

Ryhmähanke

Arvomatriisien ja tavoitejakaumien laadinta hakkuukoneille

**Tuomo Vuorenpää
Perttu Arminen
Sakari Suuriniemi**

**Metsätehon raportti 81
25.11.1999**

Arvomatriisien ja tavoitejakaumien laadinta hakkuukoneille

**Tuomo Vuorenpää
Perttu Arminen
Sakari Suuriniemi**

Metsätehon raportti 81
25.11.1999

Ryhmähanke: Aureskoski Oy, Koskitukki Oy, Metsähallitus,
Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj,
UPM-Kymmene Oyj

Asiasanat: hakkuukone, apteraus, simulointi, tukki

© Metsäteho Oy

Helsinki 1999

SISÄLLYS

	Sivu
TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 TAVOITE	5
3 ARVOAPTEERUKSEN JA JAKAUMA-APTEERAUKSEN KUVAUS 5	
3.1 Arvoapteeraus	5
3.2 Jakauma-apteeraus	6
3.3 Hakkuukoneiden apteerausohjelmat	7
3.4 Laskennan kuvaus	8
4 ARVO- JA JAKAUMA-APTEERAUKSEN VERTAILU	9
5 TULOKSET JAKAUMA-APTEERAUKSELLE	11
5.1 Osatekijöiden vaikutus jakauma-apteerauksen tulokseen	12
5.1.1 Arvomatriisien vaikutus	12
5.1.2 Tavoitejakaumien vaikutus	12
5.1.3 Leimikoiden vaikutus	13
5.1.4 Arvotustavan vaikutus	16
5.2 Toteutuneet pölkyjakaumat parhaalla menetelmällä	17
6 JAKAUMAOHJAUKSEN TESTAUS HAKKUUKONEELLA ...	19
6.1 Tutkimuksen tavoite ja koejärjestelyt	19
6.2 Tulokset jakaumanohjaustestistä.....	20
6.3 Päätelmät jakaumanohjaustestistä.....	22
7 APTEERAUKSEN OHJAUSTIEDOSTOJEN LAADINTA	23
7.1 Tiedoston laadinta kuljettajan toimesta	23
7.2 Tiedoston laadinta esimiehen toimesta.....	24
7.3 Leimikon ominaisuuksien huomioonotto.....	25
8 PÄÄTELMÄT	27
KIRJALLISUUTTA	29
LIITTEET	

TIIVISTELMÄ

Hakkuukoneiden mittalaitteet avustavat nykyisin hakkuukoneen kuljettajaa apteerauksessa laatimalla pölkytysehdotuksen rungosta. Pölkytysehdotuksen laatiminen perustuu useimmiten arvoapteeraukseen. Siinä pyritään maksimoimaan rungosta saatavien puutavarakappaleiden arvoa, joka on määritelty arvomatriisina. Osittain on käytössä myös jakauma-apteeraus, jossa automatiikka ottaa arvomatriisin lisäksi huomioon tuotantolaitosten puutavaralaji- ja dimensiokohtaiset puutarpeet.

Simulointitestissä havaittiin selvä parannus jakauma-asteessa, kun otettiin käyttöön jakauma-apteeraus. Arvomatriisina kannattaa käyttää joko tasaista tai keskipi-tuutta painottavaa matriisia. Arvomatriisi voidaan pitää samana, jos puutavaran kielletyt mitat ja apumitat eivät muutu. Pölkkyjakaumaa voidaan ohjata tavoitejakaumaa muuttamalla. Leimikkokohtaista apteerauksen ohjaustiedostojen räätä-löintiä ei tarvita. Näillä keinoilla saatiin keskimääräiseksi jakauma-asteeksi yli 90 %.

Simuloinneista saatuja tuloksia testattiin Aureskoski Oy:n työmailla. Hakkuuko-neet toteuttivat hyvin asetettua jakaumaa. Kuljettajien mielestä jakaumanohjauk-sen käyttöönotto nopeutti ja helpotti apteerausta.

Arvomatriisien säädöstä tullaan vähitellen siirtymään jakaumatavoitteen avulla tapahtuvaan ohjaukseen. Apteerauksen ohjaustiedoston laadinta on järkevää toteuttaa esimiehen toimesta esim. hankinta-alueen tasolla. Sama APT-tiedosto voidaan pitää hakkuukoneella koko ohjausjakson ajan. Seurantaan ja ohjaukseen tarvittavia ohjelmia on jo olemassa, mutta niiden tehokasta käyttöönottoa varten tarvitaan vielä koulutusta ja tietojärjestelmän kehittämistä.

1 JOHDANTO

Hakkuukoneisiin on enenevässä määrin tullut käyttöön automaatiikkaa, jonka tarkoituksena on helpottaa hakkuukoneen kuljettajaa tuottamaan tehokkaasti mahdollisimman arvokasta puutavaraa. Keskeinen väline tähän on apteerausautomaatiikka, joka opastaa kuljettajaa pölkkytysvaihtoehdon valinnassa. Laadukkaalla apteerauksella on mahdollista saada suuria lisätuottoja. Sen vuoksi kehitys tällä alueella onkin ollut varsin vireää.

Nykyinen hakkuukoneiden pölkkyjakauman ohjaus perustuu Ruotsissa käyttöön otettuun menetelmään, jossa hakkuukoneen apteerauksen ohjaustiedostoon on määriteltävä sekä pölkkyjen arvosuhteita kuvaava arvomatriisi että tuotantolaitosten tavoitteita esittävä tavoitematriisi. Näiden matriisien laatiminen ja yhteensovittaminen on havaittu työlääksi, jos tuotantolaitosten tavoitteet muuttuvat usein. Osittain nykyisen menetelmän monimutkaisuudesta johtuen pölkkyjakauman ohjauksen mahdollisuuksia ei toistaiseksi ole hyödynnetty tehokkaasti.

2 TAVOITE

Tutkimuksessa laaditaan ja dokumentoidaan jakaumanohjausmenetelmä, jossa jakaumatavoitteen muuttamisen yhteydessä ei tarvitse muuttaa arvomatriisia. Menetelmä tulee voida ottaa käyttöön kaikissa uudehkoissa hakkuukoneissa, joissa on jakaumanohjausvalmius.

3 ARVOAPTEERAUKSEN JA JAKAUMA-APTEERAUKSEN KUVAUS

3.1 Arvoapteeraus

Arvoapteerauksessa pyritään maksimoimaan rungosta saatavien puutavarakappaleiden arvoa, joka on määriteltävä arvomatriisina. Hakkuukone pyrkii katkomaan rungon niin, että yhteenlaskettu puutavarakappaleiden arvo muodostuisi mahdollisimman suureksi (Vuorenpää ym. 1997). Koska tukeilla käytetään isompia arvoja kuin kuitupuulla, katkoo arvoapteeraus tukkiosan tarkasti talteen.

3.2 Jakauma-apteeraus

Myös jakauma-apteerauksessa pyritään tukkiosuus ottamaan talteen, mutta samalla otetaan huomioon myös tuotantolaitosten esittämä tavoitejakauma. Jakauma-apteerauksessa on käytössä kaksi menetelmää: mukautuva arvomatriisi ja lähioptimaalimenetelmä.

Mukautuvassa arvomatriisissa jonkin kokoluokan suhteellisen osuuden jäädessä liian alhaiseksi apteerausohjelma nostaa sen arvoa. Arvon kohottamisen jälkeen tämän kappaleen katkonta on entistä arvokkaampaa, jolloin tämän dimensioisia pölkyjä valmistetaan jatkossa useammin. Vastaavasti kappaleen osuuden kasvessa liian suureksi ohjelma korjaa sen arvoa alaspäin (Vuorenpää ym. 1997). Apteerauksen ohjaustiedostoon määritellään suurimmat säätöraajat, joita enemmän ohjelma ei voi muuttaa alkuperäisiä arvomatriisin arvoja. Tällä varmistetaan tukkiosuuden hyödyntäminen sekä estetään huono apteeraus, jos leimikko ei sovi tavoitejakaumaan.

Lähioptimaalimenetelmä on toinen yleisesti käytössä oleva jakaumanohjausmenetelmä. Se perustuu siihen, että rungossa on aina olemassa useita katkaisuvaihtoehtoja, jotka poikkeavat arvoltaan vain vähän toisistaan. Automatiikka valitsee sellaiset katkaisuvaihtoehdot, joiden poikkeama optimaaliseen katkaisuvaihtoehtoon on ennalta määritellyissä rajoissa, esim. korkeintaan 5 % optimaalisesta pölkytyksestä. Vaihtoehtoista valitaan se, jonka pölkystä on eniten puutetta.

Lähioptimaalin toimintaa kuvaa seuraava esimerkki.

Olkoon käytössä tukkipituudet 400, 430, 460, 490, 520 ja 550 cm. Tukkiosan pituuden ollessa 830 cm apteerausvaihtoehdot ovat:

tyvestä 400 cm pitkä tukki, latvasta 430 cm tai
tyvestä 430 cm, latvasta 400 cm

Olkoon näiden läpimitat tyvitukilla luokassa 200 - 240 ja latvatukilla luokassa 160 - 200.

Lähioptimaalimenetelmässä valitaan apteerausvaihtoehtoista se, joka parhaiten täyttää tehtaiden tarpeen. Tehtaiden tarpeet (prioriteetti) voidaan esittää seuraavalla kaavalla:

$$p = m \times \frac{(1 + \sum n)}{(1 + \sum m)} - n, \text{ missä}$$

m = tavoiteltu jakauma tälle pölkydimensiolle,
esimerkiksi suhteellisena osuutena (%)
esitettyinä

n = tähän asti saavutettu arvo pölkymatriisissa
 Olkoon tavoitejakauma ja toteutunut jakauma seuraava:

Tavoite

Läpimitta- luokka	Pituus, cm					
	400	430	460	490	520	550
160 - 199	50	50	60	65	150	125
200 - 239	50	50	60	65	150	125

Toteutunut

Läpimitta- luokka	Pituus, cm					
	400	430	460	490	520	550
160 - 199	12	8	11	14	22	33
200 - 239	8	14	10	13	28	27

Apteerausvaihtoehtojen prioriteetit ovat:

tyveltä 400 tukki	$p = 50 \times 201 : 1001 - 8 = 2,04$
-"- 430 -"-	$p = 50 \times 201 : 1001 - 14 = -3,96$
latvasta 400 tukki	$p = 50 \times 201 : 1001 - 12 = -1,96$
-"- 430 -"-	$p = 50 \times 201 : 1001 - 8 = 2,04$

Tyvestä tehdystä 400 cm:n tukista on puutetta samaten kuin latvasta tehdystä 430 cm:n tukista. Se näkyy nolaa suurempana prioriteettina. Toisaalta taas 430 cm tyvitukkeja ja 400 cm latvoja on tullut liikaa. Niinpä lähioptimaalimenetelmä valitsee apteerausvaihtoehdoksi sen, jossa tyveltä tehdään 400 cm tukki. Siinä pölkkyjen yhteenlaskettu prioriteetti on $2,04 + 2,04 = 4,08$. Toisen vaihtoehdon prioriteetti on $-3,96 + (-1,96) = -5,92$. Negatiiviset luvut osoittavat, että näitä pölkkyjä on tullut liikaa.

3.3 Hakkuukoneiden apteerausohjelmat

Uusimmissa hakkuukoneiden mittalaitteissa on käytössä joko lähioptimaalimenetelmä tai mukautuva arvomatriisi. Sallittu arvomuutos jakauma-apterauksessa voidaan esittää joko suurimpana arvon muutoksena arvomatriisin alkuperäiseen arvoon (mukautuva arvomatriisi) tai rungon maksimiarvoon (lähioptimaali). Edelleen nämä voidaan esittää joko prosentuaalisena tai rahayksikköinä ilmaistuna

arvon muutoksena. Tavoitejakaumat voidaan esittää eri tavoin, jotka eroavat pääpiirteissään siten, että toisessa menetelmässä esitetään kaikkien dimensioiden suhteellinen tavoiteosuus koko tukkijakaumasta, toisessa pelkästään läpimittaluokan sisäinen pituusjakaumatavoite. Apteerausohjelmissa on eroavaisuuksia, jotka vaikuttavat sekä apterauksen ohjaukseen että apteraustulokseen.

