

Olli-Pekka Ahonen ja Helena Mäkelä

Etelä-Suomen raakapuuvarat laskennalliseen pölkytykseen perustuen

Ahonen, O-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raakapuuvarat laskennalliseen pölkytykseen perustuen. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1995(3): 165–178.

Tutkimuksessa selvitettiin Etelä-Suomen havutukkipuun jakautuminen eri laaturyhmiin. Mänty- ja kuusirungoilla laaturyhminä olivat oksaton ja kyhmytön tyvitukki, kuivaoksainen väli- tai tyvitukki sekä terveoksainen latvatukki. Lisäksi kuusirungoista erotettiin omaksi ryhmäkseen latvaläpimitaltaan yli 40 cm:n tukit.

Tutkimusaineistona käytettiin valtakunnan metsien 8. inventoinnin koepuita, jotka apteerattiin kahdella eri tavalla. Laatuapteerauksessa tavoitteena oli käyttää rungon eri laatuosat maksimaalisesti hyödyksi ja pitää laatuosat erillä toisistaan. Jakauma-apteerauksessa pyrittiin ennalta asetettuun pituustavoitteeseen laatuluokan sisällä sekä sallittiin siirtymä paremmasta laatuluokasta huonompaan laatuluokkaan. Koko Etelä-Suomen laaturyhmittäiset tukkiosuudet saatiin yleistämällä koepuiden laskennalliset apteeraustiedot lukupuille keskiarvomenetelmällä.

Jakauma-apteerauksessa mäntykoepuiden oksattoman tyvitukin määrä aleni 30 % ja terveoksaisen tukin määrä lähes 40 % laatuapteerauksen tukkimääriin verrattuna. Vastaavasti kuivaoksaisen tukin määrä kasvoi 14 %. Kuusikoepuiden jakauma-apteerauksessa terveoksaisen tukin määrä aleni 17 % ja kuivaoksaisen tukin määrä lisääntyi 9 % verrattuna laatuapteerauksen mukaisiin tukkimääriin.

Laatuapteerauksen perusteella oksatonta ja kyhmytöntä mäntytyvitukkia oli 17,0 % Etelä-Suomen männyn kokonaistukkitilavuudesta ja kuusityvitukkia 4,2 % kuusen kokonaistukkitilavuudesta. Terveoksaista mäntytyvitukkia oli 8,0 % ja kuusityvitukkia 24,8 % tukkitilavuudesta. Kuivaoksaisen mäntytyvitukin osuus oli 74,3 % ja kuusityvitukin 69,3 %. Lisäksi latvaläpimitaltaan yli 40 cm:n kuusityvitukia saatiin 1,2 % tukkitilavuudesta.

Asiasanat: dynaaminen optimointi, laatuapteeraus, jakauma-apteeraus, laaturyhmät, valtakunnan metsien inventointi

Kirjoittajien yhteystiedot: *Ahonen*, Enso-Gutzeit Oy, Metsäosasto, Wolffintie 5, 55800 Imatra; *Mäkelä*, Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Unioninkatu 40 A, 00700 Helsinki. Faksi (90) 8570 5717, sähköposti helena.makela@metla.fi

Hyväksytty 28.11.1995

1 Johdanto

Suomen metsä- ja puuteollisuus on kehittämässä toimintaansa entistä enemmän kohti asiakas- ja tuotelähtöistä raaka-aineen hankintaa. Tällöin raaka-aine ja lopputuote integroidaan samaan puunhankintaprosessiin. Tässä prosessissa pyritään ottamaan huomioon sekä raaka-aineen alueelliset, laadulliset ja määrälliset ominaisuudet että markkinoilta tuleva kysynnän kasvu. Kysyntä kohdistuu nimenomaan erikois- ja asiakastuotteisiin. Asiakas- ja tuotelähtöisen puunhankinnan merkityksen kasvaessa tiedon tarve käytettävissä olevasta raaka-aineesta, sen laadusta ja saatavuudesta lisääntyy. Samoin inventointitietojen tehokkaampi hyväksi käyttö edellyttää luopumista kiinteisiin apteerausohjeisiin perustuvasta pölkytyksestä. Pölkytyksen on mukauduttava jokaiseen erilaiseen tarkastelukertaan joustavasti.

Valtakunnan metsien 8. inventoinnissa (VMI8) koepuiden pölkytys on tehty aikaisemmin Heiskasen ja Siimeksen (1959, 1960) laatimaan sahatavaran laatuoluokituksen muunnokseen perustuen (Valtakunnan metsien... 1989). Tällainen luokitus on nykyisessä ja tulevaisuudessa entistä nopeammin markkinoihin mukautuvassa sahaustuotannossa todettu vanhentuneeksi. Heiskasen ja Siimeksen (1959, 1969) tutkimuksiin perustuva laatuoluokitus pystyy kuvaamaan vain yksittäisen laatuominaisuuden muuttumista luokasta toiseen, esim. oksaisuuden kasvua. Nykyisin sahateollisuudessa yksittäisen oksan koolla ei ole enää niin suurta merkitystä kuin aikaisemmin, vaan tukin yleisellä oksaisuudella on suurempi merkitys lopputuotteen markkinoinnin ja käytön kannalta. Vastaavasti lopputuotteen hinta määräytyy ensisijaisesti oksaisuuden ja vasta sitten dimensioiden perusteella. Siksi oksattoman, kuivaoksaisten ja terveoksaisten tukkipuuraaka-aineen määrien selvittäminen katsottiin tulevaisuuden sahaustuotannon hahmottamisen kannalta tärkeäksi.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia muuntaa VMI8:n pystyyn pölkytettyjen koepuiden apteerausta oksarajoihin ja laskennalliseen pölkytykseen perustuvaksi mänty- ja kuusirunkojen kohdalla. Tällöin saataisiin metsässä tehty, etukäteen määrättyihin laatuihin ja dimensioihin perustuva pystyapteeraus muutettua uusia laa-

Järvi-Suomen alue

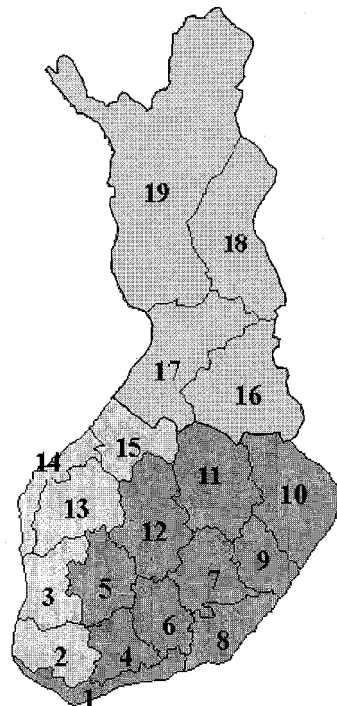
- 1 Helsinki
- 4 Uusimaa-Häme
- 5 Pirkka Häme
- 6 Itä-Häme
- 7 Etelä-Savo
- 8 Etelä-Karjala
- 9 Itä-Savo
- 10 Pohjois-Karjala
- 11 Pohjois-Savo
- 12 Keski-Suomi

Länsi-Suomen alue

- 2 Lounais-Suomi
- 3 Satakunta
- 13 Etelä-Pohjanmaa
- 14 Pohjanmaa
- 15 Keski-Pohjanmaa

Pohjois-Suomen alue

- 16 Kainuu
- 17 Pohjois-Pohjanmaa
- 18 Koillis-Suomi
- 19 Lappi



Kuva 1. Tutkimusalueen jakaantuminen suuralueisiin ja metsälautakuntiin.

tu-, pituus- ja läpimittavaatimuksia vastaavaksi ja myös jatkossa helposti erilaisiin laatuvaatimuksiin mukautuvaksi. Tutkimusalueena oli Etelä-Suomi Oulun läänin etelärajaan asti, kuva 1. Tutkimuksen toisena tavoitteena oli selvittää laskennalliseen pölkytykseen perustuvat puuvaratiedot metsälautakunnittain sekä selvittää, kuinka apteerauksen yhteydessä on mahdollista vaikuttaa saatavaan tukkijakaumaan.

2 Tutkimusaineisto

Aineistona käytettiin vuosina 1986–1992 Etelä-Suomen metsälautakuntien alueella mitattuja VMI8:n tietoja. Inventointitiedot on kerätty systemaattisella ryväsoitannalla. Kukin ryvä eli lohko muodostui 21 koealasta, jotka olivat 300 metrin etäisyydellä toisistaan. Koealalohko muodosti kaakkoon aukea-

Taulukko 1. Tukkikoepuiden lukumäärät ja maastomittausvuodet metsälautakunnittain.

