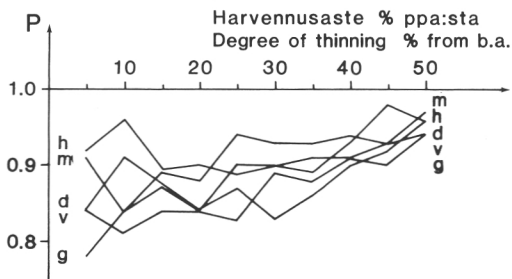
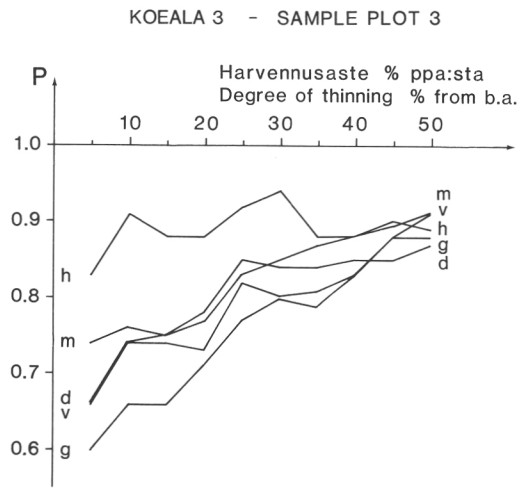
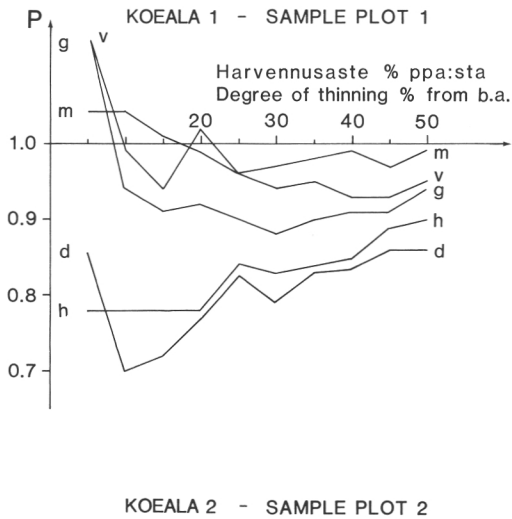
voidaan muuttaa haluttuun suuntaan valintakerrointen (c) avulla. Mitä enemmän c vaihtelee puiden välillä, sitä pienempi on tasaisuuden vaatimus. Kokonaan tasaisuuden vaatimuksesta ei ohjelmaa käytettäessä voida luopua.

Suhde a_y/a_r riippuu vain puuston tilajärjestyksestä, joten aluksi tarkastellaan ainoastaan tilanjaon vaikutuksia leimausjärjestykseen. Kuvassa 17 on käytetty tilanjakotunnuksina puiden pituutta, rinnankorkeusläpimittaa, pohjapinta-alaa, runkotilavuutta ja raha-arvoa. Vaihtoehdot on esitetty vertailusuhteen 'P = poistoprosentti ppa:sta/poistoprosentti runkoluvusta' avulla koelaloilla 1, 2 ja 3. Tilanjakotunnuksesta riippumatta leimaus kohdistuu vahvempana keskikokoa pienempiin puihin. Tämän paljastaa se, että vertailusuhteen arvot jäävät alle ykkösen lukuunottamatta aivan lieviä harvennuksia.

Koelaloilla 2 ja 3 tilanjakotunnusten vaikutukset leimausjärjestykseen ovat pienet ja näyttävät satunnaisilta. Koelalla 1 erot ovat suurempia ja johdonmukaisempia. Pienten ja suurten puiden kasvutilojen pinta-alojen lisääntyminen aiheuttaa keskimäärin yhä suurempien puiden leimaamisen (vertaa kuva 15). Tämä vaikuttaa epäloogiselta, koska isojen puiden kasvutilojen suurenemisen luulisi vähentävän niiden todennäköisyyttä tulla leimatuksi. Päinvastainen tulos on selitettävissä puiden koon ryhmittäisellä vaihtelulla. Isojen puiden kasvutilan lisääminen tavallaan siirtää tilaa pieniltä puilta isojen puiden ryhmiin. Tällöin suurten puiden keskinäinen päällekkäisyys lisääntyy niiden kasvutilojen pinta-aloja nopeammin. Tämä merkitsee niiden leimaustodennäköisyyden kasvua.

Tulokset osoittavat, ettei tilanjakotunnuksen valinnalla voida vaikuttaa johdonmukaisesti poistamisjärjestykseen. Erot jäävät myös melko pieniksi, joten pääsääntöisesti leimausjärjestykseen vaikutetaan valintakertoimen avulla. Periaatteena voidaan pitää, että tilanjaossa pyritään mahdollisimman lähelle todellista tilajärjestystä ja valintavaihtoehdot aikaansaadaan vain valintakertoimia muuttamalla.