	Ponsse Opti vers. 3.7	Timberjack 3000	Valmet Maxi
Jakauma-apteraus			
Lähioptimaali	Ei	Ei	Kyllä
Mukautuva arvomatriisi	Kyllä	Kyllä	Ei
Sallitun arvomuutoksen esitystapa			
Prosenttia	Kyllä	Ei	Kyllä
Valuutta	Ei	Kyllä	Kyllä
Tavoitejakauman esittämistapa			
Koko tavoitematriisi	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Läpimittaluokittainen tavoitejakauma	Kyllä	Ei	Kyllä

3.4 Laskennan kuvaus

Simulointitestien tutkimusaineistona käytettiin kolmesta leimikosta hakkuukoneella kerättyjä runkotiedostoja. Leimikoiden hakkuuta jäljittelevät simuloinnit suoritettiin Metsätehossa laaditulla hakkuukonesimulaattorilla. Simulaattori jäljittelee hakkuukoneen ja hakkuukonevalmistajien simulaattorien toimintaa.

Simuloinneista saaduista tulostiedoista analysoitiin jakauma-astetta, tukkiosuuden hyödyntämistä ja tukkien kapenemista.

Jakauma-aste kuvaa toteutuneen jakauman ja tavoitteen vastaavuutta. Se ottaa huomioon sekä tavoitteen ylityksen että alituksen. Jakaumat esitetään suhteellisina osuuksina, joista jakauma-aste lasketaan kaavalla

$$jakauma-aste = 1 - \frac{\sum |tavoite - toteutunut|}{2}$$

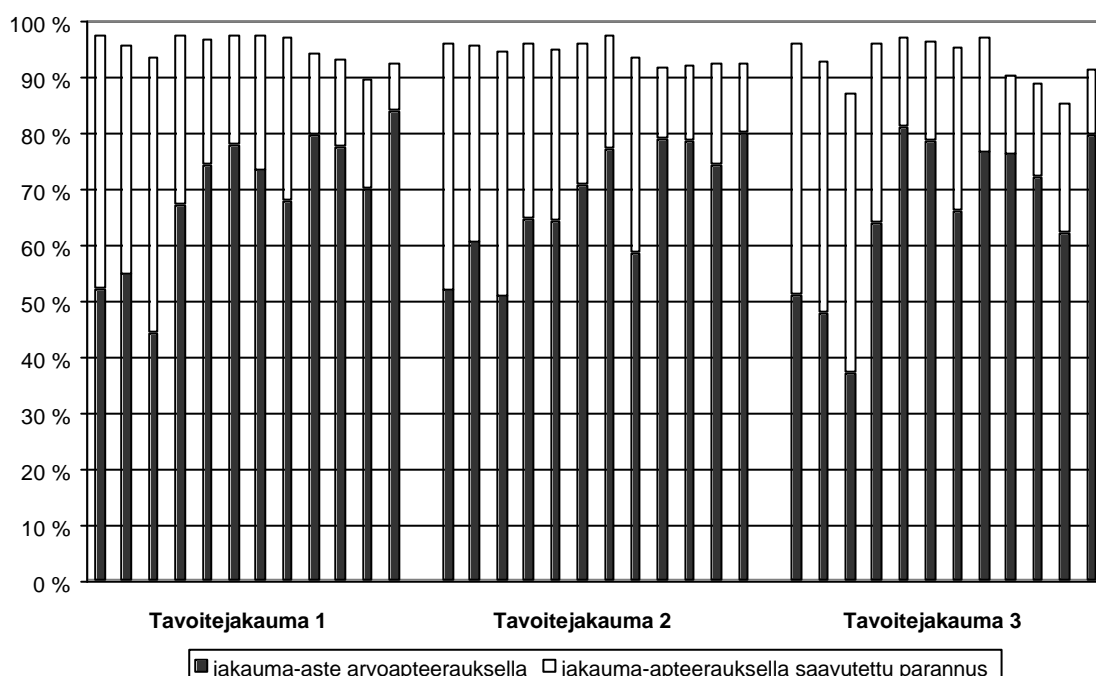
Tukkien kapeneminen laskettiin kunkin tukin viimeiselle metrille. Se kertoo siis sen, miten paljon suurempi läpimitta tukissa on latvasta 1 m:n päästä tyvelle päin verrattuna latvaläpimittaan. Kaavana esitettynä

$$kapeneminen = \text{läpimitta 1 m:n päästä tukin latvasta} - \text{latvaläpimitta}$$

4 ARVO- JA JAKAUMA-APTEERAUKSEN VERTAILU

Valtaosassa nykyisin käytössä olevista hakkuukoneista käytetään jakaumanohjaukseen vain arvoapteerausta. Jakauma-apteerausominaisuudet ovat olemassa useimmissa koneissa, mutta ominaisuuksien hyödyntäminen on toistaiseksi ollut puutteellista. Sen vuoksi työssä tutkittiin arvoapteerauksella saatavaa tulosta verrattuna jakauma-apteeraukseen.

Jakauma-apteerauksella saatiin aikaan tuotantolaitosten kannalta selvästi parempi tukkijakauma. Kuvassa 1 on esitetty mustalla värillä jakauma-asteet arvoapteerauksella. Valkoisella värillä on osoitettu, kuinka paljon jakauma-apteerauksella pystyttiin parantamaan jakauma-astetta, kun simuloitiin samat leimikot samoilla APT-tiedostoilla jakauma-apteerausta käyttäen.



Kuva 1. Jakauma-asteet arvoapteerauksella (mustat pylväät) ja parannus jakauma-apteerauksella (valkoiset pylväät).

Tukkiosuuksien hyödyntämistä arvo- ja jakauma-apteerauksen välillä verrattiin leimikoittain ja arvo- ja jakauma-apteerauksella tehtyjen simulointien välillä olivat pieniä. Tukki-saanto oli noin 1 % suurempi arvoapteerauksella kuin jakauma-apteerauksella (taulukko 1).

TAULUKKO 1 Tukkiosuuden tilavuuden hyödyntäminen (%) arvoapteerauksella saavutettuun suurimpaan tukkisaantoon verrattuna

Leimikko	Mukautuva arvomatriisi		Kappale-hinta	Lähioptimaalimenetelmä	
	Todellinen tilavuus	Tekninen tilavuus		Todellinen tilavuus	Tekninen tilavuus
%					
1	98,72	98,10	98,78	96,13	96,84
2	99,36	98,67	99,19	96,32	96,83
3	98,36	97,75	98,65	97,05	97,15

Jos apteerausautomaatiikassa lasketaan pölkytysvaihtoehdot teknisen tilavuuden perusteella, jää arvoapteerausta käytettäessä tukkiosuutta hieman käyttämättä siihen verrattuna, että käytettäisiin todellista tilavuutta. Ero vähenee, kun käytetään jakauma-apteerausta. Teknistä tilavuutta käytettäessä jakauma-apteerauksella saatiin jopa enemmän tukkia talteen kuin arvoapteerauksella.

Tukkien keskimääräinen kapeneminen pysyy apteerauksesta riippumatta samanaikaisena, sillä tukkiosuus otetaan aina varsin täysimääräisenä talteen. Todellisella tilavuudella arvotetut tukit kapenevat viimeisellä metrillä enemmän kuin teknisellä tilavuudella arvotetut rungot.

Jakauma-apteerausta koskevat tulokset on laskettu pääosin mukautuvaa arvomatriisia käyttävällä jakaumanohjausmenetelmällä. Projektissa laadittiin myös lähioptimaalimenetelmä-jakaumanohjaus Metsätehon hakkuukonesi-mulaattoriin. Molemmat menetelmät ohjasivat erittäin tehokkaasti kohti tavoitteena olevaa jakaumaa. Lähioptimaalimenetelmä antoi hieman paremmat jakauma-asteet kuin mukautuva arvomatriisi. Sen sijaan lähioptimaalimenetelmällä tukkiosuutta jäi hieman enemmän hyödyntämättä kuin mukautuvalla arvomatriisilla. Samaten haittapuolena oli tukkien viimeisen metrin kapenemisen lievä lisääntyminen. Matemaattisen tarkastelun perusteella arvioitiin, että lähioptimaalimenetelmällä kyetään saavuttamaan jakaumatavoite hieman paremmin kuin laaditulla mukautuvan arvomatriisin menetelmällä. Tämä johtuu siitä, että kaikki ne pölkkyluokat, joita on tullut hyvin paljon liikaa (tai liian vähän), saavat yhtä suuren arvonlisäyksen (tai arvonvähennyksen). Lähioptimaalimenetelmässä kaikkein eniten puuttuvalla pölkydimensiolla on aina suurin prioriteetti, joten automaatiikka pyrkii pölkyttämään ensisijaisesti tähän mittaan. Runsaan puutteen tai ylimäärän huomioon ottaminen on siis tehokkaampaa lähioptimaalimenetelmällä.

Hakkuukoneen jakaumanohjausmenetelmistä sekä lähioptimaalimenetelmä että mukautuva arvomatriisi on mahdollista toteuttaa useilla eri tavoilla. Sen vuoksi ei voida esittää paremmuutta näiden menetelmien välillä. Jakauma-apteerauksella päästään joka tapauksessa selvästi parempaan tukkijakaumaan kuin arvoapteerauksella.

Tehdyt jakaumanohjausmenetelmät eivät täysin vastaa konevalmistajien sovelluksia. Simulaattorin vastaavuus todellisten hakkuukoneiden jakaumanohjaukseen on kuitenkin riittävä, jotta käytännössä kyetään löytämään paras tapa apterauksen ohjaustiedostojen laadintaan.

5 TULOKSET JAKAUMA-APTEERAUKSELLE

Hakkuukonesimulaattorilla laskettiin eri osatekijöiden vaikutusta apteraustulokseen. Kokeissa tarkasteltiin neljää erilaista arvomatriisia, kolmea leimikkoa, neljää pölkkyjen arvotustapaa, kolmea tavoitejakaumaa ja kahta jakaumanohjausmenetelmää. Yhteensä simulointeja tehtiin yli 200 kpl. Leimikoiden koot ja puuston ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti. Leimikon 1 pinta-ala on 1,6 ha ja siinä on noin 640 runkoa. Puusto on kaksijaksoinen ja yli-ikäinen. Runkojen keskijäreys on 0,26 m³.

Leimikko 2 on sekä pinta-alaltaan että runkoluvultaan vertailuleimikoista suurin, 9 ha ja noin 2 600 runkoa. Leimikon keskijäreys on 0,80 m³. Leimikon puusto on yksijaksoinen 90-vuotias ja hyvälaatuinen.

Leimikko 3 on pinta-alaltaan 7,5 ha 60-vuotiaan yksijaksoisen metsän harvennus-hakkuu, poistettavia runkoja noin 640. Runkojen keskijäreys on 0,21 m³.

Pölkkyjen arvotustavoista käytettiin todellista tilavuutta, teknistä tilavuutta ja kappalehintaa. Hakkuukoneissa käytetään ainakin todellista tilavuutta ja teknistä tilavuutta. Todellinen tilavuus tarkoittaa 10 cm:n pätkissä laskettua tilavuutta. Tässä arvotustavassa kullekin pölkylle lasketaan pätkittäin tilavuus ja se kerrotaan arvomatriisissa tälle dimensiolle määritellyllä m³-arvolla. Rungon arvoksi saadaan ko. pölkkytysvaihtoehdon pölkkyjen arvojen summa.

Teknisellä tilavuudella arvotus on laskennallisesti yksinkertaisempaa. Pölkyn tilavuus lasketaan pölkyn latvan poikkileikkauksen pinta-alan ja tukin pituuden tulona. Tilavuus kerrotaan APT-tiedostosta luetulla m³-arvolla.