Metsälautakunta	Mänty, kpl	Kuusi, kpl	Mittausvuosi
1 Helsinki	494	420	1986
2 Lounais-Suomi	649	540	1986
3 Satakunta	457	530	1987
4 Uusimaa-Häme	368	761	1987
5 Pirkka-Häme	702	907	1987
6 Itä-Häme	495	710	1988
7 Etelä-Savo	757	678	1988
8 Etelä-Karjala	583	564	1986
9 Itä-Savo	526	402	1988
10 Pohjois-Karjala	1073	838	1989
11 Pohjois-Savo	732	1393	1990
12 Keski-Suomi	846	1103	1991
13 Etelä-Pohjanmaa	719	471	1991
14 Vaasa	334	348	1991
15 Keski-Pohjanmaa	387	257	1991-1992
Etelä-Suomi yhteensä	9122	9922	

van kulman, jonka sivujen pituus oli 2 000 metriä. Lohkojen vastinpisteiden etäisyys oli itä-länsisuunnassa 7 km ja pohjois-eteläsuunnassa 8 km (Valtakunnan metsien... 1987).

Koealalla luettavat puut rajattiin relaskoopilla käyttäen kerrointa 2. Osa puista mitattiin koepuina muuta puustoa tarkemmin. Vuoteen 1989 saakka eli Helsingin metsälautakunnasta Pohjois-Karjalan metsälautakuntaan asti inventointilohkon kolmella koealalla mitattiin kaikki lukupuut koepuina. Pohjois-Savon metsälautakunnasta eli vuodesta 1990 alkaen koepuuna mitattiin joka 7. elävä lukupuu yli koealojen ja lohkojen (Valtakunnan metsien... 1991).

Laskennallinen apteraus tehtiin mänty- ja kuusikoeapuille, jotka oli maastomittauksessa luokiteltu tukkipuiksi ja jotka oli apteerattu pystyyn inventointiohjeiden mukaisesti. Aineistossa oli mukana kaikkiaan 9 122 mäntykoepuuta ja 9 922 kuusikoeapuuta eli yhteensä 19 044 koepuuta koko Etelä-Suomen alueelta (taulukko 1). Ahvenanmaan maakunta jätettiin pois tarkastelusta. Haarapuita ja sellaisia tukkirunkoja, joita ei vikojensa puolesta oltu luokiteltu tukkipuiksi, ei otettu mukaan laskennalliseen apteraukseen.

Inventoinnissa tukkipuut luokiteltiin kahteen eri puuluokkaan: hyvä ja normaali tukkipuu. Hyvästä tukkipuusta saadaan normaalimittainen, laatuluokkaa I tai II oleva tyvitukki tai tukkiosan tilavuudesta vähintään 60 % täyttää laatuluokan II vaatimukset. Hyvästä tukkipuusta enintään 20 % tukkiosan tilavuudesta joudutaan vähentämään vikojen takia. Normaali tukkipuu ei laatunsa puolesta täytä näitä vaatimuksia. (Valtakunnan... 1987).

Maastoapterauksessa runko jaettiin pölkkyihin niin, että pölkkyjen pituudet olivat 3 dm:n kerrannaisia ja vaihtelivat 31 dm:stä 61 dm:iin. Tukkipituudet 31, 34 ja 37 dm olivat poikkeusmittoja, joita käytettiin useampitukkisissa puissa vain poikkeustapauksissa. Ohjeissa kehoitettiin pyrkimään 47 dm:n keskipituuteen. Apterauksessa kirjattiin pölkyn laatuluokka: I, II, III, kuitupuuksi kelpaava tyveys tai kuitupuuksi kelpaamaton hukkapuusa.

Kaikista koepuista mitattiin yhtenäisen elävän latvuksen alarajan korkeus ja kaikista tukkikoeapuista alimman kuolleen oksan korkeus, mikäli se oli elävän latvusajan alapuolella ja korkeintaan 8 metrin korkeudella. Rinnankorkeudelta 16,5 cm:ä paksummilla puilla kuolleen oksana huomioitiin vähintään 15 mm:n paksuiset oksat ja 16,5 cm:ä pienemmillä puilla vähintään 10 mm:n oksat. Oksan läpimitta tarkoitti sen kuoretonta läpimittaa heti tyvipaksunnoksen yläpuolella kohtisuoraan runkoa vasten mitattuna. Elävän latvusajan mittauksessa ei huomioitu yksittäisiä, vähintään kahden kuolleen oksakiehkuran erottamia eläviä oksia.

3 Tutkimusmenetelmät

3.1 Yleistä

Usein metsätalouden erilaisiin optimointiongelmiin on sovellettu lineaarista optimointia (LP). Lineaarinen optimointi on käyttökelpoinen menetelmä eri optimointiongelmiin ratkaisemiseen, koska sen suorittamiseen on olemassa useita eri valmisohjelmistoja. Kuitenkin LP-mallien avulla voidaan käsitellä vain jatkuvia muuttujia ja lisäksi LP-mallit on pysyttävä ilmaisemaan lineaaristen yhtälöiden avulla.

Luonteeltaan epäjatkovat ongelmat voidaan rat-

kaista käyttämällä kokonaislukuoptimointia (IP), jonka ratkaiseminen on usein hyvin työlästä. LP-mallien laajennuksen, epälineaarisen optimoinnin (NLP) kohdalla päästään eroon mallin asettamista lineaarisuuden vaatimuksista, mutta mallin rajoitteiden määrittely tulee työlääksi. Dynaaminen optimointi (DO) on menetelmä, jonka avulla voidaan käsitellä epälineaaristen muuttujien välisiä suhteita samanaikaisesti diskreettien muuttujien kanssa ja mallin rajoitteiden laadinta pysyy riittävän yksinkertaisena. (Buongiorno ja Gilless 1988).

Dynaamista optimointia on sovellettu esimerkiksi metsikön kasvatuksen optimointiin (mm. Amidon ja Akin 1968, Brodie, Adams ja Kao 1978, Cawrse 1979, Chen, Rose ja Leary 1980, Dykstra 1984) sekä yksittäisten runkojen optimaalisen pölkkytyksen ratkaisemiseen (mm. Laasaseno ja Sevola 1971, Pnevmaticos ja Mann 1972, Briggs 1977, 1980, 1982, Eskelinen ja Pennanen 1980, Eskelinen ja Keskinen 1981, Dykstra 1984, Näsberg 1985, Liski ja Saario 1987, Ahonen ja Lemmetty 1995). Yksittäisen rungon pölkkytyksen optimointiongelma voidaan myös ratkaista muilla operaatioanalyysin menetelmillä, kuten esimerkiksi LP- tai NLP-malleilla. Näitä eri menetelmiä on Näsberg (1985) käsitellyt kattavasti väitöskirjassaan.

Käytännön sovelluksissa yksittäisen rungon pölkkytysongelma on ratkaistu kahden pölkyn liukuvan optimoinnin menetelmillä. Näissä menetelmissä yksittäisestä rungosta on mitattu kaikki ensimmäisen pölkyn läpimitta/pituus-yhdistelmät (Berglund ja Sondell 1985) sekä ennustettu mitattujen tietojen avulla vastaavan pituisen rungonosan läpimitat ja kapeneminen tai on käytetty apuna runkokäyriä (Imponen 1987). Pölkkytyksen optimoinnissa on haettu kahden pölkyn suurimman arvon toteuttava yhdistelmä.

3.2 Optimoinnin rakenne

Dynaamisen optimoinnin menetelmissä ongelma on pystyttävä jakamaan osaongelmiin tai tasoihin. Jokaiselle osaongelmalle haetaan vaiheittain ratkaisu. Optimointi etenee askeleittain, ja jokaisen päätöksen jälkeen valitaan paras reitti ko. tilaan asti. Ratkaisun hakeminen voidaan aloittaa joko prosessin alku- tai loppupäästä (mm. Laasa-

senaho ja Sevola 1971, Eskelinen ja Keskinen 1981, Buongiorno ja Gilless 1988, Ahonen ja Lemmetty 1995).

Tässä tutkimuksessa optimoinnin kohteena oli rungon käyttöosa. Tukkipuun minimiläpimittaa pienemmästä rungon osasta tehtiin latvakuitua ja vikaisista osista tehtiin kuitu- tai hukkapuuleikkoja. Tällöin yhdestä rungon käyttöosasta voi vikaisuuskien takia tulla useita optimoitavia tukkiosia. Rungon käyttöarvo oli optimaalisesti katkottujen tukkien, välileikkojen ja latvakuitupuun arvojen summa.

Optimoitavan käyttöosan käsittely vaiheittain:

1. vaihe: Optimoitavasta rungosta haettiin tyvestä alkaen 1. tukin katkontakohdat käyttäen kaikkia mahdollisia tukin pituusvaihtoehtoja.