Kun valintakerroin lasketaan useita tunteja painottamalla, on huomattava, että se on painokerrointen tulo. Niiden yhteisvaikutus saattaa tulla liian suureksi. Luvun 3 esimerkeissä on osoitettu, että valintaker-



Kuva 17. Tilanjakotunnuksen vaikutus vertailusuhteen $P = \frac{\text{leimattu \% ppa:sta}}{\text{leimattu \% runkoluvusta}}$ arvoihin koealojen 1, 2 ja 3 perusleimauksissa, joissa tilajärjestys on ainoa valintaperuste.

Fig. 17. The effect of the spatial allocation characteristic on the values of the quotient

$P = \frac{\text{selected \% from basal area}}{\text{selected \% from number of stems}}$ in the thinning where the spatial evenness of the stand is the sole selection criterion.

toimen vaikutus on johdonmukainen ja sen avulla saadaan selvästi toisistaan eroavia vaihtoehtoja.

Silmävaraisessa leimauksessa puita tarkastellaan ryhmittäin. Osa poistetaan ilman muuta pienen kokonsa tai huonon laatunsa takia. Jos ryhmästä täytyy poistaa vielä lisää puita, ne valitaan vertailemalla puun asemaa, kokoa ja laatua. Harkintatilanteessa on päätettävä, painotetaanko ensisijaisesti kokoa, laatua vai sijainnin tasaisuutta. Puuston pitäminen tasaisena koko metsikössä ei ole aina helppoa.

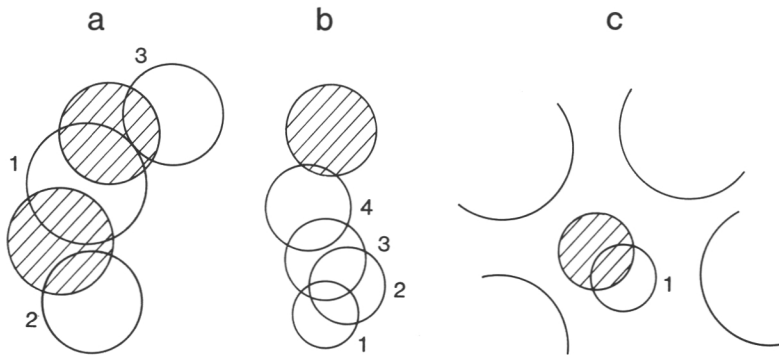
Silmävarainen leimaus tehdään vertailemalla naapuripuita keskenään. Tässä on periaatteellinen ero leimausohjelmaan, jossa puuta verrataan jatkuvasti koko koelapuustoon. Valintaperusteet ja jäävän puuston määrä pyritään pitämään kauttaaltaan samanlaisena. Tästä on hyötyä, jos metsikkö on kasvupaikaltaan ja puustoltaan homogeeninen. Epätasaisissa metsiköissä esimerkiksi liian voimakkaat alaharvennuserusteet saattavat johtaa pienten puiden ryhmien yliharvennukseen.

Ohjelmassa leimaus etenee askeltaen puu kerrallaan. Näin voidaan päätyä yhdistelmään, joka ei kokonaisuuden kannalta ole paras. Kuvassa 18 on esimerkkejä tällaisista tapauksista.

Leimausohjelman kehittyessä on syytä lisätä puun lähiympäristön merkitystä valinnassa. Näin voidaan parantaa ohjelman käyttökelpoisuutta myös epätasaisissa metsiköissä. Askeltavan etenemisen sijasta voitaisiin testata useampia vaihtoehtoisia ratkaisuja.

54. Vertailu käytännön harvennuksiin

Edellä on jo todettu, että leimausohjelman sovellutuksissa alaharvennusehdot ovat olleet silmävaraisesti arvioituina täysin tyydyttäviä. Sen sijaan teknistä laatua korostavissa vaihtoehdoissa on jouduttu poikkeamaan ohjelmalla lasketuista leimauksista. Suurin syy epäonnistumiseen on ilmeisesti sovelletussa laatuluokituksessa, joka on tähän tarkoitukseen liian karkea ja koros-



Kuva 18. Mahdollisia virheratkaisuja leimausohjelmassa: tapauksessa a ensimmäisen puun (1) valinta on väärä ratkaisu, tapauksessa b valinta etenee askeltaen puuryhmän reunasta toiseen, tapauksessa c aukon keskellä riittäisi tilaa molemmille puille.

Fig. 18. Possible mistakes in the application of the thinning programme: in case (a) the selection of the first (1) tree is a faulty solution; in case (b) the selection should progress by stepping from one margin of the tree group to another; in case (c) in the middle of the opening there would be space for both trees.

taa liikaa isojen puiden huonolaatuisuutta.

