

Mittaustarkkuuden vaikutus sahan tukkijakauman ohjaukseen

Tuomo Vuorenpää

Metsätehon raportti 34
11.12.1997

Konsortiohanke: A.Ahlström Osakeyhtiö, Aureskoski Oy,
Enso Oyj, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy,
Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta,
Pölkky Oy, UPM-Kymmene Oyj,
Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy

Suomen Puututkimus Oy ja sen osakkaat

Osoite: PL 367 (Tekniikantie 12)
02151 Espoo

Puhelin: (09) 4354 2022

Telekopio (09) 466 695

Asiasanat: hakkuukone, tukkimittari, mittaustarkkuus,
puunhankinta, saha

© Metsäteho Oy

Helsinki 1997

TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 HAKKUUKONEEN MITTAUSTARKKUUS	5
2.1 Pituuden mittaus	6
2.2 Läpimitan mittaus	6
2.3 Hakkuukoneiden mittaustarkkuus käytännössä	7
3 SAHAN TUKKIMITTARIN MITTAUSTARKKUUS	8
3.1 Pituuden mittaus	8
3.2 Läpimitan mittaus	9
4 LÄPIMITAN MITTAUSTARKKUUS	10
5 PITUUDEN MITTAUSTARKKUUS	12
5.1 Yleistä	12
5.2 Tasausvara ja sahatavaran tasaus	13
5.2.1 Tiivistelmä Asikaisen (1968) tutkimuksesta	13
5.2.2 Tiivistelmä Sandbergin (1996) tutkimuksesta	16
5.3 Tukkien katkontatavan vaikutus sydäntavaran saantoon ...	18
5.4 Tasausvaran riippuvuus mittaustarkkuudesta	20
5.4.1 Tasausvarasta tehdyistä tutkimuksista	20
5.4.2 Laskennan kuvaus	20
5.4.3 Minimitasauksen vaikutus keskimääräiseen tasaukseen	21
5.4.4 Katkontaikkunan leveyden vaikutus tasaukseen	21
5.4.5 Pituusmittauksen hajonnan vaikutus keskimääräiseen tasaukseen	22
5.4.6 Laatusauksien vaikutus optimaaliseen tasausvaraan	23
5.5 Tasausvaran taloudellinen merkitys	23
5.5.1 Minimitasauksen taloudellinen merkitys	23
5.5.2 Pituusmittauksen tarkkuuden taloudellinen merkitys	24
5.6 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin	24
6 YHTEENVETO	25
LÄHDEKIRJALLISUUS	26

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty osana Tuotelähtöinen puunhankinta -projektia, jonka omistajina ovat Suomen Puututkimus Oy ja Metsäteho Oy osakkaineen. TEKES on rahoittanut projektia Puun mekaanisen jalostuksen teknologia-ohjelmasta. Projektia on johtanut yhteinen johtoryhmä. Tutkimukset on toteutettu seitsemässä eri osaprojektissa. Aineistojen hankinta on ollut pääosin yhteinen.

Tuotelähtöisessä puunhankinnassa korostuvat teollisuuden asiakaslähtöisyys sekä integroituneen teollisuuden puuraaka-aineen tarkempi prosessiohjaus kannattavuuden mukaan. Tuotelähtöinen puunhankinta -projektissa on kehitetty hakkuukoneryhmän sekä varannon ohjauksen toimintamalleja.

Tämän Hakkuukoneryhmän ohjaus -osaprojektin raportin pääsisältö on ollut selvittää hakkuukoneiden mittatarkkuuden merkitys tukkijakauman ohjauksessa. Työ liittyy läheisesti tilausohjautuvien sahojen tuotannonohjaukseen, jossa sahat tilaavat tarkat tukkierittelyt puunhankintaorganisaatiolta. Työllä on yhteyksiä myös Hakkuukoneapteerauksen kehittäminen -projektiin, sillä mittaustarkkuuden parantaminen on eräs hakkuukoneiden kehittämiskohde.

Helsingissä 11.12.1997

Tuomo Vuorenpää

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin mittaustarkkuuden merkitystä sahan tukkijakauman ohjauksessa. Aiemmin ilmestyneestä kirjallisuudesta laadittiin tiivistelmiä. Tutkimuksen toisessa osassa laskettiin pituuden ja läpimitan mittaustarkkuuden merkitystä tukkijakauman ohjaukseen ja etsittiin keinoja sen huomioon ottamiseksi käytännössä.

Referoiduissa tutkimuksissa hakkuukoneet ja tukkimittarit ovat mitanneet tukkien läpimittaa ja pituutta käytännössä yhtä tarkasti. Tärkein tukkilajittelun peruste on tukin läpimitta. Läpimitan tarkka mittausta on sen vuoksi erittäin tärkeää. Tilausohjautuvassa tukkijakauman ohjauksessa nykyinen läpimitan mittaustarkkuus riittää siihen, että tukkiluokkien minimileveys on 15 – 20 mm. Tätä kapeammilla tukkiluokilla suuri osuus tukkiluokkaan halutuista tukeista joutuu viereisiin läpimittaluokkiin. Mikäli joudutaan käyttämään tätä kapeampia tukkiluokkia, kannattaa vierekkäisten läpimittaluokkien tukkien tavoitejakaumat tukkipituuksille asettaa mahdollisimman samanlaisiksi. Tällä menettelyllä pystytään vähentämään läpimitan mittaus-hajonnan merkitystä.

Sahan tukkimittarin läpimitan mittauksen hajonta tulisi ottaa huomioon myös sahauksen suunnittelussa apuvälineenä käytettävissä sahaussimulaattoreissa. Mikäli sahan tukkimittari ei ole tarkka, kannattaa sahauksessa välttää liian tiukkoja asetteita.

Tasausvarasta tehdyissä tutkimuksissa tärkeäksi tekijäksi on nähty laadukas apteraus. On kuitenkin todettu, että liian lyhyt tasausvara aiheuttaa enemmän kustannuksia kuin liian pitkä. Metsätehossa laaditun laskentamallin avulla todettiin, että sydäntavaran minimitasaus ratkaisee pääosin sen, miten pitkää tasausvaraa tulee käyttää. Sen vuoksi sahalla toteutuvaan minimitasaukseen tulisikin kiinnittää jatkuvasti huomiota.

Myös tukkien pituusmittauksen tarkkuus vaikuttaa sydäntavaralle tehtävään tasaukseen. Pituuden mittatarkkuutta parantamalla pystytään lyhentämään tasausvaraa ja keskimääräistä tasausta. Tutkimuksessa esitelty laskentamenetelmä sopii tasausvaran valinnan apuvälineeksi.

Tukkien pituuden mittaustarkkuus riittää asiakasohjautuvaan sahatavara-tuotantoon. Tukkijakauman ohjauksen kannalta hankalampaa on hakattavissa olevien leimikoitten järeydestä riippuvan läpimittajakauman ohjaaminen halluttuun suuntaan. Mittaustarkkuuden kannalta ongelmallista on se, että mittausvirheet eivät kompensoidu, vaan väärään läpimittaluokkaan apteerattu tai lajiteltu tukki aiheuttaa aina tuottojen menetyksiä. Läpimitan mittauksen tarkentaminen antaa mahdollisuuksia tarkempaan asetteiden valintaan ja kapeampiin tukkiluokkiin.

1 JOHDANTO

Sahoille toimitettavat tukit hakataan nykyisin lähes poikkeuksetta yksioteharvestereilla. Hakkuukoneen mittalaitteen esittämien mittaustulosten ja hakkuukoneen apteerausautomaatiikan avulla hakkuukoneen kuljettaja tekee apteerauspäätöksen, joka määrää sahalle toimitettavan tukin geometriset ominaisuudet ja vaikuttaa vasta sahauksen jälkeen todennettavissa olevaan sahatavaroiden laatuun.

Sahauksen kannalta tukkien pituuden ohella tärkeä mitattava kriteeri on läpimitta. Sahalla tukit lajitellaan läpimitan perusteella tukkiluokkiin. Läpimittaluokituksen tarkentajana käytetään eräiden sahojen tukkilajittelussa myös tukkien pituutta, kapenemista tai lenkoutta. Kutakin tukkiluokkaa kohti saha käyttää yhtä tai useampaa asetetta. Tukkiluokkien rajojen sekä asetteen määrittäminen ovat sahan tuotannonohjaajan tärkeitä päätöksiä, jotka määrittävät sahan taloudellista tulosta.

Sahatavaran laatu ja arvo riippuvat suurelta osin sahalle toimitettujen tukkien ominaisuuksista. Jalostuksessa ei juuri pystytä korjaamaan apteerauksessa, kuljetuksessa tai varastoinnissa tehtyjä virheitä. Leimikoiden oston ja laadukkaan apteerauksen ohella mittaustarkkuus on osoittautunut merkittäväksi tukkijakauman hallintaan vaikuttavaksi tekijäksi. Puukaupallisessa mielessä nykyinen tilavuuden mittaustarkkuus on riittävän hyvä, mutta tukkijakauman ohjauksen kannalta tärkeää on myös tukkien pituuden ja läpimitan mittauksen tarkkuus. Pituuden ja läpimitan mittausrvirheet aiheuttavat sen, että kaikkia ohjausmahdollisuuksia ei kyetä hyödyntämään ja joudutaan käyttämään varmuusmarginaaleja. Hakkuukonemittauksen ohella myös sahan tukkimittauksissa on mittausrvirheitä, jotka hankaloittavat tilausohjautuvan toimintamallin toteuttamista.

Sekä hakkuukoneiden että tukkimittareiden mittaustarkkuutta on selvitetty useissa tutkimuksissa. Samaten on tietoa tukkilajittelusta ja tasausvarasta. Tässä raportissa esitetään yhteenveto eräistä julkaistuista tutkimuksista ja todetaan nykyisen mittaustarkkuuden asettamat rajoitukset tukkijakauman ohjauksen kehittämiseksi.

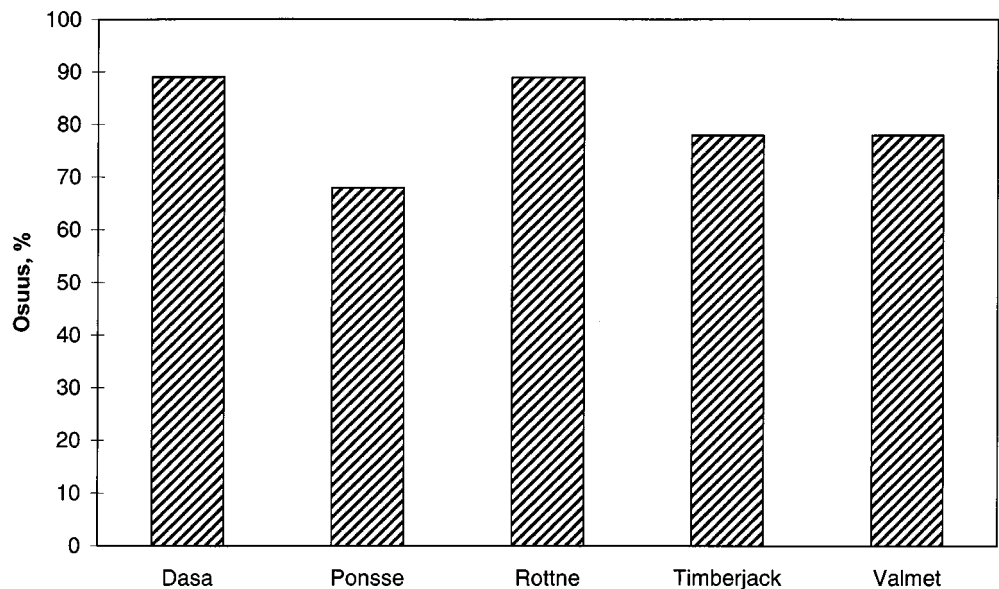
2 HAKKUUKONEEN MITTAUSTARKKUUS

Hakkuukone mittaa pölkkyjen läpimittaa joko vetotelien tai karsintaterien kulmia tunnistamalla. Pölkyn pituus mitataan monitoimiosaan asennetulla pituusmittarullalla. Pölkkyjen tilavuuden mittausta tapahtuu noin kymmenen senttimetrin pituisissa pätkissä, joiden tilavuus lasketaan mitattujen läpimitta- ja pituushavaintojen avulla joko lieriön tai katkaistun kartion kaavalla.

