

Aimo Kirkkala, Lauri Sikanen, Pertti Harstela,  
Tommi Ruha ja Tomi Tarnanen

## Sakkosegmentoitu tavoitejakauma apteeraustuloksen arvioinnissa ja jakauma-asteen laskennassa

### Johdanto

**H**akkuukoneen apteerauksen ohjaamisessa yleistyivät 1990-luvun loppupuolella nk. jakauma-arvoapteeraus, jossa tavoitteena on täyttää tehtaiden raaka-ainetarve ottaen huomioon myös katkotun puutavaran pituus/läpimittajakauma. Jakauma-arvoapteerauksessa sahat toimittavat puunhankintaorganisaatiolle tukkien arvomatriisiin lisäksi tavoitejakauman, joka muodostuu halutuista pituus-läpimittayhdistelmistä ja tukkien lukumäärästä ko. yhdistelmissä. Puunhankintaorganisaatio pyrkii optimoimaan runkojen apteerauksen niin että tukkien toteutunut läpimitta-pituusjakauma noudattelee hyvin paitsi tukkien arvosuhteita myös tavoitejakaumaa.

Jakauma-arvoapteerauksen yleistymisen myötä on kehitetty menetelmiä verrata toisiinsa kahta läpimitta-pituusmatriisia ja testata niiden yhteensopivuutta lasketun testisuuren kautta. Yleisimmin käytössä ollut testisuure on jakauma-aste (Lukkarinen ja Vuorenperä 1997). Jakauma-aste on yksinkertaisesti laskettavissa oleva testisuure, jonka perusteella kahden diskreetin kaksikulotteisen jakauman samankaltaisuutta voidaan testata. Jakauma-aste reagoi hyvin herkästi jakaumissa oleviin poikkeamiin ja käytännön taholta on esitetty argumentteja jakauma-asteen ”epäoikeudenmukaisuudesta” apteerauksen

onnistumista arvioitaessa. Jakauma-aste huononee saman verran aina toteutuneen apteerauksen jakauman frekvenssin poiketessa tavoitteesta mihin tahansa suuntaan. Jos sahan tuotannon kannalta optimaalista jakaumaa pidetään tavoitejakaumana, eivät kaikki poikkeamat tavoitejakaumasta ole saman arvoisia. Tätä ongelmaa voidaan yrittää korjata sakkosegmentoidulla tavoitejakaumalla.

### Tavallinen jakauma-aste

Tavallisen jakauma-asteen laskennassa verrataan toisiinsa kahta diskreettiä kaksikulotteista jakaumaa solu solulta ja tarkastellaan solufrekvenssien erotusta. Huomattavaa on, että jakaumien luokkien lukumäärän on oltava symmetrisiä (taulukot 1a ja 1b).

Tavallinen jakauma-aste lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{jakauma - aste} = 1 - \left( \frac{\text{Summa}|Tavoite - Toteutunut|}{2} \right)$$

Taulukoiden 1a ja 1b jakaumia verrattaessa jakauma-asteeksi tulee 0,6 (= 60 %) seuraavasti:

$$1 - ((4 \times (0,25 - 0,15) + 4 \times (0,10 - 0) + 8 \times (0 - 0))/2) = 1 - (0,8/2) = 0,6$$

**Taulukko 1a.** Sahan tavoitejakauma, eli halutut %-osuudet eri läpimitta-pituusyhdistelmillä olevia pölkkyjä.

Läpimitta, mm	Pituus, cm			
	430	460	490	520
170	25	0	0	0
200	0	25	0	0
230	0	0	25	0
260	0	0	0	25

Sahan toiminnan kannalta siirtymät jakauman soluissa eivät ole samanarvoisia. Pelkästään jakaumastetta tutkittaessa voidaan todeta 60 %:n olevan melko huono tulos sahan toiveiden täyttämässä. Usein sahan tuotannon kannalta löytyy kuitenkin vaihtoehtoisia pituus-läpimittayhdistelmiä, joihin tukkien katkontaa kannattaa ohjata jos juuri haluttu yhdistelmä on sopimaton. Tällöin katkonnan lopputulos voi olla lähes samanarvoinen ensisijaisen tavoitteen kanssa.