Lisäksi ohjelmalla tehtyjä leimausvaihtoehtoja on verrattu kahdella männikkökoelalla käytännössä toteutettuihin harvennuksiin (23 ja 16 % ppa:sta). Kyseiset koalat kuuluvat Metsäntutkimuslaitoksen kestokokeisiin, joissa tutkitaan harvennushakkuiden puuntuotannollisia vaikutuksia (koalat 27/02 ja 32/03). Puuvalinta on tehty silmävaraisesti, valikoivan alaharvennuksen periaatteita noudattaen.

Leimausohjelmalla etsittiin vaihtoehdot, joissa harvennuspoistuman määrä ja rakenne vastaavat toteutettuja harvennuksia. Tiedot puiden teknisestä laadusta olivat niin puutteelliset, ettei sen merkitystä voitu selvittää. Lähimmäksi toteutettuja harvennuksia osuivat leimaukset, joissa päävaltapuille annettiin painokerroin 1,0, lisävaltapuille 0,6, välipuulle 0,05 ja aluspuille 0,01. Silmävaraisesti poistetuista puista noin joka neljännen tai viidennen sijasta on leimausohjelmassa valittu toinen samankokoinen puu.

Kun otetaan huomioon koko runkoluku, havaitaan, että molemmilla koelaloilla noin 85 % puista joko poistetaan tai jätetään kasvamaan kummassakin vaihtoehdossa. Leimausten erot koskevat siten noin 15 %:a runkoluvusta.

Noin kolmasosa eroista on tapauksia, joissa tasaväkisessä valintatilanteessa ohjelmaa käyttämällä päädyttiin poistamaan viereinen puu leimaajan ratkaisuun verrattuna. Osa eroista johtui siitä, että leimausohjelmassa tasaisuuden vaatimus koko koelalla on suurempi kuin silmävaraisessa puuvalinnassa. Noin kolmasosa eroista aiheutui ohjelmassa olevista puutteista, erityisesti koalan reunapuiden kohdalla. Ohjelmassa oletetaan puuston jatkuvan samanlaisena myös koalan ulkopuolella. Keskimäärin tämä oletamus pitääkin yleensä paikkansa, mutta yksittäisten puiden kohdalla saattaa tapahtua virheitä. Tämän ongelman korjaamiseksi tulisi kartoittaa ja mitata myös koalan ympärillä olevan vaippavyöhykkeen puut.

6. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä työssä on esitelty menetelmä, jossa harvennusvalintaan keskeisesti vaikuttavat tekijät on yhdistetty matemaattiseksi malliksi. Valintaperusteiden painotusta muuttamalla pyritään leimausvaihtoehtoihin, jotka poikkeavat johdonmukaisesti toisistaan. Teoreettisen tarkastelun lisäksi on kyseisen leimausohjelman ominaisuuksia tutkittu esi-

merkkien avulla. Tässä yhteydessä on syytä korostaa tulosten esimerkkiluonnetta.

Leimausohjelmalla pyritään poistamaan tai ainakin vähentämään harvennusvalinnan subjektiivisuutta. Tarkoituksena ei kuitenkaan ole asettaa leimausohjelmaa ja silmävaraista valintaa vastakkain, vaan kehittää jälkimmäisen rinnalle menetelmä, joka so-

veltuu erityisesti tutkimus- ja opetustarkoituksiin. Käytännön leimaustyö pysyy aina silmävaraisena, mutta leimausohjelmaa on mahdollista käyttää sen opettamiseen ja tukemiseen.

Leimausohjelmassa harvennusohjeiden ja niiden mukaan tehdyn puuvalinnan välillä vallitsee matemaattinen yhteys. Siten poistamisjärjestys määräytyy itse leimausohjelmassa täysin objektiivisesti. Puuvalintaan jää kuitenkin subjektiivisuutta, jos jokin valintaan vaikuttava tunnus on arvioitu silmävaraisesti. Esimerkiksi puun elinvoimaisuutta ja teknistä laatua on vaikeaa kuvata kokonaan ilman silmävaraisia luokituksia. Sen sijaan puun sijaintia ja kokoa kuvaavat tunnuksot ovat tarkasti mitattavissa.

Monipuolisillakaan mittauksilla ei tosin saada esiin kaikkia yksityiskohtia, jotka voidaan silmävaraisesti puista erottaa. Toisaalta harkinnanvarainen valinta ei perustu mittauksiin vaan subjektiiviseen näkemykseen puiden välisistä eroista. Leimausohjelman kehittelyn lähtökohtana on se, että mahdollisimman objektiivisten puutunnusten perusteella voidaan laskea toteuttamiskelpoisia harvennusvaihtoehtoja. Tällöin voidaan hyötyä systemaattisen valinnan eduista. Toisena tavoitteena on tuoda harvennusvalintaan järjestelmällinen lähestymistapa, jonka avulla saadaan selkeä kokonaiskuva harvennuksen tavoitteista, valinnan perusteista ja leimausvaihtoehtoista.