Kolmantena vaihtoehtona tarkasteltiin kappalehintaa, jossa kunkin pölkyn arvo ilmaistaan yksikössä mk/kpl. Tällöin apterauksen optimoinnissa ei tarvitse laskea tilavuutta lainkaan. Pölkkyjen arvojen laadinnassa kuitenkin tulee suhteuttaa arvot siten, että pienempitilavuuksilla tukeilla on pienemmät arvot.

5.1 Osatekijöiden vaikutus jakauma-apterauksen tulokseen

5.1.1 Arvomatriisien vaikutus

Simuloinneissa käytettiin neljää erilaista arvomatriisia (liite 1). Ensimmäinen matriisi oli tasainen, ts. kaikki arvot olivat yhtä suuria. Toisessa korotettiin lievästi pitkien tukkien arvoa lyhyisiin verrattuna, kolmannessa pituuskorjaus oli voimakkaampi. Neljännessä matriisissa suurin arvo oli keskipituuisella tukilla, ja arvot laskivat sekä lyhyempiin että pitempiin tukkeihin mentäessä. Kuitupuulla käytettiin arvomatriisia, jossa jokaisen sallitun pölkkydimension arvo oli 100. Hintaporras tukki- ja kuitupuun välillä oli siis varsin iso.

Keskimääräinen jakauma-aste muodostui lähes samaksi kaikilla arvomatriiseilla. Korkein jakauma-aste oli keskipituutta painottavalla arvomatriisilla, 93 % ja huonoin 91 % voimakkaan pituuskorjauksen arvomatriisilla.

Arvomatriisien vaikutusta tutkittaessa verrattiin leimikoittain jokaisen arvomatriisin keskimääräistä tukkisaantoa maksimitukkisaantoon. Arvomatriisi ei vaikuttanut tukkisaantoon eikä tukkien viimeisten metrien kapenemiseen.

5.1.2 Tavoitejakaumien vaikutus

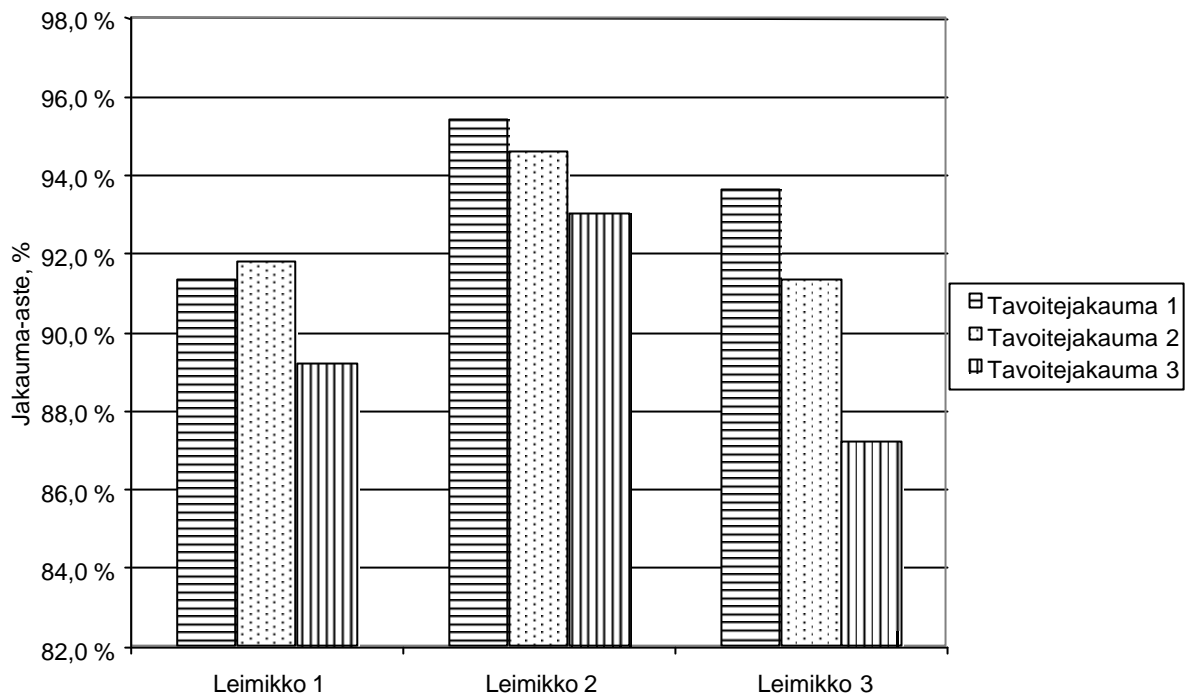
Simuloinneissa käytettiin kolmea tavoitejakaumaa (taulukko 2). Kaikille läpimittaluokille käytettiin samoja pituustavoitteita. Läpimittajakaumien erojen merkitystä poistettiin sopeuttamalla tavoitejakauman läpimittajakauma siihen läpimittajakaumaan, joka oli saatu leimikon simuloinnissa arvoapterauksella.

TAULUKKO 2 Tavoitejakaumat

	Tukin pituus, cm				
	430	460	490	520	550
Tavoitejakauma 1	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Tavoitejakauma 2	10 %	20 %	20 %	20 %	30 %
Tavoitejakauma 3	30 %	20 %	20 %	20 %	10 %

Kaikki tavoitejakaumat kyettiin saamaan hyvin kaikista leimikoista. Tasaisella tavoitejakaumalla 1 ja pisintä pituusluokkaa painottavalla tavoitejakaumalla 2:lla jakauma-aste oli keskimäärin 93 %. Tavoitejakaumalla 3 jakauma-aste oli keskimäärin 90 % (kuva 2). Simuloinnit, joissa tukin tilavuus on arvoitettu kappalehinnalla, laskivat jakauma-astetta kaikilla tavoitejakaumilla. Hyvät jakauma-asteet osoittavat, että apterausautomaattikka kykenee ohjaamaan hyvin tukkien pituus-

jakaumaa. Kun läpimittajakaumat oli suhteutettu arvoapteerauksella toteutuneeseen jakaumaan, saavutettiin tavoitejakaumat kaikilla leimikoilla hyvin (kuva 2).



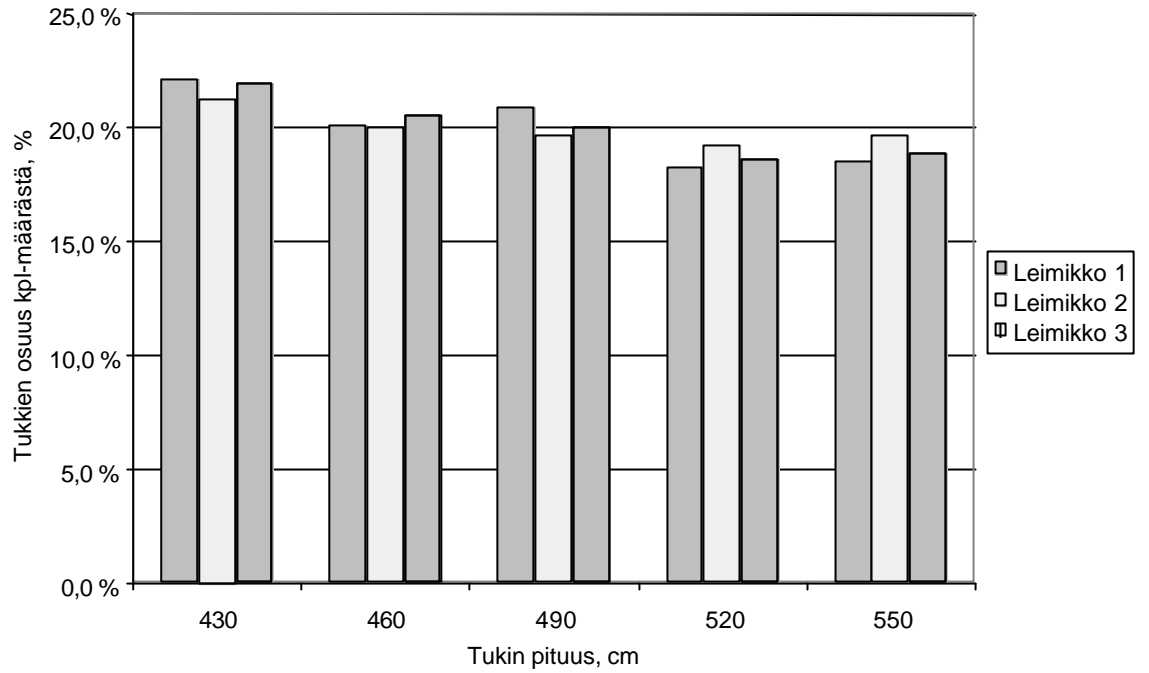
Kuva 2. Tavoitejakaumien vaikutus jakauma-asteeseen leimikoittain.

Tavoitejakauman vaikutusta tukkisaantoon ja tukkien kapenemiseen on erittäin vaikea havaita. Tukin ja kuitupuun suuren hintaeron vaikutuksesta apteerausautomaattiikka pyrkii kaikilla tavoitejakaumilla maksimoimaan tukkipuun saannon. Sen vuoksi myös kapeneminen pysyy yhtä suurena tavoitejakaumasta riippumatta.

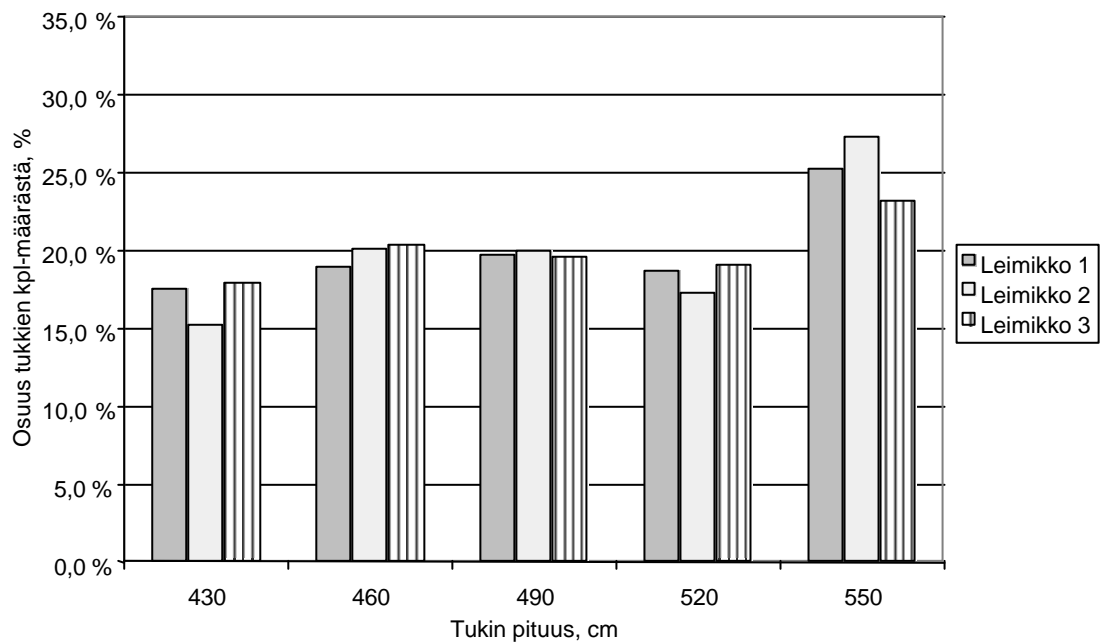
Tukkiosuus saadaan talteen parhaiten voimakkaan pituuskorjauksen arvomatriisilla. Tasaisella ja keskipituutta painottavalla arvomatriisilla tukkiosuuden talteenotto on heikointa. Erot ovat kuitenkin vähäisiä.