2. vaihe: Ensimmäisistä katkontakohdista jatkettiin hakemalla 2. tukille katkontakohdat käyttäen kaikkia mahdollisia pituusvaihtoehtoja.

3. vaihe: Etsittiin erilaiset katkontakohdat. Jos useassa vaihtoehdossa päädyttiin samaan rungon kohtaan, valittiin katkontatavaksi tähän pisteeseen asti se katkontavaihtoehtojen polku, joka antoi suurimman kokonaisarvon.

4. vaihe: Valituista katkontatavoista jatkettiin hakemalla katkontakohdat kaikille seuraavan tukin pituusvaihtoehtoilta.

5. vaihe: Jos rungon optimoitavaa tukkiosaa oli jäljellä vähintään lyhimmän tukin verran, palattiin vaiheeseen 3. Mikäli optimoinnin ehdottaman tukin latvaläpimitta oli pienempi kuin sallittu minimiläpimitta, niin pölkyn pituutta kasvatettiin käyttöosan minimiläpimittaan asti. Tällainen latvakuitupölkky sai optimoinnissa kuitupuun arvon.

6. vaihe: Määritellyistä mahdollisista katkontakohdista valittiin se yhdistelmä, joka antoi optimoitavalle käyttöosalle suurimman laskennallisen kokonaisarvon.

3.3 Arvomatriisit

Arvomatriisien avulla pystytään ohjaamaan yksittäisestä rungosta saatavien pölkkyjen pituuksia ja latvaläpimittoja. Arvomatriisit laadittiin tässä tutkimuksessa puulajeittain ja tukkilaaduittain, jolloin jokaisella tällaisella ositteella oli oma arvo-

Taulukko 2. Pölkkyjen pituuksien tavoitejakauma.

Pölkyn pituus, dm	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61
Osuus tukeista, %	0,0	0,0	1,0	4,0	8,0	17,0	32,0	26,0	8,0	4,0	1,0

matriisinsa. Arvomatriiseja oli käytössä kahta eri perustyyppiä.

Matriisi 1: Pyrkimys sellaiseen matriisiin, joka kasvattaisi pölkyn pituutta laadun sisällä eli matriisissa pölkyn läpimitan kasvun vaikutus asetettiin pienemmäksi kuin pituuden kasvun vaikutus. Matriisi perustui pelkkiin pölkyn latvaläpimita- ja pituusvaikutuksiin ilman tilavuuden huomioon ottamista. Tällä matriisilla pyrittiin ottamaan yksittäisten runkojen laaturajat mahdollisimman hyvin huomioon välittämättä rungon pölkkytyksen vaikutuksista pituusjakaumaan.

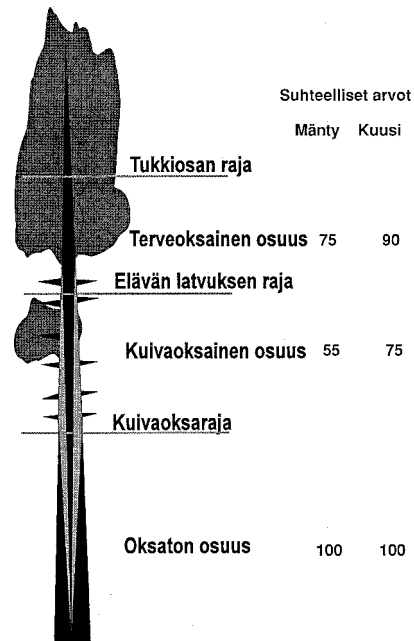
Matriisi 2: Pyrkimys sellaiseen matriisiin, joka muodostaisi laadun sisällä asetetun tavoitejakaman mukaisen pölkkyjen pituusjakauman (taulukko 2). Matriisi perustui pelkkiin pölkyn latvaläpimita- ja pituusvaikutuksiin ilman tilavuuden huomioon ottamista. Edellisessä matriisissa käytettiin kiinteitä kappalehintoja, mutta tässä matriisissa yksittäisen pölkyn arvo sai vaihdella enintään ± 25 % perusarvonsa ympärillä. Arvo muuttui sen mukaan, kuinka suuri oli asetetun tavoitejakaman ja toteutuneen pölkkyjakaman välinen suhteellinen ero. Tavoitejakauma kohdistui koko laskenta-alueelle.

3.4 Laaturajojen hyväksikäyttö

Inventoinnin koepuut apteerattiin rungoittain eri laatuluokkiin. Yksittäisen pölkyn laatuluokka määrytyi sen oksaisuus- ja sijaintitietojen mukaan.

Laatuluokka	Sijainti	Ominaisuus
A	Tyvitukki	Oksaton ja kyhmytön
B	Latvatukki	Terveoksainen
C	Välitukki	Kuivaoksainen
V	Kuusen tukki	Vaneriksi kelpaava

Optimoinnissa kummallakin puulajilla A-laadun

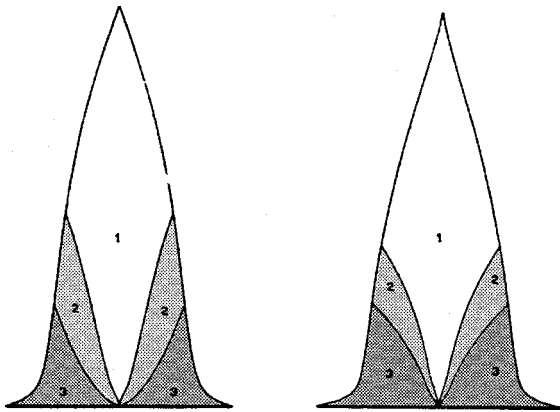


Kuva 2. Oksarajat, laatuosuudet ja niiden suhteelliset arvot.

tukin perusarvoksi (100) määritettiin latvaläpimitaltaan 21 cm:n oksaton tyvitukki (kuva 2). Kuitupuun arvo oli 45 % perusarvosta. Kuusella erotettiin lisäksi latvaläpimitaltaan yli 40 cm:n tukki omaksi V-laatuluokakseen.

Kuitenkin pölkkyjen laatuluokissa voi tapahtua siirtymistä siten, että laatuluokkaan A tai B kuuluva tukki voi siirtyä laatuluokkaan C. Tätä siirtymistä tapahtui silloin, kun laatuositteen A tai B pituus jäi apteerattavalla rungolla lyhyemmäksi kuin minimitukin pituus oli tai sen latvaläpimita kasvoi liian suureksi. VMI8 koepuut apteerattiin erikseen Järvi-Suomen ja Länsi-Suomen alueille.

Aineistossa oli 48 mäntykoepuuta, joilla alin kuollut oksa oli yli 8 metrin korkeudella. Näille puille



Kuva 3. Eteläsuomalaisen rinnankorkeusläpimitaltaan 27 cm olevan männyn (vasemmalla) ja kuusen halkileikkaus. 1 = terveksäinen, 2 = kuivaoksainen, 3 = oksaton osa (Kärkkäinen 1986).

kuolleen latvusrajan estimaatti laskettiin vähentämällä elävän latvusrajan suhteellisesta korkeudesta puolet keskimääräisestä suhteellisten latvusrajojen erotuksesta.

Koepuiden läpimitat rungon eri korkeuksilla saatiin Laasasenahon (1982) runkokäyrien avulla. Rungon laatua kuvattiin koepuista mitatuilla oksarajoilla ja maastoapteerauksella. Rungon tukkiosan päättymiskorkeudeksi asetettiin mäntyrungoilla 14,5 cm ja kuusirungoilla 16,5 cm kuoren päältä. Jos maastoapteerauksessa tukkiosan päättymiskorkeus oli 1,0 metriä alempana kuin runkokäyrältä laskettu, käytettiin maastoapteerauksen tukkiosan päättymiskorkeutta. Oletuksena oli, että tällöin tukkiosan latvassa oli havaittu vika.

Laskennassa oksaton rungonosa määritettiin suhteellisesti arvokkaimmaksi rungon osaksi kaikissa eri läpimittaluokissa. Siksi kuivaoksaraja oli A-luokan tukin määrän kannalta ratkaiseva. Laskennallisessa apteerauksessa oksatonta tukkiosaa oli kannosta kuivaoksarajaan asti, jos tyvitukki oli myös maastoapteerauksessa määritetty I-luokkaan.

Terveksäinen tukkiosa, latvaläpimitta enintään 20,5 cm, oli suhteelliselta arvoltaan toiseksi arvokkain tukkilaatu. Siksi optimointi pyrki käyttämään koko terveksäisen osuuden rungon latvasta B-luokan tukkien hyväksi ja sen jälkeen vasta optimointi määrittä jäljelle jääneen kuivaoksaisen C-luokan

välitukin koon. Elävän latvuksen alarajan korkeutta laskettiin mäntyrungoilla 1,5 metriä ja kuusirungoilla 0,5 metriä alaspäin. Latvusrajan siirrot perustuivat terveksäisten vyöhykkeiden etenemiseen puun sisällä (kuva 3).