Esimerkkileimausten avulla on tutkittu erilaisten valintaperusteiden vaikutuksia harvennusvalintaan. Vertailussa on rajoitettu jäävän puuston kasvuisuutta, teknistä laatua ja tilajärjestyksen tasaisuutta eri tavalla painottaviin vaihtoehtoihin. Leimausohjelma on täysin avoin muillekin valintaperusteille. Harvennuksessa voitaisiin suosia esimerkiksi tiettyä puulajia tai korostaa jätettävän tai poistettavan puuston arvoa tai mitä tahansa muuta ominaisuutta. Kasvamaan jääville puille voidaan asettaa lisäksi halutut minimivaatimukset eri ominaisuuksien suhteen.

Leimausvaihtoehtojen erojen suuruutta on selvitetty jakamalla puut kolmeen ryhmään:

1. Puut, jotka jätetään kasvamaan kaikissa vertailtavissa leimauksissa;
2. Puut, jotka vaihtoehdosta riippuen voidaan joko poistaa tai jättää kasvamaan;
3. Puut, jotka poistetaan kaikissa vertailtavissa leimauksissa.

Esimerkeissä kasvuisuutta, teknistä laatua tai sijainnin tasaisuutta korostavien leimausten erot koskevat suurimmillaan 50 %:a runkoluvusta. Loput puut joko poistetaan tai jätetään kasvamaan leimausvaihtoehdosta riippumatta.

Leimausten kohdistumista erikokoisiin puihin harvennusvoimakkuuden kasvaessa on kuvattu poistettavan puuston ppa-osuuden ja vastaavan runkolukuosuuden suhteella (= vertailusuhde). Yksityiskohtaisemmin samaa asiaa on tutkittu runkolukusarjojen avulla. Jäävien puiden kasvuisuutta korostavassa alaharvennuksessa on keskitytty luonnollisesti pienten puiden poistamiseen. Puiden tasaista jakautumista tavoitteleva tilaharvennus johtaa melko tasaisesti kaiken kokoisten puiden leimaamiseen. Laatuharvennusesimerkissä tavoitteena on jäävän puuston korkea tekninen laatu. Siinä on leimattu muita vaihtoehtoja enemmän metsikön suurimpia puita. Leimausohjelman muutkin sovellutukset osoittavat, että korostetussa laatuharvennuksessa poistetaan myös metsikön järeimpiä puuyksilöitä. Harvennusasteen kasvaessa yli 30 %:iin ppa:sta on havaittavissa vaihtoehtojen samankaltaistumista. Tämä johtuu tasaisen tilajärjestyksen korostumisesta voimakkaissa harvennuksissa.

Leimausohjelman rakenteesta johtuen eräänlaisena perusleimauksena on pidetty tilaharvennusta, jossa ainoa valintaperuste on puiden tilajärjestys ja tavoitteena on puiden mahdollisimman tasainen jakautuminen käytettävissä olevalle pinta-alalle. Toisissa vaihtoehtoisissa tingitään tästä tavoitteesta muiden valintaperusteiden takia, mutta tilajärjestys asettaa kuitenkin ääriarajat muiden tekijöiden painotukselle. Korostetussa alaharvennuksessa päädytään tilajärjestyksindeksillä (ks. luku 4) mitattuna 1—8 prosenttiyksikköä epätasaisempaan puustoon kuin vastaavassa tilaharvennuksessa. Näin pieni ero tuskin puoltaa tilaharvennuksen käyttöä. Korostetun laatuharvennuksen ja tilaharvennuksen ero koealaa 1 lukuunottamatta on 11—15 prosenttiyksikköä, joten laatuharvennuksessa on kiinnitettävä tilajärjestykseen enemmän huomiota kuin alaharvennukseseen. Ilmeisesti suurten puiden poistaminen aiheuttaa helposti aukkoisuutta.

Harventamattomina esimerkkikoealojen tilajärjestyksindeksit ovat $F_1 = 75$, $F_2 = 65$ ja $F_3 = 60$, joten vaihtelu samassa metsi-

kössä voi olla yllättävän suuri. Epätasaisuus johtuu ainakin osittain pienistä puista, koska koealoilla 2 ja 3 niitä on runsaasti ja niiden poistaminen alaharvennuksessa johtaa tilajärjestyksen selvään tasoittumiseen. Alun perin tasaisella koealalla 1 alaharvennus päinvastoin hiukan heikentää tilajärjestystä. Laatuharvennuksen vaikutus puiden sijainnin tasaisuuteen on pieni, lievissä harvennuksissa vähän heikentävä, vahvoissa parantava. Tilaharvennus johtaa tavoitteensa mukaisesti tasaisempaan tilajärjestykseen kuin muut vaihtoehdot.