Hyvä pituuden mittaustarkkuus on tärkeää lähes kaikilla sahoilla. Läpimitan mittaustarkkuuden merkitys korostuu, mikäli sahalla on asiakaskohtaisia erikoistilauksia, jotka edellyttävät intensiivistä tukkijakauman ohjausta.

2.1 Pituuden mittaus

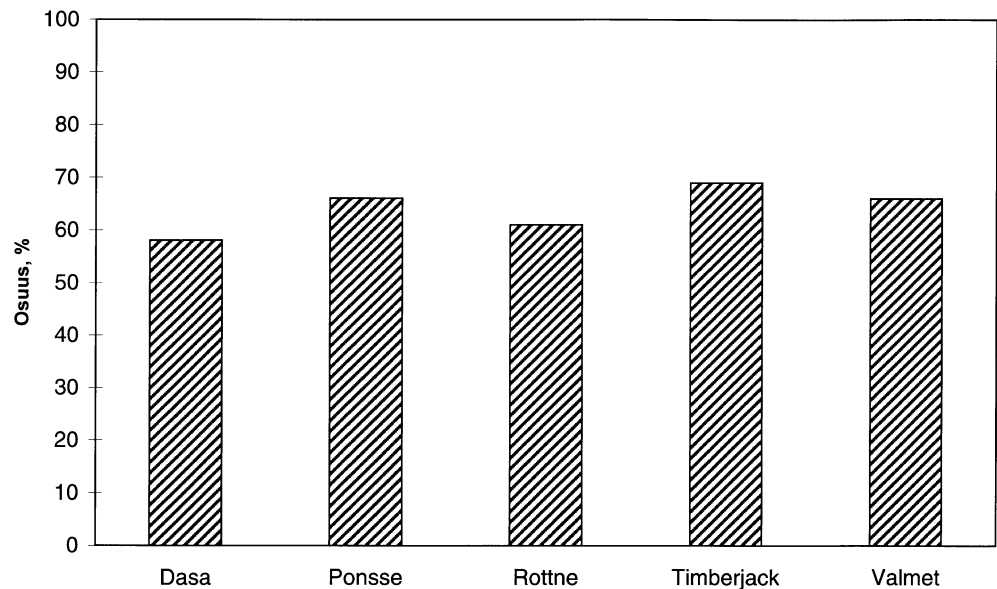
Halisen (1987) mukaan hakkuukoneiden katkontatarkkuutta voidaan pitää hyväksyttävänä, jos vähintään 70 % tukeista on katkottu ± 3 cm:n tarkkuudella ja 90 % ± 5 cm:n tarkkuudella. Viimeisimmän tutkimuksen hakkuukoneen mittatarkkuudesta ovat tehneet Sondell ja von Essen (1996). Mittalaitteet olivat Rottne hakkuukone Dasa 380, Ponsse Opti, Rottne DSP 4000, Timberjack 3000 ja Valmet 2000. Tutkitut laitteet täyttävät Halisen (1987) esittämän mittaustarkkuusvaatimuksen hyvin. Ruotsissa laadituissa mittaustarkkuusvaatimuksissa 90 % tukeista tulee olla 0–+5 cm:n sisällä (Sondell ja Essen 1996). Parhaimmillaan hakkukoneet ovat saavuttaneet tämän tarkkuustason.



Kuva 1. Hakkuukoneiden mittaustarkkuus pölkkyjen pituuden mittauksessa viimeisimmän tutkimuksen (Sondell ja Essen 1996) perusteella. ± 2 cm:n tarkkuudella mitattujen pölkkyjen osuus (%).

2.2 Lämpimitan mittaus

Eri hakkuukoneiden mittalaitteiden välillä ei ole kovin suuria eroja läpimitan mittauksen tarkkuudessa. Yleisenä vaatimuksena on, että läpimita mitataan ± 2 mm:n tarkkuudella (Halinen 1987). Ruotsin mittaustarkkuussuosituksissa esitetään, että latvatukkien läpimita tulisi mitata ± 6 mm tarkkuudella ja muut tukit ± 4 mm:n tarkkuudella. Mittaustuloksista 90 % tulisi olla näiden rajojen sisällä. Tutkitut hakkuukonemerkit eivät toistaiseksi ole pystyneet esitettyihin tavoitetarkkuuksiin (kuva 2). Koska hakkuukoneiden mittaustarkkuuden paraneminen näyttää viime vuosien aikana tasaantuneen, esitettyjen vaatimusten saavuttaminen edellyttäneekin muutoksia läpimitan mittaukseen. Tarkempaan mittaustulokseen päästäisiin lisäämällä mittausantureiden lukumäärää tai käyttämällä vaihtoehtoisia mittausten menetelmiä (esim. optista mittausta).



Kuva 2. Hakkuukoneiden mittaustarkkuus pölkkyjen läpimitan mittauksessa viimeisimmän tutkimuksen (Sondell ja von Essen 1996) perusteella. ± 4 mm:n tarkkuudella mitattujen pölkkyjen osuus (%).

Myös Metsätehossa on tehty useita tutkimuksia, joissa on selvitetty hakkuukoneiden mittaustarkkuutta. Poikela ja Rieppo (1991) sekä Rieppo (1991, 1992 ja 1993) ovat saaneet sekä pituuden että läpimitan mittaustarkkuudessa vastaavia tuloksia kuin Sondellin ja von Essenin (1996) tutkimuksessa on esitetty. Ruotsissa mittaustarkkuutta ovat selvittäneet myös Berg ja Helgesson (1991 ja 1993) sekä Berg (1992). Myös heidän tutkimuksissaan päädyttiin vastaaviin mittaustarkkuuksiin kuin Sondell ja von Essen (1996) esittivät.

2.3 Hakkuukoneiden mittaustarkkuus käytännössä

Bergin ja Helgessonin (1994) tutkimuksessa hakkuukoneiden mittaustarkkuutta mitattiin satunnaisesti valituilla hakkuukoneilla, jolloin hakkuukonevalmistaja tai kuljettaja ei voinut kalibroida mittalaitetta juuri ennen mittausta. Pituusmittaustarkkuudessa aiemmissa tutkimuksissa oli havaittu, että noin 80 % tukeista oli ± 2 cm:n sisällä. Satunnaisesti valituilla yksioteharvestereilla vastaava luku oli noin 60 %. Kalibrointi vaikuttaa myös läpimitan mittauksessa. Aiemmissa tutkimuksissa oli havaittu, että (2 mm:n sisällä oli lähes 40 % tukeista. Satunnaisesti valituilla koneilla noin 25 % oli ± 2 mm:n sisällä. ± 4 mm:n tarkkuudella vastaava heikennys oli lähes 60 %:sta noin 45 %:iin. Mittaustarkkuustutkimuksissa mittalaitteet kalibroidaan useimmiten ennen tutkimuksen tekoa, joten mittaustarkkuustutkimuksissa saadut tarkkuudet ovat parempia kuin käytännössä.

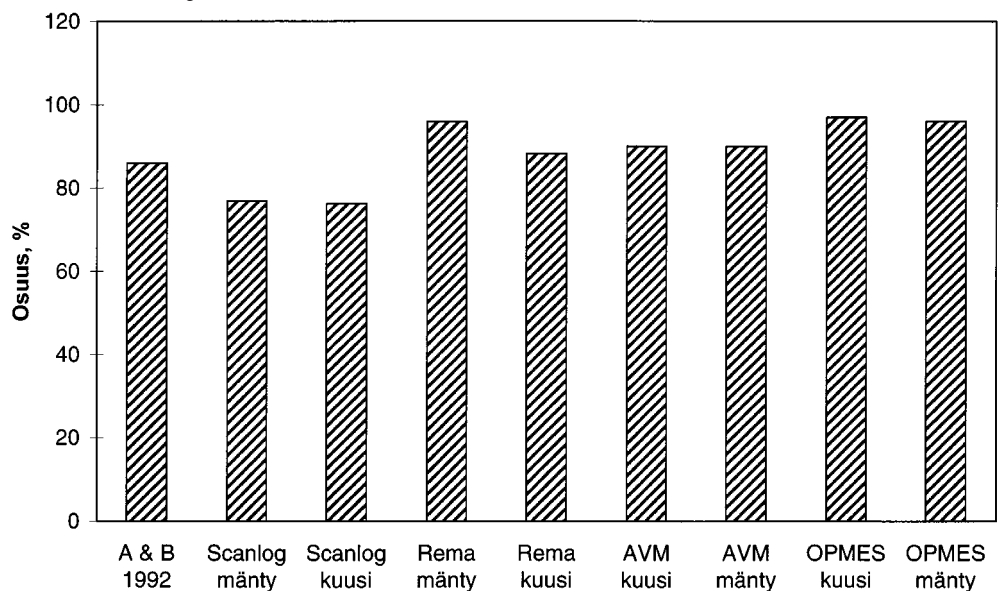
3 SAHAN TUUKIMITTARIN MITTAUSTARKKUUS

Sahatukit mitataan sahojen tukkilajittelussa tukkimittarilla. Tukeista mitataan ainakin läpimitta, mutta lajitteluperusteena voidaan käyttää myös tukin pituutta, kapenemista ja lenkoutta. Osa sahoista käyttää myös silmävaraista laatulajittelua elektronisen mittauksen täydentäjänä. Tukkilajittelun tuloksena jokainen tukki ohjataan tukkiluokkaan sahausta varten. Tukkimittarin tulosta käytetään yleisesti myös tukkien luovutusmittauksena, jonka perusteella tukeista maksetaan puun myyjälle.

Tutkitut tukkimittarit mittaavat tukkien läpimittaa kahdelta tai useammalta suunnalta. Mittareissa ei ole mekaanista kosketusta tukkiin, vaan tukit mitataan lähettämällä ja vastaanottamalla esim. laser- tai infrapunasäteitä tai näkyvää valoa. Pituusmittaus on useimmissa tukkimittareissa toteutettu tukkikuljettimeen asennetulla pulssianturilla, joka antaa tietyn määrän pulsseja kuljettimen kulkemaa matkaa kohti. Rekisteröidyn pulssimäärän perusteella lasketaan tukin pituus. Mittatarkkuudesta tehdyistä raporteista ja aineistoista käytettiin Adolfssonin ja Bergin (1992), Marjomaan (1996) ja Marjomaan ja Suuriniemen (1997) tutkimuksia. Marjomaan (1996) tutkimuksen aineistosta laskettiin Scanlog- ja Rema-mittareiden tulokset. AVM:n ja OPMES:in tulokset perustuvat Marjomaan ja Suuriniemen (1997) aineistoon. Adolfssonin ja Bergin (1992) tutkimuksessa ei mainittu tukkimittarin merkkiä.