Kuivaoksaiselta osuudelta saatu C-laadun tukki katsottiin vähäarvoisimmaksi. Tämän laadun tukit sisälsivät myös parempia laatuosia, joiden pituus ei ollut riittävä omiksi tukeiksi tai joiden latvaläpimitta oli liian suuri.

Apteeraus oli sidottu maastoapteerauksen pölkytykseen myös ehdottomien katkaisurajojen osalta. Maastoapteerauksessa hukkapuiksi määritelty osuus katsottiin tässäkin hukkapuiksi. Hukkapuun alkamis- ja päättymiskorkeudet olivat samat sekä maastoapteerauksessa että laskennallisessa pölkytyksessä. Maastoapteerauksen mukainen tyveys tai muu leikko luettiin hukkapuiksi, jos sen pituus alitti 2 metriä. Sitä pidemmät leikot käsiteltiin kuitupuuna.

3.5 Puuvaratietojen laskenta

Puustotietojen laskenta eteni pääpiirteittäin samoin kuin inventoinnin varsinainen tuloslaskenta (Korhonen ja Tomppo 1994). Koepuiden tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) tilavuusfunktioilla puusta mitatun rinnankorkeusläpimitan ja pituuden sekä mitatun tai laskennallisen yläläpimitan avulla. Kun koepuut oli apteerattu tässä työssä laaditulla apteerausohjelmalla, puutavaralajittaiset ja laatu-luokittaiset tilavuudet saatiin Laasasenahon (1982) runkokäyrämalleilla. Latvakuituosan tilavuus laskettiin runkokäyrämallin avulla 7 cm:n kuorelliseen läpimittaan asti. Runkokäyrämallilla lasketut puutavaralajittaiset tilavuudet suhteutettiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälön antamaan rungon kokonaistilavuuteen.

Koepuille laskettiin niiden edustama tilavuus pinta-alayksikköä kohti (m^3/ha) eli VU-arvo. Kokonaistilavuuden lisäksi laskettiin tukki- ja hukkapuutilavuuden VU-arvot sekä tukkiosan laatuja-kauma eli eri laatuisten tukkiosan tilavuudet hehtaaria kohden. Tilavuustietojen siirtämiseksi luku-puille laskettiin koepuiden VU-lukujen keskiarvot ositteittain.

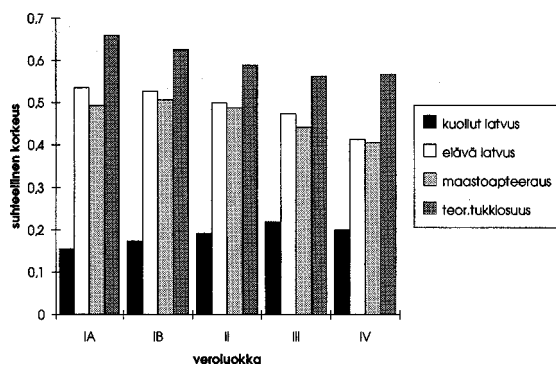
Inventoinnin tulosten laskennassa koepuiden ositteittaiset VU-keskiarvot on tasoitettu VMI7 koe-

puuaineistosta laadittujen VU-ohjekäyrien avulla. Näin on saatu loogisesti jatkuvat funktiot kaikkiin läpimittaluokkiin. Koska ohjekäyriä ei ollut mahdollista soveltaa tässä tutkimuksessa, jouduttiin tyytymään karkeampaan luokitukseen. Luokittelumuutujina olivat puulaji, puuluokka, rinnankorkeusläpimitta, veroluokka ja inventointialue.

Jotta tukkikokoisia koepuita olisi riittänyt tarpeeksi kuhunkin luokkaan edustavan keskiarvon laskemiseksi, käytettiin 5 cm:n läpimittaluokitusta. Lisäksi yhdistettiin veroluokkia siten, että veroluokat IA (lehto ja lehtomainen kangas) ja IB (tuore kangas) muodostivat ensimmäisen, veroluokka II (kuivahko kangas) toisen ja veroluokat III (kuiva ja karukko kangas) ja IV (räme) kolmannen luokan. Koska pienimpien metsälautakuntien alueella ei tälläkään luokituksella tullut riittävästi koepuita kaikkiin ositteisiin, laskettiin keskiarvot kahdelle suuralueelle.

Etelä-Suomi jaettiin kahteen osa-alueeseen, joilla puuston rakenteen ja kasvuolosuhteiden oletettiin poikkeavan toisistaan. Lounais-Suomen ja Satakunnan metsälautakunnat sekä Pohjanmaan kolme metsälautakuntaa muodostivat Länsi-Suomen alueen ja loput Etelä-Suomen metsälautakunnat kuuluivat Järvi-Suomen alueeseen (kuva 1).

Kun ositteittaiset VU-arvojen keskiarvot olivat selvillä, siirrettiin ne kaikille kyseiseen ositteeseen kuuluville lukupuille. Lukupuiden hehtaarikohtaisia tilavuuksia ja koealojen keskipisteitä summamalla saatiin laskentaositteittaiset keskitilavuudet.



Kuva 4. Männyn kuivaoksarajan ja elävän latvusarajan sekä maastoopteerauksen mukaisen ja teoreettisen tukkiosuuden suhteelliset korkeudet veroluokissa IA–IV.

Puutavaralajeittaiset ja laatuluokittaiset kokonaispuumäärät saatiin kertomalla lukupuista lasketut ositteittaiset keskitilavuudet kunkin ositteen pinta-alalla.

Kokonaispuumäärän tukkilaatujakauma laskettiin metsälautakunnittain, kehitysluokittain ja läpimittaluokittain. Kehitysluokat olivat VMI-maasto-ohjeiden mukaiset (Valtakunnan... 1987), ja rinnankorkeusläpimitat luokiteltiin 5 cm:n välein alkaen luokasta alle 20 cm.

4 Tulokset

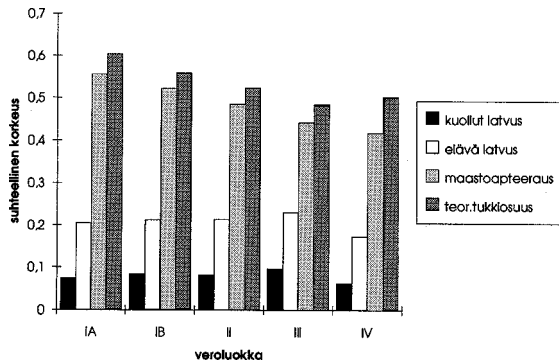
4.1 Koepuiden alustava tarkastelu

Koska laskennallinen apteeraus perustui latvusrajien sijaintiin rungolla, tarkasteltiin ensin kuolleiden ja elävän latvusarajan korkeuden vaihtelua ositteittain. Tarkoituksena oli selvittää latvusrajien korkeuksien riippuvuutta muista puutunnuksista ja joistakin metsikkötunnuksista, kuten esimerkiksi kasvupaikan viljavuudesta tai maantieteellisestä sijainnista. Riippuvuudet kuvaavat samalla eri laatuluokkien esiintymistä metsikkötasolla. Mukana tarkastelussa olivat myös maastoopteerauksen ja teoreettisen tukkiosuuden päättymiskorkeudet.

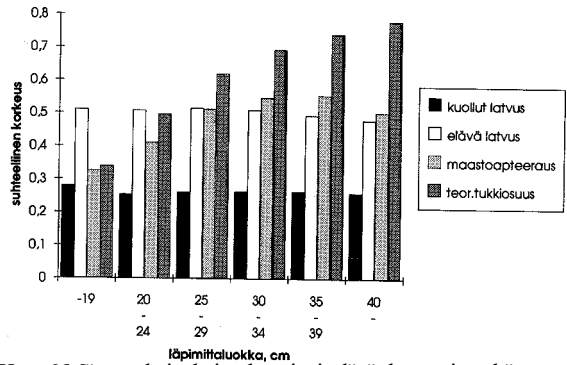
Mäntyrunkojen kuivaoksaraja sijaitsi keskimäärin 26,1 %:n korkeudella ja elävä latvusaraja 50,1 %:n korkeudella puun pituudesta. Kuusirunkojen kuivaoksaraja oli keskimäärin 11,7 %:n ja elävä latvusaraja 21,0 %:n korkeudella puun pituudesta.