Alun perin suuret erot koealojen välillä ($F_1 = 75$, $F_2 = 65$ ja $F_3 = 60$) tasoittuvat harvennettaessa siten, että 30 %:n tilaharvennuksessa päädytään indeksin arvoihin 75—82 ja vastaavassa alaharvennuksessa 71—75. Tällöin kasvamaan jätettävän puuston sijainnin tasaisuus vastaa täysin tasaisen istutuspuuston riviharvennusta, jossa poistetaan joka toinen ($F = 77,5$) tai joka kolmas rivi ($F = 75$).

Tähän mennessä leimausohjelmaa on sovellettu laatuharvennuskokeen perustamisessa. Käsitteilyvaihtoehtoina ovat selväpiirteinen alaharvennus ja laatuharvennus, jossa alaharvennusvaatimuksen rinnalla korostetaan voimakkaasti jäävien puiden teknistä laatua. Alaharvennusvaihtoehdot on hyväksytty sellaisinaan. Teknisen laadun korostaminen ei ole kaikilta osin johtanut ammattitaitoisen leimaajan käsitystä vastaavaan tulokseen. Pääsääntöinen syy epätydyttävään tulokseen on ilmeisesti puutteellisissa laatu- luokituksessa. Aikaisemmin toteutettujen alaharvennusten jäljittely leimausohjelmalla osoittaa, että noin 85 % runkoluvusta on puita, joiden kohdalla leimausohjelmassa päädytään silmävaraisen valinnan kanssa samaan ratkaisuun. Valintaerot eivät muuta harvennuksen kohdistumista eri latvuseroksiin, joten puuntuotannollisesti ne lienevät samanarvoisia.

Jos leimausohjelmaa sovelletaan harvennuskokeiden perustamiseen, saavutetaan ainakin seuraavat edut:

- Valintaperusteet pysyvät systemaattisesti samanlaisina koealan sisällä ja samaa käsitteilyvaihtoehtoa edustavilla koealoilla;
- Etukäteen tarkasti määritetty härvennusaste saavutetaan täsmällisesti ilman korjauksia tai täydennyksiä, joita silmävaraisessa valinnassa joudutaan ensimmäisen leimauskierroksen jälkeen tekemään;
- Valintaperusteiltaan ja harvennusasteeltaan johdonmukaisesti toisistaan poikkeavia leimauksia etu-

käteen vertailemalla voidaan valita tutkimukseen parhaiten soveltuvat käsitteilyvaihtoehdot ja toteuttaa ne vähäisin maastotyöpanoksin;

- Simuloimalla puuston kehitys myös vaihtoehtoisille käsitteilytavoille voidaan vaihtoehtoja verrata toisiinsa samalla koealalla, vaikka vain yksi niistä on käytännössä voitu toteuttaa;
- Ilmentämällä puuvalinnan luonteen muuttumista harvennusvoimakkuuden lisääntyessä voidaan leimausohjelman avulla löytää yhteyksiä valintaohjeiden ja harvennusasteen välille.

Näköpiirissä on myös eräitä muita leimausohjelman sovellutuksia. Tarvittaessa voidaan perustaa kokeita, joissa harvennusvoimakkuus muuttuu koealalla portaattomasti. Leimausohjelmaa sovelletaan myös tutkimuksessa, jossa selvitetään ajourien vaikutusta puuston tilajärjestykseen ja sitä kautta puuntuotokseen.

Leimausohjelma on riittävän avoin uusille valintaperusteille, joten sen kehittäminen tältä osin ei näytä tarpeelliselta. Ohjelman soveltuvuutta epätasaisiin metsiköihin voitaisiin lisätä ottamalla puun lähiympäristö tarkemmin huomioon. Nykyisellään puun vertailukohteena on aina koko koeala ja tilajärjestyksen tasaisuudella on suuri merkitys, joten ohjelman soveltuvuus epätasaisissa metsiköissä on kyseenalaista. Puu puulta askeltavasti etenevällä leimauksella on tiettyjä heikkouksia. Ne voitaisiin poistaa testaamalla useita vaihtoehtoisia ratkaisuja ja optimoimalla leimaus operaatioanalyttisin menetelmin.

Leimausohjelmassa käytetty tilanjako on teoreettinen eikä perustu tutkimustuloksiin. Ympyränmuotoisen kasvutilan sisällä olevaa tilaa pidetään puulle yhtä arvokkaana riippumatta etäisyydestä ja suunnasta puun sijaintipisteeseen nähden. Todennäköisesti puun käytössä olevan tilan merkitys kuitenkin pienenee etäisyyden kasvaessa ja tilankäyttö suuntautuu naapuripuiden kilpailun ja valon vaikutuksesta kohti avoimempaa tilaa. Leimausohjelman kehittäminen tilanjaon osalta edellyttää lisätutkimuksia em. kysymyksistä.