5.1.3 Leimikoiden vaikutus

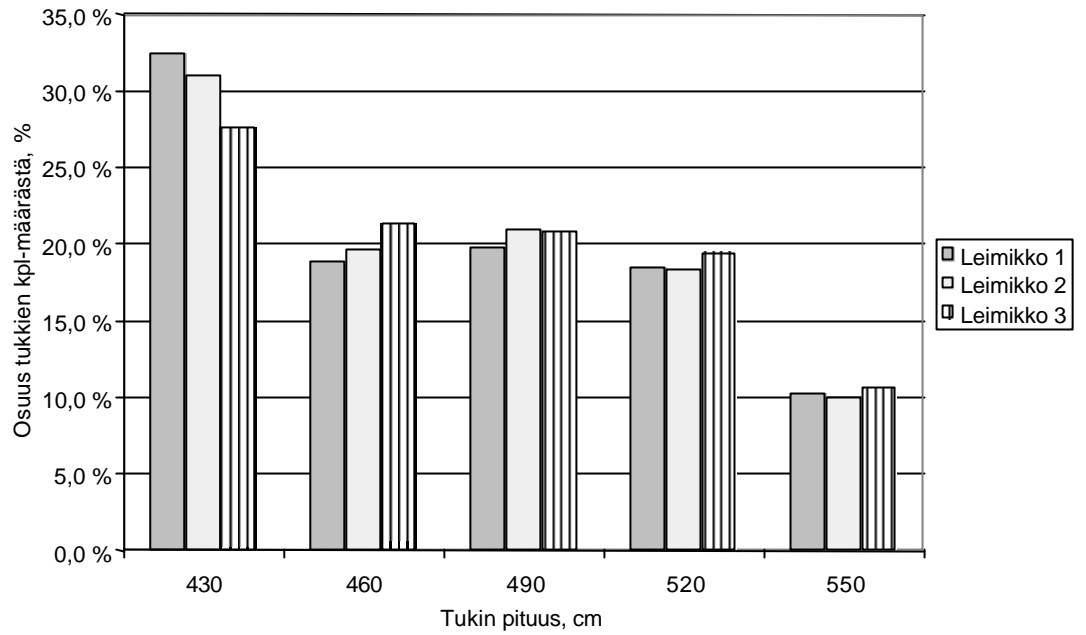
Paras jakauma-aste saavutettiin leimikolla 2, jonka puuston laatu oli kaikkein paras. Kaikkien jakauma-apteerauksella suoritettujen leimikon 2 simulointien keskimääräinen jakauma-aste oli 94 %. Sekä leimikon 1 että 3 keskimääräiseksi jakauma-asteeksi muodostui 91 % (kuvat 3, 4, 5 ja 6).



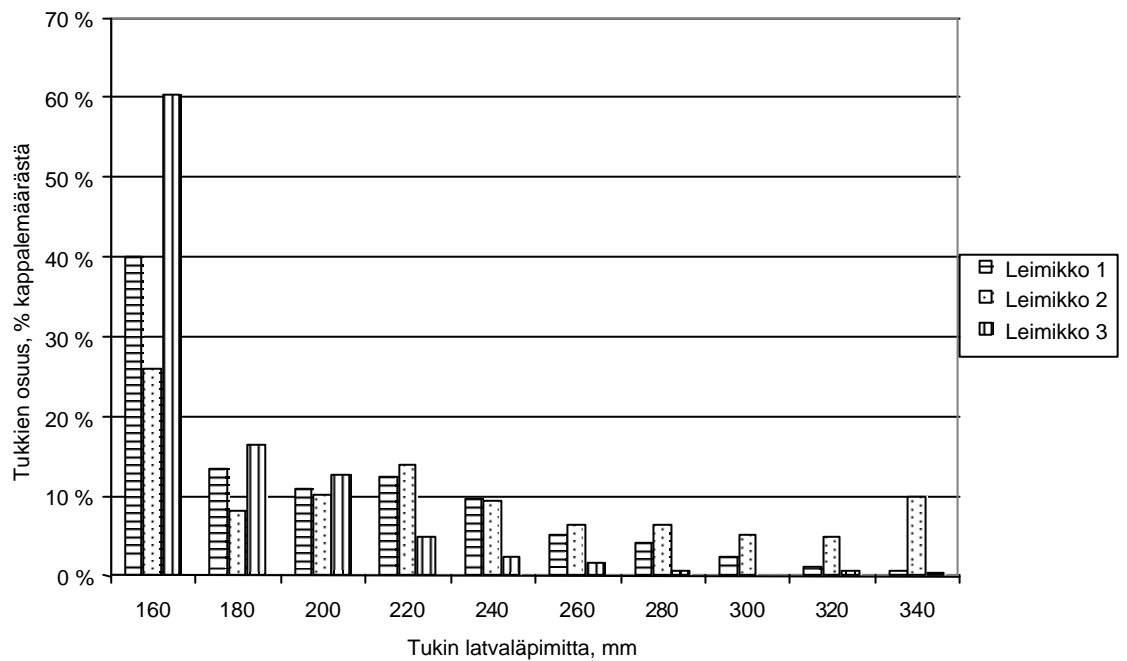
Kuva 3. Pituusjakauman toteutuminen leimikoittain.
Tukkien tavoitejakauma 1.



Kuva 4. Pituusjakauman toteutuminen leimikoittain.
Tukkien tavoitejakauma 2.



Kuva 5. Pituusjakauman toteutuminen leimikoittain. Tukkien tavoitejakauma 3.



Kuva 6. Kuusitukkien läpimittajakauma tutkimusleimikoissa.

Tukkien kapeneminen viimeisellä metrillä on suurin leimikossa 2, keskimäärin 10,57 mm/m. Leimikossa 1 kapeneminen on 8,79 mm/m ja leimikossa 3 7,84 mm/m.

Kaikkien leimikoiden tukkitilavuuksista hyödynnetään keskimäärin 98,6 % arvoapteeraukseen verrattuna. Leimikon 2 simuloinneissa hyödynnettiin tukkiosuus keskimäärin parhaiten. Siinä rungonkoko oli suurin.

TAULUKKO 3 Tukkiosuuden hyödyntäminen jakauma-apteerauksessa leimikoittain ja arvotustavoittain

Leimikko	Todellinen tilavuus	Tekninen tilavuus	Kappalehinta	Keskimäärin
	%			
1	98,7	98,1	98,8	98,5
2	99,4	98,7	99,2	99,1
3	98,4	97,8	98,6	98,3
Keskimäärin	98,8	98,2	98,9	98,6

Arvoapteerauksella saatiin kaikilla leimikoilla keskimäärin suurin tukkikertymä. Tasaisella tavoitejakaumalla (nro 1) ja pisintä pituusluokkaa painottavalla tavoitejakaumalla (nro 2) keskimääräiset tukkisaannot olivat hyvin lähellä toisiaan. Tavoitejakaumalla 3, joka painottaa lyhyintä tukkien pituusluokkaa, keskimääräinen tukkisaanto jää pienimmäksi. Tukkiosan hyvän hyödyntämisen kannalta onkin olennaista, että vaihtoehtoisia tukkipituksia on useita. Jos tavoitteeseen nähden puuttuu runsaasti pitkiä tukkeja, saattaa apteerausautomaatiikka ehdottaa katkottaa, joka ei hyödynnä tukkiosuutta täysin (esim. kolmen lyhyen tukin sijaan kaksi pitkää tukkia).

Yksittäisen leimikon jakauma-aste alkaa vakiintua jo 100 - 200 rungon jälkeen sille tasolle, jolla jakauma-aste on leimikon päättyessä. Sen vuoksi leimikossa olevien runkojen määrä ei vaikuttanut jakauma-asteeseen.

5.1.4 Arvotustavan vaikutus

Todellisella ja teknisellä tilavuudella arvotus tuotti yhtä hyvät jakauma-asteet. Rungon arvottaminen kappalehinnalla antoi huonoimman jakauma-asteen.

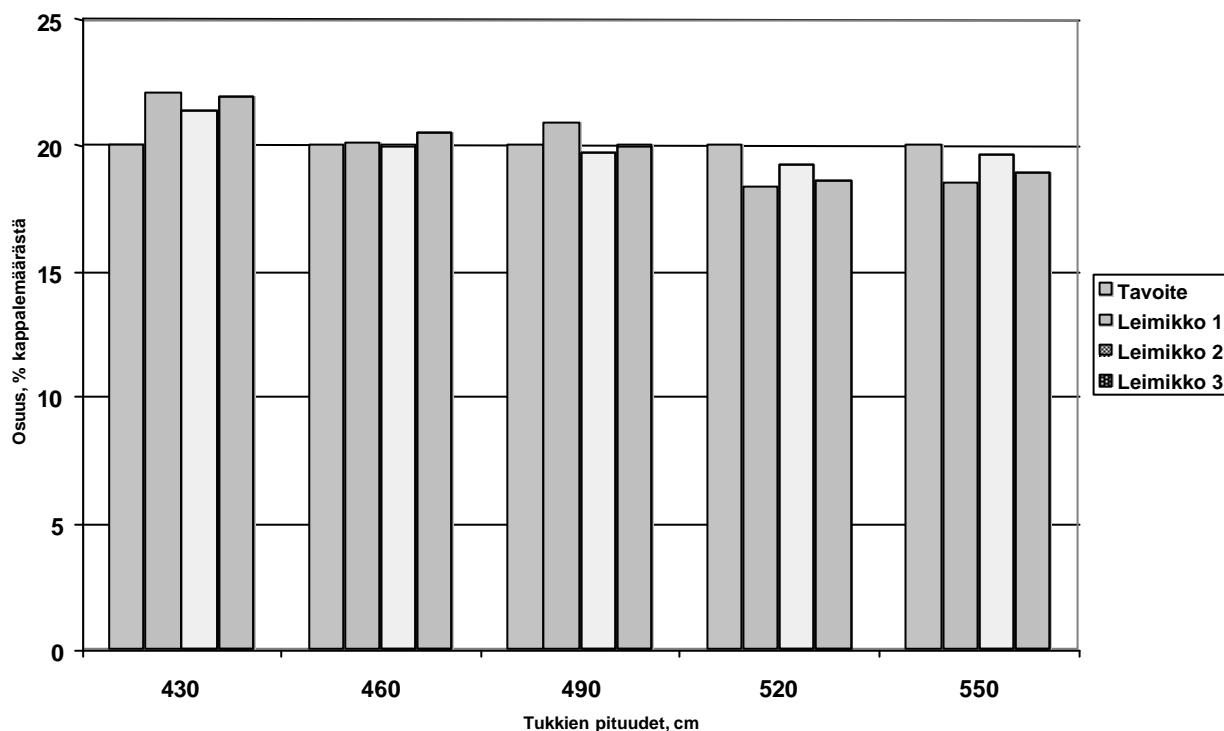
Rungon tilavuuden arvotustavoista todellisella tilavuudella arvotetut tukit kapenivat eniten. Kappalehinnalla arvotetut tukit kapenivat keskimäärin 0,6 mm/m vähemmän. Teknisellä tilavuudella arvotetut tukit kapenivat vähiten, 1,3 mm/m vähemmän kuin todellisella tilavuudella arvotetut tukit.

Todellisella tilavuudella arvotettuna keskimääräinen saanto oli 98,8 % maksimista ja kappalehinnalla 98,9 % maksimista (taulukko 3). Teknisellä tilavuudella arvotettuna saanto jäi alhaisimmaksi.