Mäntyrunkojen elävän latvusarajan suhteellinen korkeus vaihteli kasvupaikan mukaan. Karuimmilla kasvupaikoilla elävä latvusaraja sijaitsi matalammalla (kuva 4) kuin rehevillä kasvupaikoilla. Elävän latvusarajan suhteellinen korkeus ei eronnut veroluokissa IA ja IB toisistaan, mutta muissa veroluokissa latvusrajien keskiarvot poikkesivat toisistaan. Kuivaoksarajan suhteellisen korkeuden erot eri veroluokissa olivat merkitseviä.

Kuusirunkojen latvusrajien suhteellisen korkeuden riippuvuus kasvupaikasta oli päinvastainen kuin mäntyrungoilla eli mitä karumpi kasvupaikka oli kyseessä sitä korkeammalla olivat sekä elävä latvusaraja että kuivaoksaraja (kuva 5). Veroluokan



Kuva 5. Kuusen kuivaoksarajan ja elävän latvusrajan sekä maastoapteerauksen mukaisen ja teoreettisen tukkiosuuden suhteelliset korkeudet veroluokissa IA-IV.



Kuva 6. Mäntyrunkojen kuivaoksarajan ja elävän latvusrajan sekä apteerausohjelman mukaisen ja teoreettisen tukkiosuuden suhteelliset korkeudet läpimittaluokittain.

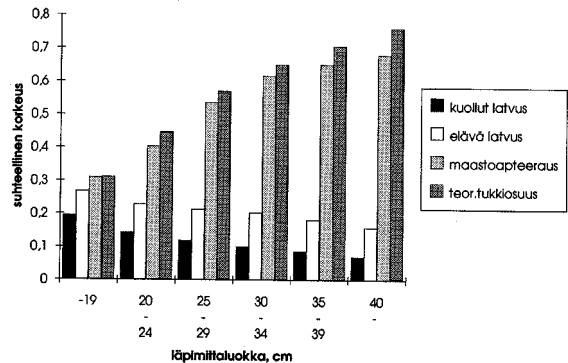
IV puut kuitenkin poikkesivat tästä; latvus- ja oksarajat olivat suhteellisesti kaikkein matalimmalla. Tässä veroluokassa kuuset ovat yleensä lyhyitä, kitukasvuisia ja suhteellisen aukealla kasvaneita iäkkäitä runkoja, mikä näkyi oksarajojen suhteellisissa korkeuksissa. Lisäksi tässä luokassa oli vain 19 havaintoa, mikä voi olla myös osasyynä poikkeamaan.

Mäntyrunkojen järeimmässä rinnankorkeusläpimittaluokassa puiden elävä latvusraja oli suhteellisesti matalimmalla, ja sen keskiarvo poikkesi muista läpimittaluokista (kuva 6). Kuusirunkojen elävän latvusrajan suhteellinen korkeus vaihteli eri läpimittaluokkien välillä selvästi. Elävä latvusraja oli suhteessa sitä matalammalla mitä järeämpi puu oli rinnankorkeusläpimitaltaan (kuva 7). Sekä mäntyettä kuusirunkojen kuivaoksaraja oli suhteellisesti sitä matalammalla mitä järeämpi puu oli kyseessä.

Latvusrajojen suhteellisissa korkeuksissa eri metsälautakuntien alueella oli tilastollisesti merkitseviä eroja. Tutkimuksessa käytetyt suuralueet poikkesivat toisistaan siten, että Länsi-Suomen alueella sekä männyn että kuusen latvus- ja kuivaoksaraja olivat keskimäärin korkeammalla kuin Järvi-Suomen alueella.

4.2 Apteeraustulokset

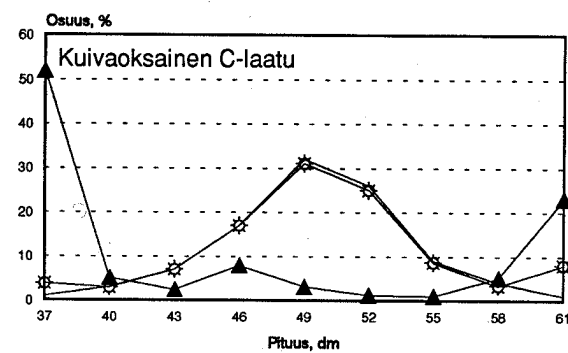
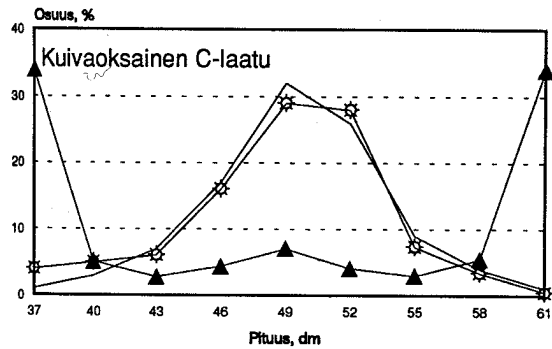
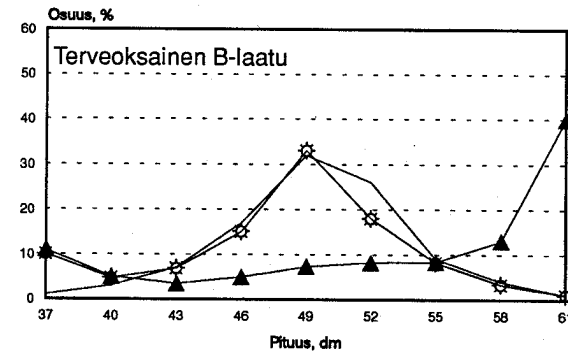
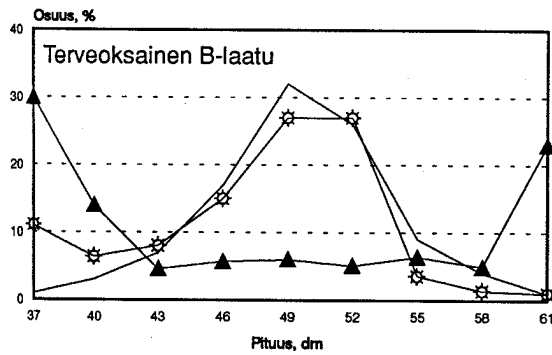
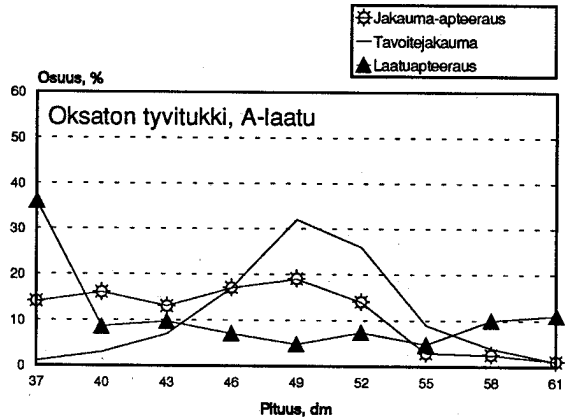
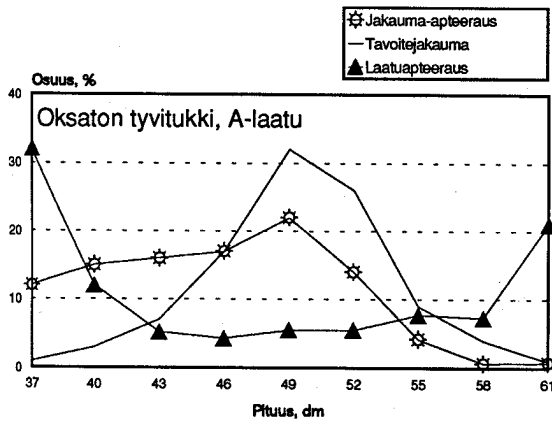
Laatuapteerauksessa noudatettiin laaturajoja ja niiden mukaisia arvosuhteita. Tällöin painottuivat ly-



Kuva 7. Kuusirunkojen kuivaoksarajan ja elävän latvusrajan sekä apteerausohjelman mukaisen ja teoreettisen tukkiosuuden suhteelliset korkeudet läpimittaluokittain.

hyet ja pitkät tukit. Lyhyitä tukkeja tuli runkojen laatuosista, joiden pituus oli 3,7–4,0 tai 7,4–8,0 metriä. Pitkiä tukkeja saatiin vain sellaisista laatuosista, joiden pituus oli 5,9–7,3 tai yli 11,0 metriä. Laatuosien pituusjakauma muodostui rungoissa sellaiseksi, että lyhyiden ja pitkien tukkien osuudet nousivat suureksi (kuvat 8 ja 9).