### Sakkosegmentoitu tavoitejakauma

Sakkosegmentoinnissa tavoitejakaumaan rajataan yksittäisiä soluja tai alueita, joissa tapahtuva poikkeama tiettyyn raja-arvoon saakka ei pienennä jakauma-astetta. On huomattava, että tämä ei ole sama asia kuin tavoitematriisin tavoitteen kasvattaminen tietyssä solussa. Solun arvo voi pysyä nollassa, jolloin se on selvä viesti siitä että ko. solun pituus-läpimittayhdistelmä ei ole haluttu, mutta kuitenkin sallittu. Esimerkiksi taulukoiden 1a ja 1b tilanteessa olisi luonteva sallia pidempiä tukkeja 200 mm:n läpimittaluokassa, jos se leimikko-olosuhteista johtuen antaa paremman saannon. Jos solu 200/520 olisi matriisin nollasakkosegmentti, olisi jakauma-aste 70 %:

$$(1 - ((4 \times (0,25 - 0,15) + 3 \times (0,10 - 0) + 9 \times (0 - 0)) / 2) = 1 - (0,7 / 2) = 0,7$$

Sakkosegmentoidussa tavoitejakaumassa voidaan myös poikkeaman toleranssiin vaikuttaa. Jos poik-

**Taulukko 1b.** Toteutunut jakauma, eli hakattujen pölkkyjen %-osuudet eri läpimitta-pituusyhdistelmissä.

Läpimitta, mm	Pituus, cm			
	430	460	490	520
170	15	0	10	0
200	0	15	0	10
230	10	0	15	0
260	0	10	0	15

keama tavoitejakaumasta nousee kovin suureksi, voi poikkeamasta silloin tulla kokonaisuuden kannalta haitallinen. Sakkosegmentoinnissa voidaan solun poikkeama tavoitejakaumasta sallia esimerkiksi korkeintaan 5 %:n suuriseksi (toleranssi), 5 %:a suurempi poikkeama alkaa taas pienentää jakaumastetta. Jos taulukoiden 1a ja 1b tapauksessa solun (200/520) sakkotoleranssi olisi 5 % ja solun frekvenssi 10 %, olisi jakauma-aste 65 %:

$$(1 - ((4 \times (0,25 - 0,15) + 1 \times (0,05 - 0) + 3 \times (0,10 - 0) + 8 \times (0 - 0)) / 2) = 1 - (0,75 / 2) = 0,65$$

Edelleen sakkosegmentoinnissa poikkeaman suunta voidaan huomioida. Halutun tavoitteen ylitymiselle tai vältettävän alitukselle voidaan asettaa raja, jonka jälkeen poikkeama on haitallinen ja sen ylitys aiheuttaa jakauma-asteen pienenemisen.

### Sakkosegmentointi hakkuukoneen tietojärjestelmässä

Sakkosegmentoinnin toteuttamisessa käytäntöön on huomioitava tavoiteasettelu ja tulosten seuranta sekä hakkuukoneen toiminta leimikossa. Tavoitteen asettelu ja toimiva seuranta vaativat sakkosegmentointiin liittyvän tiedon välittämisen paikkaan, jossa vertailua tavoitteen ja toteutuman välillä tehdään. Paikkoja vertailuun ovat sekä yhtiön konttori että yksittäinen hakkuukone. Yhtiön kannalta kokonaisuuden seuranta on kaikkein mielenkiintoisin tarkastelukulma. Hyvään lopputulokseen pääsemisessä

hakkuukoneen toiminta on kuitenkin olennaista ja välitön palaute kuljettajalle antaa nopeimman mahdollisen vasteen, jonka perustella ohjausta voidaan tarvittaessa korjata.