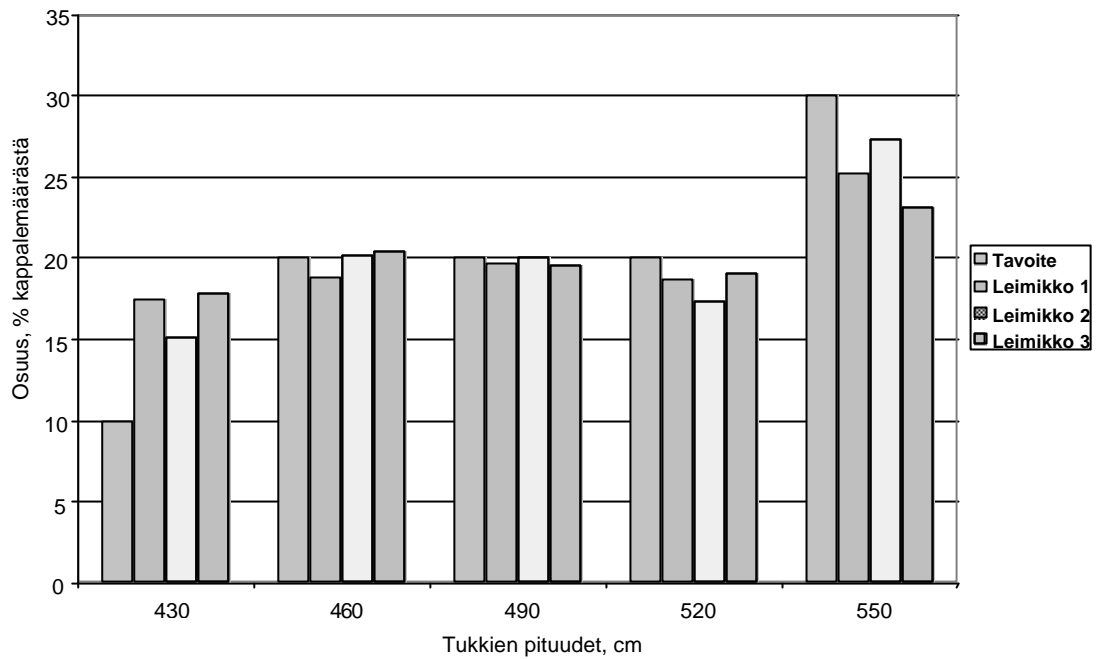
5.2 Toteutuneet pölkkyjakaumat parhaalla menetelmällä

Edellä on esitetty keskimääräisiä tuloksia eri pölkkyjen arvotustavoilla, arvomatriiseilla, tavoitejakaumilla ja leimikoilla. Simulointien perusteella paras menetelmä oli keskipituutta painottavan arvomatriisin käyttö. Sillä kyettiin saavuttamaan jakaumatavoitteet hyvin, ja se oli hyvä myös tukkiosuuden hyödyntämisen ja tukkien kapenemisen kannalta.

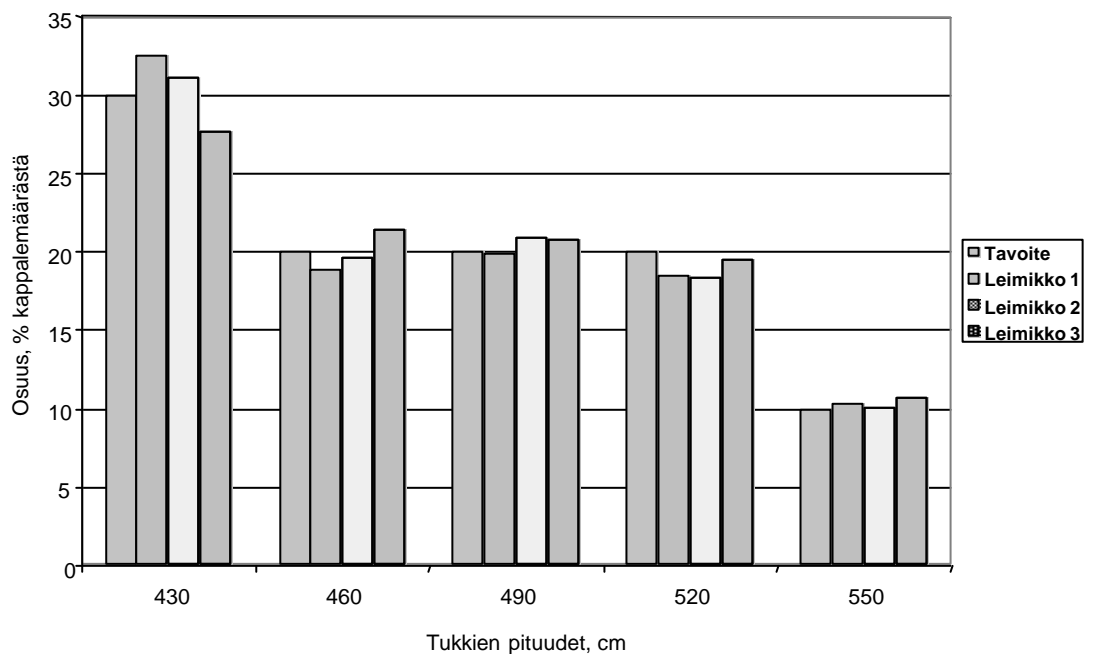
Keskipituutta painottavalla arvomatriisilla simulaattori toteutti tavoitejakaumat erinomaisesti kaikilla leimikoilla (kuvat 7, 8 ja 9). Eniten poikkeamaa oli tavoitejakauman 2 saavuttamisessa, jossa pisimmän tukkiluokan tavoitemäärän saavuttaminen osoittautui hankalaksi. Siitä huolimatta jakauma oli hyvin lähellä tavoitetta.



Kuva 7. Kuusitukkien pituusjakauma tutkimusleimikoissa. Tukkien tavoitejakauma 1. Keskipituutta painottava arvomatriisi.



Kuva 8. Kuusitukkien pituusjakauma tutkimusleimikoissa. Tukkien tavoitejakauma 2. Keskipituutta painottava arvomatriisi.



Kuva 9. Kuusitukkien pituusjakauma tutkimusleimikoissa. Tukkien tavoitejakauma 3. Keskipituutta painottava arvomatriisi.

6 JAKAUMAOHJAUKSEN TESTAUS HAKKUUKONEELLA

6.1 Tutkimuksen tavoite ja koejärjestelyt

Tutkimuksen tuloksia testattiin Aureskoski Oy:n leimikoilla. Metsäosasto valitsi kaksi hakkuukonetta, joiden kuusirunkojen apteerausta ohjattiin 19.7.1999 alkaen. Hakkuukoneiden mittalaitteiden ohjelmaversiot olivat valmistajien uusimpia malleja. Hakkuukoneille oli tehty yhtiön edellyttämät kontrolli- ja kalibroitimittaukset.

Aureskosken puunhankinnassa toteutuneet pölkkyjakaumat selvitettiin hakkuukoneiden keräämien mittaustodistuksien (PRD-tiedostoja) perusteella. Lisäksi analysoitiin yhden kuukauden ajalta Aureskoski Oy:n molempien sahojen (Parkano ja Lapua) tukkimittareilla mitattu kuusitukkijakauma. Kuusitukkien tavoitejakauma esimerkkijaksolle laadittiin yhdessä Aureskoski Oy:n sahan tuotannon ohjauksesta vastaavan henkilön kanssa.

Apteerauksen ohjaustiedostot (APT-tiedostot) laadittiin Metsäteho Oy:ssä SilviA 2.0 Beta-ohjelmistolla. Laaditut APT-tiedostot toimitettiin hakkuukoneille ja hakkuukoneenkuljettajat ja metsäosaston työjohto perehdytettiin jakaumaapteeraukseen. Hakkuukoneilta kertyvää pölkkyjakaumaa seurattiin noin kuukauden ajan.

Testiin valittuun Ponsse HS 10 -hakkuukoneeseen laadittiin konevalmistajan toivomuksesta kuusitukille hinta- ja jakaumamatriisit "läpimittaluokan sisällä" -periaatteella. Jakaumaa ohjataan vain läpimittaluokan sisällä, jolloin läpimittaluokan pituusluokittaisten jakaumatavoitteiden summaksi tulee 100 %. Hintamatriisi oli tasainen, paitsi että pienimmän läpimittaluokan hintaa matriisissa korotettiin 10 % verrattuna muihin läpimittaluokkiin. Tällä toimenpiteellä estetään tukkipuun joutumista kuitupuuhun. Hintamuutosrajana käytettiin 5 %:a.

Toinen testin hakkuukoneista oli Timberjack 870 B, johon laadittiin hinta- ja jakaumamatriisit "yli matriisin" -periaatteella. Tällöin kuusitukin jakau-
maa ohjataan kokonaisuudessaan ja jakaumamatriisin summa on 1 000. Hintamatriisi laadittiin keskipituutta lievästi painottavaksi. Hintamuutosrajana käytettiin 8 mk:aa.

Koneen 1 hakkaamat leimikot olivat yleensä selvästi parempilaatuisia kuin koneen 2 hakkaamat leimikot ja koneen 2 hakkaamista leimikoista osa oli harvennusleimikoita (taulukko 4).

TAULUKKO 4 Kokeen aikana hakatut leimikot

	Leimi-koita	Aureskosken tukkeja	Lapuan tukkeja	Tukkeja yhteensä	
				kpl	m ³
Kone 1	7	4 582	3 313	7 895	1 613
Kone 2	9	1 825	5 270	7 095	1 315

Aureskosken sahalle Parkanoon lajiteltavaa tukkia hakataan koneella 1 läpimittaluokkiin 190 - 401 mm ja lisäksi 401 - 600 mm:n luokkaan sorvitukia (52 dm). Yhtiön Lapuan sahalle toimitetaan 150 - 211 mm läpimittaluokkien kuusitukia varastosta riippuen. Aureskosken sahalle Parkanoon lajiteltavaa Aureskosken tukkia hakataan koneella 2 läpimittaluokkiin 211 -401 mm ja lisäksi 401 - 600 mm:n luokkaan kuusisorvitukia (52 dm). Yhtiön Lapuan sahalle toimitetaan latvaläpimitaltaan 160 - 211 mm kuusitukia.

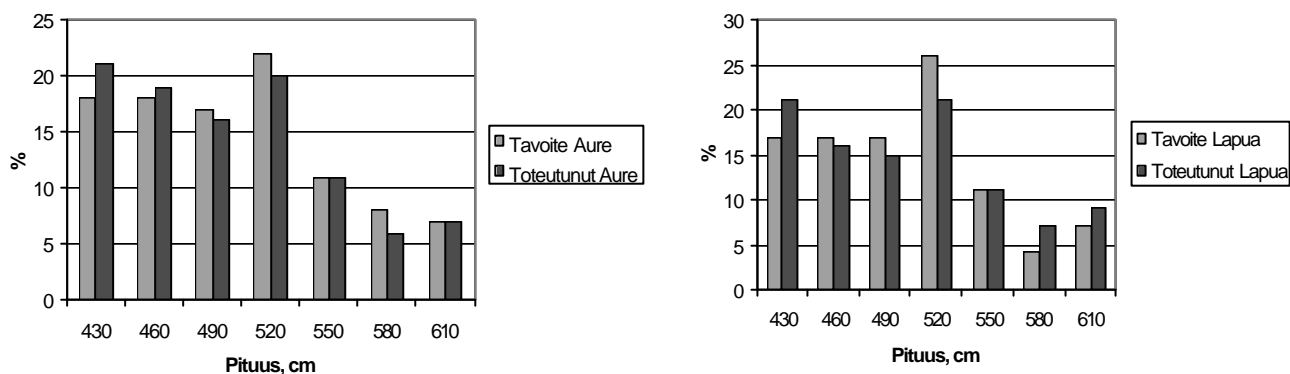
6.2 Tulokset jakaumanohjaustestistä

Koneella 1 tarkasteltiin vain pituusluokittaisen jakaumanohjauksen onnistumista läpimittaluokan sisällä. Tavoitteen toteutumista mitattiin jakauma-asteella läpimittaluokkien sisällä. Kone 1 kykeni saavuttamaan hyvät pituusjakaumat kaikissa läpimittaluokissa paitsi Lapuan tukilla läpimittaluokassa 177 - 189 (Asetelma). Vain 75 %:n jakauma-aste johtunee lähinnä vähäisestä pölkkyjen kappalemäärästä ko. läpimittaluokassa.