Jakauma-apteerauksessa, jossa koepuiden tukkien pituusjakaumaa ohjattiin kohti haluttua tavoitejakaumaa, kuivaoksaisten tukkien pituusjakauma noudatti hyvin asetettua tavoitejakaumaa (kuvat 8 ja 9). Oksattomien tukkien jakauma ja jossain määrin tuoreoksaisten tukkien pituusjakauma poikkesi asetetusta tavoitejakaumasta sekä pitkien että lyhyiden



Kuva 8. Järvi-Suomen mäntykoepuiden tukkien pituusjakaumat laatu-
luokittain.

Kuva 9. Järvi-Suomen kuusikoepuiden tukkien pituusjakaumat laatu-
luokittain.

pölkyjen osalta. Tämä toteutuneen jakauman ja tavoitejakauman välinen ero johtui laaturajojen vaikutuksesta yksittäisen rungon pölkytyksen yhteydessä. Koepuiden pölkytyksen ohjaaminen kohti haluttua laatuiluokittaista pituusjakaumaa vaikutti

myös eri laatuiluokkien suhteellisiin osuuksiin puun tilavuudesta. Männyllä oksattoman tyvitukin osuus aleni noin 30 % ja terveoksaisen tukin määrä lähes 40 % (taulukko 3). Vastaava määrä tukkia siirtyi kuivaoksaiseen tukkiluokkaan, jonka osuus kasvoi

Taulukko 3. Järvi-Suomen koepuiden laatuluokkien osuudet tukkipuutavuudesta.

Laatuluokka	Mänty		Kuusi	
	Laatu- apteeraus	Jakauma- apteeraus	Laatu- apteeraus	Jakauma- apteeraus
	Osuus tukkipuusta, %			
Oksaton tyvi	19	13	4	4
Terveksainen	10	6	24	20
Kuivaoksainen	71	81	72	76

14 %. Kuusen jakauma-apteerauksessa tapahtui myös laaturajojen ylityksiä, jolloin terveksaisen tukkipuun määrä aleni noin 17 % ja vastaavasti kuivaoksaisen tukin osuus nousi lähes 10 %. Runkojen tukkiosuuden kokonaismäärä pysyi kummallakin puulajilla samana apteeraustavasta riippumatta.

4.3 Kokonaispuumäärät ja laatuluokkien osuudet

Männyn ja kuusen metsälautakunnittaiset kokonaispuumäärät ja puutavaralajien osuudet on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Kuitupuuosuudessa on mukana sekä latvakuitu että tukkikokoinen kuituosa eli tyviraakki. Hukkapuu sisältää latvahukan ja muun, laatunsa puolesta tukiksi ja kuiduksi kelpaamattoman rungon osan. Koko Etelä-Suomen alueella männyn tukkiosuus oli 50,2 % ja kuusen 48,9 % puuston kokonaistilavuudesta. Järvi-Suomessa sekä männyn että kuusen tukkipuun osuus kokonaistilavuudesta oli suurempi kuin Länsi-Suomessa.

Tutkimuksessa männyn kokonaistilavuudet poikkesivat inventoinnin tuloksista (Metsätalastollinen... 1992), koska mukana olivat pelkästään männyt. Inventoinnin laskennassa mäntyihin on yhdistetty kaikki muut havupuut paitsi kuusi.

Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty männyn ja kuusen tukkipuun jakautuminen eri laatuluokkiin. Niiden osuudet laskettiin sekä koko puuston tukkitilavuudesta että kehitysluokaltaan uudistuskypsien metsiköiden tukkitilavuudesta.

Männyn A-laadun osuus koko Etelä-Suomen alueella oli 17,0 %, B-laadun 8,0 % ja C-laadun 74,3

Taulukko 4. Männyn kokonaistilavuus ja puutavaralajien osuudet metsälautakunnittain ja suuralueittain.

Metsä- lautakunta	Kokonaistilavuus, milj.m ³	Tukkipuu, %	Kuitupuun, %	Hukkapuu, %
1	19,3	61,0	35,9	3,1
2	29,7	56,8	39,2	4,0
3	31,8	48,0	46,7	5,3
4	17,6	61,6	34,6	3,8
5	31,1	55,3	40,3	4,4
6	21,6	60,3	35,7	3,9
7	43,3	59,0	36,8	4,2
8	33,3	54,3	40,0	5,7
9	26,9	59,1	36,8	4,2
10	64,3	46,2	47,7	6,1
11	44,3	47,8	46,6	5,6
12	53,8	46,5	47,5	6,1
13	45,7	40,9	52,7	6,4
14	17,4	43,8	50,0	6,2
15	32,1	32,4	59,4	8,3
Järvi-Suomi	355,5	52,9	42,0	5,1
Länsi-Suomi	156,7	43,9	50,0	6,1
Etelä-Suomi	512,2	50,2	44,4	5,4

Taulukko 5. Kuusen kokonaistilavuus ja puutavaralajien osuudet metsälautakunnittain ja suuralueittain.

Metsä- lautakunta	Kokonaistilavuus, milj.m ³	Tukkipuu, %	Kuitupuun, %	Hukkapuu, %
1	23,4	47,3	47,0	5,8
2	29,1	45,5	48,7	5,8
3	34,4	47,8	46,6	5,6
4	44,5	50,5	44,7	4,8
5	53,6	47,4	46,8	5,8
6	43,9	48,5	46,8	4,7
7	41,1	51,8	43,4	4,8
8	31,4	48,3	46,4	5,3
9	25,9	50,0	45,6	4,5
10	43,7	48,5	45,6	5,9
11	72,9	52,6	42,5	4,9
12	60,8	51,1	44,5	4,4
13	27,2	46,2	48,6	5,2
14	20,7	41,1	53,0	5,9
15	15,4	41,9	51,3	6,9
Järvi-Suomi	441,3	49,9	45,0	5,0
Länsi-Suomi	126,8	45,1	49,1	5,8
Etelä-Suomi	568,1	48,9	45,9	5,2

% tukkitilavuudesta. Puuston järeytyessä uudistuskypsyysvaiheeseen A-laadun osuus kasvoi 1,3 %-yksikköä. Vastaavasti uudistuskypsissä metsiköissä oli 2,0 %-yksikköä enemmän B-laadua kuin kaikissa metsiköissä, ja C-laadun osuus puolestaan pieneni 3,0 %-yksikköä. Muutos oli seurausta siitä, että männyn järeytyessä kuolleet oksat karsiutuvat ja oksattoman tyviosan osuus lisääntyy. Samoin puun järeytyessä teoreettinen tukkiosuus ulottuu korkeammalle tuoreoksaista vyöhykettä eli tuoreoksaisten rungon osa täyttää pienempiä puita useammin tukin läpimittavaatimukset. Koska B-laatu oli C-laadua arvokkaampaa ja tuoreoksaisten tukin tyvellä sai männyllä olla 1,5 metriä kuivaoksaista osuutta, lisääntyi B-laadun osuus myös C-laadun kustannuksella.

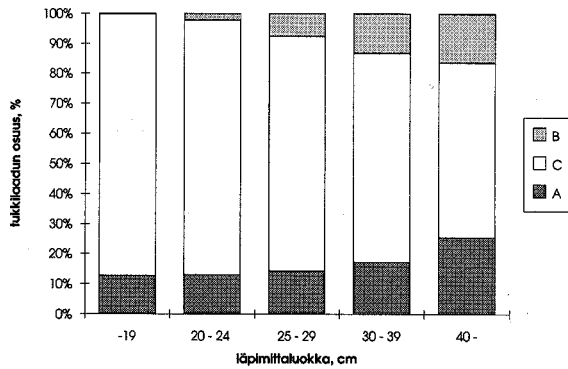
Kuusen A-laadun osuus kokonaistukkitilavuudesta oli 4,2 %, B-laadun 24,8 %, C-laadun 69,3 % ja V-laadun 1,2 % koko Etelä-Suomen alueella. Kokonaistuuston ja uudistuskypsien metsiköiden puuston tukkilaatujakaumissa ei kuusella ollut yhtä selviä eroja kuin männyllä. A-laadun osuus oli uudistuskypsissä metsiköissä 0,3 %-yksikköä pienempi kuin

Taulukko 6. Männyn tukkilaatujen osuudet kokonaistuuston ja uudistuskypsien metsien tukkitilavuudesta metsälautakunnittain ja suuralueittain.