Harvennusvalinnan opetuksessa keskeinen päämäärä pitäisi olla puunkasvatuksen tavoitteiden ja niistä johdettujen valintaperusteiden ymmärtäminen ja yhteensovittaminen erilaisissa metsiköissä. Juuri tällaista harkintaa edellyttävät nykyiset, melko väljät harvennusohjeet. Leimausohjelmassa puuvalinnan ongelmaa lähestytään järjestelmällisesti ottaen samanaikaisesti huomioon

kaikki tärkeimmät valintaperusteet. Opetuksessa ohjelma voi antaa selkeän kokonaiskuvan valintaan vaikuttavista tavoitteista, niiden mukaisista valintaperusteista ja vastaavista leimausvaihtoehdoista. Riittävän pitkälle kehitettynä sen avulla voidaan tehdä mallileimauksia havainnollistamaan harvennustapojen vaikutusta valintaan.

Harvennushakkuille voidaan asettaa tavoitteita, jotka koskevat esimerkiksi päätehakkuupuuston puulajisuhteita, tilavuutta, puiden järeyttä ja teknistä laatua. Lisäksi tavoitteet koskevat kiertoajan pituutta ja mahdollisesti harvennustulojen määrää ja ajoittumista. Tietyissä tilanteissa tavoitteena voi olla myös luontaisen uudistumisen edesauttaminen. Puunkasvattajat painottavat näitä osittain ristiriitaisia tavoitteita eri tavalla riippuen omista toimintaolosuhteistaan ja päämääristään.

Tavoitteiden erilaisuus johtaa valintaperusteiden erilaiseen painotukseen. Nykyiset harvennusohjeet tähtäävät kohtuullisen hyvälaatuiseen ja mahdollisimman järeään päätehakkuupuustoon normaalia kiertoaikaa käyttäen. Jos metsikön kasvatuksessa annettaisiin pääpaino korkealaatuisen tukkipuun tuottamiselle, on laatuharvennuksen käyttö harvennustapana perusteltua (Heiskanen 1965). Harvennustapa on nähtävä koko kasvatusohjelman osana, joten kaikkien muidenkin ratkaisujen, kuten harvennusten voimakkuuden sekä niiden ajoittamisen ja lukumäärän on tähdättävä samaan päämäärään.

Luonnollisesti laatua ei kannata korostaa metsiköissä, joissa mahdollisuus hyvään laatuun on jo menetetty. Jos puuston tekninen laatu on pahasti epäonnistunut, saattaa massapuun tuottaminen lyhyellä kiertoajalla olla järkevin tavoite. Jos harvennus tällöin katsotaan tarpeelliseksi, on puiden kasvuisuus ainoa järkevä valintaperuste.

Useimmiten harvennuksen käytännöllisenä motiivina on välitön tulojen tarve ja kaikissa tapauksissa tulojen edellytetään peittävän ainakin harvennuksesta koituvat kustannukset. Tulojen tarve korostuu esi-

merkiksi metsälöissä, joista päätehakkupuustot kokonaan puuttuvat. Ottamalla huomioon kuitupuun ja tukkipuun hintaero voidaan harvennusvalinnalla korostaa poistuman arvoa (Vuokila 1970).

Harvennusvalinta ei ole erillinen toimenpide, vaan se on nähtävä osana kyseisen metsikön kasvatusohjelmaa, jonka pitäisi olla optimaalinen puunkasvattajan tavoitteiden ja olosuhteiden sekä metsikön ominaisuuksien suhteen. Leimausohjelman avulla tehdyt esimerkit osoittavat, etteivät leimausvaihtoehdot välttämättä edusta mitään harvennustapaa puhtaasti, vaan ovat useiden valintaperusteiden eriaisteisia kompromisseja. Nykyiset harvennusohjeet sallivat harkinnanvaraisuutta melko laajasti, joten käytännön leimaukset muodostuvat todennäköisesti tällaisiksi kompromisseiksi. Entistä paremmin olisi kuitenkin tiedostettava metsiköiden ja niille asetettavien kasvatusavoitteiden erilaisuudet, eikä pyrkiä kaikissa olosuhteissa vain yhteen ja samaan harvennuskäytäntöön.

Harvennustapojen yksiselitteinen määrittely on vaikeaa, koska yhteensovitettavat tavoitteet ja valintaperusteet ovat osittain ristiriitaisia ja metsiköt poikkeavat toisistaan monessa suhteessa. Lisäksi on puutetta kriteereistä, joilla harvennuksien laatua voidaan mitata. Leimausohjelman avulla näitä ongelmia voidaan lähestyä systemaattisesti ja etsiä myös ratkaisuja, koska valintakriteerien ja puuvalinnan välillä vallitsee matemaattinen yhteys. Tässä työssä on esitetty myös muutamia menetelmiä, joilla voidaan ilmentää leimausvaihtoehtojen erojen laatua ja suuruutta.

Jos harvennustapoja halutaan määritellä käytännön leimauksia varten, on sen tapahtuttava selkeästi tavoitteista käsin. Vasta toissijaisesti voidaan antaa yksityiskohtaisia valintaohjeita, koska metsiköt poikkeavat toisistaan. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota harvennustapojen soveltavuuteen erilaisissa metsiköissä. On turhaa vertailla harvennustapojen paremmuutta, ellei samalla tiedosteta tavoitteiden ja olosuhteiden erilaisuutta.