Asetelma Kone 1. Jakauma-asteet läpimittaluokittain, Aureskosken tukki ja Lapuan tukki

	Läpimittaluokka, mm	Jakauma-aste
Aureskoski	190 – 211	0.90
	211 – 242	0.90
	242 – 257	0.89
	257 – 279	0.97
	279 – 300	0.94
	300 – 325	0.93
	325 – 342	0.93
	342 – 401	0.94
	401 – 600	0.92
Lapua	150 – 160	0.92
	160 – 177	0.89
	177 – 189	0.75

Koneen 1 hakkaamista leimikoista Aureskoski Oy:n kuusitukkien pituusjakaumatavoite saavutettiin melko hyvin (kuvat 10 ja 11). Aureskosken tukkia kertyi liikaa 43 dm:n luokkaan ja liian vähän 52 dm:n luokkaan. Lapuan tukilla tapahtui näissä luokissa samoin ja lisäksi pitkiä tukkiluokkia 58 ja 61 dm kertyi liian vähän.

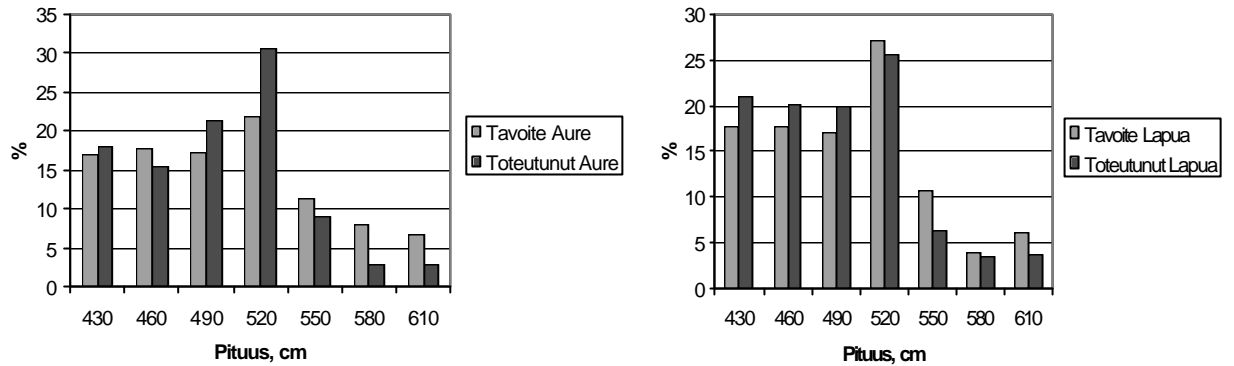


Kuva 10 ja 11. Kone 1, pituusjakaumat, Aureskosken tukki ja Lapuan tukki, tavoitejakauma ja toteutunut jakauma.

Koneella 2 käytettiin "yli matriisin" -jakaumanohjausmenetelmää. Tukkijakaumas-
sa saavutettiin Aureskosken tukille 80 %:n jakauma-aste ja Lapuan tukille 86
%:n.

Koneen 2 hakkaamista leimikoista Aureskoski Oy:n kuusitukkien pituusja-
kaumatavoite saavutettiin myös melko hyvin (kuvat 12 ja 13). Pituusluokan 52 dm

kuusitukkia on kertynyt hakkuukoneelta liikaa. Pituusluokkia 55 - 61 dm kertyi selvästi liian vähän, johtuen huonolaatuisista leimikoista.



Kuva 12 ja 13. Kone 2, pituusjakaumat, Aureskosken tukki ja Lapuan tukki, tavoitejakauma ja toteutunut jakauma.

Kuusitukin apumitat 34 ja 37 dm eivät sisälly laskettuihin jakaumiin. Aureskoski Oy:n kuusitukin tavoitejakauksessa apumittojen osuus on määritelty 10 %:ksi tilavuudesta läpimittaluokan sisällä. Yleisesti kuusitukin apumittoja, varsinkin 37 dm pitkää tukkia, kertyy liikaa. Pakkosahauksien syitä ei testissä selvitetty. Yksityiskohtaiset kuvaukset apterauksen ohjaustiedoista ja niillä saaduista pölkyjakauksista on liitteessä 2.

6.3 Päätelmät jakaumanohjaustestistä

Kuusitukin jakaumanohjauksessa pyritään yksinkertaiseen menetelmään. Jakaumanohjaustestissä pyrittiin rakentamaan hakkuukoneille sellaiset APT-tiedostot, jotka sopivat mahdollisimman hyvin jokaiseen leimikkoon. Testatut menetelmät toimivat hyvin Aureskoski Oy:n leimikkorakenteella ja tavoitejakauksella. Jakauma-asteet olivat melko korkeita sekä "läpimittaluokan sisällä-" että "yli matriisin" -menetelmissä. Vieläkin korkeampiin jakauma-asteisiin päästään kuljettajien koulutuksella ja arvomatriisien pienillä säädöillä. Varsinkin apumittojen käytön vähentämiseksi tulisi pohtia jatkotoimenpiteitä.

Tasaisen hintalistan käyttö aiheuttaa mukautuvaa arvomatriisia käytettäessä pienimpien läpimittaluokkien ja lyhyiden tukkidimensioiden suosimista. Tämän takia lievästi keskipituutta painottava arvomatriisin käyttö varsinkin "yli matriisin" -menetelmässä on suositeltavaa. Tukkipuun joutuminen kuitupuuhun estetään tasaisessa arvomatriisissa asettamalla pienimmälle läpimittaluokalle noin 2 - 10 % korkeampi perushinta. Molemmissa jakaumanohjausmenetelmissä arvomatriiseihin pitää eri tukkipuutavaralajeille asettaa selvästi erisuuruiset perushinnat niiden prioriteettien mukaan. Hintamuutosrajan (testissä 5 % ja 8 mk) vaikutus pitää ottaa huomioon niin, että hinnat tukkipuutavaralajien arvomatriisien mukautuessa eivät yllä päällekkäin.

Hyvä tukkijakauman ohjaus edellyttää tarkkaa rungon mittausta ja siihen perustuvaa runkomuodon ennustamista. Ongelmallista on se, että mittalaitteen laskema yliarvio rungon viimeisen tukin pituuden ennusteessa johtaa pakkosahauksien kautta apumittoina käytettävien tukkien runsaaseen lukumäärään. Ennustamista hankaloittavat mm. hakkuulaitteen "peruuttaminen" karsinnassa sekä leimikon sisäinen ja leimikoiden välinen suuri vaihtelu runkomuodossa. Muun muassa näitä asioita tutkitaan jatkossa projektissa Mittaustarkkuus tuotannon suunnittelun kannalta.

Jakaumanohjauksen vaikutus apteraukseen ja hakkuutyöhön oli kuljettajien mukaan myönteinen. Tukkiisuuden hyväksikäyttö oli kuljettajien mukaan hyvää. Kuljettajat totesivat jakaumanohjauksen nopeuttavan ja helpottavan apterausta arvoapteraukseen verrattuna. Lisäksi rungon jakaminen eri tavaralajeihin onnistui kiitettävästi molemmilla menetelmillä ja mittalaitteilla.

7 APTEERAUKSEN OHJAUSTIEDOSTOJEN LAADINTA

Simulointitestiä ja käytännön apteerausohjaustestiä perusteella voidaan todeta, että samalla arvomatriisilla ja tavoitejakaumalla voidaan hakata erilaisissa leimikoissa ongelmitta. Silloin kokonaisuus on hyvin hallinnassa, koska eri hakkuukoneissa ei tehdä yllättäviä muutoksia apteeraustiedostoihin. Jos leimikot pysyvät kutakuinkin samanlaisina, ei sahalle toimitettavien tukkien läpimittajakauma muutu. Tämä on näkynyt myös käytännössä sahojen seuranta-aineistoista, joissa sahatukkien läpimittajakauma on pysynyt stabiilina. Tukkiä pituusjakaumaa pystytään ohjaamaan erittäin hyvin hakkuukoneiden jakauma-apteerauksella. Pituusjakauman toteutumista pystytään simuloimaan hakkuukonesimulaattoreilla. Apuna on myös ohjauksesta vastaavan henkilön ammattitaito ja paikallistuntemus.

Apteerauksen ohjaustiedostojen laadinnassa on nykyisin käytössä periaatteessa kaksi toimintatapaa: tiedostojen laadinta konttorilla esimiehen toimesta tai hakkuukoneella hakkuukonekuljettajan toimesta.

7.1 Tiedoston laadinta kuljettajan toimesta

Nykyisin useimmiten hakkuukoneen kuljettaja tekee apteerauksen ohjaustiedoston. Kun jakaumatavoite muuttuu, hakkuukoneen kuljettaja muuttaa esimieheltä tai tuotantolaitokselta tulleen tiedon perusteella ohjaustietoja siten, että jakauma toteutuisi paremmin. Ongelmallisimmaksi on havaittu arvomatriisin muuttaminen, koska tehtyjen muutosten vaikutuksia kokonaisjakaumaan on hankalaa arvioida ilman hakkuukonesimulaattorilla tehtyä koetta. Tätä ongelmaa voidaan vähentää tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella. Arvomatriisi voidaan pitää jatkuvasti samanlaisena, ellei tuotantolaitoksen kielletyt- ja ns. apumitat muutu. Näiden muuttaminen arvomatriisiin on varsin yksinkertaista (taulukko 5). Pölkytyksen ohjaukseen kannattaa käyttää tavoitejakaumaa.

Taulukon esimerkissä apumittoja ovat 430 cm:n tukki läpimittaluokissa 240 ja 280. Kiellettyjä mittoja ovat 430 cm:n tukki läpimittaluokissa 320 ja 360. Tavoitejakaumassa sekä kielletyillä että apumitoilla on arvona 0. Arvomatriisiin merkitään apumitoille selvästi perustasoa pienempi arvo, esim. 100. Tällöin automatiikka sallii pölkytyksen teon, vaikka tavoite onkin nolla. Kiellettyjen ja apumittojen esittämisessä on toistaiseksi mittalaitokohtaisia eroja, jotka tulisi poistaa ohjauksen yksinkertaistamiseksi. Yhtenäinen esitystapa voisi olla taulukon esimerkin kaltainen.

TAULUKKO 5 Kiellettyjen ja apumittojen määrittely tavoitejakaumaan ja arvomatriisiin

Arvomatriisi						Tavoitejakauma,%					
	43	46	49	52	55		43	46	49	52	55
160	300	300	300	300	300	160	5	10	10	15	10
200	300	300	300	300	300	200	2	3	4	4	3
240	100	300	300	300	300	240	0	2	3	3	3
280	100	300	300	300	300	280	0	2	2	2	2
320	0	300	300	300	300	320	0	2	2	2	2
360	0	300	300	300	300	360	0	1	2	2	2

Vaikka yllä esitetty tapa yksinkertaistaa apterauksen ohjaustiedostojen tekoa, ei silti ole perusteltua siirtää sitä hakkuukoneen kuljettajille. Tavoitejakauman syöttämistä ei ole järkevää tehdä kussakin koneessa erikseen, sillä se vaatii paljon aikaa ja sisältää virhemahdollisuuksia. Kun vielä kuljettajien motivointi APT-tiedostoa testaaviin simuloointeihin ja pölkkyjakauman seurantaan lienee hankalaa, ei jakaumanohjausta voitane delegoida ensisijaisesti kuljettajien tehtäväksi.

7.2 Tiedoston laadinta esimiehen toimesta

Erällä piireillä/hankinta-alueilla esimiehet laativat apterauksen ohjaustiedostoja hakkuukoneille. Ruotsissa tämä on käytössä hyvin yleisesti. Esimiehen tekemällä apterauksen ohjaustiedostolla on mahdollista saada usean hakkuukoneen yhteinen tulos hallintaan, mikäli siihen liitetään riittävä tuotannon seuranta ja tarvittaessa tapahtuva tavoitejakaumien säätö.