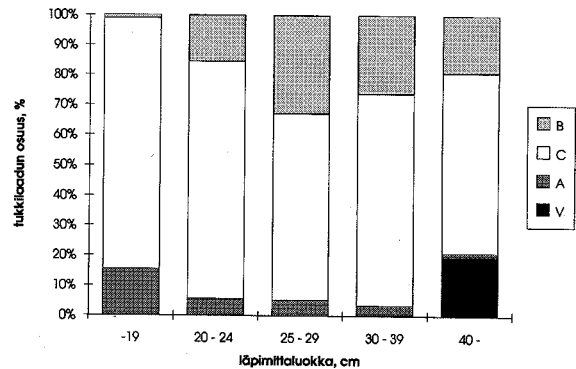
Metsälautakunta	A-laatu, %		B-laatu, %		C-laatu, %	
	Koko puusto	Uudistuskypsät	Koko puusto	Uudistuskypsät	Koko puusto	Uudistuskypsät
1	14,4	16,2	10,7	12,1	74,6	71,4
2	21,3	23,6	7,8	9,2	70,5	67,2
3	20,9	23,0	6,9	7,9	71,5	68,8
4	15,9	17,8	10,6	11,9	73,2	70,3
5	15,6	17,1	9,2	10,5	74,9	72,3
6	15,6	16,6	9,9	11,2	74,1	72,1
7	15,4	16,9	9,0	10,8	75,1	72,2
8	16,0	17,1	8,6	10,1	75,0	72,7
9	15,7	16,8	9,2	10,4	74,8	72,7
10	15,3	17,3	8,3	10,1	75,9	72,5
11	16,1	17,8	8,9	10,5	75,0	71,7
12	16,6	18,6	8,7	10,3	74,6	71,1
13	20,4	22,4	5,2	6,6	74,2	70,9
14	18,5	20,1	7,2	8,7	74,2	71,2
15	19,6	22,1	5,6	7,4	74,6	70,4
Järvi-Suomi	15,7	16,9	8,6	10,6	74,9	71,9
Länsi-Suomi	20,4	22,5	6,5	8,0	72,8	69,4
Etelä-Suomi	17,0	18,3	8,0	10,0	74,3	71,3

Taulukko 7. Kuusen tukkilaatujen osuudet kokonaistuuston ja uudistuskypsien metsiköiden tukkitilavuudesta metsälautakunnittain ja suuralueittain.

Metsälautakunta	A-laatu, %		B-laatu, %		C-laatu, %		V-laatu, %	
	Koko puusto	Uudistuskypsät	Koko puusto	Uudistuskypsät	Koko puusto	Uudistuskypsät	Koko puusto	Uudistuskypsät
1	4,2	3,9	25,1	25,7	67,9	67,5	1,3	2,1
2	3,2	2,9	25,0	26,2	70,5	69,7	0,6	0,8
3	3,4	3,1	25,1	26,1	70,8	70,0	0,4	0,6
4	4,1	3,8	25,3	25,6	68,5	68,2	1,5	2,1
5	4,6	4,4	24,6	25,1	69,0	68,6	1,0	1,4
6	4,3	3,9	25,0	25,2	68,8	68,5	1,6	2,3
7	4,5	4,4	24,6	24,9	68,8	68,5	1,3	1,7
8	4,5	4,3	24,6	25,5	68,6	68,1	1,0	1,3
9	4,5	4,2	24,8	24,8	68,7	68,4	1,4	2,1
10	4,5	4,5	24,6	24,6	69,3	69,2	1,1	1,3
11	4,3	4,1	25,1	25,3	68,9	68,6	1,5	2,0
12	4,5	4,2	24,6	25,2	68,9	68,3	1,6	2,1
13	3,6	3,4	24,3	24,9	71,3	71,0	0,4	0,4
14	3,2	3,1	23,8	24,3	71,1	71,0	0,3	0,4
15	3,2	2,9	23,5	24,5	72,8	71,8	0,5	0,9
Järvi-Suomi	4,4	4,2	24,8	25,2	68,8	68,5	1,4	1,9
Länsi-Suomi	3,3	3,1	24,5	25,3	71,1	70,5	0,4	0,6
Etelä-Suomi	4,2	3,9	24,8	25,2	69,3	68,9	1,2	1,6



Kuva 10. Mäntytukkien jakaantuminen laatuluokkiin Järvi-Suomen alueella läpimittaluokittain.



Kuva 11. Kuusitukkien jakaantuminen laatuluokkiin Järvi-Suomen alueella läpimittaluokittain.

kaikissa metsiköissä, mutta samalla yli 40 cm:n oksattoman tukkilaadun eli kuusivanerin osuus lisääntyi 0,4 %-yksikköä. Samoin kuin männyllä kuusen B-laadun osuus lisääntyi ja C-laadun osuus väheni metsikön järeytyessä. Tätä tukin laatujauman kehitystä puun järeytyessä havainnollistavat kuvat 10 ja 11, joissa on esitetty männyllä ja kuusen laatujaumat Järvi-Suomen alueella läpimittaluokittain.

Metsälautakuntien välillä ei ollut suuria eroja laaturyhmien osuuksissa, mihin on osaksi syynä laskeutuminen: lukupuille siirrettiin suuralueiden keskimääräiset tilavuudet. Länsi-Suomen alueella männyllä A-laadun osuus (20,4 %) oli suurempi kuin Järvi-Suomen alueella (15,7 %). B- ja C-laadun osuudet olivat vastaavasti pienemmät Länsi-Suomen (6,5 % ja 72,8 %) kuin Järvi-Suomen alueella (8,6 % ja 74,9 %).

Kuusen hyvälaatuisen tukkipuun osuudet (A-laadua 4,4 % ja V-laadua 1,4 %) olivat Järvi-Suomen alueella suuremmat kuin Länsi-Suomen alueella (3,3 % ja 0,4 %). B-laadun osuudessa ei ollut juuri eroa, mutta kuivaoksaista tukkia eli C-laadua oli enemmän Länsi-Suomessa (71,1 %) kuin Järvi-Suomessa (68,8 %).

Hyvälaatuisista, oksattomia tukkia löytyi siis eniten niistä metsälautakunnista, joissa tukkipuun kokonaistilavuuskin oli suurin. Määrällisesti mäntytukkia oli eniten Pohjois-Karjalan, Etelä-Savon ja Keski-Suomen metsälautakuntien alueella (taulukko 4). Kuusitukin kokonaistilavuus oli suurin Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Pirkka-Hämeen metsälautakunnissa (taulukko 5).

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Arvomatriisien vaikutus

Tukkien keskinäisillä arvosuhteilla voidaan vaikuttaa optimoinnin apteeraustulokseen. Jos kaikille tukkilaaduille määritellään sama arvo (mk/m^3), optimointi käyttää tukkiosan kokonaan hyväksi. Käyttämättä jäänyt osa on pienempi kuin pienin tukkien pituuksien erotus.

Tutkimuksessa A-luokan tukkien välinen arvoero oli suurempi kuin B ja C laatuluokan välinen arvoero. Tällöin optimointi pyrki tekemään koko A laatuluokan pituudelta tähän laatuluokkaan kuuluvia tukkeja. Tämän takia osa tukkiosan latvasta saattoi siirtyä kuitupuuksi. Kuitupuun ja tukkien arvosuhteet eivät vaikuttaneet tukkiosan apteeraukseen. Tukkiota apteerattiin tukeiksi, vaikka kuitupuun arvo olisi ollut suurempi kuin latvatukin arvo.

Mikäli tukkien pituuden pitää noudattaa annettujen ohjeiden mukaista tavoitejakaumaa, tukkien arvot on määriteltävä läpimitta- ja pituusluokittain ja annettava yksittäiselle tukkiluokan arvolle mahdollisuus muuttaa dynaamisesti arvoaan sallituissa, etukäteen määritellyissä rajoissa. Jos arvoja ei näin ohjata, tulee toteutuneesta jakaumasta kaksihuipainen.

5.2 Laatujaumien vertailu

Puuston tilavuuden jakaantumista puutavaralajei-

hin verrattiin inventointitulosten puutavaralajijakumaan. Männyllä tukkipuun osuus kokonaistilavuudesta oli laskennallisen apterauksen tapauksessa suurempi kuin VMI:n maastoapterauksen mukaisissa tuloksissa. Kuusella tilanne oli päinvastainen. Inventointituloksissa tukkiosuus puuston kokonaistilavuudesta on männyllä 44,4 % ja kuusella 49,8 % koko Etelä-Suomen alueella (Metsätilastollinen... 1992). Tässä tutkimuksessa männyn tukkiosuus oli 50,2 % ja kuusen 48,9 % kokonaistilavuudesta. Inventointituloksissa Etelä-Suomen alueessa on mukana Ahvenanmaan metsälautakunta, joka ei kuulunut laskennallisen apterauksen tutkimusalueeseen. Ahvenanmaan osuus koko Etelä-Suomen puuston tilavuudesta on männyllä noin 1 %:n ja kuusella 0,5 %:n luokkaa.