3.1 Pituuden mittaus

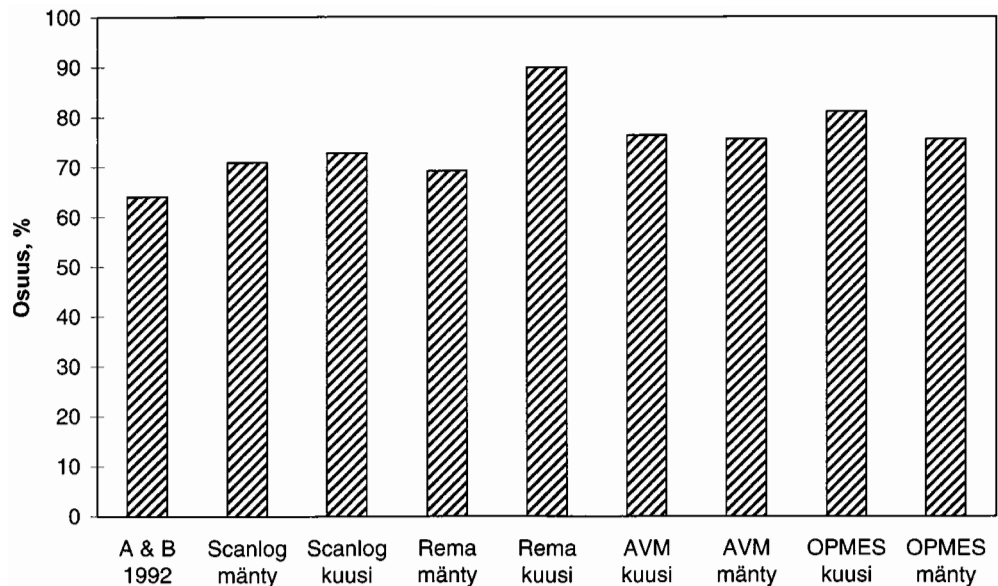
Tutkittujen tukkimittareiden pituusmittauksen tarkkuus oli varsin hyvä. Noin 90 % tukeista on mitattu ± 2 cm:n tarkkuudella. Sahan tukkimittari on näissä tutkimuksissa mitannut tukkien pituuden tarkemmin kuin hakkuukone. Kalibroinnilla on kuitenkin suuri merkitys mittatarkkuuteen, joten siihen tulee kiinnittää jatkuvasti huomiota.



Kuva 3. Sahojen tukkimittarien mittaustarkkuus tukin pituuden mittauksessa aiempien tutkimusten perusteella. ± 2 cm tarkkuudella mitattujen pölkkyjen osuus (%).

3.2 Lämpimitan mittaus

Tehdyissä tutkimuksissa tukkien läpimitan mittaustarkkuus vastaa hakkuukoneen saavuttamaa läpimitan mittaustarkkuutta. Parhaimmillaan yli 80 %:a tukeista on mitattu ± 4 mm:n tarkkuudella (kuva 4). Lämpimitan mittauksen hajonta on ollut uusimmissakin tukkimittareissa noin neljä millimetriä. Mittaustarkkuusselvityksissä ja niiden vertailussa hakkuukoneen mittaus-tuloksiin on tosin ongelmallista se, että mittalaitteet käyttävät erilaisia mit-tausperiaatteita.

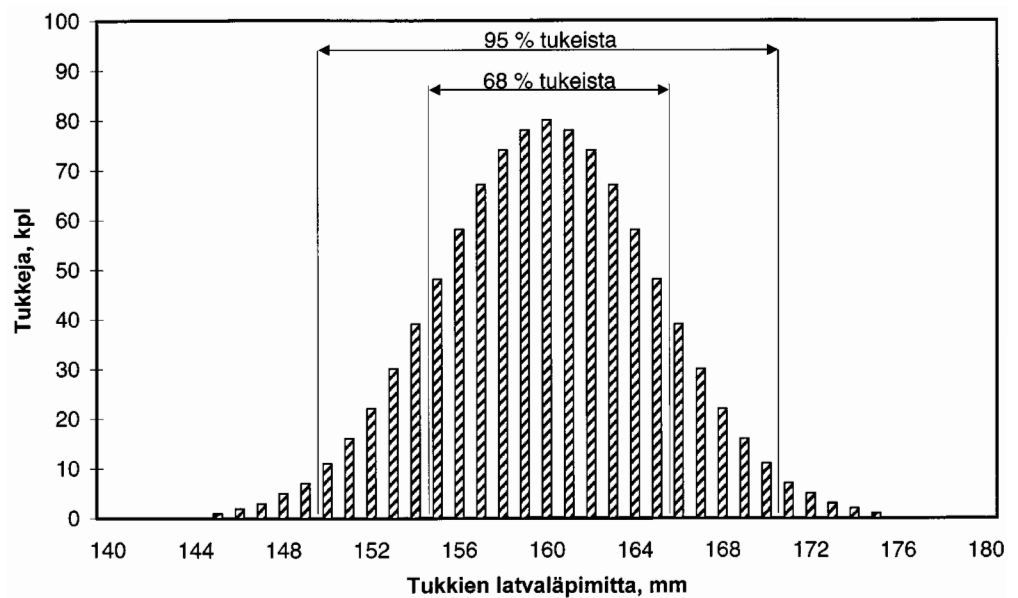


Kuva 4. Sahojen tukkimittarien mittaustarkkuus tukin läpimitan mittauksessa aiempien tutkimusten perusteella. ± 4 mm tarkkuudella mitattujen pölkkyjen osuus (%).

4 LÄPIMITAN MITTAUSTARKKUUS

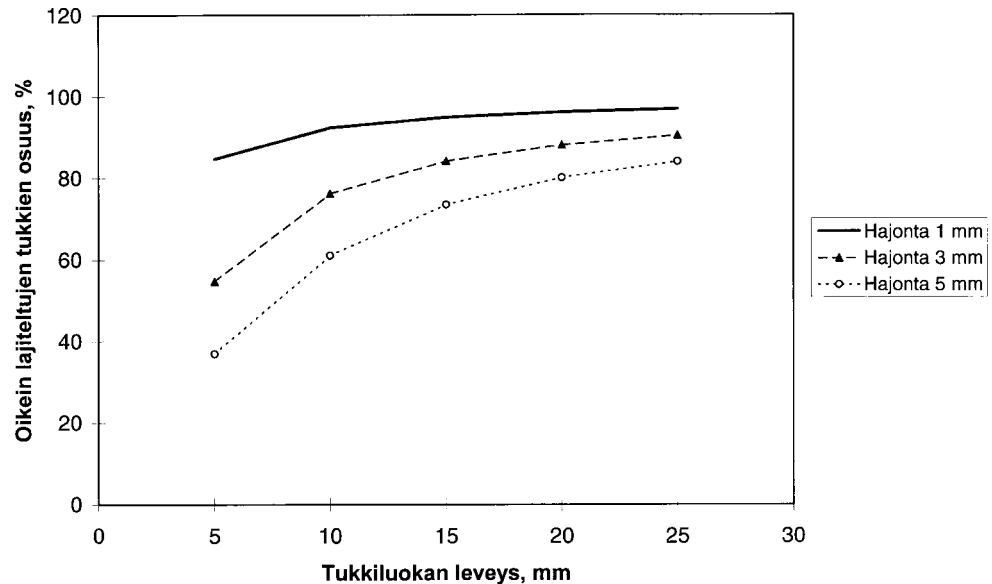
Kullakin tukkien sahauskassa käytettävällä asetteella on laskennallinen optimiläpimitta; sitä suuremmilla ja pienemmillä tukeilla arvosaanto on pienempi kuin optimiläpimittaisilla tukeilla. Mikäli tukit mitataan todellista mitta isommiksi, ne voivat joutua liian suureen tukkiluokkaan. Tällöin tukit joudutaan sahaamaan liian tiukalla asetteella, minkä on havaittu olevan epäedullisempää kuin liian väljällä asetteella sahaaminen. Mikäli sahan tukkilajittelijassa on suuri mittaushajonta, tämä kannattaa ottaa huomioon liian tiukkoja asetteita välttämällä. Jos tukkiluokkaa pitää leventää, on Useniuksen (1986) tutkimuksen perusteella kannattavaa ottaa mukaan 1 mm optimiläpimittaa pienempiä mäntytukkeja vasta sitten, kun mukaan on otettu kaikki 1 – 8 mm asetekohtaista optimia paksummat mäntytukit. Useniuksen tutkimuksessa arvonmenetykset todettiin varsin lineaarisiksi, joten 2 mm optimiläpimittaa pienempiä tukkeja kannattaa ottaa vasta sitten, kun tukkiluokassa on mukana jo kaikki 1 – 16 mm optimia paksummat tukit.

Mittauksissa olevan hajonnan merkitystä pystytään kuvaamaan normaali-jakaumana. Oletetaan, että hakkuukone on valmistanut 1 000 kpl läpimitaltaan 160 mm:n tukkeja. Jos läpimitan mittauksen hajontana on 5 mm, niin hajonnan sisällä eli välillä 155 mm...165 mm on tällöin 68 % tukeista (kuva 5). Kahden hajonnan sisällä eli välillä 150...170 on jo 95 % tukeista. Pienempi hajonta tuottaa kapeamman jakauman, jossa suurempi osa tukeista on lähellä tavoitemittaa.



Kuva 5. Läpimitan mittaushajonnan vaikutus tukkijakaumaan. Todelliset läpimitat 1000 tukista, jotka hakkuukonemittauksen mukaan ovat läpimitaltaan 160 mm. Läpimitan mittaushajonta on 5 mm.

Mitä suurempi on läpimitan mittauksen hajonta, sitä leveämmälle alueelle tukit jakautuvat. Mikäli sahan tukkimittarin läpimitan mittauksen hajonta on 5 mm ja tukkiluokan leveys 5 mm, olisi tähän läpimitaluokkaan lajitelluista tukeista alle 40 % kuulunut läpimitan perusteella tähän tukkiluokkaan (kuva 6). Suuri osa tukeista on joko haluttua isompia tai pienempiä tukkeja. Läpimitan mittauksen hajonnan merkitystä pystytään vähentämään leventämällä tukkiluokkia ja tarkentamalla tukkien mittausta.