Jakaumatavoitteen muuttuessa esimiehen tulee tällöin korjata jakaumatavoite tiedostoon. Arvomatriisiin ei tarvitse puuttua, elleivät apumitat ja kielletyt mitat muutu. Nykyisillä apterauksen ohjausohjelmistoilla APT-tiedoston laadinta on jo varsin helppoa. Samalla ohjelmalla on mahdollista hallita jopa useaa konemerkkiä. Ohjaus vaatii asiaan paneutumista ja opiskelua, eikä ohjausta ole järkevää viedä jokaisen esimiehen tehtäväksi. Sen sijaan APT-tiedostoja voitaisiin tehdä keskitetysti useaa konetta varten esim. piirissä tai hankinta-alueessa.

Tässä toimintamallissa leimikosta hakattavia puutavaralajeja ei tarvitse päättää vielä etukäteen. Kulloinkin käytettävät puutavaralajit voidaan helposti valita kuljettajan toimesta vasta leimikolla esimiehen ohjeiden ja leimikon ominaisuuksien perusteella. APT-tiedostoa voidaan pitää samansisältöisenä esim. yhden kuukauden ajan, mutta puutavaralajeista otetaan käyttöön vain ne, joita kulloinkin hakataan.

7.3 Leimikon ominaisuuksien huomioonotto

Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että yhtä tavoitejakaumaa voi käyttää kaikilla leimikoilla. On kuitenkin esitetty mielipiteitä, joiden mukaan runkojen ominaisuudet vaihtelisivat jo piirin sisällä niin paljon, että esim. hakkuukoneen kuljettajan tulisi kyetä ottamaan tämä huomioon. Voimakkaasti kapenevista, oksikkaista rungoista ei saada keskipituudeltaan yhtä pitkää tukkia. Tähän on ehdotettu ratkaisuksi, että hakkuukoneen kuljettaja valitsisi sen tavoitejakauman, joka sopisi leimikkoon hyvin. Lyhyempiä tukkia tavoittelevalla tavoitejakaumalla hakkuukoneen automatiikka ei lähde tavoittelemaan liian pitkää tukkia voimakkaasti kapenevasta rungosta. Silloin kuljettaja ei joudu korjaamaan koneen apteerausehdotusta. Tämä on nähty etuna, joka tulisi tavoitejakaumien säätämisestä leimikko-kohtaisesti.

Tässä menettelyssä on ongelmana kokonaisuuden hallinta. Hakkuukoneen kuljettajan luokittelutapa on subjektiivinen ja hankalasti kontrolloitavissa. Piirin eri osissa "erittäin kapeneva runkomuoto" saattaa tarkoittaa käytännössä eri asiaa. Kun leimikoista ei ole olemassa tarkkaa ennakkotietoa, ei voida myöskään arvioida, millaisia tavoitejakaumia hakkuukoneen kuljettajat laativat. Koko tuotantolaitoksen kannalta pölkkyjakauma saattaa muodostua hankalasti ohjattavaksi.

Mikäli apteerauksen ohjaustiedostossa halutaan ottaa huomioon leimikon ominaisuuksia, esim. oksikkuutta tai vähäistä kapenemista, kannattaa se ohjata tavoitejakaumalla. Arvomatriisi voidaan silloinkin pitää samanlaisena. Tavoitejakaumien laatiminen leimikko- tai leimikkotyypikohtaisesti on eräs vaihtoehto jakauman ohjauksen tarkentamiseen. Jotta leimikkokohtaiset tavoitteet olisivat järkeviä kokonaisuuden kannalta, olisi kyettävä arvioimaan erityyppisten leimikoiden osuus jakson aikana hakattavasta puumäärästä ja jakamaan se tavoitteiksi ns. tyyppi-leimikoille. Kokonaisuutta huomioonottavaa, leimikkokohtaista jakaumatavoitetta ei voine laatia ilman ennakkotietoa puumäärästä ja puustotunnuksista. Samaten on ongelmallista laatia tiedosto hakkuukoneessa.

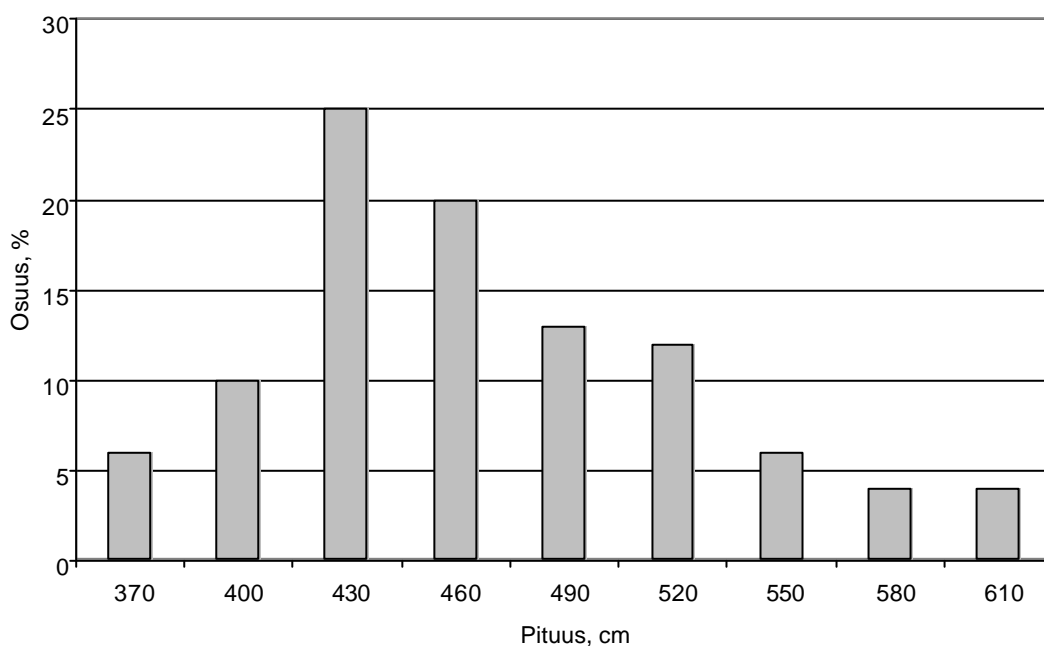
Mikäli katsotaan perustelluksi siirtyä tämäntyyppiseen ohjaukseen, tulee apteerauksen ohjaus kyseeseen lähinnä usean koneketjun yrittäjillä, joilla on sekä valmiuksia että kiinnostusta apteerauksen ohjaukseen perehtymiseen. Tässä toimintamallissa urakoitsijalla on tarvetta alueellisten runkopankkien hyödyntämiseen ja toimisto-ohjelmistojen käyttöön ohjaustiedostojen laadinnassa. Tätä toimintamallia käyttöönotettaessa on sovittava mm., milloin pölkkyjakaumaa voidaan pitää tuotantolaitosten kannalta hyväksyttävänä. Olisi myös kyettävä arvioimaan, miten yrittäjät kyetään motivoimaan sekä tukkijakauman säätöön että oman hakkuutyön kannattavuuden maksimointiin.

Toinen vaihtoehto leimikon ominaisuuksien huomioon ottamiseen on laatia tukkitavoitteet erikseen tukin laadun mukaan. Männyllä on ollut eräillä alueilla jo käytössä ABC-tukkiluokittelu. Kukin laatuluokka eli A-, B- ja C-tukki on tällöin oma

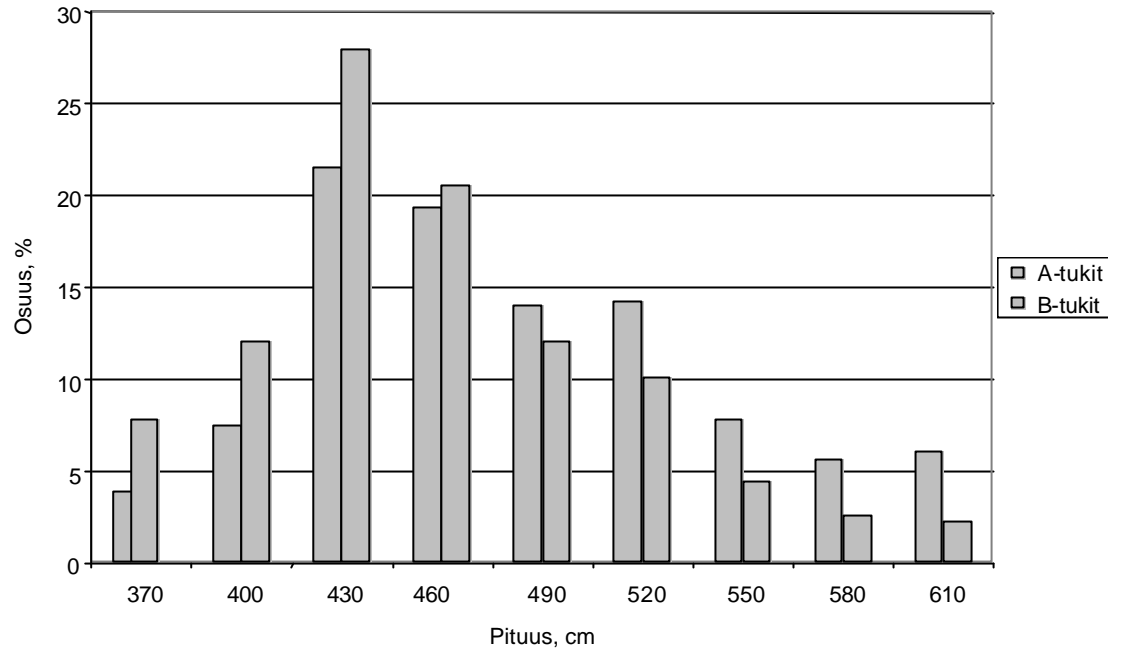
puutavaralajinsa, jolle on laadittu oma arvomatriisi ja mahdollisesti tavoitejakauma. Usein keskipituustavoitteet ovat erilaiset, ja esim. latvatukille asetetaan lyhyempiä pituustavoitteita kuin muille tukkipuutavaralajeille.

Vastaava laatuluokittelu voidaan tehdä myös kuuselle. Tällöin "puusepäntuotteen" ja "rakennuslaadun" tukit käsitellään omana puutavaralajinaan. Niille laaditaan erilliset arvomatriisit ja tavoitejakaumat (kuvat 14 ja 15). Myös kuusella tukkilaatuja voi olla enemmänkin. Esimerkiksi luokittelu "Puusepäntuote", "Normaalitukki", "C-tukki" mahdollistaisi sen, että yleensä käytettäisiin vain "Normaalitukki" puutavaralajia. Jos laatu niin edellyttäisi, voitaisiin käyttää myös lisäpuutavaralajeja.

Tällä menettelyllä hakkuukoneen kuljettajan ei tarvitsisi puuttua tavoitejakaumiin hakkuun alkaessa, vaikka runkomuoto olisikin normaalista poikkeavaa. Rungon käsittelyssä hän valitsisi puutavaralajin (tai rungon laadun). Jos leimikon runkomuoto on huono, valitsee hakkuukoneen kuljettaja useammin "C-tukkeja". Koska näille laadittu tavoitejakauma painottuu lyhyempiin tukkeihin, ei "normaalitukilla" ja "puusepäntukilla" oleva pitkä keskipituustavoite haittaa jakauman saavuttamista. Laadultaisten tavoitejakaumien laadinnassa kannattaa käyttää apuna sahan tukkimittarin tuloksia, joissa varsin usein myös kuusitukit on lajiteltu – pituus- ja läpimittaluokkien lisäksi – myös laatuluokkiin.



Kuva 14. Tukkien pituuden tavoitejakauma.



Kuva 15. Tavoitejakauma, kun tukit on jaettu laatuluokkiin A ja B.

Tämän toimintamallin etuna on myös se, että pystytään tarkemmin seuraamaan alueellisia eroja tukkilaadussa. Käytännössä on havaittu, että esim. käytettäessä männynllä ABC-tukkiluokkia, niiden keskinäiset prosentiosuudet vakiintuvat jo piiritasolla. Tukkijakauman ohjauksesta vastaavalla henkilöllä on siten mahdollisuus ennustaa, miten tehtaalta saatu tavoitejakauma kannattaa jakaa ABC-laaduille, ellei tavoite tule jo suoraan näihin laatuluokkiin eriteltynä.