Erot puutavaralajijakaumissa johtuvat pääasiassa tukin erilaisista minimiläpimittavaatimuksista. Vuoteen 1989 asti inventoinnissa mäntytukin minimiläpimittaluokka oli 15, eli 1 cm:n tasaavaa läpimittaluokitusta käytettäessä minimiläpimitta oli 14,5 cm kuoren päältä (Valtakunnan... 1987). Vuonna 1989 Pohjois-Savossa otettiin käyttöön uudistetut laatuvaatimukset entisten rinnalle, jolloin minimiläpimittaksi tuli 15 cm:n läpimitta (Valtakunnan... 1991). Laaturyhmittäisessä apterauksessa mäntytukin minimiläpimitta oli 14,5 cm.

Kuusen kohdalla tukin läpimittavaatimuksen ero oli suurempi kuin männyllä. Inventoinnissa vaatimuksena oli ensin läpimittaluokka 16 (15,5 cm) ja sitten 16,0 cm:n läpimitta. Laaturyhmittäisessä apterauksessa kuusen minimiläpimitta oli 16,5 cm.

Inventoinnin tulosten ja tämän tutkimuksen tukkitilavuuksien eroon vaikutti myös tukkiosuuden päättymiskorkeuden maastoarvioinnin vaikeus. Varsinkin männyn kohdalla ero teoreettisen tukkiosuuden päättymiskorkeuteen oli huomattava (kuva 6). Suurin ero oli järeillä puilla, jopa 20 % puun suhteellisesta pituudesta. Toisaalta apterausohjelmassa ei voitu ottaa huomioon tukin latvaosan vikaisuuksia, kuten liian paksuja oksia, jolloin tukkiosan pituus tuli yliarvioitua. Tosin apterausohjelmassa käytettiin maastoapterauksen mukaista tukkiosuuden päättymiskorkeutta, jos maastoapterauksen ja teoreettisen tukkiosan päättymiskorkeuden ero oli yli metrin.

Kuusella tukin päättymiskorkeuden arviointi maastossa oli helpompaa, sillä paksut oksat rajoit-

tavat tukin tekoa harvemmin kuin männyllä (kuva 7).

5.3 Tulosten luotettavuus ja käyttökelpoisuus

Laatuluokittaiset tukkiosuudet laskettiin aineistosta, joka on tarkoitettu suuralueen puuvaratietojen laskentaa varten. Inventoinnin tuloksissa on esitetty ainoastaan kokonaistilavuuden jakaantuminen puutavaralajeihin, mutta ei tukkitilavuuden jakaantumista laatuluokkiin. Koska tässä tutkimuksessa käytetyllä keskiarvomenetelmällä lukupuille siirrettiin koko suuralueen koepuiden tietoja, metsälautakuntatasolla tulokset eivät voi olla täysin luotettavia. Tukkitilavuuden laatujauman laskemisen ongelmana onkin koepuiden apteraustietojen yleistäminen lukupuille.

On mahdollista laatia regressiomallit, joilla voitaisiin lukupuutunnusten perusteella ennustaa puun tukkilaatujauma. Ongelmana mallien laadinnassa on laatuluokkien epäjatkuvuus: jokaisessa tukkipuussa ei ole kaikkia laatuluokkia. Tällaisten epäjatkuvien muuttujien tapauksessa kysymykseen voisi tulla ei-parametristen mallien käyttö. Tarkka laatuluokkien osuukien selvittäminen vaatisi laskentamenetelmän kehittämistä sekä maastoapterattujen koepuiden lukumäärän lisäämistä.

Jatkossa inventoinnin koepuumittaukset tulisi suunnitella ja toteuttaa niin, että laskennassa voidaan soveltaa joustavasti haluttuja laatuvaatimuksia. Vuodesta 1992 eli Kainuun metsälautakunnasta lähtien koepuiden maastoapterausta onkin jo muutettu siten, että maastossa tukkirunko jaetaan laatuosiin ja varsinainen pölkkytyks tehdään tietokoneohjelmalla sisätyönä laskentavaiheessa. Laatuosien erottelun lisäksi maastossa kirjataan rungon mahdolliset viat ja pakolliset katkaisukohtat esim. lenkouden vuoksi.

Laaturyhmäjaon perusteena olivat puun ulkoiset tunnuksot eli oksarajojen korkeudet. Jatkossa tulisi selvittää, millä muilla helposti mitattavilla tunnuksilla voidaan ennustaa tukkilaatua sekä se, vastaavatko ulkoiset, näkyvät oksanrajat todellisia laaturajoja.

Kirjallisuus

- Ahonen, O-P. & Lemmetty, J. 1995. Leimikon tukki-jakauman ohjauksen keinot. Summary: Means to controlling log distribution within a harvesting site. *Metsätehon katsaus* 5/1995. Helsinki. 6 s.
- Amidon, E.L. & Akin, G.S. 1968. Dynamic programming to determine optimum levels of growing stock. *Forest Science* 14(3): 287–291.
- Berglund, H. & Sondel, J. 1985. Apterling med dator – ett sätt att höja virkesvärdet vid maskinell avverkning. *Skogsarbeten redogörelse* 6. 40 s.
- Briggs, D.G. 1977. A dynamic programming model for bucking tree stems into logs. *Tropical Forest Utilization System Report V, Contribution 30*. College of Forest Resources, University of Washington. Seattle, WA.
- 1980. A dynamic programming approach to optimizing stem conversion. Ph.D. dissertation. College of Forest Resources, University of Washington. Seattle, WA.
- 1982. Bucking west coast trees – Some effects of scaling practice and tree shape. College of Forest Resources, University of Washington. Seattle, WA.
- Brodie, J.D., Adams, D.M. & Kao, C. 1978. Analysis of ecologic impacts on thinning and rotation of Douglas-fir using dynamic programming. *Forest Science* 24(4): 513–522.
- Buongiorno, J. & Gilliss, J.K. 1988. *Forest management and economics*. MacMillan Publishing Company, New York. 277 s.
- Cawse, D.C. 1979. *Dynamic system modelling in timber management: A selected annotated bibliography*. Department of Forest and Wood Sciences, Colorado State University. 20 s.
- Chen, C.M., Rose, D.M. & Leary, R.A. 1980. How to formulate and solve optimal stand density over time problems for even-aged stands using dynamic programming. U.S. Forest Service General Technical Report NC-56. North Central Forest and Range Experiment Station, St. Paul. 17 s.
- Dykstra, D.P. 1984. *Mathematical programming for natural resource management*. McGraw-Hill, New York. 318 s.
- Eskelinen, A. & Keskinen, S-L. 1981. Eräiden maattaistien menetelmien käyttöohjeet. *Konekirjoite*. Metsäteho. 51 s.
- & Pennanen O. 1980. Havupuiden apteeraus ja puutavaralajijakauma eri hakkuumenetelmissä. *Metsätehon tiedotus* 358.
- Heiskanen, V. & Siimes, F.E. 1959. Tutkimus mänty-sahatukkien laatuluokituksesta. Summary: A study recording the grading of pine sawlogs. *Paperi ja Puu* 41(8): 359–368.
- & Siimes, F.E. 1960. Ehdotus mänty- ja kuusisahatukkien laatuluokitukseksi. Artikkelit. *Suomen Puutalous* 1960, nro 10: 358–389.
- Imponen, V. 1987. Pölkytysongelman ratkaisu askelittaisella optimoinnilla. *Metsätehon katsaus* 22/1987. 4 s.
- Korhonen, K.T. & Tomppo, E. 1994. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin tuloslaskenta. *Käsikirjoitus*. Metsäntutkimuslaitos.
- Kärkkäinen, M. 1986. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. Abstract: Model of knottiness of wood material in pine, spruce and birch. *Silva Fennica* 20(2): 107–116.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt*. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- & Sevola, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavarasuhteet ja kantoarvot. Summary: Timber assortment relationship and stumpage value of Scots pine and Norway spruce. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 74(3.). 87 s.
- Liski, E.P. & Saario, V. 1986. The feasible admission to the optimization of exploitation of tree stems. *Engineering cost and production economics* 12. Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam. s. 21–28.
- Metsätalostollinen vuosikirja 1992*. Metsäntutkimuslaitos. *Metsävarat*. s. 31–67.
- Näsberg, M. 1985. *Mathematical programming models for optimal log bucking*. Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 132. Department of Mathematics, Linköping University. 174 s.
- Pnevmaticos, S.M. & Mann, S.H. 1972. Dynamic programming in tree bucking. *Forest Products Journal* 22(2): 26–30.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. 1987. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 96 s. ja liitteet.
- Valtakunnan metsien 8. inventoinnin kenttätyön ohjeet. 1989. Pohjois-Karjalan versio. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 96 s. ja liitteet.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. Keski-Suomen, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan versio. 1991. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsien käytön tutkimusosasto. 94 s. ja liitteet.