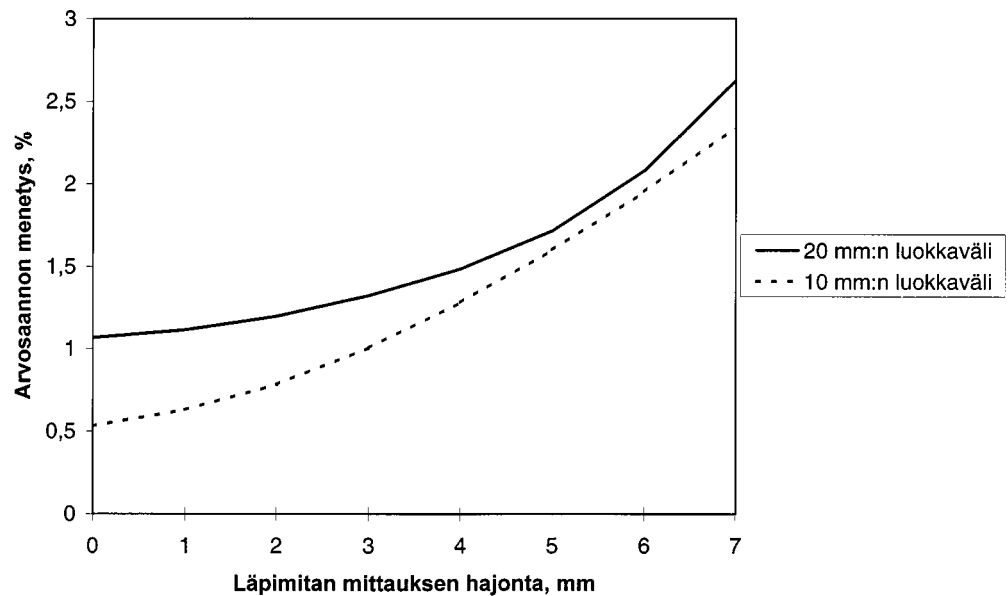


Kuva 6. Oikein lajiteltujen tukkien osuus eri suuruisilla mittaushajonnoilla ja tukkiluokkien leveyksillä.

Kullakin tukkiluokalla on useita asetteita, joita käytetään sahatavaratilausten tuottamiseksi. Kullakin asetteella on optimiläpimitta, jonka kokoisten tukkien sahauksesta saadaan paras kate. Kun tukkiluokan asetteiden käytöt ja tukkijakaumat kuten myös sahauksesta saatavien sahatavaroiden ja sivutuotteiden arvot eroavat toisistaan sahakohtaisesti, on läpimitan mittaushajonnan vaikutus sahan tuottoihin ja katteeseen sahakohtainen. Tukkiluokan leveyden ja tukkien läpimitan mittauksen hajonnan vaikutusta pystytään kuitenkin tarkastelemaan teoreettisesti. Arvonmenetyksfunktiona käytettiin Useniuksen (1986) kuvaajaa, jossa mäntytukkien sahauksen arvonmenetys esitettiin mittausvirheen funktiona. Tukkiluokkaan lajiteltavien tukkien oletettiin jakaantuvan tasaisesti koko tukkiluokan leveydellä. Hajonta noudatti normaalijakaumaa. Laskennassa oletettiin, että tukkiluokkaa kohti käytetään vain yhtä asetetta.

Mikäli jokainen tukki kyettäisiin sahaamaan optimiasetteellaan, ei arvonmenetyksiä tulisi. Tukkilajittelussa tukkiluokkaan joudutaan kuitenkin ottamaan sekä optimiläpimittaa pienempiä että suurempia tukkeja. Läpimitaluokan leventämisen merkitys vähenee läpimitan mittauksen hajonnan kasvessa. Mikäli tukkien läpimitan mittaus on epätarkkaa, ei kapeista läpimitaluokista saada suurta hyötyä. Nykyisellä sahan tukkimittarien läpimitan

mittaushajonnalla, noin neljällä millimetrillä, sahauksessa aiheutuu arvonmenetystä noin 1,5 % (kuva 7). Se vastaa sahattua kuutiometriä kohti noin 8 ja tukkikuutiometriä kohti noin 4 markan arvonmenetystä, mikäli sahauksen arvosaahto on 500 mk sahatavarakuutiometriä kohti.



Kuva 7. Läpimitan mittaustarkkuuden ja tukkiluokan leveyden vaikutus sahauksessa koituvaa arvonmenetykseen (%).

5 PITUUDEN MITTAUSTARKKUUS

5.1 Yleistä

Tukkien pituuden mittaustarkkuutta on pääosin tarkasteltu vain hakkuukoneen ja mittasaksilla mitattujen havaintojen erojen perusteella. Pölkkyjen pituuden mittaustarkkuuden taloudellista merkitystä tuotantolaitoksille pystytään tarkastelemaan, kun analyysissä otetaan huomioon myös sahatavaran tasaus.

Sahatavaran pituuksissa on perinteisesti käytetty 30 cm:n moduulimitoitusta. Vastaavasti sahatukkien pituuksissa käytetään 30 cm:n moduulijakoa. Nykyisessä käytännössä tukkien moduulimitat ovat noin 10 cm pitempiä kuin sahatavaran moduulipituudet. Tämän ns. teoreettisen tasausvaran tarkoituksena on, että sahatavarakappaleesta on mahdollista tasata yhteensä 10 cm sahatavaran päiden tasaamiseksi ja mahdollisten vikaisuuksien, kuten kuivaushalkeamien ja vajasärmäisyyksien poistamiseksi. Tasausvara on pyritty valitsemaan siten, että tukin sahauksesta saadun tuoton ja raaka-ainekustannusten erotus maksimoituu.

Pelkän päiden tasausten ja halkeamien poiston lisäksi joudutaan tekemään myös pitempiä, yli tasausvaran mittaisia sahatavaran tasauksia, joilla pyritään

parantamaan sahatavarakappaleen laatua tai poistamaan vikaisuuksia. Tällaisissa ns. laatutasauksissa tasausvaran merkitys muuttuu, sillä tukkien katkontavaiheessa nykyisillä hakkuukoneiden mittausten menetelmillä tukista sahattavan sahatavaran laatua kyetään ottamaan huomioon ainoastaan silmävaraisesti määritellyllä, tukin ulkomuotoon perustuvalla laadutuksella.

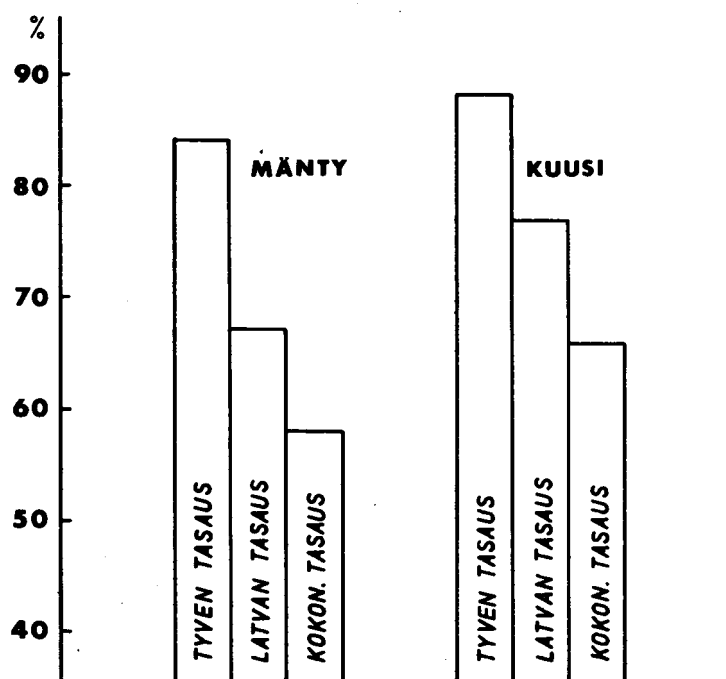
Tasausvaraa ja sahatavaran tasausta on tutkittu useissa eri tutkimuksissa, joista osa on jo osittain vanhentuneita korjuumenetelmien ja lajittelutapojen muutosten takia. Tässä tutkimuksessa esitetään tiivistelmät käyttökelpoisimmista Asikaisen (1968), Häggblomin ja Pennasen (1983) sekä Sandbergin (1996) tutkimuksista.

5.2 Tasausvara ja sahatavaran tasaus

5.2.1 Tiivistelmä Asikaisen (1968) tutkimuksesta

Asikainen (1968) selvitti tutkimuksessaan tukkiin jätetyn tasausvaran ja sydäntavaran tasauksen pituudet yleisissä sahatavaradimensioissa. Tämän perusteella hän teki päätelmiä tasausvaran tarpeellisuudesta ja sen suositeltavasta pituudesta. Erityinen huomio kiinnitettiin siihen, miten usein sydäntavara saatiin talteen tukin pituisena ja kuinka usein laadun parantamiseksi tehtiin yli 30 cm:n mittaisia tasauksia.

Eri dimensioisia mäntysahatavarakappaleita oli yhteensä 1 768 ja kuusia 1 554. Varsinaisina tasauksina pidettiin niitä, joiden syinä olivat vinoleikkaukset ja kuivumishalkeamat. Nämä olivat yleisiä tyven tasauksen syitä. Latvaa tai molempia sahatavaran päitä (= kokonaistasaus) tasattiin vinoleikkausten tai kuivumishalkeamien takia harvemmin kuin tyveä (kuva 8).



Kuva 8. Varsinaisten tasausten esiintymisyleisyys kuusella ja männyllä.

Varsinaisten tasausten lisäksi sydäntavaralle tehdään laatutasauksia, joilla tähdätään sydäntavaran laatuluokan parantamiseen. Laatutasauksia aiheuttavista tekijöistä yleisin oli vajaasärmäisyys, joka etenkin pieniläpimittaisilla tukeilla johti pitkiin tasauksiin (taulukko 1). Osasyynä oli myös se, että 50 x 100 -sahatavaraa sahattiin liian pienistä tukeista, joista ei ollut mahdollista saada täysisärmäistä sahatavara.

TAULUKKO 1. Laatutasauksia aiheuttaneiden syiden osuudet (%) kaikista tasauksista.

Dimensio	Tyven tasaus							
	Mänty				Kuusi			
	Vajaa-särmä	Raken-neviat	Sahaus- ja käs.viat	Yht.	Vajaa-särmä	Raken-neviat	Sahaus- ja käs.viat	Yht.
50 x 100	5,6	6,4	4,6	16,6	5,6	6,9	3,0	15,5
50 x 125	3,8	11,7	5,5	21,0	3,2	8,6	–	11,8
50 x 150	2,3	10,0	0,7	13,0	1,0	7,0	2,3	10,3
50 x 175	3,6	8,2	1,5	13,3	–	–	–	–
63 x 175	4,6	5,8	2,9	13,3	0,2	10,7	–	10,9
	Latvan tasaus							
50 x 100	30,0	10,8	0,6	41,4	46,9	1,9	0,4	49,2
50 x 125	17,6	14,5	0,3	32,4	46,2	1,0	–	47,2
50 x 150	21,0	13,0	1,0	35,0	18,3	3,1	–	21,4
50 x 175	18,6	12,3	0,5	31,4	–	–	–	–
63 x 175	7,8	12,4	1,2	21,4	3,3	3,5	–	6,8

Tasauksen pituudet olivat tyvessä lyhyempiä kuin latvassa. Lyhimmillään tyven tasaus oli dimensiossa 50 x 100. Keskimääräiset tyven varsinaisen tasauksen pituudet olivat männyllä 52 mm ja kuusella 54 mm.

Latvapään tasaus oli toteutettava täysiin sahatavaran moduulimittoihin, jolloin sen tasaus saattaa olla pitempi kuin laatu edellyttäisi. Latvan keskimääräinen tasaus olikin männyllä 98 mm ja kuusella 108 mm. Kuusella lahoviat aiheuttavat sen, että tyvipään tasauksen pituus kasvaa dimension kasvaessa. Latvan tasauksessa pienillä dimensioilla havaittiin puolestaan pitempi tasaus. Kokonaistasauksen keskipituus oli männyllä 145 mm ja kuusella 160 mm.