KIRJALLISUUS

- ASSMANN, E. 1961. The principles of forest yield study. Pergamon Press. Oxford.
HEISKANEN, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruudenkehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuun laa-

dun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta For. Fenn. 80.2:1—62.

ILVESSALO, L. 1929. Puuluokitus ja harvennusasteikko. Transl.: A tree-classification and thinning system. Acta For. Fenn. 34.38:1—15.

ISOMÄKI, A. & VÄISÄNEN, J. 1980. Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään. Summary: Thinning method and its influence on the remaining growing stock and on the thinning yield. Folia For. 450:1—31.

KALELA, E. 1945. Metsät ja metsien hoito. WSOY. Porvoo-Helsinki. 368 s.

Keskusmetsälautakunta Tapio 1981. Etelä-Suomen metsien käsittelyohjeet. Tapio 3/1981.

LAASENAHO, J. 1982. Puiden oksaisuudesta. Metsä ja Puu 10.

Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1982. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 96:1—169. Metsänarvioimisen tutkimusosasto, Puuntuotoksen tutkimus-suunta.

Metsähallitus 1981. Ohjekirje metsien käsittelystä Etelä-Suomen piirikunnassa. Metsähallitus nro 309.

SARVAS, R. 1948. Harvennushakkuista. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 12:363—367.

ULLEN, G. 1940. Gallring med uttagande företrädesvis av de grövre eller de klenare stammarna i

beståndet. Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskrift för år 1940:269—277. Stockholm.

VUOKILA, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Acta For. Fenn. 110:1—45.

— 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. Folia For. 247:1—24.

— 1980a. Kasvustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotokseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. Folia For. 448:1—15.

— 1980b. Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen. The growth reaction of young pine stands of the first commercial thinning. Folia For. 468:1—13.

— & VÄLIAHO, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 99.2:1—271.

YLI-VAKKURI, P. 1949. Ala- ja yläharvennuksen erilaisuus ja yhtäläisyys. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 3—4:93—95.

LIITE

Oksaisuusluokka

Tyvitukin osuuden (5 m maanpinnasta) paksuimman oksan läpimitta mitataan 3 cm:n etäisyydeltä rungosta = d_{ok} (mm)

- 1 : $d_{ok} < 15$ mm
- 2 : $15 \text{ mm} \leq d_{ok} < 20$ mm
- 3 : $20 \text{ mm} \leq d_{ok} < 25$ mm
- 4 : $25 \text{ mm} \leq d_{ok} < 30$ mm
- 5 : $30 \text{ mm} \leq d_{ok} < 35$ mm
- 6 : $35 \text{ mm} \leq d_{ok}$

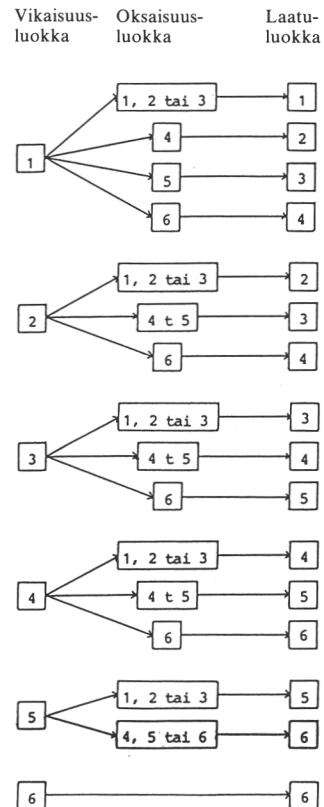
Vikaisuusluokka

Tulevaisuudessa saatavien tukkien laatu arvioidaan olemassa olevien vikojen sijainnin ja vakavuuden perusteella seuraavasti:

1. Ei lainkaan vikoja.
2. Tyvitukin osuus (5 m) moitteeton, ylempänä tukin laatuluokkaa alentavaa vikaisuutta.
3. Tyvitukin osuus moitteeton, mutta ylempää ei saada tukkia tai tyvitukin osuudella laatuluokkaa alentavaa vikaisuutta ja ylempääkin saadaan tukkia.
4. Tyvitukin osuudella laatuluokkaa alentavaa vikaisuutta, mutta ylempää ei saada tukkia.
5. Tyvestä ei saada tukkia, mutta ylempää saadaan.
6. Puusta ei saada lainkaan tukkia.

Yhdistetty laatuluokka

Laatuluokka saadaan yhdistämällä oksaisuus ja vikaisuusluokka seuraavan kaavion mukaisesti:



ODC 242 + 624.3 + 63
ISBN 951-40-0617-8
ISSN 0015-5543

ISOMÄKI, A. & NIEMISTÖ, P. 1983. Koalapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. Abstract: The selection of trees in thinning experiments: A computer method. Folia For. 557: 1—32.