Sakkosegmentoinnin tuominen hakkuukoneen ohjausautomaatiikkaan parantaisi toimivuutta merkittävästi yksittäisessä leimikossa. Nykyisellään kone pyrkii hyvässäkin leimikossa toteuttamaan juuri tavoitteen mukaista jakaumaa, vaikka optimaalista olisi jos hyvässä leimikossa pyrittäisiin katkomaan tavoitetta parempaa jakaumaa.

Sakkosegmentointi on mahdollista toteuttaa hakkuukoneen ohjausautomaatiikassa, mikäli sovitaan toimintatapa ja formaatti, jolla tieto välitetään hakkuukoneen ohjausjärjestelmään. Joustavin tapa tiedon välittämiseksi on erillinen matriisi, joka sisältää sovitun informaation soluista, joiden jakaumatavoitteen ylittyminen ei aiheuta kyseisen dimensioon kertymän rajoittamista. Selkein sakkosegmentoinnin toteutustapa sekä seurannan että ohjauksen kannalta on sijoittaa tarvittava tietosisältö hakkuukoneen APT-ohjaustiedostoon, jossa jo nykyisellään välitetään tieto tavoitejakaumasta. Tällöin tieto on käytettävissä sekä seurannassa että ohjauksessa.

### Menetelmän arviointia

Sakkosegmentoidun tavoitejakauman käyttö antaa sahoille mahdollisuuden etukäteen määrittää ne tavoitejakauman alueet, joissa poikkeamat eivät pienennä jakauma-astetta aiheuttomasti. Tavallista jakauma-astetta käytettäessä sahoilla joudutaan jakauma-asteen laskemisen jälkeen käymään jakaumaa läpi usein manuaalisesti solu solulta poikkeamien löytämiseksi. Löydetyn poikkeaman ”vakuutus” arvioidaan subjektiivisesti tuotantoon suhteutettuna. Edellisen luvun esimerkki on yksinkertaistettu ja käytetty matriisi on erittäin pieni verrattuna todellisessa puunhankinnassa käytettäviin. Melko yleisesti tavoitejakaumat ovat esimerkiksi  $8 \times 12$  -taulukoita, joiden visuaalinen tarkastelu luotettavasti on työlästä.

Sakkosegmentoidun jakauman käyttö laskennassa on hieman työläämpää kuin perinteisen jakauma-asteen laskenta. Esimerkiksi Excel-taulukkolaskennassa solujen erotusta laskettaessa joudutaan käyttämään ehtolausekkeita, joilla rajataan erotuksen

muodostumista sakkosegmenttien mukaan. Sakkosegmentoitua tavoitejakaumaa käyttämällä saadaan korkeampia jakauma-asteita verrattuna tavallisen tavoitejakauman käyttöön. Näin ollen sakkosegmentointia voidaan käyttää myös ”väärin” jos toiminnan tavoitteeksi asetetaan korkea jakauma-aste. Sakkosegmenttien määrittäminen on nimenomaan tapahduttava sahan (tai muun käyttäjän) jalostusprosessin perusteella eikä esimerkiksi leimikon ominaisuuksien mukaan.

### Kirjallisuus

Lukkarinen, E. & Vuorenpää, T. 1997. Hakkuukoneen apterauksen ohjausta konttorista käsin. *Koneyrittäjä* 1/1997. s. 12–13.

■ Aimo Kirkkala (aimo.kirkkala@upm-kymmene.com) on Yhtyneet Sahat Oy:n hankintapäällikkö. Lauri Sikanen (lauri.sikanen@forest.joensuu.fi) on Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan metsäteknologian lehtori ja Pertti Harstela (pertti.harstela@forest.joensuu.fi) saman tiedekunnan metsäteknologian professori. Tommi Ruha (tommi.ruha@ponse.fi) on Ponsse Oy:n tietojärjestelmäyksikön johtaja. Tomi Tarnanen (tomi.tarnanen@forest.joensuu.fi) on Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan metsäylioppilas.