TAULUKKO 2. Tasauksien keskipituus. Syy 1 = varsinainen tasaus, syy 2 = laatutasaus.

Dimensio	Mänty								
	Tyven tasaus, mm			Latvan tasaus, mm			Kokonaistasaus, mm		
	Syy 1	Syy 2	Kaikki	Syy 1	Syy 2	Kaikki	Syy 1	Syy 2	Kaikki
50 x 100	45	259	81	105	387	222	142	471	303
50 x 125	51	174	77	94	250	144	143	318	221
50 x 150	51	299	87	91	334	177	138	430	264
50 x 175	70	272	99	100	282	157	160	391	256
63 x 175	55	370	97	99	310	145	150	443	242
Painotettu ka., mm	52	271	87	98	330	174	145	423	261
Kuusi									
50 x 100	48	290	85	112	497	299	161	567	384
50 x 125	50	357	86	91	345	209	142	457	295
50 x 150	64	559	114	118	384	175	177	564	289
63 x 175	53	574	106	103	228	113	152	545	219
Painotettu ka., mm	54	432	100	108	437	198	160	553	298

Tasauksen pituus riippuu siis selvästi vikaisuuksista, joita sahatavaralaaduissa ei sallita ja jotka sen vuoksi poistetaan tasauksessa. Asikainen esitti, että tyveä olisi tasattava hyvin varovasti, koska se ratkaisee varsin suuressa määrin kokonaistasauksen onnistumisen. Maasalonen (1987) tapaan myös Asikainen havaitsi, että tasausvaran pituudella ja toteutuneella tasauksella ei ole suoranaista riippuvuutta. Pitkäkin tasausvara saattaa olla riittämätön, kun tukissa olleiden vikaisuuksien tai tuotannossa aiheutuneiden vikojen takia sydäntavaraa laatutasataan.

Tukeissa, joissa tasausvaraa oli alle 75 mm, olivat varsinaiset tasaukset keskimäärin noin 300 mm. Mikäli tukissa oli tasausvaraa yli 75 mm, oli se useimmiten ollut riittävä. Laskennallisesti selvitettiin, mitä vaikuttaa, jos kaikki alle 10 cm:n tasausvarat pystytettiin eliminoimaan. Näitä liian lyhyitä tasausvaroja oli sekä kuusella että männyllä yli 25 %. **Vaikka kaikki liian lyhyet tasausvarat pystytettiin eliminoimaan, vähenisi ylipitkien tasausten osuus männyllä alkuperäisestä 33,8 %:sta vain 25,8 %:iin ja kuusella 42,5 %:sta 31,8 %:iin. Laskennallisesti tarkasteltiin myös vapaasti ilman moduulimittoja katkotuista tukeista sahatun sahatavaran tasausta. Mäntysydäntavaran tasaus osoittautui keskimäärin 38 mm ja kuusitavaran 33 mm pitemmäksi kuin moduulimitaan apteeratuista tukeista sahattujen tavaroiden tasauksen keskipituus. Tämä ero merkitsi 48 dm:n pituisille mänty- ja kuusitukeille 0,8 %:n ja 0,7 %:n tappiota. Vaikutus sahauskokonaistulokseen on tätäkin pienempi, koska näissä laskelmissa ei ole mukana sivu- eikä pintalautoja.**

Laatutasauksessa tasaus tehdään sahatavarakappaleen laatuluokan parantamiseksi vahaasärmän, rakennevirian tai sahaus- ja käsittelyvirian vuoksi. Tasauksen pituus on useissa dimensioissa suurimmillaan silloin, kun tavara tasattuna kuuluu U/S-laatuun. Mikäli laadun parantamiseksi ei olisi suoritettu

tasauksia, olisi U/S-jakauma jäänyt alhaiseksi. Laadun parantamiseksi tehtävä tasaus johtuu yleensä jossain työvaiheessa tehtävästä virheestä, kuten virheellisestä apteerauksesta tai liian tiukasta asetteesta.

Asikaisen mukaan tasausvaran tarkoituksenmukaisuutta on hankalaa ratkaista. Hänen mukaansa sen sijaan voidaan ainoastaan tarkastella edellytyksiä, joiden perusteella tasausvarakäytäntö on sopiva ja toisaalta niitä tekijöitä, jotka kyseenalaistavat tasausvaran käytön.

Tärkeimpinä edellytyksinä Asikainen piti seuraavia seikkoja:

1. Tasausvaran on oltava riittävä. Sopivimmaksi on katsottava 100 – 150 mm.
2. Tasausvaran tarkoituksenmukaisuus korostuu sitä enemmän, mitä useammin tasaukset voidaan tehdä vain vinoleikkausten ja halkeamien poistamiseksi. Tämä puolestaan riippuu suuressa määrin apteerauksen laadusta ja käytettävistä asetteista. Tällaisia tapauksia, joissa tasausvaraa oli 100 – 150 mm, tasaus tehtiin vain vinoleikkausten ja halkeamien poistamiseksi ja tasaus oli pienempi kuin tasausvara, oli mäntyaineistossa 25,8 % ja kuusella 23,5 %.

Tasausvarajärjestelmää kyseenalaistavat:

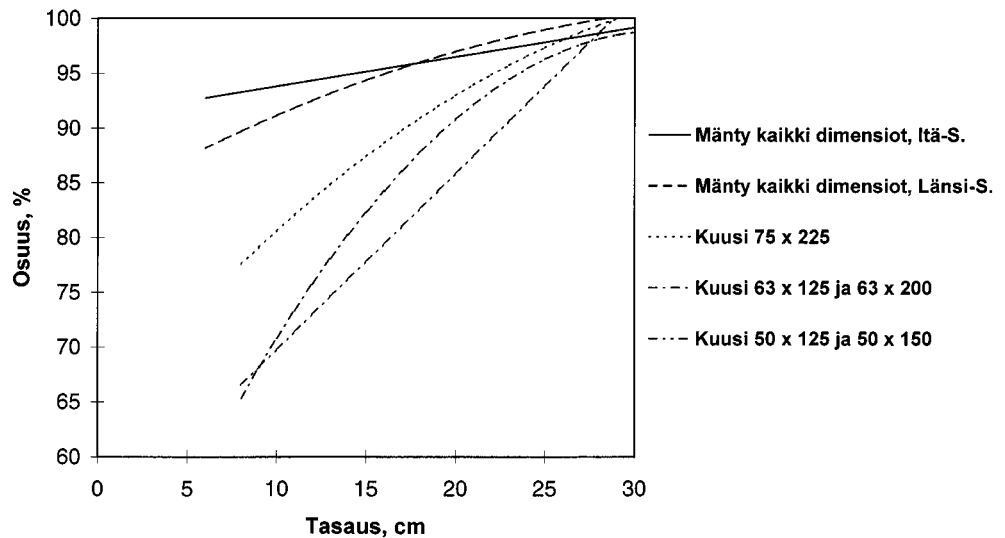
1. Tuskin missään olosuhteissa kyetään kokonaan poistamaan liian lyhyet tasausvarat.
2. Vaikka liian lyhyet tasausvarat kyettäisiin eliminoimaan, jäisi laadun parantamiseen tähtävien ylipitkien tasauksien osuudeksi männyllä 25,8 % ja kuusella 31,8 %.
3. Laatutasauksia aiheuttavien syiden poistamiseen on ilmeisesti varsin pienet edellytykset.

5.2.2 Tiivistelmä Sandbergin (1996) tutkimuksesta

Sandbergin (1996) tutkimuksessa selvitettiin kolmella sahalla sahatavaran tekninen tasausvara. Ensin sydäntavara trimmattiin lyhyillä tasauksilla. Kuusisahatavaralla vähimmäiskatkaisuna käytettiin 8 cm, josta 2 cm latvasta ja 6 cm tyvestä. Männyllä minimikatkaisu oli latvapäästä yksi senttimetri ja tyvipäästä viisi senttimetriä. Mikäli sahatavarakappaleiden päissä esiintyi ensimmäisten tasausten jälkeen teknisiä vikaisuuksia, ne tasattiin seuraavaksi. Tällä katkonnalla poistettiin kuorimakoneesta aiheutunut murtuma, muu lohkeama, vajasärmä, kuivumishalkeama sekä tyvi- ja latvapään oikaisu.

Sahatavaran latvapään katkaisun yleisin syy oli latvapään oikaisu. Vajasärmän johdosta katkaistiin 2 – 10 % sydäntavarakappaleista. Vastaava tarkastelu tehtiin sydäntavaran tyvipäälle. Tyvipään tasauksen suurin yksittäinen syy oli tyvipään oikaisu.

Tutkimuksessa käytetyllä minimitasauksella tavoitemittaista sahatavaraa saatiin 80 %:ssa kappaleista kuusen dimensiossa 75 x 225 ja kuusen muissa dimensioissa 71 %:ssa sahatavarakappaleista (kuva 9). Osuudet tarkoittavat sitä, kuinka suurelle osuudelle (%) sydäntavaroista tämä tasaus riitti tuottamaan teknisesti virheetöntä sahatavaraa. Kun tasauksen pituus kasvaa, yhä suurempi osa sahatavarakappaleista on teknisesti virheetöntä.



Kuva 9. Mänty- ja kuusisydäntavaroiden tasaukset. Kuva kertoo sydäntavarakappaleesta tasattua pituutta (cm) vastaavat osuudet siitä, kuinka suurelle osuudelle (%) sydäntavaroista tämä tasaus riitti tuottamaan teknisesti virheetöntä sahatavaraa.

Teknisten vikaisuuksien poiston jälkeen tasattiin sydäntavarat moduulimitaan. Yhtä moduulia (30 cm) alempaan sahatavarapituuteen jouduttiin lyhentämään 3 – 25 %, yli kahta moduulia 0 – 6 % ja kolmea moduulia tai enemmän 0 – 3 % sahatavarakappaleista (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Moduulitasauksen jälkeen mitatun sydäntavaran pituus verrattuna tukkien pituuteen. I = Itä-Suomen mäntysaha, L = Länsi-Suomen mäntysaha.

	Tasausva- ran sisällä	1 moduuli alempaan	2 moduulia alempaan	Vähintään 3 moduulia alempaan
Ku 75 x 200	80	15	3	1
Ku muut kuin 75 x 200	71	25	3	1
Mä L 50 x 125	96	3	1	
Mä L 50 x 150	83	13	4	
Mä L 63 x 200	84	10	6	
Mä L 75 x 200	76	15	6	3
Mä I 50 x 125	96	2	2	
Mä I 50 x 150	96	4		
Mä I 63 x 200	86	8	4	2
Mä I 75 x 200	88	9	3	

Tutkimuksessa ei otettu huomioon sahatavaran rakennevikojen johdosta tehtäviä tasauksia, joten käytännössä tasaukset ovat yllä olevia arvoja pidempiä.

Lankeavan ja määrämittaisen sahatavaran vertailussa tukeissa ollut tasausvara vaihteli näiden katkontatapojen välillä, eikä selkeitä päätelmiä katkontatapojen edullisuudesta pystytty tekemään. Analyysien perusteella todettiin, että jos halutaan vähintään 90 % teknisesti virheetöntä sahatavaraa, olisi kuusitukin tasausvaran oltava pitempi kuin 10 cm. Kuusen eri dimensioilla ja tukkilaaduilla tasausvaran tulisi olla 13 – 23 cm. Männyllä dimension ja tukkilaadun mukaan jo 5 – 7 cm tasausvaralla saadaan vähintään 90 % teknisesti virheetöntä sahatavaraa. Havaittujen sahaehtoisten erojen vuoksi esitettiin, että sahalaitoksien tulisi selvittää katkaisun tarkkuus ja tuotteiden vaatimat teknisesti virheettömän sahatavaran tasausvarat.