A computer programme for the selection of trees in thinning experiments is described and tested in this paper. The aim is to reach high degree of objectiveness in the choice of trees when using various tree selection criteria according to tree species, size, technical quality, state of health and spacing. In addition, the paper includes some methods to analyse and compare various selection alternatives and to describe the spatial evenness of an experimental stand.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 242 + 624.3 + 63
ISBN 951-40-0617-8
ISSN 0015-5543

ISOMÄKI, A. & NIEMISTÖ, P. 1983. Koalapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. Abstract: The selection of trees in thinning experiments: A computer method. Folia For. 557: 1—32.

A computer programme for the selection of trees in thinning experiments is described and tested in this paper. The aim is to reach high degree of objectiveness in the choice of trees when using various tree selection criteria according to tree species, size, technical quality, state of health and spacing. In addition, the paper includes some methods to analyse and compare various selection alternatives and to describe the spatial evenness of an experimental stand.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

Tilaa kortin kääntäpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____



Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

Kannuksen energiametsäkoasema
Kannus Energy Forestry Experiment Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

1982

- No 532 Lyly, Olavi & Saksala, Timo: Pituuskasvun vaihtelu ja puuluokkien eriytyminen nuorena istutusmännikössä. Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation.
- No 533 Lähde, Erkki, Nieminen, Jarmo, Etholén, Kullervo & Suolahti, Pekka: Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Older lodgepole pine stands in southern Finland.
- No 534 Mälkönen, Eino & Saarsalmi, Anna: Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands.
- No 535 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä. State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forest of western Finland.
- No 536 Raitio, Hannu: Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field.
- No 537 Leikola, Matti, Raulo, Jyrki & Pukkala, Timo: Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce.
- No 538 Takalo, Sauli & Väyrynen, Seppo: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa. Terri light crawler in timber transport.
- No 539 Appelroth, Sven-Eric: Rekommendationer för materialinsamling och resultatpresentation vid tidsstudier av skogsvårdsarbeten. Recommendations for collecting data and presenting results of time studies on silvicultural operations.
- No 540 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1980—82. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1980—82.
- No 541 Saksala, Timo & Lähde, Erkki: Siemenen määrä männyn, kuusen ja lehtikuusen suojakylvössä. Number of seeds in shelter sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch.

1983

- No 542 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuupölkkyjen mittaustutkimuksia. Studies of the measurement of pulpwood bolts.
- No 543 Kärkkäinen, Matti & Björklund, Tarja: Suomussalmelaisten mäntytukkien koesahaustuloksia. On the sawing of pine logs from Suomussalmi, north-eastern Finland.
- No 544 Petäistö, Raija-Liisa: Rauduskoivun versolaikut taimitarhalla. Stem spotting of birch (*Betula pendula*) in nurseries.
- No 545 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory.
- No 546 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Istutustaimikoiden tila 11—12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä. State of plantations 11—12 years after planting in some private forests in western Finland.
- No 547 Rousi, Matti: Pohjois-Suomen siemenviljelysjälkeläistöjen menestymisestä Kittilässä. The thriving of the seed orchard progenies of northern Finland at Kittilä.
- No 548 Imponen, Vesa & Sirén, Matti: Kaatotavan vaikutus kuormainprofessorin tuottavuuteen.
- No 549 Parviainen, Jari & Lappi, Juha: Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi. A calculation model for the comparison of artificial forest regeneration chains.
- No 550 Metsätalastollinen vuosikirja 1982. Yearbook of Forest Statistics 1982.
- No 551 Kaunisto, Seppo. Koripajun (*Salix viminalis*) biomassatuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa. Biomass production of *Salix viminalis* and its nutrient and water consumption on differently fertilized peats in greenhouse.
- No 552 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. The technique of recycling wood and bark ash.
- No 553 Löyttyneemi, Kari & Piisilä, Niilo: Hirvivahingot männyn viljelytaimikoissa Uudenmaan—Hämeen piirimetsälautakunnan alueella. Moose (*Alces alces*) damage in young pine plantations in the Forestry Board District Uusimaa—Häme.
- No 554 Vuokila, Yrjö, Gustavsen, Hans Gustav & Luoma, Pirkko: Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu ja harvennusmallit. Site classification and thinning models for Siberian larch (*Larix sibirica*) stands in Finland.
- No 555 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1982. Abstracts of the publications of the Finnish Forest Research Institute, 1982.
- No 556 Vuokila, Yrjö: Viljelymetsiköiden harvennusmallit. Gallringsmallar för odlade bestånd i Finland. Thinning models for forest cultures in Finland.
- No 557 Isomäki, Antti & Niemistö, Pentti: Koelapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. The selection of trees in thinning experiments: A computer method.
- No 558 Ferm, Ari & Kaunisto, Seppo: Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella, Kihniön Aitonevalla. Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.