8 PÄÄTELMÄT

Tutkimuksessa selvitettiin jakaumanohjauksen toteutumista erilaisissa olosuhteissa ja apterauksen ohjaustiedoilla. Työssä selvitettiin tavoitetta vastaavan jakauman toteuttamismahdollisuuksia ja keinoja toimittaa apterauksen ohjaustiedosto hakkuukoneeseen. Työssä selvitettiin myös tukkien kapenemista ja tukkiosuutta eri olosuhteissa.

Korjattavan leimikon runkojen muotoon ei voida enää hakkuun yhteydessä vaikuttaa. Tukkien laatuun voidaan vaikuttaa rungon katkaisukohtien valinnalla eli apterauksella. Leimikoista saadaan suurin tukkisaanto, jos hakkuukoneessa käytetään apteraustuloksen laskennassa todellista tilavuutta. Jakauma-aste on myös korkea, mutta tukkien viimeisten metrien kapeneminen on muita arvotustapoja suurempi.

Myös laskenta tukkien teknisellä tilavuudella osoittautui varsin hyväksi menetelmäksi. Tämän käyttöä puoltaa se, että se on laskennallisesti nopeampi kuin todellista tilavuutta käyttävä laskenta. Teknistä tilavuutta käyttämällä tavoitejakaumat saavutetaan hyvin. Runkojen viimeisten metrien kapeneminen on selvästi todellisella tilavuudella tehtyjä simuloitteja pienempää, ja tukkisaanto on pienentynyt hieman. Jos tukin latvan vähentyneen kapenemisen katsotaan korvaavan tukkiosuuden pituuden menetyksen, voidaan teknisellä tilavuudella tehtyä rungon arvotusta pitää perusteltuna vaihtoehtona. Tutkimuksessa ei selvitetty vähentyvän kapenemisen ja tukkiosuuden lyhentymisen yhteisvaikutusta taloudelliseen tulokseen.

Arvoapteerauksella ja jakauma-apteerauksella tehtyjä simuloitteja verrattaessa havaittiin tukkien viimeisien metrien kapenemisen eroavan ainoastaan teknisellä tilavuudella tehdyillä simuloinneilla. Kapeneminen on keskimäärin 0,4 mm/m suurempaa jakauma-apteerauksella. Jakauma-apteerauksella arvomatriisien vaikutusta tukkien viimeisten metrien kapenemiseen ei havaittu. Tavoitejakaumilla ei havaittu olevan vaikutusta tukkien kapenemiseen tai tukkisaantoon.

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan suositella, että jakauma-apteerauksessa käytettäisiin joko tasaista tai keskipituutta painottavaa arvomatriisia (liite 1). Nämä arvomatriisit toimivat hyvin jakaumatavoitteesta riippumatta. Arvomatriisi voidaan pitää pitemmän jakson ajan samanlaisena. Pölkytystä voidaan ohjata yksinkertaisesti jakaumatavoitetta muuttamalla. Tehdyissä käytännön kokeissa todettiin, että jakaumanohjausta käyttämällä päästiin lähelle tavoitejakaumaa. Leimikkokohtaista räätälöintiä ei tarvittu, vaan kaikilla leimikoilla pystyttiin käyttämään samaa APT-tiedostoa.

Arvomatriisien säädöstä tullaan vähitellen siirtymään jakaumatavoitteen avulla tapahtuvaan ohjaukseen. Apteerauksen ohjaustiedoston laadinta on järkevää toteuttaa esimiehen toimesta esim. hankinta-alueen tasolla. Sama APT-tiedosto voidaan pitää hakkuukoneella koko ohjausjakson ajan, ellei muutoksia leimikkorakenteessa ole.

Koska arvomatriisien säätö ei ole tarpeellista, on ohjaustiedoston laadinnassa määriteltävä puutavaralajin sisäiset jakaumatavoitteet. Tässä olennaiseksi tulee tuotantolaitosten tukkijakauman kokonaistilanteen hallinta, jossa on mukana myös tehtaan ja tienvarsivarastojen tukkidimensioitaisten puumäärien seuranta. Kuusitukeilla voidaan ottaa myös tukkien "ABC"-laatuluokat mukaan, jolloin pystytään tarkemmin ottamaan huomioon leimikkokohtaisia ominaisuuksia.

Seurantaan ja ohjaukseen tarvittavia ohjelmia on jo olemassa, mutta niiden tehokasta käyttöönottoa varten tarvitaan vielä koulutusta ja tietojärjestelmän kehittämistä. Apteerauksen ohjauksesta vastaavan henkilön tulee kyetä keskittymään päätoimisesti ohjaustehtäviin ja seurantaan. Tätä varten ohjaus kannattaa keskittää esim. piiri- tai aluetasolle.

Ohjauksen tehostamisen ja yksinkertaistamisen kannalta olisi suotavaa, että hakkuukoneiden mittalaitteiden jakaumanohjauksen periaatteet yhdenmukaistuisivat. Ensisijainen tehtävä on yhdenmukaistaa ohjaustiedot. Tätä työtä tehdään pohjoismaisen hakkuukonetiedonsiirron standardointiryhmässä.

KIRJALLISUUTTA

Vuorenpää, T., Aaltonen, A., Imponen, V. & Lukkarinen, E. 1997.
Tukkijakauman ohjaus. Metsätehon raportti 38. 23.12.1997. Helsinki

Simulointitestissä käytetyt arvomatriisit

Arvomatriisi 1. Tasainen arvomatriisi

	43	46	49	52	55
16	300	300	300	300	300
18	300	300	300	300	300
20	300	300	300	300	300
22	300	300	300	300	300
24	300	300	300	300	300
26	300	300	300	300	300
28	300	300	300	300	300
30	300	300	300	300	300
32	300	300	300	300	300
34	300	300	300	300	300

Arvomatriisi 2. Lievästi pitkiä tukkeja painottava

	43	46	49	52	55
16	291	294	300	306	309
18	291	294	300	306	309
20	291	294	300	306	309
22	294	297	300	303	306
24	294	297	300	303	306
26	294	297	300	303	306
28	297	300	300	300	303
30	297	300	300	300	303
32	297	300	300	300	303
34	297	300	300	300	303

Arvomatriisi 3. Voimakkaasti pitkiä tukkeja painottava

	43	46	49	52	55
16	282	291	300	309	318
18	282	291	300	309	318
20	282	291	300	309	318
22	285	294	300	306	315
24	285	294	300	306	315
26	285	294	300	306	315
28	288	294	300	303	309
30	288	294	300	303	309
32	288	294	300	303	309
34	288	294	300	303	309

Arvomatriisi 4. Keskipitkiä tukkeja painottava

	43	46	49	52	55
16	291	294	300	294	291
18	291	294	300	294	291
20	291	294	300	294	291
22	294	297	300	297	294
24	294	297	300	297	294
26	294	297	300	297	294
28	297	300	300	300	297
30	297	300	300	300	297
32	297	300	300	300	297
34	297	300	300	300	297

Apterauksen ohjaustestissä käytetyt arvo- ja jakaumamatriisit**Kone 1. Kuusitukki, tasainen arvomatriisi**

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
190	310	320	440	440	440	440	440	440	440
211	310	320	400	400	400	400	400	400	400
242	310	320	400	400	400	400	400	400	400
257	310	320	400	400	400	400	400	400	400
279	310	320	400	400	400	400	400	400	400
300	310	320	400	400	400	400	400	400	400
325	310	320	400	400	400	400	400	400	400
342	310	320	400	400	400	400	400	400	400
401						400			
600									

Kone 1. Kuusitukki, jakaumamatriisi, läpimittaluokan sisällä, hintamuutosraja 5 %

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
190	1	1	17	16	15	28	11	4	7
211	1	1	17	16	15	28	11	4	7
242	1	1	18	18	18	18	11	8	7
257	1	1	18	18	18	18	11	8	7
279	1	1	18	18	18	18	11	8	7
300	1	1	18	18	18	18	11	8	7
325	1	1	18	18	18	18	11	8	7
342	1	1	18	18	18	18	11	8	7
401						100			
600									

Kone 1. Lapuan tukki, tasainen arvomatriisi

	370	430	460	490	520	550	580	610
150	280	395	395	395	395	395	395	395
160	280	380	380	380	380	380	380	380
177	280	380	380	380	380	380	380	380
190								

Kone 1. Lapuan tukki, jakaumamatriisi, läpimittaluokan sisällä, hintamuutosraja 5 %

	370	430	460	490	520	550	580	610
150	1	17	18	18	24	11	4	7
160	1	17	18	18	24	11	4	7
177	1	17	16	15	29	11	4	7
190								

Apteerauksen ohjaustestissä käytetyt arvo- ja jakaumamatriisit

Kone 2. Kuusitukki, keskipituutta painottava arvomatriisi

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
211	170	180	215	215	215	230	212	205	208
242	170	180	215	217	218	220	212	210	208
257	170	180	215	217	218	220	212	210	208
279	170	180	215	217	218	220	212	210	208
300	170	180	215	217	218	220	212	210	208
325	170	180	215	217	218	220	212	210	208
342	170	180	215	217	218	220	212	210	208
401						220			
600									

Kone 2. Kuusitukki, jakaumamatriisi, yli matriisin, hintamuutosraja 8 mk

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
211	1	1	56	56	52	88	41	22	26
242	1	1	26	27	27	28	17	13	10
257	1	1	33	35	35	37	21	16	10
279	1	1	25	27	26	28	16	12	9
300	1	1	15	16	16	17	9	7	6
325	1	1	7	7	7	7	4	3	3
342	1	1	7	7	7	7	4	3	3
401						5			
600									

Kone 2. Lapuan tukki, keskipituutta painottava arvomatriisi

	370	430	460	490	520	550	580	610
150	180	219	222	225	228	224	219	220
177	180	223	226	229	232	228	223	224
194	180	227	230	233	236	232	227	228
211								

Kone 2. Lapuan tukki, jakaumamatriisi, yli matriisin, hintamuutosraja 8 mk

	370	430	460	490	520	550	580	610
150	1	98	103	103	134	61	24	37
177	1	38	36	34	63	24	9	14
194	1	40	38	33	75	21	4	8
211								

Apteerauksen ohjaustestin pölkkyjakaumat (laskettuna yhteen kaikista leimikoista)

Kone 1. Kuusitukki, summatiedosto

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
190	69	137	298	271	195	317	183	87	133
211	13	131	214	194	148	205	109	61	92
242	2	59	105	94	88	80	39	18	14
257	2	58	99	99	90	80	54	48	34
279	2	33	51	46	47	43	32	15	14
300	0	21	32	39	35	28	22	12	7
325	0	6	15	16	19	16	10	6	1
342	0	8	16	12	15	13	8	6	4
401	0	0	0	0	1	10	1	0	0
600									

Kone 1. Lapuan tukki, summatiedosto

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
150	53	433	330	261	255	368	182	113	173
160	14	108	123	106	93	149	98	59	70
177	2	49	85	50	34	40	15	3	3
190	6	15	5	3	3	7	2	1	0

Kone 2. Kuusitukki, summatiedosto

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
211	1	42	157	104	145	222	100	20	43
242	0	10	60	48	49	70	20	14	7
257	0	8	59	54	109	83	22	13	0
279	0	5	16	31	31	52	8	1	0
300	0	2	17	18	24	42	3	1	0
325	0	1	2	6	9	24	1	0	0
342	0	1	5	10	9	34	2	0	0
401	0	0	0	0	0	10	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kone 2. Lapuan tukki, summatiedosto

	340	370	430	460	490	520	550	580	610
150	158	650	473	591	604	423	188	117	119
177	0	53	256	154	169	235	33	8	1
194	0	48	190	136	97	459	52	21	35