5.3 Tukkien katkontatavan vaikutus sydäntavaran saantoon

Hägglomin ja Pennasen (1983) tutkimuksessa vertailtiin silmävaraisesti ja määrämittaan katkotuista tukeista tehdyn sydäntavaran tasausta. Mäntysydäntavaran tyvitasauksen pituus oli koko aineistossa keskimäärin 5,1 cm ja kuusisydäntavaran 3,5 cm. 1 cm:n trimmausta pitempiä tasauksia oli keskimäärin 18 %:ssa mänty- ja 6 %:ssa kuusisydäntavarakappaleista. Näiden syyinä olivat vinot sahatavaran päät, tukin pään rikkoutumat ja männyllä myös oksat.

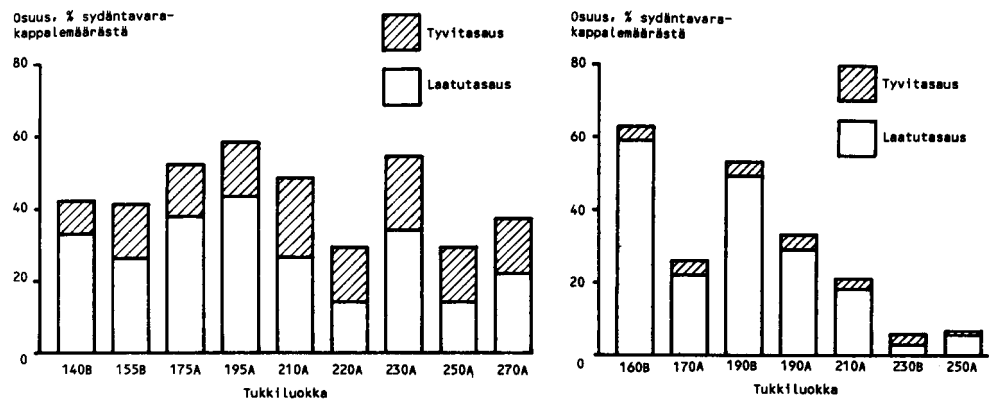
Kuivumishalkeamia oli alle 10 %:ssa sahatavarakappaleita. 10 – 30 cm:n pituisten tasausten osuus oli mäntysydäntavarassa 7 % ja kuusella 2 %. Näitä tehtiin etenkin männyllä kappaleen laadun parantamiseksi.

Tyvitasauksen jälkeen sydäntavara tasattiin latvasta lähimpään moduuliin. Silmävaraisesti katkotuilla tukeilla tämän moduulitasauksen pituus on teoriassa keskimäärin 5 cm pitempi kuin määrämittaan katkotuilla tukeilla. Käytännössä moduulikatkonnan pituus riippuu siitä, miten pitkää sydäntavara on tyvitasauksen jälkeen. Moduulitasauksen keskipituus oli silmävaraisesti katkotuista tukeista tehdyllä mäntysydäntavaralla 3,3 ja kuusella 7,6 cm pitempi kuin määrämittaan katkotulla tavaralla.

Moduulitasauksen jälkeen tehdyn laatutasauksen pääasiallisina syinä olivat männyllä oksat ja kuusella vajaasärmä. Kuivumishalkeamien takia tasauksia tehtiin vain harvoin. Eri katkontatapojen välillä ei todettu eroa laatutasauksen pituudessa. Mitä pitempi moduulitasaus on, sitä varmemmin laatutasaus-ta edellyttävä vika tasataan jo moduulitasauksessa. On myös otettava huomioon, että laatutasauksen tarve vaihtelee tukkiluokittain.

Määrämittaam katkotuista tukeista saatiin 0,4 – 0,9 % enemmän sahataravaa tukkikuutiometriä kohti kuin silmävaraisesti katkotuista tukeista. Katkontatapojen saantoero johtuu pääasiassa moduulitasauksen pituus-erosta, johon taas vaikuttavat tyvitasauksen pituus ja sydäntavarakappaleen alkupituus. Määrämittakatkonnassa saadaan parempi tulos kuin silmävaraisessa katkonnassa, jos tasausvaraa pitempiä tyvitasauksia on vähän.

Käytännössä tyvitasauksen pituuden havaittiin vaihtelevan melkoisesti. Yli 10 cm:n pituisten tyvitasauksen osuus (kuva 10) ratkaisee pitkälti tasausvaran riittävyyden, sillä tällöin käytetään 10 cm:n tasausvara kokonaan ja sydäntavara joudutaan lyhentämään seuraavaan moduuliin.



Kuva 10. Yli 10 cm:n pituisten tyvitasauksen osuus mänty- ja kuusitukeilla.

Tyvitasauksen pituudet ja syyt vaikuttavat merkittävästi määrämittaam katkonnan edullisuuteen. Katkontatapojen ero on jossain määrin sahakohtainen, ja siihen vaikuttavat myös sahausasete, tasausjärjestys ja -menetelmät sekä laatutasauksen määrä ja laatulajittelun perusteet. Vasta lautojen laatuajakauman tarkastelu olisi mahdollistanut tarkemmat päätelmät katkontatapojen edullisuudesta. Erot eivät kuitenkaan ole suuria, ja molemmissa katkontatavoissa on korostettava laadukkaan apterauksen tärkeyttä.

Tasausvaraa voidaan lyhentää vain, jos samanaikaisesti tyvitasauksen määrä pysyy pienenä. Lisäksi on muistettava, että liian lyhyt tasausvara lisää kokonaistasauksen pituutta huomattavasti nopeammin kuin liian pitkä. Tasausvaran lyhentäminen liittyy olennaisesti mittaustarkkuuteen. Jos mittausmenetelmiä pystytään parantamaan, on tasausvaran lyhentäminen perusteltua. Katkontatapojen välinen saantoero ja tasausvara ovat riippuvaisia sahasta ja niistä olosuhteista, joissa saha toimii.

5.4 Tasausvaran riippuvuus mittaustarkkuudesta

5.4.1 Tasausvarasta tehdyistä tutkimuksista

Tasausvarasta tähän mennessä tehdyt tutkimukset ovat perustuneet pääosin otoksista saatuihin mittauksiin. Sahatavaran tasausta on mahdollista tarkastella myös todennäköisyyslaskennan keinoin. Tässä kappaleessa esitetään tuloksia Metsätehossa tehdyistä laskelmista, joissa selvitettiin tasausvaran, katkontaikkunan leveyden, hakkuukoneen pituusmittauksen hajonnan ja sydäntavaran minimitasauksen vaikutusta keskimääräiseen tasauksen pituuteen.

5.4.2 Laskennan kuvaus

Tukista sahatuille sydäntavarakappaleille tarvittavan tasauksen laskennassa määritellään minimitasaus, joka täytyy tasata jokaisesta sydäntavarakappaleesta sydäntavaran teknisten vikojen poistamiseksi. Mikäli tukin tasausvara riittää, tasataan sydäntavara lähinnä alempaan sydäntavaran moduulipituuteen. Määritellyn minimitasauksen ollessa tasausvaraa suurempi sydäntavara joudutaan tasaamaan yhtä moduulia alempaan sahatavaran moduulimitaan.

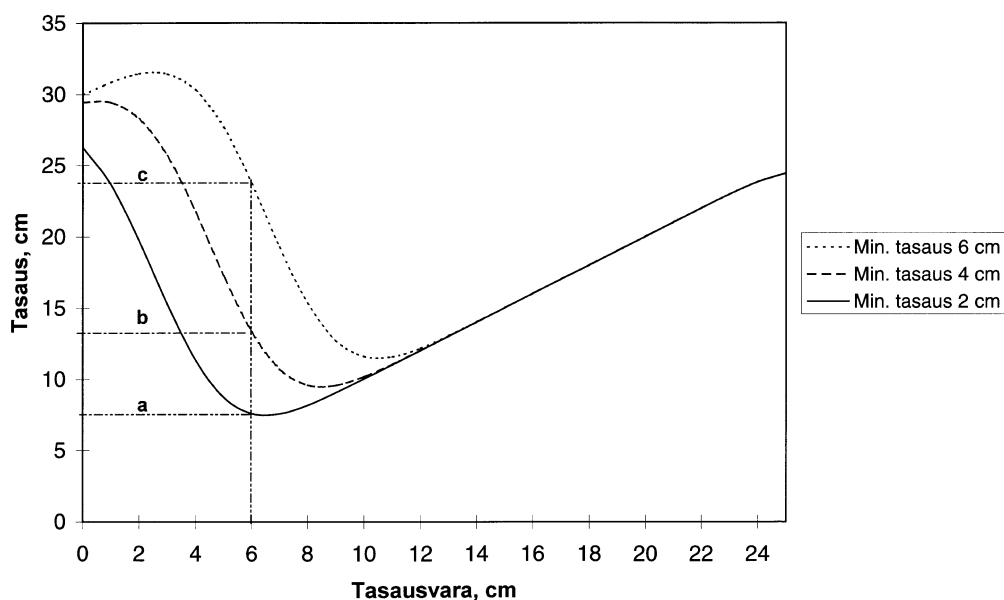
Tukkien pituuden oletettiin jakautuvan hakkuukoneen katkontaikkunan leveydellä tasaisesti (ks. 5.4.4). Katkontaikkunan leveyksinä käytettiin 1, 3 ja 5 cm. Hakkuukoneen mittalaitteen mittaushajonta aiheuttaa sen, että todelliset tukin pituudet ovat jakautuneet tätä laajemmalle alueelle. Mittauksen hajonnan merkitys pystytään laskemaan normaalijakauman perusteella. Käyttäjä ilmoittaa hakkuukoneen pituusmittauksen hajonnan, jolloin pystytään laskemaan, miten suuri suhteellinen osuus kutakin tukkipituutta saadaan. Näin saadut suhteelliset tukkiluokittaiset määrät kerrotaan kullekin mahdolliselle tukkipituudelle lasketuilla tasauspituuksilla, jolloin saadaan kustakin tukkiluokasta tasattavan sydäntavaran pituus. Näiden summa on koko tukkijakauman sahausesta aiheutuva keskimääräinen tasaus.

Mikäli tukissa oleva tasausvara on 10 cm, voidaan sahatavaraa tasata 10 cm niin, että ei vielä jouduta tasaamaan yhtä moduulia alempaan sahatavaran moduulimitaan. Hakkuukoneen mittalaitteen mittausrvirheet aiheuttavat sen, ettei kaikissa tukeissa ole haluttua tasausvaraa. Laskennan kulkua kuvaa seuraava esimerkki: hakkuukoneen mittalaitteen hajonnan johdosta 50 %:ssa tukeista tasausvara on 10 cm. Vastaavasti tasausvaraltaan sekä 9 cm että 11 cm tukkeja on molempia 25 % tukeista. Tällöin 50 % sydäntavaraa tasataan 10 cm. Tasausvaraltaan 11 cm olevia tukkeja tasataan 11 cm. Mikäli teknisten vikaisuusien johdosta sahatavaraa joudutaan joka tapauksessa tasaamaan vähintään 10 cm, ei 9 cm:n tasausvara riitä teknisesti virheettömän kappaleen saamiseksi. Tällöin sahatavara tasataan lyhyempään moduuliin, joten näillä sydäntavarakappaleilla tasaus on 39 cm. Keskimääräiseksi tasaukseksi tulee tällöin 17,5 cm. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan em. tavalla lasketun keskimääräisen tasauksen riippuvuutta minimitasauksesta, katkontaikkunan leveydestä ja hakkuukoneen pituusmittauksen hajonnasta.

5.4.3 Minimitasauksen vaikutus keskimääräiseen tasaukseen

Minimitasaus tarkoittaa sitä vähimmäismittaa, joka tasataan jokaisesta sydäntavarakappaleesta teknisten vikojen poistamiseksi. Laskennassa minimitasauksina olivat 2, 4 ja 6 cm. Laskennasta saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että minimitasaus vaikuttaa paljon keskimääräiseen tasaukseen (kuva 11). Mikäli tukeissa on 6 cm:n tasausvara, niin 2 cm:n minimitasauksella keskimääräinen tasaus on noin 7 cm (vaihtoehto a kuvassa 11). Neljän cm:n minimitasauksella keskimääräinen tasaus on 13 cm ja kuuden cm:n minimitasauksella 24 cm (vaihtoehdot b ja c kuvassa 10). Laskennassa pituusmittauksen hajontana käytettiin 2 cm:ä.

Minimitasausta pystytään lyhentämään tukkien ja sahatavaran varastoinnissa sekä tuotannossa aiheutuvia vaurioita vähentämällä. Sahalla toteutuneeseen tasaukseen tulisikin kiinnittää jatkuvasti erityistä huomiota, sillä mikäli minimitasaus kasvaa esim. varastovaurioiden takia, nousee keskimääräinen tasattava määrä jyrkästi. Sahatavaran minimitasauksen lyhentäminen antaa myös mahdollisuuksia lyhyemmän tasausvaran käyttöön.

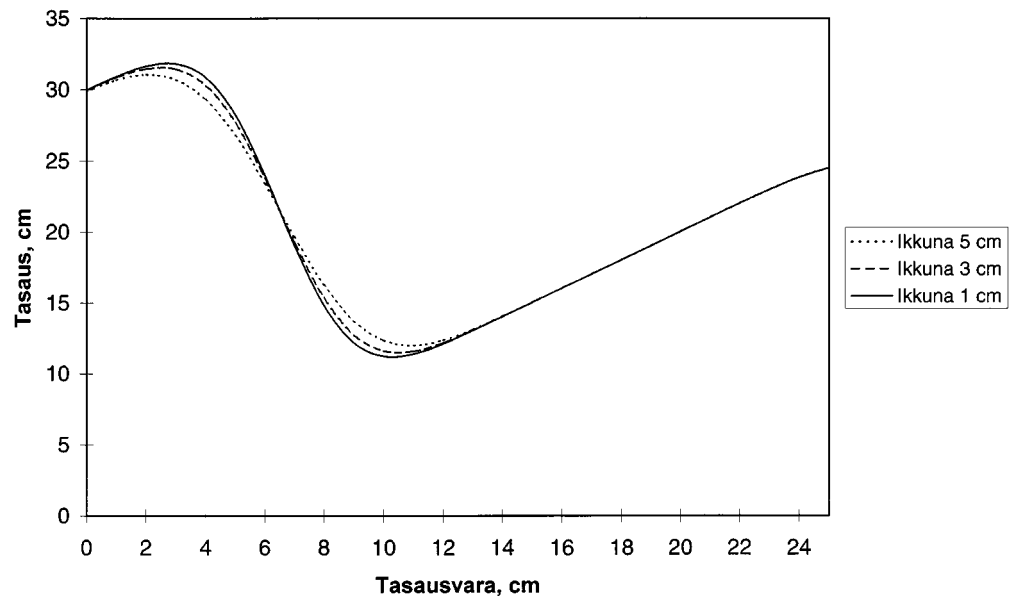


Kuva 11. Sydäntavaran minimitasauksen ja tasausvaran vaikutus keskimääräiseen tasaukseen.

5.4.4 Katkontaikkunan leveyden vaikutus tasaukseen

Hakkuukoneen tulee apterauksessa pystyä riittävän nopeasti pysäyttämään runko haluttuun katkaisukohtaan ja katkaisemaan pölkky. Nopeiden syötönnopeuksien takia hakkuussa käytetään nykyisin ns. katkontaikkunaa, joka antaa mahdollisuuden modulimittaisen pölkyn katkomiseen, kunhan sen pituus on halutussa ”pituusikkunassa”. Esimerkiksi ikkuna $[-2, 2]$ tarkoittaa, että hakkuukoneen kuljettaja voi katkaista pituudeltaan 550 cm olevan tukin, mikäli tukin pituus on välillä 548 – 552.

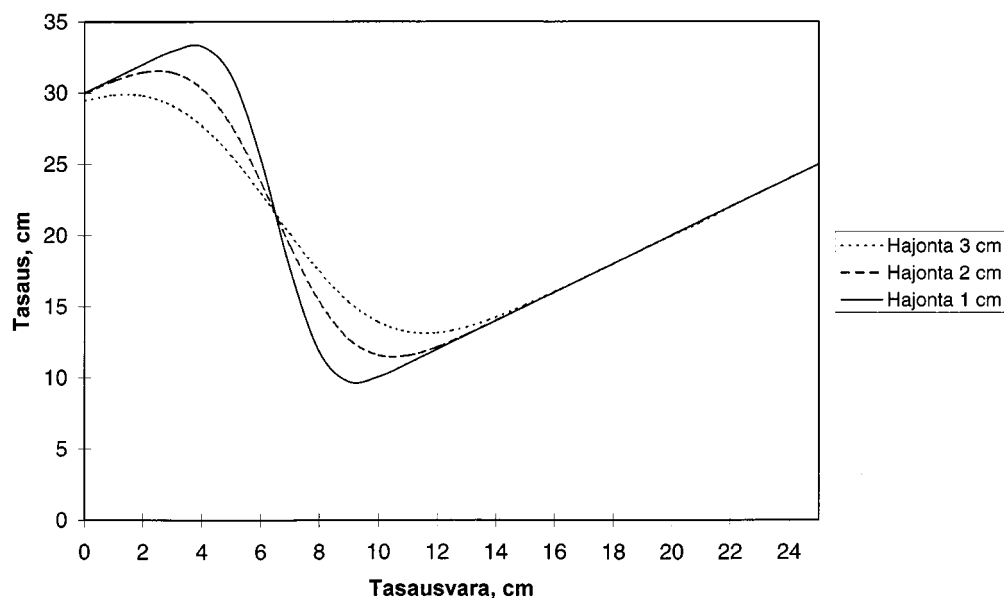
Katkontaikkunan leveyden vaikutusta tasaukseen tarkasteltiin olettamalla, että tukkipituudet ovat tasaisesti jakautuneet ikkunan mitalle ja hakkuukoneen pituusmittausvirheet ovat jakautuneet normaalisti. Käytettävä katkontaikkunan leveys vaikuttaa erittäin vähän parhaaseen mahdolliseen tasausvaraan ja keskimääräiseen tasaukseen (kuva 12). **Katkontaikkunan leveyden muuttaminen ei siis olennaisesti vaikuta sydäntavaran tasaukseen, ellei katkontaikkunan keskikohtaa samalla muuteta.**



Kuva 12. Katkontaikkunan leveyden ja tasausvaran vaikutus keskimääräiseen tasaukseen.

5.4.5 Pituusmittauksen hajonnan vaikutus keskimääräiseen tasaukseen

Mikäli sydäntavaran minimitasaus on 6 cm ja pituusmittauksen hajonta on 3 cm, on paras mahdollinen tasausvara 13 cm (kuva 13). Jos mittaustarkkuutta pystytään parantamaan, pystytään tasausvaraakin lyhentämään. Nykyinen hakkuukoneiden pituusmittauksen hajonta on tarkimmilla mittalaitteilla ja tarkoilla kalibroinneilla 2 cm, jolla paras mahdollinen tasausvara on 11 cm. Pituusmitan hajonnan vähentäminen 1 senttimetriin vähensi optimaalisen tasausvaran 9 senttimetriin. Tässä laskennassa minimitasauksena oli 6 cm, jota lyhyemmillä minimitatasauksilla myös optimaalinen tasausvara lyhenee.



Kuva 13. Hakkuukoneen pituusmittauksen hajonnan ja tasausvaran vaikutus keskimääräiseen tasaukseen.

5.4.6 Laatutasauksien vaikutus optimaaliseen tasausvara

Laatutasauksia tehdään sahatavaran laadun parantamiseksi. Laskennassa tarkasteltiin laatutasauksen osuuden ja laatutasauksen pituuden vaikutusta keskimääräiseen tasauspituuteen. Laatutasauksien keskipituuden kasvattaminen lisäsi tasattavaa pituutta, mutta optimaalinen tasausvara ja keskimääräisen tasauspituuden jakauman muoto säilyivät kutakuinkin ennallaan. Laskennassa ei otettu huomioon sitä, että mitä pitempi on sahatavaran moduulitasaus, sitä todennäköisemmin laatutasauksista vaativa vikaisuus poistuu jo moduulitasauksessa. Tämän virhelähteen merkitys lienee kuitenkin vähäinen (ks. esim. Häggblom ja Pennanen 1983, s. 13). Yksityiskohtaisten tulosten saamiseksi olisi tehtävä saha- ja tuotekohtaisia analyysejä laatutasauksen syistä ja pituusjakaumista.

5.5 Tasausvaran taloudellinen merkitys

5.5.1 Minimitasauksen taloudellinen merkitys

Minimitasaus vaikuttaa optimaalisiin tukkipituuksiin ja tasattaviin määriin. Kahden senttimetrin pituisella minimitasauksella optimaalinen tasausvara on 6 cm. Tällöin sydäntavarakappaleita joudutaan tasaamaan keskimäärin 7,5 cm. Minimitasauksen kasvattaminen kahdella senttimetrillä kasvattaa sekä optimaalista tasausvaraa että keskimääräistä tasausta kahdella senttimetrillä. Jos tukkien keskipituus on 500 cm, vastaa jokainen 1 cm:n tasaus 0,2 % sydäntavarasaannossa. Minimitasauksen lyhentyminen 6 cm:stä 2 cm:iin parantaa sahatavaratuotannon tuottoa 4 mk:lla/m³ Mikäli sahausesta saatava tuotto on 500 mk sahatavarakuutiometriä kohti, se vastaa noin 2 markan tuoton lisäystä tukkikuutiometriä kohti.

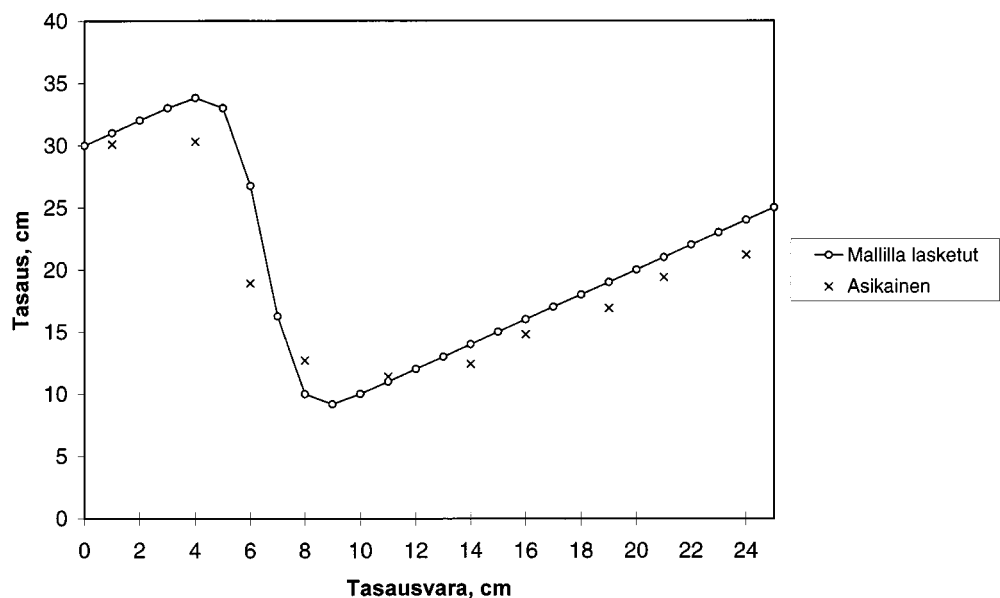
5.5.2 Pituusmittauksen tarkkuuden taloudellinen merkitys

Hakkuukoneen pituusmittauksen tarkkuutta parantamalla pystytään vaikuttamaan sahauksen kannattavuuteen sekä tasausvaroja että keskimääräisiä tasauksia lyhentäen. Pituusmittauksen hajonnan vuoksi osassa tukeista tasausvara tulee liian lyhyeksi. Tällöin tasaamossa joudutaan tasaamaan tavoitemittaa alempaan moduulimitaan. Pituusmittauksen hajonnan ollessa suuri näitä mittausvirheitä sattuu useammin. Kun pyritään käyttämään tukeissa mahdollisimman pientä tasausvaraa, syntyy samalla mittausvirheiden takia epäedullisia tukkeja, jotka aiheuttavat ylimääräisiä tasauksia.

Kun pituusmittauksen hajonta vähenee kolmesta senttimetristä yhteen senttimetriin, muuttuu optimaalinen tasausvara 11 senttimetristä kahdeksaan senttimetriin. Samalla vähenee myös keskimääräinen tasaus. Tasauksesta aiheutuva arvonmenetys vähenee 2,6 %:sta 1,9 %:iin. Se lisää sahauksen tuottoa 3 – 4 mk:lla sahatavarakuutiota kohti.

5.6 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin

Tässä tutkimuksessa tehtyjen tasauspituuksien laskentojen luotettavuutta pystyttiin testaamaan Asikaisen (1968) kokeellisten aineistojen perusteella. Asikaisen tutkimuksessa käytetty minimitasausvara oli 5 – 6 senttimetriä. Mallissa käytettiin minimitasauksena kuutta ja pituusmittauksen hajontana yhtä senttimetriä. Näiden syöttötietojen perusteella piirretyt kuvaajat vastaavat kokeellisissa tutkimuksissa saatuja havaintoja (kuva 14). Laaditulla menetelmällä pystytään siis saamaan luotettavia tuloksia tasausvarasta, mikäli pystytään määrittelemään sahatavaran minimitasaus.



Kuva 14. Tasausvaran vaikutus toteutuneeseen tasaukseen: Asikaisen (1968) tutkimustulosten vertailu tähän tutkimukseen.

6 YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin mittaustarkkuuden merkitystä tukkijakauman ohjauksessa. Aiemmin ilmestyneestä kirjallisuudesta laadittiin tiivistelmiä, joissa esitettiin sahattavien tukkien mittaustarkkuuden kannalta olennaisia tekijöitä. Tutkimuksen toisessa osassa laskettiin pituuden ja läpimitan mittaustarkkuuden merkitystä tukkijakauman ohjaukseen ja etsittiin keinoja sen huomioon ottamiseksi käytännössä.

Referoiduissa tutkimuksissa hakkuukoneet ja tukkimittarit ovat mitanneet tukkien läpimittaa ja pituutta käytännössä yhtä tarkasti. Uusimmat tukkimittarit ovat jonkin verran tarkempia kuin hakkuukoneen mittalaitteet. Sekä pituuden että läpimitan mittaustarkkuuden parantaminen parantaa sahatavaruotannon kannattavuutta. Tärkein tukkilajittelun peruste on tukin läpimita. Läpimitan tarkka mittaaminen on sen vuoksi erittäin tärkeää. Tilausohjautuvassa tukkijakauman ohjauksessa nykyinen läpimitan mittaustarkkuus riittää siihen, että tukkiluokkien minimileveys on 15 – 20 mm. Tätä kapeammilla tukkiluokilla suuri osuus tukkiluokkaan halutuista tukeista joutuu viereisiin läpimittaluokkiin. Mikäli joudutaan käyttämään tätä kapeampia tukkiluokkia, kannattaa vierekkäisten läpimittaluokkien tukkien tavoitejakaumat tukkipituuksille asettaa mahdollisimman samanlaisiksi. Tällä menettelyllä pystytään vähentämään läpimitan mittaushajonnan merkitystä.

Sahan tukkimittarin läpimitan mittauksen hajonta tulisi ottaa huomioon myös sahauksen suunnittelussa apuvälineenä käytettävissä sahaussimulaattoreissa. Mikäli sahan tukkimittari ei ole tarkka, kannattaa sahauksessa välttää liian tiukkoja asetteita.

Tasausvarasta tehdyissä tutkimuksissa katkontatavan (vapaa apteeraus tai nykyisin käytössä oleva moduulimittaperiaate) taloudellinen merkitys on osoittautunut varsin pieneksi. Tasausvaraa tärkeämmäksi tekijäksi on nähty laadukas apteeraus. On kuitenkin todettu, että liian lyhyt tasausvara aiheuttaa enemmän kustannuksia kuin liian pitkä. Metsätehossa laaditun laskentamallin avulla todettiin, että sydäntavarain minimitasaus ratkaisee pääosin sen, miten pitkää tasausvaraa tulee käyttää. Sen vuoksi sahalla toteutuvaan minimitasaukseen tulisikin kiinnittää jatkuvasti huomioita.

Myös tukkien pituusmittauksen tarkkuus vaikuttaa sydäntavaralle tehtävään tasaukseen. Pituuden mittatarkkuutta parantamalla pystytään lyhentämään tasausvaraa ja keskimääräistä tasausta. Tutkimuksessa esitelty laskentamenetelmä sopii tasausvarain valinnan apuvälineeksi.

Tukkimittareiden pituusmittauksen tarkkuus ei juurikaan vaikuta optimaaliseen tasausvaraan, sillä tasausta ei tehdä tukkimittarin ilmoittaman vaan tasaamalla sahatusta sydäntavarasta mitatun pituuden perusteella. Tasaamon pituusmittauksen tarkkuudella on sen vuoksi suuri merkitys tasauksen onnistumiseen. Hyvään mittatarkkuuteen onkin tasaamossa hyvät edellytykset kehittyneiden mittausmenetelmien ansiosta.

Tukkien pituusjakauman ohjaus onnistuu nykyisillä välineillä varsin hyvin. Tukkien pituuden mittaustarkkuus riittää asiakasohjautuvaan sahatavara-tuotantoon. Tukkijakauman ohjauksen kannalta hankalampaa on hakattavissa olevien leimikoitten järeydestä riippuvan läpimittajakauman ohjaaminen halluttuun suuntaan. Mittaustarkkuuden kannalta ongelmallista on se, että mittausrvirheet eivät kompensoidu, vaan väärään läpimittaluokkaan apteerattu tai lajiteltu tukki aiheuttaa aina tuottojen menetyksiä. Läpimitan mittauksen tarkentaminen antaa mahdollisuuksia tarkempaan asetteiden valintaan ja kapeampiin tukkiluokkiin.

LÄHDEKIRJALLISUUS

- Asikainen, K.** 1968. Tasausvara ja sahatavaran tasaus. Folia Forestalia 50. Metsäntutkimuslaitos 40 s.
- Adolfson, G ja Berg, P.** 1992. Rätt stock till rätt sågklass. Jämförande mätning av sågtimmer vid aptering, vederlagsmätning och sortering. Trätek. Kontenta 9210064. 6 s.
- Berg, P.** 1992. Utrustningar för berörande längd- och diamettermätning på skogsmaskiner. Trätek. Rapport P 9111071. Stockholm. 96 s.
- Berg, P. ja Helgeson, T.** 1993. Mätnoggrannhet på en- och tvågreppskördare. Trätek. Kontenta 9306035. 4 s.
- Berg, P. ja Helgeson, T.** 1991. Att mäta stockarnas diameter och längd i skogen. Trätek. Kontenta 9111072. 6 s.
- Berg, P. ja Helgeson, T.** 1994. Mätnoggrannhet hos en- och tvågreppskördare. Resultater från slumpvisa studier. Trätek. Kontenta 9403009. 4 s.
- Halinen, M.** 1987. Monitoimikoneiden puunmittauslaitteille asetettavia vaatimuksia. Metsätehon katsaus 12/1987. 4 s. Helsinki.
- Hägglom, R. ja Pennanen, O.** 1983. Tukkien katkontatavan vaikutus sydäntavaran saantoon. Metsätehon tiedotus 381. 18 s. Helsinki.
- Maasalo, K.** 1987. Mäntytukkien tasaus. Puuteknologian pro gradutyö MMK-tutkintoa varten. 42 s.
- Marjomaa, J.** 1996. Tukin mittaus optisella tukimittarilla. Metsätehon katsaus 1/1996. 8 s. Helsinki.
- Marjomaa, J. ja Suuriniemi, S.** 1997. Tukin lenkouden mittaus optisella tukkimittarilla. Metsätehon Raportti 31, 2.12.1997. Helsinki.

- Poikela, A. ja Rieppo, K.** 1990. Valmet MD21VMU -mittalaite ja sen mittaustarkkuus. Metsätehon katsaus 9/1991. 7 s. Helsinki.
- Rieppo, K.** 1991. Harvemeter 4000 -mittalaite ja sen mittaustarkkuus. Metsätehon katsaus 13/1991. 8 s. Helsinki.
- Rieppo, K.** 1992. Pätkittäinmittaava Kajaani 1024 -mittalaite ja sen mittaustarkkuus. Metsätehon katsaus 13/1992. 7 s. Helsinki.
- Rieppo, K.** 1992. Motomit-mittalaitteen käyttökelpoisuus tilavuuden mitauksessa. Metsätehon katsaus 9/1993. 6 s. Helsinki.
- Sandberg, R.** 1996. Sahatavaran tasausvara. Diplomityö. Puunjalostustekniikan laitos. 141 s. + liitteet.
- Sondell, J. ja von Essen, I.** 1996. Apteringsdatortest1995 – studier av sex apteringssystem. Skogforsk. Redogörelse nr 4. 35 s. Uppsala.
- Usenius, A., Heikkilä, A. ja Nurmi, S.** 1980. Sahattavien tukkien mitattavissa tai havaittavissa olevien ominaisuuksien huomiointi tukkien lajittelussa. TES-867. 71 s + liitteet. Espoo.
- Usenius, A.** 1986. Automaatio sahatukin mittauksessa ja käsittelyssä. Mekaanisen metsäteollisuuden automaatiopäivät Heinolassa 15. – 16.4.1986.